

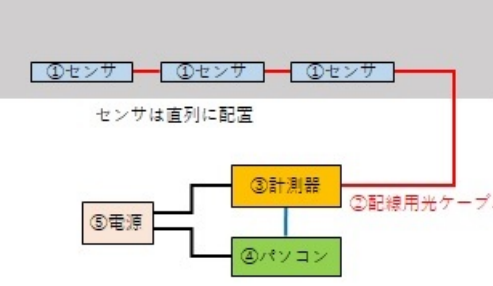
性能カタログ

■計測・モニタリング技術（橋梁）

1. 基本事項

技術番号	BR030001-V0323		
技術名	FBG光ファイバひずみセンサを用いた橋梁モニタリングシステム (支承部の機能障害、ほか)		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	三井住友建設株式会社		
連絡先等	TEL: 050-3137-1989	E-mail: k-yuasa@smcon.co.jp	湯浅 香織
現有台数・基地	(注文生産)	基地	-
技術概要	<p>【支承回転機能障害の可能性検知】 実構造物のひずみを計測する方法として従来のひずみセンサは長期信頼性が低く、構造物の全寿命に亘る長期の維持管理への適用は困難であった。本システムは、経年劣化の懸念が低い材料のみで構成するFBG光ファイバひずみセンサシステムを用いて、車両走行時における動ひずみを計測することで、「単純桁において、支承の回転機能に障害が生じている場合、支承近傍に設置したセンサのひずみ値が大きくなる」ことに着目して、支承の回転機能障害の可能性を検知する技術である。</p> <p>その他、同じ技術を用いて、以下についても併せて検知可能な技術である。 【断面剛性変化の可能性検知】 重量既知の試験車両を走行させた際の動ひずみを経年的に計測・比較することで、「初回計測時より断面剛性が変化している場合、初回計測時の計測値と比較して動ひずみが増加数する」ことに着目して断面剛性変化(コンクリートヤング係数の低下、断面欠損など)の可能性を検知する技術である。また、初回計測時においては、試験車両が走行する際の応答ひずみ計算値と比較することで、現状の断面剛性が所要の性能を満たしていることを検証する。</p> <p>【活荷重による応答ひずみの実態を把握】 測定期間中に橋梁上を通行する全車両による動ひずみを測定し、対象橋梁に生じている、活荷重による応答ひずみの実態を把握する技術である。試験車両によって生じる応答ひずみをキャリブレーションとすることで、測定期間中に走行する全車両の重量概算を推定することもできる。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	
検出原理	光の反射波長		
検出項目	2点間のひずみ(伸縮量)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>①FBG光ファイバひずみセンサ ②配線用光ケーブル ③専用計測器(共和電業 EFOX-1000Bなど) ④データ保管用パソコン(専用ソフトはWindows対応) ⑤電源 100V (商用電源、ポータブル電源のいずれも使用可)</p>  <p>センサは直列に配置</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【センサ】コンクリートアンカー(M5~6、埋設長L=30mm程度)を用い、センサの両端を構造物表面に取り付ける。 【配線用光ケーブル】センサ間およびセンサと計測器をつなぐ。複数のセンサを直列に配置可能。 必要に応じ躯体への留め付け、保護管の設置など、収まりの処置を行う。 【計測器】配線接続可能な任意の箇所に設置可能。可搬式。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【センサ】メーカーにより異なる ・長野計器(PF10-S10):W=70mm センサ長L=100~1500で任意に製作 ・Micron(os3610):センサ長L=250mm、1000mm ・KSK(KSK-FBG-1.0):W=70mm センサ長L=1000 ※他、サイズあり 【配線用光ケーブル】最大延長2km 【計測器】メーカーにより異なる ・共和電業 EFOX-1000B 206×274×79 mm 重量 3.0kg ・長野計器 PF20 214×242×90 mm 重量 2.8kg</p>		
センシングデバイス	FBG光ファイバひずみセンサ		
計測原理	<p>【センサ】 FBG光ファイバひずみセンサは、光ファイバ内部に一定間隔の格子(FBG)を形成した光ケーブルと、その両外側に固定したSUS治具から構成される。光ケーブル終端につないだ計測装置より、センサー内に光を通した際に格子で生じる反射光の波長を計測し、その変化量から固定距離間(=センサ長)の平均ひずみ量を得る。なお、センサは温度変化によっても波長変化するため、別途、温度ひずみのみが生じる無拘束のセンサを付近に配置し、ひずみセンサによる値との差分をとることによって、温度補償したひずみ成分を検出する。</p> <p>【支承の回転機能障害の可能性検知】 単純桁の場合、支承の回転機能が正常である場合、車両走行時における支承部近傍の曲げモーメントは、ほぼゼロであり、主桁には動ひずみは発生しない。車両走行時に、支承近傍に大きな動ひずみが発生する場合には、支承の回転機能に障害が生じているものと考えられる。</p> <p>【断面剛性変化の可能性の検知】 同一重量の試験車両を定期的に橋梁上を走行させ、その動ひずみが常に同じである場合、主桁の断面剛性には変状が生じていないものと考えられる。動ひずみが大きくなった場合、コンクリート材料のヤング係数低下や、主桁断面の欠損、内部鋼材の破断等、断面剛性の低下が生じたと考えられる。また、多主桁の場合、横桁の機能低下等、主桁の荷重負担分布の変化が生じた可能性も考えられる。 逆に、動ひずみが小さくなった場合は、支承の回転機能に障害が生じた場合が考えられ、先の支承近傍の動ひずみとあわせて検討を行う。 初回測定時においては、試験車両が橋梁上を走行した際の応答ひずみ計算値を準備し、比較を行う。主桁剛性は計算時の条件より大きいことが一般的であり、実際の動ひずみは、計算値の50~80%程度であると考えられる。動ひずみが、計算値を超えている場合は、主桁が所定の性能を有していない可能性がある。</p>		

		<p>【活荷重による応答ひずみの実態を把握】 測定期間中に、橋梁上を走行する全車両の動ひずみを測定し、動ひずみのピーク回数およびひずみの大きさを解析することで、対象橋梁が晒されている活荷重による応答ひずみの実態を把握する。 また、先の重量既知の試験車両走行時の応答ひずみの大きさを、キャリブレーションとして、応答ひずみが車両重量と、ほぼ比例するものと仮定し、走行車両の重量概算値を算定することができる。</p>
計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)		<p>【センサ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサ取り付けや配線のため、主桁へのアクセスが可能であること ・センサをアンカー固定できる箇所であること(構造物表面が脆弱化しアンカーが効かない箇所などは不可) ・センサ取り付け範囲が平滑であること(曲面や極端な凹凸、突起物などがある箇所は不可) ・雨水などがかからない箇所であること(光ケーブルは過度の湿気によって膨張し、光透過量が低減するため) ・配線接続部の不具合(ゆるみ、埃の付着など)により透過光量が減衰すると、検出に必要な強度が得られない場合がある。所定の光強度が十分に得られていることを配線作業時に確認し、十分でない場合、接続部を専用クリーンで清掃を行う。 ・車両走行時の動ひずみを取得するため、100Hz程度以上のサンプリングが必要となる。 <p>【支承の回転機能障害の可能性検知】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・落橋防止システム等があり、支承線上にセンサを設置できない場合は、極力センサ近傍に設置し、その離間距離による影響を補正する必要がある。 <p>【断面剛性変化の可能性の検知】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多主桁の場合、輪荷重の直下の主桁など、応答ひずみが最も大きくなる主桁にセンサを設置する。 ・車線ごとに設置するなど、複数本の主桁に設置することで、荷重分配の影響も検討できる。 <p>【活荷重による応答ひずみの実態を把握】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平日と休日では交通荷重が明らかに異なるなど、対象とする測定期間によって結果は大きく異なる。対象橋梁の交通事情や把握目的に応じて、測定期間を適切に設定する必要がある。
計測装置	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>【センサ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・温度補償用の無拘束センサとひずみセンサの設置位置に温度差がある場合、温度補正に誤差が生じる(1℃あたり10μ)。 ・配線ケーブルの長さを変更した場合、波長がシフトする。ケーブル長を変更する場合にはその前後で測定を行い、シフト量を差引する必要がある。 <p>【支承の回転機能障害の可能性検知】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・支承回転機能以外の性能(荷重支持機能、水平移動機能、等)については、別途検討する必要がある。 <p>【断面剛性変化の可能性の検知】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・舗装面の凹凸の増加により、衝撃によるひずみが付加される場合がある。この影響が疑われる場合は、車両を極力低速で走行させることで、その影響を抑制することができる。 ・動ひずみが増加したことで、その要因がただちに特定できるわけではなく、断面剛性低下を含め、なんらかの異常が発生している可能性が高いに過ぎないことに注意が必要である。原因特定には、超音波測定やレーダ探査等、非破壊検査等による詳細調査が必要となる。 <p>【活荷重による応答ひずみの実態を把握】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁に発生する応答ひずみの値は実測値であるが、そこから推定する車両重量は、あくまでも概算推定であることに注意が必要である。対向車線の状況、車間距離のない連行状態などがあると、車両重量推定には、大きな誤差が生じる可能性がある。おおむね、中型車、大型車、過積載が疑われる車両程度の区分となる。
計測プロセス		<p>【支承の回転機能障害の可能性検知】</p> <p>Step1 センサ設置作業 支承近傍及び支間中央の主桁下フランジにひずみセンサを設置する。 すべてを直列に接続し、計測装置設置箇所まで配線する。</p> <p>Step2 ひずみ計測 計測装置を光ケーブル終端に接続し、サンプリングを100Hz程度とし、反射波長データを取得する。</p> <p>Step3 データ処理 支間中央部に最大ひずみが生じた際の、支承近傍の動ひずみを抽出する</p> <p>Step4 支承回転機能の判定 単純桁の場合、車両通過時、支承近傍に圧縮ひずみが生じていない場合、支障回転機能は健全である可能性が高い。</p> <p>【断面剛性変化の可能性の検知】</p> <p>Step1、Step2 上記と同じ</p> <p>Step2-2 重量を測定した試験車両を橋梁上を走行させる。 ※対向車線を大型車両が通過した場合は、再走行を行う</p> <p>Step2-3 対象橋梁上の通過時間および対向車線の状況を、ドライブレコーダから記録する。</p> <p>Step3 試験車両が通過した際の、動ひずみをグラフ化する</p> <p>Step4 初回測定時は、試験車両による動ひずみ計算値を算定する。 計算値を上回っていないければ、所定の断面性能を有していると考えられる。 ※単純桁などで手計算により算定可能であるが、多主桁の荷重分配等を検討する場合は、格子解析、FEMが必要となる</p> <p>Step5 定期的に、同一の試験車両を走行させ、動ひずみの値が同一であることを確認する。</p> <p>step5-2 動ひずみの値が増加している場合、断面剛性の低下が疑われる。 原因特定は、非破壊検査等の詳細調査により行う。</p> <p>【活荷重による応答ひずみの実態を把握】 2-5-3</p> <p>Step1 上記と同じ</p> <p>Step2-0 活荷重の実態を把握する目的に応じて、測定期間を設定する</p>

	<p>例えば、大型車両による影響を把握するためには、平日で24時間連続とする等</p> <p>Step2 上記と同じ :測定システムを設置し、所定期間を連続測定(無人計測が可能)</p> <p>Step3 所定期間中の全動ひずみから、ピーク解析を実施する。</p> <p>Step3-2 応答ひずみごとの頻度(=走行台数)を算定する。 試験車両走行させた場合、応答ひずみと車両重量は比例すると仮定して、走行車両の重量を概算推定を行うことができる</p>	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> 計測した波長データはcsv形式でパソコンへ出力される。波長は下記の計算により、ひずみに換算する。 ひずみ=(ひずみセンサの波長 - 無拘束センサの波長)×校正係数(800μ/nm程度) 計測中はパソコン画面上にて、リアルタイムで動ひずみを確認できる。 	
計測頻度	<p>計測頻度は、対象物の劣化進行速度によって検討する必要がある。</p> <p>初回計測時より特に変化が見られない場合には、その後年1回程度計測することを推奨する。</p>	
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> 常設するセンサは耐食性が高い金属を使用し、有機系接着剤を使用していないため、長期耐久性に優れる。 センサの疲労耐久性については、$\pm 2000\mu$の振幅疲労試験を実施して確認している(長野計器製センサ)。 防水性および防塵性は、環境に応じて別途対策が必要となる。 	
動力	<ul style="list-style-type: none"> 計測時は計測器およびパソコンに電源100Vが必要。計測時以外は動力は不要。 商用電源、ポータブル電源のいずれも使用可。 ポータブル電源は、電圧や周波数の変動が小さいものを使用すること。 	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	24時間の連続計測を実施する場合 ポータブル電源 700Wh×2台を使用	
データ収集・通信装置	設置方法	計測器およびパソコンは、計測の都度計測箇所へ搬入するため、常設しない。 計測時には、センサの配線端部の端子を計測器に接続し、計測器とデータ回収用パソコン(Windows)をLANケーブルで接続する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【計測器】メーカーにより異なる</p> <ul style="list-style-type: none"> 共和電業 EFOX-1000B 206×274×79 mm 重量 3.0kg 長野計器 PF20 214×242×90 mm 重量 2.8kg <p>【データ回収用パソコン】一般的なWindowsノートパソコンまたはWindowsタブレット</p>
	データ収集・記録機能	パソコンのハードディスクに保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	有線のため通信装置は設置せず、計測の都度、計測終了後にデータを回収
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	<ul style="list-style-type: none"> 計測時は計測器およびパソコンに電源100Vが必要。計測時以外は動力は不要。 商用電源、ポータブル電源のいずれも使用可。 (ポータブル電源を用いた24時間程度の連続計測の例:700Wh×2台を使用) ポータブル電源は、電圧や周波数の変動が小さいものを使用すること。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	①ひずみ誤差:1~2 μ ②ひずみ誤差:5~10 μ	・主に測定器側に依存する 上段①:共和電業EFOX使用 誤差(ひずみ) 1~2 μ 程度 下段②:長野計器PF20使用 誤差(ひずみ) 5~10 μ 程度	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・ひずみ:±2500 μ	・センサ設置時に約3000 μ のプリテンションを導入	
	感度	校正方法	・メーカーにより校正試験を実施		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・ひずみノイズ:±3 μ	・車両走行時の動ひずみ検出は、乗用車程度では困難であり、中型車(8t)以上が走行した際のみ、検出が可能 ・車両未走行時の、ひずみノイズが、±3 μ 程度であるセンサおよび測定器を使用 (測定器:共和電業+センサ:長野計器のみ確認済)
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・ひずみ:0.04 μ (=波長:0.05 μ m)	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	高所作業車または橋梁点検車等により、主桁へのアプローチが可能であること	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	計測装置を24時間設置する場合、盗難防止等の対策が必要	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	・センサ設置時には、高所作業車または橋梁点検車を使用 ・試験車両走行は、法定速度内での通常走行により行う。	道路管理者との事前協議が必要
	その他	-	-

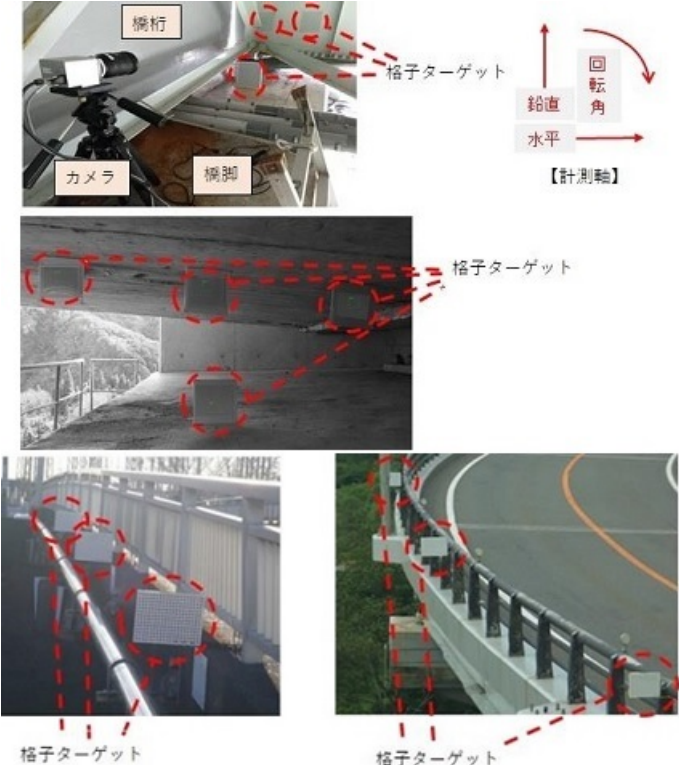
5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	設置作業 : 光ファイバに関する基礎知識が必要 測定作業 : 簡易な作業のため、特に技量は要しない 解析作業 : センサ設置の目的、データ処理等、高度な技術力が必要	-
	必要構成人員数	設置作業: 現場責任者1人、ほか2~3名程度 測定作業: 1人でも可能⇒安全上、2人とする (試験車両走行 運転手1名+後方誘導車1名)	試験車両走行の場合、対象橋梁通過時間は、ドライブレコードから検出する
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	センサ2箇所設置、足場・諸経費別途として 【設置】約180万円 : 初期費用 センサ購入60万円+配線材等 40万円 労務費 80万円 【計測】約80万円/回 ・測定労務費 40万円(測定器損料含む) ・試験車両走行 10万円 ・解析作業 30万円	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	・モニタリング計画、解析、報告書の作成支援 ・センサ設置工事 ・測定業務	センサ : メーカーから購入
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	センサ、計測器ともに、1年保証	-
	センシングデバイスの点検	・センサは、現場の温度変化に対し、適正に値を示しているかを校正検証する。 ・測定器は、絶対校正機能を有している製品を使用するか、メーカーにて校正する。	-
その他	-	-	

6. 図面

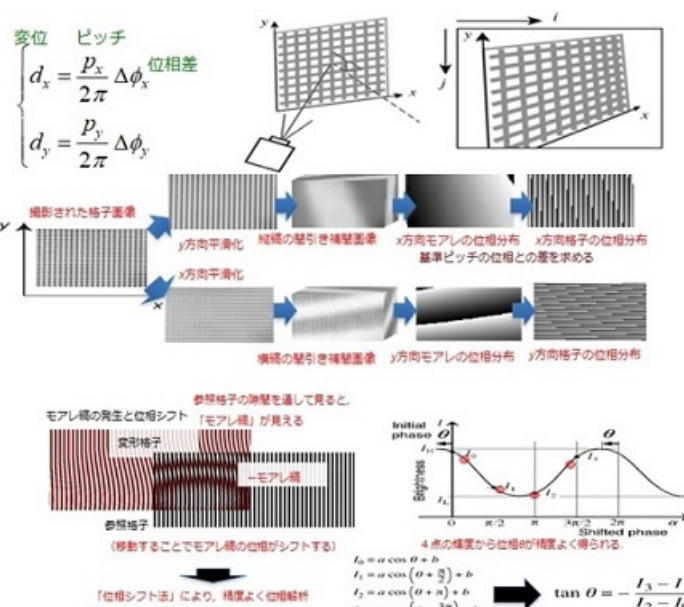


1. 基本事項

技術番号	BR030002-V0323		
技術名	サンプリングモアレカメラ		
技術バージョン	DSMC-100A	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 共和電業		
連絡先等	TEL: 042-485-6623	E-mail: matsuyama@kyowa-ei.co.jp	インフラ営業部 松山 聡一
現有台数・基地	3式	基地	東京都調布市調布ヶ丘3丁目5-1
技術概要	<p>本技術は、橋梁の点検部位をカメラで撮影することにより、桁のたわみ量、橋脚の変位量又はその変化を定期的に測定し、その変化の有無を確認する技術である。測定対象部位に、格子状のターゲットを設置し、橋軸の直角又は水平方向及び斜め方向(傾斜角)など、数十m(50m程度)の範囲内から撮影して変位を測定する。現場でのカメラの明るさ、ピント調整のみで、キャリブレーション(撮影距離、角度の測量等)は不要。変位データはリアルタイムに波形確認することができ、集録PC内にCSVファイルで記録される。また、撮影後に保存された動画又は静止画から変位をオフライン解析することも可能である。</p> <p>支承および桁のたわみ量は、桁中央部以外も複数点の同時計測が可能。支承は、支承直上及びその付近の桁や橋台等に複数の格子ターゲットを設置してその変位量を計測する。桁の2点間のたわみ量の違いからの回転角(たわみ角)及び支承直上の桁の水平変位を定期的に計測し、その変化の有無を確認することが可能である。</p> <p>計測対象となる部位 : 支承、桁、橋脚 計測方向 : 水平・垂直の2方向および回転角(たわみ角)の計測が可能</p> <p>計測タイミング : 特に指定なし。日中、深夜問わず。新設時や長期維持管理でも使用できる。</p> 		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 下部構造(橋脚) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	画像(静止画/動画)		
検出項目	平面2方向(x,y)の変位量及び回転角		

2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>本技術は、橋軸の直角又は斜め方向から、桁、支承、橋脚等の変位量を計測する技術である。測定対象に、格子ターゲットを設置する(マグネットシートやシール、塗装等)。ターゲット面に対し、最大±45度以内の範囲(精度±0.1mmならば、50m以内)からカメラで撮影し、変位データを記録する。変位データは集録PC内にCSVファイルで記録される。機器構成は、測定対象に、格子ターゲットのみ。撮影場所に下記写真のような機器を設置する。</p> 		
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
動力	-		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>カメラ : カメラ三脚の上部雲台等にカメラの取付を行う。 (注意点) 現場発生する風や振動等で動かない固定方法とする。</p> <p>PC : コントロール用ノートPCは、カメラ近傍の配置する。</p> <p>格子ターゲット : テープ等による貼付けもしくは、マグネットタイプで固定する。 (注意点) 計測中、ターゲットが歪んだり、大きくズレることの無い様固定する。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>カメラ 本体 : 65mm×75mm×120mm、約1.3kg(レンズ、ブラケット、ケーブルは除く)</p> <p>コントロール用ノートPC : A3サイズ 約2kg</p> <p>格子ターゲット : 格子サイズ 2mmピッチ、10mmピッチ、20mmピッチ、40mmピッチ シートサイズ A2、A3、A4、 種類 シール、マグネット、転写、反射、高温、耐熱</p>		
センシングデバイス	<p>サンプリングモアレカメラ内部にて画像処理解析する特殊なカメラ。(オフライン解析時は市販デジタルカメラの使用も可能)変位データに換算し、USB接続されている集録PCに記録される。</p>		
	<p>1) 格子ターゲットに描かれた一定間隔の縞をカメラで撮影し、カメラ内部処理によりモアレ縞(干渉縞)を発生させる。測定対象が変位することでモアレ縞の位相がシフトする。「位相シフト法」を利用し、画素の1/10以上の精度で解析する。サンプリングモアレ法とは、2次元の格子画像に対する位相解析手法のひとつである。ワンショットの画像から2成分の位相を得ることができる。周囲の画素を平均化する処理が含まれているため、ノイズに強く、格子ピッチの1/100~1/1000の計測精度が得られる。</p> <p>2) 2次元格子画像をy方向に平滑化することで、x成分の格子が得られる。これに対して、格子の画素数に近い整数の画素数Nで間引き処理を行う。このとき、間引く位置を1画素ずつ変えることによって、位相シフトされたN枚のモアレ画像が得られる。これらの画像に位相シフト法を適用することで、x方向のモアレの位相分布が得られる。さらにN画素で2πとなる位相を加えて2πにラッピング処理をすることで、x方向の格子の位相分布が得られる。y方向についても同様の処理でy方向のモアレの位相分布とy方向の格子の位相分布がそれぞれ得られる。変位については変形前後の格子の位相の変化から求めることができる。</p> <p>2-5-11</p> <p>3) 変位は位相差に定数を掛けたものとなっており、カメラの位置や撮影画像内での格子のピッチとは無関係に値が得られることになる。そのため、本手法はカメラのキャリブレーションが不要で、計測対象に取り付けられた格子パターンの正面にカメラを配置する必要もなく、レンズの歪曲収差にも影響されずに変位分布を得ることができる。</p>		

計測装置	計測原理	<p>計測対象物に貼付けられた2次元格子パターンを斜め方向から撮影すると、撮影された画像においては、格子の向きもピッチも場所によって異なるように撮影される。それでも格子のピッチが既知であるために、得られる位相差から変位への換算式は変わらない。</p>  <p>変位 ピッチ</p> $\begin{cases} d_x = \frac{p_x}{2\pi} \Delta\phi_x & \text{位相差} \\ d_y = \frac{p_y}{2\pi} \Delta\phi_y \end{cases}$ <p>撮影された格子画像 → y方向平面化 → 縦横の壁引き補正画像 → x方向モアレの位相分布 → x方向格子の位相分布 (基準ピッチの位相との差を求める)</p> <p>x方向平面化 → 縦横の壁引き補正画像 → y方向モアレの位相分布 → y方向格子の位相分布</p> <p>参照格子の隙間を通して見ると、モアレ縞の発生と位相シフト「モアレ縞」が見える。実格子、参照格子、モアレ縞。移動することでモアレ縞の位相がシフトする。</p> <p>「位相シフト法」により、精度よく位相解析を行うことができる。</p> <p>4点の強度から位相の精度よく得られる。</p> $\begin{aligned} I_0 &= a \cos \theta + b \\ I_1 &= a \cos \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) + b \\ I_2 &= a \cos (\theta + \pi) + b \\ I_3 &= a \cos \left(\theta + \frac{3\pi}{2} \right) + b \end{aligned} \Rightarrow \tan \theta = -\frac{I_3 - I_1}{I_2 - I_0}$
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・格子貼付けのために計測部位に近接できる必要がある。鋼桁の場合はマグネットシート、コンクリート桁の場合は格子シールでの貼り付けを行う。長期計測の場合は塗装等で恒久的な格子設置をする。 ・精度は格子ピッチの1/100程度。(精度0.1mmであれば撮影距離50m以内で10mmピッチを使用。格子ピッチ、サイズにより最大100m程度まで計測可能) ・測定点が複数の場合は撮影範囲(画角)により格子ピッチを変える必要がある。(格子が奥行方向に並んでいる場合や撮影角度等による) ・撮影角度は格子面に対して±45°以内。
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・画角や撮影距離に応じて、適切な測定結果が得られるよう、格子ピッチのサイズや格子全体の大きさを適切にする必要がある。(格子ターゲットは、弊社製を使用することを推奨) ・温度変化によるカメラ固定点の移動が生じるため留意が必要である。 ・格子全体が大きく変形しない計測点を選定する。 ・カメラと格子間の気流等によるゆらぎや撮影中の日照条件の変化に合わせて、絞りや撮影周期の設定が必要である。 	
計測プロセス	<ol style="list-style-type: none"> ① 支承、桁、橋脚に設置した格子ターゲットをサンプリングモアレカメラで撮影すると、格子の位相のシフト量を計測する。 ② カメラ内部で、位相シフト量から、X、Y方向の変位、およびθ角をリアルタイムに自動換算し、PC側へ送信する。 ③ PCは、時系列の、X、Y方向の変位、およびθ角データを保存し、CSVファイルにて記録する。 	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測される変位の時刻歴データはcsvファイルにて保存される。保存されたデータの変位量や回転角の解析を行い支承の可動状態に異常・経年変化がないかを確認する。 ・回転角の計算式 $\text{回転角}\theta = \tan^{-1} \left(\frac{A \text{部たわみ量} - B \text{部たわみ量}}{2 \text{点間距離}} \right)$	
計測頻度	<p>測定周期 1fps~500fps 応答周波数 20Hz まで</p>	
耐久性	<p>・IP60程度</p>	
動力	<p>AC100V (ACアダプタにてDC12V)</p>	
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<p>・外部バッテリー電源容量による (システム消費電力 約100Wh) AC電源供給時は計測時間の制限無し (定点観測モードにて撮影間隔最短1秒での連続計測可能;計測PCのHDD空き容量による)</p>	
データ収集・通信装置	設置方法	<p>カメラは、三脚等で固定設置。カメラとPCは、USBケーブルで接続の為、近接位置に設置する。また、振動が少ない場所を探し、カメラを固定することが必要。</p>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<p>集録用ノートPC 市販品 B4サイズ程度</p>
	データ収集・記録機能	<p>変位データは直接集録PC内部のHDDに保存される。</p>
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	<p>AC100V (ACアダプタにてDC12V)</p>
データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	<p>現場で直接、リアルタイムにPCに集録。 2-5-12</p>	

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・格子ピッチの1/100(=1%)	・格子ピッチの1/100 (例 20mmピッチ使用時は0.2mm) ※天候および計測距離などの条件による	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承の障害(2020) 実施年 2020年 ・橋軸方向 ・相対差:0.044mm ・相対精度:3.553% ・鉛直方向 ・相対差:0.019mm ・相対誤差:6.244%	・橋軸方向 ・真値:1.263mm(平均) ・測定値:1.227mm(平均) ・鉛直方向 ・真値:0.297mm(平均) ・測定値:0.307mm(平均)	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・2mmピッチ~40mmピッチ	・格子ターゲットの大きさによる(最大1m程度) ・標準格子:A4(2mmピッチ)~A2サイズ(40mmピッチ) ・晴天時のキラキラ反射、陽炎などの揺らぎの場合はふらつきが発生する。また、夜間には照明が必要。逆光の場合は計測方向を変えるなど対策が必要。	
	感度	校正方法	校正された変位発生装置との比較検定		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・検出率:100%	・計測準備の際、環境に問題が無く、計測プロセス(前述)にてモアレ縞が確認できれば、確実に検出できる。
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・格子ピッチの1/100~1/1000	・陽炎、機器振動による影響が無き事	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・格子ピッチの1/100	・常温室内	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・格子ターゲットのピッチの1/1000(=0.1%)	・格子ターゲットのピッチの1/1000 (10mmピッチ使用時は0.01mm)		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	なし。格子ターゲットが直接見通せる(撮影)できる事。障害物は無い事を条件とする。	-
	周辺条件	なし。 測定対象の振動が伝わる環境での撮影は別途処理が必要。	-
	安全面への配慮	格子の落下防止	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	格子ターゲット貼付け・撤去作業時、歩道、車道の規制が必要な場合がある。	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	パソコン操作、EXCEL等でデータ整理ができる程度	現場計測前に、事前計測トレーニングが必要
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人 合計2名	別途交通整理員が必要な場合有
	作業ヤード・操作場所	事前に複数回トレーニングを実施し、データ取得までできるようになる事が望ましい。	-
	計測費用	機器レンタル、業務委託を含めた場合 調査費用 1日およそ10万円(1~3橋梁/日可能) 機械経費 損料 最低1週間 およそ30万円 その他の経費 およそ 5万円	関東地域の日帰り可能な場所とする。 関東地域の日帰りエリア以外の場合は、別途、旅費交通費、宿泊費が発生します。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入しておりません	-
	自動制御の有無	自動制御なし	ソフト上であらかじめ設定した計測条件で自動計測可能
	利用形態:リース等の入手性	①販売 ②機器レンタル ③業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	担当部署にて、電話によるお問合せ可能 (平日9時から17時まで)	-
	センシングデバイスの点検	レンズのガタつき、コネクタ部の接触不良の定期的な確認	-
その他	購入の場合は、初回サポート対応付き	-	

6. 図面

モアレカメラ 全体一覧図

共同開発

NEDO「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
モニタリングシステム技術研究組合

出願特許 特願2018-36914 2次元格子パターンを用いる面外変位計測方法及びその装置

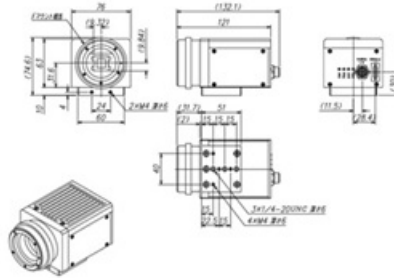
参考資料

① カメラ外観

1) カメラ外観(市販レンズ含む)



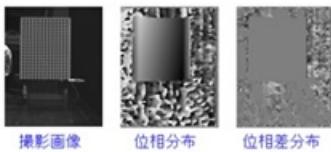
2) カメラ 単体図



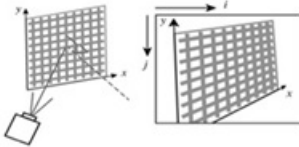
② サンプリングモアレ法の特徴

サンプリングモアレ法の特徴

1. ワンショットで撮影した画像から、x方向とy方向の2次元の変位が同時に計測できます



$$\begin{cases} d_x = \frac{P_x}{2\pi} \Delta\phi_x & \text{位相差} \\ d_y = \frac{P_y}{2\pi} \Delta\phi_y \end{cases}$$



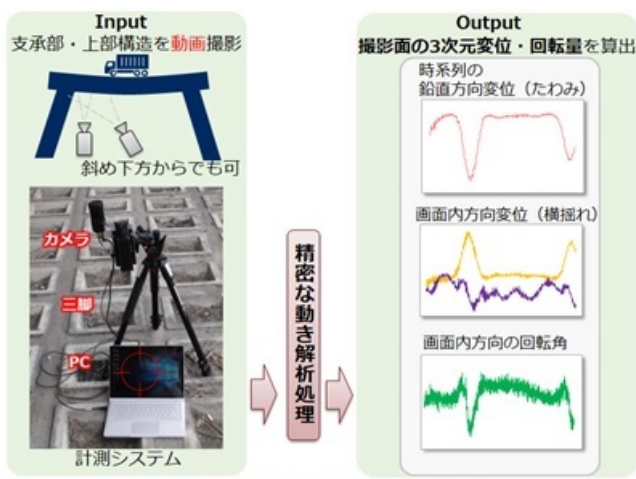
2. 変位計測分解能は、格子ピッチの1/100から1/1000程度が得られます
3. 計測対象側は、格子パターンを固定するだけでよい
4. キャリブレーションが不要です
 - ・ひとつのカメラを用いた変位計測やたわみ角計測の場合
 - ・対象物に固定されているピッチが既知の格子を用いるため

1. 基本事項

技術番号	BR030003-V0323		
技術名	光学振動解析技術【動画像による支承の変位量・回転量の計測技術】		
技術バージョン	Ver.1.00	作成:	2023年3月
開発者	株式会社川金コアテック 日本電気株式会社		
連絡先等	TEL: 048-259-1113 (川金コアテック)	E-mail:	(川金コアテック)k-shimizu@kawakinkk.co.jp (川金コアテック)y-suzuki@kawakinkk.co.jp (NEC) ovst@sid.jp.nec.com 総合窓口:川金コアテック・メンテ 事業開発部 技術窓口:NEC光学振動解析技術 総合窓口:清水、鈴木
現有台数・基地	5セット (BR030009-V0020の技術と共有)	基地	神奈川県川崎市 (NEC玉川事業所)
技術概要	本技術は、支承の基本機能である「変位追従機能」「回転追従機能」を確認するために、動画像を用いた遠隔・非接触の計測手法により、車両通過時や温度変化に起因して発生する、支承の上沓もしくは支承の上沓と接続されている近傍の上部構造(主に主桁下フランジや主桁ウェブ)の移動量や回転量を計測するものである。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	
検出原理	画像(静止画/動画)		
検出項目	支承部/上部構造(主に主桁下フランジや主桁ウェブ)の変位量・回転量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ・本計測機器は、カメラとレンズによって構成される撮像部、三脚によって構成される支持部、解析用ソフトウェアをインストールした制御用PCによって構成されるデータ収集・処理部、レーザ距離計によって構成される測距部で構成される。 ・撮像部のカメラやレンズ、支持部の三脚、測距部のレーザ距離計に関しては、計測対象に合わせて必要なスペックに応じて付け替えが可能である(分離構造)。 ・必要に応じて、対象箇所の照度不足を補うための照明装置を用いる。 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・本計測機器は、カメラとレンズによって構成される撮像部を、支持部となる三脚の雲台部上部にを1/4インチねじで固定し、測定対象表面が撮影できる場所に三脚を設置して撮影・計測する。 ・レンズが干渉するなど、カメラの高さ調整が必要な場合は、専用スペーサー(長さ35mm×幅45mm×高さ35mm)を挿入する。 ・撮像部のカメラやレンズは、計測対象に合わせて必要なスペックのものに付け替えが可能である。以下に示すものは【センシングデバイス】の項目に示されている基本構成を利用した場合の一例である。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置(撮像部:カメラ+レンズアダプタ+レンズ): 最大外形寸法(長さ215mm×幅90mm×高さ90mm)、最大重量(0.9kgf)		
センシングデバイス	<p>【カメラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Ximea社 MQ042MG-CM または ・Ximea社 MC124MG-SY <p>【レンズ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ニコン社 AI AF Nikkor 180mm f/2.8D IF-ED <p>【レンズアダプタ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・KIPON社 C マウントアダプター ニコンF 用 <p>【レーザ距離計】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Leica社 DISTO D510 		
計測原理	<p>カメラで計測対象表面の様態を動画撮影し、画面内の各点の動きを追跡して算出した動き分布を解析することで、3次元方向の変位および回転量を算出する。ここでは、橋軸方向への可動域を持つ支承の上沓を、橋軸方向正面から撮影している場合を例に説明する。</p> <p>大型車両通過に伴い、計測対象の表面(支承の上沓)がカメラの光軸方向に近づくように変位すると、カメラから計測対象の表面までの距離が短くなるため、動画内で対象表面が微かに拡大する。この時の拡大率を画像処理により算出し、拡大率と撮影距離からカメラの光軸方向の変位量を算出する。面内方向の変位量に関しては、画面内の各点の動き分布からカメラの光軸方向の変位量成分を除去して平行移動成分を算出する。回転量に関しては、画面内の各点の動き分布から光軸方向・平行移動方向のそれぞれの変位量成分による影響を除去してから、どの程度回転したかを算出する。以上の処理により、単眼カメラで計測対象の表面(線支承の上沓)の3次元方向の変位および回転量を算出することが可能となる。</p> <p>支承部を直接撮影することが困難な場合は、支承に連結された近傍の構造(主に主桁下フランジや主桁ウェブ)の変位や回転量を算出する。</p>		

計測装置	 <p>Input 支承部・上部構造を動画撮影 斜め下方からでも可 カメラ 三脚 PC 計測システム</p> <p>Output 撮影面の3次元変位・回転量を算出 時系列の鉛直方向変位(たわみ) 画面内方向変位(横揺れ) 画面内方向の回転角</p> <p>精密な動き解析処理</p> <p>遠隔・非接触で撮影面の動的挙動(3次元変位量+回転量)を計測</p>
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>カメラで計測対象表面の様態を動画撮影し、画面内の各点の動きを追跡して算出した動き分布を解析することで、3次元方向の変位および回転量を算出する。ここでは、橋軸方向への可動域を持つ支承の上脊を、橋軸方向正面から撮影している場合を例に説明する。</p> <p>大型車両通過に伴い、計測対象の表面(支承の上脊)がカメラの光軸方向に近づくように変位すると、カメラから計測対象の表面までの距離が短くなるため、動画像内で対象表面が微かに拡大する。この時の拡大率を画像処理により算出し、拡大率と撮影距離からカメラの光軸方向の変位量を算出する。画面内方向の変位量に関しては、画面内の各点の動き分布からカメラの光軸方向の変位量成分を除去して平行移動成分を算出する。回転量に関しては、画面内の各点の動き分布から光軸方向・平行移動方向のそれぞれの変位量成分による影響を除去してから、どの程度回転したかを算出する。以上の処理により、単眼カメラで計測対象の表面(線支承の上脊)の3次元方向の変位および回転量を算出することが可能となる。</p> <p>支承部を直接撮影することが困難な場合は、支承に連結された近傍の構造(主に主桁下フランジや主桁ウェブ)の変位や回転量を算出する。</p>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> 計測対象表面の様態を画像処理によりトラッキングして変位を算出するため、計測対象表面に模様が必要。 完全無地・透明物は非対応、また塗装面も塗装種類やその表面状態によっては測定困難な可能性がある。 計測対象表面に対し正対していない場合、対称面までの距離と角度が不正確だと誤差の要因となる。 計測対象表面が画面半分よりも小さく撮像されていると精度低下が生じる可能性がある。 計測対象表面に対して±30°以内で計測すること。
計測プロセス	<ol style="list-style-type: none"> 事前準備 支承の種類や可動域・可動方向などの基本性能を調査する。 橋梁の種類や規模、機材の設置位置及び設置位置からの支承もしくは支承近傍の構造までの距離、撮影対象表面の様態の状態、地形条件、照明の要否、撮影条件等を調査する。これらを踏まえ、最適な機材構成を検討し、効率的な撮影計画を立案する。 機材設置 撮影計画に基づき、計測目的に合った機材を現場に持ち込み、機材を設置する。三脚を安定した場所に設置し、三脚にカメラ・レンズを取り付けて、計測対象に向けて固定する。カメラと制御用PCをUSBケーブルで接続する。 撮影条件設定・キャリブレーション 作業者は、制御用PCにインストールされている撮影・計測用ソフトウェアを立ち上げて撮影画像を観察しながら、三脚・カメラ・レンズを調整し、カメラの向き・画角・フォーカスを合わせて、レンズの焦点距離を確認する。次に、撮影・計測用ソフトウェア上で撮影画像の明るさを確認しながら、撮影フレームレート・露光時間・最大撮影枚数を設定する。そして、レーザー距離計を用いて、カメラ・計測対象間の撮影距離および撮影角度を測定する。 作業者は、上記の撮影条件設定によって得た撮影パラメータ「レンズの焦点距離、撮影フレームレート・露光時間・最大撮影枚数、撮影距離、撮影角度」を、撮影・計測用ソフトウェアに入力する。これにより、キャリブレーションが完了する。 撮影・挙動算出・データ保存 撮影・計測用ソフトウェアを操作し、車両が通過する直前に撮影開始し、一定時間撮影を行う。撮影された時系列画像から、撮影と同時に3次元変位及び回転量の解析が行われ、制御用PCのグラフィックウインドウに描画される。作業者は、必要に応じて制御用PCに計測データ(動画データ、撮影パラメータ、3次元変位量・回転量)を保存する。
アウトプット	<ol style="list-style-type: none"> 動画画像生データ BMP 1.6GB(注1) 撮影パラメータ テキストデータ TXT 1KB 3次元変位・回転量 算出結果 テキストデータ TXT(注2) 850KB <p>(注1) フレームレート80fps、1枚あたり4MByte、撮影時間を5秒とした場合の1回の計測データ容量 (注2) ファイルフォーマットはテキストタブ区切り形式</p> <p>・現地計測の際、1か所の計測に要する時間は、計測準備に15分、計測に5分、その場でデータ確認が可能、機器の撤去に10分程度を要する。(車両待ちの時間は含まれない)</p>
計測頻度	<p>・橋梁の上を重量の大きな車両が通過するときに支承部の変位が発生しやすい。そのため、重量が大きな車両が通過した時の計測結果を確認するとよい。既知の重量車を走行させると変位の量の比較でも評価が可能となる。</p> <p>・数分計測し続けて支承の変位が観測できた時点で検査を終了してもよい。</p>
耐久性	<p>・計測機器の基本構成では防水・防塵性能は備えていない。</p> <p>・必要に応じてカメラ・レンズ・ハウジング・PCケースなどを選定して対応する。</p>
動力	<p>・計測装置(撮像部)は制御用PCからのUSB給電で駆動する。</p> <p>・制御用PCは内臓バッテリーで駆動する。</p> <p>・計測時間が長くなる場合はAC出力バッテリーで制御用PCを給電しながら駆動させることも可能。</p>
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
設置方法	<p>・データ収集・処理部となる制御用PCは、計測装置とUSB3.0ケーブルで接続する。</p> <p>・制御用PCは、三脚上部に1/4インチねじを用いて固定されたカメラ台に固定する。</p> <p>・機材の運搬に用いたケースやバックを台として利用してもよい。</p>

データ収集・通信装置		・データ収集・処理部は、計測対象に合わせて必要なスペックのものに付け替えが可能である。 以下に示すものは基本構成の一例である。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・データ収集・通信装置(制御用PC): 最小外形寸法(長さ390mm×幅280mm×高さ40mm) 最大外形寸法(長さ390mm×幅280mm×高さ280mm) 最大重量(1.9kgf)
	データ収集・記録機能	・作業者は、車両が通過するタイミングで撮影開始し、一定時間撮影を行う。 ・撮影された時系列画像は、制御用PCのRAM領域に確保されたリングバッファに一時的に書き込まれる。同時に、リアルタイムに3次元変位量・回転量の解析が実行され、それぞれ時系列波形として画面上で確認できる。 ・変位量の時系列波形(特に鉛直方向に対応する方向の変位量)から、大型車両が通過したタイミングを判断可能。それを機に計測終了してもよい。 ・既定値以上の変位量を確認した後にリングバッファをさかのぼって保存することも可能。 ・保存ボタンを押すと、リングバッファに書き込まれた時系列画像に対して再度3次元変位量・回転量の解析が行われ、解析結果と共にHDDに記録される。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・制御用PCは、PC内蔵バッテリー または AC給電可能なAC出力バッテリーを利用することも可能。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	・一時的にリングバッファに時系列画像をため込む構成となっているため、1度にデータ収集可能な時間は制御用PCのRAM容量によって制限される。 例:PCのRAM容量16GBの場合、リングバッファに12GBを割り当てが可能。この場合、1枚4MByteの画像を80fpsで撮影した場合37.5秒の連続撮影が可能。30fpsで撮影した場合100秒間連続撮影が可能。 ・保存データは制御用PCのHDD容量によって制限される。必要に応じて外付けHDDなどを利用することも可能。

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	【設置部】 ・最小所要空間寸法: 長さ、幅、高さ(530、530、855) mm 【設置場所までの移動時】 ・最小所要空間寸法: 長さ、幅、高さ(230、230、920) mm	・基本構成の場合の支持部と撮像部の構成で算出。 ・最小所要空間寸法(長さ530mm×幅530mm×高さ855mm) ・設置場所までの移動時の所要空間寸法(長さ230mm×幅230mm×高さ920mm) ※以下の基本構成時を想定して算出。 ・三脚:マンフロット 055プロアルミニウム 三脚3段+RC2付き3ウェイ雲台キット ・カメラ:Ximea MQ042MG-CM ・レンズ:AI AF Nikkor 180mm f/2.8D IF-ED ・レンズアダプタ:C マウントアダプター ニコンF 用 ※レンズや三脚を小さいものを選択することで、さらに小さい構成とすることが可能。
	標準試験値	未検証	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	・最大距離:3m(カメラと制御PC間の距離)	・基本構成としてカメラと制御PC間を3mのUSBケーブルで接続した場合。USBケーブルの範囲(2.5m)(カメラと制御PC間)で可動可能。必要な長さのUSBケーブルを選択することが可能。(USBケーブルの帯域によって制限あり) ・2名の作業員でカメラと制御用PCを同時に動かすことで、任意の場所に移動させることが可能。 ・1名の場合は、制御用PCの撮影ソフトウェアを立ち下げてからカメラを接続しているUSBケーブルを外すことで、それぞれを分離して移動させることが可能。
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承の変位計測(2020) 実施年 2020年 ・画面内方向変位(x,y方向): 相対差:5.7 μ m(10.00%) ・画面奥行き方向変位(z方向): 9.2 μ m(2.18%) ・回転量の相対差: 0.12 mrad(224.90%)	・撮影距離0.5~1mの実証現場での検証において ・画面内方向変位(x,y方向)の相対差 5.7 μ m(10.00%) ・画面奥行き方向変位(z方向)の相対差 9.2 μ m(2.18%) ・回転量の相対差 0.12 mrad(224.90%) ・計測対象表面が画面の半分以上を占めるように撮影すること ・計測対象表面での1画素相当量300 μ m程度であること ・計測対象表面に追跡できる模様が一樣に存在すること ・計測対象表面が平面に近い形状であること ・照明安定環境下、温度安定環境下で撮影すること ・雨、雪、陽炎などが映りこまないこと ・できるだけ正対して撮影すること(撮影角度は30度まで) ・カメラを固定して撮影できること	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験(2019) 実施年 2020年 ・グレースケールチャート識別可能	・計測対象表面における照度 112ルクス以上で計測する (112ルクス以上でグレースケール識別可能実績あり) (照明併用だと計測結果が安定する:照明使用時の照度1195ルクス) ・基本構成のカメラはモノクロのため、カラーチャートのグレースケール部のみを利用して評価 ・計測対象の表面が左記よりも暗いときには照明を併用することを推奨する	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	未検証	-	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
S/N比	性能確認シートの有無 ※	-			
	性能値	-	-		
	性能確認シートの有無 ※	2-5-23 無			
			・撮影距離10m以内の条件において、		

分解能	性能値	撮影距離10m以内の条件において、	<ul style="list-style-type: none"> ・画面内方向変位(x、y方向): 1画素の1/15~1/30 ・画面奥行き方向変位(z方向): 1画素の1/3 ・画面奥行き方向を軸とした回転角(rot方向): 0.2 mrad 	<ul style="list-style-type: none"> ・画面内方向変位(x、y方向): 計測対象表面での1画素相当量の約1/15~1/30程度 ・画面奥行き方向変位(z方向): 計測対象表面での1画素相当量の1/3程度 ・画面奥行き方向を軸とした回転角(rot方向): 0.2 mrad ・計測対象表面が画面の半分以上を占めるように撮影すること ・計測対象表面での1画素相当量300μm程度であること ・計測対象表面に追跡できる模様が一樣に存在すること ・計測対象表面が平面に近い形状であること ・照明安定環境下、温度安定環境下で撮影すること ・雨、雪、陽炎などが映りこまないこと ・できるだけ正対して撮影すること(撮影角度は30度まで) ・カメラを固定して撮影できること
-----	-----	-------------------	---	--

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	・路面への進入はなし。 ・車両確認による合図を行う場合は、車両が観察できる位置(歩道・のり面など)に合図者が立ち、計測作業者へトランシーバなどで合図を出す。	-
	桁下条件	・人が進入できる箇所 (長さ750mmの三脚を持って移動できる箇所)	-
	周辺条件	・計測対象表面に追跡可能な模様があること ・数秒間の計測時間中に大きな環境光変動が発生しないこと ・計測対象表面に局所的な照明変化(水面からの反射光など)が発生しないこと ・カメラ-計測対象表面間に雨粒や雪、植物、昆虫などが入り込まないこと	・模様がない場合は、スプレー等で模様をつけることで計測可能となる場合がある ・暗くて画像が映らない場合は別途照明を利用することを推奨する ・局所的な明るさの変化・ものの動きを変位として誤算出してしまうため
	安全面への配慮	レーザ距離計を利用する際はレーザ光をのぞき込まないこと。人や車道へは向けない事。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	OJTによる説明・講習を受け、撮影方法や注意点を習得した者が調査対応することが望ましい。	-
	必要構成人員数	制御用PCの操作者1人、補助者(車両通過の合図出し等):1名 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	(川金・NECが下記作業を行う場合) ・計測作業 45万円/日(計測作業日数) ・解析・報告書作成作業 50万円/日(計測作業日数)	・経費(交通費・機材輸送費等)は別途要求 ・1~2径間程の小規模橋梁の場合、1~2橋梁/日の計測が可能
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	特になし 車両検知センサを利用した自動測定は一部利用可能	-
	利用形態:リース等の入手性	計測作業及び解析・報告書作成作業を川金・NECが請負で実施。	・別の提供メニューも必要に応じて対応。要相談。
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	必要に応じて別途ご契約	-
	センシングデバイスの点検	必要に応じて別途ご契約	-
	その他	-	-

6. 図面

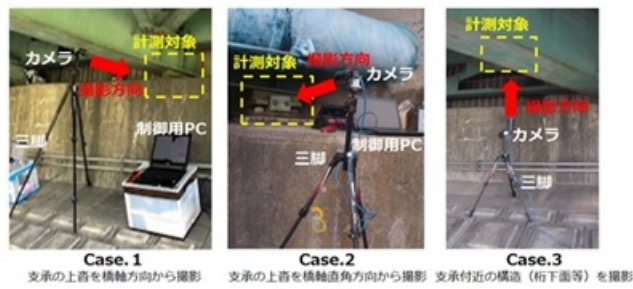


図2 現場での適用事例

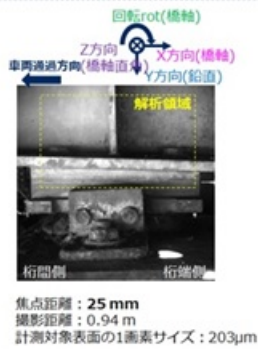
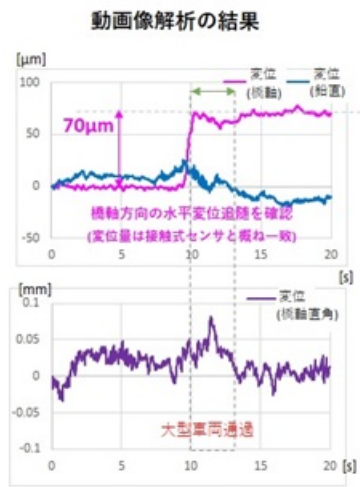


図3 橋軸直角方向から支承の上を撮影した例 (Case.2の事例)



接触式センサの結果

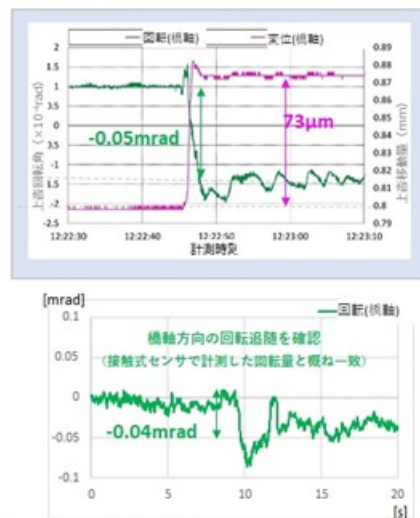


図4 Case.2 橋軸直角方向から支承の上を撮影した時の変位解析結果 (接触式センサとの比較例)

1. 基本事項

技術番号	BR030004-V0323		
技術名	動画画像変位計測システム Zoom300		
技術バージョン	2.4.39	作成:	2023年3月
開発者	(株)ズームスケープ		
連絡先等	TEL: 077-514-8191	E-mail:	public@zoomscape.net 本社 小野 徹
現有台数・基地	11	基地	(株)ズームスケープ (株)レックス 兵庫県西宮市 ※レンタル契約
技術概要	<p>Zoom300は、接近が難しい高所に位置する支承や桁などの計測対象部位に対し、計測機器や測定ターゲットを設置することなく、遠方(桁下部～50m離れ)から望遠レンズを搭載したデジタルカメラで動画撮影を行い、動画画像解析ソフトにより鉛直・水平変位を算出することで、計測対象部位の動的挙動パターンの計測・解析を行う技術である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般走行する大型車両による移動荷重をもとに計測対象部位の挙動の解析を行うため、試験車両を必要とせず、大型車両の走行が多い道路であれば、5分程度撮影すればよい。 ・現場における設置作業についても、カメラを設置した後、レーザー距離計により計測対象までの距離や撮影角を測るだけであり、1カ所当たり1時間程度と短時間で済み、効率的かつ安全である。 ・予めターゲットを設置しておく必要がないため、解析目的に合わせ計測点を追加配置できる。その操作もノートパソコンの画面上で計測箇所を指定するだけなので、自由度が高く簡便である。 		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 下部構造(橋脚) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	画像(動画)		
検出項目	変位量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>4K動画撮影または連続撮影可能なカメラ及びレンズ、レーザー距離計が主な撮影機材である。</p> <p>主な機材構成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・4K動画対応カメラ 1台 ・望遠レンズ対応タイプ三脚 1本 ・解析用PC 1台 ・レーザー距離計 1台 ・取り付け治具 1セット ・運搬用保護ケース <p>解析用PCにはZoom300専用ソフトウェアが搭載されている。 撮影機材と解析用PCは1個の運搬用の保護ケースに入れて提供される。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	<p>手運搬</p> <p>撮影機材と解析用PCは運搬用のケースに同梱される。運搬用ケースは手提げ可能な大きさである。三脚は別の運搬用ケースに入れられて、肩ひもをかけて持ち運ぶことができる。 1セットを1名で運搬可能である。 現場までは車または列車及び徒歩で移動可能な大きさと重さである。</p>	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	足元が強固で安全な場所に三脚を動かさないようにしっかり固定し、その上に撮影機材を取り付ける。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・運搬用の保護ケース 455mm×370mm×200mm 運搬時重量(機材含) 6kg ・三脚用のケース 160mm×820mm×130mm 運搬時重量(三脚含) 4kg ・カメラ 幅200mm×長さ300mm×高さ200mm ・三脚 展開時 幅900mm×長さ900mm×高さ1000mm 		
センシングデバイス	<p>カメラ パナソニックLumix DC-GH5S (4K動画機能を利用 センサー:フォーサーズ)</p> <p>レンズ1 オリンパス M.ZUIKO DIGITAL ED 75-300mm F4.8-6.7 II</p> <p>レンズ2 オリンパス M.ZUIKO DIGITAL ED 40-150mm F4-5.6 R</p> <p>※ 撮影機材のメーカーの生産の都合により機種は変更となることがある。</p>		
計測原理	<p>通常非接触計測手法では事前に計測点としてターゲットを設置するものが多いが、Zoom300では、計測点にターゲットを設置せずに、計測対象に向けて動画撮影すればよい(図面 実施例、撮影配置例 参照)。</p> <p>画像解析ソフト内の画像上でターゲットの代替となる特徴のある領域(エッジ部など)を指定することで計測点とする。画像処理により、動画画像内で発生する微小な計測点の動きが自動的に追尾される。ここで捉えられる動きは、画像平面内での画素単位の動きであって実寸ではない。そこで、事前にレーザー距離計により計測しておいた撮影距離や撮影角を与えることで、実寸単位での鉛直方向・水平方向の変位に変換する。さらに、計測点だけでなく不動点を指定することで、正確な計測点の経時変化図が作成される(図面 変位グラフ例 参照)。</p> <p>画像上で指定する代替ターゲットは、コントラストがあり模様やエッジがあるなどの必要条件はあるが、橋脚(支承部)であればコンクリートの表面模様・台座金属部分において適用可能である。なお、本技術は画像内の輝度の変化をもとに挙動を捉えるものなので、外光の影響(対象の明るさや日照移動や影の移動)、天候など周辺環境の影響を受ける。また、カメラの動きも精度に影響を与えるため、カメラが強固に設置され基本的に動かないことが前提となる。</p> <p>また、計測範囲(写真が写り込む範囲)と計測精度は、レンズの焦点距離と撮影距離によって異なる。「撮影距離と計測精度」及び「撮影距離と計測範囲」との関係は焦点距離ごとに図面に示す(図面 撮影距離と計測精度・計測範囲 参照)。</p>		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測装置設置箇所の地面は強固である必要がある。 ・計測装置から計測対象まで遮蔽物の通過が無いよう、計測装置設置箇所の選定が必要である。 ・計測対象の外観に明瞭な模様やエッジがあることが必要であり、透過や鏡面反射が生じる箇所や光沢のある箇所には適用不可である。 ・カメラと計測対象との間に、車両や人の通過がある場合は計測できないことがある。 ・強雨や降雪時、霧の発生時には計測できないことがある(少雨なら計測可能)。 ・夜間など暗い環境下では、外部照明が必要である。 ・強い振動がある場合には計測できないことがある(微小であればカメラが揺れても問題ない)。 		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・解析誤差は撮影距離に比例するため、撮影距離は可能な限り短く設定することが好ましい。(50m以内) ・計測精度はレンズの焦点距離の影響も受けるため、7. 図面に示す「撮影距離と計測精度」のグラフを参考に、適切な撮影距離やレンズの選択を行うべきである。2-5-29 ・大きな大気ゆらぎが生ずる場合は計測精度が低下する ・強風が吹いてカメラが揺れる場合は精度が低下する ・暗い環境下では精度が低下する 		

計測装置		・カメラの撮影方向により、水平方向(主桁軸方向)の変位の精度が低下する場合がある。6.図面の「撮影配置例」のように、主桁軸に対して直交するように(桁側面方向に)カメラを向けるのが望ましい。
	計測プロセス	計測現場にはキャリブレーション実施済み機材を搬入すること。 (キャリブレーションとは、カメラセット毎に撮影距離と実測値との関係を求めておき、1画素あたりの実寸法を撮影距離毎に較正しておくことである。レンタルの場合は、事前にキャリブレーション済みの機材が提供される) また、事前に図面の「撮影距離と計測精度」との関係及び「撮影距離と計測範囲」との関係から、適切な焦点距離のレンズを選択しておき、下見などの段階で、撮影範囲や計測精度が適切であるか確認しておくことが望ましい。 計測現場で行うのは、 ①カメラなど撮影機材の設置 ②カメラから計測対象までの距離及び角度の計測(レーザー距離計を使用) ③カメラのピント合わせ ④撮影(大型車両の通行を利用するので、大型車両の通行量が多い道路では5分程度撮影すればよい) ⑤カメラで記録された動画ファイルを解析用PCに転送(SDカード) ⑥解析用PCにより画像解析 である。 なお、画像解析は後処理でも構わないが、5分間の撮影であれば解析処理時間は5分程度なので、現場で処理することで計測結果をすぐに確認できる(経時変化図、挙動パターン)。計測対象物にターゲットなどを設置したり、機器類を設置する必要がないため、作業時間は短ければ1時間程度で完了する。 また、撮影距離が大きい場合や悪天候の場合には、実計測前に車両などが通過していない計測対象が静止した状態で撮影及び画像解析を行い、グラフの乱れをもとに精度の確認を行うとよい。グラフの乱れが大きい場合は、撮影距離を小さくしたり、気象条件が整うまで実計測を待つなどの措置を取るべきである。
	アウトプット	・解析PCのソフトウェア上で、水平方向の変位のグラフ、鉛直方向の変位グラフが表示される(図面 変位グラフ例 参照)。 ・計測される変位のデータはCSVファイルにて保存される。変位の折れ線グラフはGIF形式にて保存される。
	計測頻度	・1現場計測分について 5分間に9000回(=30Hz×5分×60秒)
	耐久性	・少雨程度の防水性能と耐防塵性能を持つ(解析用PC除く) ・長期間の撮影には向かない(連続2時間程度、断続的な撮影には1日程度) ・撮影機材の耐久年数は撮影頻度による(通常数年間は利用可能)
	動力	・計測装置のバッテリーより供給(カメラ、レーザー距離計、PCに内蔵) ※外部電源は必要なし
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・カメラについては内蔵バッテリーのみの場合、連続2時間程度(気温による) ・連続撮影時間は記録メディアの容量によっても変わる(128GB以上のSDカードなら4K動画でも2時間以上の記録が可能) ・レーザー距離計については連続稼働は不要なため未計測(スペック上は5000回計測可能)
データ収集・通信装置	設置方法	移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	・カメラの記録メディア(4K動画対応SDカード) ・解析用ノートPC
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	PC本体のバッテリー
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・誤差:0.1mm以内	<ul style="list-style-type: none"> ・接触式変位計との比較(桁たわみ) ・上段①カメラ① 撮影距離:5.7m、焦点距離:40mm、参照値(単純平均):-4.4045mm、測定値(単純平均):-4.3748mm、平均二乗誤差:0.04mm (0.9%) ・下段②カメラ② 撮影距離:11.2m、焦点距離:75mm、参照値(単純平均):-4.4045mm、測定値(単純平均):-4.4034mm、平均二乗誤差:0.03mm (0.7%) 	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承部の機能障害(2020) 実施年 2020年 ①誤差:0.04mm (0.9%) ②誤差:0.03mm (0.7%)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測精度は撮影距離、レンズ焦点距離(f)、カメラセンサ性能に依存する。 ・大きな大気揺らぎがないこと、強風が吹いていないこと、十分に明るく明るさの変化が小さいこと、雨天・霧・雪ではないこと 	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 (2019) 実施年2020年 ・フルカラーチャート識別可能	<ul style="list-style-type: none"> ・日照時においては、桁下においても計測可能 ・夜間や閉鎖空間においては、外部照明が必要となる 	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・測定範囲:100mm	<ul style="list-style-type: none"> ・測定範囲 100mm (支承上部の変位量の最大値) ※撮影距離やレンズの焦点距離により異なる。 ・大型車両通行時に発生する支承上部・桁の変位は大きくても数mmなので、測定範囲を超えることは通常ない。 	
	感度	校正方法	・カメラセット毎に距離と実測値の関係を求めて1画素あたりの寸法を距離毎に校正		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・分解能:0.01mm	・レンズ焦点距離40-300mm		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	桁高50m未満 計測装置を桁下に設置する場合、桁下は人が進入できる箇所が必要である。	-
	周辺条件	撮影距離50m未満にカメラ設置可能な場所があること カメラ設置個所の地盤が強固で揺れが発生しないこと	-
	安全面への配慮	計測中は注意喚起の看板の設置 道路脇で作業する場合は、カラーコーンなどを設置する	高所作業はない(高所作業車・足場不要)
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

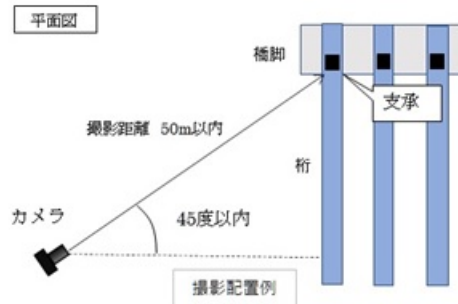
5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	当社内技術研修の修了(1日程度の研修)	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	桁下周辺	-
	計測費用	レンタル費用例 基本整備費 370,000円 システム損料16,000円/日(使用期間5日の場合) 人件費相当額	計測作業はシステムを貸し出す(または販売する)ことを前提に、システム損料のみを示した。 利用期間などにより日単価は大きく異なる。 当社が計測作業を請け負う場合はシステム使用料+2人分の人件費と旅費が必要(要見積)。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険に加入している(基本整備費内)	-
	自動制御の有無	自動制御無し	-
	利用形態:リース等の入手性	(株)ズームスケープからの購入、または(株)レックスからのレンタル	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	-
	センシングデバイスの点検	内規定に基づく。 レンタルの場合は現場毎に点検を行う。	-
	その他	-	-

6. 図面

概要説明図

構造物の2次元変位・歪を望遠デジタルカメラで簡単測定!!



1. 基本事項

技術番号	BR030005-V0323		
技術名	FBG方式光ファイバーセンサー		
技術バージョン	EFOX-1000B-4	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 共和電業		
連絡先等	TEL: 042-485-6623	E-mail: matsuyama@kyowa-ei.co.jp	インフラ営業部 松山・住井
現有台数・基地	センサー: 受注生産 (0~50mm; 3ヶ月) 測定器 : 3台所有	基地	東京都調布市調布ヶ丘3丁目5-1
技術概要	<p>概要:</p> <p>FBG (Fiber Bragg Grating)方式の光ファイバー変位センサー(以下:センサ)とその計測器(EFOX-1000B-4)を用いて、支承部および桁における走行車両の影響を調査する。</p> <p>センサ本体は、主に橋桁に固定し、センサの可動ロッド先端部は橋台に固定することで、支承部の変位量を計測する技術である。</p> <p>具体的には、支承部の変位がセンサのFBGへ入力されると、その変位量がFBGのブラッグ波長の変化となる。計測器によってそのブラッグ波長を計測し、計測用PCの制御ソフト内で、ブラッグ波長を物理量(変位量)に変換し、時系列データと共に保存される。</p> <p>必要な機器構成:</p> <p>FBG方式光ファイバーセンサー(以下、センサ と呼ぶ)</p> <p>計測器(EFOX-1000B-4)、計測用PC(ソフト含む)、ケーブル類、商用電源、その他、現場環境による。</p> <p>計測対象となる部位:</p> <p>支承部および桁</p> <p>測定内容:</p> <p>支承部および桁における走行車両の影響を調査する。特に、大型車両走行時の支承部の変位量を計測する。計測器、PCは、測定時のみ設置する測定方法も可能である。一定時間を置いて、複数回計測することで、計測箇所の変位量が経年変化等による変化が無いか確認する。橋梁に配置された各センサーは光ファイバーで直列につなぐため、計測点数が複数点であっても省配線となる特徴を持つ。(1本の光ファイバーに直列につなげられるセンサー数は、センサーの仕様、条件によって変わるが、数十点のセンサーを接続可能)</p> <p>計測タイミング:</p> <p>センサーを設置後、点検時等のに計測器とPCを持参し、任意のタイミングで計測するか、常設し、日中、深夜問わず、新設時からの計測や長期維持管理でも使用できる計測技術である。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	光ファイバー		
検出項目	変位量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>機器構成は、FBG方式光ファイバー変位センサー、計測器(EFOX-1000B-4)、計測用PC(収録ソフト)とそれらをつなぐケーブル類。(※ PC、計測器に電源(AC100V)が必要)</p> <p>本技術は、対象の橋梁支保部に、FBG方式光ファイバーセンサーを取付け、車両走行時の支保部変位量を計測する技術である。FBG方式は光ファイバー1本にセンサーを複数個、直列配置できるため、省配線化が実現する。また光ファイバーセンサーは、他の技術と比較して、特徴である、①外来ノイズの影響を受けない②絶縁抵抗の低下による計測不良がない③雷サージなどによる故障がない。計測器の光源は、波長帯域が1460nm～1620nmとワイドであり、1本の光ファイバー上に数十個のセンサを構成することができるため、多点計測が可能。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	センサ設置方法は、金具にセンサを固定し、金具と橋梁、桁などをシャコ万力などで固定する。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>変位センサ ① 0～50mm測定用センサー(延長ケーブルは除く) 152.4mm×76.2mm×44.5mm、約1.0kg</p> <p>② 0～12mm測定用センサー(延長ケーブルは除く) 13.9.7mm×95.2mm×42.8mm、約1.0kg</p> <p>※ 対象橋梁の想定変位量に合わせたセンサー容量とすることが望ましい。</p> <p>計測器 206mm×79mm×274mm 約3.0kg</p>		
センシングデバイス	FBG方式光ファイバー変位センサー		
計測原理	<p>計測原理 : (FBG光ファイバ測定システムの原理 参照)</p> <p>光ファイバーに光が入射されるとファイバ内を伝送する。光ファイバ内に記された回折格子(FBG)を通過する際、ブラッグ波長と呼ばれる回折格子の間隔に比例した特定の波長成分が反射され、残りの波長成分は透過する。</p> <p>このFBGに温度や外力が加わるとファイバーは膨張、伸張し、それに伴い回折格子の間隔も変わる為、ブラッグ波長も変化する。このFBGの特性を活かし、変位量の変化をセンシングする技術である。</p> <p>FBG光ファイバ式測定の原理 前述のセンサを1本のファイバー上に構成することで多点計測が実現する。</p> <p>計測器は、光通信で多用されている波長分割多重伝送方式(WDM方式)を採用しており、1本の光ファイバー辺り、4nm刻みで最大40CH/1ポート、2nm刻みで最大80CH/ポートの多点長距離計測が可能である。 また、本計測器は、NISTにより認証されたガスセルによって、レーザ光の波長校正を絶えず行っているため、高精度なブラッグ波長を計測できる。</p>		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>1. 計測用の電源が安定して供給されること</p> <p>2. 配線する光ファイバケーブルが、鋭角に曲げたり、飛来物などが直接当たる恐れが無い事</p> <p>3. 変位計の変位伝達ロッド(先端)は、測定対象に接触させる必要あり</p> <p>4. 変位計の初期設置時に変位計 測定範囲の中間付近で取付けることが望ましい。</p>		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>1. センサー測定範囲を想定される変位量より若干大きい容量を選定する (最大変位量を確実に把握し、精度良く計測する為)</p> <p>2. サンプリング周波数 500Hz以上 (最大変位量を確実に計測する為)</p> <p>3. 計測中の温度計測 (温度変化によるセンサーへの影響が大きく、補正用に必要のため) ※ 走行車両による支保部の変位計測の場合、短時間での測定の為、温度影響を受ける可能性が低い。</p>		
計測装置	<p>① 支保部および桁に設置した変位センサにより、変位における光波長の変化を検出する。 2. 基本諸元【機器配置イメージ】を参照願います。</p> <p>② 検出・送信部にて、光のピーク波長を検出し、時系列データ化したピーク波長データをPCへ送信する。</p> <p>③ 集録・処理部にて、係数演算し物理量(変位データ)算出し、CSVファイルで保存される。</p> <p>④ 集録時に、PCにて、リアルタイム波形表示が可能。</p>		

計測プロセス		
	アウトプット	計測データは、集録PCに直接変位量で記録。 左から右への順で、時系列データ、CH番号(1CH～)となる。 上から下への順で、時系列の変位データ。最下部が最後のデータとなる。 データ形式はCSVファイル。
	計測頻度	計測頻度は、使用先の下記より任意設定となる サンプリング周波数 1,2,5,10,20,50,100,200,500,1000Hz
	耐久性	・IP40程度 (観測小屋、収納ボックス等に収納し、温度変化が無い事が望ましい)
	動力	センサーに必要な動力(電源等)は、不要。 計測器の消費電力は最大40W
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	温度 -20~60℃、湿度 20~80%(結露無し)の環境に設置し、極力、振動の無い場所に設置する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測用パソコン:集録用ノートPC 市販品 程度 測定器(EFOX-1000B-4)
	データ収集・記録機能	集録PCへ、リアルタイムに変位データで直接PC内部のHDDに保存される。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	AC100V もしくは DC9~36V
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	集録PCのHDD空き容量に依存する。 (参考例) サンプリング1000Hz、1点測定、10分間 40MB程度

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承部の機能障害(2020) 実施年 2020年 ・精度:5.407% ・相対差:0.074mm(橋軸方向)	・参照値(単純平均):-1.310mm ・測定値(単純平均):-1.374mm	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・測定器 計測波長レンジ:1460~1620nm、 精度:±1pm ・センサー:0~50mmもしくは0~12mm	・現場に即したセンサー容量を選ぶ ・左記以外のセンサー容量の場合、別途注文扱い	
	感度	校正方法	・ガスセルで計測中は常に校正される。		・計測器内部にNISTが定めるガスセルを用いた波長校正法に適合しているため、計測中は常に校正される。
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・検出率:100%	・検出範囲内の光強度が確保できている場合
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	有	
			性能値	・測定器:1pm ・センサー:0~50mmの変位センサーの場合、 0.00539mm/pm	・検出範囲内の光強度が確保できている場合 ・実負荷校正結果による(センサー個別)
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値		・40dB(ピークディテクト 25dB)以上	・センサ接続ケーブルなどの減衰影響を考慮しない場合	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・±0.05pm以内(1Hz) ・センサー:0~50mmの変位センサーの場合、 0.00027mm/pm	-	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	変位計を設置できるスペースが確保できる事	センサー設置の為、取付面の高さを調整する金具を設置する可能性あり。
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	センサー設置時に、高所作業車が必要な可能性あり。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	パソコン操作、EXCEL等でデータ整理ができる程度	現場計測前に、複数回、事前計測トレーニングが必要
	必要構成人員数	センサー設置作業1名、測定担当者1名 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	屋内、屋外 問わず(雨水がかからない事)	-
	計測費用	機器レンタル、業務委託を含めた場合 調査費用 1日およそ10万円 機械経費 損料 最低1週間 およそ25万円 その他の経費 およそ 5万円 ※ センサは購入が必要(16~19万/台)	関東地域の日帰り可能な場所とする
	保険の有無、保障範囲、費用	保険 無し	-
	自動制御の有無	自動制御なし	ソフト上であらかじめ設定した計測条件で自動計測可能
	利用形態:リース等の入手性	①機器販売 ②機器レンタル ③業務委託 ただし、センサは、購入が必要	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	担当部署にて、電話によるお問合せ可能 (平日9時から17時まで)	-
	センシングデバイスの点検	-	-
その他	購入の場合は、初回サポート対応付き	-	

1. 基本事項

技術番号	BR030006-V0323		
技術名	IoTカメラを用いた支承機能モニタリングシステム		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社イクシス		
連絡先等	TEL: 044-589-1500	E-mail: ixs-npro@ixs.co.jp	金野寿哉
現有台数・基地	30台	基地	神奈川県川崎市幸区新川崎7-7
技術概要	<p>本技術は、「IoTカメラと画像解析技術」を使用して橋梁支承部のボルトについてゆるみ量、腐食発生状態を計測する技術である。測定対象はボルトであり、測定項目は腐食・ゆるみ・脱落が対象となる。</p> <p>測定インターバル時間を任意で設定する機能を有し、インターバル時刻になると支承部の画像を取得する。取得した画像データは、電話回線を用いて専用外部サーバーに転送される。</p> <p>専用外部サーバーの画像解析アプリケーションは、測定項目であるボルトのゆるみ量、腐食発生状態を算出する。</p>		
技術区分	対象部位	支承部(支承本体,アンカーボルト,落橋防止システム,沓座モルタル,台座コンクリート) H形鋼桁橋(支承部(支承本体)) RC床版橋(RC床版橋(支承部(支承本体)))	
	損傷の種類	鋼	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化
		コンクリート	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	⑫漏水・滞水 ⑬変形・欠損
検出原理	画像(静止画/動画)		
検出項目	ボルトのゆるみ/腐食の発生状態		

2. 基本諸元

計測機器の構成		・本計測機器は、画像取得カメラ部+データ収集記録装置+通信装置+内臓バッテリーが一体構造であり、橋脚天端に固定し計測を行うものである。また計測したデータ(画像データ)は、計測機器一体構造の通信装置がLTEで、専用サーバーに転送される。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	【据置型】 ・本計測機器は、画像取得カメラ部+データ収集記録装置+通信装置+内臓バッテリーが一体構造であり、橋脚天端に固定し計測を行うものである。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
動力	・動力源:電気式 ・電源供給容量:内臓バッテリーまたは、外部電源供給 ・定格容量:6.0V		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・1回/日×30日(外気温度40℃~-2℃) ・1回/時×2日(外気温度40℃~-2℃)		
設置方法	・計測機器(一体構造)をボルト・ナットにより取付を行う。その際、橋脚天端にボルトを取り付けた専用のアタッチメント(L200mm×W250mm鉄板)が必要である。専用のアタッチメントは、アンカーボルト(M6埋め込み深さ30mm)または、コンクリート用ボンドで固定する。 ・測定対象であるボルト・支承部が測定画像画角内に収まるように位置に設置を行いボルト・支承部の画像取得に支障がない位置に1mm単位(全長100mm)のスケールを設置する。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	・一体構造(計測装置+データ収集記録装置+通信装置+内臓バッテリー): 最大外形寸(L160mm×W160mm×H175mm)、最大重量(1kg)		
センシングデバイス	・カメラユニット部 CCTV方式		
計測原理	・橋脚天端に設置(据置)した計測装置で測定対象部の撮影を行う。取得した画像データの解析を行い測定対象(ボルト)箇所的位置情報を算出する。測定毎に算出された位置情報と計測開始時に取得した初期値画像より算出したボルト箇所的位置情報を比較を行いボルトのゆるみ、脱落などを把握する。 また、色識別機能を使用しボルトの腐食発生状態を同時に把握する。		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・計測機器を測定対象項目により橋脚天端部にそれぞれ設置(据置)する。 ・計測装置は、測定部(ボルト)、支承部の沓座不動点(不動点)の画像を取得できるように位置を調整する必要がある。 鉛直方向及び水平方向1軸 色識別測定1面 設置カメラ1台 鉛直方向及び水平方向1軸 色識別測定2面 設置カメラ2台		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・計測毎画像データからボルトのゆるみ・脱落/腐食の発生状態を解析する為、測定箇所と測定レンズの間の視野に障害物が無いように留意する必要がある。障害物等を検出した際は、解析データが特異値として位置座標を算出し正常な指示値を示すことが考えられる。 ・適切な測定結果が得られるよう、測定レンズの汚れや気温変化による曇りなどの発生を防ぐように考慮する必要がある。 ・計測時に計測装置に振動が与えられた場合、画像取得データからの解析による測点位置座標の誤差が発生することが考えられる。 ・画像処理においては、蛍光灯などの波長に影響する場合がある。カメラ設置位置より視通可能な蛍光灯が設置されている場合は、画像を取得し乱れ等が無き事をデータサーバーに画像を送り専用アプリケーションで確認を行う。波長域が被る場合、環境外の波長域、例えば赤外線波長を使用して干渉しないようにする。 ・画像処理においては、測定対象物の色識別判定技術を用いて測定部の腐食検出を行う。泥水等の測定部の汚れなどが検出精度の影響が考えられる。		
計測装置	①橋脚天端に計測機器設置後に計測装置よりボルト、支承部沓座(不動点)画像を取得する。 ②画像取得したデータを携帯電話回線を利用しインターネット網から専用サーバーへ転送する。 ③転送された画像データの支承部沓座部(不動点)2点に座標(水平、鉛直)を入力する。 ※不動点位置は、点検技術者が指定する。部材サイズは設計及び実寸(メジャー等にて測定) ④上記作業により測定部(ボルト形状測定)の初期値座標(水平、鉛直)と部材の色(RGB値)が画像解析アプリケーションで算出される。 本作業で計測初期値座標が算出され記憶された初期値画像データが生成される。 ⑤設定インターバル毎に計測装置よりボルト、支承部沓座(不動点)画像を取得する。 ⑥画像取得したデータを電話回線を利用しインターネット網から専用サーバーへ転送する。 ⑦転送された画像データと初期値画像データを画像解析アプリケーションで重ね合わせ処理を行い(不動点とした支承部沓座(不動点)形状を自動把握し画像を重ね合わせる)。 ⑧重ね合わせた最新の画像データの支承部沓座(不動点)に座標を入力する。(水平、鉛直) ⑨上記作業により測定部(ボルト形状測定)の座標(水平方向、鉛直方向)と部材の色(RGB値)が画像解析アプリケーションで算出される。 ⑩上記作業で算出された測定部座標(水平方向、鉛直方向)と初期値画像データの測定部座標を画像解析アプリケーションで比較し相対変位量を算出する。 ⑪上記作業で算出された測定部(ボルト)の色データ(RGB値)と初期値画像データの測定部色データ(RGB値)を画像解析アプリケーションで色識別判別を行い腐食の発生状況を測定する。		
計測プロセス			

	<p style="text-align: center;">図 処理フロー図</p>
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・測定項目 ボルトの変位(ゆるみ)、脱落、腐食(色識別技術)を色データであるRGB数値で表示。 ・測定データは、テキスト形式ファイルでダウンロードが可能。
計測頻度	初期値画像データ取得後 測定時間30秒/1回の計測
耐久性	IP66
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・動力源:電気式 ・電源供給容量:内臓バッテリーまたは、外部電源供給 ・定格容量:6.0V
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・48時間(外気温:0℃~40℃、60分に1回計測の場合) ・30日間(外気温:0℃~40℃、1日に1回計測の場合) ・180日間(外気温:0℃~40℃、30日に1回計測の場合)
設置方法	計測装置をボルト・ナットにより取付を行う。その際、ボルト位置の調整が可能な専用のアタッチメント(20cm×20cm鉄板)が必要である。
外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・記録メディア(SDカード)に保存 ・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータをインターネット(携帯電話回線)経由で専用サーバーに伝送しハードディスクに保存
通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 LTE ・通信規格 2.1GHz帯 ・通信速度 22Mbps-43Mbps ・通信距離 数m~数km
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	認証方式:WPA、WPA2-PSK
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・動力源:電気式 ・電源供給容量:内臓バッテリーまたは、外部電源供給 ・定格容量:6.0V
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・48時間(外気温:0℃~40℃、60分に1回計測の場合) ・30日間(外気温:0℃~40℃、1日に1回計測の場合) ・180日間(外気温:0℃~40℃、30日に1回計測の場合)

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	・絶対誤差 0.42mm	・試験体測定 3データ誤差を平均 ・真値:10mm、31mm、52mm ・測定値:9.5mm、30.7mm、51.4mm	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	・フルカラーチャート識別可能	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・変位量=±0.5mm~±100.0mm	-	
	感度	校正方法	・メーカー点検保証		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値	-		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	未検証	・変位量=±0.1mm カメラレンズから測定部距離が50cmで1ピクセルあたり0.1mm		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

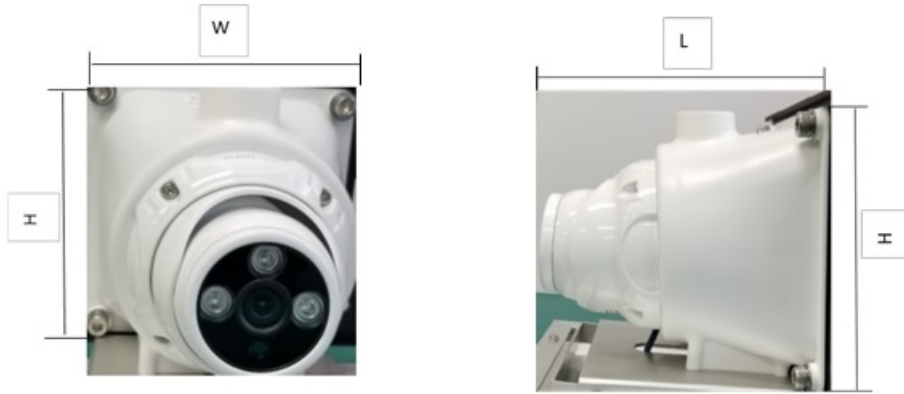
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	橋脚天端は人が進入し作業ができる箇所約50cm以上の離隔が取れること。	-
	周辺条件	計測機器据置き設置位置である橋脚天端に20cm×20cmの平坦領域が必要かつ測定対象部とカメラレンズ位置は5cm以上の離隔が取れること。	-
	安全面への配慮	計測装置設置時は、一般的な高所作業の対策を実施の事	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	IoTネットワークカメラ設置マニュアル(イクシス製)理解の事	-
	必要構成人員数	設置作業1人、補助員1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	対象となる橋梁条件を設定し、計測機器の月額レンタル費用を記載する。 ただし、消費税、一般管理費、間接工事費、旅費交通費、諸経費は含まない。 【橋梁条件】 橋種[鋼橋・Co橋] 部位・部材[支承部アンカーボルト] 検出項目: 支承部アンカーボルトの腐食・ゆるみ・脱落 月額レンタル費用: 70,000円/1台、220,000円/4台	-
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	インターバル機能、自動画像取得、画像データ伝送有	-
	利用形態:リース等の入手性	購入及びレンタル	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	-
	センシングデバイスの点検	-	-
その他	-	-	

6. 図面



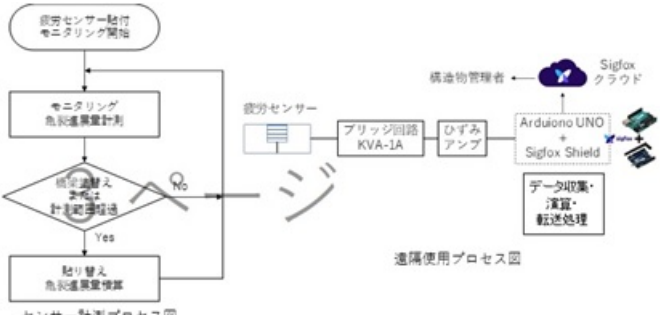
・ 一体構造 (計測装置 + データ収集記録装置 + 通信装置 + 内蔵バッテリー) :
最大外形寸 (L160mm × W160mm × H175mm) 、最大重量 (1kg)

1. 基本事項

技術番号	BR030007-V0323		
技術名	橋守疲労センサーによる橋梁の疲労損傷度モニタリング技術		
技術バージョン	200407	作成:	2023年3月
開発者	特定非営利活動法人 橋守支援センター		
連絡先等	TEL: 0669616173	E-mail: info@kyobashi.net	倉橋靖子
現有台数・基地	10	基地	大阪市淀川区
技術概要	橋守疲労センサーは亀裂を有したステンレス薄板である。橋梁部材に貼付されると、部材の応力履歴すなわち応力範囲と頻度に応じてセンサーの亀裂が進展する。その進展量は部材の応力履歴と比例関係になり、センサーの進展量から疲労損傷度を求めることができる		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	画像(静止画)／電圧		
検出項目	疲労損傷度/2点間のひずみ(伸縮量)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋守疲労センサー ・防護カバー <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋守疲労センサー ・防護カバー ・データ収録通信装置(LPWA通信) ・電源(ソーラーシステム) ・ブリッジボックス ・延長ケーブル ・電源ケーブル 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	【据置】 センサーは対象とする構造物に接着剤で貼付される。またモニタリング装置は上部工または下部工等に固定される。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
動力	-		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーは構造物に接着剤で貼付される。接着時にマグネットスタンド(200mm×100mm×150mm)2台とシートヒーターを使用する。 <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を用いる場合ではさらにパイラックやポールスタンド等、設置場所に応じた固定具を用意する。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサー本体(標準):長さ200mm×幅50mm×厚さ0.5mm、重量約40g <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置(Sigfox):長さ200mm×幅120mm×厚さ100mm(収納ボックスサイズ)、重量約1kg 		
センシングデバイス	<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目視(記録用デジタルカメラ) <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クラックゲージ:共和電業KV-25B 		
計測原理	<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーの亀裂長さを目視(記録用デジタルカメラ)により測定する <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーの亀裂長さを、グリッドの断線で抵抗が変化するクラックゲージの抵抗値で測定する 		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサー貼付時に計測部位へ近接する必要がある。 ・センサー貼付箇所は塗装などを剥がして鋼材素地を露出する必要がある。 ・センサーにプレストレスを導入するため接着時にマグネットスタンドとヒーターを使用する。 ・センサーは接着剤で貼付されるため雨や結露により接着面が濡れないようにする必要がある。接着面が湿潤した状態でセンサー貼付はできない(測定は雨天や積雪時でも可能)。 <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・①の適用条件に加え、通信装置を接続する場合は計測部位からモニタリング装置までケーブルを配線する必要がある。 ・ケーブル延長は100mまでとする。 		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>① 目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接着剤で貼付するひずみゲージ等と同様、マニュアルを逸脱した方法により接着不良が生じると対象物の挙動がセンサーへ正確に伝達されず精度に影響する。 <p>② 通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・①で示す要因に加え、通信装置による遠隔使用の場合、通常センサーの出力(ひずみ)のケーブル延長による感度低下が生じる(出力40μεごとのステップを判別するが、例えば100m延長時では39μεごとのステップとなる。通常この程度の延長であれば感度低下しても判別には支障しない)。 		
	<p>①目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサー貼付(マニュアルに従い接着し、防水処理を施す)。センサー運用開始 		

計測装置		<ul style="list-style-type: none"> ・センサーの亀裂長さを目視計測(デジタルカメラで記録) ・計測期間中の亀裂進展量から疲労損傷度を算出 ・貼付対象の塗装やセンサーの亀裂進展量が計測範囲を超えた場合は貼り換える。亀裂進展量と疲労損傷度は積算していく。 <p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサー本体の計測プロセスは①に準じる ・センサーの亀裂長さの計測は、クラックゲージのグリッドの断線による電気抵抗変化を測定することで行う。クラックゲージはブリッジ接続され抵抗変化はひずみデータとして収録される。 ・データはSigfox(LPWA)網により定期的にサーバへ転送される。 ・データはSigfoxサーバへアクセスするか、Sigfoxからメール送信させることで確認する。  <p>センサー計測プロセス図</p> <p>遠隔使用プロセス図</p>
アウトプット		<p>①目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーの亀裂長さ <p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測定日時、ひずみ値(測定生データ)
計測頻度		<p>①目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・定期点検毎(5年毎)または必要に応じて適宜 <p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1~10回/日(最大140回/日)
耐久性		<ul style="list-style-type: none"> ・センサー: IP13程度 ・接着剤10年以上(塗装以上の耐久性) ・通信装置: IP33程度(防雨ボックス)
動力		<p>①目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・動力は不要 <p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5V電源(ソーラーシステムまたは商用電源)
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		<p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・充電がない場合3日間(バッテリーのみ、外気温:10℃、1日1回計測の場合)
設置方法		<p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔モニタリング装置は上部工または下部工の安定した場所に設置し、有線でセンサーと接続
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> ・センサー本体(標準):長さ200mm×幅50mm×厚さ0.5mm、設置面積0.03㎡、重量約40g ・通信装置(Sigfox):長さ200mm×幅120mm×厚さ100mm(収納ボックスサイズ)、重量約1kg
データ収集・記録機能		<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔通信装置で収録する場合はSigfoxを利用 ・データはSigfoxサーバ上で保存されるほか、メールもしくはサーバへアクセス
通信規格(データを伝送し保存する場合)		<p>遠隔通信装置としてSigfoxを利用している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 Sigfox(LPWA) ・通信速度 上り100bps、下り600bps ・通信距離 数km~数十km(国内人工カバー率は95%としているが山間部などはサービスエリア外であることが多い)
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)		<p>遠隔通信に使用するSigfoxのセキュリティ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Sigfox基地局とバックエンドまではVPN接続 ・Sigfoxデバイス(モニタリング装置)とバックエンドまでは暗号化(AES-128) ・MAC認証
動力		<p>①目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・動力は不要 <p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5V電源(ソーラーシステムまたは商用電源)
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)		<p>①目視計測によるセンサー単体使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データ収集期間10年程度(ペイント塗り替え時にセンサー交換) <p>②通信装置による遠隔使用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサーのデータ収集期間は①に準じる ・通信可能時間は電源供給時制限なし

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・計測精度:±16%	・センサーの亀裂長さや疲労損傷度は比例関係としているが、センサー端部まで亀裂が進展すると精度が低下する。 標準50mm幅のセンサーでは、センサーの亀裂長さ15~45mmの範囲で±16%程度の計測精度 ・センサー形状に依存する	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・疲労損傷度:D=0~0.07	・センサー貼付期間の疲労損傷度:D=0~0.07 ・標準タイプ、モニタリングする継手の疲労強度等級がC継手相当の場合。レンジオーバーした場合は貼り替えて継続。	
	感 度	校正方法	・不要	・センサーの貼付状態はひずみ測定によって確認する(感度不良の場合は貼り替え)	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・疲労損傷度D=0.07	・標準タイプ疲労センサーでセンサー幅50mmのうち15~45mmを検出に用いた場合:疲労強度等級C継手での疲労損傷度D=0.07 ・センサータイプによる感度調節または貼り替えによる累積でD=1.0まで対応可能
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	①亀裂検出精度0.5mm、 疲労損傷度D=0.001 ②亀裂検出精度1mm(グリッド幅) 疲労損傷度D=0.002	上段①:目視計測によるセンサー単体使用 ・亀裂検出精度0.5mm、疲労損傷度D=0.001 下段:②通信装置による遠隔使用 ・亀裂検出精度1mm(グリッド幅) 疲労損傷度D=0.002 ・標準タイプ、モニタリングする継手の疲労強度等級がC継手相当の場合(調節可能)
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	①目視計測によるセンサー単体使用 ・亀裂検出精度0.5mm、疲労損傷度D=0.001 ②通信装置による遠隔使用 ・亀裂検出精度1mm(グリッド幅) 疲労損傷度D=0.002	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。2-5-56

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	特にないが、センサーを点検設置するため直接アクセスが可能なこと	両手を塞ぐ作業になるため安全な足場を確保できること (高さによらず梯子での作業はできるだけ避けること)
	周辺条件	センサーを点検設置するために直接アクセスが可能なこと	両手を塞ぐ作業になるため安全な足場を確保できること (高さによらず梯子での作業はできるだけ避けること)
	安全面への配慮	高所作業に対する安全設備の設置や落下物による第三者被害に対する作業下安全体制の確保が可能なこと	両手を塞ぐ作業になるため安全な足場を確保できること (高さによらず梯子での作業はできるだけ避けること)
	無線等使用における混線等対策	通信装置による遠隔使用ではSigfox対応エリアであること	-
	道路規制条件	落下物による第三者被害に対する作業下安全体制の確保が可能なこと	-
	その他	-	-

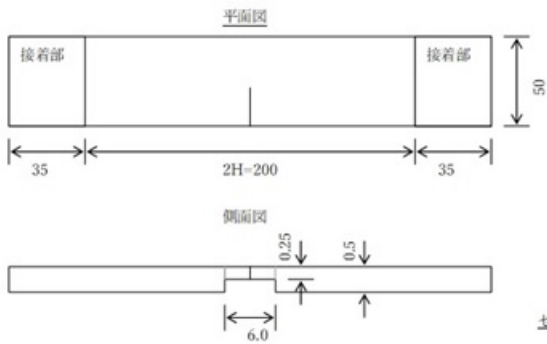
5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	現地指導または講習(1日程度)	-
	必要構成人員数	作業員2名	保安要員別途
	作業ヤード・操作場所	特に定めていない	-
	計測費用	疲労センサー本体 機械経費5万円 通信装置 装置費用10万円、設置費5万円、通信費2千円/年	販売価格(設置を依頼する場合は作業上検討を踏まえて別途見積)
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	販売または設置作業請負:リース無し	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	有:橋守支援センターで対応	不具合のあるセンサーは代替品提供、不具合に起因しないものは実費対応。なお不具合によって生じた損害は補償しない。
	センシングデバイスの点検	定期点検時に確認 またはペイント塗り替え時に交換	-
	その他	-	-

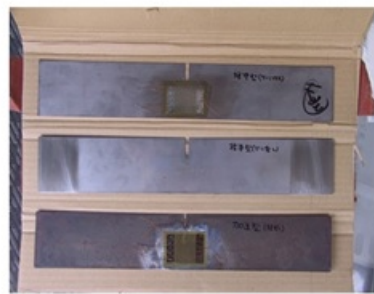
6. 図面

標準型・タイプ1 (矩形削り型)

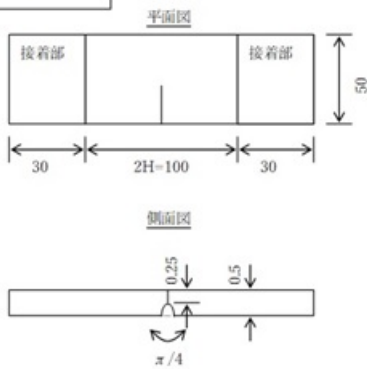
(単位: mm)



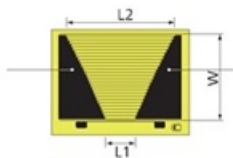
センサー写真 (標準型)



タイプ2 (シャルピー削り型)



クラックゲージ仕様 (共和電業カタログより)



型式名	形状値 (O)	ベース寸法 (mm)	ベースの材質	グリッド部寸法 (mm)				グリッド本数
				L1	L2	W	ピッチ	
KV-25B	約1.0	42×32	紙基材+フェノールエポキシ	9	33.6	25.2	1	26本

1. 基本事項

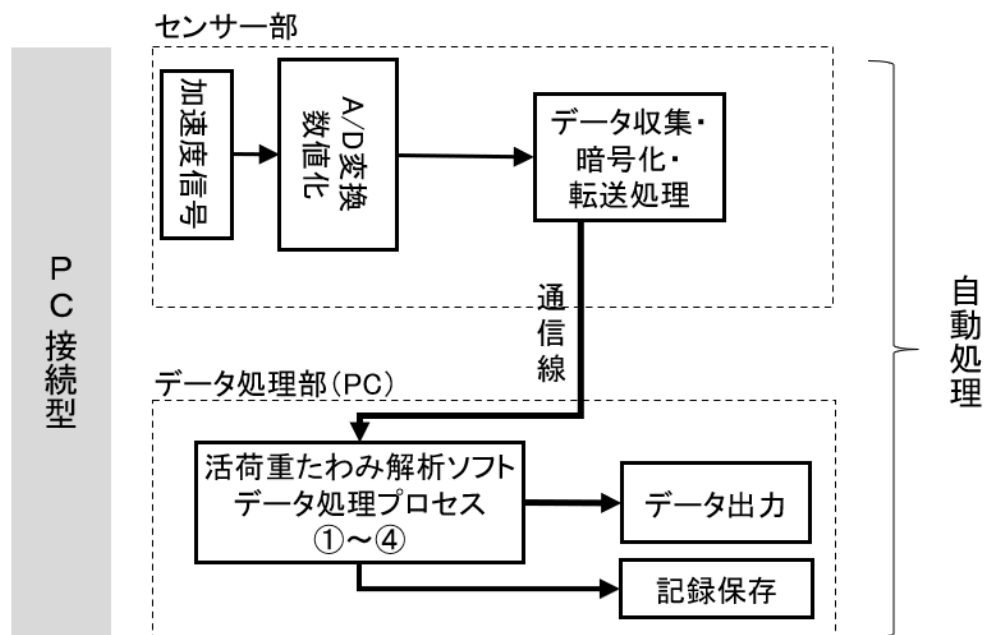
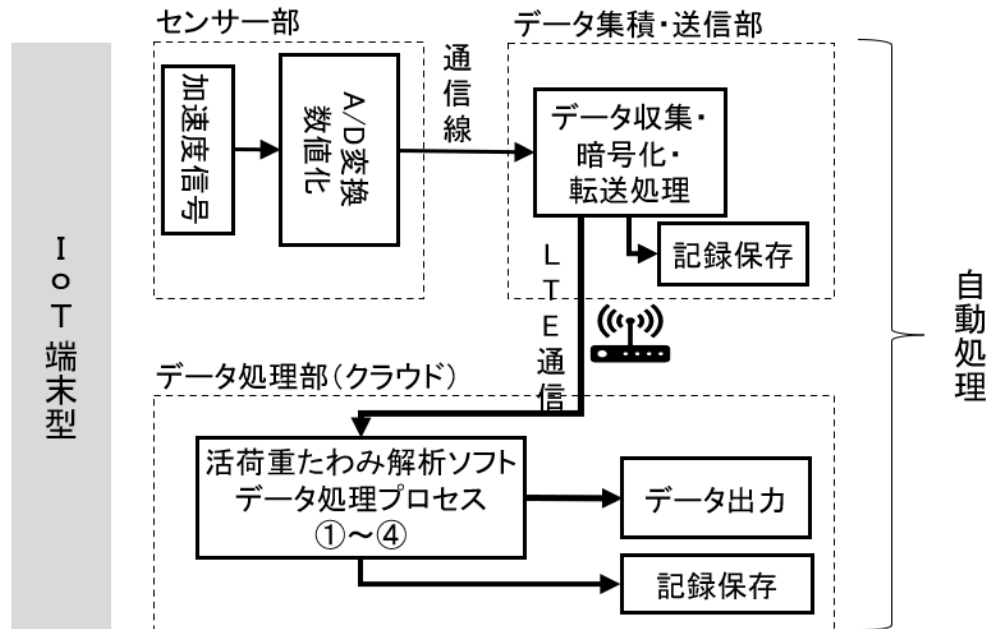
技術番号	BR030008-V0323		
技術名	たわみ計測による耐荷重チェックシステム		
技術バージョン	ver.131 (計測部分)、ver.101 (指標導出部分)	作成:	2023年3月
開発者	(株)TTES 日本工営(株)		
連絡先等	TEL: 03-3238-8113 03-5724-4011	E-mail: a4043@n-koei.co.jp suganuma@ttes.co.jp	日本工営(株)道路インフラマネジメント部 松山公年
現有台数・基地	10台	基地	東京都目黒区上目黒
技術概要	<p>本技術は、橋梁の活荷重たわみを計測し、耐荷重に関する指標(たわみの経時変化量、たわみ比)を導出する技術である。</p> <p>■ 計測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 荷重車通過時の加速度を測定し、2階積分することで活荷重たわみを算出する。計測の都度、計測機器を橋面上(地覆、路側帯上など)に持ち込み設置し利用する。 計測装置を設置し、計測開始の操作を行い、交通状況の安全確認を行った上で、荷重車を橋梁に通過させる。 計測完了の操作を行うと、活荷重たわみが表示される。 <p>計測作業は、1橋梁あたり10分程度である。また、対応した地図情報サービスも提供しており、計測位置に基づいて、対象橋梁のデータベースに計測値を紐づけて保存する。</p> <p>■ 指標導出技術</p> <ul style="list-style-type: none"> たわみ計測結果を用いて、たわみの経時変化量、たわみ比の耐荷重に関わる指標を導出する。 指標導出には、たわみの継続的な計測結果や橋梁諸元、構造計算結果等の情報が必要となる。指標を使って対策の要否判定に活用する。 		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	①異常な音・振動 ②異常なたわみ
検出原理	加速度		
検出項目	たわみ/活荷重たわみ		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>2種類の機器構成を有する。</p> <p>1) IoT端末型 2) PC接続型</p> <p>なお、両者の性能は同一である。</p> <p>1) IoT端末型 本計測機器は、IP65相当の小型筐体に電源(単3電池x3)、計測装置およびデータ収集・通信装置が搭載された一体構造である。計測したデータは装置内のmicroSDに保存される。保存されたデータはLTE回線で、GNSS位置情報とともにクラウドサーバに転送される。クラウドサーバ上で加速度から活荷重たわみに変換されて、対象橋梁のデータベースに自動で紐付け・保存される。</p> <p>2) PC接続型 本計測装置は、PC・加速度センサで構成される。 PC画面上からの操作で、計測開始・計測終了を指示する。活荷重たわみの値もPC上で確認が可能である。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【据置】 (1, 2共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本計測機器は、支間中央の橋面上に設置し計測を行う。 ・安全上、地覆上や路側帯の外側等に設置する。 ・必要に応じて専用のアタッチメント(設置治具)を使用する。 ・専用のアタッチメントを使用する際は、計測装置をボルト・ナットで固定する。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>1) IoT端末型 一体構造(電源、計測装置およびデータ収集・通信装置) 最大外形寸法(長さ125mm×幅75mm×高さ75mm)、最大重量(420g)</p> <p>2) PC接続型 PC: 例えばToughPad 最大外形寸法(長さ280mm×幅200mm×高さ27mm)、最大重量1050(g) 加速度センサ: USB接続型加速度計 最大外形寸法(長さ90mm×幅50mm×高さ32mm)、最大重量 200(g)</p>		
センシングデバイス	<p>(1, 2共通)</p> <p>3軸加速度センサ セイコーエプソン社製 M-A352AD型版 (センサの内部設定変更あり)</p>		
計測原理	<p>(1, 2共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測点(主に支間中央)に3軸加速度センサを搭載した計測装置を設置し、鉛直方向の加速度データを取得する。計測した加速度データを2階積分し、車両通過時間と車両通過時間外を比較することで積分ノイズを除去し、車両通行時の活荷重たわみへ変換する。 		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>(1, 2共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測装置が衝撃等で浮かないように設置する。 ・計測時は支間上に荷重車1台のみが通過する。 ・荷重車が支間に進入してから退出するまでの通過時間は5秒以内とする。 ・桁形式は単純桁を対象とし、連続桁は適用外とする。 		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>(1, 2共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・活荷重たわみへの自動変換処理の精度向上に対して、S/N比の向上のため、できるだけ高重量の荷重車を準備し、車両通過時間を短縮する(安全上問題ない範囲で可能な限り速い速度で走行する)ことが望ましい。 		
	<p>(1, 2共通)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 対象橋梁に到着する。 2. 降車、機材を運搬する。 3. 支間中央を確認し機材を設置する。 ※設置補助治具を利用している場合には、設置済みの設置補助治具に機材を設置する。 4. 計測機器の電源を入れる。 ※機材キャリブレーションは不要。ただし、出荷時に評価モデルで動作を確認済み。 5. 交通状況を確認し計測ボタンを押して計測を開始する。 6. 一時的に交通規制を行い、対象橋梁上を荷重車1台のみを通過させる。通過後に規制を解除する。 7. 計測ボタンを再度押して計測を停止する。 8. 自動的にデータ処理プロセスが開始する。 		

- ①加速度データを数値積分することで、変位を算出する。
 - ②算出した変位を分析し、車両通行時の進入と退出時刻を特定する。
 - ③特定した車両通行区間外のノイズ波形から、車両通行区間に含まれるノイズ量を推定する。
 - ④数値積分した変位より推定したノイズ量を取り除くことで、活荷重たわみを算出する。
9. たわみ波形がIoT端末でクラウド画面に、PC接続型ではPC画面に表示されたことを確認する。
 ※電波状況が悪い環境でIoT端末型を利用している場合には、後ほど電波状況がよい環境に移動した際に確認する。
10. 計測機器撤収する。
11. 次の対象橋梁へ移動する。(1.へ)
 【処理フロー】

計測装置 計測プロセス



アウトプット	(1, 2共通) 活荷重たわみデータ それに付随するタイムスタンプ ※たわみの経時変化量、たわみ比、たわみ形状 (たわみ計測結果を用いて耐荷性に関する指標を導出した場合)
計測頻度	1) IoT端末型 クラウドにデータ転送した後に計測可能。電波状態に依存するが5分程度。 2) PC接続型 連続して計測可能。
耐久性	1) IoT端末型 ・IP65 2) PC接続型 パソコン: IP65(ただしUSB接続部に保護必要) センサ: IP65
	1) IoT端末型

	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・動力源:電気式 ・電源供給容量:バッテリー ・定格容量:DC 4.5V 200mA(単三電池)、DC 5.0 V 150mA(USB電源)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・電源供給容量:バッテリー(PCのバッテリーを利用)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・連続稼働時間600分(10時間) 単三電池3本、外気温:20℃の場合 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・連続稼働時間240分(4時間) 外気温:20℃の場合の実績
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・計測装置と一体的な構造 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を有しない。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・計測装置と一体的な構造 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を有しない。
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・記録メディア(microSDカード)に保存 計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータをLTE回線でクラウドに転送、保存 ネット接続が確立できない場合には、記録メディアに保存し持ち帰り、事務所からクラウドに転送、保存が可能 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・PCに保存 (Wifi, SIMカード等で通信回線に接続してクラウドに保存も可能)
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 LTE回線 ・通信規格 2GHz帯 ・通信速度 2Mbps 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を有しない。
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・AmazonWebService準拠 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を有しない。
	動力	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・動力源:電気式 ・電源供給容量:バッテリー ・定格容量:DC 4.5V 200mA(単三電池)、DC 5.0 V 150mA(USB電源) 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を有しない。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> 1) IoT端末型 <ul style="list-style-type: none"> ・計測装置に搭載するバッテリーからの給電により連続10時間(気温20℃の場合)使用可能 2) PC接続型 <ul style="list-style-type: none"> ・通信装置を有しない。

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・誤差 3σ :0.02mm ・最大たわみ誤差(mm):0.01mm ・最大たわみ誤差(%):3.18%	・コンクリート橋 たわみMax.=0.26mmにおいて、誤差 3σ =0.02mm ・コンクリート橋(接触式変位ゲージとの相対差) 最大たわみ誤差(mm)=0.01mm 最大たわみ誤差(%)=3.18%	
		標準試験値	標準試験方法 変位 活荷重たわみ(2020) 実施年 2020年 ・誤差 3σ :0.08mm ・相対差 X(mm):0.06mm ・相対差 x(%):1.48%	・鋼橋 たわみMax.=4.59mmにおいて、誤差 3σ =0.08mm ・鋼橋(接触式変位ゲージとの相対差) 相対差 X(mm)=0.06mm 相対差 x(%)=1.48%	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	+-1G~+1G	+-1G~+1G (加速度計として精度保証範囲) ・加速度計の性能を確保する温度条件:-30~+70℃	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	+-15G~+15G	+-15G~+15G (加速度計として動作レンジ(精度保証外)) ・加速度計の性能を確保する温度条件:-30~+70℃
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	0.06 μ g/LSB	0.06 μ g/LSB (加速度計としての感度) ・加速度計の性能を確保する温度条件:-30~+70℃
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値		0.5 μ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$ typ	0.5 μ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$ typ ・加速度計の性能を確保する温度条件:-30~+70℃	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	24bit	・加速度計の性能を確保する温度条件:-30~+70℃		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	幅員が橋長より短いこと	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	橋面上に設置する場合、地覆や路側帯に計測装置がおけるスペースがあること。	-
	安全面への配慮	交通規制が必要である。	詳細は道路管理者および警察と協議する。
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	交通規制が必要である。	詳細は道路管理者および警察と協議する。
	その他	計測時にダンプトラック等の荷重車を走行させる。	予め荷重車の重量を測定しておく必要がある。

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	計測装置の利用講習会を事前に受講	-
	必要構成人員数	現地踏査、治具設置:作業員2人 現地計測 計測・設置班:作業員1人、交通誘導員2人、運転手1人 (橋梁の規模により変動する可能性あり)	-
	作業ヤード・操作場所	橋面上	-
	計測費用	計測:機材サービス利用 20万円/日(レンタル) 作業員、誘導員、荷重車、指標算出別 ※1日20橋実施した場合、約5万/橋 (たわみ計測、耐荷性指標算出含む) (たわみ比算出には格子解析が必要な場合がある)	同機材での1日の最大計測実績は30橋
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自動制御なし	-
	利用形態:リース等の入手性	レンタル または 業務委託(たわみ計測、耐荷性指標導出)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制なし	-
	センシングデバイスの点検	出荷時に点検し、評価用モデルで動作確認を行う。	-
その他	-	-	

6. 図面

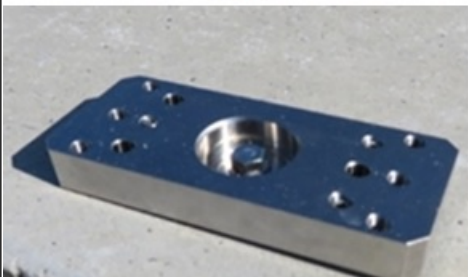
計測端末 (IoT端末型)



計測端末 (PC接続型)



設置器具



1. 基本事項

技術番号	BR030009-V0323		
技術名	光学振動解析技術【動画像による橋梁の活荷重たわみ・横揺れ・ひびわれ開閉量の計測技術】		
技術バージョン	Ver.1.00	作成:	2023年3月
開発者	日本電気株式会社		
連絡先等	TEL: 080-8823-6305	E-mail: ovst@sid.jp.nec.com	NEC光学振動解析技術担当
現有台数・基地	5セット(203の技術と共有)	基地	神奈川県川崎市 (NEC玉川事業所)
技術概要	<p>本技術は、動画像を用いた遠隔・非接触の計測手法により、車両が橋梁上を通過する時に桁・床版に発生するたわみや横揺れなどの3次元の変位量と、撮影画像内のひびわれの開閉量を計測・可視化するものである。</p> <p>本技術を用いることで、変位計やクラックゲージ・π型ゲージなどを設置することが困難な場所に対しても、遠隔・非接触でたわみとひびわれ開閉量を撮影データから計測できる。</p> <p>本技術の特徴としては、単眼のカメラで動画像を撮影するだけで、マーカー等を設置しなくても任意の計測対象表面の3次元変位を遠隔・非接触で計測できる点、障害物等により横方向から計測できない場合でも橋梁の真下、斜め下方向からでも計測できるため撮影位置の制約を受けにくい点、運搬や設置も容易である点が挙げられる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Input 道路橋下方から動画撮影</p> <p>斜め下方からでも可</p> <p>主桁 床版</p> <p>動画</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>精密な動き解析処理</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Output</p> <p>①撮影面の3次元変位を算出</p> <p>時系列の鉛直方向変位(たわみ)</p> <p>画面内方向変位(横揺れ)</p> <p>画面内方向の回転角</p> <p>②面内変位分布を算出</p> <p>載荷時の撮影面表面の動きを面的に表示、ひずみ分布を可視化</p> <p>ひび割れ周辺に変位不連続発生</p> <p>ひび割れ開閉挙動を検出可能</p> <p>黒色：変位不連続部(境界)を強調表示</p> </div> </div> <p style="text-align: center; background-color: #e91e63; color: white; padding: 5px;">遠隔・非接触で撮影面の動的挙動(3次元変位+面内変位分布)を計測</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	⑥ひびわれ ⑪床版ひびわれ
		その他	
		共通	①異常な音・振動 ②異常なたわみ
検出原理	画像(静止画/動画)		
検出項目	変位量/活荷重たわみ・横揺れ、ひびわれの開閉量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ・本計測機器は、カメラとレンズによって構成される撮像部、三脚によって構成される支持部、解析用ソフトウェアをインストールした制御用PCによって構成されるデータ収集・処理部、レーザ距離計によって構成される測距部で構成される。 ・撮像部のカメラやレンズ、支持部の三脚、測距部のレーザ距離計に関しては、計測対象に合わせて必要なスペックに応じて付け替えが可能である(分離構造)。 ・必要に応じて、対象箇所の照度不足を補うための照明装置を用いる。 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	【据置】/【人力による運搬・角度調整】	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・本計測機器は、カメラとレンズによって構成される撮像部を、支持部となる三脚の雲台部上部にを1/4インチねじで固定し、測定対象表面が観察できる場所に三脚を設置して計測する。 ・レンズが干渉するなど、カメラの高さ調整が必要な場合は、専用スペーサー(長さ35mm×幅45mm×高さ35mm)を挿入する。 ・撮像部のカメラやレンズは、計測対象に合わせて必要なスペックのものに付け替えが可能である。以下に示すものは【センシングデバイス】の項目に示されている基本構成を利用した場合の一例である。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置(撮像部:カメラ+レンズアダプタ+レンズ): 最大外形寸法(長さ215mm×幅90mm×高さ90mm)、最大重量(0.9kgf)		
センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> 【カメラ】 ・Ximea MQ042MG-CM または ・Ximea MC124MG-SY 【レンズ】 ・ニコン社 AI AF Nikkor 180mm f/2.8D IF-ED 【レンズアダプタ】 ・KIPON社 C マウントアダプター ニコンF 用 【レーザ距離計】 ・Leica DISTO D510 		
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> 【活荷重たわみ・横揺れ】 ・動画像から計測対象表面の模様を追跡、画面内の各点の動き分布を解析することで、3次元方向の変位を算出する。 ※ここでは撮像部が真上を向いて橋梁の桁や床版の下面を撮影・計測している場合を例に説明する。 ・車両通過に伴い計測対象の表面(桁や床版の下面)が鉛直下方向(カメラの光軸方向)に変位すると、カメラから計測対象の表面までの距離が短くなるため、動画像内で対象物が微かに拡大する。この時の拡大率を画像処理により算出し、拡大率と撮影距離から変位量(たわみ量)を算出する。 同様に、車両が通過し終わり、計測対象面が鉛直上方向に変位した場合は、カメラから計測対象面までの距離が長くなるため、動画像内で対象物が微かに縮小する。この時の縮小率を画像処理により算出し、縮小率と撮影距離から変位量を算出する。これによりカメラの光軸方向の変位量を動画像処理により算出することができる。横揺れに関しては、画面内の各点の動き分布からカメラの光軸方向の変位成分を除去して平行移動成分を算出する。以上の原理により、計測対象の表面(桁や床版の下面)の3次元方向の変位成分を算出することで、車両通過時に発生する活荷重たわみ・横揺れの成分を算出する。 【ひびわれ開閉量】 ・撮影した動画像からコンクリート桁や床版の表面の自然模様の動きを追跡することで撮影面の各画素に対して画素ごとに面内方向変位分布を時系列データとして算出する。算出された面内方向変位には桁のたわみや横揺れにより発生する3次元変位成分(=撮影面全体の動きに起因する変位成分)も含まれている。そこで、【活荷重たわみ】を算出するのと同じ方法で撮影面全体の3次元方向変位を時系列データとして算出し、時系列の撮影対象表面の動き分布から3次元方向変位によって発生する動きの変位成分を除去することで、面内のひずみ分布を算出する。面内のひずみ分布からひびわれをまたぐ2点間の変位量差を算出することで、ひびわれ開閉量の時系列データを算出する。 		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・【センシングデバイス】の項目に記載した基本構成では、焦点距離180mmのレンズを用いて撮影すると、撮影距離10mで計測対象の表面630×630mm程度の領域が撮影される。撮影対象の表面では1画素あたり300μm程度の大きさとなる。計測対象の表面が画面の半分以上の範囲を占めるように撮像されている状態が望ましい。この条件において、面内方向10μm、奥行き(カメラの光軸)方向100μm程度の変位、ひびわれ開閉量5μm程度の開閉量(変位量差)が計測可能となるように想定して設計している。 ・撮影距離は、撮影前にレーザ距離計などで予め計測する。 ・照度が不足する場合は照明装置を使う。地面から桁までの距離、撮影対象の周辺環境(日照の影響の有無など)、撮影時間等を考慮して機材を選定して測定を行う。 ・設置場所については、計測対象となる桁下面を撮影できる位置で、かつ計測時にカメラが揺れないような強固な箇所を選定する。 ・雨、風、陽炎、日照変動(明るさ変動)の影響を受けにくい条件で撮影を行うよう計画する。 		

	<p>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測対象表面の模様を画像処理によりトラッキングして変位を算出するため、計測対象表面に模様が必要。 ・完全無地・透明物は非対応、また塗装面も塗装種類やその表面状態によっては測定困難な可能性がある。 ・計測対象表面が画面半分よりも小さく撮像されていると精度低下が生じる可能性がある。 ・計測対象表面に対し正対していない場合、対称面までの距離と角度が不正確だと誤差の要因となる。 ・計測対象表面に対して±30°以内で計測すること。
計測装置	<p>① 事前準備 橋梁の位置、種類や規模、交通量などの基本情報・設計情報・運用状況を調査する。機材の設置位置及び設置位置からの計測対象表面までの距離、撮影対象表面の模様の状態、地形条件、照明の要否、撮影条件等を調査する。これらを踏まえ、最適な機材構成を検討し、効率的な撮影計画を立案する。</p> <p>② 機材設置 撮影計画に基づき、計測目的に合った機材を現場に持ち込み、機材を設置する。三脚を安定した場所に設置し、三脚にカメラ・レンズを取り付けて、計測対象に向けて固定する。カメラと制御用PCをUSBケーブルで接続する。</p> <p>③ 撮影条件設定・キャリブレーション 作業者は、制御用PCにインストールされている撮影・計測用ソフトウェアを立ち上げて撮影画像を観察しながら、三脚・カメラ・レンズを調整し、カメラの向き・画角・フォーカスを合わせて、レンズの焦点距離を確認する。次に、撮影・計測用ソフトウェア上で撮影画像の明るさを確認しながら、撮影フレームレート・露光時間・最大撮影枚数を設定する。そして、レーザー距離計を用いて、カメラ・計測対象間の撮影距離および撮影角度を測定する。作業者は、上記の撮影条件設定によって得た撮影パラメータ「レンズの焦点距離、撮影フレームレート・露光時間・最大撮影枚数、撮影距離、撮影角度」を、撮影・計測用ソフトウェアに入力する。これにより、キャリブレーションが完了する。</p> <p>④ 撮影・3次元変位の算出・データ保存 作業者は、撮影・計測用ソフトウェアを操作し、橋梁上を車両が通過する前に撮影を開始し、一定時間後(車両通過後)に撮影を終了する。制御用PCでは撮影と同時に計測対象表面の3次元変位の解析が行われ、解析結果は時系列の3次元変位量として制御用PCのグラフィックウィンドウに描画される。作業者は、必要に応じて制御用PCに計測データ(動画像データ、撮影パラメータ、3次元変位量)を保存する。</p> <p>⑤ 面内変位分布・ひびわれ開閉量の算出 面内変位分布・ひびわれ開閉量の算出は、制御用PCにインストールされている面内変位分布・ひびわれ解析用ソフトウェアを用いて行う。本ソフトウェアに③で得た計測データを読み込ませ、ひびわれをまたぐ2点をGUI上で設定して解析を行う。すると、数分後に3次元変位成分を除去した面内変位分布(ひびわれ分布可視化画像、およびひびわれ分布可視化時系列動画像)と、2点間の変位量差を時系列で算出したひびわれ開閉量が算出される。</p> <p>⑥ 結果の記録 ④で得られた3次元変位量は、橋軸方向・橋軸直角方向・鉛直方向の変位量にそれぞれラベル付けをして、計測対象箇所の活荷重たわみ・横揺れの変位量として記録する。 ⑤で得られた面内変位分布・ひびわれ開閉量は、計測対象箇所として撮影した画像、設定した2点間の位置情報と共に記録する。</p>
計測プロセス	
アウトプット	<p>【活荷重たわみ】</p> <p>①動画像データ 時系列画像データ BMP 1.6GB(注1) ②撮影パラメータ テキストデータ TXT 1KB ③3次元変位(活荷重たわみ・横揺れ成分) 算出結果 テキストデータ TXT(注2) 850KB (注1)フレームレート80fps、1枚あたり4MByte、撮影時間を5秒とした場合の1回の計測データ容量 (注2)ファイルフォーマットはテキストタブ区切り形式・現地計測に要する時間は、計測準備に15分、計測に5分、その場でデータ確認が可能、機器の撤去に10分程度を要する。(車両待ちの時間は含まれない)</p> <p>【ひびわれ】</p> <p>①動画像データ 時系列画像データ BMP 3.6GB(注1) ②撮影パラメータ テキストデータ TXT 1KB ③ひびわれ開閉量算出結果 テキストデータ TXT(注2) 640KB ④最大ひびわれ分布可視化画像(最大ひびわれ開閉画像) 画像データ BMP 49KB ⑤ひびわれ分布可視化動画像(ひびわれ開閉挙動動画像) 動画データ AVI 1.2MB (注1)フレームレートを30fps、1枚あたり12MByte、撮影時間を10秒とした場合の1回の計測データ容量 (注2)ファイルフォーマットはテキストタブ区切り形式 ・現地計測に要する時間は、計測準備に15分、計測に5分、データ確認15分、機器の撤去に10分程度を要する。(車両待ちの時間は含まれない)</p>
計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・橋梁の上を重量の大きな車両が通過するときに支承部の変位が発生しやすい。そのため、重量が大きな車両が通過した時の計測結果を確認するとよい。既知の重量車を走行させると変位の量の比較でも評価が可能となる。 ・数分計測し続けて変位が観測できた時点で検査を終了してもよい。 ・再現性確認の為、1つの測定位置につき、2度以上の測定がよい。
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・計測機器の基本構成では防水・防塵性能は備えていない。 ・必要に応じてカメラ・レンズ・ハウジング・PCケースなどを選定して対応する。
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・計測装置(撮像部)は制御用PCからのUSB給電で駆動する。 ・制御用PCは内臓バッテリーで駆動する。 ・計測時間が長くなる場合はAC出力バッテリーで制御用PCを給電しながら駆動させることも可能。
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・6時間(500Whの外付けバッテリー併用の場合 外気温:25℃、15分に1回計測の場合)
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・データ収集・処理部となる制御用PCは、計測装置とUSB3.0ケーブルで接続する。 ・制御用PCは、三脚上部に1/4インチねじを用いて固定されたカメラ台に固定する。 ・機材の運搬に用いたケースやバックを台として利用してもよい。 ・データ収集・処理部は、計測対象に合わせて必要なスペックのものに付け替えが可能である。以下に示すものは制御用PCに Surface Book with Performance Base を採用した場合の基本構成の一例である。
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・データ収集・通信装置(制御用PC): 最小外形寸法(長さ390mm×幅280mm×高さ40mm) 最大外形寸法(長さ390mm×幅280mm×高さ280mm) 最大重量(1.9kgf)
データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者は、車両が通過するタイミングで撮影開始し、一定時間撮影を行う。 ・撮影された時系列画像は、制御用PCのRAM領域に確保されたリングバッファに一時的に書き込まれる。同時に、リアルタイムに3次元変位量の解析が実行され、それぞれ時系列波形として画面上で確認できる。 ・変位量の時系列波形(特に鉛直方向に対応する方向の変位量)から、大型車両が通過したタイミングを判断可能。それを機に計測終了してもよい。

集・通信装置		<ul style="list-style-type: none"> ・既定値以上の変位量を確認した後にリングバッファをさかのぼって保存することも可能。 ・保存ボタンを押すと、リングバッファに書き込まれた時系列画像に対して再度3次元変位量・回転量の解析が行われ、解析結果と共にHDDに記録される。
通信規格 (データを伝送し保存する場合)		-
セキュリティ (データを伝送し保存する場合)		-
動力		<ul style="list-style-type: none"> ・制御用PCは、PC内蔵バッテリーで1時間程度は動作可能。 ・計測作業が長時間に及ぶ場合は、必要に応じて AC給電可能なAC出力バッテリーから給電しながら利用することも可能。
データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)		<ul style="list-style-type: none"> ・一時的にリングバッファ到时系列画像をため込む構成となっているため、1度にデータ収集可能な時間は制御用PCのRAM容量によって制限される。 例: PCのRAM容量16GBの場合、リングバッファに12GBを割り当てが可能。この場合、1枚4MByteの画像を80fpsで撮影した場合37.5秒の連続撮影可能。30fpsで撮影した場合100秒間連続撮影可能。 ・保存データは制御用PCのHDD容量によって制限される。必要に応じて外付けHDDなどを利用することも可能。

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	【設置部】 ・最小所要空間寸法: 長さ、幅、高さ(530、530、855) mm 【設置場所までの移動時】 ・最小所要空間寸法: 長さ、幅、高さ(230、230、920) mm	※以下の基本構成時を想定して算出。 三脚:マンフロット 055プロアルミニウム 三脚3段 +RC2付き3ウェイ雲台キット カメラ:Ximea MQ042MG-CM レンズ :AI AF Nikkor 180mm f/2.8D IF-ED レンズアダプタ:C マウントアダプター ニコンF 用 ※レンズや三脚を小さいものを選択することで、さらに小さい構成とすることが可能。
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	・最大距離:3m(カメラと制御PC間の距離)	・基本構成としてカメラと制御PC間を3mのUSBケーブルで接続した場合。USBケーブルの範囲(2.5m)(カメラと制御PC間)で可動可能。必要な長さのUSBケーブルを選択することが可能。(USBケーブルの帯域によって制限あり) ・2名の作業員でカメラと制御用PCを同時に動かすことで、任意の場所に移動させることが可能。 ・1名の場合は、制御用PCの撮影ソフトウェアを立ち下げてからカメラを接続しているUSBケーブルを外すことで、それぞれを分離して移動させることが可能。
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 変位 活荷重たわみ(2020) 実施年 2020年 ・画面内方向変位(x,y方向): 相対差:5.7 μ m(10.00%) ・画面奥行き方向変位(z方向): 35.5 μ m(0.83%) ・ひびわれ開閉量の相対差: 0.1 μ m(5.45%)	・画面内方向変位(x,y方向) 撮影距離:約1m 計測回数:4回 橋軸(面内)方向変位の相対差: 5.7 μ m(10.00%) ・鉛直方向変位(Z方向) 撮影距離:約0.5m 計測回数:5回 鉛直(光軸)方向変位の相対差: 35.5 μ m(0.83%) ・ひびわれ開閉量 撮影距離:約2.7m 計測回数:2回 ひびわれ開閉量(面内変位差分)の相対差: 0.1 μ m(5.45%)	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験 (2019) 実施年 2020年 ・グレースケールチャート識別可能	・計測対象表面における照度 112ルクス以上で計測する (112ルクス以上でグレースケール識別可能実績あり) (照明併用だと計測結果が安定する:照明使用時の照度1195ルクス) ・基本構成のカメラはモノクロのため、カラーチャートのグレースケール部のみを利用して評価 ・計測対象の表面が上記よりも暗いときには照明を併用することを推奨する	
	計測レンジ(計測範囲)		性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	感度	校正方法		-	-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値			-	-	
S/N比		性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		性能確認シートの有無 ※	有		
			2-5-74	・撮影距離10m以内の条件において、 ・画面内方向変位(x,y方向)・ひびわれ開閉量(Δx 、 Δy 方向): 計測対象表面での1画素相当量の1/15~1/30程度	

分解能	性能値	撮影距離10m以内の条件において、 ・画面内方向変位(x、y方向)・ひびわれ開閉量(Δx 、 Δy 方向)：計測対象表面での1画素相当量の1/15~1/30程度 ・画面奥行き方向変位(z方向)：計測対象表面での1画素相当量の1/3程度	・画面奥行き方向変位(z方向)：計測対象表面での1画素相当量の1/3程度 ・計測対象表面が画面の半分以上を占めるように撮影すること ・計測対象表面での1画素相当量300 μ m程度であること ・計測対象表面に追跡できる模様が一樣に存在すること ・計測対象表面が平面に近い形状であること ・照明安定環境下、温度安定環境下で撮影すること ・雨、雪、陽炎などが映りこまないこと ・できるだけ正対して撮影すること(撮影角度は30度まで) ・カメラを固定して撮影できること
-----	-----	--	---

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	<ul style="list-style-type: none"> ・路面への進入はなし。 ・車両確認による合図を行う場合は、車両が観察できる位置(歩道・のり面など)に合図者が立ち、計測作業者へトランシーバなどで合図を出す。 	-
	桁下条件	<ul style="list-style-type: none"> ・人が進入できる箇所(長さ750mmの三脚を持って移動できる箇所) 	-
	周辺条件	<ul style="list-style-type: none"> ・計測対象表面に追跡可能な模様があること ・数秒間の計測時間中に大きな環境光変動が発生しないこと ・計測対象表面に局所的な照明変化(水面からの反射光など)が発生しないこと ・カメラ-計測対象表面間に雨粒や雪、植物、昆虫などが入り込まないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・模様がない場合は、スプレー等で模様をつけることで計測可能となる場合がある ・暗くて画像が映らない場合は別途照明を利用することを推奨する ・局所的な明るさの変化・ものの動きを変位として誤算出してしまうため、映り込みに注意して画角を設定する
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	<ul style="list-style-type: none"> ・照明安定環境下、温度安定環境下で撮影すること ・雨、雪、陽炎などが映りこまないこと ・計測機器設置場所が振動しない事
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	OJTによる説明・講習を受け、撮影方法や注意点を習得した者が調査対応することが望ましい。	-
	必要構成人員数	制御用PCの操作者1人、補助者(車両通過の合図出し等):1名 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	作業ヤード範囲: 2㎡ 操作場所: 計測機器より3m以内(調整時) 計測時はリモート計測可能	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [コンクリート橋/鋼橋] 橋長 指定なし 全幅員 指定なし 部位・部材[上部工・桁・横桁・床版] 検出項目 [変位量・変位量差分] 設置箇所数[1~2箇所] 計測頻度 [随時] 計測期間 [1日] <費用> 合計 95万円(経費・保守含む)	・計測可否が不明な場合、現地踏査が別途必要 ・経費(交通費・機材輸送費等)は別途要求 ・1~2径間程の小規模橋梁の場合、1~2橋梁/日の計測が可能
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	特になし 車両検知センサを利用した自動測定は一部利用可能	-
	利用形態:リース等の入手性	計測作業及び解析・報告書作成作業を川金・NECが請負で実施。	・別の提供メニューも必要に応じて対応。要相談。
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	必要に応じて別途ご契約	-
	センシングデバイスの点検	必要に応じて別途ご契約	-
	その他	-	-

6. 図面

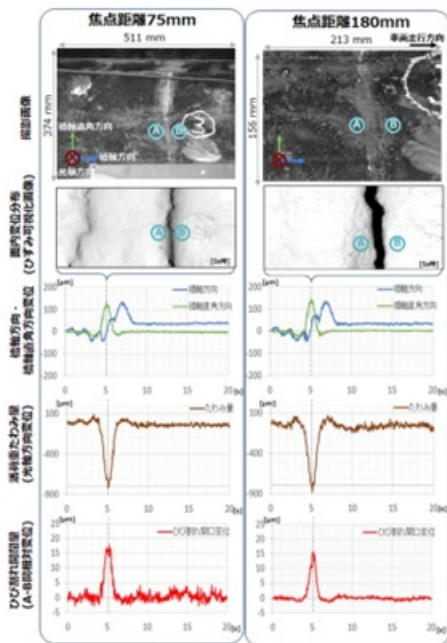
図1 動画像計測システムの基本構成(最小構成)



図2 現場での適用事例



図3 コンクリート桁での計測結果事例



1. 基本事項

技術番号	BR030010-V0323		
技術名	桁端部異常検知モニタリング		
技術バージョン	ver.01	作成:	2023年3月
開発者	日本工営(株) モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)		
連絡先等	TEL: 03-3238-8113	E-mail: a4043@n-koei.co.jp	日本工営(株)道路インフラマネジメント部 松山公年
現有台数・基地	3橋梁分(受注生産を基本とする)	基地	東京都千代田区麴町5-4 日本工営(株)
技術概要	<p>本技術は、橋梁の桁端部における遊間の開きや段差の発生による変位が一定値以上となったことを検知する技術である。橋梁桁端部の異常を現地で知らせたり、管理者にメール等で通知するモニタリングシステムである。</p> <p>適用場面としては、点検の結果、措置が必要と判断された橋梁のうち、監視が必要な以下の場合に、本モニタリングの適用が可能である。</p> <p>例えば、コンクリート桁のひびわれや鋼桁の腐食、支承の腐食・機能障害、橋台・橋脚の洗堀等の要因で桁端部に異常が発生し、健全度Ⅲと判定されたがすぐに対策が実施できず、対策待ち橋梁の監視や、老朽化・損傷が著しく供用制限や通行止めを実施している橋梁の監視に活用することが可能である。一方、地震や台風などの被災もしくは過大な交通荷重を受ける可能性があり、かつ供用場所が遠く、管理者が容易に確認に行けない橋梁に対しても、あらかじめ本手法を適用することで状況の把握が可能になる。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑬遊間の異常
		共通	
検出原理	通電の有無		
検出項目	遊間における設定値以上の桁端部の開き、段差の有無		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>【標準的な橋梁】 センサ×4、送信機×4、受信機×2、LED表示灯×2</p> <p>【小規模の橋梁】 センサ×2、送信機×1、受信機×1、LED表示灯×1</p> <p>※通信機器は必要に応じて別途設置(データ送信デバイス×1、モバイルwifi、バッテリー×1)</p> <p>各計測機器は以下の箇所に設置する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサ: 桁端部地覆の遊間を挟んだ両側 ・送信機: センサ近傍の親柱もしくは地覆等 ・受信機: 親柱等(送信機からの信号を受信可能であること) ・LED表示灯: 親柱等(通行者が視認可能であること) ・通信機器: 受信機近傍の親柱等 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	本計測機器は移動装置を有していない。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	・桁端部(地覆)や親柱の上部に計測装置を接着剤、高耐久両面粘着テープ、アンカーボルト等により取付を行う。設置方法は、設置対象面の表面状態により判断する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・マグネット式センサの外観寸法(長50mm×幅12mm×高さ12mm)、重量(20g) ・送受信機の外観寸法(長90mm×幅90mm×高さ350mm)、重量(300g) ・LED表示灯の外観寸法(長100mm×幅100mm×高さ300mm)、重量(600g)	
	センシングデバイス	・マグネット式センサ 竹中エンジニアリング社製 MG-103WSa型 ・送信機 パトライト社製 ワイヤレスコントロールユニットPWS-TT型 ・受信機 パトライト社製 ワイヤレスコントロールユニットPWS-RT型 ・LED表示灯 パトライト社製 LEDフラッシュ表示灯 LFH-12型	
	計測原理	マグネット式センサの仕組みは、通常時にセンサ同士が近接していると、磁力によりセンサ内の回路は開いた(通電しない)状態になっているが、センサ同士が開くとセンサ間の磁力が弱まりセンサ内の回路が閉じる(通電する)。このセンサを橋梁の遊間を挟んだ桁端部の地覆等に設置することにより、桁端部の開きや段差による異常な変位の有無を検知する。 マグネット式センサにLED表示灯を接続することにより、センサ同士が開き、通電したときにLED表示灯が点滅し現地の利用者に異常を知らせることができる。なお、マグネット式センサは、異常を検知する間隔(センサ検知間隔)を10~30mmの範囲で任意に設定可能であり、設定値を超える変位が生じると感知する仕組みになっている。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	【環境条件】 ・外気温 -10℃~50℃の範囲であること。 【その他条件】 ・通行者から視認可能な箇所にLED表示灯を設置可能であること。 ・異常検知時にメール通知等を行う場合は、LPWAや4G/LTE等のネットワーク圏内であること。	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	センサの固定状況(確実に固定されていない場合、精度と信頼性に影響を及ぼす)	
	計測プロセス	計測プロセス	1. センサ間隔確認、機器の設置・固定 2. モニタリングシステムの動作確認 3. 桁端部での異常発生 ・橋梁の桁端部にセンサ検知間隔(10~30mmの範囲で設定した値)以上の変位量が発生 4. センサの通電及び送信機からの信号送信 ・センサが通電し、センサに接続した送信機から受信機に向けて信号を送信 5. 受信機での信号受信及び異常発生の通知 ・送信機からの信号を受信機が受信し、LED表示灯が点灯することにより現地利用者に異常発生を通知 ・データ送信デバイスから携帯回線を介して管理者へメールで異常発生を通知(※通信機器を設置した場合のみ) 6. 周辺住民の異常認識及び管理者への通報 ・LED表示灯の点灯により周辺住民が異常を認識し、管理者へ通報 (対象橋梁の周辺住民などに、モニタリング実施について事前説明を十分行い、LED表示灯が反応した場合、速やかに管理者に通報してもらう協力の依頼をしておくこと。また、通報先を記載した看板を設置しておくこと) 7. 現地異常の確認、センサ等の再設置(1.に戻る)
		アウトプット	センサ検知間隔以上の変位量が生じ、センサが通電した際のアウトプットを以下に示す。 ・現地のLED表示灯が点灯する。 ・LED表示灯を確認した周辺住民から管理者に通報する。 ・管理者に異常を知らせるメールを送信する。(※通信機器を設置した場合のみ) ・クラウド上に異常が発生した時刻と状態(異常である)が示される。(※通信機器を設置した場合のみ)
	計測頻度	・桁端に異常(開き、段差)が生じた時点で1回	

	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・センサ部 (JIS防水等級7相当) ・送受信機部 (IP54相当) ・LED表示灯部 (IP66相当)
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・現地設置の乾電池及びバッテリー等により供給 <p>なお、1年に1回、動作確認と併せて電源の交換や配線の確認を行う。</p>
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	数ヶ月～半年程度 (通信頻度による)
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・データ送信デバイスと受信機を有線接続する。 ・データ送信デバイス一式は防水性を有するケースに格納し、橋梁利用者の妨げとならない位置に固定する。なお、固定用ベルト等を使用してガードレール等に固定するとよい。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・送/受信機:長さ85mm×幅76mm×高さ280mm、重量(230g※電池含まず) ・データ通信デバイス:長さ100mm×幅50mm×高さ50mm、重量(100g) ・モバイルwifi:長さ63mm×幅115mm×高さ11mm、重量(115g) ・バッテリー
	データ収集・記録機能	各センサーのデータを各送信機から特定小電力無線(429MHz帯)にて受信機に送信する。 受信機から有線でデータ送信デバイスに送信する。 データ送信デバイスから携帯回線等によりクラウド上のサーバにデータを保存する。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	<p>送信機→受信機</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 特定小電力無線 ・通信規格 429MHz帯 ・通信速度 2kbps ・通信距離 100m <p>データ通信デバイス→モバイルwifi</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 WiFi ・通信規格 2.4GHz帯 ・通信速度 300Mbps ・通信距離 10m <p>※データ通信デバイスからLoRaWANへの接続が可能</p> <p>モバイルwifi→クラウド</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 LTE ・通信規格 2.0GHz帯 ・通信速度 20Mbps ・通信距離 LTE基地局との位置関係による
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	wifi <ul style="list-style-type: none"> ・認証方式:WPA/WPA2-PSK ・暗号化方式:TKIP/AES
	動力	<p>送信機:内臓バッテリー</p> <p>受信機:外部バッテリー</p> <p>データ送信用デバイス:外部バッテリー(type-cのUSBケーブル接続)</p> <p>モバイルwifi:内臓バッテリー及び外部バッテリー(type-cのUSBケーブル接続)</p>
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	ソーラー発電または商用電源による電源供給の場合:上限なし (通信状態が良好であること) 大容量バッテリーから電源供給する場合:バッテリーの容量による

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 遊間の異常 (2020) 実施年 2020年 ・相対差:0.29mm (1.47%)	・異常検知時の桁端部の変位量と設定値の相対差 ・設定値20mmの場合、 水平方向(開き)の相対差 0.29mm (1.47%) ※水平方向(開き)以外は検証していない	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・なし	・通電の有無のみセンサ及び送信機 ・受信機の性能を確保できる 温度範囲:-10~50℃	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

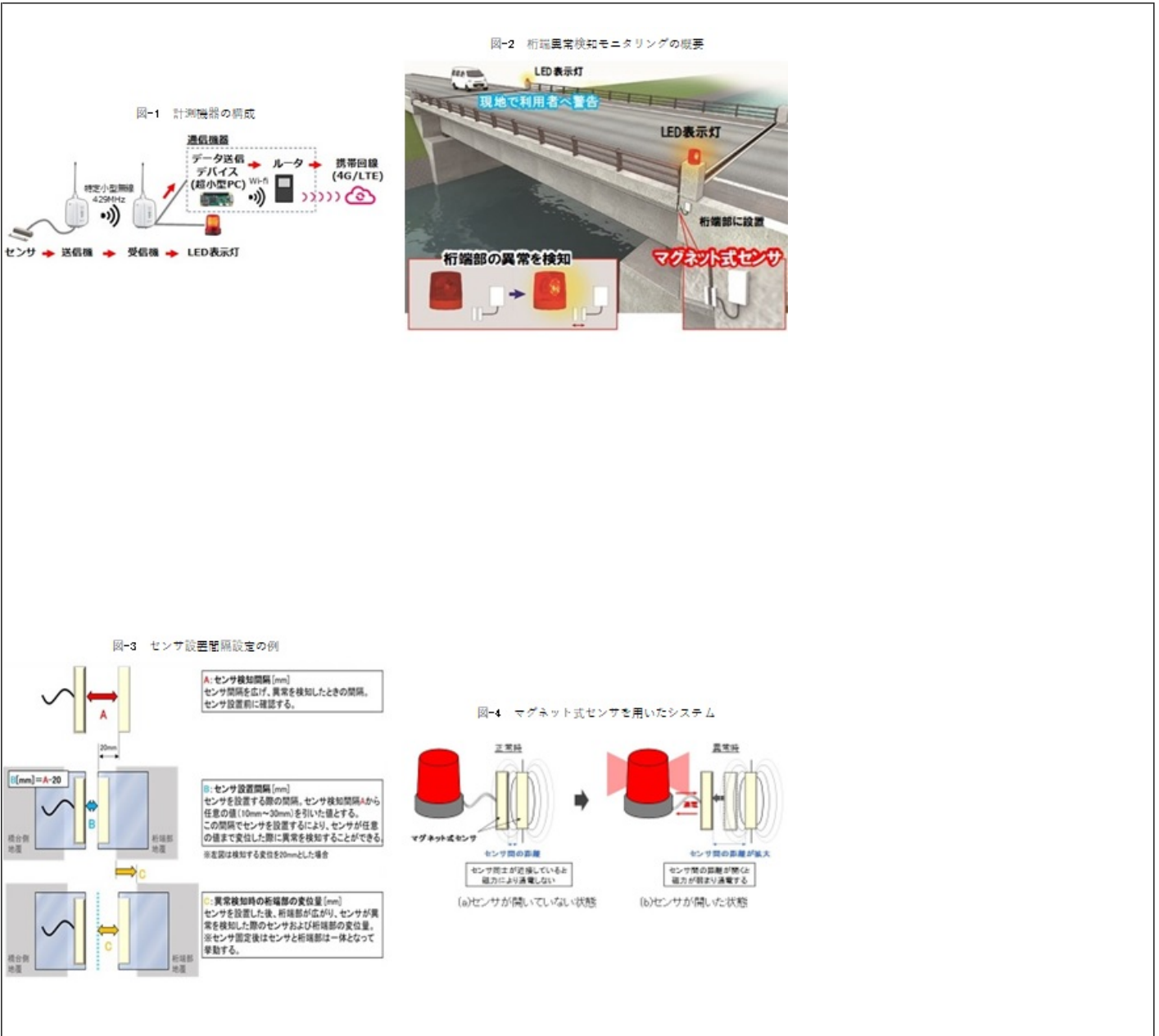
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	歩道・路肩が無い場合は、モニタリングシステム設置時に必要に応じて片側交互通行規制を実施する。	詳細は道路管理者および警察と協議して決定する。
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	設置時:現場責任者1人、操作1人、合計2名 (必要に応じて補助員1名追加)	対象橋梁の規模、現場条件により必要人員数が変わる場合がある。 標準的な橋梁(小規模の単径間橋梁)の場合、設置及び動作確認に0.5日程度(通信機器を設置する場合は1.0日程度)を要する。
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	初期設置費用:10~30万円程度(現場条件による) 計測監視費用10万円程度/1年 (年1回動作確認及びバッテリー交換等) ※メール通知、クラウド管理に必要な通信機器設置及び保守は別途 通信機器設置 20万円程度 通信保守 10万円程度 (うち携帯回線2~3万円/年、クラウド0.5万円程度/年)	2橋以上(橋長30m以下の単径間橋梁)に設置する場合を示した。 単数設置の場合は、割高になる場合がある。 また、複数径間の橋梁の場合はセンサ・送信機の数量が増加するため、割高になる場合がある。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託(センサ・機器類の費用を含む) ※通信機器を使用する場合は、必要に応じてレンタルサーバ契約が必要となる。	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	有り	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	-	-

6. 図面



1. 基本事項

技術番号	BR030011-V0323		
技術名	FBG光ファイバひずみセンサを用いた橋梁モニタリングシステム (プレストレス喪失の可能性検知)		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	三井住友建設株式会社		
連絡先等	TEL: 050-3137-1989	E-mail: k-yuasa@smcon.co.jp	湯浅 香織
現有台数・基地	(センサは注文生産)	基地	-
技術概要	本システムは、経年劣化の懸念が低い材料のみで構成するFBG光ファイバひずみセンサシステムを用いて、PC桁の長期的な静ひずみの変化測定を行い、「PCケーブルの腐食、破断等によりプレストレスが喪失した場合には、プレストレス導入による圧縮ひずみが減少する」ことに着目して、プレストレス喪失の可能性を検知する技術である。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,床版)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	光の反射波長		
検出項目	プレストレス喪失/2点間のひずみ(伸縮量)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		①FBG光ファイバひずみセンサ ②配線用光ケーブル ③専用計測器(共和電業 EFOX-1000Bなど) ④データ保管用パソコン(専用ソフトはWindows対応) ⑤電源 100V (商用電源、ポータブル電源のいずれも使用可)	
移動装置	機体名称	—	
	移動原理	—	
	運動制御機構	通信	—
		測位	—
		自律機能	—
		衝突回避機能(飛行型のみ)	—
	外形寸法・重量	—	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—	
	動力	—	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—		
設置方法	【センサ】コンクリートアンカー(M5~6、埋設長L=30mm程度)を用い、センサの両端を構造物表面に取り付ける。 【配線用光ケーブル】センサ間およびセンサと計測器をつなぐ。複数のセンサを直列に配置可能。必要に応じ躯体への留め付け、保護管の設置など、収まりの処置を行う。 【計測器】配線接続可能な任意の箇所に設置可能。可搬式。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	【センサ】メーカーにより異なる ・長野計器(PF10-S10):W=70mm センサ長L=100~1500で任意に製作 ・Micron(os3610):センサ長L=250mm, 1000mm ・KSK(KSK-FBG-1.0):W=70mm センサ長L=1000 ※他、サイズあり 【配線用光ケーブル】最大延長2km 【計測器】メーカーにより異なる ・共和電業 EFOX-1000B 206×274×79 mm 重量 3.0kg ・長野計器 PF20 214×242×90 mm 重量 2.8kg		
センシングデバイス	FBG光ファイバひずみセンサ		
計測原理	【センサ】 FBG光ファイバひずみセンサは、光ファイバ内部に一定間隔の格子(FBG)を形成した光ケーブルと、その両外側に固定したSUS治具から構成される。光ケーブル終端につないだ計測装置より、センサー内に光を通した際に格子で生じる反射光の波長を計測し、その変化量から固定距離間(=センサ長)の平均ひずみ量を得る。なお、センサは温度変化によっても波長変化するため、別途、温度ひずみのみが生じる無拘束のセンサを付近に配置し、ひずみセンサによる値との差分をとることによって、温度補償したひずみ成分を検出する。 【プレストレス喪失の可能性検知】 プレストレスコンクリート橋には、建設時に、コンクリート内部に配置したPC鋼材を緊張することで、主桁コンクリートに大きな圧縮応力(圧縮ひずみ)が導入されている。経年劣化により、PC鋼材が腐食、破断すると、PC鋼材の緊張力が低下し、主桁コンクリートに導入されていた圧縮ひずみが減少する。このプレストレス量(圧縮ひずみ)は、一般的に設計活荷重時に引張応力が発生しないように設計されているため、死荷重状態では、全プレストレスの40~50%程度が減少するまで、ひびわれが発生することはない。ここまで劣化が進行しないと、目視点検で、プレストレスの喪失を検知することは困難と考えられている。 そこで、長期耐久性の高いFBG光ファイバひずみセンサにより、プレストレス導入方向の死荷重ひずみ(静ひずみ)の変化を測定することで、初期段階のプレストレス喪失の可能性を検知する。ただし、主桁コンクリートのひずみは、気温の変化により、常に線膨張ひずみ分が変化をしている。プレストレスの喪失を検知するためには、この線膨張ひずみ分を補正する必要がある。本システムでは、プレストレスが導入されていない方向には、線膨張ひずみのみが生じているものと仮定し、このひずみ値に比べ、プレストレス導入方向のひずみ変化が引張側に進行した場合、プレストレスが喪失している可能性があるものとする。		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	【センサ】 ・センサ取り付けや配線のため、主桁へのアクセスが可能であること ・センサをアンカー固定できる箇所であること(構造物表面が脆弱化しアンカーが効かない箇所などは不可) ・センサ取り付け範囲が平滑であること(曲面や極端な凹凸、突起物などがある箇所は不可) ・雨水などがかからない箇所であること(光ケーブルは過度の湿気によって膨張し、光透過量が低減するため) ・配線接続部の不具合(緩み、埃の付着など)により透過光量が減衰すると、検出に必要な強度が得られない場合がある。所定の光強度が十分に得られていることを配線作業時に確認し、十分でない場合、接続部を専用クリーナーで清掃を行う。 【プレストレス喪失の可能性検知】 ・計画時においては、PC鋼材の配置図等から、プレストレスが導入されている方向を確認する。 ・設計計算書または、復元設計により、プレストレスの導入量が把握できる場合には、全プレストレス量の低下度合いを把握することができる。 ・センサ設置時からの変化を把握するものであり、センサ設置前に発生していたプレストレスの喪失量を検知することはできない。 2-5-88 ・日中は、日照の影響等により、部位によって一時的に線膨張ひずみの変化に差異が生じることがある。できるだけ、24時間における静ひずみ変化の平均値を用いて、評価を行う必要がある。		
計測装置			

	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>【センサ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・温度補償用の無拘束センサとひずみセンサの設置位置に温度差がある場合、温度補正に誤差が生じる(1℃あたり10μ)。 ・配線ケーブルの長さを変更した場合、波長がシフトする。ケーブル長を変更する場合にはその前後で測定を行い、シフト量を差引する必要がある。 <p>【プレストレス喪失の可能性検知】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クリープが完全に終了していない、建設後2～3年以内の橋梁に適用することは基本的に困難である。 ・ASR等、線膨張ひずみ以外のひずみが生じている場合には、適用が困難である。逆に、プレストレスが導入されていない方向のひずみが、気温変化による線膨張ひずみと一致しない場合、ASR等の材料異常によるひずみ変化と考えて、計画することができる。 ・年に1回程度の測定であれば、極力、気温が同程度で、夜間の測定結果を用いたほうが、補正量が小さく、判定の信頼度は高まると考えられる。
	計測プロセス	<p>Step1 【センサ設置作業】 ※設置後は常設とする</p> <p>プレストレス導入方向と、その直角方向にひずみセンサを設置する。 また、温度補償用センサをひずみセンサ近傍に設置し、すべて直列に接続し計測装置箇所まで配線を行う。</p> <p>Step2 【ひずみ計測】</p> <p>年に1回程度の頻度で、現場に測定システム(測定装置、保管装置、電源)を持ち込み、光ケーブル終端を接続し、反射波長データを取得する。 極力、深夜を含めた24時間以上のデータを取得する。</p> <p>Step3 【データ処理】 次式により、初回測定時からのひずみ変化量を算出する。 ひずみ変化 = (FBGひずみセンサの波長変化 - 温度補償センサの波長変化) × 校正係数 ※ 校正係数は、ひずみセンサメーカーの校正試験によるが、一般的に 800 μ/nm程度</p> <p>Step4 【プレストレスの喪失可能性】</p> <p>プレストレス方向のひずみ変化量と直交方向のひずみ量(=線膨張ひずみ)の経時変化を比較し、両者が一致していれば、センサ設置以降のプレストレス喪失の可能性はないと考えられる。</p>
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測した波長データはcsv形式でパソコンへ出力される。波長は下記の計算により、ひずみに換算する。 ひずみ = (ひずみセンサの波長 - 無拘束センサの波長) × 校正係数 (800 μ/nm程度)
	計測頻度	<p>計測頻度は、対象物の劣化進行速度によって検討する必要がある。 初回計測時より特に変化が見られない場合には、その後年1回程度計測することを推奨する。</p>
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・常設するセンサは耐食性が高い金属を使用し、有機系接着剤を使用していないため、長期耐久性に優れる。 ・センサの疲労耐久性については、±2000 μの振幅疲労試験を実施して確認している(長野計器製センサ)。 ・防水性および防塵性は、環境に応じて別途対策が必要となる。
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・計測時は計測器およびパソコンに電源100Vが必要。計測時以外は動力は不要。 ・商用電源、ポータブル電源のいずれも使用可。 (ポータブル電源を用いた24時間程度の連続計測の例:700Wh×2台を使用) ・ポータブル電源は、電圧や周波数の変動が小さいものを使用すること。
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<p>24時間の連続計測を実施する場合 ポータブル電源 700Wh×2台を使用</p>
データ収集・通信装置	設置方法	—
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【計測器】メーカーにより異なる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・共和電業 EFOX-1000B 206×274×79 mm 重量 3.0kg ・長野計器 PF20 214×242×90 mm 重量 2.8kg <p>【データ回収用パソコン】一般的なWindowsノートパソコンまたはWindowsタブレット</p>
	データ収集・記録機能	パソコンのハードディスクに保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	有線のため通信装置は設置せず、計測の都度、計測終了後にデータを回収
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	—
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・計測時は計測器およびパソコンに電源100Vが必要。計測時以外は動力は不要。 ・商用電源、ポータブル電源のいずれも使用可。 (ポータブル電源を用いた24時間程度の連続計測の例:700Wh×2台を使用) ・ポータブル電源は、電圧や周波数の変動が小さいものを使用すること。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	—

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	①ひずみ誤差:1~2 μ ②ひずみ誤差:5~10 μ	・主に測定器側に依存する 上段①:共和電業EFOX使用 誤差(ひずみ) 1~2 μ 程度 下段②:長野計器PF20使用 誤差(ひずみ) 5~10 μ 程度	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・ひずみ:±2500 μ	・センサ設置時に約3000 μ のプリテンションを導入	
	感度	校正方法	・メーカーにより校正試験を実施		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・全プレストレス量の約5%程度が喪失した場合に、検出が可能	・一般的に、PC桁のプレストレス量は10~20N/mm ² (約300~650 μ)程度、圧縮ひずみが導入されている。
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・10 μ	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・ひずみ:0.04 μ (=波長:0.05pm)	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	—	—
	桁下条件	高所作業車または橋梁点検車等により、主桁へのアプローチが可能であること	—
	周辺条件	—	—
	安全面への配慮	計測装置を24時間設置する場合、盗難防止の対策が必要	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	道路規制条件	—	—
	その他	—	—

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	設置作業 : 光ファイバに関する基礎知識が必要 測定作業 : 簡易な作業のため、特に技量は要しない 解析作業 : センサ設置の目的、データ処理等、高度な技術力が必要	—
	必要構成人員数	設置作業: 現場責任者1人、ほか2~3名程度 測定作業: 1人でも可能⇒安全上、2人とする	—
	作業ヤード・操作場所	—	—
	計測費用	センサ2箇所設置、足場・諸経費別途として 【設置】 約180万円 : 初期費用 センサ購入 60万円+配線材等 40万円 労務費 80万円 【計測】 約50万円/回 ・測定労務費 40万円(測定器損料含む) ・解析作業 10万円	—
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	—
	自動制御の有無	—	—
	利用形態: リース等の入手性	・モニタリング計画、解析、報告書の作成支援 ・センサ設置工事 ・測定業務	センサ : メーカーから購入
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	センサ、計測器ともに、1年保証	—
	センシングデバイスの点検	センサは、現場の温度変化に対し、適正に値を示しているかを校正検証する。 計測器は、絶対校正機能を有している製品を使用するか、メーカーにて校正する。	—
	その他	—	—

6. 図面

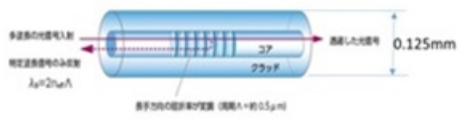
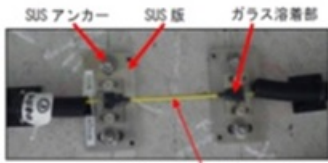


図1 FBG光ファイバの概要



図新格子加工した光ファイバ

図3 FBG光ファイバひずみセンサ(長野計器製)



図5 PC単純桁にFBG光ファイバひずみセンサを設置した事例

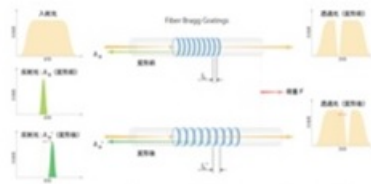


図2 FBG光ファイバセンシングの原理

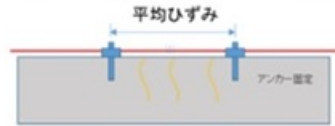


図4 FBG光ファイバひずみセンサの概要



図6 測定システム一式

1. 基本事項

技術番号	BR030012-V0323		
技術名	光ファイバを用いたPCケーブル張力分布の計測技術		
技術バージョン	2	作成:	2023年3月
開発者	鹿島建設株式会社 住友電気工業株式会社 ヒエン電工株式会社(計測実施者:リテックエンジニアリング株式会社)		
連絡先等	TEL: 03 6406 2812	E-mail:	oikawa-masashi@sei.co.jp nakayama-ryo@sei.co.jp 及川 雅司、中山 涼
現有台数・基地	光ファイバひずみ計測器:2台	基地	SmARTストランド張力センサ技術研究会 〒107-8468 東京都港区元赤坂1-3-13 住友電気工業株式会社内
技術概要	本技術は、全長にわたるひずみ分布を計測できる光ファイバセンサを、PCケーブルを構成するPCストランドに組込むことで、張力が作用した際に生じるPCケーブルのひずみ分布を計測するものである。計測されたひずみ分布にケーブルのヤング率および断面積を乗じることで、張力分布が計算される。PCケーブルの全長(ただし、くさび定着の影響を受けて計測値が安定しない、端部1m程度の範囲を除く)にわたる張力分布を確認し、各位置に必要な張力の設計値と直接比較・評価することができる。		
技術区分	対象部位	上部構造(斜張橋,吊橋)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	光(ひずみによる周波数特性の変化)		
検出項目	PCケーブルの張力/PCケーブル全長のひずみ分布		

2. 基本諸元

計測機器の構成		本計測機器は、光ファイバセンサを組み込んだPCストランドとひずみ分布計測器(BOTDR計測器)からなる。計測の制御およびデータ収録は、各計測器とLANケーブルで接続されたノートPCにて行う。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
計測装置	設置方法	PCケーブルの新設時に、予め光ファイバセンサを組み込んだ「光ファイバ組込み式PCストランド」をPCケーブルとして用いる。 供用期間中の再計測を行う際には、その都度、計測機器を搬入し光ファイバに接続、計測を行う。その際の計測機器の設置方法には特に制約はない。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	BOTDR計測器:幅450×奥行500×高さ250mm、重量約20kg	
	センシングデバイス	シングルモード光ファイバ(ITU-T G.652準拠)を組み込んだ、光ファイバ組込み式PCストランド(住友電工製)	
	計測原理	計測器から光ファイバにパルス光を入射し、計測器に戻ってくる後方散乱光を記録・解析することにより任意の位置に生じているひずみを計測する。 ただし、ひずみ分布の計測値(BOTDR方式)に温度変化の影響が大きい場合は、別途計測した外気温もしくは温度分布の計測値を用いて補正を行う。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・工場ですみ光ファイバセンサを組み込んだ「光ファイバ組込み式PCストランド」を購入し、PCケーブルとして使用する。 ・2019年現在、適用可能なPCストランドは以下のとおりである。 S15.2裸線、S15.2内部充填型エポキシ被覆(ECF)、S15.7高強度ECF ・計測対象のPCケーブル端部から、供用期間中にアクセス可能な場所まで光ファイバを延長、配線する必要がある。	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・BOTDR方式のひずみ計測技術において、後方散乱光を記録する受光部の性能などに起因する計測精度は、緊張時の張力の制限値(降伏強度×0.9)に対して±3%以内、空間分解能は約1mである。 ・計測可能な光ファイバの長さは、最長で数kmまでである。 ・空間分解能は約1mである(約1mの範囲のひずみの平均値が計測値として出力される)ため、数m程度など極端に短いケーブルの場合や、短い範囲で小さな曲率で曲げられたケーブルなどにおいては、局所的な変動が過小評価される可能性がある。 ・本技術では、PCケーブルのひずみ分布を計測し、その結果を張力分布に換算する。そのため、ひずみの変化を伴わずに張力が変化するリラクゼーションによる張力の変動については計測できない。リラクゼーションによる張力の変化分については、別途、設計値などを用いて評価することが必要である。	
	計測プロセス	<計測手順> ①光ファイバ組込み式PCストランドを含むPCケーブルを、PCケーブルの製作工場にて製作し、現場に搬入、通常のPCケーブルと同様に緊張準備を行う。 ②PCケーブル端部の光ファイバを計測器に接続する。緊張中、一定のジャッキ油圧ごと(例えば、10MPaごと)に計測を行う。計測時間は、1回あたり約5分である。 ③緊張・定着後、延長用の光ファイバを接続し、グラウトキャップに設けた光ファイバ取り出し孔から取り出し、施工後人も立ち入りできる場所まで延伸する。延長用の光ファイバおよび光ファイバ先端のコネクタを養生し、再計測用に存置する。 ④供用期間中の任意のタイミングで、計測器を、コネクタを存置した場所まで運搬する。光ファイバ端部コネクタを計測機器に接続し、ひずみ分布を計測する。 <データ処理手順> ①BOTDR計測器による計測値の変化分から、必要に応じて、別途計測した外気温もしくは温度分布の変化量に温度補正係数を乗じた値を加減することで温度補正を行う。 ②温度補正後のひずみ分布に、PCケーブルの見かけ上のヤング率および有効断面積を乗じることで、PCケーブルの張力分布を算出する。 ③定期点検時や大規模な地震後などの臨時点検時の張力分布の計測値を設計値と比較することで、PC橋梁上部工の健全性評価の判断材料とする。	
	アウトプット	・計測器からのひずみ分布計測データ(計測位置、ひずみ)はCSVファイルにて計測用ノートPCに保存される。 ・計測データに対して、専用のプログラムソフトまたは表計算ソフトを使用してデータ処理を行い、張力分布データ(計測位置、張力)を得る。	
	計測頻度	・特になし。なお、現地計測に要する時間は、計測準備に60～90分、1ケーブルあたりの計測に5～10分、データ確認に5分、機器の撤去に60分程度である。	
	耐久性	特に規定なし(IP30相当) 2-5-96	
動力	・AC100V ・DC25V/10Aバッテリーおよびインバータで代用可		

	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	データ収録は、計測器とLANケーブルで接続されたノートPCにて行う。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	データは、計測器とLANケーブルで接続されたノートPCに記録される。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・AC100V ・DC25V/10Aバッテリーおよびインバータで代用可
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	±3%	・緊張時の張力の制限値である0.9Py(Py:降伏時の張力)に対して±3%以内。 ・空間分解能1m(1m区間のひずみの平均値を計測)	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	0~11,770 μ	計測器の仕様と組み込まれた光ファイバのブリルアン周波数で変動。光ファイバセンサとしては、最大で24,000 μまで計測可能。 計測器の動作保証範囲:外気温が+10~+40℃	
	感 度	校正方法	計測器:販売元による点検 光ファイバセンサ:緊張時における引張力とひずみの関係による見かけのヤング率、および温度サイクル試験に基づく温度補正係数を適用		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値	光ファイバセンサによるひずみ計測器では、S/N比が設定されていない。				
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	位置分解能:約5cm ひずみ分解能:1 μ	位置分解能は、計測器の性能(受光センサのサンプリング周波数)で変動。例えば「AQ8603」(横河電機製)であれば約5cm。		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	施工時に、安全な場所まで光ファイバを延長して存置しておけば、配慮不要。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	施工時に、安全な場所まで光ファイバを延長して存置しておけば、配慮不要。 桁内に入る必要がある場合などは、計測機器の設置・撤去時は交通規制の必要がある。	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	現状、計測はリテックエンジニアリング、もしくは同社が認定した技術者が行う。	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人、補助員1~2人 合計3~4名	-
	作業ヤード・操作場所	雨などが当たらない場所であれば、特に制限は無い。	-
	計測費用	計測計画費:1 橋当たり190,100 円 光ファイバ組込式PC ストランド費用(ECF 型):4,471 円/kg " (裸線型):未定 現地計測費用:1 ケーブル当たり19,900 円 データ処理、報告書作成費:1 ケーブル当たり9,475 円 計測機器損料:1 ケーブル当たり10,833 円	左記は、計測費用の一例であり、計測条件、数量によって変動する。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自律制御無し	-
	利用形態:リース等の入手性	計測請負業務のみ。	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	リテックエンジニアリングが不具合に対応	-
	センシングデバイスの点検	計測器:必要に応じて販売元による点検を実施 光ファイバセンサ:特に点検は不要	-
	その他	-	-

6. 図面

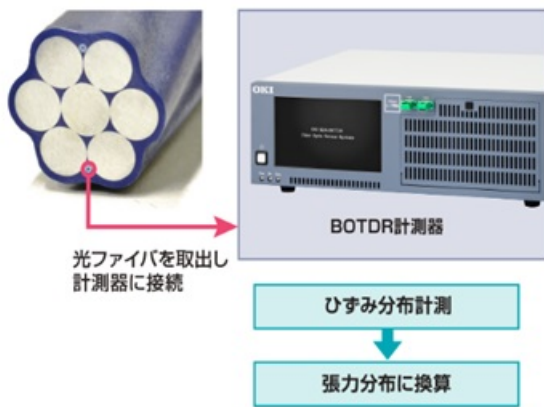


図-1 光ファイバを用いたPCケーブル張力分布計測のイメージ



図-2 施工時の計測状況

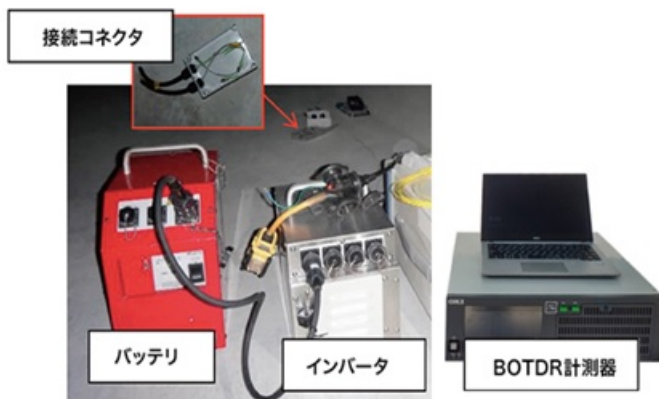


図-3 使用機器および仮設備の例(供用期間中の再計測)

1. 基本事項

技術番号	BR030013-V0323		
技術名	永久磁石を用いたPCケーブル張力の計測技術		
技術バージョン	1.0	作成:	2023年3月
開発者	住友電気工業株式会社 東京製綱株式会社		
連絡先等	TEL: 072-771-0508 03-6366-7733	E-mail: shokawa-hiroki@sei.co.jp yajima.takashi@tokyorope.jp	特殊線事業部 正川 浩貴 エンジニアリング事業部 矢島 卓
現有台数・基地	15.2mmECFストランド用:1台 15.7mm高強度ECFストランド用:1台	基地	兵庫県伊丹市昆陽北1-1-1
技術概要	<p>本技術は磁気応力効果(磁歪の逆効果)を原理とするPCケーブルの張力計測技術であり、主な用途はPCケーブルの緊張時の張力の計測、およびその後の張力の長期的なモニタリングである。</p> <p>本技術は永久磁石を備える計測装置によりPC鋼より線を磁化し、PC鋼より線の磁化の変化に伴うPC鋼より線近傍の磁束密度をホール素子により計測する。計測された磁束密度はデータ収集装置にて記録され、実験的に求められた磁束密度-張力の関係式により張力に換算され出力される。</p> <p>本技術はPC鋼より線への励磁に永久磁石を用いており、計測装置とデータ収集装置を合わせた重量が約3kgであり作業員1名での運搬・設置が可能であること、励磁に電力が不要であり乾電池でも駆動できることなどの特長を有する。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(外ケーブル)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	磁束密度		
検出項目	張力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測機器はPC鋼より線に設置する計測装置と、計測の制御、出力のデジタル値化および記録を行うデータ収集装置、付属品としてパソコンと接続するためのUSBケーブルからなる。</p> <p>計測装置は永久磁石とPC鋼より線周囲の磁束密度の変化を捉える磁束計測ICを備える磁化器、磁気漏洩を防止する遮蔽器、遮蔽器を固定するステンレスバンドから構成される。データ収集装置は樹脂製の筐体に収納されたA/D変換器やストレージ、電源等の制御を含む電子回路から構成される(6.図面 参照)。</p> <p>パソコンでの計測およびデータダウンロード時に使用する専用ソフトウェアは住友電気工業㈱より提供する。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
計測装置	設置方法	<p>・計測装置を構成する磁化器および遮蔽器は半割形状をしており、PC鋼より線を挟み込む形で設置する。磁化器の内部に備えた永久磁石によりPC鋼より線に吸着する。遮蔽器はPC鋼より線に設置した磁化器を覆う形で取付け、ステンレスバンドにより側面を締込み固定する。計測装置とデータ収集装置は電気ケーブルで接続する。</p> <p>・計測装置は鋼より線単体に設置する方式であるため、PC鋼より線を束ねて構成するPCケーブル(以下、マルチストランドケーブル)に設置する場合にはPC鋼より線単体に計測装置を取付けるためのスペースを確保する必要がある。</p>	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	外径56mm×124mm(円筒形、ケーブル除く)、重量約3kg	
	センシングデバイス	ホール素子	
	計測原理	<p>本計測技術では、計測装置設置部のPC鋼より線の近傍の磁束密度を計測することでPC鋼材の応力状態を計測することができる。</p> <p>計測装置をPC鋼より線に設置すると、計測装置内部の永久磁石により設置部のPC鋼より線が磁化され、計測装置およびPC鋼より線による磁場が形成される。PC鋼より線内の磁化は応力により変化するが、その影響によりPC鋼より線周囲の磁束密度も変化するため、その磁束密度をホール素子により計測することによりPC鋼より線の応力状態を検知できるというのが本計測技術の原理である。ホール素子で計測された磁束密度は電圧値としてデータ収集装置に保存され、実験的に求められた磁束密度-張力の関係式から張力に変換される。</p>	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>・本技術はPC鋼より線単体に計測装置を設置する方式であるため、マルチストランドケーブルに設置する場合にはPC鋼より線単体に計測装置を取り付けるためのスペースを確保する必要がある。</p> <p>・張力の作用によるPC鋼より線の磁化の変化はPC鋼より線の組成に依存するため、測定対象と同組成で、かつ同製造工程同製造会社にて製造されたサンプルを用いて事前に校正を行う必要がある。</p> <p>・対象のPC鋼より線に腐食の可能性がある場合、腐食部は非磁性となり断面欠損として認識されるため本計測技術を適用することはできない。</p> <p>・PC鋼より線に永久ひずみが発生している可能性がある場合、本技術の計測精度を確保できないため適用することはできない。</p>	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>・磁気を用いた測定原理であるため、対象となるPC鋼より線に磁化を与えるものが周囲にある場合には計測不能になる可能性がある。</p> <p>・本計測技術は温度による永久磁石の磁化の変化による出力の変化を事前の校正により補正するが、急激な温度変化が生じた場合には誤差が生じる可能性がある。</p> <p>・PC鋼より線の樹脂被覆厚による永久磁石とPC鋼より線の相対位置のばらつきや、PC鋼より線の断面積のばらつきなどによる誤差が発生する可能性がある。この誤差はPC鋼材の緊張前にあらかじめ初期値(0kN)を記録することにより補正することが可能である。</p>	
計測プロセス	<p>(1)事前校正(住友電気工業㈱にて実施)</p> <p>①温度サイクル実験を実施し、実験的に温度-磁束の関係式を導出する。</p> <p>②緊張実験を実施し、実験的に張力-磁束の関係式を導出する。</p> <p>③データ収集装置内に関係式を記録する。</p> <p>(2)現地での計測プロセス</p> <p>①PCケーブルに計測装置を設置する。計測装置をデータ収集装置に接続する。</p> <p>②専用ソフトウェアをインストールしたパソコンをUSBケーブルで計測装置に接続する。</p> <p>③(PCケーブル緊張前に設置した場合)初期値記録を行う。</p> <p>④計測インターバルを設定し、計測開始状態に変更する。</p> <p>⑤パソコンを計測装置から取り外す。(計測が開始され、自動的にデータが計測される)</p> <p>⑥(データをパソコンへダウンロードする場合)パソコンをUSBケーブルでデータ収集装置に接続し、記録されたデータのダウンロードを行う</p>		

アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> 計測日時および張力値のデータはcsvファイルにて保存される。保存されたデータはUSBケーブルでパソコンに接続しダウンロードできる。 現地でのデータダウンロードに要する時間は、計測準備に10分、計測に5分、データ確認に5分程度を要する。
計測頻度		<ul style="list-style-type: none"> 計測装置内のストレージに記録する場合：1分1回～2日1回（頻度は7パターンより選択可） パソコンを接続した状態で記録する場合：最小1秒1回（頻度は秒単位で任意に設定可）
耐久性		-
動力		<ul style="list-style-type: none"> 動力源：電気式 電源供給容量：乾電池(単三電池×2本)、もしくはパソコンからUSBケーブル経由での電力供給
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)		<ul style="list-style-type: none"> 乾電池による駆動の場合：約2年(日に1回計測の場合、乾電池の電力容量による) パソコンからUSB経由での電力供給の場合：パソコンの電力容量による
設置方法		計測装置とは通信線で接続する。
外形寸法・重量 (分離構造の場合)		長さ92mm×幅67mm×高さ28mm(コネクタ部除く)、重量約200g(乾電池除く)
データ収集・記録機能		<ul style="list-style-type: none"> データ収集装置内の内部ストレージに記録 2000データまで記録可 データはCSV形式にてUSBケーブルで接続することでパソコンへダウンロード可（専用ソフトウェアを使用）
通信規格 (データを伝送し保存する場合)		-
セキュリティ (データを伝送し保存する場合)		-
動力		<ul style="list-style-type: none"> 動力源：電気式 電源供給容量：乾電池(単三電池×2本)、もしくはパソコンからUSBケーブル経由での電力供給
データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)		約2年(1計測/日の場合、単3形アルカリ乾電池を使用した場合の一例)

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	①±3% ②±5% ③±5%	<ul style="list-style-type: none"> ・上段① 応力履歴性による誤差: フルスケールの±3% ・中段② 再現性による誤差: フルスケールの±5% ・下段③ 温度依存性誤差: フルスケールの±5% 	
		標準試験値	未検証	<ul style="list-style-type: none"> ・再現性についてはPC鋼より線の緊張前の初期値記録により補正が可能である。 	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・0kN~0.9Py	<ul style="list-style-type: none"> ・Py:PC鋼より線の0.2%永久ひずみに対する耐力 ・測定対象と同組成を持ち、かつ同製造工程同製造会社にて製造されたサンプルを用いて事前に校正を行う必要がある。 ・-10℃~50° 	
	感度	校正方法	<ul style="list-style-type: none"> ・緊張試験 ・温度サイクル試験 	緊張試験によるPC鋼より線の張力と磁束密度の換算係数の導出、および温度サイクル試験に基づく温度補正係数の導出を行い適用する。住友電気工業(株)で実施する。	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値	-		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	有			
	性能値	・0.1kN	<ul style="list-style-type: none"> ・データ収集装置より出力される張力値の最小出力単位 (7. 図面 図-3 参照) 		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	計測時人員が対象計測装置にアクセスできること	-
	桁下条件	計測時人員が対象計測装置にアクセスできること	-
	周辺条件	対象PC鋼より線に磁気影響を与えるものがないこと	-
	安全面への配慮	磁化器が永久磁石によりPC鋼より線に吸着するため、指を挟まないよう注意すること	手袋などを着用する
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	計測時人員が対象計測装置にアクセスできること	-
	その他	-	-

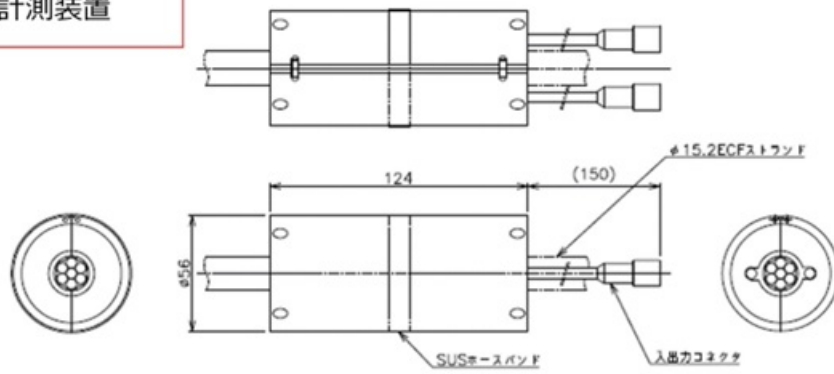
5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	計測装置設置場所	-
	計測費用	販売:1,328,000円/式 リース:100,000円/箇所	マルチストランドケーブルに設置する場合、スパーサーなどは別途必要となる
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自律制御有(設定された計測インターバルにて自動計測)	-
	利用形態:リース等の入手性	購入可、リース可	問い合わせ先:住友電気工業(株) 特殊線事業部 PC営業部 (TELL:03-6406-2811)
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	住友電気工業(株)が不具合に対応	-
	センシングデバイスの点検	特に点検は不要	-
	その他	計測時に計測支援のための住友電気工業(株)の技術者の出向が可能	-

6. 図面

図-1 計測装置およびデータ収集装置

計測装置



データ収集装置

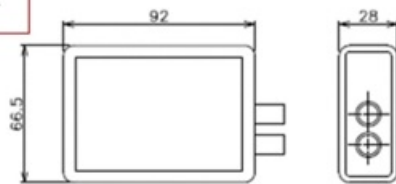


写真-1 計測装置およびデータ収集装置の構成

計測装置

磁化器

データ収集装置

ステンレスバンド

遮蔽器

USBケーブル

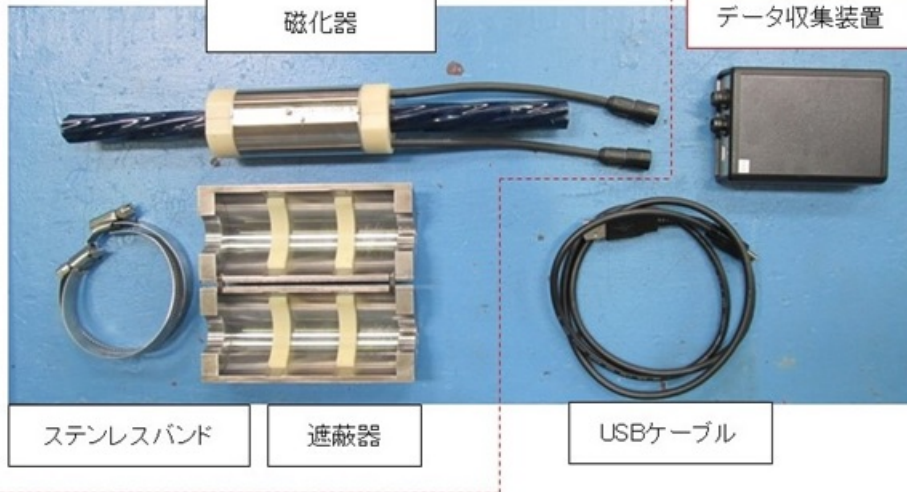


図-2 マルチストランドケーブルへの設置イメージ

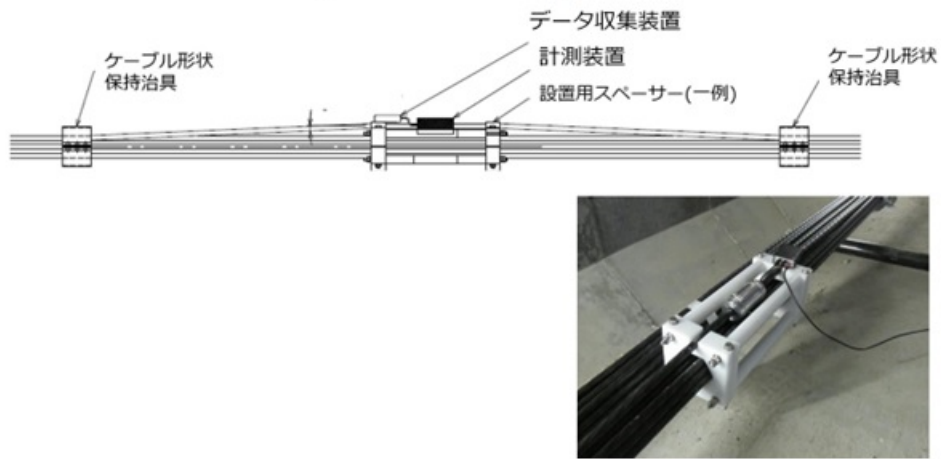
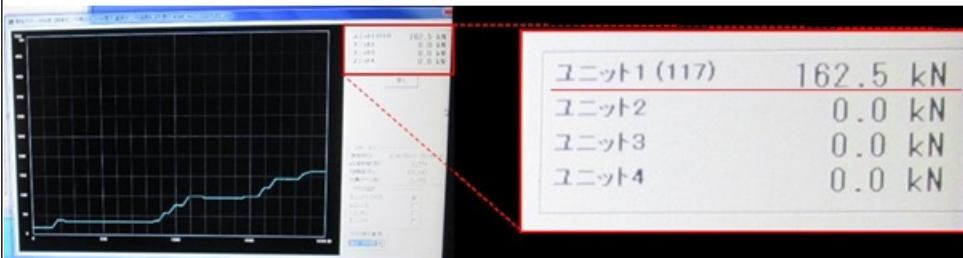


図-3 出力画面(パソコンに接続し出力した場合の一例)



1. 基本事項

技術番号	BR030014-V0323		
技術名	支承部の荷重計測システム		
技術バージョン	2	作成:	2023年3月
開発者	株式会社川金コアテック		
連絡先等	TEL: 0482591118	E-mail: himeno@kawakinkk.co.jp	技術本部 姫野岳彦
現有台数・基地	(受注生産)	基地	茨城県結城市若宮8-43
技術概要	<p>本技術は、支承部に作用している鉛直荷重の値およびその経時的な変化をモニタリング(検出)するツールである。センサーを設置した支承に対して、設計で想定している鉛直荷重と実測値との差異を確認でき、また、その値の供用期間中における変化を検出することができる。</p> <p>実施形態は、主桁下に設置するゴム支承を工場製作する際に、あらかじめセンサーを内蔵させておき、そのデータを計測するものであり、新設橋梁の架設時または既設橋梁における支承交換工事の際に適用できる。</p> <p>また、支承材料として耐久性が確認されたゴムの中に電気的な部品(センサー)を内包することで、外気環境から遮断し、システム自体の長期使用に配慮していることに特徴がある。</p>		
技術区分	対象部位	支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	圧力(ひずみゲージ式圧力センサーでゴムに生じる圧力をオイルを介して検出する)		
検出項目	反力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>①圧力センサーは、ゴム支承の内部に設置し、外気には触れない構造としている。</p> <p>②ゴム支承の外部には、圧力センサー(ひずみゲージ式)からのケーブルを収納するケースを設置している。</p> <p>③計測の際には、ケースからケーブルを引き出し、その端子を計測機器で収録する。 ※このとき、収録する計測機器には、市販されている、ひずみ式のロガーを用いることができる (このロガーは本システムの標準パッケージには含まない。)</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	圧力センサーを内蔵したゴム支承を所定の支点部(主桁下)に設置する (新設橋の架設時、または既設橋での支承交換時などに設置)	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・圧力センサーはゴム支承に内蔵されているため、主桁下に設置される支承形状が計測装置の外形寸法となる	
	センシングデバイス	・圧力センサー(ひずみゲージ式)	
	計測原理	<p>・ゴム内部に、圧力センサーの計測素子の直径と同程度の孔をゴムにあけておき、そこに流体(オイル)を充填しておく。</p> <p>・圧力センサーの先端は、この流体に触れる状態で設置されている。</p> <p>・ゴムが鉛直荷重を受けると、ゴムに変形が生じ、流体に圧力が伝達されていき、その変化をセンサーが検出する。 (圧力センサーにはひずみゲージが内蔵されており、素子先端部分の変形量を出力している)</p>	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>・外気温の変化による計測値への影響の分離が必要な場合には、別途、温度計測センサーを設置し、補正を加える必要がある。</p> <p>※本システムは、高い計測精度(鉛直荷重の絶対値)の検出よりも、経時的な状態変化のモニタリング用をメインとしているため、温度補正の機能は組み込んでいない。このため、経時的な計測を行うと、昼夜の外気温の変動によって周期的に計測値に変動が生じる。※計測データは確認シートを参照</p> <p>・この現象は、ゴム材料自体が温度に対して線膨張係数を持っているため、荷重の変化がなくても、温度によって膨張・収縮が生じ、圧力センサーの検出値が異なるためである。</p>	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>・外気温の変化による計測値への影響の分離が必要な場合には、別途、温度計測センサーを設置し、補正を加える必要がある。</p> <p>※本システムは、高い計測精度(鉛直荷重の絶対値)の検出よりも、経時的な状態変化のモニタリング用をメインとしているため、温度補正の機能は組み込んでいない。このため、経時的な計測を行うと、昼夜の外気温の変動によって周期的に計測値に変動が生じる。※計測データは確認シートを参照</p> <p>・この現象は、ゴム材料自体が温度に対して線膨張係数を持っているため、荷重の変化がなくても、温度によって膨張・収縮が生じ、圧力センサーの検出値が異なるためである。</p>	
	計測プロセス	<p>①ゴム支承製作時に4つの圧力センサーを内部に設置し、試験機で所定の鉛直荷重までの載荷を行い、個々のセンサーの校正係数(圧力→荷重への換算係数)を算出する。</p> <p>②計測用ケーブルを収納した状態で支承製品として出荷し、橋梁架設現場にて桁下に取り付ける。 ※本システムは、架設時にジャッキダウンをして支承に荷重を預ける際のバランス監視としても使用できる</p> <p>③交通解放前または後に、収納した計測用ケーブルを計測機器につなぎ、計測を開始する。</p>  <pre> graph LR A[ゴム支承] --> B[圧力センサー (ひずみ式)] B --> C[データロガー 校正係数] C --> D[ノートPC等 荷重値表示] </pre>	
	アウトプット	<p>・1支承あたり4つの圧力センサーからひずみデータが出力される。</p> <p>・ひずみデータをロガーで記録し、校正係数を乗じて荷重値に変換する。</p> <p>・ひとつの支承に作用している鉛直荷重は、4つのセンサー値の平均にて評価する。 (4つの平均値としているのは、支承全体および各部材の平坦度、密着度による影響、個々のセンサーおよびその設置状況によるばらつき等の影響を緩和するためである)</p>	
	計測頻度	・電力およびロガー(市販品等)の仕様の範囲で任意に設定可能	
	耐久性	・コーキング、カバー等による被覆を行い、対策をしている。 (ケーブル自体は、IP67相当)	
動力	・ロガーが動作するために必要な電力(100V)		

	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	・標準パッケージとしては付随していないため、別途用意すること。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・ひずみデータを計測できる一般的なロガーであれば、どのタイプでも設置可能。 (計測頻度、電力、持ち運び性、データ回収方法などによって決定する)
	データ収集・記録機能	・別途用意するロガーの仕様による
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	本システムの標準仕様では、通信装置は付随していない。 → 別途の通信装置と組み合わせてデータ回収を合理化する方法も採用することができる
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	-
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	誤差:0.025%	・同一荷重を載荷した際の再現性(誤差)は0.025% ・□400mmのゴム支承における室内載荷実験の結果によるもので、1回目載荷時の結果から、真値(試験機荷重)との校正係数を算出し、その係数を用いて、3回目載荷時における4つのセンサーの平均値を評価値とした	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・3000 $\mu\epsilon$ ・12MPa	・圧力センサーは、ひずみ式であり、出力値は約3000 $\mu\epsilon$ 。圧力センサーの容量は、ゴム平面積に対する平均支圧応力度で12MPaまで。 ・圧力計をゴム平面の中央付近に設置する場合(中央付近では、平均支圧応力度に対して、2倍程度の圧力となる。圧力計の容量は20MPa \times 1.2=24MPaであるため、平均支圧応力度ではその1/2で12MPaまでとなる)	
		校正方法	・載荷試験	・工場出荷時に、全数に対して載荷試験を行い、荷重と圧力との関係(傾き)を計測し、校正係数を定める	
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	未検証	-	
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	・フルスケール:0.6MPa	・圧力計のフルスケール(定格)20MPaに対して、0.6MPa (20MPa/3000 $\mu\epsilon$ =0.6MPa)		
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	①4.0kN ②1.0kN	上段① ゴム平面寸法1000mmの場合: (1000 \times 1000 \times 12MPa)/3000 $\mu\epsilon$ =4.0kN 上段② ゴム平面寸法500mmの場合: (500 \times 500 \times 12MPa)/3000 $\mu\epsilon$ =1.0kN		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

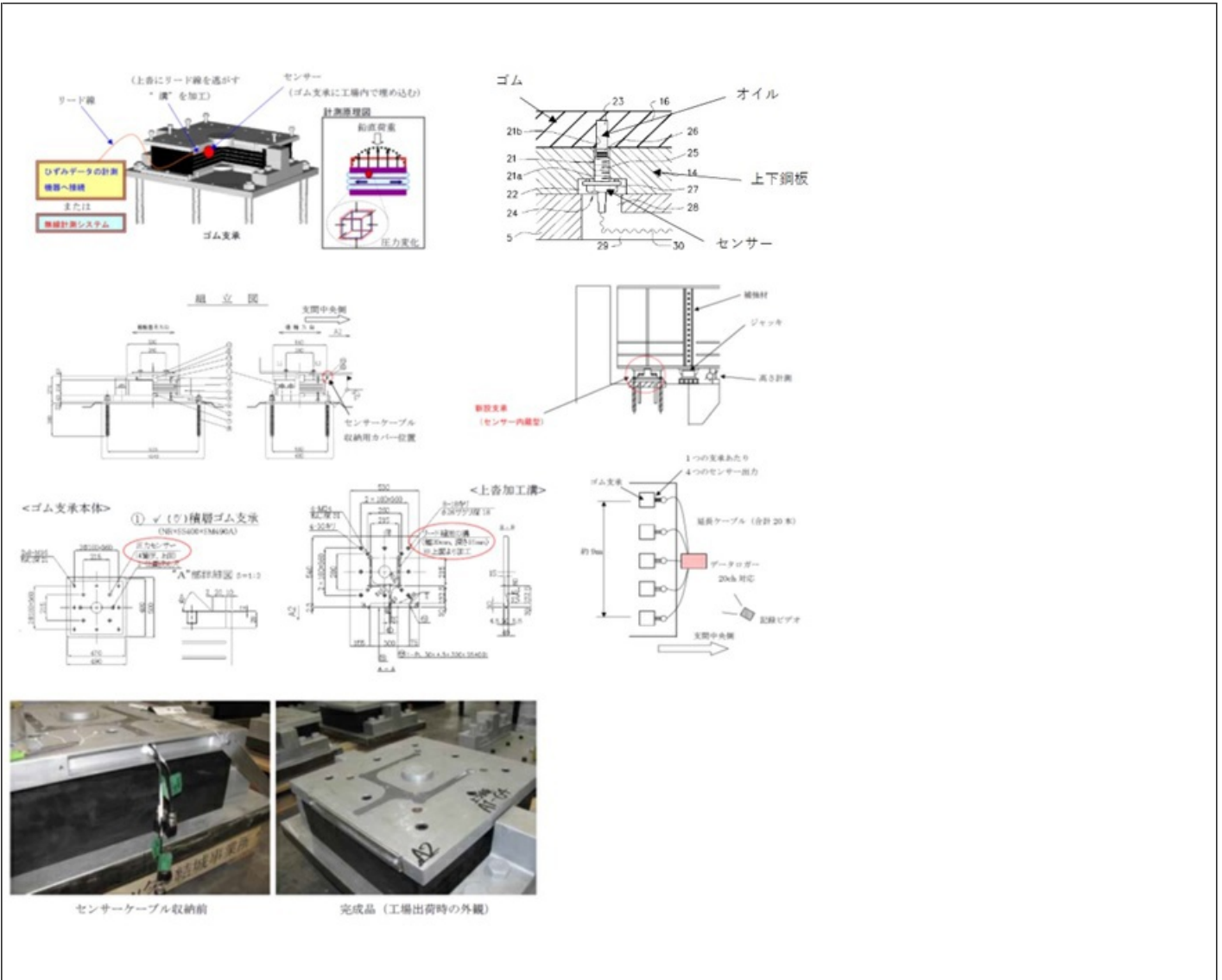
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	1名程度	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	<p>【橋梁条件】</p> <p>支承部にアクセスできる現場条件であること。(検査路、計測機器の設置作業空間があること)</p> <p>計測対象の支承線数:2支承線(単純桁)</p> <p>1支承線上の支承数(主桁本数):5支承まで(1支承につき4ch、同時計測20chまで)</p> <p>検出項目:各支承に作用する支点荷重(死荷重および活荷重)</p> <p>計測時間:1支承線につき1時間程度</p> <p>作業工数:1日(1支承線あたり3時間×2支承線)</p> <p><費用> 合計 20万円(2人工+計測機械損料)</p>	センサー自体は、ゴム支承製品に含まれるため、そのときのゴム支承サイズに応じた個別見積となる
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	購入品のみ (データロガーはリース等での利用も可能)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	-
	センシングデバイスの点検	内蔵型のため、点検はできない	-
	その他	ゴム支承が適用できる橋梁であること	-

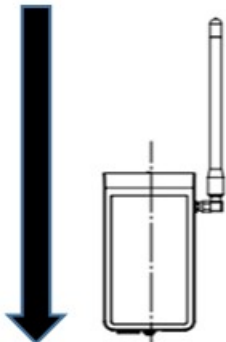
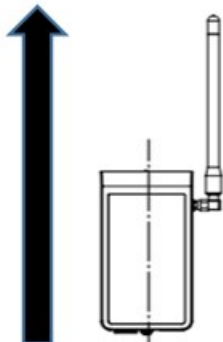
6. 図面

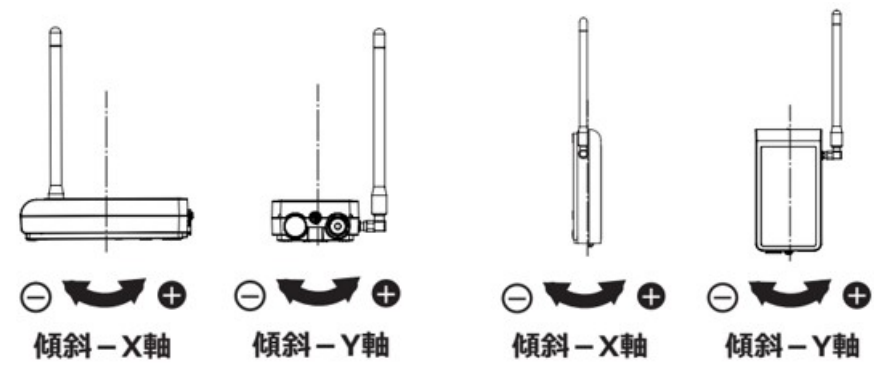



1. 基本事項

技術番号	BR030015-V0323		
技術名	3軸加速度センサを用いた傾斜計による、橋脚の傾斜角度変位モニタリングシステム		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	株式会社ザイマックス オブテックス株式会社 公立大学法人兵庫県立大学		
連絡先等	TEL: 03-5544-6630	E-mail: hi-yoshida@xymax.co.jp	経営企画部 吉田泰基
現有台数・基地	100台	基地	東京都港区赤坂
技術概要	3軸加速度センサを搭載した監視センサを橋脚に設置し、キャリブレーションを行った後の相対傾斜角度の変位をモニタリングする技術である。監視センサは、3軸加速度センサ・電池(専用リチウム電池)・通信モジュール等で構成されており、これを最長で5年間設置しておくことで、その期間において、一定時間毎の傾斜角度を継続的に計測する。これにより、どの程度変位が発生したかが可視化できる技術である。		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	⑳洗掘
検出原理	加速度		
検出項目	傾斜角		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本監視センサは、3軸加速度センサ・電池および通信モジュール内蔵の本体のみで計測を行うものである。計測されたデータはSigfox通信を通じて、弊社のクラウドサーバに蓄積される。お客様のパソコンやスマートフォンのインターネットブラウザから、傾斜角度の継続的データが確認・出力できる。</p> <p>※Sigfox通信 京セラコミュニケーションシステム株式会社が日本国内において基地局を設置し、電気通信事業者として展開している通信サービス https://www.kccs-iot.jp/</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
設置方法	<p>●橋座面が水平面に対し-10°~$+10^{\circ}$の範囲にある場合 監視センサをステンレス製の台座にビス(2箇所)で取り付け。それを橋座上にコンクリート用アンカーで3箇所固定して設置する、もしくはエポキシ系接着剤で接着する。 橋梁基礎の洗掘をモニタリングする場合には設置において、監視センサの長辺方向が河川流の方向と平行になるように、アンテナが設置されている方が上流側となるようにする。(「計測原理」に示すX軸が河川流と一致するようにするため)</p> <p>●橋座面が水平面に対し-10°~$+10^{\circ}$の範囲にない場合、または橋座上に監視センサを設置する適切な場所がない場合 監視センサをステンレス製の台座にビス(2箇所)で取り付け、橋脚の下流側垂直面で最頂部に近い部分(梁部など)に、コンクリート用アンカーで3箇所固定して設置する。 橋梁基礎の洗掘をモニタリングする場合には設置において、監視センサの長辺方向ができるだけ鉛直方向と平行になるように、アンテナが設置されている方が上になるようにする。(「計測原理」に示すX軸が河川流と一致するようにするため)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>上流</p>  <p>下流</p> <p>【橋座上の水平面に設置する場合】 (監視センサを上から見た場合)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>上</p>  <p>下</p> <p>【橋脚下流側の垂直面に設置する場合】 (監視センサを正面から見た場合)</p> </div> </div>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>監視センサ(OFM-002S) 約210g(アンテナ、電池を含む) 水平設置の場合: 監視センサの外径寸法W134×D93×H172mm(本体/アンテナ垂直設置時) 垂直設置の場合: 監視センサの外径寸法W93×D33×H275.5mm(本体/アンテナ垂直設置時)</p>		
センシングデバイス	オプテックス株式会社製 IoT看板センサ(型番:OFM?002S)		
	<p>3軸加速度センサを内蔵した監視センサを用いて、対象物のX・Y2軸のキャリブレーション後の相対傾斜角度を計測する。計測されたデータはすぐに弊社クラウドサーバに送信される。</p>		

	<p>計測原理</p>	 <p>傾斜-X軸 傾斜-Y軸 傾斜-X軸 傾斜-Y軸</p> <p>【対象物の水平面に取り付ける場合】 【対象物の垂直面に取り付ける場合】</p>
<p>計測装置</p>	<p>計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)</p>	<p>橋座面に取り付ける場合は、橋座上で上部構造の床版下部に、ステンレス製の台座を用いて監視センサを取り付け、かつアンテナを垂直に立てることができるスペース(監視センサの外径寸法W134×D93×H172mm(本体/アンテナ垂直設置時))が確保される必要がある。橋脚の垂直面に取り付ける場合においても同様に、台座を用いて設置ができ、かつアンテナを垂直に立てることができるスペース(監視センサの外径寸法W93×D33×H275.5mm(本体/アンテナ垂直設置時))が確保される必要がある。</p> <p>監視センサは水平面に対し-10°~+10°の範囲に収まるように取り付ける必要がある。</p> <p>台座と設置場所(橋座あるいは橋脚下流側垂直面)がコンクリートアンカーまたはエポキシ系接着剤にて、ぐらつきなどが生じず、一体となるよう接合できる事が必要である。</p> <p>「設置方法」に示すように、設置場所(橋座あるいは橋脚下流側垂直面)に応じて監視センサの向きを河川流あるいは鉛直方向の向きにできるだけ合わせることに留意する。</p> <p>Sigfoxの通信サービスエリア内にあることが必要であり、下記サイトにて確認を要する。(https://www.kccs-iot.jp/area/)</p>
<p>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</p>		<p>エポキシ系接着剤を使用して設置した場合に、取付後硬化した状態になるまで、一定期間微細な変位が起きる可能性がある。そこで設置後2か月を目安に、計測データを棄却すべき場合がある。</p> <p>コンクリートや金属物等は、その熱膨張により傾斜角度の計測に影響を与える場合がある。そこで1日間の温度変化を考慮し、1日に2回以上の計測を行うものとしている。</p> <p>計測においては日照や風雨による温度変化の影響を受けることが考えられる。そこで橋脚の橋座部に監視センサを設置する場合には、上部構造の床版下部など、それらの影響をできる限り回避できる場所への設置を行う。</p>
<p>計測プロセス</p>		<p><事前確認></p> <p>橋脚がSigfox通信のサービスエリア内にあるかどうかを確認する。</p> <p>橋梁全体の図面を用いて、監視センサを設置する橋脚を確定する。</p> <p>現場にて設置場所・設置方法を確認し、設置が可能であることを確認する。</p> <p>また設置時点にて通信状態の確認を行う。確認は、試験用監視センサ内部のディップスイッチにて「送信確認機能」をオンにすることで、1分ごとに10回の計測データが試験送信されるので、弊社クラウドサーバにて送信の有無を見る。本試験計測に要する目安の時間は、計測準備に15分、計測に10分、データ確認に5分である。</p> <p>橋脚の柱部または梁部の、河川の流れと平行な面および直交する面それぞれにおいて、絶対傾斜角度が計測できる傾斜計を用い、鉛直方向に対する角度を計測する。</p> <p><取付></p> <p>予定した部位に監視センサをコンクリート用アンカーで設置する。もしくはエポキシ系接着剤で設置する。</p> <p>設置後、監視センサの傾斜角度(計測開始時の傾斜角度)をゼロ度に調整(キャリブレーション(※))を行う。</p> <p>※キャリブレーション方法:監視センサ右側面の銘板に記載された“∩”マーク(近接ポイント)に約3秒間磁石を付ける。監視センサ内部の表示灯が点灯し、キャリブレーションが開始。表示灯が消灯するとテスト送信を行い、キャリブレーションが完了。</p> <p>磁石がない場合は、監視センサのカバーを開けて本体基盤にあるキャリブレーションスイッチを数秒間押す。カバーの開閉を伴うため、設置のズレに注意が必要。</p> <p><設置後の計測について></p> <p>対象物に設置した監視センサにより、あらかじめ設定した測定間隔でX・Yの2軸にて傾斜角度を計測し、Sigfox通信により弊社サーバに伝送する。伝送されたデータは一定間隔ごと(現状6時間ごとに設定)にWEBサービスに更新され閲覧・出力可能となる。</p> 
		<p><送信後のデータは下表参照></p> <p>DeviceID 監視センサ個体ごとの識別コード</p> <p>傾きX 単位:度(角度) X軸傾斜データ</p> <p>傾きY 単位:度(角度) Y軸傾斜データ</p> <p>最終データ取得日時 単位:西暦年/月/日_時:分:秒 監視センサからの最終データ取得日時</p> <p>変量スコアX、変量スコアY 無単位:X・Yそれぞれの軸において、各計測時点からさかのぼった過去のデータから、自己回帰移動平均モデル(※)を用いて算出された当該計測時点の予測値と実測値の乖離度合い①を、過去データの標準偏差②との比率((①の2乗÷②の2乗)の平方根)により表したもの。この値は予測値に対する乖離の大きさを、それが発生する確率として解釈することが可能であり、2を超えることは4.55%、3を超える場合は0.27%、4を超える場合は0.01%で起きる乖離の大きさを示している。</p>

	アウトプット	<p>※自己回帰移動平均モデルとは、時系列の統計的な性質(平均や分散)が観測時刻によらず一定であると考えられるデータにあてはめられるモデルであり、ある時点のデータとそれ以前のデータの相関を想定する自己回帰モデルと、各データは過去の誤差に影響されると考える移動平均モデルを組み合わせた時系列分析の統計的手法である。</p> <p><送信後のデータ></p> <table border="1" data-bbox="448 277 1206 421"> <thead> <tr> <th>DeviceID</th> <th>傾きX</th> <th>傾きY</th> <th>変量スコアX</th> <th>変量スコアY</th> <th>最終データ取得日時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>742E67</td> <td>0.03</td> <td>-0.03</td> <td>0.05609</td> <td>0.07635</td> <td>2020/2/7 14:26:54</td> </tr> <tr> <td>742E67</td> <td>0.02</td> <td>-0.02</td> <td>0.06543</td> <td>0.09654</td> <td>2020/2/7 2:26:50</td> </tr> <tr> <td>742E67</td> <td>0.02</td> <td>-0.03</td> <td>0.00275</td> <td>0.08654</td> <td>2020/2/6 14:26:50</td> </tr> </tbody> </table>	DeviceID	傾きX	傾きY	変量スコアX	変量スコアY	最終データ取得日時	742E67	0.03	-0.03	0.05609	0.07635	2020/2/7 14:26:54	742E67	0.02	-0.02	0.06543	0.09654	2020/2/7 2:26:50	742E67	0.02	-0.03	0.00275	0.08654	2020/2/6 14:26:50
DeviceID	傾きX	傾きY	変量スコアX	変量スコアY	最終データ取得日時																					
742E67	0.03	-0.03	0.05609	0.07635	2020/2/7 14:26:54																					
742E67	0.02	-0.02	0.06543	0.09654	2020/2/7 2:26:50																					
742E67	0.02	-0.03	0.00275	0.08654	2020/2/6 14:26:50																					
	計測頻度	以下の4つの計測頻度から選択が可能 12時間毎、6時間毎、1時間毎、15分毎																								
	耐久性	IPX5																								
	動力	リチウム電池(1次電池)																								
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	監視センサのデータ取得設定頻度に応じて、バッテリーの使用可能時間は変動。 5年(外気温25℃、12時間毎計測の場合) 4年(外気温25℃、6時間毎計測の場合) 1.5年(外気温25℃、1時間毎計測の場合) 6か月(外気温25℃、15分毎計測の場合)																								
データ収集・通信装置	設置方法	通信モジュールは、計測装置(監視センサ)と一体の構造である																								
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	通信モジュールは、計測装置(監視センサ)と一体の構造である																								
	データ収集・記録機能	監視センサで計測したデータはSigfox通信を使用して、あらかじめ設定した計測間隔ごと送信され、弊社が契約したクラウドサーバに保存される。 クラウドサーバに保存されたデータは、一定時間ごとにWEBサービスに更新され閲覧・出力可能となる。																								
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	監視センサ 内蔵モジュール ・通信方法 Sigfox ・通信規格 920MHz帯小電力無線(上り923.2MHz) ・通信速度 上り100bps ・通信距離 数kmから数十km																								
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	Sigfox通信のセキュリティは、監視センサに書き込まれたデバイスIDとPACコードを用いて認証される。 弊社サーバへはSSL通信にて送信され、WEBサービスへの送信もSSL通信および特定のIPアドレスのみに制限している。																								
	動力	監視センサ内蔵のバッテリーより供給 リチウム電池(1次電池)																								
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	監視センサのデータ取得設定頻度に応じて、バッテリーの使用可能時間は変動。 5年(外気温25℃、12時間毎計測の場合) 4年(外気温25℃、6時間毎計測の場合) 1.5年(外気温25℃、1時間毎計測の場合) 6か月(外気温25℃、15分毎計測の場合)																								

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	絶対直線性 ・ $\pm 0.2^{\circ} (-10^{\circ} \leq \theta \leq +10^{\circ})$ ・ $\pm 0.4^{\circ} (-25^{\circ} \leq \theta < -10^{\circ}$ または、 $10^{\circ} < \theta \leq 25^{\circ})$ 温度特性: $\pm 1^{\circ}$	・絶対直線性(同条件の温度・湿度下における精度を表す): $\pm 0.2^{\circ} (-10^{\circ} \leq \theta \leq +10^{\circ})$ $\pm 0.4^{\circ} (-25^{\circ} \leq \theta < -10^{\circ}$ または、 $10^{\circ} < \theta \leq 25^{\circ})$ ※ θ : キャリブレーション後の測定角度 温度特性: $\pm 1^{\circ}$
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗堀(2020) 実施年2020年 相対誤差: $0.01^{\circ} (0.53\%)$	・監視センサとリファレンス(検証者側)の計測結果に $-0.01 \sim +0.01^{\circ}$ の違いが確認された。(確認シート参照) ・上記結果に沿い、傾斜架台を用いた監視センサと検証者側のデジタル傾斜計による各々の計測値の相対差によって算出される計測精度 x は以下の通りとなる。 $X(^{\circ}) = \sqrt{((1.36-1.35)^2 + ((-6.52)-(-6.53))^2 + ((-10.99)-(-11))^2) / 3} = 0.01$ $x(\%) = X \div (1.36 + -6.53 + -11) / 3 \times 100 = 0.0529$ ※傾斜角度: 水平方向に対する傾斜角度($^{\circ}$)
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	$-25^{\circ} \sim +25^{\circ} (X \cdot Y$ 軸)	・キャリブレーション後の相対傾斜角度 ・使用環境 温度: $-25^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 湿度: 85%以下 水平面に対して $\pm 10^{\circ}$ 以内の傾きでの設置
	感度	校正方法	加速度センサを6方向($\pm X$ 方向、 $\pm Y$ 方向、 $\pm Z$ 方向)に対して重力加速度に合致するかどうかを測定する	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-
			性能値	-
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値		-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無		
	性能値	・最大: 0.01295°	-	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	監視センサを設置できるスペースを確保し、 またアンテナを垂直に立てるスペースがあること ・水平設置の場合:監視センサの外径寸法 W134×D93×H172mm(本体/アンテナ垂直設置時) ・垂直設置の場合:監視センサの外径寸法 W93×D33×H275.5mm(本体/アンテナ垂直設置時)	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	設置・撤去時には道路規制が必要となる場合がある。設置・撤去に要する時間は約1時間の見込み。	-
	その他	-	-

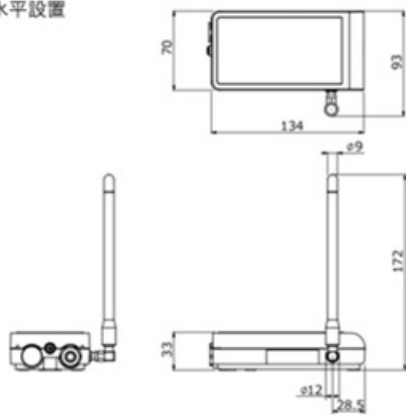
5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	高所作業車・橋梁点検車を用いる場合は、作業特別教育修了者もしくは技能講習修了者である。また、高所作業車・橋梁点検車や橋座上において設置撤去にかかる技量を有する。	-
	必要構成人員数	設置・撤去時に必要な人員数: 作業員1名	高所作業車・橋梁点検車が必要な場合は1名追加 道路規制が生じる場合は誘導員の確保が必要
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	監視センサ1点につき、 ・12時間毎計測の場合: バッテリー使用可能期間相当の5年契約で総額90,000円(年換算18,000円) ・6時間毎 " : 同4年契約で総額80,000円(年換算20,000円) ・1時間毎 " : 同1.5年契約で総額45,000円(年換算30,000円) ・15分毎 " : 同6ヶ月契約で総額30,000円(年換算60,000円)	監視センサ(レンタル)、Sigfox通信費用、データ閲覧・出力が可能なWEBサービスまでを含む ※設置・撤去にかかる費用は別途必要 ※電波状況の確認や対策検討に必要な現地調査については別途見積
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	監視センサ:レンタル 計測機器及びアウトプットに至る一連のシステムが対象(株式会社ザイマックス:03-5544-6630)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり。 センサ自身の不具合による場合、交換対応。	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	適用できない条件: Sigfoxの通信が困難な場合。	-

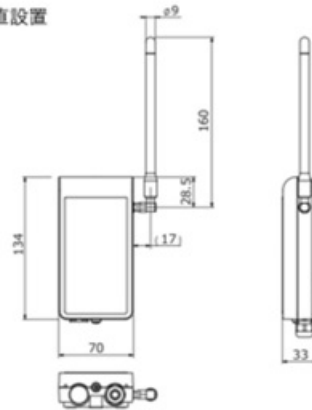
6. 図面

<監視センサ図面(単位:mm)>

水平設置



垂直設置



<橋脚>

●橋座面が水平面に対し -10° ~ 10° の範囲にある場合
監視センサをステンレス製の台座にビス(2箇所)で取り付け、それを橋座上にコンクリート用アンカーで3箇所固定して設置する、もしくはエポキシ系接着剤で接着する。

●橋座面が水平面に対し -10° ~ 10° の範囲にない場合、
または橋座上に監視センサを設置する適切な場所がない場合
監視センサをステンレス製の台座にビス(2箇所)で取り付け、橋脚の下流側垂直面で最頂部にできるだけ近い部分(梁部など)に、コンクリート用アンカーで3箇所固定して設置する。



1. 基本事項

技術番号	BR030016-V0323		
技術名	下部工基礎の洗掘モニタリングシステム		
技術バージョン	2020.3	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 福山コンサルタント 共同開発者: モニタリングシステム技術研究組合		
連絡先等	TEL: 03-5296-9407	E-mail: infra-tokyo@fukuyamaconsul.co.jp	インフラマネジメント事業部 宮村正樹、土田智
現有台数・基地	【無線センサ】10台	基地	東京都千代田区
技術概要	<p>本技術は、予め橋脚に複数点設置した無線又は有線通信タイプの加速度センサとインターネット通信回線を用いて、現地に行かずにリアルタイムで橋脚の振動データを計測し、計測結果から基礎の洗掘量を導出するモニタリングシステムである。</p> <p>基礎が洗掘すると橋脚の固有振動数が低下することに着目し、洗掘量を定量的に把握するとともに、基礎の安定上の限界洗掘量等を閾値として設定することで、管理者にメール等で異常を通知する機能を有している。</p> <p>本技術を導入することで、状況把握の迅速性UP・安全性の確保(河川内立入不要)・近接困難箇所の解消・災害時における初動対応のサポートが可能となる。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	②洗掘
検出原理	加速度		
検出項目	橋脚の固有振動数		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>センサモジュールは橋脚の振動データを収集するもので、センサモジュール1個に付き、MEMS加速度センサ1個、温度センサ1個、センサアンプ、無線モジュール、長期対応バッテリー電源、長期使用のための防水ケースで構成される。</p> <p>橋脚への取り付けは、固有振動数と固有振動モードの分析を考慮して、3箇所1セットを標準とする(状況により、橋脚天端1箇所設置のケースあり)。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【設置箇所:初期計測時】</p> <ul style="list-style-type: none"> センサは振動モードの把握のため、橋脚天端・中段・下段の3箇所の設置を推奨する。 <p>【設置箇所:常時モニタリング時】</p> <ul style="list-style-type: none"> センサは橋脚天端1箇所の設置を基本とする。 <p>【設置方法】</p> <p>橋脚の耐久性に影響しないようエポキシ系接着剤による設置とする。センサはコンパネ(120mm×120mm)に単軸用取り付け治具を介してボルト・ナットにより取り付けを行う。</p> <p>※第3者被害の発生が予想される場所では、アンカーによる固定とする。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【無線センサモジュールの場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> センサー:最大外形寸法(長さ80mm×幅82mm×高さ56mm)、最大重量(250g) 		
センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> 3軸加速度センサ 温度センサ 		
計測原理	<p>【計測原理】</p> <ul style="list-style-type: none"> 増水等の影響により、橋脚基礎周辺の地盤流出(洗掘)が進行することで、橋脚の固有振動数が低下することに着目した計測システムである。 橋脚の固有振動数は、橋脚に設置した加速度センサから得られた時刻歴加速度応答波形をFFT(高速フーリエ変換、Fast Fourier Transform)することで把握する。 計測結果を用いた対象橋脚の固有値解析により固有振動数と洗掘量の関係を解析上から予め把握することで、洗掘量の算出が可能となる。 算出される洗掘量は、基礎周辺の地盤が一様に洗掘された場合の値を示す。 <p>【計測方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> 橋脚に無線加速度センサ(又は有線加速度センサ)を設置する。 初期計測では、重錘により橋脚天端を加振した際の時刻歴加速度応答波形を計測する。 常時モニタリングでは、常時微動・交通振動による時刻歴応答波形を計測する。 収集した計測データを元に、対象橋脚の固有振動数及び土被り量を算定する。 		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>①自然条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 外気温-20℃～75℃の範囲で使用可能 センサケースは、保護等級IP65(無線センサはIP67の防水性能確認試験適合)であり、雨水が掛かる場所や塩害環境でも利用できる。 無線センサの場合はケーブル類は使用しないので、雨天時でも設置可能である。有線センサの場合はケーブル接合部の防水処理が必要。 <p>②現場条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 人が入れる作業スペースで設置可能。 設置に特殊な機械は不要(橋脚に近接が困難な場合は、橋梁点検車等の使用が必要)。 無線タイプで使用する場合は、docomoの携帯通信回線のサービスエリア内。 商用電源100Vが必要 <p>③構造条件及び地盤条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 洗掘量を定量的に算定する場合は、構造条件(上部工反力、下部工諸元等)、地盤条件(基礎形状、地盤定数等)に関する情報が必要。 		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>【計測精度】</p> <p>無線センサの通信は見通し距離100mであるため、障害物がある場合、中継器を用いるなどの対策が必要となる。</p> <p>【解析精度】</p> <p>本手法は固有値解析を用いて橋脚の固有振動数と土被り量の関係を算出するため、解析モデルの精度が検出精度に影響する。特に、地盤の土質諸元には、PS検層による地盤の初期のせん断弾性波速度V_{S0}があることが望ましい。なお、PS検層を実施していない場合は標準貫入試験のN値から推定したせん断弾性波速度V_{S0}を算出し、地盤の初期のせん断剛性G₀を算出することとしている。</p>		
	<p>2-5-130</p> <p>加速度センサを用いた洗掘のモニタリングの基本的な手順を以下に示す(フローは下図参照)。</p>		

計測装置		<p>①:対象橋脚の構造形式、基礎形式、地形条件の確認、およびセンサの設置方法を踏まえて、モニタリング計画を立案する。</p> <p>②:加速度センサを橋脚に設置する。初期値計測時は、振動モードを把握するため、橋脚の天端、中間、下端の3箇所設置することが望ましい。また常時モニタリングを行う際は、橋脚天端の1箇所のみでも可能である。</p> <p>③:重錘(約40kN)により橋脚天端を橋軸直角方向に加振する衝撃振動試験を行い、橋脚の加速度応答波形を取得する。なお、計測は外乱(ノイズ)の除去を目的として、5回以上計測する。</p> <p>④:重ね合わせ処理を行った加速度応答波形に対する周波数分析を行い、振幅応答スペクトル及び位相差スペクトルを算出する。</p> <p>⑤:周波数分析結果を基に、対象橋脚の固有振動数及び振動モードを把握する。</p> <p>⑥:対象橋脚の振動モデルを作成し、固有値解析を行い、実測値と一致するまでトライアル計算を行い、現況の地盤定数・土被り量を設定する。</p> <p>⑦:⑥で得られた振動モデルを用いて、基礎周辺の土被り量を一律に低下させた際の固有振動数の変化を、固有値解析により算定する。</p> <p>⑧:常時微動、交通振動を外力とした計測を実施し、橋脚の加速度応答波形を取得するとともに、固有振動数を把握する。</p> <p>⑨:常時モニタリングで計測した固有振動数と⑦で計算した結果と比較し、現況の洗掘量を算出・評価する。</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD START[START] --> S1[①計画・機器選定] S1 --> S2[②機器の設置] S2 --> S3[③初期値の計測 (衝撃振動試験)] S3 --> S4[④計測データの周波数分析] S4 --> S5[⑤橋脚の固有振動数と 固有振動モードの把握] S5 --> S6[⑥固有値解析] S6 --> S7[⑦土被り量の決定] S7 --> S8[⑧常時モニタリングの実施] S8 --> S9[⑨データの評価] S9 --> END[END] </pre> <p style="text-align: right;"> :室内作業 :現場作業 </p> </div>
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> ・計測される加速度の時刻歴データはcsvファイルにて保存される。保存されたデータはサーバに転送され、FFT解析を実施して橋脚の固有振動数アウトプットする。 ・初期計測により、予め橋脚の固有振動数と基礎の洗掘量の関係を把握することで、基礎の洗掘量をアウトプットすることが可能である。 ・現地計測に要する時間は下記の通りである※。 初期計測時……………計測準備:60分、計測:30分、データ確認:30分、機器の撤去:60分 常時モニタリング時…機器設置:60分、データ確認:30分 ※下部工検査路等で橋脚天端に近接可能な場合の目安を示し、現場条件により異なる
計測頻度		<p>【初期計測時:衝撃振動試験】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1回10秒の測定を5回行う。 <p>【常時モニタリング時】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1回15秒の測定を20回行う。なお、計測頻度(5分間隔~)は任意で設定が可能である。
耐久性		<ul style="list-style-type: none"> ・保護等級IP65(無線センサはIP67の防水性能確認試験適合)
動力		<ul style="list-style-type: none"> ・100Vの商用電源(外部バッテリー、太陽光発電等)
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリー給電により連続38時間 (外気温:20℃、サンプリング周波数200Hz[0.005秒に1回]で連続計測の場合)
設置方法		<p>【設置箇所】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電波の受信状況が悪い場合(通信距離が長い場合も含む)に限り、橋脚天端に設置する。 <p>【設置方法】</p> <p>橋脚の耐久性に影響しないようエポキシ系接着剤による設置とする。データ収集・通信装置はコンパネに取り付け治具を介してボルト・ナットにより取り付けを行う。</p> <p>※第3者被害の発生が予想される場所では、アンカーによる固定とする。</p>
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> ・データ収集・通信装置:最大外形寸法(長さ150mm×幅220mm×高さ100mm)、最大重量(2.8kg)

データ収集・通信装置	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> データ記憶装置にデータを保存 データ記憶装置から計測したデータをインターネット(VPN)経由でサーバーに保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> 通信方法 有線・無線 通信規格 2.4GHz帯 送信出力 +5dbm 通信距離 100m~500m
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> データ送付時にパスワードを自動で設定
	動力	<ul style="list-style-type: none"> 100Vの商用電源(外部バッテリー、太陽光発電等)
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> 外部バッテリーからの給電により連続18時間使用可能(気温20℃の場合) PCに直接データを収集する場合は、PCのバッテリー駆動時間による

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・誤差:-0.2Hz~+0.3Hz	【洗掘時固有振動数の算出精度(解析固有振動数)】 ・誤差:-0.2Hz~+0.3Hz	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗掘(2020) 実施年2020年 ・誤差:0.03%~1.99%	【加速度センサの計測精度(実測固有振動数)】 ・誤差:0.03%~1.99% (実測固有振動数は分解能0.1Hzの響含む)	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・100Hz	・応答周波数:DC~100Hz ・外気温-20℃~75℃の範囲で使用可能	
	感度	校正方法	・MEMS加速度センサを使用しているため、校正は不要(基線ズレ無し)。		
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・±125gal	・外気温-20℃~75℃の範囲で使用可能
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・0.1gal	・外気温-20℃~75℃の範囲で使用可能
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値	-		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・0.1Hz	・サンプリング周波数200Hzの場合		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

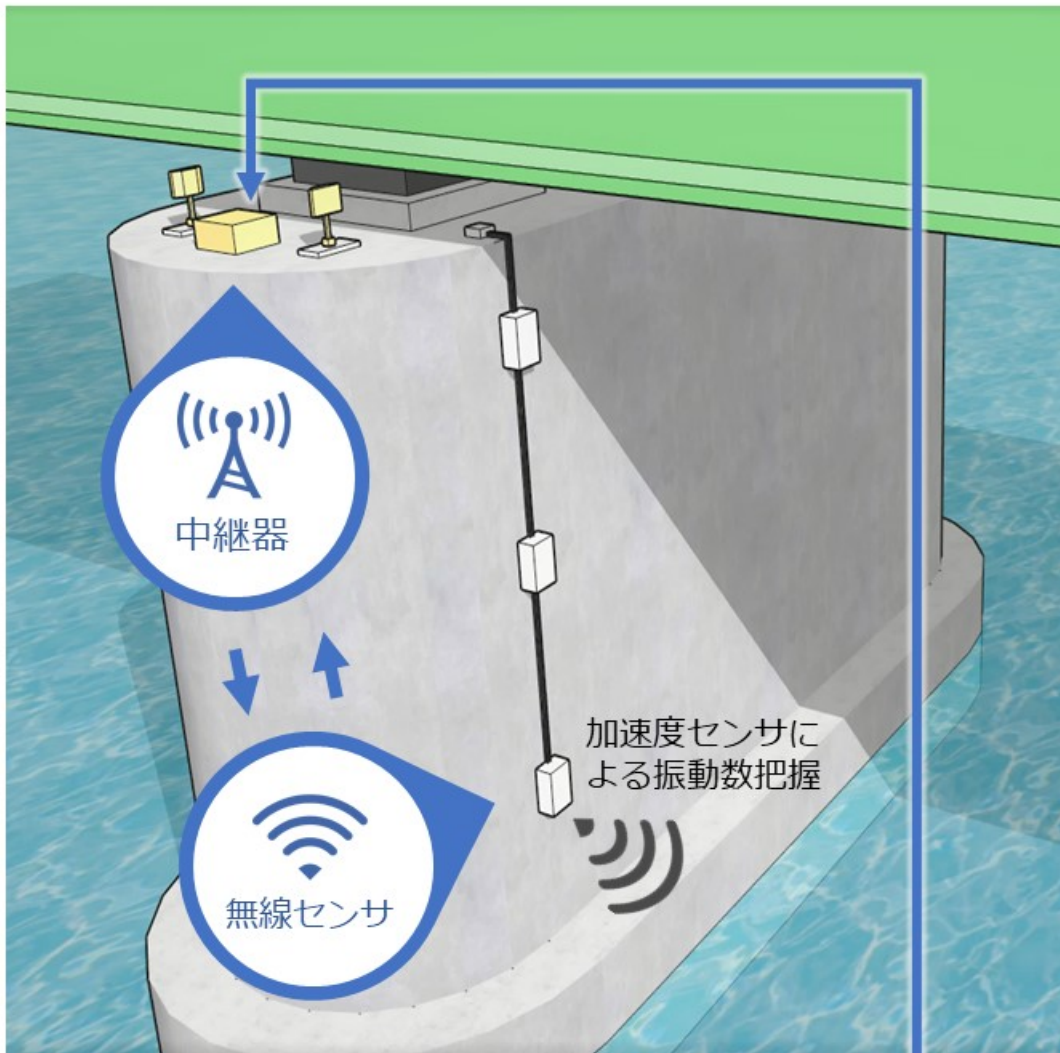
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	橋梁点検車等でセンサを設置する場合、橋梁の桁高、幅員(歩道幅員含む)等により、建設機械の規格を選定する。	-
	桁下条件	現場制約は特になし。 ※但し、橋脚天端へセンサ設置が必要	-
	周辺条件	現場制約は特になし。 ※但し、橋脚天端へセンサ設置が必要	-
	安全面への配慮	橋脚の中段・下段に設置するセンサは、設置できる範囲とする。	-
	無線等使用における混線等対策	現地踏査を行い、センサの電波の受信状況を確認する。	電波の受信状況が悪い場合は、中継機を設置する必要がある。
	道路規制条件	装置の設置・撤去時は交通規制の必要がある。	下部工検査路が設置され、橋脚天端へのアクセスが可能な場合は交通規制は不要である。
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	自社のオペレータが実施	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人、補助員2人 合計4名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	・初年度200万円/年間、2年目以降150万円/年間 ※機器設置費(点検車・規制費等含む)、初期計測費は別途 【参考費用】 ・機器設置費:足場条件により変動 ・初期計測費:1基当たり100万円(実績値)	・計測費用には、機器の設置費を含んでいない。 ・固有値解析による固有振動数と土被り量の関連性算出 については、基礎形式・地盤条件等により異なるため、別 途見積となる。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自律制御無	-
	利用形態:リース等の入手性	自社のオペレータによる実施のみ	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	-
	センシングデバイスの点検	無線タイプで使用する場合は、2~3年に1回交換を行う(使用頻度にもよる)。	-
	その他	-	-

6. 図面



ユーザパソコン

インターネット接続による、
参照及びデータ収集の指示。



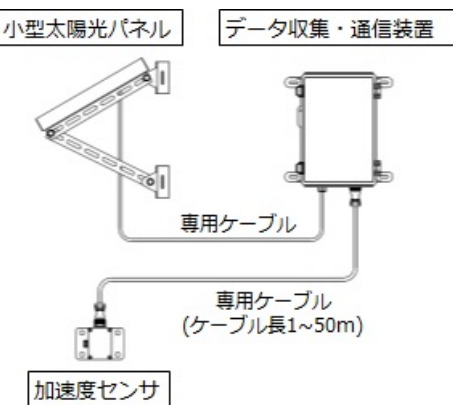
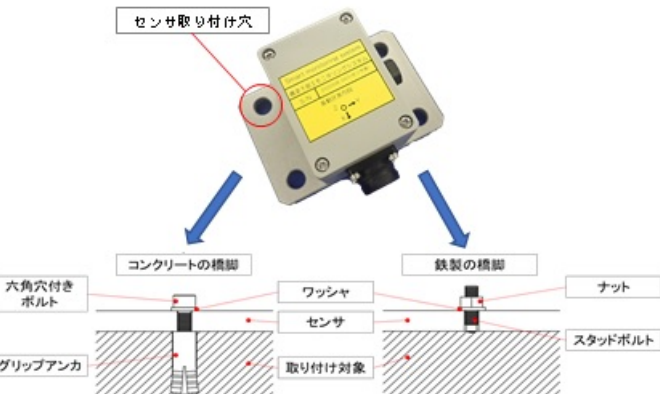
管理サーバー

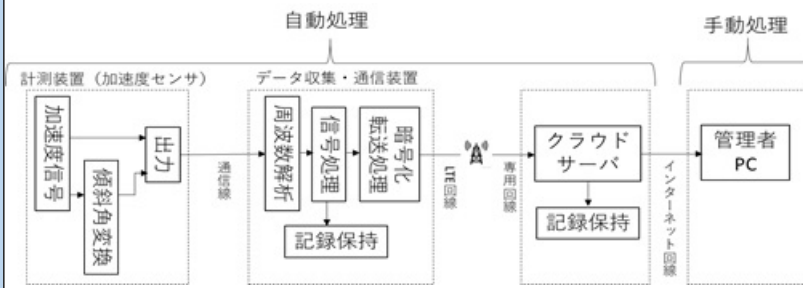

携帯電話網を介して、データ記憶
装置からデータを取得。
計測結果を蓄積
(橋脚の振動数、基礎の洗掘量)

1. 基本事項

技術番号	BR030017-V0323		
技術名	加速度センサを用いた洗掘量および傾斜角のモニタリング		
技術バージョン	2	作成:	2023年3月
開発者	長野計器 株式会社		
連絡先等	TEL: 0268-41-1003	E-mail: nks_fbg@naganokeiki.co.jp	開発センター 名取努、生井貴宏
現有台数・基地	15台	基地	長野県上田市生田2150
技術概要	<p>洗掘などによって橋脚基礎に対する地盤支持力が失われると、橋脚の固有振動数の低下となって現れることがわかっている。また、洗掘により橋脚が傾斜する変状も起きている。本モニタリング装置は、加速度センサを橋脚に設置して、固有振動数と傾斜角を計測するものである。1日3～5回の頻度で橋脚の固有振動数と傾斜角を計測するモード(以下、定常モード)と、2分間隔で連続して橋脚の傾斜角を計測するモード(以下、非定常モード)の2つの動作モードを備え、固有振動数の変化を数か月以上の長期にわたりモニタリングする、ないし傾斜角の変化を短期(数日程度)、かつ高頻度(2分間隔)でモニタリングする用途で使用する。モードを含む、計測条件の設定/変更は、PCやタブレットを用いクラウドサーバを介して行う。計測結果である固有振動数と橋脚の傾斜角は、モニタリング装置からLTE通信によってクラウドサーバに自動的に送信され、管理者はPCやタブレットを用いてクラウドサーバから計測値を取得する。モニタリング装置の電源は、太陽光、100V電源、またはその併用から選択する。モニタリング装置の動作状態(動作、日照による発電状況、温度、バックアップ電池の残量等)は、製造元がクラウドサーバを介して日々遠隔で監視を行うため、管理者による装置自体の点検は不要である。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚)	
	損傷の種類	鋼	-
		コンクリート	-
		その他	-
		共通	㊟洗掘
検出原理	加速度		
検出項目	傾斜角/振動数		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>小型太陽光パネル、データ収集・通信装置、加速度センサ(計測装置)の3点から構成される。小型太陽光パネルとデータ収集・通信装置、および加速度センサとデータ収集・通信装置を専用ケーブルで接続する。</p>  <p>小型太陽光パネル データ収集・通信装置</p> <p>専用ケーブル</p> <p>専用ケーブル (ケーブル長1~50m)</p> <p>加速度センサ</p>
移動装置		<p>機体名称</p> <p>移動原理</p> <p>運動制御機構</p> <ul style="list-style-type: none"> 通信 測位 自律機能 衝突回避機能 (飛行型のみ) <p>外形寸法・重量</p> <p>搭載可能容量 (分離構造の場合)</p> <p>動力</p> <p>連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)</p>
設置方法		<p>(1) コンクリートの橋脚: 橋脚の天端に4か所、φ11、深さ33mmの下穴を開け、M6のグリッパアンカーを打ち込む。加速度センサをM6六角穴付きボルト(20mm)で取り付ける。</p> <p>(2) 鋼製の橋脚: M6のスタッドボルト(20mm)を橋脚の天端に4か所にスタッド溶接し、加速度センサをナットで取り付ける。</p>  <p>センサ取り付け穴</p> <p>六角穴付きボルト</p> <p>グリッパアンカー</p> <p>コンクリートの橋脚</p> <p>ワッシャ</p> <p>センサ</p> <p>取り付け対象</p> <p>鉄製の橋脚</p> <p>ナット</p> <p>スタッドボルト</p>
外形寸法・重量 (分離構造の場合)		加速度センサの外形 (120mm×80mm×高さ58mm)、重量 (約600g)
センシングデバイス		・3軸加速度センサ Epson社製 型版:M-A352
計測原理		<p>(1) 固有振動数の計測原理 橋脚天端に取り付けた3軸加速度センサで、河の流れに沿う方向の橋脚に誘起する微動を計測し、周波数解析と信号解析によって固有振動数を同定する。</p> <p>(2) 傾斜角の計測原理 水平方向を0、鉛直方向を90°と定義すると、任意の傾斜角度θの時、加速度値aの値は(1)式で表される。従って、傾斜角は(2)式で求めることができる。</p> $\sin \theta = a/g \cdots (1)$ $\theta = \arcsin(a/g) \cdots (2)$
計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)		<p>(1) 対象橋脚の固有振動数が、計測レンジ(計測性能を参照)の範囲内であること。</p> <p>(2) 橋脚の加速度レベルが分解能(計測性能を参照)と比較して十分に大きいこと。</p>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		<p>(1) 取り付け位置精度(計測装置(加速度センサ)の設置による検出軸の位置精度)</p> <p>(2) 取り付け時の固定(計測装置を設置する際のガタや緩み)</p>

		<p>(3) 周囲温度(計測装置への直射日光を避けるように設置)</p> <p>(1) 毎日設定した時刻になると、計測装置(加速度センサ)が橋脚の振動データと傾斜角を自動計測する(1日最大5回まで)。 (2) データ収集・通信装置が、振動データから周波数解析と信号処理によって固有振動数を求める。 (3) 振動データ、周波数解析結果、固有振動数、傾斜角はデータ収集・通信装置内部のSDカードに保存される。 (4) 固有振動数と傾斜角はLTE回線でクラウドサーバに保存される。 (5) 管理者は、インターネット回線を介し、クラウドサーバからデータをPCやタブレットにダウンロードする。 (6) 管理者は、計測モードや計測条件を変更する場合、PCやタブレットからインターネット回線を介しクラウドサーバにコマンドを送信する。クラウドサーバはコマンドを受信すると、データ収集・通信装置にコマンドを転送する。データ収集・通信装置はコマンドを受信すると、計測モードや計測条件を変更する。</p> 
アウトプット		<p>(1) 時系列振動データ ⇒ データ収集・通信装置内部のSDカードにバイナリファイルで保存 (2) 周波数解析結果(周波数スペクトル) ⇒ データ収集・通信装置内部のSDカードにバイナリファイルで保存 (3) 固有振動数 ⇒ データ収集・通信装置内部のSDカードに保存、クラウドサーバにCSVファイルで保存 (4) 傾斜角 ⇒ データ収集・通信装置内部のSDカードに保存、クラウドサーバにCSVファイルで保存</p>
計測頻度		<p>【定常モード】 毎日3~5回(1回の計測で約200秒) 【非常モード】 2分間隔で計測 最大計測期間5年間</p>
耐久性		IP67
動力		<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーなどの仮設電源は不要。 ・データ収集・通信装置から有線で供給される。
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		-
設置方法		<p>(1) 小型太陽光パネル、データ収集・通信装置を桁上の照明柱の上部にポールバンドによって取り付ける。 (2) 小型太陽光パネルとデータ収集・通信装置を専用ケーブルで接続する。 (3) 橋脚の天端に取り付けた計測装置(加速度センサ)とデータ収集・通信装置を専用ケーブルで接続する。</p>
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> ・データ収集・通信装置:最大外形寸法(長さ280mm×幅190mm×高さ160mm)、重量(約4.2kg)
データ収集・記録機能		<ul style="list-style-type: none"> ・データ収集・通信装置に装備された記録メディア(SDカード)に保存 ・LTE回線によって、計測したデータは自動的にクラウドサーバに転送、保存される。 ・事務所のPCと専用のソフトウェアを使い、クラウドサーバにインターネットを介して接続、データをPCにダウンロードする。 
データ収集・通信装置 通信規格(データを伝送し保存する場合)		<ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 LTE ・通信規格 3GPP FDD-LTE Release 10 ・通信周波数 Uplink 1920 - 1980 [MHz] / Downlink 2110 - 2170 [MHz] (Band 1) Uplink 880 - 915 [MHz] / Downlink 925 - 960 [MHz] (Band 8) ・通信速度 Category 1 (Downlink 10 [Mbps] / Uplink 5 [Mbps])
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)		<p>【データ収集・通信装置とクラウドサーバ間】 インターネットを介さない閉域網でセキュリティ対策 【クラウドサーバとPC間】 ・認証方式 TLS ・暗号化方式 TLS</p>
動力		<p>※標準仕様(AC100V電源が取れない場合) ・小型太陽光パネルにより発電し、データ収集・通信装置に内蔵したキャパシタに蓄電した電力と、電力が不足の際に補う内蔵バッテリーによる。</p> <p>※定常モードでのアウトプットを2分以内で取得する場合や、定常/非常モードの切り替えを任意の時刻で行うためにはAC100V電源が必要となる。 ・小型太陽光パネルの代わりにAC100Vを電源とすることも可能。 ・小型太陽光パネルとAC100Vを併用することも可能。</p>
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)		<p>(1) 外部電源(AC100V)接続時 = 2.8×140 送信とコマンド受信は常時可能 (2) 外部電源非接続時(小型太陽光パネルによる発電) = 8時~17時までの毎時5分間にデータ送信とコマンド受信が可能</p>

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・傾斜角:±4mrad ・加速度:±4mG ・固有振動数:±0.025Hz	周囲温度 -20℃~60℃のとき	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗堀(2020) 実施年2020年 ・鉛直方向:固有振動数の相対差 0.000 Hz(0%) ・橋軸方向:傾斜角の相対差 0.2086 mrad(0.2%)	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・固有振動数:~60Hz ・傾斜角:±1.047rad ・加速度:±1G	・製品仕様 ・周囲温度 -20℃~60℃のとき	
	感度	校正方法	標準重力加速度値9.80665m/s ² (1G)にて校正。		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値		・固有振動数:なし ・傾斜角:0.2μrad/√Hz ・加速度:60μGrms/√Hz	・製品仕様 ・周囲温度 -20℃~60℃のとき	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無		
性能値		製品仕様 固有振動数:なし 傾斜角:0.2μrad/√Hz 加速度:60μGrms/√Hz	・周囲温度 25℃のとき		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	製品仕様 固有振動数:0.025Hz 傾斜角:0.002μrad/LSB 加速度:0.06μG/LSB	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	初期値の取得と設置工事の際に、桁上から橋梁点検車を用いる場合、交互通行可能な幅員が必要。	-
	桁下条件	計測装置(加速度センサ)を設置するのに橋脚天端と桁との間に作業スペースが必要。	-
	周辺条件	照明柱など、桁上にデータ収集・通信装置の取り付け箇所があること。	-
	安全面への配慮	初期値の取得と設置工事の際に、交互通行規制が必要となる場合、誘導員が必要。	-
	無線等使用における混線等対策	計測結果の転送に失敗した際は、データ収集・通信装置が自動的に時間を置いて再送する。通信環境が完全に途絶えた場合、SDカードでデータを回収する。	-
	道路規制条件	初期値の取得と設置工事の際に、桁上から橋梁点検車を用いる場合、車道部片側交互通行規制が必要。	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	(1) 初期値の取得(衝撃振動試験、河床位置計測) 衝撃振動試験による固有振動数の調査業務 音響測深、またはボールによる測量業務 (2) 固有値解析 モデル化、CAE解析業務	-
	必要構成人員数	(1) 初期値の取得(衝撃振動試験、河床位置計測) 技術者2名、高所作業者2名 (2) 設置 高所作業者2名	-
	作業ヤード・操作場所	モニタリング中は、PCやタブレットから専用のソフトウェアとインターネット回線によって遠隔操作を行うため、作業ヤードは不要。	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [コンクリート橋] ・橋長 条件なし ・全幅員 条件なし ・橋脚高さ 4m ・検出項目 [振動数および傾斜角] ・設置箇所数 [1箇所] ・計測頻度 [5回/日] ・計測期間 [5年] <費用> ・30万円/年(計測機器レンタル、通信費、クラウドサーバ管理費、データ管理ソフトウェアの利用料を含む。条件:5年間継続) ・23万円(実績値)(取り付け工事費。条件:陸上より高所作業車を使用)	・計測機器レンタル、通信費、クラウドサーバ管理費、データ管理ソフトウェアの利用料を含み、5年間継続を条件 ・取り付け工事費は対象とする橋梁条件によって異なる。 ・調査業務(初期値の取得、固有値解析)は、対象橋脚に応じた費用が別途発生する
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自動制御有(遠隔操作による計測条件の変更)	-
	利用形態:リース等の入手性	・計測機器とクラウドなどの利用環境はレンタル ・レンタル先:長野計器株式会社	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり、年間保守契約要	-
センシングデバイスの点検	遠隔からネットワークを介して定期的に点検を行う。必要に応じて現地にて点検を行う。	計測費用に含まれる	
その他	-	-	

6. 図面

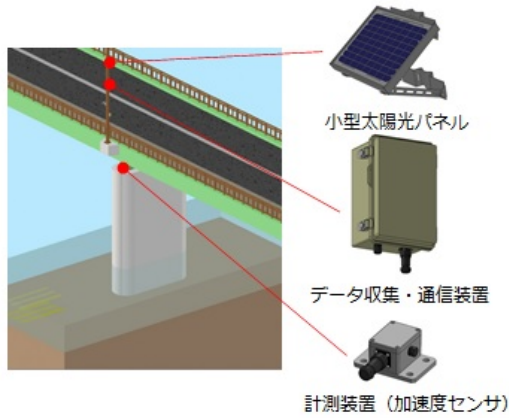


図6.1 取り付け図

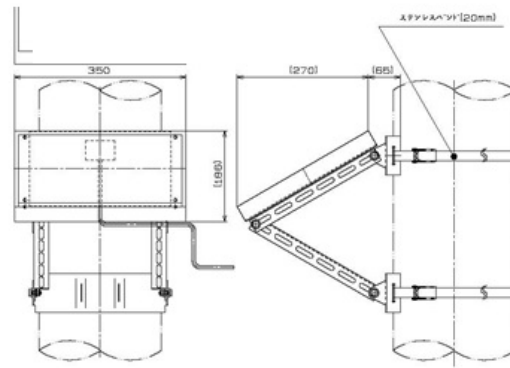


図6.2 小型太陽光パネル

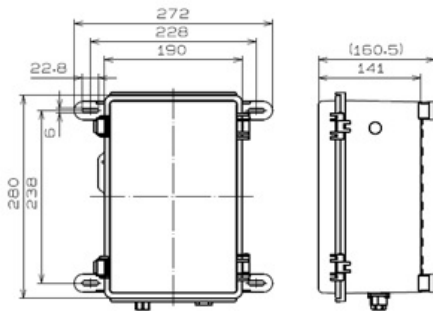


図6.3 データ収集・通信装置

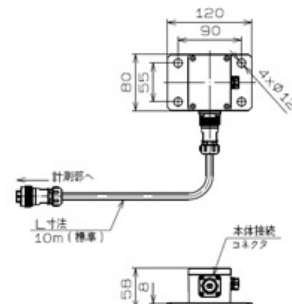
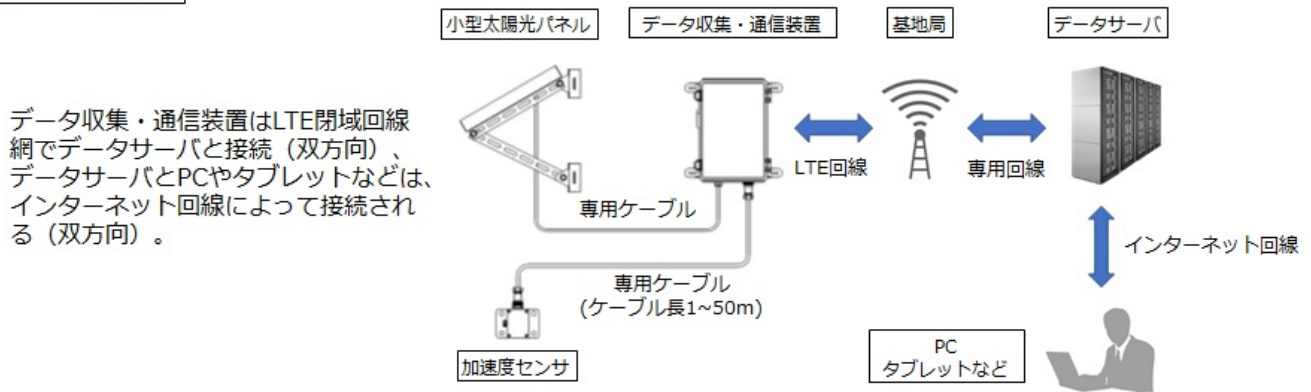


図6.4 計測装置 (加速度センサ)

ネットワーク接続図



写真



写真6.1 小型太陽光パネル、データ収集・通信装置の設置



写真6.2 データ収集・通信装置の設置



写真6.3 加速度センサの設置(1)

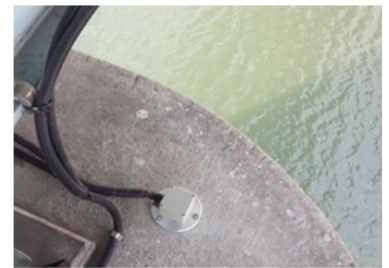


写真6.4 加速度センサの設置(2)

1. 基本事項

技術番号	BR030018-V0323		
技術名	無線時刻同期加速度センサシステムによる損傷検知技術		
技術バージョン	ver 1.0	作成:	2023年3月
開発者	三井住友建設(株) 東京大学		
連絡先等	TEL: 050-3137-2249	E-mail: huchibori@smcon.co.jp	内堀裕之(三井住友建設) 水谷司(東京大学)
現有台数・基地	注文生産	基地	-
技術概要	本技術は、無線で時刻同期された3軸加速度センサを構造物の複数箇所に常設することで、構造物の固有振動数や振動モード形状、傾斜角を長期的にモニタリングする。蓄積されたデータを元に損傷や劣化等によるその変化を確認することが可能となる。地震発生の場合には、地震の検知を関係者に通知するとともに、現地の計測点の計測震度取得および蓄積データとの比較から剛性低下による固有振動数の変化の検知を行う。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版,アーチ,ラーメン,斜張橋) 下部構造(橋脚,橋台,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	-
検出原理	加速度		
検出項目	剛性評価(固有振動数/固有振動モード形状/傾斜角度/地震時の計測点の計測震度)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		計測機器は、子機となる加速度センサを構造物に設置し、そのデータを無線により親機に収集する。 計測は、スケジューリングされた時刻に行い、全子機の加速度データをクラウドに保存するとともに、地震を検知した場合には地震時の加速度データを収集し、クラウド上に保存する。 地震直後には、現地での震度が一定値以上の場合には通知するとともに、親機にて固有振動数の変化から剛性低下の有無を判定する。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	構造物の計測を行いたい箇所にボルトや接着剤等により堅固に固定する。 一般的にプレートを構造物にボルトや接着材にて固定し、プレートに計測器をネジ・ボルトにて取り付ける。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置寸法は内容構成によるため、下記に一例を示す。 子機(計測装置):W75×D125×H35[mm] (電池ボックス):W210×D210×H130[mm] 親機:W500×D350×H600[mm] (ソーラーシステム用蓄電池・LTE通信装置等を内部に含む)		
センシングデバイス	・3軸加速度センサ EPSON製 M-A352 ・3軸加速度センサ Analog Devices製 ADXL355		
計測原理	・構造物(橋梁や建物を想定)に3軸加速度センサを内蔵した子機を設置し、加速度振動を計測する。計測したデータから信号処理により構造物の固有振動数をソフトウェア内で自動で推定し、日常の傾向を把握する。地震直後には、連続計測を行い固有振動数の変化を確認し、剛性低下の有無を把握する。剛性低下については、固有振動数の変化から検出するが、その変化の検出は、ソフトウェア内で自動で行う。		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・子機(センサ)設置のために計測部位に近接できる必要がある。 ・地震検知を行うため、計測装置(子機)に無用な衝撃を与えられないようにする必要がある。 ・電源が必要。(乾電池、商用電源100V、ソーラー電池、PoEなど) ・無線使用可能な環境が必要。(有線対応可能)		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・センサに急激な温度変化があると誤差が大きくなるため、できるだけ直射日光を避けるのが良い。 (必要に応じて、子機に遮熱カバーや日除けを取り付ける) ・加速度計測にあたり適切な測定結果が得られるよう、3軸加速度センサの感度(レンジ)やフィルタ機能、サンプリング周期などを適切に設定する必要がある。 ・計測機器(子機)の設置にあたっては、不要な振動が計測されないように十分堅固に固定する必要がある。		
計測装置	<p>①橋梁に設置した子機に内蔵された加速度センサにより加速度の時刻歴を計測する。子機内でFFTを行い、固有振動数を算定する。</p> <p>②全点のデータを親機に収集し、構造物の固有振動数の推定を行う。</p> <p>③固有振動数を親機に履歴データとして保存する。</p> <p>④親機に収集された計測データおよび算出された固有振動数をクラウド上に保存する。</p> <p>⑤クラウド上に保存されたデータを確認する。</p> <p>⑥地震等が発生した場合、地震後に推定した構造物の固有振動数と履歴データの関係から剛性低下の有無を判定する。</p> <p>⑦剛性低下判定の結果および構造物の計測点での計測震度をメールにより通知する。</p> <p>【処理フロー図】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">自動処理</div> <div style="text-align: center;">手動処理</div> </div>		
計測プロセス	<p>①橋梁に設置した子機に内蔵された加速度センサにより加速度の時刻歴を計測する。子機内でFFTを行い、固有振動数を算定する。</p> <p>②全点のデータを親機に収集し、構造物の固有振動数の推定を行う。</p> <p>③固有振動数を親機に履歴データとして保存する。</p> <p>④親機に収集された計測データおよび算出された固有振動数をクラウド上に保存する。</p> <p>⑤クラウド上に保存されたデータを確認する。</p> <p>⑥地震等が発生した場合、地震後に推定した構造物の固有振動数と履歴データの関係から剛性低下の有無を判定する。</p> <p>⑦剛性低下判定の結果および構造物の計測点での計測震度をメールにより通知する。</p> <p>【処理フロー図】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">自動処理</div> <div style="text-align: center;">手動処理</div> </div>		
	計測される加速度の時刻歴データおよび加速度センサの温度データはクラウドに転送され、csv形式にて保存される。クラウド上では、定期計測時の各センサの加速度波形および温度、地震時の加速度波形と計測震度が確認できる。それぞ		

	アウトプット	れの加速度波形について振幅スペクトルを確認できる。 また、加速度波形から得られる統計値、固有振動数、剛性低下の有無をアウトプットする。 本システムは常設のため、計測は自動で行われる。通常、計測のウォーミングアップに15分、計測5分で行っている。データ取得には(計測時間×計測点数)の時間を要する。
	計測頻度	一般的に、1日2回としている。
	耐久性	IP56
	動力	下記のいずれかによる ・乾電池(電池ボックスが必要) ※乾電池の数を増やすことで長期間への対応も可能 ・商用電源AC100V ・PoE(Power on Ethernet)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	1年程度(単1乾電池5本使用、5分間計測を1日2回、地震検知のために常時待機する場合)
データ収集・通信装置	設置方法	計測装置と一体構造。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	計測装置(子機)内の記録メディア(SDカード)に保存 無線により計測装置(子機)から親機にデータを収集し、LTEにてインターネット経由でクラウド上に保存する。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	通信方法: 無線(親機-子機)、LTE(親機-クラウド) 通信規格: [無線]2.4GHz帯または920MHz帯 通信速度: ~120kbps 通信距離: ~300m
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	・子機~親機間:共通鍵暗号方式 ・親機~クラウド間:TLS/SSL
	動力	計測装置と共通
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	適用電源によるため、一例を示す。 単一乾電池×5本で1日2回(各5分)の計測を行い、約1年間使用可能

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	未検証	-
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 剛性評価(2020) 実施年2020年 計測精度:0.00062Hz (0.012%)	・固有振動数・加振振動数確認にて検証実施 検証値との差:0.00062Hz (0.012%)
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	①±15G ②±2G/±4G/±8G	・計測レンジ ①M-A352 ±15G ②ADXL355 ±2G/±4G/±8G ・動作温度範囲 ①M-A352 : -30℃~+85℃ ②ADXL355 : -40℃~+125℃
	感度	校正方法	・標準重力加速度値により校正	・センサ単体
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無
			性能値	・検出率:100%
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-
			性能値	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	-125dB	・S/N比 M-A352 -125dB(@6Hz, db referred to 1(m/s ²) ² /Hz) ・動作温度範囲 M-A352 : -30℃~+85℃
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	①0.06 μG/LSB ②3.9 μG/LSB	・分解能(FS=2G時) ①M-A352:0.06 μG/LSB ②ADXL355:3.9 μG/LSB ・動作温度範囲 ①M-A352 : -30℃~+85℃ ②ADXL355 : -40℃~+125℃

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

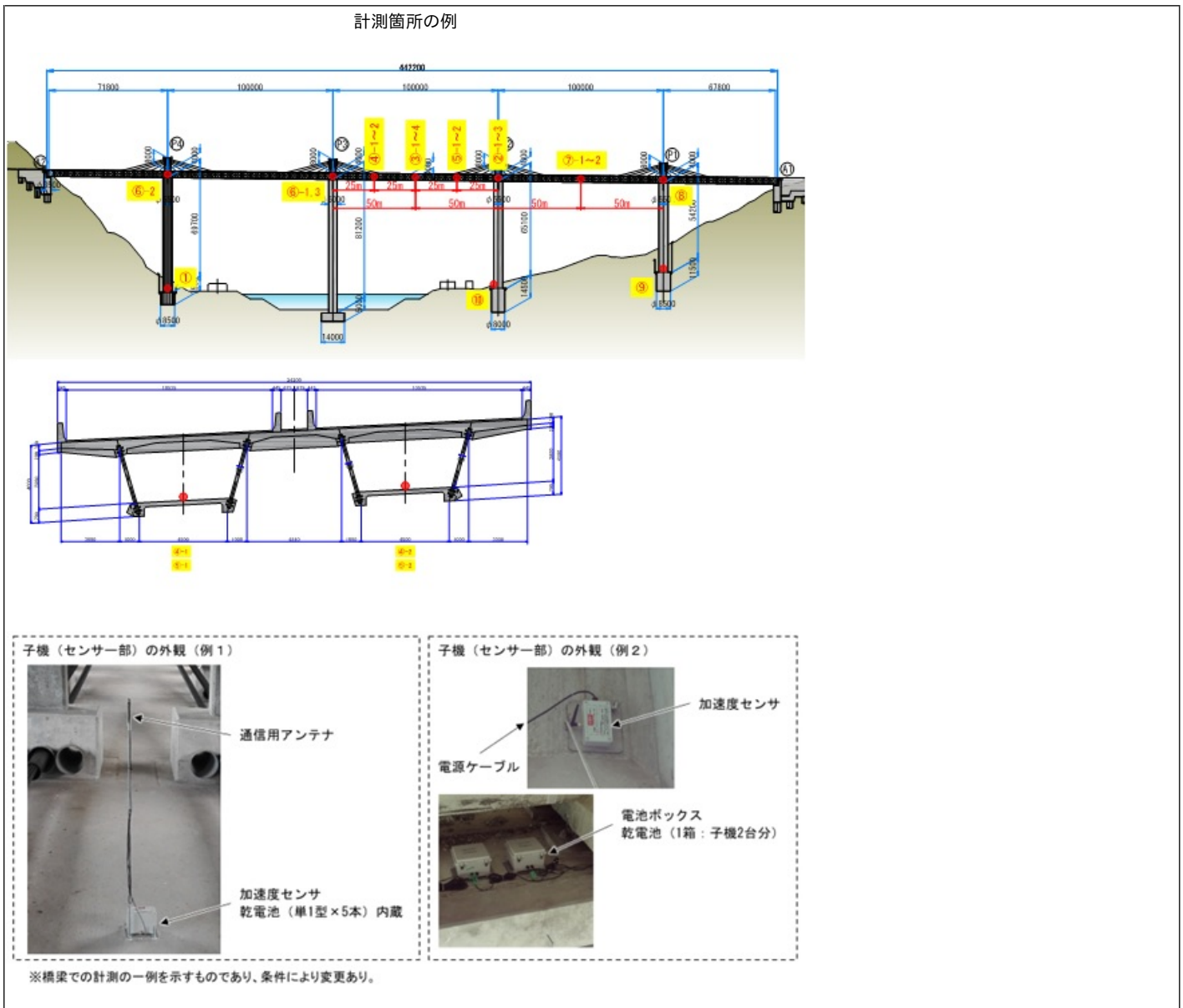
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	桁下面に設置する場合は、作業者が進入できること	-
	周辺条件	2.4GHz帯または920MHz帯の帯域を広く専有する無線システムが隣接して稼働している場合は、使用不可の可能性あり 電波塔が隣接してある場合は使用不可の可能性あり	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	使用する周波数を変動させながら使用している	-
	道路規制条件	道路上から設置する場合には規制等が必要	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	設置後は全自動監視を行う	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	最小機器構成(子機×3台、親機)：89,000円/月 子機追加使用料(1台当たり)：21,000円/月 剛性低下判定サービス使用料(1構造物)：50,000円/月 設置工事費、設置箇所技術指導料：別途見積り 電源・クラウド使用料・通信費：要問合せ	-
	保険の有無、保障範囲、費用	未加入	-
	自動制御の有無	遠隔操作が可能 スケジューリングおよびトリガー検知による自動計測	-
	利用形態：リース等の入手性	レンタル 購入については要相談	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	監視サービス提供の予定	-
	センシングデバイスの点検	-	-
その他	-	-	

6. 図面




1. 基本事項

技術番号	BR030019-V0323		
技術名	低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術		
技術バージョン	1.0.0	作成:	2023年3月
開発者	能美防災株式会社		
連絡先等	TEL: 03-3265-0509	E-mail: m_nagasw@nohmi.co.jp	第1技術部 長澤 正浩
現有台数・基地	・1セット(センサ812台、中継処理装置)、1チームで対応	基地	〒102-8277 東京都千代田区九段南4-7-3
技術概要	本技術は、橋梁において、主構造物(主桁や橋脚)に取付けた加速度センサを用い、損傷や劣化による振動特性(固有振動や傾き、振動モード、変位)の変化を可視化する。これにより、主に剛性変化を要因とする、振動特性の変化を評価する技術である。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 下部構造(橋脚) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	加速度		
検出項目	剛性評価(周波数解析(固有振動解析)/傾き/活荷重変位/モード(複数センサ取付時))		

2. 基本諸元

計測機器の構成		本システムは、加速度センサ(計測装置)と中継処理装置(データ収集・通信装置)で構成される。加速度センサは、主桁や橋脚に固定し計測を行うものである。計測したデータは、近辺に設置された中継処理装置に有線で収集される。データ収集方法には、オフライン型、オンライン型の2種類がある。一つは、中継処理装置に収集されたデータが中継処理装置に取り付けられた外部記憶媒体に保存されるオフライン型であり、もう一つは、収集されたデータが広域ネットワーク等で遠方のPCに転送されるオンライン型である。 (計測機器の写真、および計測機器の全体構成イメージは「7. 図面」を参照)	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	加速度センサの取付は、ベースプレート(最大:長さ145mm×幅145mm×高さ13mm)を介して、主桁、橋脚に、アンカーボルトないしは、接着剤、マグネット等を用いて設置する。 設置位置は、測定対象が主桁の1次の固有振動数であれば桁中央、2次の固有振動数であれば桁四分位点、桁端の振動や傾きを計測する場合は桁端に設置する。また対象が橋脚であれば、橋脚頂部付近に設置する。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置: 最大外形寸法: 長さ140mm×幅130mm×高さ79mm) 最大重量: 900gf (ベースプレート含まず)		
センシングデバイス	低周波3軸加速度センサ 能美防災(株)製 PDAJ002-RP 計測装置 外観 		
計測原理	構造物(主桁、橋脚)に3軸加速度センサを設置することで、加速度値が計測される。 計測された加速度値は、解析ソフトウェアを用いて演算処理され、以下、4種類の特徴量が算出される。 1、周波数特性: 加速度値から任意時間を切り出した後、フーリエ変換処理により周波数特性を算出(固有振動数や周波数成分のエネルギー分布を算出) 2、傾き: 加速度値にローパスフィルタを施すことにより直流～超低周波成分を抽出し、センサ取付け姿勢に対する重力加速度ベクトルを算出 3、変位: 加速度値を時間軸方向へ二階積分することによって得られる変位量を算出 4、振動モード: 固有振動数の帯域の振動のみをフィルタリングによって抽出し、加速度センサの配置に従い、振動波形を图示・可視化 算出されたこれらの特徴量は、各特徴量の時間変動、統計量へ演算・可視化できる。		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・加速度センサ設置のために、計測部位にアクセス可能であること。また、加速度センサ同士、および加速度センサから中継処理装置まで配線が可能であること。 ・加速度の計測には、橋梁の測定対象部位に加速度センサを強固に固定する必要がある。測定対象部位に加速度センサがガタつきなく設置できる十分に平坦な場所を確保できること。 ・加速度センサの周波数特性と、対象橋梁の振動特性とが合致している事を、設計図書や実現場の調査を通じて確認する。 ・常時計測の場合、計測対象には、外部から十分な加速度入力があること。		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・加速度センサに300Gを超える衝撃が加わると、センサが故障する可能性がある。そのため、設置後は取付部付近では工事をしないなどの留意が必要である。 ・強い高周波振動(50Hz以上)が恒常的に発生すると、ドリフト現象が生じる場合があるため、算出される特徴量の誤差に留意する必要がある。 ・センサの固定位置は、測定項目、および測定すべき固有振動の次数を考慮して決定する。 ・加速度センサを接続するケーブルは、ケーブルの揺れに起因する振動ノイズが加速度センサへ伝達されない様、適宜固定する。		
計測装置	・商用電源以外の電源を利用する場合、不要な振動を発生しないバッテリー電源の使用が望ましい。発動発電機を使う場合は、発電機の振動が供試体および加速度センサへ伝達されない様、設置場所を選定する。 ・定期的に計測を行う場合は、初回設置時に取付ベースを測定位置に設置・固定し、次回以降の計測時は、都度、加速度センサを設置済みの取付ベースへ設置・固定して計測する。		

	計測プロセス	<p>・定期的に計測を行う場合は、計測毎の環境(気候条件、交通流)に大きな差が出ないよう、同じ季節・時期・曜日に計測することが望ましい。</p> <p>”計測～処理のフロー”の図を用いて詳細を記載する。</p> <p>①構造物に設置した加速度センサにより加速度の時刻歴および加速度値が計測される。</p> <p>②計測された加速度値および時刻歴は中継処理装置内にすみやかに保存される。この後、オンライン型の場合は、広域ネットワークを用いて、データ処理部(解析ソフトウェアがインストールされたPC等)にデータがすみやかに送信される。オフライン型の場合は、外部記憶媒体を介して、技術者がデータをデータ処理部に送る必要がある。</p> <p>③データ処理部に送られたデータに対して、技術者が解析ソフトウェアに計測期間や径間長などのパラメータを予め設定しておくことで、4種類の特徴量(周波数特性、傾き、変位、モード)が演算処理により算出される。また、技術者が、これらのパラメータを設定し直すことで、任意条件や任意期間で特徴量を算出し直すことも可能である。</p> <p>④さらに、解析ソフトウェア上で、上記特徴量から、各特徴量の指定期間の変動や統計量などが、演算処理により算出され可視化される。</p> <p>⑤最後に、可視化された解析結果について、技術者が、センサ取付け時(初期状態)の解析結果と、所定期間(例えば1年)経過後の解析結果とを比較し差異の有無を評価する。構造物の固有振動や変位、傾き、振動モードの変化は、橋梁の主構造の剛性変化に伴い変化するパラメータである。これらの特徴量を技術者が比較・評価することで橋梁の剛性変化を判断する。</p> <p>図:【計測～処理のフロー】</p>  <pre> graph LR subgraph Sensor S1[加速度センサ] S2[加速度値取得] end subgraph Relay[中継処理装置] R1[データ収集・転送処理] R2[記録保存] end subgraph Network[広域ネットワーク] N1[データ送信] end subgraph PC[データ処理部] P1[解析ソフトウェア] P2[算出: 周波数特性, 傾き, 変位, モード解析] end subgraph Output[可視化] O1[特徴量推移, 統計値など] O2[記録保存] end S2 --> R1 R1 --> R2 R2 --> N1 N1 --> P1 P1 --> P2 P2 --> O1 P2 --> O2 O1 --> V[可視化] O2 --> V V --> E[評価] </pre>
	アウトプット	<p>・計測された加速度値は、中継処理装置に送信され、時刻歴とともに、バイナリ形式で中継処理装置内に保存される(CSV形式への変換可)。</p> <p>・中継処理装置からデータ処理部に送られた加速度値は、技術者が予め設定した計測期間や径間長などの設定値に基づき、データ処理部で演算処理され、「計測プロセス」の項目で記載の4種類の特徴量(周波数特性、傾き、変位、振動モード)が算出される。</p> <p>・データ処理部で算出された特徴量は、各特徴量に対し指定期間の変動や統計量などへ、同解析ソフトウェア上で可視化可能。</p> <p>・現地計測に要する時間は、計測準備に2時間、計測に1時間、機器の撤去に1時間程度。</p> <p>※規模により異なる。上記所要時間の算定条件は、径間長が15m程度でアクセス可能な下部構造のある橋梁にて、最小規模のシステムで測定する場合。</p> <p>※データ処理作業は別途実施</p>
	計測頻度	・計測期間中は常時計測(標準的な計測時間目安:2~10時間程度)
	耐久性	・防塵、防水: IP67相当 ・MTBF: 10年以上
	動力	中継処理装置から電源を供給
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・外部バッテリー利用の場合 : バッテリー容量に依存(最長2日間程度の常時計測が可能)
	設置方法	データ収集・通信処理装置である中継処理装置は、加速度センサと専用線(最遠長:100m、総延長:200m)で接続し、一般人の通行を妨げない箇所に固定、配線する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>最大寸法:長さ330mm×幅300mm×高さ120mm 最大重量:5Kg</p> <p>※環境によって、保護措置が必要(左側の写真は保護措置なし、右側の写真は保護処置の例)</p>
データ収集・通信装置	データ収集・記録機能	<p>・オフライン型:データを中継処理装置に取り付けた外部記録媒体に保存する。</p> <p>・オンライン型:データは中継処理装置から広域ネットワークを介し、遠隔地のPC等に伝送し、ハードディスク等に保存する。</p> <p style="text-align: center;">中継処理装置 外観</p>  <p style="text-align: right;">※保護処置の例</p>
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<p>・通信方法:中継処理装置にEthernet 100BaseTXを装備。本I/Fに適宜、商用通信手段を接続することにより遠方へ伝送可能。</p> <p>・通信規格:IEEE802.3u</p> <p>・通信速度:100Mbps</p> <p>・通信距離:0~100m(ノードあたり)</p>
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	中継処理装置から遠方のPCなどに伝送し保存する場合は、通信路のセキュリティに従う。
	動力	<p>・常時計測する場合、商用電源による供給(AC100V)</p> <p>・一時的に機器を設置して計測を行う場合、商用電源または外部バッテリーによる供給(AC100V)</p>
	データ収集・通信可能時	

間(データを伝送し保存する 場合)	・外部バッテリー利用の場合: バッテリー容量に依存(最長2日間程度の常時計測が可能) ・商用電源利用の場合: 制限なし
----------------------	--

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	①傾きアライメント誤差±0.5° ②周波数許容誤差:±20ppm ③周波数温度特性:±50ppm	上段①・傾きアライメント誤差:±0.5°※メーカー保証値 中段②・周波数許容誤差:±20ppm (100Hz±2mHz ※常温時) ※メーカー保証値 下段③・周波数温度特性:±50ppm (100Hz±5mHz) ※メーカー保証値 ・環境条件: -20℃~+70℃、90%RH 以下	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 剛性評価 (2020) 実施年2020年 ①直線性:0.03 %FS ②データ温度特性:±4mG ③傾き温度誤差:±0.229° ④固有振動数の相対差:0.018Hz (0.53%)	上段①・直線性:0.03 %FS ※確認シート(直線性)を参照 中段②・データ温度特性: ±4mG ※確認シート(データ温度特性)を参照 中段③・傾き温度誤差: ±0.229°※確認シート(傾き温度誤差)を参照 下段④:・鉛直方向の固有振動数(1次)の相対差0.018Hz (0.53%) ※確認シートを参照 ・再現性:確認シートを参照	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・加速度:各軸 ±5G ・周波数:DC~50Hz未満	(メーカー保証値) ・加速度:各軸 ±5G (精度保証範囲±1G) ・周波数:DC~50Hz未満(サンプリング周波数100Hz) ・環境条件:-20℃~+70℃、90%RH 以下	
	感度	校正方法	・電源ON時、自動でセルフチェックテストを実施		・環境条件:-20℃~+70℃、90%RH 以下
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
検出感度		性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	①-1.718[dB] ②-10.192[dB]	・減衰特性は、確認シート(検出感度)を参照(例:10Hzで-1.718[dB]、20Hzで-10.192[dB]) ・環境条件:-20℃~+70℃、90%RH 以下	
S/N比	性能確認シートの有無 ※	有			
	性能値	ノイズ密度: 2-5-159 0.5 μGrms/√Hz (0.5~6Hz):平均 2.0 μGrms/√Hz (0.5~6Hz):最大 60 μGrms/√Hz (0.5~100Hz):最大	・環境条件:-20℃~+70℃、90%RH 以下		

分解能	※検証有: 確認シート(SN比)を参照		
	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	・加速度分解能: 各軸0.06 μ G (62.5 \times 10 ⁻⁹ G)	・環境条件: -20 $^{\circ}$ C \sim +70 $^{\circ}$ C、90%RH 以下

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	センサ設置位置は、設置工事時に、作業員がアクセス可能であること。	-
	周辺条件	・商用電源(AC100V)の確保が必要な場合あり。 ・遠隔地からデータを取得する場合、中継処理装置は、広域ネットワークのサービス提供範囲内に設置すること。	-
	安全面への配慮	・センサおよび中継処理装置の設置位置が、一般通行人が接近するような箇所の場合、注意喚起の看板等の設置が必要。 ・加速度センサの落下防止策が必要。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	・装置の設置・撤去時は、必要に応じて、交通規制措置をとる。 ・載荷試験を実施する場合、交通規制措置が必要。	-
	その他	・通常時の振幅が微小である(歩行者専用橋梁など)、極端に交通量が少ない(数台/hの通行量)等の橋梁において、活荷重変位(たわみ)を計測する場合、荷重走行試験が必要。 ・計測期間中、橋梁へ影響のある振動が発生する作業や工事設備が、橋梁周辺に存在しないこと。	-

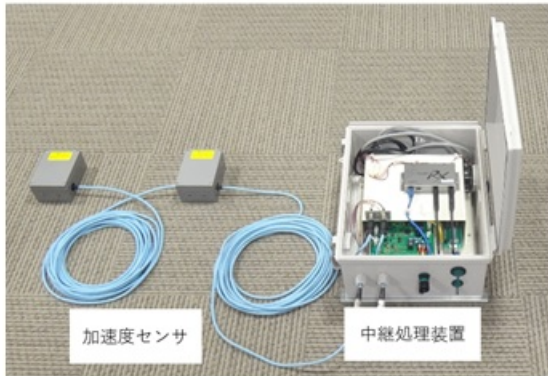
5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	振動解析の知識を有する者	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、作業員1人以上	-
	作業ヤード・操作場所	計測BOX(600mm×500mm×400mm)を、常設する場所が必要。	-
	計測費用	受託測定: 【受託測定: 【橋梁条件】 橋種 [鋼橋] 径間長 75m 全幅員 26m 部位・部材 主桁 検出項目 周波数解析 設置箇所数 8箇所 計測頻度 常時計測 計測期間 7日間 <費用> 合計 1,500,000円(経費・保守含まず)	<ul style="list-style-type: none"> ・データ処理部は別途用意(応個別相談)。 ・測定点数によりセンサ価格は点数分を要する。 ・解析(報告書作成含む)は、受託のみ(但し、個別対応あり) ・データ収集ソフト(サンプル)は中継処理装置に付属。 ・受託測定費用は、 <ul style="list-style-type: none"> ・電源、広域ネットワーク回線、および設置工事費は含まない。 ・規制費、高所作業車費等は含まない。
	保険の有無、保障範囲、費用	固定機器のため、保険加入不要	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	受託計測	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり	-
センシングデバイスの点検	<ul style="list-style-type: none"> ・電源ON時、自動でセルフチェックテスト実施 ・1回/年程度の頻度での感度の確認 	-	
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・センサ設置位置へ作業者がアクセス出来ない場合、対応不可。 ・センサの設置に、磁石、アンカー、接着剤のいずれかの方法を使用可能であること。 	-	

6. 図面

計測機器 (写真)

計測機器 (写真)



計測機器の全体構成イメージ

計測機器の全体構成イメージ



1. 基本事項

技術番号	BR030020-V0323		
技術名	無線センサネットワーク構造モニタリング		
技術バージョン	V810	作成:	2023年3月
開発者	サンシステムサプライ株式会社		
連絡先等	TEL: 03-3397-5241	E-mail: info@sunss.co.jp	営業技術部 小幡 聡
現有台数・基地	35台以上	基地	東京都杉並区
技術概要	MEMS加速度センサ、バッテリー、ロガー機能、無線通信機能が一体型となった加速度センサ。本装置にて3成分の加速度/速度 (Windowsパソコンにインストールされた専用ソフトウェアより設定変更可能) の計測が可能、また、2成分の傾斜データの取得も専用ソフトウェアの設定にて変更可能。本装置にて計測されたデータはUSB/無線通信を介して遠隔のパソコンやクラウド上へ直接データをアップロードが可能である。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,斜張橋) 下部構造(橋脚)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	加速度		
検出項目	剛性評価(加速度)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		本装置は、計測装置と無線通信、バッテリー/ロガー機能が一体となっており、土木構造物をはじめとする加速度や振動、傾斜などの計測を行う機器である。計測データは本機器内のメモリに蓄積され、USBまたは無線通信によってデータ転送が行われる。無線通信の場合は別途無線ルータ/アクセスポイントを介して、クラウドや遠隔のサーバに転送される。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
計測装置	設置方法	【据置型】 計測装置を計測したい箇所に据え置いて(固定して)計測を行うものである。 ＜設置対象:コンクリート構造物＞ 2点のビスによる固定、専用の接着剤を用いて固定 ＜設置対象:鋼構造物など＞ 専用マグネットプレートにて固定、周辺をパテなどで動かないようにしっかり固定	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	外形寸法(長さ39.4mm×幅76.2mm×高さ20.6mm) 重量(65gf)	
	センシングデバイス	3軸加速度センサ アナログデバイス社製 ADXL355	
	計測原理	・計測対象箇所にセンサを設置し、振動データを計測する。計測した振動データから固有値解析を行ったり、2回積分することで変位量を求めたり、傾斜データを算出し、計測箇所の物理データを把握する。DC(直流成分)からの応答があるため、機器は重力加速度方向に1Gの出力がなされる。設置前には各軸を重力加速度方向に向け、機器の動作確認が可能である。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・センサーユニットの軸方向を構造物の軸方向に合わせて設置 ・設置面とユニット間の密着性を高く保つようにパテや接着剤、ビス止めなど適切な方法で固定	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・加速度計測にあたり計測精度向上のため、計測箇所に適したデジタルフィルタ(ハイパスフィルタ)の設定やサンプリング周期(計測したい周波数の2倍以上)などを適切に設定する必要がある。 ・コンクリート構造物での計測にあたっては、不均質な材料の特性や表面密度の不均一などの影響を受けないように機器の固定方法に対策が必要である。	
	計測プロセス	【設置からデータ収集までの一連の流れ】 ①計測したい箇所を決め、固定方法を定める ②センサの軸方向と計測箇所の軸方向をそろえて、設置 ③Windows/パソコンから専用ソフトウェアを起動し、収録の設定を行う ④設置後、初期設置データの取得を行い、基礎データを取得/確認 ⑤データが正常に記録、保存されていることを確認 ⑥CSVデータをエクセルや解析ソフトなどで適宜処理を行う	
	アウトプット	・計測される加速度/速度/傾斜の時刻歴データはcsvファイルにて保存される。 ・現地計測に要する時間は、計測準備に5分、計測にX分、データ確認に5分、機器の撤去に5分程度を要する。	
	計測頻度	・最短 0.00025秒に1回(4,000Hz)	
	耐久性	本装置はUSB接続部がむき出しのため、本機器の防滴防塵対応はない。 別途、自己融着テープや防水シールなどを用いることで屋外での使用も可能	
動力	・動力源:電気式 ・電源供給容量:バッテリー ・定格容量:5.0V、1,300mA ・本装置側面のUSBコネクタよりケーブル接続し、給電を行う		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	内部バッテリー動作の場合、フル充電状態から連続計測の場合(例:125Hz)約3日ほどの稼働が可能である。 バッテリーよりも通信の有無や、サンプリング数などの設定に依存する。		
設置方法	計測装置と一体		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置と一体		
データ収集・記録機能	・内部記録メディア(メモリ16MB)に保存 ・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータをインターネット/ローカルNET経由で受信側PCに伝送しハードディスクに保存		
	・通信方法 有線(USB)・無線(WiFi)		

データ収集・通信装置	通信規格(データを伝送し保存する場合)	・通信規格 2.4GHz帯 ・通信速度 1Mbps-10Mbps ・通信距離 10m~50m
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	・認証方式:WPA、WPA2 ・暗号化方式:TKIP、AES
	動力	・内部バッテリーより供給(Type-B(micro)のUSBケーブル接続)
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	・計測装置に搭載するバッテリーからの給電により連続100日(気温25℃の場合)使用可能 *計測モードに依存

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 剛性評価(2020) 実施年2020年 ・最大:0.0625Hz	・X/Y/Z軸 1%以内 *計測精度比較検証試験の結果より FFT解析結果(0~100Hz範囲内)の誤差が最大0.0625Hzであったため。 ・推奨する設置方法にて固定されていること	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・±8g	-	
	感度	校正方法	・付属する設定ソフトウェアを用いて、重力加速度方向にセンサ受感軸を向けたキャリブレーション機能あり。		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・15.6 μg/LSB	・推奨する設置方法にて固定されていること
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・64,000LSB/g(X/Y/Z軸)	・推奨する設置方法にて固定されていること
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	①-82dBg(80 μgRMS) ②-80dBg(100 μgRMS)		・125Hzサンプリング時 ①-82dBg(80 μgRMS) X/Y軸 (メーカー保証値) ②-80dBg(100 μgRMS) Z軸 (メーカー保証値)		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・20bit	・メーカー保証値		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

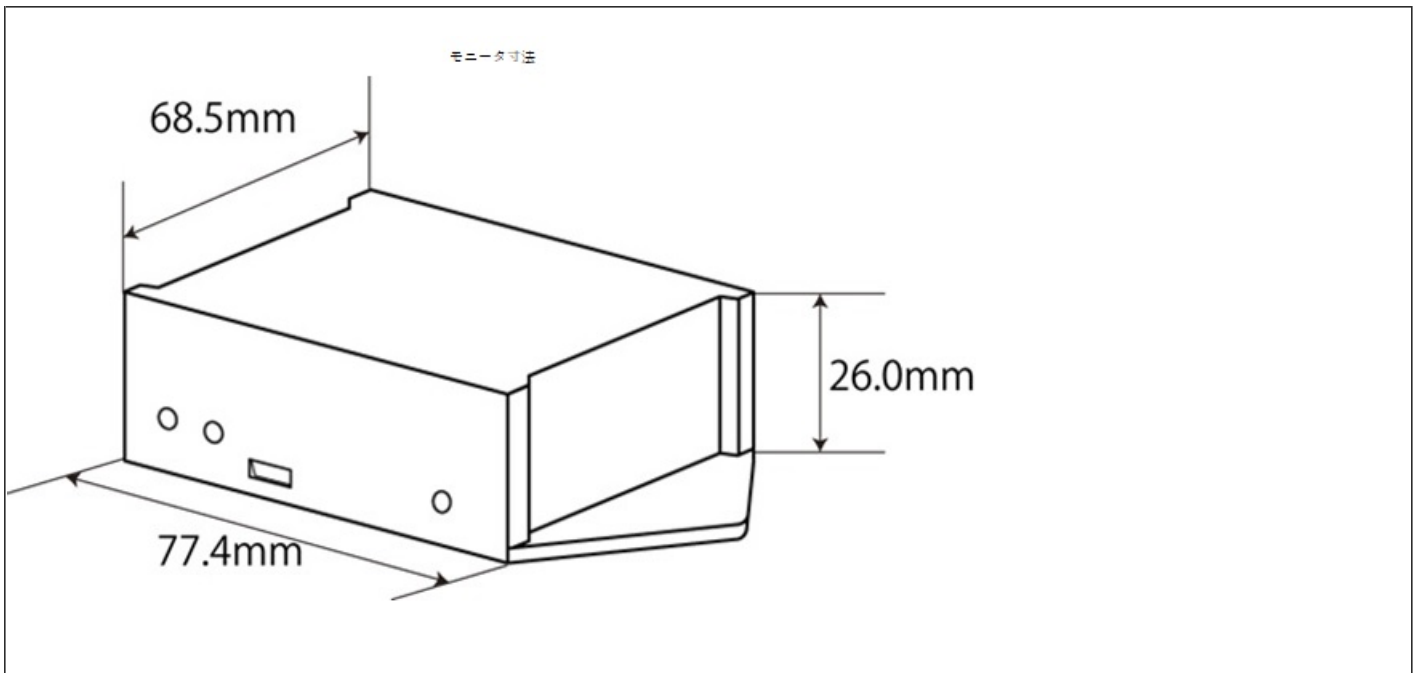
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	計測中は注意喚起の看板の設置	-
	無線等使用における混線等対策	無線2.4GHz帯の使用が計測環境にある場合は、無線CHの設定を可変にする無線ルータの使用を推奨する。	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、補助員1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	【センサ】 98,000円(税別) 【モバイルルータ】 65,000円(税別) *回線費等含まず 【クラウド利用かつ機器レンタル】 150,000円/端末/年 *1年単位の契約 【機器設置作業費】 参考価格 50,000円/サイト(関東) *本費用は弊社技術員1名1日で設置可能な数量を 上記費用にて対応	機器の設置/調整作業、データ渡しのみの場合や解析費用などは現場の環境によって費用が変動するため、都度見積対応とさせていただきます。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	PCの管理ソフトより計測条件を設定し自動計測を行う	-
	利用形態:リース等の入手性	購入品のみ	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	観測サイトおよびクラウドの別途サポート契約による	-
	センシングデバイスの点検	重力加速度方向にセンサ受感軸をむけ、1gの出力の有無	-
	その他	-	-

6. 図面



モニタ画像



1. 基本事項

技術番号	BR030021-V0323		
技術名	橋梁の性能モニタリング技術(省電力無線センサによる遠隔モニタリングシステム)		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	オムロンソーシアルソリューションズ株式会社		
連絡先等	TEL: 077-588-9709	E-mail: takuya.kuroda@omron.com	モニタリングソリューション事業部 黒田卓也
現有台数・基地	センサノード:40台、シンクノード:10台、 動ひずみセンサ:40台	基地	生産拠点: 滋賀県
技術概要	"本技術では、構造物における「加速度」、「動ひずみ」、「温度」、「湿度」を計測し、その計測値から計測者が理解しやすい構造物の特性値として「固有振動数」、「中立軸」、「活荷重」、「桁ひずみ」を演算で導出する。また、解析処理(FEM解析など)を通して、特性値の初期値および限界条件を仮定した上で、限界値シミュレーションを行うことで、管理基準の目安を設定することが可能となる。 参照図:「技術概要」		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,床版) 下部構造(橋脚,橋台)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	電荷(電圧)/静電容量		
検出項目	固有震度数/動ひずみ/温度/加速度		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>計測機器は、動ひずみセンサ、センサノード、バッテリーユニット、通信アンテナ、シンクノード、GPSユニット、サーバから構成される。</p> <p>【動ひずみセンサ】 センサ部、アンプ部から構成され、センサとアンプは専用ケーブル(1m)で接続されており、アンプ部はセンサノードに専用ケーブル(推奨最大5m)で接続される。</p> <p>【センサノード】 加速度センサ、温度・湿度センサ、無線(920MHz)通信装置を内蔵している。無線通信によりシンクノードに計測データを転送する。センサノードには有線でバッテリーユニット(ケーブル長2m)、アンテナ(ケーブル長2.5m)を接続する。バッテリーユニットは計測頻度により寿命が異なるため、必要な時期に交換し、計測期間を延長することができる。</p> <p>【シンクノード】 センサノードから転送されたデータを計測単位毎に保存する。ルータを搭載可能であり、遠隔地から保存されたデータを回収できる。</p> <p>【サーバ】 シンクノードのデータを回収し、加速度、ひずみの計測データから、固有振動数、中立軸、活荷重を自動で算出する。</p> <p>※参照図 「主要計測機器」</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【動ひずみセンサ】 計測部位に直接接着剤(スリーエムジャパン製 DP420)で固定する。</p> <p>【センサノード】 設置場所の状況に合わせ、設置プレートを固定する。センサノードは設置プレートに固定し、故障時に交換できる状態とする。</p> <p>【バッテリーユニット】 センサノードと同じプレート上あるいは、別のプレート上に設置する。バッテリー切れの場合に交換できる状態とする。</p> <p>【シンクノード】 自立式(架台上に設置)もしくは電柱のような構造体に抱き込み式のいずれでも設置できる構造になっている。設置場所に合わせ、専用の取付金具を設計し、固定する。</p> <p>【GPSユニット】 GPSが測位できる場所に設置する。直接あるいはプレート上に固定する。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【動ひずみセンサ】 センサ部:270×38×10mm 65g、アンプ部:100×100×60mm 300g</p> <p>【センサノード】160×80×56mm 500g</p> <p>【バッテリーユニット】175×125×60mm 1100g</p> <p>【シンクノード】300×220×450mm 25kg</p> <p>【GPSユニット】100×100×60mm 200g</p>		
センシングデバイス	<p>【動ひずみセンサ】 オムロンソーシアルソリューションズ製 ST100 動ひずみセンサ</p> <p>【加速度センサ】 オムロンソーシアルソリューションズ製 WMS100(センサノード内部に搭載)</p> <p>【温湿度センサ】 オムロンソーシアルソリューションズ製 WMS100(センサノード内部に搭載)</p>		
計測原理	<p>【物理量の計測原理】 定期的なタイマによる時刻トリガおよび、いつ発生するか分からない地震時の振動を計測するための地震トリガの2種類のトリガ機能を有し、自動で起動し計測を開始する。時刻トリガでは一定間隔での計測を継続的に行い、地震トリガでは、低消費電力のトリガ用加速度計で常時振動を計測し、しきい値を超える振動発生時に計測を開始する。トリガ発生後からの計測となるため、地震発生前などのデータは計測できない。</p> <p>※参照図「地震トリガイメージ」</p> <p>【動ひずみ計測および特性値の導出原理】 圧電素子が外力を受けて伸縮すると(ひずみが生じると)、電荷が発生・移動し、電流が流れる。それによって、短い周期で変形を繰り返す動的なひずみを計測する。また、発生した電流を増幅するため、わずかな電力を用いるだけで計測が可能である。</p> <p>※オムロンソーシアルソリューションズ(株)製品カタログより抜粋 ひずみと電流量の関係は素子毎に出荷時に計測し、感度値として検査書に記載して出荷している。 主桁や床版に動ひずみセンサを設置し、車両通行時の床版ひずみ、桁ひずみを計測する。計測したデータから活荷重(床版)および桁ひずみ(主桁)および中立軸を算出する。 活荷重を算出する場合には、走行試験を行って、単位荷重あたりのひずみ値(影響線)のキャリブレーションを行う。</p> <p>【加速度の計測および特性値の導出原理】 加速度は既知のパネ係数と重さを持ったおもりの移動距離を計測する事で計測できる。この移動距離を静電容量の変化</p>		

計測装置	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<p>から検出するものが、静電容量式の加速度センサである。 加速度センサを主桁や橋台、橋脚に設置し、振動データを計測する。計測した振動データから固有値解析を行い、経時的な観察から固有振動数を求める。</p> <p>【動ひずみの適用条件】 ○正しく計測するための適用条件 ・橋梁において、車両通行のように橋梁に外力が加わった時の動的な変化をを計測する場合に適用可能。 ・死荷重のような静的またはゆるやかな変化および高速な変化(計測レンジに示す範囲)の計測はできない。 ・計測箇所には、ひびわれなどの損傷がない状態であることが前提。 ・センサ設置空間が確保できること(幅250mm×高さ300mm以上) ○中立軸活用のための適用条件 ・コンクリートを床版とした鋼桁の性能評価を目的としたモニタリングに適用可能(その他構造は未確認) ○活荷重計測のための適用条件 ・コンクリート床版に適切なひずみが計測が可能であること(桁に近い場所で床版としてのひずみが計測できない場所は不可) ・計測する床版付近にひびわれなどの損傷がないことが前提。</p> <p>【加速度の適用条件】 ・センサで追従できる振動(計測レンジに示す範囲)の振動計測に適用。 ・センサノード設置空間が確保できること(幅500mm×長さ500mm×高さ500mm以上)</p> <p>以下は、両センサ共通 ・接着剤の硬化には、周囲環境が15℃以上であることが望ましい。15℃以下でやむをえず設置する場合は温めながら圧着すること。 ・5℃以下では設置できない。 ・水没しない場所であること(保護等級IP65) ・シンクノード設置空間が確保できること(幅1000mm×長さ1000mm×高さ1000mm以上) ・シンクノードには商用電源100Vが必要。商用電源が利用できない場合はソーラパネルを使用する。 200W×3枚程度(6000mm×2000mm)、蓄電システム(1500mm×1000mm×1000mm)</p> <p>【現場工事条件】 ・センサの設置面が均一でない場合は(グラインダ等で平滑化できること) ・センサ貼付けのために計測部位に近接できること。 ・計測部位から計測装置(センサノード)までケーブルを配線できること。 ・鋼材のひずみセンサ貼付箇所は塗装などを剥がして鋼材素地を露出できること。</p>
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>1)計測精度に影響を及ぼす要因 ・計測できる周波数範囲を超える領域では減衰が発生するため、センサ仕様を超える目的には使用しないこと。 ・サンプリング周波数は200Hzであり、100Hz以上の強い周波数成分が存在する場合、計測対象周波数領域に折り返しにより、実際と異なる周波数成分が検出される。事前に計測箇所を調査し、支障となる振動がないことを確認する。 ・電源線などが近辺を配線されている場合は、センサ信号にノイズを乗ることがある。計測後あるいは計測時にノイズ除去の対策を講じること。</p> <p>2)信頼性に影響を及ぼす要因 ・外気温-20℃～60℃の範囲であること。本温度条件を超える範囲では機器が正常に動作しないことがある。寒冷地や直射日光の当たる場所では対策を講じること。</p>
計測プロセス	計測プロセス	<p>1)計測、伝送処理(現地のセンサノード、シンクノードでの自動処理) 桁、床版等に設置した加速度センサ、動ひずみセンサ、温湿度センサのデータを設定された時刻にセンサノード内でデジタルに変換し、時刻歴データを計測する。計測したデータはシンクノードに特定小電力無線通信(920MHz)で伝送し、シンクノードに一時保存する。シンクノードに保存されたデータは定期的(設定値)に公衆回線を通してサーバに伝送する。これら処理はすべて設定条件で自動で処理される。各データはGPSより得た時刻情報をシステム内で同期することで、5msec以内の誤差精度を持つ。</p> <p>2)データ演算処理(サーバでの自動処理) 構造特性を把握するためのデータを算出する。以下の処理は対象となる橋梁のモニタリングに必要な項目を選択し利用するものである。 ①固有振動数 計測した加速度データを周波数解析し、ピークとなる振動数を自動抽出し、時系列に集計、記録する。 ②中立軸 車両走行時の桁上下面の桁ひずみから、桁の中立軸の位置を算出する。構造物に変化が発生する場合は、桁上と下で発生するひずみのバランスに変化が生じる。その差から桁に発生する中立軸の位置を算出する。 ③活荷重 床版裏側に橋軸直角方向に設置したひずみセンサのデータから、活荷重により発生する床版のひずみ影響線を計測値の軸重に該当する波形の山毎に、最少二乗法で誤差が最少となるように線形倍する(カーブフィッティング)。その倍数が軸重となり、軸数分の算出重量の総和として車両重量を求める。影響線は既知の荷重車の走行試験により計測し作成する。 ※参照図 「軸重算出概念図」、「計測波形例」 ④桁ひずみ ひずみセンサをウェブフランジの上または下、あるいは上下に設置し計測する。計測値の最大(引張ひずみ)または最小(圧縮ひずみ)を桁ひずみとして算出する。 ※参照図 「計測波形例」 ⑤活荷重と桁ひずみの相関 活荷重計測時刻と桁ひずみ計測時刻から、同一車両走行時の活荷重と桁ひずみデータを自動的に紐づけし、相関データを算出する。</p>
アウトプット	アウトプット	<p>以下のデータを画面表示、およびCSVファイルで出力 ・計測生データ(加速度、ひずみ) ・固有振動数推移(時系列、温度変化データ) ※参照図 「固有振動数分布」 ・中立軸の位置推移(時系列、温度変化データ) ※参照図 「中立軸の位置分布」 ・活荷重-桁ひずみ相関データ ※参照図 「活荷重-桁ひずみ相関」</p>
計測頻度	計測頻度	<p>通常計測頻度： 1日2回(5分/回)および、地震発生時(通常より強い振動検出時) ※運用により計測頻度は変更可能</p>

	耐久性	ひずみセンサ、アンプ: IP65相当(社内試験により確認) センサノード、バッテリーユニット: IP65相当(社内試験により確認) シンクノード: IPx3相当(社内試験により確認)
	動力	GPSユニット: IP65相当(社内試験により確認) センサおよびセンサノード: 電池駆動(バッテリーユニットと専用ケーブルで接続) シンクノードおよびGPSユニット: 商用電源(100V)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	計測装置と一体 ・センサノード: 920MHz無線通信モジュールを搭載 ・シンクノード: 920MHz無線通信モジュールおよび無線ルータ(LTE)を搭載
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置と一体
	データ収集・記録機能	・シンクノード内HDD(保存容量40GB)に一定期間保存(HDD内のデータベース) ・長期保存する場合は、シンクノード内のデータをインターネット(VPN)経由で、サーバに転送し保存する。 ・サーバ内HDD容量については、保存期間により決定する。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	【センサノードーシンクノード間】 ・通信方法 無線 ・通信規格 920MHz(922.3~928.1 MHz) ・通信距離 500m程度(周辺環境に依存) 【シンクノードーサーバ間】 ・通信方法 無線 ・通信規格 LTE
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	【センサノードーシンクノード間】 省電力無線、独自プロトコルであり、セキュリティ対策なし 【シンクノードーサーバ間】 VPN接続
	動力	センサおよびセンサノード: 電池駆動(バッテリーユニットと専用ケーブルで接続) シンクノードおよびGPSユニット: 商用電源(100V)
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	センサおよびセンサノードの計測可能時間(計測、通信) 1日2回(1回5分間)の計測で5年以上

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	【活荷重】 ・算出精度:20%以内	【動ひずみセンサ】 ひずみゲージを正として、計測精度を比較評価 【加速度センサ】 サーボ式加速度センサを正として計測精度を比較評価 【活荷重】 算出精度20%以内 ・検出性能、検出感度で規定された入力信号をCPUのA/D変換器で変換した時の1ビットあたりの数値を示すものである。 動ひずみセンサ:12ビット 加速度センサ:16ビット"
		標準試験値	未検証	-
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	・動ひずみセンサ:±208.33 μst ・加速度センサ:±2000Gal(X,Y,Z軸)(±2G)	・【動ひずみセンサ】 ±208.33 μst (出力感度1.80mV/μst、ゲイン設定12dB) ・【加速度センサ】 ±2000Gal(X,Y,Z軸)(±2G) ・仕様書記載の使用範囲 【動ひずみセンサ】 ・センサ出力の線形性を担保できる範囲は500 μst。装置での計測範囲が左記。 ・直射日光があたる環境においては急激な温度変化によるドリフトが発生する可能性がある。
	感度	校正方法	・製造時に選別 ・出荷時に感度計測を実施し、センサ毎に校正。 ・設置後は校正しない。	-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	有
			性能値	・動ひずみセンサ:0.1Hz~20Hz ・加速度センサ:0.1Hz~50Hz
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	2-5-178 ・動ひずみセンサ:1.8±0.3mV/μst	・【動ひずみセンサ】1.8±0.3mV/μst(標準値) センサ個別に出荷時に計測し、検査書に記載

			・加速度センサ:256,000LSB/g	・【加速度センサ】256,000LSB/g ・仕様書記載の使用範囲
S/N比	性能確認シートの有無 ※	有		
	性能値	ノイズ特性 【動ひずみセンサ】 0.2~ μ st(実測値) 【加速度センサ】 25 μ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (メーカー保証仕様)		・仕様書記載の使用範囲 ※動ひずみセンサのノイズは使用環境に依存し、変化する。
分解能	性能確認シートの有無 ※	有		
	性能値	・動ひずみセンサ:0.1 μ st/LSB ・加速度センサ:3.9 μ g / LSB(メーカー保証仕様)		・【動ひずみセンサ】 0.1 μ st/LSB ・【加速度センサ】 3.9 μ g / LSB(メーカー保証仕様) ・検出性能、検出感度で規定された入力信号をCPUのA/D変換器で変換した時の1ビットあたりの数値を示すものである。 動ひずみセンサ:12ビット 加速度センサ:16ビット

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

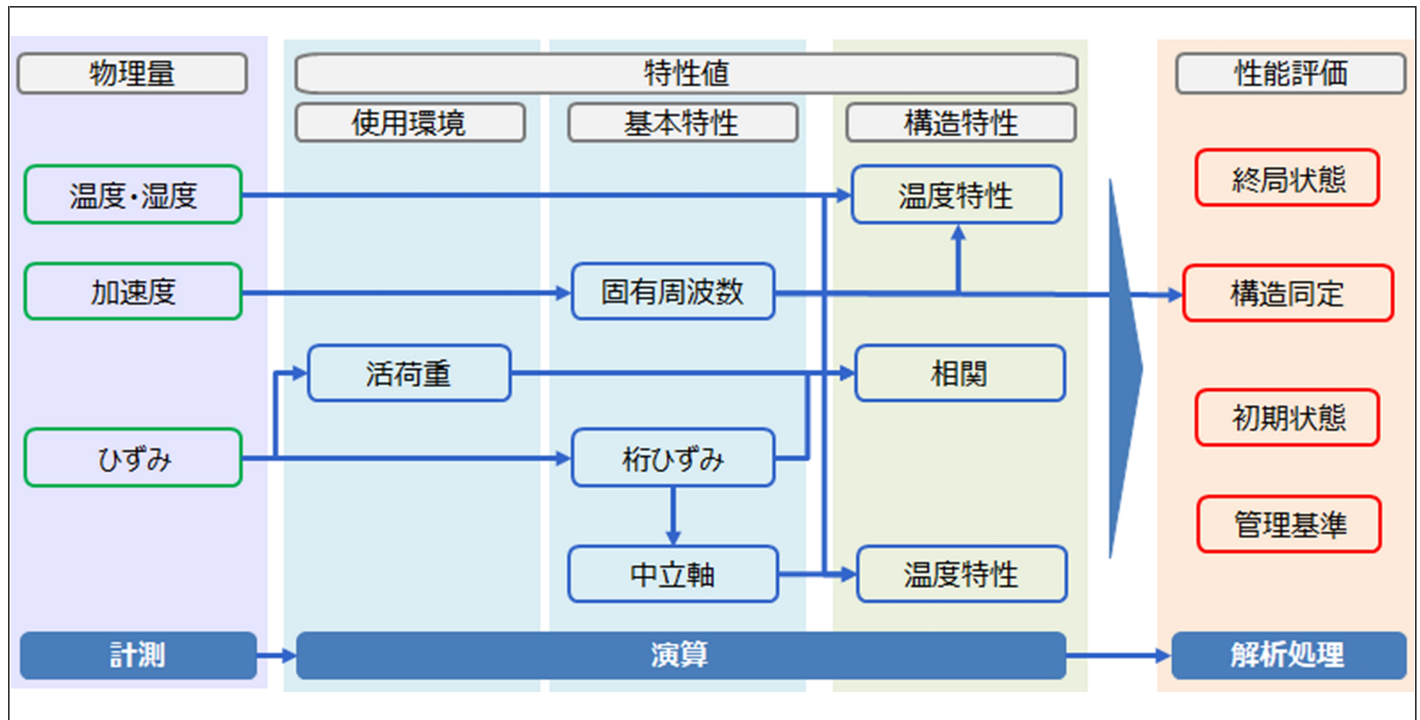
5. 留意事項(その1)

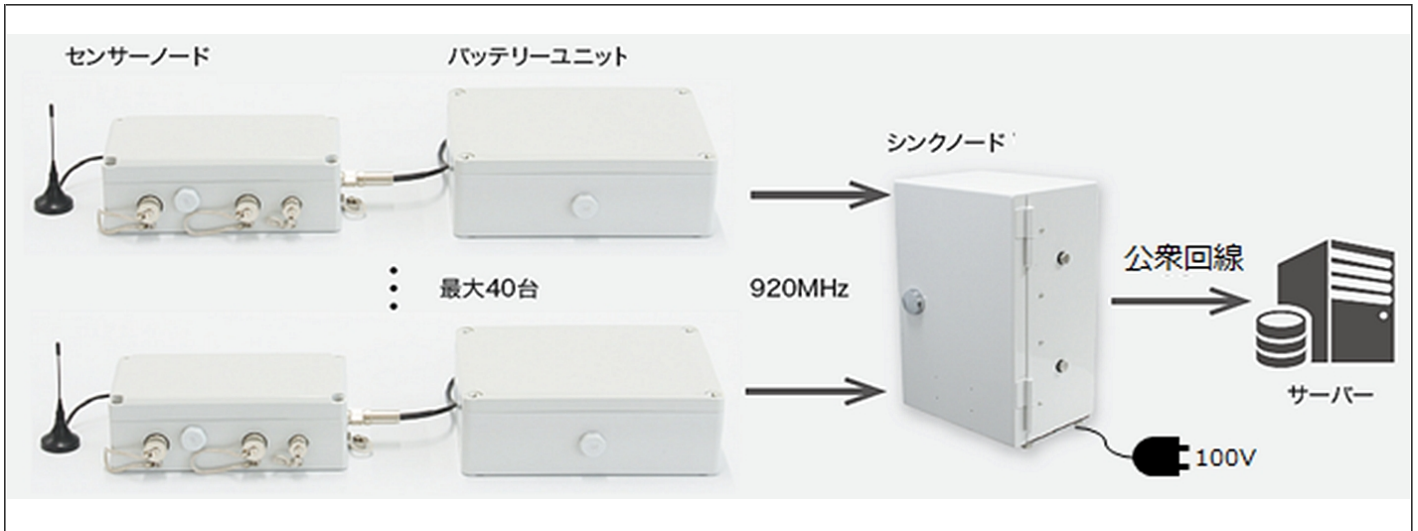
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	センサを設置するための作業場所、立入が可能であること	-
	周辺条件	【加速度センサ】 ・計測したい周波数帯域と同様の強制振動の発生している場所 ・適用範囲外の周波数帯域で、折り返しによる影響が想定される振動が発生している箇所	-
	安全面への配慮	機器の落下防止 緊急時の電源断	-
	無線等使用における混線等対策	無線帯域の利用状況を事前調査し、使用されていない帯域のCHを使用する。	-
	道路規制条件	路面上にある構造物の計測用に機器を設置する場合は、あるいは、橋梁下に道路がある場合は、交通規制が必要となる。	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	機器の使用、設置方法を理解している者 弊社による技術指導、取扱説明後実施可能	-
	必要構成人員数	現場責任者 1人 担当者最低 2人(作業工程により増減)	計測箇所数、設置工事期間により人員は調整
	作業ヤード・操作場所	事務所による閲覧、データ確認	監視業務を実施する場所、分析評価を実施する場所でそれぞれデータの閲覧が可能
	計測費用	【初期費用】 450万円 ひずみ4箇所、加速度2箇所計測システム ・機器費(250万円)、事前調査費(50万円)、工事費(150万円) ※活荷重計測を含む場合は、走行試験費用(100万円)、キャリア プレーション費用(100万円)を追加 【モニタリング費用】 加速度計測のみの場合 120万円/年 活荷重計測を含む場合 150万円/年	動ひずみセンサ:15万円/台 センサノード(バッテリーユニット込み):45万円/台 シンクノード:85万円/台 機器の台数、モニタリング橋梁数など、数量ボリュームにより相談可。 対象橋梁のロケーション、環境により、事前調査、工事費用は大きく変動する。モニタリングに内容により実費用については個別見積もりとなる。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない。 利用者に依存。	-
	自動制御の有無	自動計測	-
	利用形態:リース等の入手性	計測機器は購入を前提 計測データはデータ提供サービス(年1~2回の結果報告)	特性カルテの作成と報告とする。 特性カルテを活用した評価は含まない。
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	購入時に営業窓口を連絡 不具合発生時は営業担当が技術者を派遣し対応
	センシングデバイスの点検	デバイスの点検は不要 システム上で機器の異常については検知可能	-
その他	-	-	

6. 図面





1. 基本事項

技術番号	BR030022-V0323		
技術名	塩害補修効果モニタリングシステム		
技術バージョン	ver.01	作成:	2023年3月
開発者	日本工営(株) モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)		
連絡先等	TEL: 03-3238-8113	E-mail: a4043@n-koei.co.jp	日本工営(株)道路インフラマネジメント部 松山公年
現有台数・基地	数台(受注生産を基本とする)	基地	東京都千代田区麴町5-4 日本工営(株)
技術概要	<p>本システムは、塩害劣化コンクリート部材の補修箇所が再劣化(マクロセル腐食)する際の電位を経時的に把握する技術である。照合電極を断面修復部境界近傍に設置し、断面修復境界部の鉄筋に生じるマクロセル腐食発生による電位変化を経時的かつ定量的に計測し、塩害補修効果を把握するシステムである。</p> <p>これにより、定期点検(目視)では確認できない初期の鉄筋腐食反応を捉え、再劣化を把握することができる。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁) 下部構造(橋脚,橋台)	
	損傷の種類	鋼	①腐食
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	電位(電圧)		
検出項目	鋼材の電位		

2. 基本諸元

計測機器の構成		計測装置: 照合電極 データ収集装置: デジタルマルチメーター、ケーブル、ケーブルボックス ・デジタルマルチメーターで鋼材の電位を計測する。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
計測装置	設置方法	【断面修復時に設置の場合】 はつり出した断面修復境界部の鉄筋に照合電極を結束バンド等で固定する。また、この際は照合電極の検出部を境界部に向けて設置する。なお、照合電極のケーブルは躯体外部に出しておく。さらに、別途、鉄筋に銅線を固定し、ケーブルは同様に躯体外部に出しておく。 【断面修復後に設置の場合】 断面修復部付近の健全部に2箇所削孔する。削孔は鉄筋位置までドリル削孔等を行う。削孔部に照合電極を設置し、周辺を無収縮モルタルで埋設し一体化させる。照合電極は、同一鉄筋上に2箇所設置する。さらに、別途、鉄筋を露出させ、鉄筋に銅線を固定し、ケーブルは同様に躯体外部に出しておく。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・鉛式照合電極の外観寸法(φ22×133mm)※ケーブル除く ・小型照合電極の外観寸法(φ13×7mm)※ケーブル除く	
	センシングデバイス	・鉛式照合電極 日本防蝕工業(株)製 PbM-5型 ・小型照合電極 (株)マルイ製 GBRC腐食試験法 埋設型ミニセンサー ※その他、上記と同等以上の性能を有する照合電極であれば使用可能	
	計測原理	・鉄筋が腐食する際、鉄は鉄イオンとしてコンクリート中に溶け出し、電子が鉄筋に蓄積される。これにより生じる電位勾配(電圧)を捉えることで、鉄筋腐食の有無を把握することが可能となる。鉄筋付近に照合電極を配置すると、照合電極に対する鉄筋の電位を計測することができる。鉄筋の腐食が進行することで腐食電流が発生し、照合電極に対する鉄筋の電位が低下する。その低下した電位レベルに応じて、腐食の可能性を判断する。本手法は、断面修復後に発生するマクロセル腐食により発生する鋼材の電位変化を経時的に捉えるものである。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・鋼材の電位を計測するために、照合電極を鋼材近傍に設置する必要がある。設置の際に照合電極とコンクリートの間に空隙ができないよう断面修復材等で一体化する必要がある。また、鉄筋かぶり小さい場合は照合電極の一部が外部に露出する場合もあるため、風雨による劣化を防ぐためにシーリングを施す必要がある。 ・断面修復に用いる材料が極端に電気抵抗率の高い場合は、電位が正しく計測されない可能性があるため留意する。	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・コンクリートの含水率や温度変化によって計測値が変動するため留意する必要がある。	
	計測プロセス	①補修箇所に対して、照合電極・銅線(鉄筋からの導通)を設置する。 【断面修復時】断面修復境界部の鉄筋に照合電極及び銅線を設置する。 【断面修復後】断面修復部の近傍と20cm程度離れた箇所に1つずつ照合電極を設置する。また、別途銅線を鉄筋に設置する。 ②設置位置に応じて、定期的に計測がしやすい場所までケーブルを延長しケーブルボックスを配置する。 ③照合電極から配線したケーブルを格納したケーブルボックスにアクセスする。 ④ケーブルボックスに格納したケーブルに対しデジタルマルチメーターの端子を当て、電位を計測する。 ・マイナス端子は照合電極のケーブルに接続する。 ・プラス端子は鉄筋のケーブルに接続する。 ⑤デジタルマルチメーターに表示された電位を読み取り、記録する。 ⑥記録した電位は、飽和硫酸銅電極に対する電位に換算した値も記録する。 換算式は使用する照合電極の種類に応じ、土木学会規準(JSCE-E 601-2018)等を参考とする。	

		計測装置	データ収集	パソコン等
		照合電極 ケーブル	ケーブルボックス デジタルマルチメーター ・電位計測	記録保存
		鋼線 (鉄筋設置) ケーブル		
表2 各種照合電極測定値から飽和硫酸銅電極への換算式				
照合電極 (Ref)	名称	$E^{s.cu} = E^{s.ref} + E^{s.cu} + (d E^{s.cu/0}) \cdot (t-25)$ [mVvsCSE] [mVvsRef] [mVvsCSE] [mVvsCSE]		
二酸化マンガ電極	MNO	$E^{s.cu} = E^{s.mno} + 85.8 - 2.66 \cdot (t-25)$		
飽和硫酸銅電極	CSE	$E^{s.cu} = E^{s.cu}$		
飽和カドミウム電極	SCE	$E^{s.cu} = E^{s.sce} - 74.5 - 1.66 \cdot (t-25)$		
飽和塩化銀電極	SSE	$E^{s.cu} = E^{s.sse} - 120.1 - 2.00 \cdot (t-25)$		
標準水素	SHE	$E^{s.cu} = E^{s.she} - 316.0 - 0.90 \cdot (t-25)$		
鉛電極	PBE	$E^{s.cu} = E^{s.pbe} - 800.0 + 0.24 \cdot (t-25)$		
$E^{s.cu}$: 温度 t [℃] における飽和硫酸銅電極への換算電位 [mVvsCSE] $E^{s.ref}$: 温度 t [℃] における当該照合電極の測定電位 [mVvsREF]				
出展: 2018年制定 コンクリート標準示方書【規準編】 コンクリート構造物における自然電位測定方法(案) (JSCE-E 601-2018)				
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材の電位(電圧値)を計測する。計測時に値が-350mV(飽和硫酸銅換算)以下の場合、鋼材に腐食が生じている可能性があると判断できる。電位を経時的に計測することで、電位変化から腐食傾向を把握することができる。 現地にデジタルマルチメーターを持参していれば、計測結果を現地にて即座に確認可能である。 現地計測に要する時間は、初期設置を行った後、計測準備に5分、計測に3分、データ確認に1分、機器の撤去に5分程度を要する。 			
計測頻度	計測装置に制限はないため任意			
耐久性	照合電極: 塩害環境のコンクリート中において、腐食が生じないこと。 ケーブル: 設置対象環境の気温・湿度・紫外線等に対し、被覆等が耐候性を有していること。 ケーブルボックス: 設置対象環境の気温・湿度・紫外線等に対し、耐候性を有していること。			
動力	本技術では動力を使用しない。			
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	連続稼働を想定していない(一定の頻度の測定を想定している)。			
データ収集・通信装置	設置方法	照合電極の設置箇所が、地上から近接できない場合は、照合電極のケーブルを延長し、地上から測定できるようにする。ケーブルは地上からアクセスしやすい場所に設置したケーブルボックスまで配線・格納し、同箇所データ収集する。		
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	ケーブル長・ケーブルボックスの寸法・重量は任意である。		
	データ収集・記録機能	記録機能は有していない(使用するデジタルマルチメーターの仕様による)。		
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	対象外 (伝送機能は有していない)		
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	対象外 (伝送機能は有していない)		
	動力	動力は有していない。		
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	対象外 (伝送機能は有していない)		

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・±20mV	・±20mV程度 ※照合電極製造メーカーの成績書より	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・1V(1000mV)~-1V(-1000mV)	・1V(1000mV)~-1V(-1000mV)程度 ・使用するデジタルマルチメーターによる	
	感度	校正方法	検査対象と基準電極を用い、両電極間の電位差が基準値であることで照合電極の性能を確認する。 ※照合電極製造メーカー保証		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・±0.1mV	・±0.1mV程度 ・使用するデジタルマルチメーターによる
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・±0.1mV	・±0.1mV程度 ・鉄筋が腐食した際に-350mV(飽和硫酸銅換算)以下となる ・使用するデジタルマルチメーターによる
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・0.1mV	・0.1mV(使用するマルチメーター※の機能による) ※三和電気計器(株)社製 CD771を使用 ・使用するデジタルマルチメーターによる		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	・設置箇所に作業員が近接するためのスペースがあること。 ・作業車を用いる場合はそのスペースがあること。	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	・設置時に道路上で作業車を使用する場合は、交通誘導員を配置し実施する。	・詳細は道路管理者および警察署等の関係機関と協議し決定する。
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	・設置時に道路上で作業車を使用する場合は、交通誘導員を配置し実施する。	・詳細は道路管理者および警察署等の関係機関と協議し決定する。
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、補助員1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	計測機器設置費:40万円(1箇所) データ収集費 30万円(1箇所、月1回、1年間実施の場合)	・費用は設置箇所数により変わることがある。
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託(計測機器費用及び設置作業費用を含む)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	-	-

6. 図面

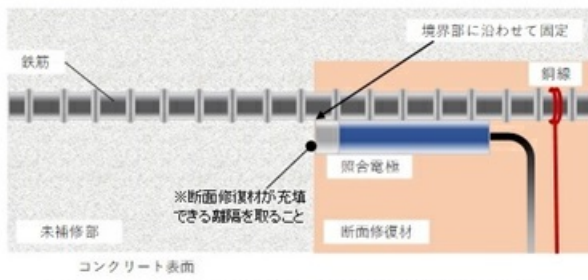


図-1 断面修復施工時における照合電極の設置例



(a) 鉛式照合電極 (φ22×133mm)



(b) 小型照合電極 (φ13×7mm)

写真-1 使用照合電極

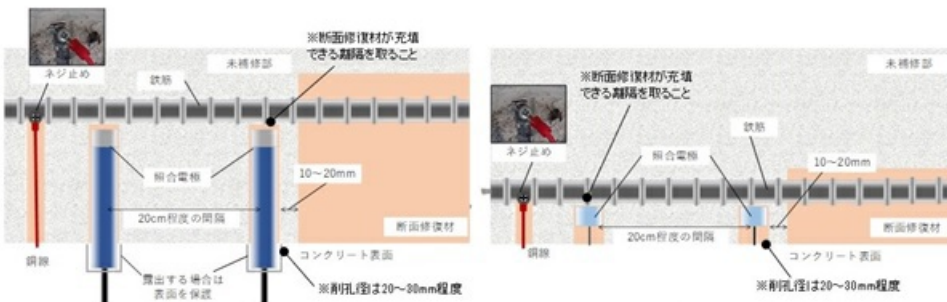


図-2 断面修復後における照合電極の設置例 (左: 鉛式照合電極 右: 小型照合電極)



写真-2 データ収集状況

1. 基本事項

技術番号	BR030023-V0323		
技術名	広帯域超音波による橋梁基礎の洗掘の計測技術		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	株式会社アルファ・プロダクト		
連絡先等	TEL: 03-6457-2666 082-545-6653	E-mail: t.hara@alpha-product.co.jp arii-k@chodai.co.jp	技術部 原 徹
現有台数・基地	2	基地	東京都江東区青海2-4-10 東京都立産業技術研究センター 製品開発支援ラボ313
技術概要	<p>1、概要</p> <p>発振と受振の2つの探触子を直接対象コンクリートに接触させる2探触子法専用のコンクリート用超音波探査技術。通常の固定周波数ではなく、0.3MHzから1.5MHzまでの広帯域成分の超音波を発振する。</p> <p>コンクリートの探査では、距離(厚さ)や劣化度等によって透過する周波数は構造物ごとに異なるため、固定周波数では探査できないが、広帯域とすることで長距離探査を可能にしており、密度や組成の異なる2つの物質の境界面で反射エコーが得られることから、コンクリートと土の境界や空洞の始まりを検知できる。水のある空洞では、空洞の始まりから水中にも伝搬する。</p> <p>2、技術特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・印加電流の波形を特殊なものとして、1回の発振で広帯域の超音波を発生させる。 ・広帯域とすることで小さくなる入力エネルギーを、最大1000回の信号を加算することで補完する。 ・発信探触子に高周波発振器を内蔵し、ケーブルでの波形変化を回避する。 ・受信探触子に増幅アンプを内蔵し、ケーブルでの減衰を回避してS/N比を向上させている。 ・探査法によって鉄筋の影響を無視する手法と、鉄筋を探査する手法の選択が可能。 ・減衰補正機能や、任意の時間軸でのFFT機能を搭載して、波形の判定を補完している。 		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,橋台)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
	共通	㊸洗掘	
検出原理	超音波		
検出項目	フーチング下面の空洞		

2. 基本諸元

計測機器の構成		1、発振探触子、受振探触子各1個 2、広帯域超音波探査機 3、ノートパソコン 4、探査機用充電式バッテリー 5、探触子接続ケーブル(同軸2本) 6、LANケーブル 7、小型液晶モニター	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・ノートPC:約8時間 ・探査機本体:約8時間 	
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・探査機と探触子を同軸ケーブルで接続し、探査機とノートパソコンをLANケーブルで接続する。 ・充電式バッテリーを探査機に接続する。 ・探査機とノートPCを起動し、接触媒質を塗布した探触子を探査する位置に設置する。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・探査機:幅26cm×高さ7cm×奥行28cm、(取っ手含まず)、重量:約1.5kg ・探触子:直径52mm×高さ65mm(発振、受振) 重量:約900g(1個) ・ノートパソコン:幅38cm×奥行25cm×高さ3.5cm、重量:約2.2kg ・充電バッテリー:幅15cm×奥行26cm×厚さ5cm 		
センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ・アクティブ型広帯域超音波探触子(自社開発) 		
計測原理	<p>コンクリートの探査では、距離(厚さ)や劣化度等によって透過する周波数は構造物ごとに異なるため、固定周波数では探査できないが、広帯域とすることで長距離探査を可能にしており、密度や組成の異なる2つの物質の境界面で超音波が反射し、反射エコーが得られることから、コンクリートと土の境界や空洞の始まりの深さ(距離)を検知できる。水のある空洞では、空洞の始まりから水中にも伝搬する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートに入射した超音波はコンクリートと空気の境界で全反射するため、大きな反射エコーが得られ、空洞の検知は容易である。 ・空洞の深さを計測する場合は空洞が水につかっている必要がある。 		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・探触子表面に超音波の入射効率を改善する接触媒質(グリセリンゼリー)を塗布する必要がある。この接触媒質は水溶性で、2-3日で塗布の痕跡は消える。 ・浅くても速度の速い流水のある箇所では接触媒質が流れるため使用できない。 ・探触子の面の垂直方向に超音波のビームが出る。指向角は約20度。この円錐の中の範囲を測定する。 ・探触子が浸水する箇所ではショートするため、防水対策を行う必要がある。 ・鉄板や繊維シートの上からの探査は問題ない。 		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの音速は、構造物のコンクリート設計強度や、打設状況、気候・環境等によって異なる。測定前には必ず対象コンクリートの音速を測定するが、音速測定部位のコンクリートと探査するコンクリートは、同じ設計強度であっても環境や設置個所が異なるため、経験上5%程度の音速差がある。探査機で測定するのは反射エコーを受信するまでの時間であり、これに音速を乗じて距離を計算するため、測定した距離にも5%程度の誤差がある。 ・凹凸の激しいコンクリート表面では接触面積が小さくなり、探査が困難になる。 ・鉄筋は探査の障害とはならない。 		
計測装置	<p>1、探査機で測定するのは、反射エコーが帰るまでの時間であり、これに音速を乗じて距離を算出するが、コンクリートの音速は一定ではなく、設計強度や打設方法、環境や劣化度により異なるため、測定に当たっては、探査するコンクリートと同時に打設された箇所であつ長さ(厚さ)が分かる部位で音速を測定する。音速測定は探触子で対象部位を挟む透過法で行う。</p> <p>2、測定した音速の数値を探査ソフトに設定する。探査ソフトの時間表示が距離表示に代わる。この表示される距離は、往復の時間から計算するため、実際の距離の倍を表示している。</p> <p>3、探査対象コンクリートの損傷や劣化がないと思われる箇所を版厚を測定し、きれいに版厚が把握できるように探査機の各設定値を決める。この設定で以降の探査を行う。</p> <p>4、探査の目的を考慮し、効果的かつ合理的に探査できるように対象コンクリートの測点を設定し、測点名称を決めてマーキングする。</p> <p>5、順次測定を行い、十分な波形が得られているかを確認し、測点名で波形を保存する。保存は画像として波形を保存する方法と、波形のデジタルデータ形式(csv形式)で保存する方法があるが、通常は両方で行う。詳細に波形を解析するときにはcsv形式が適している。画像形式(jpg)はあとで設定を変更したりフィルターをかけることができない。</p> <p>6、必要に応じてバンドパスフィルターやFFTを使用し、波形判定の補助とする。</p>		
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・保存データはCSV形式と表示画像のJPGの2種類。 ・波形の横軸が時間(距離)、縦軸は信号の大きさを示す。縦軸に絶対値はない。 ・波形が密で、波形の先端がとがっているほど反射波の周波数が高いことを示す。FFTを使用すれば、詳細に周波数分布が確認できる。 		

		<ul style="list-style-type: none"> ・波形全体を見て、振幅と周波数成分から変化点を探し、変化点で波形を区分し、変化点の距離を確認する。 ・上記はその例である。全体を3つに区分し、各区分の距離を色別で記入している。
	計測頻度	1測点で、設定を決定するまでに約5回、約10分。 設定が確定後は1測点で約2回、約5分。
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・探触子は密封構造で防滴、ただしコネクタ部分は浸水不可。 ・探査機はとくになし。
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・ノートPCと探査機は充電電池駆動。 ・探触子は探査機から給電される
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・ノートPC:約8時間(充電バッテリー1個当たり) ・探査機:約8時間
データ収集・通信装置	設置方法	・探査機にLANケーブルで接続されるノートパソコン。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・ノートパソコン:幅38cm×奥行25cm×高さ3.5cm、重量:約2.2kg
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ノートパソコン本体のハードディスクに保存。 ・SDカードあるいはUSBメモリーに保存。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・内蔵充電電池。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・距離誤差:5%	・コンクリートそのものに5%程度の音速差があるため、 ・測定した距離にも5%程度の誤差	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・サンプリング数:60,000	・サンプリング数:60,000 (クロック5MHで0.012sec, 音速4000m/secのコンクリートで測定距離48m)	
	感度	校正方法	・測定前の、現地での対象コンクリートの音速測定 ・版厚が確認できる波形の採取とその時の各種設定の確認		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・61dB	・61dB(探触子+探査機本体)
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	・90dB		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・ADコンバータ:16bit ・サンプリング周波数:5.0MHz、2.5MHz、 1.25MHz	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

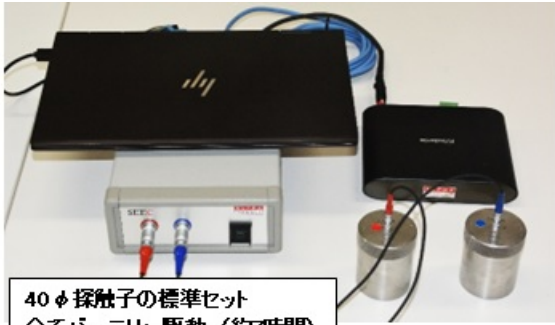
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	人が歩いて測定地点に行ける事。	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	自社講習受講者	-
	必要構成人員数	主任技師1名、技師2名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	橋梁条件 橋種:コンクリート橋 コンクリート橋台下洗堀調査 L:16.5m×2基 張出:4.2m 高さ:4.7m 検出項目:橋台下洗堀(空洞もしくは密度低下部) 費用:74万円(税、交通費、宿泊費別) ・販売:装置一式1700万円(受注生産、納期3か月)	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	購入品(受注生産)、調査業務受託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり	-
	センシングデバイスの点検	作動音の確認 コネクタの確認	-
	その他	-	-

6. 図面



40φ探触子の標準セット
全てバッテリー駆動。(約7時間)



拡張セット



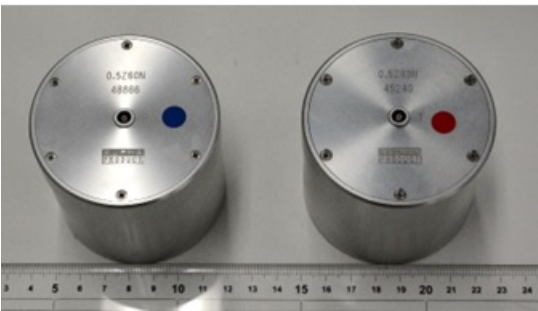
ケース収納の標準セット

橋台下洗掘探査状況写真



接触媒質
ソニコート・コンクリート用





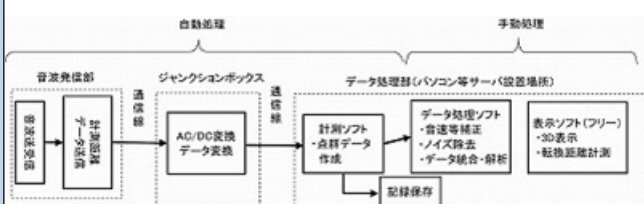
長距離探査用60φ探触子

1. 基本事項

技術番号	BR030024-V0323		
技術名	水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	いであ株式会社		
連絡先等	TEL: 022-263-5826	E-mail: ftarou@ideacon.co.jp	いであ株式会社 古殿 太郎
現有台数・基地	2台	基地	神奈川県横浜市都筑区、大阪府大阪市住之江区、福岡県福岡市東区のうち2箇所
技術概要	<p>水中3Dスキャナー(以下3DS)は水中の構造物や水底の詳細形状を高精度・高密度な点群データとして計測する音響機器で、水底に静置した状態で音波発信部を回転させ、半径15mの範囲内の水中形状を3D点群データとして取得する。計測誤差は約2cm、分解能は1.5cm、計測対象は大きさ5cm以上である。音波は上下・左右に向けて発信されるため、水面直下の構造物も計測できる。3DSは小型軽量のため調査員3名、ワゴン車1台、作業船1隻で運用可能で、濁水中や流速2m/sec以下、水深50m以浅(耐圧は1000m)でも使用できる(重機不要)。岸から潜水士により水底静置する場合は作業船が不要となる。3DSはクラックや錆などの微細な変状や色の識別はできず、堰下等の気泡が多い水中の計測もできない。橋脚水中部の計測は三脚による水底静置が基本となるが、対象となる橋脚が多い場合は、作業船に艀装して慣性航法装置と同期させ、ナローマルチビームソナーのように航行しながら短時間で広範囲を計測する(モーションスキャン)ことも可能である。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
	共通	㊟洗掘	
検出原理	超音波		
検出項目	水中構造物、水底地形の3次元形状と座標		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>【水底静置計測】 3DSによる水中計測システムは音波発信部、パンチルト雲台、三脚、ケーブル、ジャンクションボックス、ノートPCと専用のPCソフト、発電機から構成される。音波発信部をパンチルト雲台、三脚に固定してケーブルで船上のジャンクションボックスにつなぎ、ジャンクションボックスとノートPC、発電機(100V、45W)を接続する。計測したデータはリアルタイムで船上のノートPC画面で確認し、ハードディスクに保存する。</p> <p>【船舶艦装計測】 作業船の舷側に金属製のポールを固定し、水中の下端に3DS音波発信部、上端に慣性航法装置のGNSSを固定する。3DSとGNSSをケーブルにより慣性航法装置本体に接続し点群データの歪みを補正するとともに点群の極座標を公共座標に変換する。動揺センサーをノートPCにケーブルで接続して計測状況をリアルタイムで確認するとともにハードディスク内にデータを保存する。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	<p>【据置】:水底静置計測 水底静置計測では、静置場所まで作業船または潜水士で3DSを運搬し水底に垂下・静置して計測を行うものである。</p> <p>【接触型】:船舶艦装計測 3DSを作業船に艦装し、3ノットで航行しながら計測を行うものである。</p>	
	運動制御機構	通信	有線
		測位	<p>【水底静置計測】 GNSS(水中3Dスキャナーを垂下する作業船の位置)</p> <p>【船舶艦装計測】 GNSS</p>
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	使用する作業船による。操船者、オペレーター、作業補助員の3名が乗船できる大きさ。	
搭載可能容量(分離構造の場合)	使用する作業船による。		
動力	<p>【水底静置計測】 3DSによる計測は橋脚を囲むように静置して複数回実施する。静置場所を移す際の動力は潜水士または調査船となり、内燃機関はガソリンまたはディーゼル。出力は船による。仮設備不要。</p> <p>【船舶艦装計測】 調査船は内燃機関でガソリンまたはディーゼル。出力は船による。仮設備不要。</p>		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【水底静置計測】 音波発信部を三脚に据え付けて、船上から水底に垂下・静置。</p> <p>【船舶艦装計測】 作業船の舷側にステンレス製の架台をクランプで固定し、長さ3mのステンレスポールを架台にナットで固定する。ポール下端に3DS音波発信部を固定して水深約0.8mとなるよう調整し、ポールの上端にGNSSを固定する。作業船の中心部に動揺センサーをナット等で固定し、ケーブルで3DS,GNSSと接続する。動揺センサーをケーブルでノートPCに接続する。GNSS、動揺センサー、ノートPCは濡れないようにビニール袋や防水箱、小型物置等に入れる。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	音波発信部:縦27cm×横24cm×高さ40cm、10kg(水中4kg)		
センシングデバイス	<p>3DS:Teledyne Benthos社製 BV5000(1350)</p> <p>【船舶艦装計測】 GNSS、動揺センサー:Applanix社製POS/MV WaveMaster</p>		
計測原理	<p>【水底静置計測】 計測対象に指向性の高い1350kHzの音波を扇状に発信(256ビーム、上下42°左右1°)し、反射波を受信して時間差を計測する。時間差から計測対象物の距離を算出する。音波発信機の上下角を固定して一定の速度で左右に回転することにより水中構造物・水底質までの距離を点で示し、形状を3D点群データとして可視化する。計測終了後、上下角を変更してさらに左右に回転させることにより、音波発信部を中心とした半径15mの球内を計測する。</p> <p>【船舶艦装計測】 計測対象に指向性の高い1350kHzの音波を扇状に発信(256ビーム、上下42°左右1°)し、反射波を受信して時間差を計測する。時間差から計測対象物の距離を算出する。音波発信機の上下角を固定して作業船の真横に音波を発信し、橋脚と平行に航行して水中構造物・水底までの距離を点で示し、形状を3D点群データとして可視化する。計測終了後、上下角を変更してさらに航行・計測することにより、水面付近から水深15mまでの橋脚を計測する。</p>		
	【水底静置計測】		

	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<p>・濁水中での計測可能、計測の際の環境条件は距離15m以内、水深は0.5m以上(ソナーヘッドが水没する必要有り) 水深50m以浅、流速2m/sec以下</p> <p>・計測対象のサイズは5cm以上で微細なクラックや錆等の色の変化は把握できない、堰下等の気泡が多い水中は計測できない、音波発信部の直上と直下は計測できない。</p> <p>【船舶機装計測】</p> <p>・水中での計測可能、計測の際の環境条件は水深0.8m以上(船舶航行可能水深)、15m以浅、流速2m/sec以下</p> <p>・計測対象のサイズは10cm以上で微細なクラックや錆等の色の変化は把握できない、堰下等の気泡が多い水中は計測できない。</p>
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>【水底静置計測】</p> <p>音速は水温、塩分の影響を受けるため、海域・汽水域では適宜水温・塩分を計測してデータ処理時に音速を補正する。また、点群密度は水底静置計測では音波発信部の回転速度により変化し、速度が遅いほど点群密度は高くなるが計測に時間を要する。計測対象から離れるほど点群密度も低下する。</p> <p>【船舶機装計測】</p> <p>音速は水温、塩分の影響を受けるため、海域・汽水域では適宜水温・塩分を計測してデータ処理時に音速を補正する。また、点群密度は作業船の航行速度により変化し、速度が遅いほど点群密度は高くなるが計測に時間を要する。計測対象から離れるほど点群密度も低下するため、橋脚計測時は5~10m程度離れたところから計測する。</p>
計測装置	計測プロセス	<p>【水底静置計測】</p> <p>①橋脚から3~10m程度離れたところに水中3Dスキャナーを垂下し、音波発信部を回転させながら橋脚および河床形状を3Dの点群データとして計測する。音波発信部は左右に最大360°、上下に65°~65°回転可能で、回転速度・角度は計測対象や目的によりノートPCにより専用ソフトで設定する。得られたデータはジャンクションボックスを介してノートPCに送られ、ハードディスク等に保存する。橋脚1本に対して橋脚を囲むように6箇所程度で計測を行う。計測状況概要を「6. 図面」に示す。</p> <p>②3D点群データのノイズを処理し、複数の計測データを統合して橋脚および周辺河床の3Dモデルを作成する。</p> <p>③橋脚の3Dモデルを設計図面に重ね合わせて洗堀の規模を算出する。水底静置計測で得られる点群データは音波発信部を原点とする極座標のため、CAD等により設計図面と重ね合わせて公共座標系に変換する。現地調査時に橋脚の水上部を3Dレーザースキャナーにより計測して公共座標系の位置情報を持つ3D点群データを取得し、水中部の点群データと統合することにより、3DSの極座標を公共座標に変換することもできる。</p> <p>【船舶機装計測】</p> <p>①水中3Dスキャナーのソナーヘッドの向きを作業船の真横に固定し、音波をに発信する。橋脚計測前に同一箇所を複数回計測するパッチテストを行い、現地計測後のデータ処理時にソナーヘッドの取り付け角度を補正する。橋脚から5~10m程度離れたところを橋脚と平行に2~3ノットの船速で航行して橋脚および河床形状を3Dの点群データとして計測する。得られたデータはジャンクションボックスを介してノートPCに送られ、ハードディスク等に保存する。水深が10mの場合はソナーヘッドの上下角(チルト角)を変えて3回計測する。計測状況概要を「6. 図面」に示す。</p> <p>②3D点群データのノイズを処理し、複数の計測データを統合して橋脚および周辺河床の3Dモデルを作成する。</p> <p>③橋脚の3Dモデルを設計図面に重ね合わせて洗堀の規模を算出する。船舶機装計測はGNSSと水中3Dスキャナーが同期されるため、公共座標系の位置情報を持つ点群データが取得される。</p> 
	アウトプット	<p>【水底静置計測】</p> <p>計測後、設定したスキャン速度と作動角度から点群の任意座標を自動計算し、水中3Dスキャナーオリジナルの収録ファイル(.son)と点群データ(.xyz)でアウトプットされる。</p> <p>【船舶機装計測】</p> <p>計測ファイルはモーションスキャンオリジナルの収録ファイル(.pds)で保存される。モーションスキャンデータ収録・処理ソフト(PDS)で動揺方位補正、潮位補正、音速度補正、電子基準点による位置情報補正(橋梁下で衛星電波が届かない箇所等)、ノイズ処理等の作業を行った後、点群データ(.xyz)でアウトプットする。計測とは別に機器の機装・テストに1日、機装解除に1日必要。</p>
	計測頻度	<p>【水底静置計測】 1時間に3回(概査の場合は1時間に6回)</p> <p>【船舶機装計測】 100,000m²/日 (水際~水深10mまでを計測対象とし、船速3ノットで計測した場合。上下角を変えて同一箇所を3回計測)</p>
	耐久性	耐圧水深1000m
	動力	ポータブル発電機により電力供給(100V、最大45W)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装	設置方法	<p>【水底静置計測】</p> <p>3DSとノートPCを有線で接続し、ノートPCにデータを保存する。専用のPCソフトが必要。</p> <p>【船舶機装計測】</p> <p>3DSとノートPCを有線で接続し、ノートPCにデータを保存する。専用のPCソフトが必要。</p>
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	幅40cm×奥行25cm×高さ3cm、約2.5kg(ノートPCのサイズ) 2-5-203
データ収集・通信装	データ収集・記録機能	点群データはファイルサイズがギガ単位となるため、ノートPCのハードディスクか外付けハードディスクに保存

置	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	ノートPCはポータブル発電機により電力供給
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	①水深:0.5m ②水深:0.8m	上段①【水底静置計測】 ・水深0.5m ・ソナーヘッドが水中にあることが計測に必須であるため 下段②【船舶艀装計測】 ・水深0.8m ・作業船の航行可能水深
	標準試験値	未検証	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	①最大距離:30m ②最大距離:20km	上段①【水底静置計測】 ・最大30m/推奨1m~20m ・周波数1350kHzの音波により計測しているため、15m以上では点群の精度・密度が著しく低下 下段②【船舶艀装計測】 ・作業船による移動距離は最大20km/日、水深30mまでの橋脚・河床を計測 ・船舶艀装計測の性能値は、移動距離は船速2ノット(約4km/h)で5時間航行した場合を想定。水深はカタログスペック。
	標準試験値	①最大距離:30m(半径15m) ②最大距離:10km	上段①【水底静置計測】 ・ソナーヘッドを中心とする半径15mの球体内の河床・構造物形状を計測 下段②【船舶艀装計測】 ・作業船による移動距離は最大10km/日、水深15mまでの橋脚・河床を計測
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・4ノット	・船舶艦装計測 4ノットでの計測も可能だが、点群密度が低下する	
		標準試験値	・2~3ノット	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・誤差:2cm	・約2cm ・ブロックサイズ: L76cm、W38cm、H60cm ・水中3Dスキャナー計測結果: L75.6cm、W37.1cm、H59.6cm ブロック間距離:1m ・水中3Dスキャナー計測結果0.988m	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	未検証	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	①半径15mの球体内 ②水面~水深15m	上段①【水底静置計測】 ・ソナーヘッドを中心とした半径15mの球体内 ・流速2m/sec未満、水深50m未満、水中に気泡が無い、橋脚周りにスキャナーやケーブルがひかかる様な障害物が無い 下段②【船舶艦装計測】 ・水面~水深15m ・流速2m/sec未満、水中に気泡が無い、波高0.5m以下、風速8m以下	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・10cm	・大きさ10cm以上の変状であれば100% ・音波により水中形状を可視化するため、ソナーヘッドと計測対象物との間に音波を反射する障害物がある場合は計測できない
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・45点/100cm ²	・5m離れたところから速度2.5ノットで計測した際の分解能。より近いところから計測した場合は分解能は上がる。(点群密度は高くなる)		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

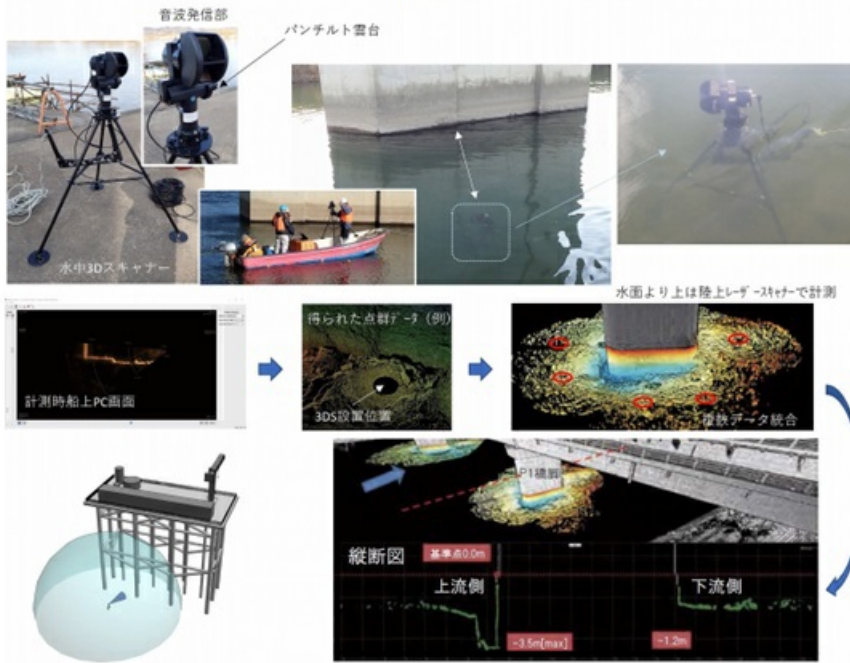
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	ポールを立てた作業船が通過するため、水面～桁下は2m程度の空間が必要
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	通常の船上作業に準じる	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	小型船舶による船上作業の安全確保が必要 ・風速7m/s以上は作業不可 ・流速2m/s以上は作業不可 ・波高0.5m以上は作業不可 ・視程300m以下は作業不可	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	"【水底静置計測】 自社の現地実習1日、机上実習1日またはOJTが必要。 【船舶艀装計測】 ナローマルチビーム計測とほぼ同じ技術が求められる。"	-
	必要構成人員数	【水底静置計測】 現場責任者1人(オペレーター)、補助員1人(3DS垂下・回収)、 操船者1人、合計3名 【船舶艀装計測】 現場責任者1人(オペレーター)、補助員1人(艀装補助、航行時 安全確認)、操船者1人、合計3名	ハイエースバン1台ですべての機材を積み込み可能、積み下 ろしに重機不要
	作業ヤード・操作場所	計測作業、機器艀装に船上スペースが幅1.5m×長さ2.0m必要	-
	計測費用	【水底静置計測】:現場1日35万円、内業25万円 【船舶艀装計測】:艀装・計測・艀装解除で最低3日必要 現場120万円、内業25万円 (諸手続き・移動にかかる費用、諸経費は含まない)	【水底静置計測】 橋脚及びその周辺の水底形状(10m×10m)を3箇所/日 で計測 【船舶艀装計測】 水深10m以浅であれば最大計測距離は10km/日
	保険の有無、保障範囲、費用	機器御動産保険に加入	-
	自動制御の有無	自動制御は無い	-
	利用形態:リース等の入手性	当社調査員による計測・データ整理のみ対応 (機器リースは対応していない)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	故障時は、別機器により後日再計測	-
	センシングデバイスの点検	点検は求められていないが、計測開始時に得られた点群データの計測値と設計図面等を比較して、故障が無いことを確認	-
その他	気泡の多い堰下や水深0.5m未満では対応困難	-	

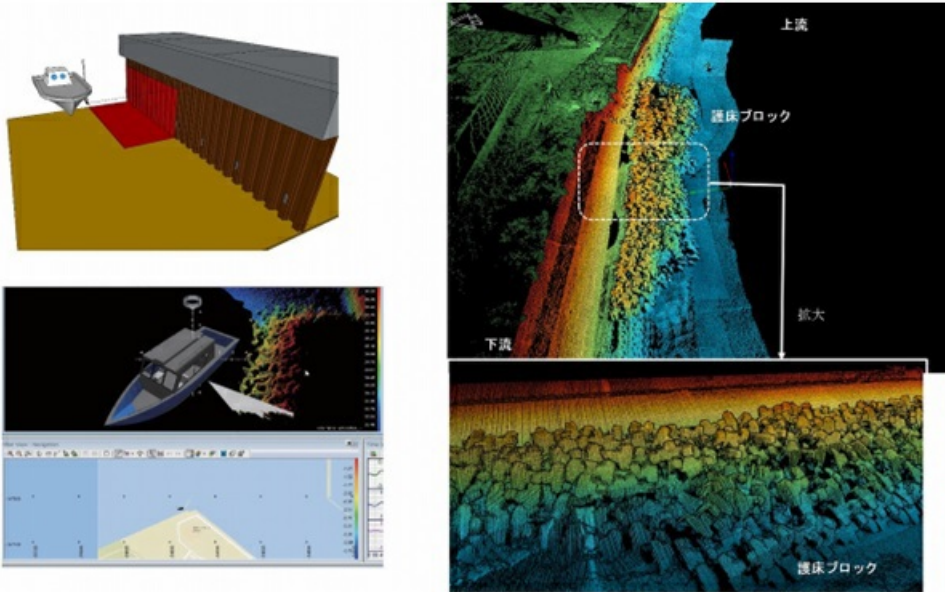
6. 図面

水底静態計測



水底静態計測概要

船舶振装計測



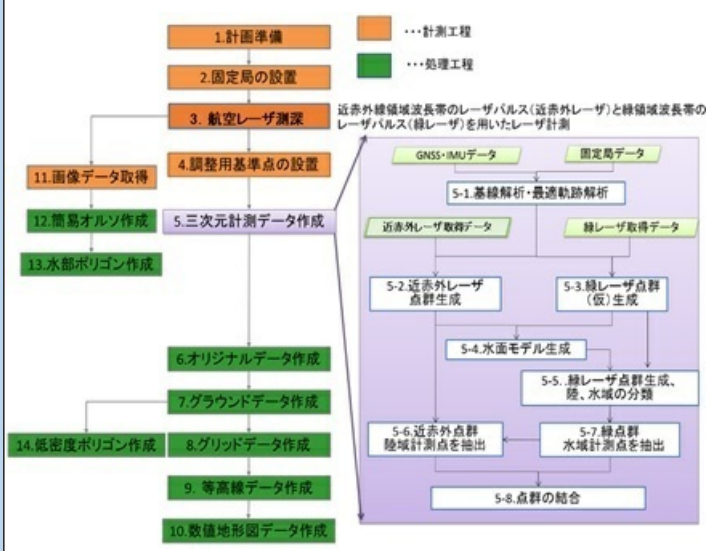
船舶振装計測概要

1. 基本事項

技術番号	BR030025-V0323		
技術名	航空レーザ測深による橋梁基礎の洗掘状況モニタリング技術		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	株式会社パスコ		
連絡先等	TEL: 03-5435-3656	E-mail: koabzu8682@pasco.co.jp	東日本事業部 技術センター 国土情報部 大坪 和幸
現有台数・基地	1	基地	名古屋空港(愛知県西春日井郡豊山町大字豊場)
技術概要	<p>移動装置である航空機(回転翼機)に搭載した緑波長のレーザ計測装置を用いて、上空よりレーザ光を照射することで河床の三次元点群データを面的に取得する技術「航空レーザ測深(Airborne Laser Bathymetry)」(以下:ALB)を活用する。</p> <p>ALBは、上空から緑波長と近赤外波長のレーザ光を地表に向けて発射している。緑波長のレーザ光は水面から屈折して水中に貫入し、水底に到達して機器受光部に戻ってくるまでの時間を測定する。近赤外波長のレーザ光は、同様に地表面に反射して戻ってくる時間を測定している。これらのデータ取得後に計算処理によって水底及び地表面の三次元位置座標を求める技術である。航空機に搭載しているため機動性が高く、かつ広域を一定の点間隔及び精度で三次元点群データを取得することが利点である。</p> <p>このALB技術を活用し、水中の橋脚基礎部分周辺の三次元点群データを取得して洗掘状況を把握する。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	㊟洗掘
検出原理	レーザー		
検出項目	水底地形3次元座標		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測装置(ALB)は、移動装置(回転翼機)を専有して常時搭載した状態で運用している。</p> <p>ALBを搭載した回転翼機は、基地から計測対象地域近傍の前進基地に移動する。前進基地より計測対象地域に移動後、一定の対地高度(約500m)で飛行して上空より計測を行う。</p> <p>計測したデータは、回転翼機のキャビン内に設置した計測装置の記憶機器(SSD)に記録される。計測作業終了後、基地及び前進基地に帰投し、記録されたデータを専用のソフトウェアをインストールした処理装置でデータ処理を行い、三次元点群データを作成する。</p>	
移動装置	機体名称	エアロスパシアル AS350B	
	移動原理	<p>【飛行型】</p> <p>本計測装置(ALB)は、移動装置(回転翼機)と一体で運用する。</p> <p>ALBと回転翼機は、事前に航空局の修理改造検査を受検しており、ALBのシリアルナンバー及び回転翼機の機体番号は固有の組み合わせに限定されるため、ALBを他の回転翼機に搭載することはできない。</p> <p>従って、本技術を使用する場合は、回転翼機が計測対象地域まで移動することが前提となる。</p>	
	運動制御機構	通信	<p>飛行型</p> <p>回転翼機に人が搭乗し、機体を直接操縦する(有人飛行)</p>
		測位	<p>飛行型</p> <p>機体の三次元位置計測:GNSS/IMU装置</p>
		自律機能	<p>飛行型</p> <p>自律機能無し。人による操縦が前提。</p> <p>ただし、現在位置把握のため、GNSSが用いられる。</p>
		衝突回避機能(飛行型のみ)	<p>操縦士の目視による回避。</p> <p>航空管制及び航空無線による通信。</p>
	外形寸法・重量	移動装置:10.69×12.94×3.14m 1200kg	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	移動装置と計測装置は一体構造。	
	動力	<p>動力源:内燃式(ガスタービンエンジン)</p> <p>電源供給容量:オルタネータにより発電をバッテリーに蓄電後、供給</p>	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	180分(回転翼機の積載可能燃料による飛行可能時間)	
設置方法	<p>回転翼機の下部に専用のポッドを設置しており、ALB本体はポッド内部に収納してボルト及びナットにより固定する。</p> <p>ALBのデータ記録機器は、回転翼機のキャビン内部に設置・固定する。</p> <p>実運用にあたっては、事前に航空局の修理改造検査に合格する必要がある。</p> <p>なお、回転翼機とALBは、修理改造検査を受検した組み合わせと同一とし、ALBを他の回転翼機に搭載することはできない。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置:最大外形寸法(長さ408mm×幅408mm×高さ747mm)、最大重量(41.3kg)		
センシングデバイス	<p>LeicaGeosystems社製</p> <p>距離計測装置:レーザスキャナ(近赤外レーザ、緑レーザ)</p> <p>位置測定装置:GNSS/IMU</p> <p>画像取得装置:デジタルカメラ(RCD30)</p>		
計測原理	<p>回転翼機に搭載した計測装置は、二種のレーザ光(近赤外波長と緑波長)を地上に向けて発射する。</p> <p>近赤外波長のレーザ光は、地物に反射して計測装置の受光部に戻るまでの時間を測定する。</p> <p>緑波長のレーザ光は、水面で屈折して水中に貫入する性質を利用しており、水部では水底に到達して計測装置の受光部に戻ってくるまでの時間を測定する。</p> <p>計測装置の三次元位置及び三軸の傾きや、レーザ光の測定時間のデータを統合計算処理することにより、三次元位置座標を算出する。</p>		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>計測装置から発射されたレーザ光が、橋脚基礎部分に至るまでに遮蔽される物体が存在すると計測できない。計測装置は斜め14度方向にレーザ光を照射するため、橋脚の上部工の幅や水面からの上部工の高さに応じて、橋脚基礎部分が計測可能であるか事前の確認が必要である。</p> <p>緑波長のレーザ光は水中に貫入するが、水質によって計測可能深度が変わる。計測装置の仕様として1.5セッキ(透明度の1.5倍)までの水深が計測可能とされている。</p> <p>計測を行う箇所において、事前に水質調査を行ったうえで、想定される水深と水質から計測可否を検討する。水質等の影響で緑波長のレーザ光が水底まで到達しない場合、三次元点群データが取得できず欠測が発生する。</p>		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>・水質の調査</p> <p>ALBによる測深を行う場合、当該河川の水質及び水深がALB計測に適しているが評価する。通常の水質が良好であったとしても、作業日前に降雨等で水質が低下する場合がありますため、そのような期間は計測を回避するなどの配慮が必要となる。</p> <p>・GNSS衛星の配置</p> <p>計測装置は、GNSS衛星を用いた計算処理で計測装置の三次元位置を求めており、その算出にあたってはGNSS衛星の数と配置が重要である。GNSS衛星の配置と数を評価する基準は、DOP(Dilution Of Precision)と呼ばれ、GNSS衛星を用いた解析の精度低下率を示すものである。DOPの値は3以下を標準としており、DOPが大きい場合は三次元点群データの精度も低下する。なお、DOPの値は事前に予測可能であるため、DOPが大きい時間帯には計測を回避するなどの措置が取られる。</p>		
	<p>1) 計画準備</p> <p>計画準備では以下項目について確認する。</p> <p>・ALB計測可否及び計測時期の判断 ・要求成果の確認と設定(計測点間隔、成果品項目など)</p> <p>・ALB計測の計画コース立案</p> <p>・調整点の設置箇所選定</p> <p>・ALB計測飛行にかかる各種申請</p> <p>2) 航空レーザ測深</p> <p>1)の計画コースに準じて、ALB計測を行う。</p> <p>3) 調整用基準点の設置と観測 ALBデータの位置精度確認のため、陸部の平らな箇所に所定の数の調整用基準点を設置し、観測作業を行う。</p>		

計測装置	計測プロセス	<p>4) 三次元計測データ作成 ・航空機のGNSS観測データとIMUデータ、固定局のGNSS観測データを用いて最適軌跡解析処理を行う。 ・最適軌跡解析結果とレーザ測距装置のデータを統合計算処理し、三次元座標を持つ点群データ(三次元計測データ)を作成する。</p> <p>5) オリジナルデータ作成 三次元計測データに対してコース間の標高値を確認(コース間点検作業)し、任意の範囲に切り出したオリジナルデータを作成する。</p> <p>6) グラウンドデータ作成 オリジナルデータから地表及び水底部分以外の地物を除去する処理を行う。この地物を取り除く処理はフィルタリングと呼ばれる。</p> <p>7) 成果品作成 成果品は、通常オリジナルデータ、グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データで構成されており、仕様書に沿って作成する。</p> 
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> 計測装置のGNSS/IMU及びレーザ測距装置のデータは、データ記録機器に記録される。 専用のソフトウェアによる統合計算処理によって、三次元計測データを作成する。 通常は、LASデータ及びCSVデータとして出力される。計測プロセスを経て具体的にアウトプットされる 現地では120km/hで計測飛行を行う。計測コースの延長によって計測時間が変わる(10kmの計測に5分程度)。 データ取得状況は上空でリアルタイムで確認する。基地に帰投後、取得データのダウンロード及び一次処理を行って、データの正常性を確認する(着陸後約2時間)。
計測頻度		状況に応じて適宜計測を実施する(1年に1回、災害発生後など)
耐久性		<ul style="list-style-type: none"> 5年程度運用 計測機器メーカーの保証期間は部品交換/修理を適宜行う。
動力		移動装置(回転翼機)の動力で発電された電力を供給(専用の電源ケーブル利用) 移動装置は、約180分間の連続飛行が可能。
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		移動装置より電力を供給
設置方法		<ul style="list-style-type: none"> 記録装置は移動装置との一体構造 記録装置は移動装置(回転翼機)のキャビン内部に固定しており、移動装置外部に固定した計測装置とケーブルで接続される。
外形寸法・重量(分離構造の場合)		-
データ収集・記録機能		記録装置の記録メディア(SSD)に記録
通信規格(データを伝送し保存する場合)		-
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)		-
動力		移動装置(回転翼機)の動力で発電された電力を供給(専用の電源ケーブル利用)
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)		-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・120km/h	・計測時の計測点密度を維持するための速度。	
		標準試験値	未検証	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・0.3m(標高値) ①0.1m ②0.5m	・0.3m以内(標高値) ・航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル(案)の第13条に準じる。 上段①:路面など露出した地盤は0.1m以内(標高値の標準偏差) 下段②:植生下の地盤では0.5m以内(標高値の標準偏差)	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・水中の透明度:セッキ板調査の1.5倍までの深度	・水質調査(透明度板)による1.5倍の深度まで計測できる。	
	感度	校正方法	・ポアサイトキャリブレーションの実施		・半年に1回
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値	-		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・陸上部:10点/m ² (近赤外波長レーザ) ・水中部:1点/m ² (緑波長レーザ)	・対地高度500mの場合		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	橋梁の上部工によりレーザ光が遮蔽されるため、条件によって橋脚基礎部分が計測できない。回転翼機が安全に運航できるための周辺地形 計測時の水質	-
	周辺条件	回転翼機が安全に運航できるための周辺地形 計測時の水質	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	回転翼機操縦(操縦士) 計測士(測量士)	-
	必要構成人員数	操縦士1人、機器操作1人 合計2名	計測作業自体は、左記の通り。 その他現場作業(調整点観測、水質調査など)で3~4名が必要。
	作業ヤード・操作場所	機器操作 社内講習7.5時間以上	-
	計測費用	1回計測 2,500千円(税別)	計測条件 計測範囲 0.2km×1km 計測点密度 水部1点/m ² 、陸部10点/m ²
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自律制御 無し	-
	利用形態:リース等の入手性	計測作業の委託	移動装置、計測装置、作業員を含め、計測作業を作業機関に委託し、計測データを入手する。
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	半年に一回(キャリブレーション)	公共測量で運用するためのマニュアルに規定されている。
	その他	-	-

6. 図面



1. 基本事項

技術番号	BR030026-V0223		
技術名	デジタルカメラによる支承点検技術		
技術バージョン	Version 1.0	作成:	2023年3月
開発者	パナソニック コネクト株式会社		
連絡先等	TEL: 080-9946-5263	E-mail: yamamoto.toshi@jp.panasonic.com	パナソニック コネクト株式会社 現場ソリューションカンパニー 現場センシング事業本部 ソリューション3部 システム開発2課
現有台数・基地	2台	基地	神奈川県横浜市都筑区佐江戸町600番地
技術概要	<p>機能障害の有無を調査したい支承部をデジタルカメラで動画撮影し、その動画をパソコンにインストールした解析用ソフトウェアで分析処理することで、支承部の変位量(垂直・水平)ならびに回転角を計測する技術である。</p> <p>本技術では、計測対象に計測用マーカー等を貼付・設置する必要がなく、そのため計測時にマーカー貼付・設置のための足場構築や高所作業が不要である。さらにマーカー無しで計測できるため撮影した支承部の任意の箇所の変位量、回転角を計測可能である。</p> <p>また、計測した変位量や回転角を撮影した動画に合成して表示することもでき、支承の動きを直感的に分かりやすく表示することも可能である。</p> <p>※本技術の一部は、(公財)鉄道総合技術研究所が国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて検証を実施したものである。</p>		
技術区分	対象部位	支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	
検出原理	画像(動画)		
検出項目	変位量(水平・垂直)、回転角		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>・本計測機器は、デジタルカメラで撮影した動画をパソコンにインストールした解析用ソフトウェアで分析処理することで、支承の変位量(垂直・水平)ならびに回転角を自動計測する技術である</p> <p>・デジタルカメラ、録画データ保存用SDカード、ならびに解析用ソフトウェアをインストールしたPCが主な構成要素であり、現場においてこのPCを使用して、デジタルカメラの設定ならびに撮影操作、撮影した動画の目視確認、計測結果の簡易的な確認を行うことが可能である。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【据置】</p> <p>●デジタルカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・三脚に固定する。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>●デジタルカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パナソニック製 型番:LUMIX DC-BGH1 -外形寸法 : 幅 約93.0mm x 高さ 約93.0mm x 奥行 約78.0mm -重量 : 約545g(本体のみ) <p>●デジタルカメラ用レンズ</p> <p>撮影要件によって次の2つのレンズを使い分ける</p> <p>①望遠レンズ (目安として、撮影対象物との撮影距離が5m以上の場合に使用)</p> <p>パナソニック製 型番:H-PS45175</p> <ul style="list-style-type: none"> -外形寸法 : 最大径61.6mm、全長90.0mm(先端よりマウント基準面まで) -重量 : 約210g -焦点距離 : 45-175mm <p>②広角レンズ (目安として、撮影対象物との撮影距離が5m以内の場合に使用)</p> <p>パナソニック製 型番:H-PS14042</p> <ul style="list-style-type: none"> -外形寸法 : 最大径61.0mm×全長26.8mm(先端よりマウント基準面まで) -重量 : 約95g -焦点距離 : 14-42mm <p>●三脚</p> <ul style="list-style-type: none"> ・品番指定なし(剛性の高いもの) <p>●記録用メディア(SDXC/SDHCメモリカード)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・品番指定なし(UHS-I/UHS-II U3(UHS Speed Class 3)以上推奨) <p>●PC(デジタルカメラ BGH1操作用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パナソニック製 Let's note CF-SV7 -外形寸法 : 幅283.5mm×奥行203.8mm×高さ24.5mm(突起部除く) -重量 : 約0.999kg(付属のバッテリーパック(S)(約255g)装着時) 		
センシングデバイス	<p>デジタルカメラ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パナソニック製 型番:LUMIX BGH1 <p>デジタルカメラ用レンズ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パナソニック製 型番:H-PS45175 ・パナソニック製 型番:H-PS14042 		
計測原理	<p>・支承部をカメラで動画撮影し、その動画を解析用ソフトウェア上で分析処理を行う。</p> <p>分析処理においては、動画中の連続する2枚の画像を比較し、その変位量(位置的なずれ量、単位は画素)を計算する。この計算を繰り返すことで、変位量の時系列データを得、これを元に支承部の変位量ならびに回転角(とその時間的な変化)を求める。</p> <p>・支承部の変位量の実寸値を得るために、撮影した動画に写っている任意のものの実寸法をメジャーなどで計測しておき、画素数を実寸法に換算するための係数を算出。分析処理によって得た変位量(単位は画素)をこの係数を元に実寸法に換算する。</p> <p style="text-align: center;">2-5-219</p>		
計測装置	計測の適用条件(計測原	<p>・計測対象を一定時間、安全に撮影できる場所(カメラ等の機器の設置場所)の確保が必要である。</p> <p>・カメラと計測対象間に遮蔽物が存在する場合は撤去が必要である(例えば伸びた雑草、雑木林等)。</p>	

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承部の機能障害(2020) 実施年 2021年 ・橋軸方向 相対差:0.014mm(1.20%) ・鉛直方向 相対差:0.012mm(3.04%)	・レーザー変位計との比較 ・計測範囲が幅約1.18m×高さ約0.66m、撮影画素数3840(横)×2160(縦)の場合	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・幅約1.18m×高さ約0.66mの範囲内にある支承とその周辺部を計測可能	・レンズ焦点距離=20mm、かつ撮影距離=1.5mの場合	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・変位検出率:100%	・撮影した画像からの変位検出率100% 撮影時に十分な光量が保証され、かつ撮影対象に十分なテキストチャ(模様や汚れ)が存在すれば確実に検出可能。
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・1/30画素	-	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	桁下に存在する対象物を計測する場合は、人が進入できる箇所や進入できる空間が必要	-
	周辺条件	・計測対象を一定時間、安全に撮影できる場所の確保が必要 ・カメラと計測対象間に遮蔽物が存在する場合は撤去が必要(例えば伸びた雑草、雑木林等)	-
	安全面への配慮	カメラ、三脚、電源(バッテリー)を公道上に設置せざるを得ない場合は、注意喚起の看板等の設置が必要	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	カメラ、三脚、電源(バッテリー)を公道上に設置せざるを得ない場合は、注意喚起の看板等の設置が必要	-
	その他	・降雨、降雪など悪天候時のため撮影に影響が生じる場合は使用不可 ・計測対象を一定時間、安全に撮影できる場所の確保が必要	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人 合計2名	機器の設置レイアウトによっては補助員を増員することが望ましい場合がある(例えば、カメラとPCの距離を離して設置せざるを得ない場合等)
	作業ヤード・操作場所	計測機器とカメラの距離 1m~20m以内	-
	計測費用	・調査費用(外業):32万円 (橋梁1カ所/1日) ・調査費用(内業):100万円 (橋梁1カ所/1日分の計測結果まとめ) ・機械経費:30万円/日(橋梁1カ所/1日) ※機器貸出し費用(レンタル経費) ・その他の費用:交通費、宿泊費は別途計上	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険未加入	-
	自動制御の有無	自動制御なし	-
	利用形態:リース等の入手性	購入品またはレンタル品	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり	-
	センシングデバイスの点検	年に1度は定期点検を実施することが望ましい	-
その他	・転倒・落下等により著しく破損した場合は対応困難 ・レコーダーやPCの記憶装置の故障・破損に伴う記録データの滅失には対応不可 ・撮影時、支承部に対してカメラは基本的に正対で設置とするが、 角度をつけざるを得ない場合は、水平・垂直のいずれか1方向のみ±30度以内なら許容	-	

6. 図面

◆ハードウェア構成



◆計測作業フロー

(1) 撮影

デジタルカメラを設置し、露出、画角、フォーカス等の調整を行い、動画を撮影する。

図1-1 支承部(撮影対象)



図1-2 撮影状況



(2) 解析

撮影データを解析用ソフトウェアへ取り込み、計測したい箇所(計測点)を設定し、ソフトウェア上で分析処理することで、支承の変位量(垂直・水平)ならびに回転角を自動計測する。

図2-1 解析用ソフトウェア画面(抜粋)

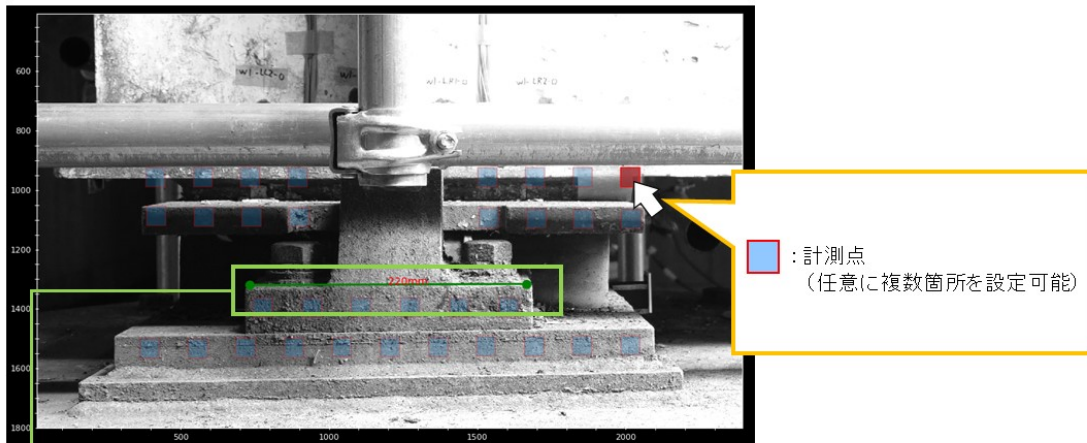
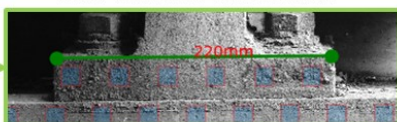


図2-2 実寸値設定箇所の拡大図



※ 写っている任意のものの実寸値を計測し、解析用ソフトウェアに設定しておくことで、実寸での計測が可能

(3) 解析結果表示

① 変位量(垂直(Y)・水平(X))での変位

図3-1の通り画像に変位量をベクトルとして重畳表示が可能。
(サンプルはY方向成分のみのベクトル表示)

また、図3-2の通り、各計測点における変位量グラフの出力も可能。
CSVデータとしての出力も可能。

図3-1 計測開始12秒後の変位成分ベクトル表示(Y)

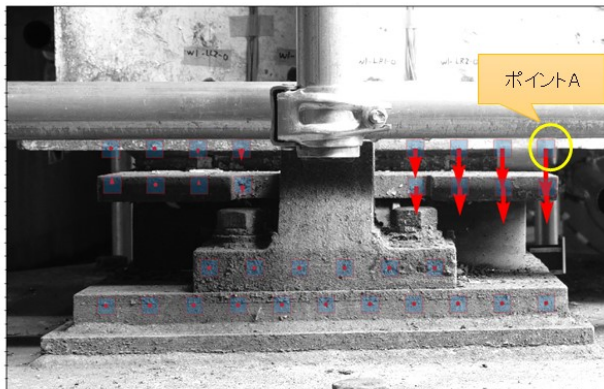
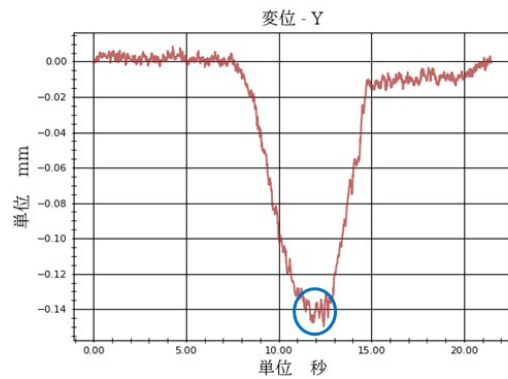


図3-2 ポイントAにおける変位量Yのグラフ



② 支承部の回転角

図3-3 ベクトル表示



図3-4 回転計算に用いる計測点設定箇所

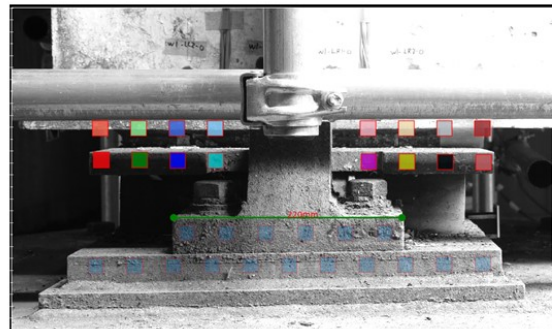
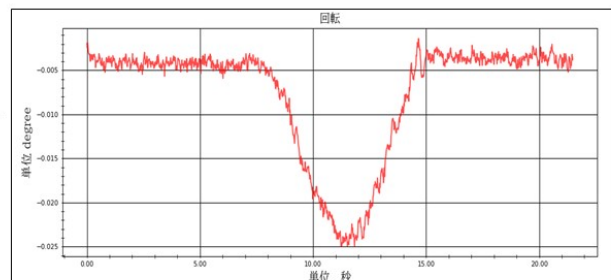


図3-3の通り、画像に変位量をベクトルとして重畳表示が可能。
また、図3-5は、図3-4に示した計測点を含む部材を剛体と仮定して求めた回転角の時系列データのグラフ出力である。
回転角データもCSVとして出力可能。

図3-5 回転角グラフ



1. 基本事項

技術番号	BR030027-V0223		
技術名	無線伝送装置を用いた変位計による支承移動量の測定		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	沖電気工業株式会社 愛知道路コンセッション株式会社 前田建設工業株式会社		
連絡先等	TEL: 080-2673-5297 048-431-5180	E-mail: hashizume808@oki.com yamamichi015@oki.com	ソリューションシステム事業本部IoT プラットフォーム事業部スマートコミュニケーションシステム部 橋爪 洋
現有台数・基地	4台	基地	埼玉県蕨市 OKIシステムセンサー
技術概要	<p>本技術は、橋梁の点検部位に変位計を設置することで、支承、桁、橋脚の変位量を定期的に測定し、変化量を確認する技術である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・無線伝送装置と接続された防水型変位計は、電池駆動可能な920MHz帯無線の伝送機能を備え、ゲートウェイとの直接接続が困難な場合は、無線マルチホップ中継機能により測定エリアを拡大する技術を有する。 ・ゲートウェイは、太陽光発電機能を備え、間欠動作することで商用電源なしにLTE通信を実現する。(以後、ゼロエナジーゲートウェイと呼ぶ) <p>また、支承、桁、橋脚の変位は、複数の計測が可能で、同時に計測時の温・湿度の情報も取得しており、温度変化により鋼桁が伸縮する様子を遠隔でモニタリング可能である。さらに支承の移動量と気温の相関関係から正常度のスコア値を算出し、このスコア値の変化を参照することで支承の機能障害を検知することができる。</p>		
技術区分	対象部位	支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	
検出原理	静ひずみ		
検出項目	2点間のひずみ(伸縮量)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		本計測器は防水型変位計と無線伝送装置がケーブルで接続された装置であり、橋脚に固定し計測を行うものである。また、計測したデータは、無線でゼロエナジーゲートウェイに送信され、ゼロエナジーゲートウェイで集約されたデータは4G無線通信でサーバに転送される。サーバへはインターネットを経由してブラウザでアクセスでき、日々の支承部の変化量を測定することができる。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	据置	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	【防水型変位計】 ・Lアングル等に変位計を固定し、固定点にセンサー先端を接触させた状態で取り付ける。 【無線伝送装置】 ゼロエナジーゲートウェイまで電波強度が-90dBm以上確保できるような見通しの良い場所に設置する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	【防水型変位計】 ・寸法:319 mm 重量:350g 【無線伝送装置】 ・寸法:(W)175 x (D)175 x (H)75 mm 重量:500g	
	センシングデバイス	【防水型変位計】 ・(株)東京測器研究所 型番:FDP-50A ・差動トランス式変位計	
	計測原理	・橋脚の支承部に防水型変位計と無線伝送装置を設置し、支承部の変位量を測定する。 ・測定した支承の変位量と気温の相関関係から鋼桁の伸縮に関する正常度のスコア値を算出し、このスコア値の変化を参照することで支承の機能障害を検知する。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・支承部に対してアングル等を用いた不動点を設置可能なこと。 ・不動点と支承部との距離に応じて最適な防水型変位計の型番を選択すること。 ・無線伝送装置は電波の見通しの良い環境に設置すること。 なお、防水型変位計と無線伝送装置を接続するケーブル長は10mである。	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・温度変化による見かけひずみが生じるため、計測データの温度ドリフトに留意が必要である。	
	計測プロセス	<p>図面1を参照</p> <ol style="list-style-type: none"> 測定対象の支承部に不動点を設け、可動する桁端部と不動点の間に防水型変位計を設置する。 防水型変位計に無線伝送装置を接続し、測定した変位量と温度データを920MHz帯無線で伝送する。 日射量が確保できる場所にゼロエナジーゲートウェイを設置し、無線変位計で測定したデータを4G無線通信機能を用いてクラウド上に設置したインフラモニタリングシステムに送信する。 インフラモニタリングシステムでは、データの可視化を行い、温度と変位量の相関関係から支承部の健全度をスコア値化する。 道路管理者は監視端末のWebブラウザを用いて収集データおよび健全度のスコア値を参照する。 スコア値が異常値になった場合は、管理者に対してメールで通知する <p>The diagram illustrates the measurement process. On the left, the 'Sensor Part' (センサー部) includes a 'Displacement Measurement' (変位量判定) block connected via a 'Wired' (有線) connection to an 'A/D Conversion, 920MHz Wireless, Battery-Driven' (A/D変換 920MHz 無線化 電池駆動) block. This block is connected via a '920MHz Multi-hop Wireless' (920MHz マルチホップ 無線) connection to a 'Zero Energy Gateway' (ゼロエナジーゲートウェイ) which includes '920MHz 4G Conversion' (920MHz 4G変換) and 'Solar Power' (太陽光発電). The gateway is connected via a '4G' connection to the 'Monitoring Terminal' (監視端末) on the right. The monitoring terminal includes a 'Browser - Data Visualization' (ブラウザ・データ可視化) block, a 'Data Storage' (データ保存) block containing 'Temperature' (温度), 'Support Displacement' (支承変位量), and 'Support Health' (支承健全度), and a 'Database' (データベース) block. The database is connected to an 'Email Notification' (メール発報) block.</p>	
アウトプット	・支承部の変位量、装置内温湿度、無線伝送装置の電池電圧、ゼロエナジーゲートウェイの発電量や電池電圧、支承部の健全度スコア値の時系列グラフをWebブラウザを用いてリアルタイムで参照可能である。 ・計測データはCSVファイルとしてダウンロード可能である。 ・スコア値が異常値になった場合は、管理者に対してメールで通知する。		
計測頻度	・基本は1時間に1回 地震発生などの有事に際には、サ-ビス-238からコマンドを送信し、即時測定も可能		
耐久性	【防水型変位計】 ・IP68		

	動力	【防水型変位計】 ・無線伝送装置から防水型変位計に対して電源を供給 【無線伝送装置】 ・内蔵電池で動作 電池型式:円筒形二酸化マンガンリチウム電池 品名:CR17450A 標準容量:2500 mAH 標準放電電流:5 mA 本数:4本
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・約3年 (測定条件:1回/1時間)
データ収集・通信装置	設置方法	【ゼロエネルギーゲートウェイ】 ・太陽光発電が可能となるように南向きで日当たりが良い場所に設置する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	【ゼロエネルギーゲートウェイ】 ・寸法:(W)230 x (D)284 x (H)378 mm 重量:4kg
	データ収集・記録機能	【ゼロエネルギーゲートウェイ】 ・ゼロエネルギーゲートウェイ上でデータは保存せず、4G無線通信を用いてサーバに転送する
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	【無線伝送装置】 規格:IEEE 802.15.4g準拠、ARIB STD-T108準拠 周波数:920MHz帯(922.3MHz~928.1MHz) チャンネル:33,34ch~59,60ch(2単位チャンネルの同時使用) プロトコル:無線マルチホップネットワーク(SmartHop SR仕様) 【ゼロエネルギーゲートウェイ】 モバイル通信規格:LTE-Cat.1(4G無線無線回線)
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	【無線伝送装置】 認証方式:共通鍵を用いた機器認証 ・暗号化方式:AES128
	動力	【ゼロエネルギーゲートウェイ】 ・太陽光発電 ・ニッケル水素電池(二次電池)
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	【ゼロエネルギーゲートウェイ】 ・連続不日照9日間

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・±0.1mm	・±0.1mm(橋軸方向、鉛直方向共通)	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承部の機能障害 (2020) 実施年 2021年 ①橋軸方向 相対差:0.135mm(12.55%) ②鉛直方向 相対差:0.058mm(19.91%)	①橋軸方向 参照値(単純平均):1.079mm 測定値(単純平均):0.944mm ②鉛直方向 参照値(単純平均):0.291mm 測定値(単純平均):0.348mm	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	①変位:10mm ②変位:25mm ③変位:50mm ④変位:100mm	・使用する防水型変位計の種類による ①FDP-10A(10mm) ②FDP-25A(25mm) ③FDP-50A(50mm) ④FDP-190A(100mm)	
	感度	校正方法	・メーカーにより校正試験を実施		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・約300uV/mm	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・0.01mm	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

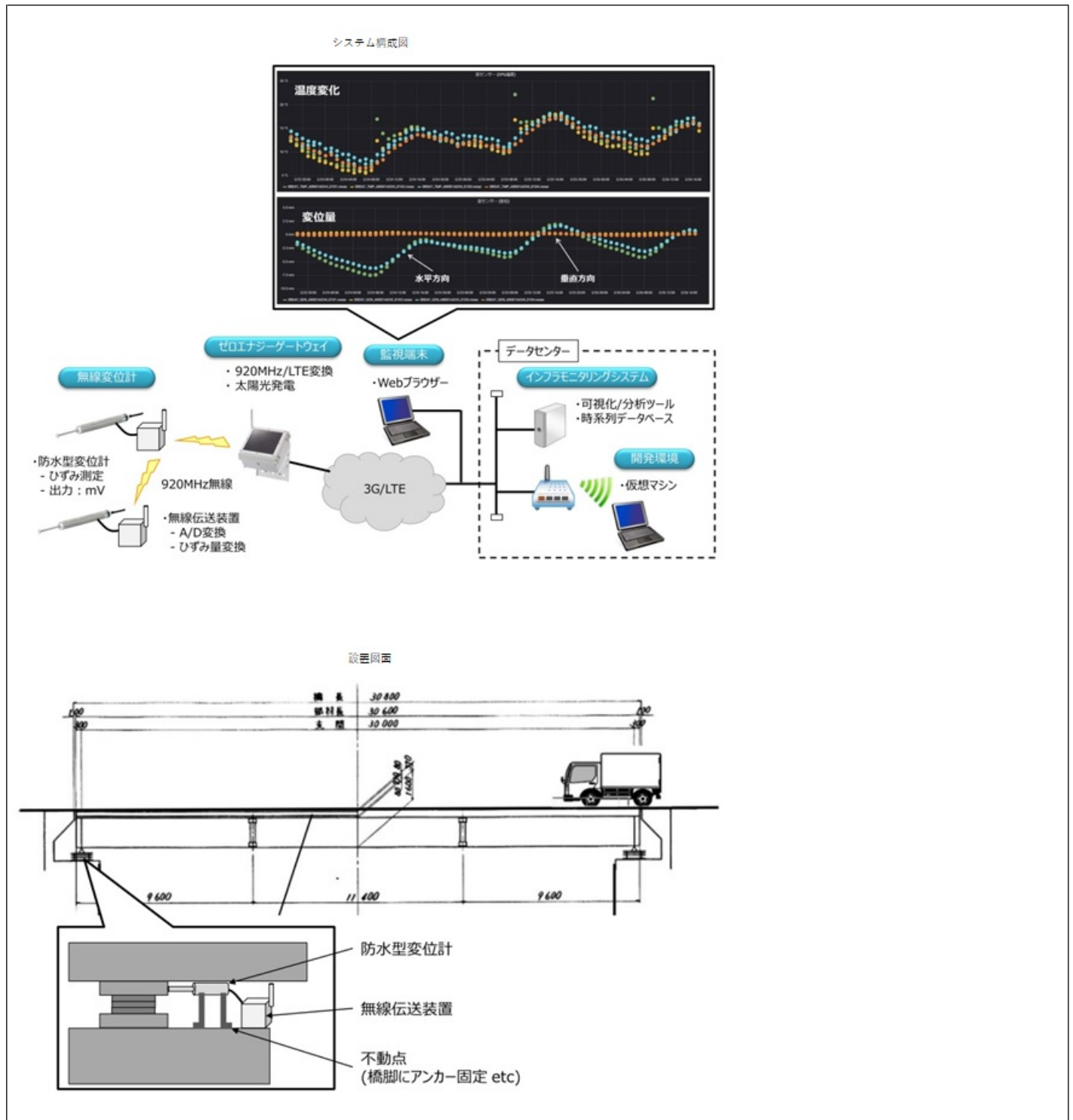
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	・無線伝送装置とゼロエナジーゲートウェイが直接通信不可な場合は、無線中継器を設置すること ・ゼロエナジーゲートウェイは日当たり良い南向きに設置すること	-
	安全面への配慮	・各装置の落下防止策を実施のこと	-
	無線等使用における混線等対策	・設置前に未使用チャンネルを確認の上、設置すること。	-
	道路規制条件	・一般道や道路に高所作業車を利用して設置する場合、交通規制が必要になる場合がある。	-
	その他	-	-

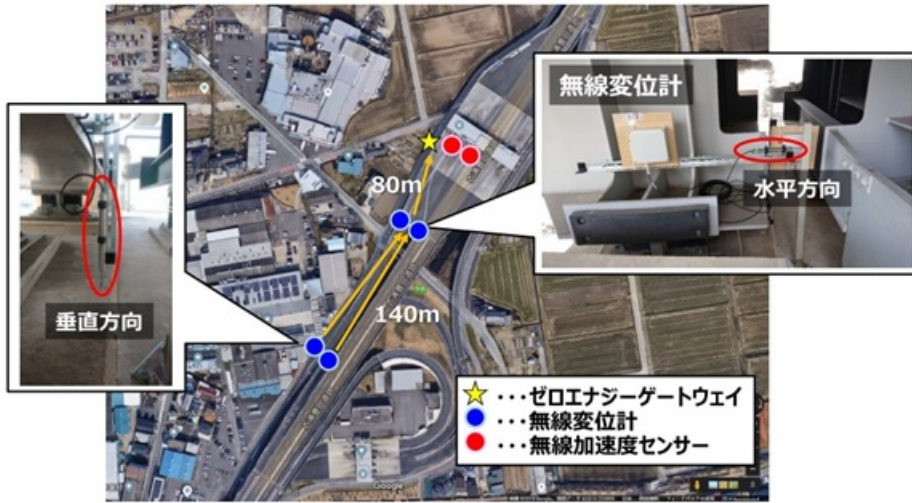
5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	・設置作業:現場責任者1人、他1名程度	-
	作業ヤード・操作場所	・自動計測のため操作は不要	-
	計測費用	・システム費:約100万円～	-
	保険の有無、保障範囲、費用	・保険無し	-
	自動制御の有無	・設定した計測条件で自動計測 ・しきい値超過を自動検出してメール発報	-
	利用形態:リース等の入手性	・機器販売 設置・計測は有償にて対応	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート体制あり 機器故障はセンドバックによる修理対応 その他の保守は有償にて対応	-
	センシングデバイスの点検	・有償にて対応	-
	その他	・温湿度範囲:-20～60℃、25～85%RH 結露なきこと	-

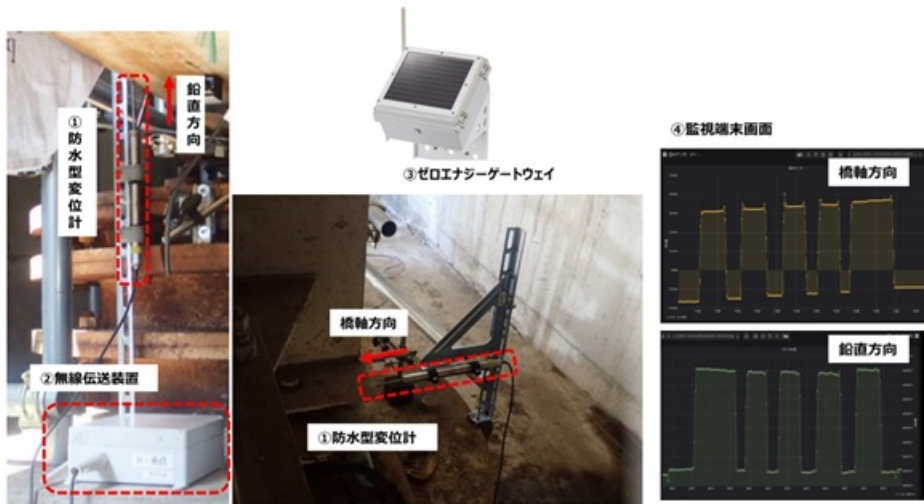
6. 図面



図三例-1



図三例-2

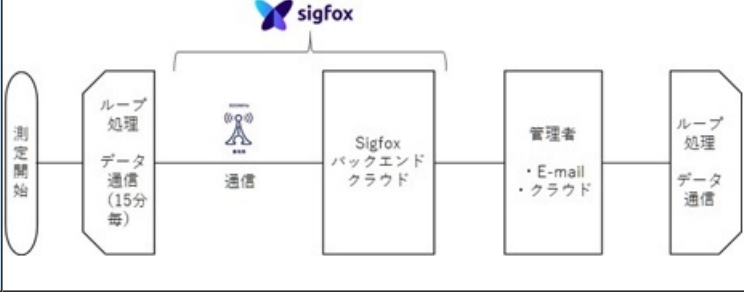


1. 基本事項

技術番号	BR030028-V0223		
技術名	LPWA通信を利用した支承モニタリングシステム		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	京橋ブリッジ株式会社 特定非営利活動法人 橋守支援センター		
連絡先等	TEL: 0669616173	E-mail: info@kyobashi.net	倉橋靖子
現有台数・基地	3	基地	1
技術概要	<p>支点部の桁の水平方向の動きを変位計で計測し、そのデータをLPWA通信を用いて長期遠隔モニタリングするシステムである。主に支承の耐久性をモニタリングすることを目的として橋軸方向の水平変位を計測対象としている。システムは15分を基本とした単位時間ごとに支点部の桁の水平変位(最大値、最小値)を測定するとともに、支承劣化程度を把握するための累積変位量も収録する。また地震や衝突による異常変位を検知する。それらのデータはLPWA通信を利用してクラウドへ送られ蓄積される。監視者はクラウド閲覧またはクラウドからのメールによってモニタリングすることができる。</p>		
技術区分	対象部位	支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	
検出原理	ひずみ		
検出項目	変位量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>支受付近に設置した変位計によって支点部での桁の水平方向の動きを計測する。収納ボックスには測定、送信及びバッテリー等が収納される。収納ボックスとソーラーパネルは測定対象近傍(概ね10m程度内)の堅固な場所(橋座、桁等)に設置し、かつソーラーパネルについては日照が確保できる場所に設置する。変位計と測定器は有線で接続される。収録した変位データは15分毎にLPWA通信(Sigfox)でサーバへ継続的に転送される。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> 変位計は支点部での桁の水平方向変位を測定するので、不動点となる支受付近の橋座面やパラベット等に設置する。変位計スタンドは接着剤で固定する(マグネットでは長期的にずれることがあるため補助的に使用する)。 桁の水平方向変位を測定できるように変位計の端蝕子を上沓またはソールプレートに接触させる。 測定器等の収納ボックスは変位計からの配線が届き、安定して設置可能な橋座や桁本体などの堅固な場所にアンカーボルトで固定する。標準構成での変位計ケーブル長が10mで、設置位置がケーブル長の制限を受ける場合は100m以内で適宜延長する。 ソーラーパネルはバッテリーを納める収納ボックスに届き、安定して設置可能な桁座や桁本体などの堅固で日照を受ける場所にポールバンドで固定する。適当な固定対象がない場合は標準構成に含む支柱をアンカーボルトで固定して使用する。標準構成でのケーブル長が5mで、設置位置がケーブル長の制限を受ける場合は10m以内で適宜延長する。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 変位計: 寸法(スタンド含む) 幅約100mm×奥行約300mm×高さ約300mm 重量約0.5kgf 収納ボックス: 寸法 幅約200mm×奥行約150mm×高さ約250mm 重量約1.0kgf ソーラーパネル: 寸法 幅約350mm×奥行約50mm×高さ約250mm 重量約1.0kgf 		
センシングデバイス	ひずみゲージ式変位計		
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> 変位計で支点部での桁の水平方向の変位を計測する。 累積変位量は、変位の変化量の和である。 15分毎の変位の最大・最小値及び累積変位量を記録し、Sigfoxサーバへ送信する。 長期にわたり継続的に測定する(15分毎の収録～送信インターバルを繰り返す)。 		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	データ通信にLPWA通信の一つであるSigfoxを利用しており、そのカバーエリアでの使用が条件となる。カバーエリアの情報はSigfox提供元HPで確認可能。ただしカバーエリア内でも地形等の環境により通信できないことがある。商用電源が無くてもソーラーパネルによる電源供給で動作するが、その場合はソーラーパネルが日照を受ける場所に設置できることが条件となる。		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	センサーや収録部・通信部にノイズをもたらすような強い電波などがあると精度や信頼性に影響する。またセンサーやソーラーパネルに飛来物や鳥などの動物が接触すると故障する可能性がある。		
計測装置	<ul style="list-style-type: none"> 変位計で支点部での桁の水平変位を計測する。 支承の耐久性に着目する場合の測定対象は可動端橋軸方向水平変位2支点(異常検知に着目する場合は直角方向設置も可能) 累積変位量は、変位の変化量の和である。 単位時間(15分～)での変位の最大・最小値及び累積変位量を記録する。 単位時間ごとにSigfoxで記録データをクラウドへ送信する。 異常値を認めた場合は単位時間によらず記録データを送信(異常時通報)。 異常値とは、温度変化や荷重载荷によって生じる常時の変位や設計値で想定している値を逸脱した値。 Sigfoxクラウドへ送られたデータは、管理者へE-mailで送信される。測定データを一括して保存する場合はSigfoxクラウドからCSVデータをダウンロードする。 		
計測プロセス			

		
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> 各箇所の単位時間あたりの変位の最大値、最小値、累積変位量 異常時は、各箇所の異常値 データ保存はSigfoxクラウドからE-mail及びCSVファイルダウンロード 計測結果の分析については別途個別対応
計測頻度		データ集計は標準15分毎(11分毎～任意) 異常時通報時は随時
耐久性		-
動力		DC12V(バッテリー)
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		ソーラー給電で連続稼働可能であるが、給電が途絶えた場合のバッテリー単体での稼働時間は約10日。 ・標準バッテリー容量は12V×9Ah=108Wh、収録機器の消費電流は5V×60mA=0.3W、バッテリー単体での稼働時間は108Wh/0.3W=360h=15日(>想定10日)。 ・標準ソーラーパネルは10W、標準バッテリーをフル充電させるためには、(12V×9Ah)/(10W-0.3W)=11.1h→12hを要する。国内での1年を通した平均日照時間は約5時間と言われており、12h/5(h/日)=2.4日→3日。上記のとおり無充電で稼働時間10日を確認しており電源に関してはソーラー充電下で継続的に供給可能。
設置方法		データ収集・通信装置はボックスに収納されている。ボックスは橋座または桁本体にアンカーボルトで固定したポール等に取付ける方法を基本としている
外形寸法・重量(分離構造の場合)		300mm×250mm×150mm(収納ボックスサイズ)、重量約1kg
データ収集・記録機能		標準では15分間収録し、その間の最大値・最小値・累積変位量を装置内に一時的に記録し、データ送信後にリセットされる。
通信規格(データを伝送し保存する場合)		Sigfox(LPWA通信)
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)		遠隔通信に使用するSigfoxのセキュリティ ・Sigfox基地局とバックエンドまではVPN接続 ・Sigfoxデバイス(モニタリング装置)とバックエンドまでは暗号化(AES-128) ・MAC認証
動力		DC12V(バッテリー及びソーラーパネルで給電)または商用電源
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)		-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 変位 支承部の機能障害(2020) 実施年 2021年 ・橋軸方向 相対差:0.0789mm(6.49%)	・橋軸方向 参照値(単純平均):-1.216mm 測定値(単純平均):-1.173mm ・計測レンジに対応した変位計を用いること	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・測定対象による	・計測レンジに対応した変位計を用いること (例)温度伸縮がある場合は、設計基準を参考に設定する。例えば支間10mの橋軸方向変位であれば15mmを測定範囲とする。 (例)温度伸縮の影響はない場合は常時の基準値等を参考に設定する。	
	感度	校正方法	・設置時に測定レンジ内でストロークさせる		・変位計単体だけでなくシステムとして動作させ、通信データから動作が正常かどうか確認すること
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・計測レンジ/1024(10bit)	
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・計測レンジ/1024(10bit)	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・0.05mm	・0.05mm程度(計測レンジ30mmの場合の実証値)		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

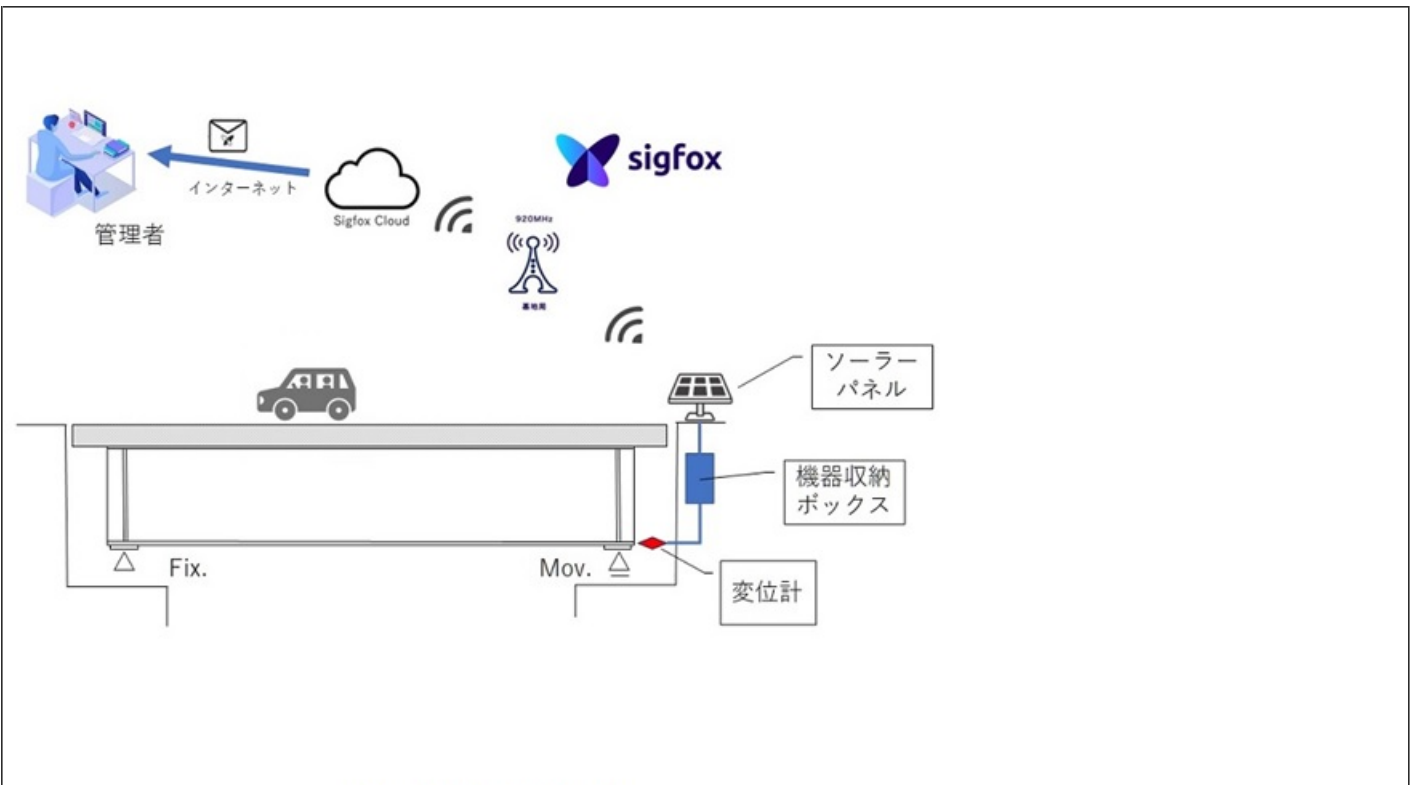
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	商用電源もソーラーパネル電源も使えない場合は適用不可 (バッテリー単体では長期稼働できないため)	ソーラーパネルを設置する場合は日照がある堅固な場所が必要
	安全面への配慮	飛散や落下のないよう確実に固定すること	-
	無線等使用における混線等対策	Sigfoxサービスエリア内であること。サービスエリア内であっても現地で事前に通信状況を確認すること	建物間や山間ではSigfoxサービスエリア内でも単体で使用できないことがある。その場合は基地局設置等を検討する
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	変位計が取付けできること ソーラーパネルや測定機器を固定できること	一般的な計測作業と比較して特別な技量が必要ではないが、設置経験者や計測専門業者の作業が望ましい
	必要構成人員数	2名(保安体制を除く)	一般的な計測作業と比較して特別な作業はないが、保安体制をのぞいても作業性を考慮して複数名での作業が望ましい
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	機器一式 9万円 (簡易ひずみゲージ式変位計2台、ケーブル延長10mの構成の場合。現場に応じて機器構成は適宜対応) 設置業務やデータ監視は別途 ※例・上路桁の2支承にセンサーを取り付け、毎月収録データのレポートを作成する場合 ・機械経費 15万円(機器一式、据付機械等) ・現場作業 10万円(2人・日)～ ・内業 データ通信費0.2万円(年)、レポート作成3万円(月) データをメール送信するのみの場合は、データ通信費のみで可能。異常時もメール送信されるが、データ監視や現場確認作業等は別途	-
	保険の有無、保障範囲、費用	無	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	販売または設置作業請負:リース無し	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	有:京橋ブリッジ株式会社及び橋守支援センターで対応	不具合のあるセンサーは代替品提供、不具合に起因しないものは実費対応。なお不具合によって生じた損害は補償しない。
センシングデバイスの点検	任意(例えば監視データに異常が生じた場合)	-	
その他	-	-	

6. 図面



設置概要・送信機器ボックス・変位計設置例



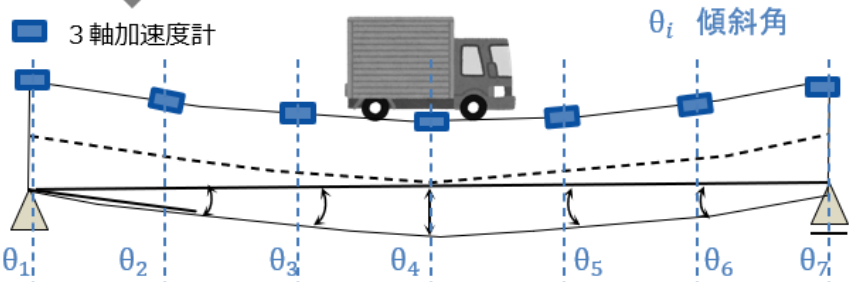
1. 基本事項

技術番号	BR030030-V0223		
技術名	重力加速度を用いた傾斜角による橋桁変形計測技術		
技術バージョン	1.0	作成:	2023年3月
開発者	株式会社TTES		
連絡先等	TEL: 03-5724-4011	E-mail: suganuma@ttes.co.jp	菅沼 久忠
現有台数・基地	9台	基地	東京都目黒区上目黒
技術概要	本技術は、橋桁に複数設置した加速度計のデータを傾斜角に変換し、橋梁の変形形状を算出する技術で、橋桁の変形を定量的に把握できる。動的载荷に加えて、静的载荷によるたわみ形状も算出できる。 算出されたデータはPC内にCSVファイルに保存され、併せてグラフ表示される。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	-
検出原理	加速度		
検出項目	たわみ		

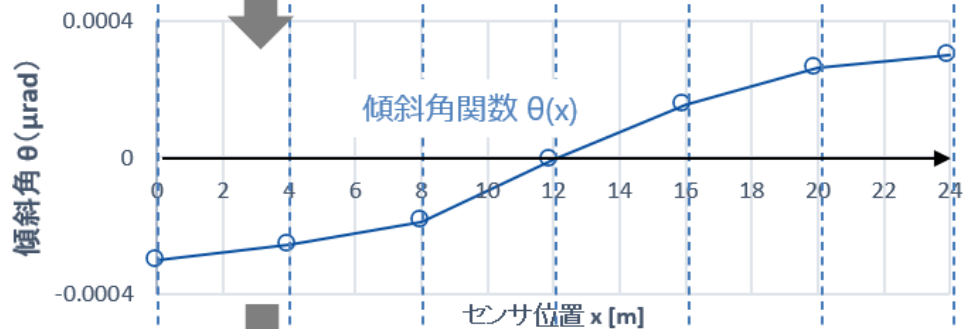
2. 基本諸元

計測機器の構成		・本計測機器は、3軸加速度計、CANケーブル、データ収集装置、PCから構成される。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	【据置型】 3軸加速度計を橋桁に固定し、計測を行う。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能 (飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	-	
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・3軸加速度計は、地覆上や路側帯の外側に設置する。橋面以外では、箱桁内部やウェブ面することも可。 ・3軸加速度計は、橋桁に対して直線上に5個以上設置し、両端の2つは支点直上に設置する。 ・地覆などコンクリート部に設置する場合には、設置治具をコンクリートアンカーで設置し、3軸加速度計をボルト・ナットで設置治具に固定する。 ・CANケーブルにて、3軸加速度計とデータ収集装置を接続する。 		
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・3軸加速度計: 外形寸法 (長さ 65mm × 幅 60mm × 高さ 30mm)、重量 (128 gf) ・設置治具: 外形寸法 (長さ 120mm × 幅 75mm × 高さ 15mm)、重量 (1020 gf) 		
センシングデバイス	・3軸加速度計 セイコーエプソン社製 M-A552AC1x		
	<p>ステップ1. 橋軸方向の直線L上に3軸加速度計を複数設置し、加速度を計測する。</p> <p>ステップ2. 直線L上の各設置位置 x_i (mm) で計測された重力加速度 A_i (mG) から、傾斜角 θ_i (μrad) を算出する。</p> <p>ステップ3. 各設置位置 $\{x_1, \dots, x_n\}$ の傾斜角 $\{\theta_1, \dots, \theta_n\}$ から、最小二乗法により、任意の位置 x (mm) に対する傾斜角を示す関数、傾斜角関数 $\theta(x)$ (μrad) を、m 次多項式 $a_1 x^m + \dots + a_{m+1}$ として算出する。</p> <p>ステップ4. $\theta(x)$ (μrad) を積分して、位置 x (mm) に対する変位を示す関数、変位関数 $\delta(x)$ (m) を算出し、橋桁の変形形状とする。</p>		

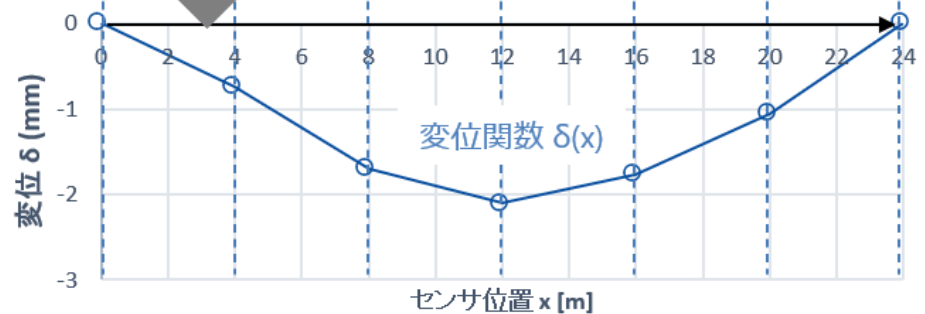
計測原理

ステップ2. 各設置位置の傾斜角 θ_i の算出各地点の重力加速度 A_i から $\theta_i = \text{asin}(A_i/G)$ 

最小二乗法

ステップ3. 傾斜角関数 $\theta(x)$ の算出

積分

ステップ4. 変位関数 $\delta(x)$ の算出

計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)

- ・計測の範囲は連続した構造体であり、不連続な断面を持たないこと。
例えば、単純桁が複数径間にくる場合やゲルバー桁の場合、各桁ごとに計測を行うこと。
- ・設置治具を固定するために、3軸加速度計の設置箇所には、コンクリートアンカーを1か所(深さ 25mm程度)を打つ必要がある。

精度と信頼性に影響を及ぼす要因

- ・3軸加速度計の設置間隔は、4m以下が望ましく、間隔が広がると精度が低下する。
- ・段差の車両通過による衝撃など、高周波の振動による突発的な変形には追従性が低下する。

■自動処理範囲

- ① 3軸加速度計を設置し、計測機器全体の配線を行う。
- ② 3軸加速度計の加速度を連続計測し、ファイルに保存する。(計測原理 ステップ1)

■手動処理範囲

- ③ PC上のソフトウェアで前項のファイルを読み込み、各設置位置で計測された重力加速度から、各設置位置の傾斜角を算出する。
(計測原理 ステップ2)
- ④ 同ソフトウェアにて処理パラメータを設定し、傾斜角から、最小二乗法により、傾斜角関数 $\theta(x)$ を算出する。
(計測原理 ステップ3)
- ⑤ 同ソフトウェアにて傾斜角関数 $\theta(x)$ を積分して変位関数 $\delta(x)$ を算出し、変形形状としてファイル保存およびグラフ表示する。
(計測原理 ステップ4)

【処理フロー】

計測プロセス

<p>アウトプット</p>	<ul style="list-style-type: none"> 算出される変形形状のデータは CSVファイルにて保存される。また、ソフトウェア画面上でグラフとしても確認できる。 変形形状のデータは、加速度の計測頻度と同じ頻度で算出される。 現地計測に要する時間は、設置作業に半日、データ収集に半日(例えば計測時間1時間程度の場合)、機器の撤去に1時間程度を要する。
<p>計測頻度</p>	<ul style="list-style-type: none"> 車両通過時の動的変位であれば、200Hzの加速度計測が必要。 静的変位で、変動が緩やかであれば、1Hzにすることも可能。
<p>耐久性</p>	<ul style="list-style-type: none"> IP67
<p>動力</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーからCANケーブルで給電
<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・給電されていれば連続稼働が可能。
<p>データ収集・通信装置</p>	<p>設置方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測装置にCANケーブルで接続し、橋梁の近くにデータ収集機器とPCを置いて計測する。 <p>外形寸法・重量(分離構造の場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データ収集機器:外形寸法(長さ 152mm × 幅 77mm × 高さ 103mm)、重量(645 gf) ・PC:一般的なノートPCを利用可能 <p>データ収集・記録機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ノートPCのハードディスクに保存 <p>通信規格(データを伝送し保存する場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> - <p>セキュリティ(データを伝送し保存する場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> - <p>動力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーなどの仮設電源が必要 <p>データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーからの給電により連続8時間使用可能

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	<ul style="list-style-type: none"> 動的载荷試験 相対差 0.13mm 相対誤差 5.44% 静的载荷試験 相対差 0.03mm 相対誤差 1.47% 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼橋(供用中橋梁:支間長29.5m) (2021.3.3 計測実施) (計測精度) 支間中央 動的たわみMax=2.37mm において、 誤差$3\sigma=0.16\text{mm}$ (相対差) 動的载荷試験 相対差 0.13mm 相対誤差 5.44% 静的载荷試験 相対差 0.03mm 相対誤差 1.47% 	
		標準試験値	標準試験方法 変位 活荷重たわみ (2020) 実施年 2021年 <ul style="list-style-type: none"> 動的载荷試験 相対差 0.07mm 相対誤差 1.52% 静的载荷試験 相対差 0.25mm 相対誤差 5.83% 	<ul style="list-style-type: none"> 計測精度: 従来の接触式変位計と比較した際の誤差分布に基づき、標準偏差の3倍(3σ)を算出した。 相対差: 試験橋梁にて従来型の接触式変位計と比較した。 鋼橋(試験橋梁:支間長30m) (計測精度) 支間中央 動的たわみMax=4.47mm において、 誤差$3\sigma=0.17\text{mm}$ (相対差) 動的载荷試験 相対差 0.07mm 相対誤差 1.52% 静的载荷試験 相対差 0.25mm 相対誤差 5.83% 	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
標準試験値		-	-		
計測レンジ(計測範囲)		性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	-1 G~+1 G	<ul style="list-style-type: none"> 加速度計としての精度保証範囲 加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70℃ 	
感度	校正方法		-	-	
	検出性能		性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	-15 G~+15 G	<ul style="list-style-type: none"> 加速度計としての動作レンジ(精度保証外) 加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70℃
	検出感度		性能確認シートの有無 ※	2冊-249	
		性能値	0.06 $\mu\text{g/LSB}$	<ul style="list-style-type: none"> 加速度計としての感度 加速度計の性能を確保する温度条件: 	

	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	-30~+70℃
		性能値	・0.5 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ typ.	・加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70℃
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	・24bit	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

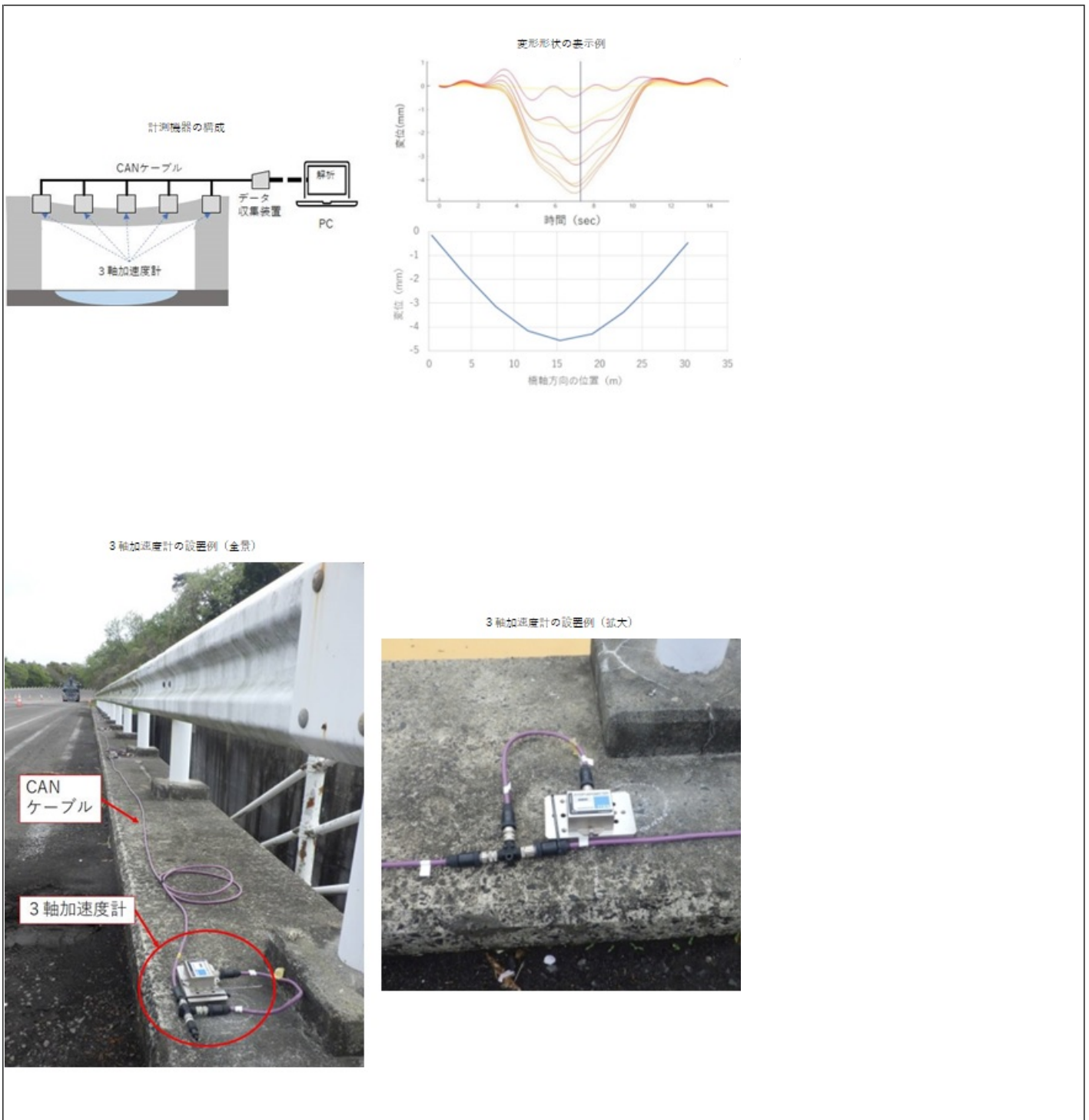
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	・地覆や路側帯、もしくは、箱桁内部やウェブ面に3軸加速度計がおけるスペースがあること。 ・橋梁周辺にデータ収集装置およびPCが置けるスペースがあること。	-
	安全面への配慮	・3軸加速度計およびCANケーブルの養生を確実に実施し、歩行者や通過車両等との接触が無いように注意すること。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	地覆や路側帯に3軸加速度計の設置およびCANケーブルの敷設を実施する際に、歩道等の十分なスペースが無い場合には交通規制が必要。	-
	その他	3軸加速度計の設置に、設置治具を用いる場合、25mm コンクリートアンカーを打設可能か確認する。	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	当社指導のもとで、3軸加速度計の設置およびデータ解析作業を実施した経験があること	-
	必要構成人員数	2人工×2日 1日目: 設置作業 2日目: 午前(8時~12時) 計測作業 午後(13時~17時) 撤去作業	-
	作業ヤード・操作場所	橋梁付近のPCを設置した場所	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 特段の制約なし 橋長 15m 部位・部材 上部構造(橋桁) 検出項目 橋桁変形 設置箇所数 5箇所 計測頻度 毎秒1回 計測期間 4時間 <費用> 980,000 円	・消費税、一般管理費、間接工事費、旅費交通費、諸経費は含まないものとする。 ・設置作業に交通規制不要とする。 ・計測は日中に実施とする。 ・報告書作成は含まず、計測データはCSVファイルにて提供とする。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自動制御無し	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制無し	-
センシングデバイスの点検	長期の連続計測の場合には業務委託の範囲内で実施。	-	
その他	-	-	

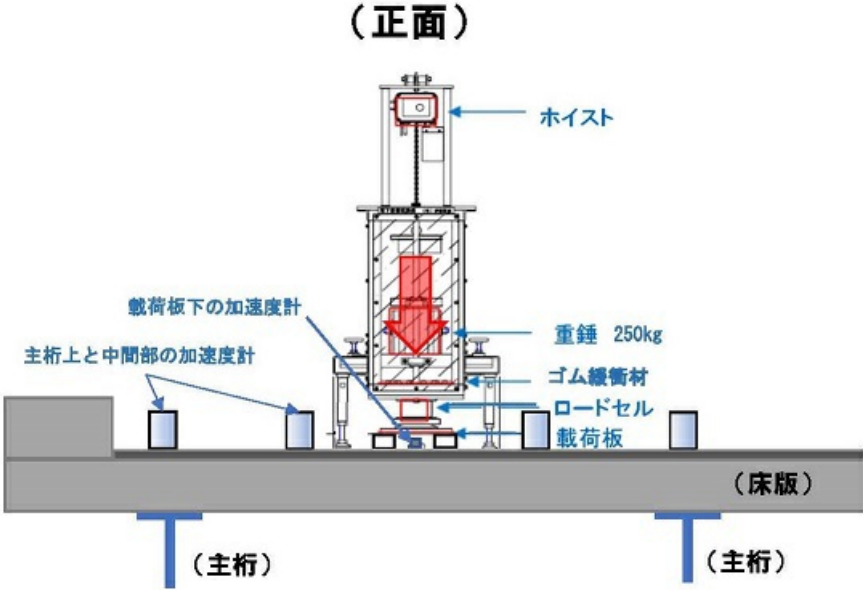
6. 図面



1. 基本事項

技術番号	BR030031-V0223		
技術名	衝撃荷重載荷試験機「SIVE」による床版たわみ計測		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	大日本コンサルタント株式会社 国立大学法人金沢大学		
連絡先等	TEL: 048-615-2224	E-mail:	yokoyama_hiroshi@ne-con.co.jp maki_yuji@ne-con.co.jp 大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 横山広, 牧 祐之
現有台数・基地	1台	基地	国立大学法人金沢大学 理工研究域社会基盤学系構造工学研究室 住所: 石川県金沢市角間町
技術概要	道路橋床版の載荷試験を橋面上から実施する技術で、重錘を落下させて発生する衝撃エネルギーの作用による床版たわみを、橋面上に配置した加速度計から得られる波形を積分処理することで変位換算して取得する。本試験法では、橋梁下側に足場等の設備が不要である。		
技術区分	対象部位	上部構造(床版)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	-
検出原理	加速度		
検出項目	床版たわみ		

2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>【基本構成と概要】</p> <p>計測機器は衝撃加振部(図-1)と計測システム、及び移動装置から構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・衝撃加振部 鋼製の重錘(250kg)による衝撃荷重を作用させるために、重錘をコントロールするマグネットとウインチ、重錘が接触するクッションプレートと衝撃荷重を検出するロードセル、舗装に接する載荷板で構成される。クッションプレートには衝撃吸収型ゴムが固定されており(特許技術)、その効果によって、重錘が落下時にバウンドしないように工夫されている。 ・計測システム 橋面上の載荷板直下と主桁上、及びその中間点(複数可)に加速度センサを配置(図-1)し、カウンター式小型フォークリフトに固定した測定機に接続してパソコンでデータを処理するシステムを構成。 ・移動装置 衝撃加振部本体を任意の計測位置にセットするために、カウンター式小型フォークリフトを使用する。 	
	 <p>図-1 試験状況</p>	

移動装置	機体名称	SIVE (Self-propelled Impact Vibration Equipment)	
	移動原理	【人力】 計測のための移動はカウンター式小型フォークリフトを使用。 任意の位置に移動可能。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	分離構造:(カウンター式小型フォークリフト) 外形寸法(全長2050mm×全高1925mm×全幅:875mm(全方車輪位置が最大))、自重:約890kg(うち、約10kgはウインチとマグネット用の後付けの電源装置重量) ※衝撃加振部は基本構成のカウンター式小型フォークリフトの他にも任意のフォークリフトで移動可能	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	フォークリフトのツメが使える範囲 積載能力:600kg	
	動力	・動力源:電気式 ・電気供給容量:バッテリー ・バッテリー容量:24V50AH/5HR	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	連続計測で6時間程度(0~+50℃) ※移動の他に、重錘用ウインチ、マグネット離脱用電源にも使用。スペアバッテリーを用意して交換すれば連続使用が可能。	
設置方法	移動装置と分離構造 衝撃加振部にはカウンター式小型フォークリフトのツメが差し込める枠を設定しており、それを利用して一体化する。 計測時には、フォークリフトのツメを下ろして無負荷となるためボルト固定等は不要。 ・測定機 東京測器製TMR-211はカウンター式フォークリフトに固定		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	・衝撃加振部:外形寸法(高さ1660mm×幅700mm×奥行き600mm)、重量(約500kg) ・測定機:外形寸法(コントロールユニット+表示ユニット+4Gユニット(高さ100mm×幅200mm×奥行き100mm))、重量(1.9kg)		
センシングデバイス	・単軸加速度センサ 東京測器製 型番:ARF-500A、ARJ-200A ・ロードセル 東京測器製 型番:KCE-500kNA 2-5-255		
		床版上の任意の計測位置に加速度センサを設置し、衝撃荷重を作用させて波形データを取得する。1測点当たり3回程度測定して波形データが安定していることを確認する。取得した波形データは積分処理して変位(床版たわみ)に換算する。	

計測装置	計測原理	市販のロードセルによる荷重検出、加速度計による波形取得であり、特別なキャリブレーションを必要としないが、出庫前の動作確認として矩形鋼板によるテストを実施する。
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測に当たり橋面上の交通規制が必要である。 ・片側交互通行規制で試験を実施する際に、重錘落下時には試験機近傍に通行車両が無いことを確認してデータを取得する。 ・載荷面、加速度センサ接地面に凹凸が無く、載荷並びにデータ取得に問題ない平滑面である必要がある。 ・測定機やパソコンが防水仕様では無いため、降雨・降雪時の計測は避ける。 ・試験機移動は調査対象の範囲内のみであり、トラック等による試験機一式の陸送が必要
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・データサンプリング周波数など基本値は床版構造用として設定済み。 ・データ記録のためのトリガーをロードセルの検出荷重にしているため、大型車通行による振動でトリガーが作動することがある。よって、データが確実に取得できているか、載荷毎に確認する必要がある。
	計測プロセス	<p>①計測位置をマーキングする。 ②加速度センサを載荷位置、主桁上など計測点に配置する。 ③重錘を落下させ加速度の時刻歴を計測する。 ④加速度波形を確認して、積分範囲を設定し2階積分によって、床版たわみ(変位)に換算する。 ⑤床版たわみから主桁たわみを減じて、床版単体のたわみを把握する。各たわみ値は載荷点が最大値を示す時刻で抽出する。(荷重が伝播していく過程で、床版変位最大の時刻と主桁変位最大の時刻にはずれがあるため) 初期データ取得後、たわみ値が過小であるなど必要に応じて重錘落下高さを調整する。 ⑥取得データの整理としてたわみ分布を作成する。</p> <p>(図-2 計測フロー)</p> <p>図-2 計測フロー</p>
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測で取得する加速度の時刻歴は測定機で数値化されてパソコンに取り込まれる。そのデータをエクセルなどで積分処理することで床版たわみの時刻歴を得る。 ・床版たわみまでを試験現場で確認する際には、データ処理に5分程度/1載荷を必要とする。通常は荷重の時刻歴波形を確認することでデータ取得の異常をチェックする。
	計測頻度	・計測位置毎に3回の載荷を実施
	耐久性	-
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリー式であり、移動用のカウンター式小型フォークリフトの電源と共有 ・カウンター式小型フォークリフトの動力源 ・動力源:電気式 ・電気供給容量:バッテリー ・バッテリー容量:24V50AH/5HR
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・カウンター式小型フォークリフトと電源を共有しており、試験機の移動量に影響を受ける。 ・連続計測で6時間程度(冬期を除く) ※移動の他に、重錘用ウインチ、マグネット離脱用電源にも使用。スベアバッテリーを用意して交換すれば連続使用が可能。
	データ収集・通信装置	設置方法
外形寸法・重量(分離構造の場合)		外付け加速度センサ:外形寸法(高さ×125mm×直径79mm)、重量(約1.5kg) (有線で測定機に接続、最大6個使用可能)
データ収集・記録機能		・計測データは、測定機で変換され有線接続されているパソコンに保存
通信規格(データを伝送し保存する場合)		-
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)		-
動力		<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリー式であり、移動用のカウンター式小型フォークリフトの電源と共有 ・カウンター式フォークリフトの動力源 ・動力源:電気式 ・電気供給容量:バッテリー ・バッテリー容量:24V50AH/5HR
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)		-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	<ul style="list-style-type: none"> ・18パネル(54回載荷):3時間3分20秒/載荷 ・カウンター式小型フォークリフトの移動速度 2.9km/h(全負荷) 3.0km/h(無負荷) 	<ul style="list-style-type: none"> ・過去の実績 支間30m旧鉄桁18パネル(54回載荷):3時間1載荷当たり3分20秒 ・カウンター式小型フォークリフトの移動速度 カタログ値:2.9km/h(全負荷)、3.0km/h(無負荷) ・降雨、積雪時には計測しない。
		標準試験値	未検証	-
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	未検証	-
		標準試験値	標準試験方法 変位 床版たわみ(2021) 実施年 2021年 ・計測たわみ値/変位計のたわみ値: 0.88(平均値)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測たわみ値(SIVE)/床版下面からの変位計によるたわみ値=0.88(平均値) SIVEたわみ(平均):0.283mm 変位計たわみ(平均):0.323mm ・降雨、積雪時には計測しない。 ・中央の加速度計はブチルゴムテープで舗装上に接着固定すること。 また、1測点3回実施し、平均値から±10%を超える計測値を除いた平均値を計測値とする
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	未検証	-
		標準試験値	未検証	-
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機:±20,000 μ ε ・加速度計:ARF-500A 500m/s² ARJ-200A 200m/s² ・ロードセル:許容荷重500kN、許容過負荷120% 定格出力 約1.25mV/V±10% 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機:使用時温度環境 0~+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10~+50℃ よって、計測可能温度帯は 0~+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) ・降雨、積雪時には計測しない。
	校正方法	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度計:試験成績書の校正係数使用 具体の校正はメーカー対応 ・ロードセル:試験成績書の校正係数使用 具体の校正はメーカー対応 		計測器メーカー:東京測器
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無
	性能値		<ul style="list-style-type: none"> ・加速度計:応答周波数範囲 500Hz ・ロードセル:固有振動数16kHz 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機のトリガ設定レベルで検出性能が決定される。 トリガ前時間:0.03秒 トリガレベル:-3.8555 μ・mV・℃ ・測定機:使用時温度環境 0~+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10~+50℃ よって、計測可能温度帯は 0~+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) 降雨、積雪時には計測しない。
	感度	性能確認シートの有無 ※	2無-258	
			<ul style="list-style-type: none"> ・加速度計:入出力端子間抵抗 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機:使用時温度環境 0~+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10~+50℃

	検出感度	性能値	ARF-500A 入力/出力:119.8Ω/119.8Ω ARJ-200A 入力/出力:983.2Ω/983.3Ω ・ロードセル:入出力抵抗 350Ω±1%	よって、計測可能温度帯は 0~+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) ・降雨、積雪時には計測しない。	
	S/N比	性能確認シートの有無	※	無	
		性能値	・加速度計:- ・測定機:メーカー非公表	・加速度計:ひずみ式変換器でありS/N比の概念はない。 ・測定機:メーカー非公表	
	分解能	性能確認シートの有無	※	無	
		性能値	・測定機 ±20000×10 ⁻⁶ ひずみレンジ(2×10 ⁻⁶ ひずみ分解能)	・測定機:使用時温度環境 0~+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10~+50℃ よって、計測可能温度帯は 0~+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く)	
			±10000×10 ⁻⁶ ひずみレンジ(1×10 ⁻⁶ ひずみ分解能) ±5000×10 ⁻⁶ ひずみレンジ(1×10 ⁻⁶ ひずみ分解能)	・降雨、積雪時には計測しない。	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	試験機幅700mm以上の幅員が必要	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	重錘落下時には衝撃音が発生するので、それが問題になる場合には注意が必要。 例) 山間部での猛禽類繁殖期など	-
	安全面への配慮	重錘を落下させる際には、落下タイミングを関係者に分かるように発声する。 例) サン、ニ、イチ、ラッカ。等	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	計測は橋面上で実施するため、交通規制が必要 車線規制で実施可能	-
	その他	降雨、降雪時には計測しない。	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	計測に際し必要となる資格は無い。	-
	必要構成人員数	現場責任者1名、測定操作1名、センサ配置2名 合計4名 他に交通誘導員が道路の状況に応じて2名以上が必要	-
	作業ヤード・操作場所	3m×床版支間、床版支間が2.5mであれば7.5m ² 操作場所はパソコンを固定するカウンター式小型フォークリフト周辺	-
	計測費用	橋種〔鋼橋鈹桁〕 橋長 30m級 幅員 8m級 部位・部材〔床版〕 検出項目〔床版たわみ〕 検出箇所数〔18パネル〕 計測頻度〔1パネル5回載荷〕 計測期間〔1日〕※条件によっては前日に載荷位置マーキング (費用)合計3,210,000円(経費を含む) 床版1パネル当たり178,300円	-
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	開発者に計測を依頼するか、試験機器の貸し出しを依頼	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	不具合時は電話対応によるサポートを実施 経験者による計測を推奨	-
	センシングデバイスの点検	試験実施前(出庫前)の矩形鋼板によるテストで動作確認を実施	-
その他	橋面の縦断勾配、横断勾配が3%を超える場合には要相談	-	

6. 図面

計測状況写真



(テントは降雨対策として使用)

1. 基本事項

技術番号	BR030032-V0223		
技術名	振動画像によるケーブル張力計測技術		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 長大 パナソニック コネクト株式会社		
連絡先等	TEL: 082-511-8401	E-mail: arii-k@chodai.co.jp amou.chika@jp.panasonic.com	構造事業本部 技術統括部 有井 賢次
現有台数・基地	1台	基地	広島県広島市
技術概要	デジタルカメラの動画撮影機能を用いて既設斜張橋ケーブルの振動の様子を撮影し、撮影した動画を画像解析することにより変位時刻歴波形を作成し、その時刻歴波形よりFFTを用いて卓越振動数を計算した結果を用いて、算式よりケーブル張力を推計する。 動画画像から変位時刻歴波形を抽出する方法は、デジタル画像相関法を用いる。		
技術区分	対象部位	上部構造(斜張橋)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	-
検出原理	画像(動画)(デジタル画像相関法)		
検出項目	張力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ・本計測機器は高画素のデジタルカメラで撮影した高精細動画から画像処理によって撮影対象の詳細な動的挙動の計測を行うものである。 ・デジタルカメラと録画データ保存用SDカードと解析用アプリケーションがインストールされたPCが主な構成要素であり、現場にてこのPCを使い撮影した画像の良否をチェックしたり、撮影対象の挙動の計測結果を簡易的に確認することも可能である。 ・基本的には撮影した動画はSDカードに記録された状態でオフィスに持ち帰り、発注者の指示に基づき、解析用アプリケーション上で計測したい部位の詳細な挙動計測や周波数分析等を行う。 <p>この際、動画内に写っている限りは何度でも計測しなおすことが原理的に可能なため、発注者が得たい情報を得るために様々な試行錯誤を繰り返して、得られる情報の質を向上させることも可能である。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	【据置】 ・デジタルカメラを三脚に固定する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	寸法:幅138.5mm×高さ98.1mm×奥行87.4mm 重量:935g	
	センシングデバイス	デジタルカメラ Lumix DC-GH5(パナソニック製) デジタルカメラ用レンズ H-FS12060(Lumix G VARIO 12-60mm/F3.5-5.6 ASPH.POWER O.I.S.)	
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> ・計測対象物(ケーブル等)をカメラで撮影し、その動画から解析用アプリケーション上で画像処理により任意の計測対象物の複数箇所の変位量の時系列データを得、これを元に回転量、固有振動数等を演算で算出する。 ・計測対象物の変位量、回転量の実寸値を得るために、撮影した画像に写っているものの実寸法を測量等で計測し、画像処理によって得られた変位量(単位は画素数)を実寸法に換算する。 	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測対象を一定時間、安全に撮影できる場所(カメラ等の機材の設置場所)の確保が必要である。 ・カメラと計測対象間に遮蔽物が存在する場合は撤去が必要である(例えば伸びた雑草、雑木林等)。 ・降雨、降雪など悪天候時のため撮影に影響が生じる場合は計測することが出来ない。 ・計測対象の外観にテキスチャ(模様や汚れ)が全く無い場合は計測することができない。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・変位計測にあたり計測精度向上のため、カメラの露出、画角、フォーカスを適切に設定することに留意する必要がある。 ・同様にカメラが交通振動や風によって振動した場合にも計測精度への悪影響が発生するおそれがあるため、カメラの設置場所、設置方法、撮影時の天候等に留意する必要がある。 ・また大気の揺らぎも計測精度に影響するため、特にカメラと計測対象との間の距離が長くなる場合には留意が必要である。 	
	計測プロセス	<ol style="list-style-type: none"> ①計測対象物(ケーブル等)を撮影できる場所にカメラを設置し(計測対象に対して正対)、カメラの露出、画角、フォーカスを調整する。 ②カメラで動画撮影を実行し、撮影した動画データはSDカードに記録される。 ③記録した動画データをSDカード経由でパソコンに転送し、パソコンにインストールされている解析用アプリケーションを使って計測対象の任意の位置を選択し、変位量の時刻歴データを作成する。 ④変位の時刻歴データから計測対象箇所の回転量、固有振動数等を算定する。 ⑤数式よりケーブル張力を推計する。 	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測される変位量の時刻歴データ、変位量、回転量及び固有振動数等のデータはcsvファイルにて保存される。 ・上記の計測した結果は解析ソフトのグラフィック機能によりグラフ表示したり、撮影した動画に変位をベクトルとして重畳表示したりして、現地で確認することもできる。 <p style="text-align: center;">2-5-264</p>		
計測頻度	3回		

	耐久性	防塵・防滴性能あり(デジタルカメラ)
	動力	作業時間に応じて、バッテリーなどの仮設電源が必要になる場合がある。
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	実撮影可能時間:約60分(モニター時:DC-GH5M付属レンズ12-60mm使用時, MP4(4K/30p/100Mbps AAC)
データ収集・通信装置	設置方法	【据置】 ・解析用アプリケーション搭載PC:PC操作可能な場所に据え置き ・記録メディア(SDカード):デジタルカメラに取付
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・解析用ソフトウェア搭載PC
	データ収集・記録機能	・記録メディア(SDカード)に保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	PCについて、作業時間に応じて、バッテリーなどの仮設電源が必要になる場合がある。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・張力誤差:±5.0%	・加速度計測によるケーブル張力算定結果との比較 レファレンス用加速度計からの張力と当該技術による張力の誤差は、±5.0%	
		標準試験値	標準試験方法 張力 斜材(2021) 実施年 2021年 ・張力誤差:-3.9%~2.2%	・加速度計測によるケーブル張力算定結果との比較 レファレンス用加速度計からの張力と当該技術による張力の誤差は、5回の計測において、-3.9%~2.2% ・張力 参考値:6356.9~6752.0kN 測定値:6500.6kN ・斜材径φ170 ・角度24°	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・計測可能なケーブル振動数:20Hz以下	・ケーブル振動数30Hz以下で、かつ検出感度1/30画素以上の変位を有する振動であること。	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・変位検出率:100%	・撮影した画像からの変位検出率100% ・撮影時に十分な光量が保証され、且つ撮影対象に十分なテクスチャ(模様や汚れ)が存在すれば確実に検出可能。
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・1/30画素	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	・30dB		・1/30画素相当		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・1/30画素	・撮影した画像における1画素相当量の1/30		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	桁下に存在する対象物を計測する場合は、人が進入できる箇所や進入できる空間が必要	-
	周辺条件	・計測対象を一定時間、安全に撮影できる場所の確保が必要 ・カメラと計測対象間に遮蔽物が存在する場合は撤去が必要(例えば伸びた雑草、雑木林等)	-
	安全面への配慮	カメラ、三脚、電源(バッテリー)を公道上に設置せざるを得ない場合は、注意喚起の看板等の設置が必要	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	カメラ、三脚、電源(バッテリー)を公道上に設置せざるを得ない場合は、注意喚起の看板等の設置が必要	-
	その他	・降雨、降雪など悪天候時のため撮影に影響が生じる場合は使用不可 ・計測対象を一定時間、安全に撮影できる場所の確保が必要 ・計測装置の検出感度(1/30~1/100画素)以下の極微小な変位は計測不可 ・現地計測に要する時間は、計測準備に30分、計測・データ確認に30分、機器の撤去に15分程度を要する。	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・デジタルカメラ操作方法の講習をうけている者	-
	必要構成人員数	・2名(撮影者及び記録者)	-
	作業ヤード・操作場所	・デジタルカメラの設置場所	-
	計測費用	ケーブル本数20本を有する斜張橋の場合 ・調査費用(外業):20万円/日/橋 ・調査費用(内業):100万円/5日/橋 ・機械経費:20万円/橋 ・その他の費用:交通費, 宿泊費は別途計上	-
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	-	-

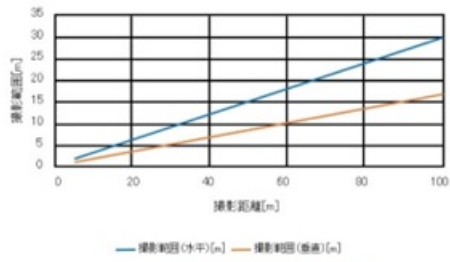
6. 図面

計測状況 (撮影状況)



撮影距離と撮影範囲

撮影距離と撮影範囲 (F40mmレンズ)



※60mmレンズを用いた場合の撮影可能範囲

振動計設置箇所



図-1 撮影画像内の振動計設置箇所

※3箇所

時刻歴波形とFFT変換結果

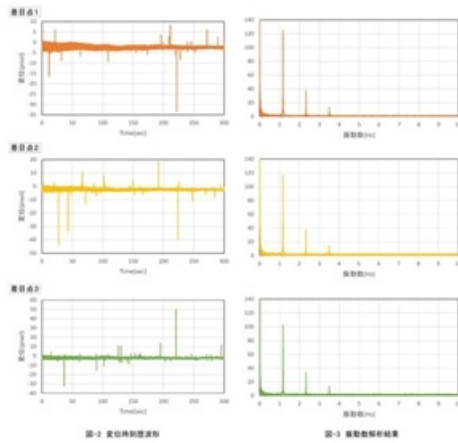


図-2 時刻歴波形

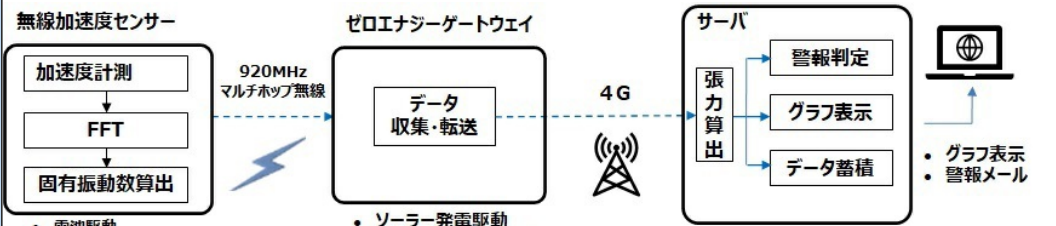
図-3 FFT変換結果

1. 基本事項

技術番号	BR030033-V0223		
技術名	無線加速度センサーによる斜張橋の斜材張力モニタリング		
技術バージョン	Ver.1	作成:	2023年3月
開発者	沖電気工業株式会社		
連絡先等	TEL: 080-2673-5297 048-431-5180	E-mail: hashizume808@oki.com	ソリューションシステム事業本部IoTプラットフォーム事業部スマートコミュニケーションシステム部 橋爪 洋
現有台数・基地	20台	基地	埼玉県蕨市 OKIシステムセンサー
技術概要	斜張橋の重要部材である斜材ケーブルの張力を無線加速度センサーにより、遠隔から常時モニタリングする技術である。斜材ケーブルの異常(破断、腐食、疲労き裂、保護管の腐食・き裂による張力変化)が発生し、張力が基準値を超えて変化した場合には、これを自動検知し、メールで発報できる。斜材ケーブルに設置する無線加速度センサーは、長期間(5年)の電池駆動とマルチホップ無線伝送に対応している。また、4G無線通信でセンサーデータをサーバへ転送するゼロエナジーゲートウェイは、ソーラー発電駆動に対応している。このため、設置時の電源及び通信の配線工事が不要である。		
技術区分	対象部位	上部構造(斜張橋)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	-
検出原理	加速度		
検出項目	固有振動数、張力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>無線加速度センサーは、斜張橋の斜材ケーブルに設置して使用するものであり、計測した加速度から固有振動数を算出し、920MHz帯マルチホップ無線でデータ送信する。920MHz帯マルチホップ無線でゼロエナジーゲートウェイに集約されたデータは、4G無線通信でサーバへ転送する。サーバへはインターネットを経由してブラウザでアクセスでき、日々の張力の変化を監視することができる。また、張力の変化量が基準値を超えた場合には、自動で警報をメール送信できる。</p>  <p>無線加速度センサー</p> <ul style="list-style-type: none"> 電池駆動 加速度・固有振動数を計測可 <p>ゼロエナジーゲートウェイ</p> <ul style="list-style-type: none"> ソーラー発電駆動 センサー20台接続可 <p>データ収集サーバ</p> <ul style="list-style-type: none"> 張力算出 グラフ表示 メール発報
移動装置		<p>機体名称</p> <p>移動原理</p> <p>運動制御機構</p> <ul style="list-style-type: none"> 通信 測位 自律機能 衝突回避機能(飛行型のみ) <p>外形寸法・重量</p> <p>搭載可能容量(分離構造の場合)</p> <p>動力</p> <p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>
設置方法		<p>【無線加速度センサー】 無線加速度センサーは、ステンレスバンドで斜材ケーブルに固定する。なお、ステンレスバンドで斜材ケーブルに傷が付くことを防止するため、天然ゴムシートを巻いておく。</p>  <p>無線加速度センサー</p> <p>天然ゴムシート</p> <p>ステンレスバンド</p>
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<p>【無線加速度センサー】 寸法:(L)140mm×(W)76×(H)60mm、重量:約530g</p>
センシングデバイス		<p>加速度センサー</p>
		<p>斜材ケーブルにかかる加速度を計測し、高速フーリエ変換(FFT)で得られる周波数スペクトルから、低次から高次までの固有振動数を抽出する。斜材ケーブルの張力は固有振動数から算出する。斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数f_iと次数iの関係式(下図)がある。計測した固有振動数とその次数から、最小二乗法で関係式における2つの係数(A, B)を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長L、及び、単位長さあたりの質量ρAは設計値があるため、係数Bから張力Tを算出できる。また、設置直後の張力を初期値とし、張力の変化量を監視する。変化量が基準値を超えた場合、自動検出して、メールで発報する。</p>

計測装置	計測原理	$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^3} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$ <p> 係数A 係数B f_i: 固有振動数 (Hz) i: 次数 T: 張力 (N) EI: 曲げ剛性 (N・m²) L: ケーブル長 (m) ρA: 単位長さあたり質量 (kg/m) </p>
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	斜材ケーブルの常時微動があること。
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	計測値は外部環境(通行量、風速、温度等)に影響を受けるため、平均化処理によるノイズ除去を行うなどの留意が必要である。
計測プロセス	<p>1) 無線加速度センサーは斜材ケーブルの加速度を計測し、FFTと固有振動数抽出を行い、ゼロエナジーゲートウェイに920MHz帯マルチホップ無線でデータを送信する。</p> <p>2) 920MHz帯マルチホップ無線によりゼロエナジーゲートウェイに集約されたデータは、LTE4G無線通信でサーバへ転送する。</p> <p>3) サーバで算出された張力はデータベースに蓄積され、インターネットでサーバに接続したブラウザでグラフ表示できる。</p> <p>4) 設置後の初期値からの張力の変化量が基準値を超過した場合には自動でメール発報される。</p>	 <p>無線加速度センサー</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速度計測 FFT 固有振動数算出 電池駆動 <p>920MHz マルチホップ無線</p> <p>ゼロエナジーゲートウェイ</p> <ul style="list-style-type: none"> データ収集・転送 ソーラー発電駆動 センサー20台接続可 <p>4G</p> <p>サーバ</p> <ul style="list-style-type: none"> 張力算出 警報判定 グラフ表示 データ蓄積 <ul style="list-style-type: none"> グラフ表示 警報メール
アウトプット		計測データはWebブラウザから時系列グラフで参照可能である。 張力変化量がしきい値が超過したとき自動で電子メールが送信可能である。 計測データはCSV形式のファイルでダウンロード可能である。
計測頻度		通常は1日4回(6時間毎) 10分毎から24時間毎まで設定可能である。 計測頻度を多くした場合、電池寿命に影響する。
耐久性		IP65
動力		【無線加速度センサー】 リチウム電池CR17450×2本
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		【無線加速度センサー】 電池寿命5年間
データ収集・通信装置	設置方法	【ゼロエナジーゲートウェイ】 太陽光発電が可能となるように南向きで日当たりが良い場所に設置する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	【ゼロエナジーゲートウェイ】 寸法:(W)230x(D)284x(H)378 mm、重量:約4Kg
	データ収集・記録機能	計測データは4G無線通信でサーバに転送されグラフ表示可能である。 計測データはサーバでデータベースに保存される。また、CSVファイルで保存可能である。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	920MHz帯マルチホップ無線、4G無線通信
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	認証方式:共通鍵を用いた機器認証 暗号化方式:AES128
	動力	【ゼロエナジーゲートウェイ】 太陽光発電、ニッケル水素電池
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	【ゼロエナジーゲートウェイ】 連続不日照9日間

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・張力誤差:±2%以下	・単位長さ重量64.3kg/m、ケーブル長60.5m、角度56° ・単位長さ重量91.6kg/m、ケーブル長204.4m、角度21°	
		標準試験値	標準試験方法 張力 斜材(2021) 実施年 2021年 ・張力誤差:-2.7%~1.7%	・基準値と計測値の誤差 -2.7%~1.7% (-:測定値が大きい、+:測定値が小さい) ・張力 参考値:636.1~657.5(t) 測定値:640.1~652.8(t) ・斜材径φ170、180 ・角度24°	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・加速度:±2G ・周波数:0~62.5Hz	・斜材ケーブルの常時微動により固有振動数を検出可能であること	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・0.01(t)	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・0.01(t)	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・0.01(t)	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	無線加速度センサーからゼロエナジーゲートウェイに直接電波が届かない場合は、無線中継器を設置すること。 ゼロエナジーゲートウェイは日当たり良い南向きに設置すること。	-
	安全面への配慮	各装置は落下防止策を実施する。	-
	無線等使用における混線等対策	設置前に未使用チャンネルを確認の上、設置する。	-
	道路規制条件	高所作業を利用して設置する際は、交通規制が必要になる場合がある。	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1名、補助員1名の計2名	-
	作業ヤード・操作場所	自動計測のため操作不要	-
	計測費用	斜張橋の斜材ケーブル2カ所をモニタリングした場合の計測費用の例 機器費:70万円 年間計測費:100万円	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	常時、自動で計測 常時、しきい値監視により異常時はメールで自動発報	-
	利用形態:リース等の入手性	機器販売 設置及び分析・報告は業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり ・機器故障は SEND/BACK による修理対応 ・その他は有償にて対応	-
	センシングデバイスの点検	有償にて対応	-
その他	【無線加速度センサーの環境条件】 -20~60℃、25~85%RH 結露無きこと 【ゼロエナジーゲートウェイの環境条件】 -20~60℃、10~95%RH	-	

6. 図面

機器設置方法例

機器配置 イメージ

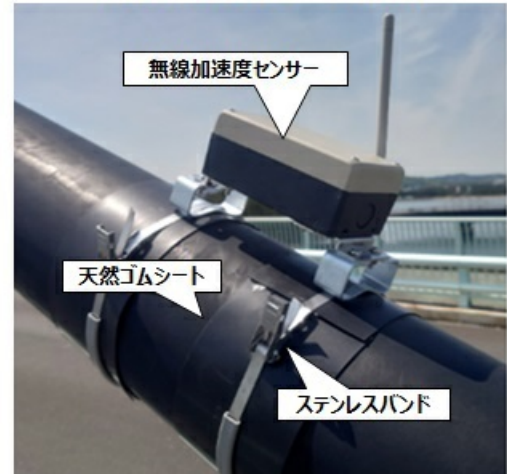


ゼロエナジーゲートウェイ 設置例



- 支柱にバンド固定
- 電源・通信の配線不要

無線加速度センサー 設置例

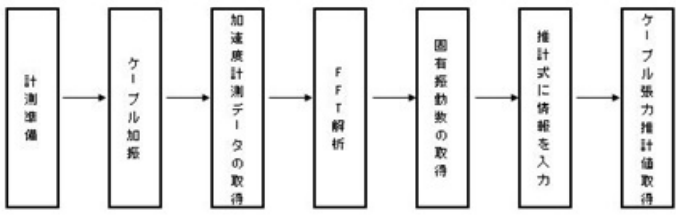




1. 基本事項

技術番号	BR030034-V0223		
技術名	加速度計測によるケーブルの張力計測技術		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	神鋼鋼線工業株式会社 京都大学		
連絡先等	TEL: 06-6223-0674	E-mail: shirahama.shoji@shinko-wire.co.jp	エンジニアリング事業部営業部 白濱昭二
現有台数・基地	1台	基地	兵庫県尼崎市中浜町10-1
技術概要	<p>本技術は、斜張橋の斜材やPC橋の外ケーブルなどのケーブルについて加速度計の計測データをもとに張力を推計するものである。加速度計の計測データを用いてケーブルの複数モードの固有振動数を把握し、ケーブルの既知の情報と共に張力の推計式に入力することで張力の推計値を得る。</p> <p>本技術は、両端が単純に支持されているケーブルのほか、定着部近傍にダンパー等の制振装置付のケーブル、または、ニールセン橋等の交点クランプを有するケーブルにおいても、張力の推計が可能である。</p> <p>[1] 両端支持ケーブルの張力推計技術 両端を支持されたケーブルの張力を推計する技術。一般的な振動法に必要な事前のキャリブレーションを不要とする技術であり、ケーブル張力と曲げ剛性を同時に推計することが可能。</p> <p>[2] 制振装置付ケーブルの張力推計技術 制振装置付のケーブルを対象に、制振装置の取外しを行わずに直接ケーブル張力を推計する技術(ダンパー等の制振装置付ケーブルは[1]では張力の推計が不可、張力の推計には制振装置の取外しが必要)。</p> <p>[3] 交点クランプ付ケーブルの張力推計技術 交点クランプ付のケーブルを対象に、交点クランプの取外しを行わずに直接ケーブル張力を推計する技術(ニールセン橋のケーブルなどの交点クランプ付ケーブルは[1]では張力の推計が不可、張力の推計には交点クランプの取外しが必要)。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(斜張橋)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	加速度		
検出項目	張力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		・本計測技術は、加速度を検出する加速度計および記録計、ケーブルに打撃を与えるための樹脂製ハンマーならびにケーブルの張力の推計に必要なアプリケーションを使用できる端末(パソコン)から構成される(常時微動で張力を推計する際は、樹脂製ハンマーは不要)。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	据置	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
設置方法	・計測対象のケーブルの任意の位置に加速度計を固定(マグネット等を用いる)し、打撃等によりケーブルを振動させ、加速度の計測を行う。 計測対象のケーブルに加速度計の設置位置に、ホースバンド等を巻き付けて固定し、その上に加速度計を設置する。 計測対象が被覆等が無いケーブルであれば、直接、加速度計を設置しても良い。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	加速度計 8mm(Hex)×13.3mm(H) 質量約3g 記録計 約140mm(H)×175mm(W)×45mm(D) 質量約800g(電池含む)		
センシングデバイス	加速度計:リオン製PV-91CH相当		
計測原理	・計測対象のケーブルに加速度計を設置し、打撃等による自由振動または車等の通行による常時微動によって、所定時間の加速度の時刻歴データを計測する。 ・計測した加速度の時刻歴データを用いてFFT解析を行い、計測対象のケーブルの複数の固有振動数を把握する。 ・張力の算出式に、計測で得られた複数の固有振動数、および既知であるケーブルの長さ、単位重量等の諸元を入力することで、算出結果として、ケーブルの張力を得る。		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・加速度計を設置可能な足場等のスペースがあること		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・固有振動数を把握するため、計測対象のケーブルの振動の節となるところに、加速度計を設置することがないように、設置位置を適切に設定する必要がある。ケーブルの定着位置から、ケーブル全長の1/8以下のところに加速度計を設置することが望ましい。 ※たとえばケーブルの3次モードの節となる位置の近傍に加速度計を設置すると、3次モードの固有振動数の把握が困難になる。 ※ただし、特定のモード次数の固有振動数が取得できなくても、張力の推計は可能である。 ・ケーブル長さ、単位重量等は既知の値として入力するため、設計図書等から事前に把握しておく必要がある。		
計測装置	計測プロセス	<p>・計測対象のケーブルに加速度計を設置し、打撃等による振動を与えて、所定時間の加速度の時刻歴データを計測する。 ・計測した加速度の時刻歴データを用いてFFT解析を行い、計測対象のケーブルの複数の固有振動数を把握する。 ・張力の推定式に、計測で得られた複数の固有振動数、および既知であるケーブルの長さ、単位重量等の諸元を入力することで、結果として、ケーブルの張力の推計値を得る。</p>  <p style="text-align: center;">【計測プロセス】</p>	
	アウトプット	・計測される加速度の時刻歴データはwaveファイルにて保存される。 ・保存されたデータを記録メディア(CFカード)を介して、張力算出用の端末に移動する。 ・張力算出用の端末でFFT解析を行い、張力算出に必要な固有振動数が得られているか確認する。 → 必要な固有振動数が得られていれば、計測は終了。 ・現地計測に要する時間は、計測準備に5分、計測に1分、データ確認に1分、機器の撤去に3分程度要する。 ・得られた固有振動数を用いて、張力算出用の端末を用いて、張力の推計を行う。 ・アウトプットされるデータは張力の計測値であり、現地確認用の速報値は、上述のデータ確認後、5分程度要する。	
計測頻度	計測は1ケーブルあたり3回とする。		
耐久性	- 2-5-281		
動力	記録計の電源は乾電池を使用する。		

	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	1ch測定で約8時間(使用環境5℃~40℃)
データ収集・通信装置	設置方法	データ収集:計測装置で取得したデータを、データ分析用の端末に記録メディアを介して移動して、データを収集する。データ分析用の端末は、任意の場所で良い。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	記録メディア(CFカード、SDカード)に保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	-
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	①誤差:±5% ②誤差:±6% ③誤差:±10%	上段①両端支持ケーブルの張力推計技術 $\alpha = \pm 5\%$ 中段②制振装置付ケーブルの張力推計技術 $\alpha = \pm 6\%$ 下段③交点クランプ付ケーブルの張力推計技術 $\alpha = \pm 10\%$	
		標準試験値	標準試験方法 張力 斜材(2021) 実施年 2021年 ・張力誤差:-1.5%~0.8%	・レファレンス用加速度計からの張力と支援技術による張力の誤差は-1.5%~0.8%であった。 ・張力 参考値:6304.7~6388.5kN 測定値:6277.1~6425.6kN	
		性能確認シートの有無 ※	-		
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	計測対象のケーブルに近づくために、高所作業車等を使用する場合は交通規制が必要となる	-
	その他	雨天の場合は、計測機器の故障の原因、安全面を考慮して測定不可能となる。	計測対象のケーブルに加速度計の取付や加振するにあたって、ケーブルに近接できない場合は、足場あるいは高所作業車が必要となる。

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者 1人, 操作 1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	ケーブルに加速度計が設置でき、かつ加振できる事が必要 計測データの確認に必要なスペースは1m×1m程度	-
	計測費用	対 象: 斜材ケーブル 数 量: 30ケーブル 検出項目: ケーブル張力 費 用: 【1】両端支持ケーブルの張力推計技術 790,000円 【2】制振装置付ケーブルの張力推計技術 920,000円 【3】交点クランプ付ケーブルの張力推計技術 1,080,000円 (消費税, 一般管理費, 間接工事費, 旅費交通費, 諸経費は含まず)	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	<ul style="list-style-type: none"> ●斜張橋の斜材等で、制振装置(ダンパー等)が定着部近傍に取り付けられたケーブルを対象に、制振装置を取り外さずに行う張力計測 →【2】制振装置付ケーブルの張力推計技術 ※制振装置が両端の定着部近傍に取り付けられている等、1本のケーブルに制振装置が複数ある場合は適用範囲外。 ●ニールセン橋等で2本のケーブルの交差部に交点クランプが取り付けられたケーブルを対象に、交点クランプを取り外さずに行う張力計測 →【3】交点クランプ付ケーブルの張力推計技術 ※1本のケーブルに2箇所以上の交差部を持ち、それぞれ交点クランプが取り付けられている場合は適用範囲外。 ●ケーブル両端の定着部が単純支持されているケーブル、もしくは制振装置や交点クランプ等を取り外して、一時的に単純支持されているケーブルを対象に行う張力計測 →【1】両端支持ケーブルの張力推計技術 	-

1. 基本事項

技術番号	BR030035-V0223		
技術名	携帯型高精度傾斜測定装置		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社TTES		
連絡先等	TEL: 03-5724-4011	E-mail: info@ttes.co.jp	株式会社TTES 榎 慎吾
現有台数・基地	10台	基地	東京都目黒区
技術概要	<p>本技術は、橋梁基礎の洗掘等によって生じる、橋梁下部構造の微小な傾斜変化を測定することを目的とした技術である。計測装置は、持ち運んで複数の管理対象物を計測することを目的として専用に開発しており、小型軽量である。測定データは、日時、位置情報とともに装置内メモリカードに保存される。さらに、専用アプリケーションをインストールしたスマートフォンを用いることにより、GISでデータ管理が可能なクラウドサービスに測定データを伝送・分類し、データ整理の省力化を実現する。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	㊟洗掘
検出原理	重力加速度		
検出項目	傾斜角(被測定平面上の直交する2方向の傾斜角)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測機器は、計測装置、アタッチメント、ベースプレート、ベースプレート用カバー、キャリブレーション用プレートで構成される。</p> <p>クラウドサービス用に、専用アプリケーションをインストールしたスマートフォンとQRコードプレートを利用する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測装置 一体構造(電源、センサー部、データ処理部)で小型軽量であり、単体で計測操作が可能である。リチウムイオンバッテリー、マイクロSDカードスロットおよびUSB Type-C端子を備え、マイクロSDカードへ測定データを保存し、USB Type-C端子からの充電が可能である。 ・アタッチメント ベースプレート上での計測時の位置合わせのため、計測装置に取り付けて使用する。 ・ベースプレート 計測場所毎に設置する。ベースプレートを、計測装置の位置と向きを決定するガイドとすることで、繰り返し測定精度を確保する。 ・ベースプレート用カバー 測定時以外はベースプレート用カバーを設置しておき、ベースプレートの表面を保護する。 ・キャリブレーション用プレート 計測装置のキャリブレーション(校正)に用いる。キャリブレーション用プレートをぐらつかない安定した場所に置き、キャリブレーション用プレート上に装置を置き、画面表示に従って操作することで、簡易にキャリブレーションを実施できる。 ・スマートフォン 専用アプリケーションをインストールしたもので、測定データをクラウドサービスへアップロードする際に用いる。 ・QRコードプレート 計測位置を登録したQRコードタグで、スマートフォンの専用アプリケーションで読み取ることで、予め登録してある計測位置を読み出すことができる。 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>【人力】</p> <p>小型軽量の計測装置を人力で持ち運び、計測部位に置く。</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>計測装置本体:最大外形寸法(長さ85mm×幅85mm×高さ50mm)、最大重量(700gf)</p> <p>ベースプレート:最大外形寸法(長さ100mm×幅100mm×高さ15mm)、最大重量(200gf)</p> <p>キャリブレーション用プレート:最大外形寸法(長さ100mm×幅100mm×高さ15mm)、最大重量(1200gf)</p>		
センシングデバイス	3軸加速度センサ セイコーエプソン製 M-A352AD10		
計測原理	<p>計測部位に計測装置を置き、3軸加速度センサで重力加速度を計測する。計測した重力加速度から傾斜角を算出する。</p> <p>測定前には、必要に応じて計測装置のキャリブレーションを行う。キャリブレーションは、キャリブレーション用プレート上で、計測装置に組み込まれているキャリブレーション機能によって行う。キャリブレーションの所要時間は1分以内である。</p>		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・ベースプレートを使用する場合、計測場所にベースプレートを固定できる必要がある。 ・測定者が計測装置を持って計測部位に近接でき、計測装置を計測部位に置くことができる必要がある。 ・動的振動はフィルタリングにより除去しているため、常時微動下でも使用可能である。 ・±45度の傾斜の範囲内で計測可能である。 		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・ベースプレートを使用する場合、繰り返し測定精度を確保するため、計測装置本体のガイドをベースプレートに押し当てて設置する必要がある。 ・ベースプレート上に異物があると誤差要因となる。 ・平面精度の低い設置面上では、計測位置が異なると表面の凹凸を計測装置が拾い、誤差要因となる。 ・加速度センサの温度依存性が誤差要因となる(キャリブレーションで補正可能)。 		
	<p>事前準備: 必要に応じ、各計測部位にベースプレートを固定する。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①計測装置を持って計測場所に移動する。 ②計測装置の電源を投入する。 ③必要に応じ、計測装置のキャリブレーションを行う。 ④計測部位に計測装置を置き、傾斜測定を行う。 ⑤画面上に表示される測定結果を確認する。 ⑥スマートフォンでQRコードプレートを読み取り、計測位置を特定する。 ⑦スマートフォンで画面上のQRコードを読み取り、測定データをクラウドサーバにアップロードする。(※クラウドサービス利用時) ⑧次の計測場所へ移動する。 		

計測装置	計測プロセス	<p>⑨計測場所毎に上記①～⑧の操作を行う。</p> <p>【計測フロー】</p> <pre> graph TD subgraph "自動処理" subgraph "計測装置" S[センサー部] S --> AS[加速度信号] AS --> AD[A/D変換 数値化] end subgraph "データ処理部" DC[データ収集 ・フィルタ適用 ・傾斜角へ変換] DC --> HB[画面表示] DC --> RS[記録保存] end end AD --> DC subgraph "手動処理" SMF[スマートフォン] SMF --> DRS[データ読取 ・表示 ・サーバ転送] end subgraph "自動処理" subgraph "クラウドサーバ" CS[記録保存 ・自動分類] end end DRS -- "LTE通信" --> CS CS -- "QRコード読取" --> SMF </pre>
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・傾斜測定値と計測実施日時、位置情報をまとめたデータはCSVファイルにてマイクロSDカードに保存される。また、クラウドサービス利用時は、スマートフォン用アプリを用いることでクラウドサーバにデータが保存され、ブラウザ上で閲覧およびCSV形式で出力することができる。 ・現地計測に要する時間は、計測準備・キャリブレーションに10分、計測に1分、データ確認に1分、機器の撤去に1分程度を要する。
	計測頻度	-
	耐久性	-
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・計測装置内にリチウムイオンバッテリーを内蔵 ・USB Type-C端子から充電可能
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	10時間(外気温:25℃の場合)
データ収集・通信装置	設置方法	<p>データ記録機能は計測装置に内蔵されている。</p> <p>クラウドサービスを利用する場合の通信装置は、専用アプリケーションをインストールしたスマートフォンを使用する。</p>
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	使用するスマートフォンによる。
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・計測装置に挿入した記録メディア(マイクロSDカード)に保存。 ・計測実施後、計測装置の画面に表示されるQRコードをスマートフォンの専用アプリケーションで読み取り、計測データをインターネット経由でクラウドサービスに転送・保存。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	・通信方法 LTE
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	AmazonWebServices準拠
	動力	・電源用仮設備は不要
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	使用するスマートフォンによる。

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・計測誤差(単位:度) 0.005 0.008 0.010	・サイン台、ブロックゲージによる計測精度試験結果 (2021.8.30 計測実施) ①リファレンスデータ取得装置: サイン台 (NG102)、ブロックゲージ(BM3-32-2) ②本装置 ・計測結果(単位:度) 1回目 2回目 3回目 ① 2.866 5.739 8.627 ② 2.871 5.747 8.637 ・計測誤差(単位:度) 0.005 0.008 0.010	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗堀(2020) 実施年 2021年 ・計測誤差(単位:度) 0.04 0.01 -0.01	・福島ロボットテストフィールドにおける計測精度試験結果 ①リファレンスデータ取得装置: デジタル傾斜計 (Pro3600) ②本装置 ・計測結果(単位:度) 1回目 2回目 3回目 ① 8.99 3.03 -6.00 ② 9.03 3.04 -5.99 ・計測誤差(単位:度) 0.04 0.01 -0.01	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	①-1G~+1G ②-45度~+45度	上段①-1G~+1G (加速度計として精度保証範囲) 下段②-45度~+45度 (傾斜角測定範囲) ・加速度計の性能を確保する温度条件:-25~+85℃	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・-5G~+5G	・加速度計としての動作レンジ(精度保証外) ・加速度計の性能を確保する温度条件:-25~+85℃
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	・-5G~+5G 2-5-292		・加速度計としての動作レンジ(精度保証外) ・加速度計の性能を確保する温度条件:-25~+85℃		
	性能確認シートの有無 ※	無			

S/N比	性能値	Max. $2\mu\text{G}/\sqrt{\text{Hz}}$ 加速度計ノイズ密度として (25°C , Avg. 0.5Hz to 6Hz, 水平設置)		・加速度計の性能を確保する温度条件: $-25\sim+85^\circ\text{C}$
	性能確認シートの有無 ※	無		
分解能	性能値	①0.06 μG ②0.01度		上段①0.06 μG (加速度計としての分解能) 下段0.01度 (傾斜角分解能) ・加速度計の性能を確保する温度条件: $-25\sim+85^\circ\text{C}$

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	橋脚、橋台上部等の計測部位に本計測機器を設置できるスペースがあること。 設置物サイズ: 計測装置+アタッチメント:最大外形寸法(長さ115mm×幅105mm×高さ60mm) ベースプレート:最大外形寸法(長さ100mm×幅100mm×高さ15mm) QRコードプレート:最大外形寸法(長さ60mm×幅40mm×高さ1mm)	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	温度条件:0℃~40℃	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	計測装置の取扱説明書を事前に確認	-
	必要構成人員数	計測者:1名	-
	作業ヤード・操作場所	計測部位近傍	-
	計測費用	計測装置利用料(レンタル): 6.5万円/月・台(税抜) (2023.1現在) (計測装置には、アタッチメント、キャリブレーション用プレートを含む) スターキット(販売): 3万円(税抜)(2023.1現在) (スターキット内容: ベースプレート、QRコードプレート 各3個)	・スマートフォンはiPhoneのみ対応(2023.1現在) ・iPhoneはレンタル可。別途レンタル料が発生する。 ・クラウドサービス利用時は、クラウドサービス利用料が別途発生する。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	自動制御無し	-
	利用形態:リース等の入手性	レンタル	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	不具合時は代替品と交換	-
	センシングデバイスの点検	出荷時に点検を行う	-
その他	-	-	

6. 図面

図1 計測装置概要



- 小型(85mmx85mmx50mm)
- 高精度加速度センサ搭載
- Liイオンバッテリー搭載
- USB-Cコネクタにて充電可
- 防水(IPx7相当)
- microSDスロット搭載
- 計測データを簡易にクラウド連携できる、QRコードを利用したインターフェース搭載 (専用スマホアプリ使用)

図2 計測機器構成



図3 使用方法



ベースプレート、
QRコードプレート
を計測場所に固定



計測装置をベース
プレート上に設置



計測を実行



計測結果表示



計測結果をスマホ
で読み取り


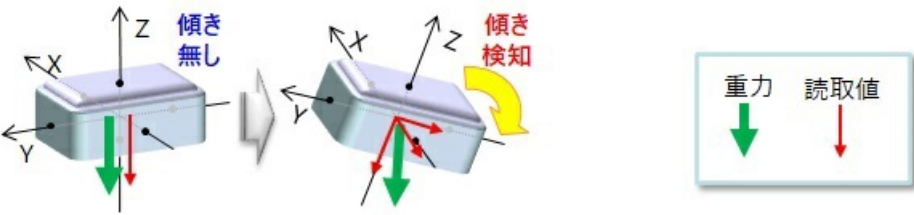


クラウドでデータ
保存、管理

1. 基本事項

技術番号	BR030036-V0223		
技術名	無線加速度センサーによる橋脚の傾斜角モニタリング		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	沖電気工業株式会社		
連絡先等	TEL: 080-2673-5297 048-431-5180	E-mail: hashizume808@oki.com	ソリューションシステム事業本部IoTプラットフォーム事業部スマートコミュニケーションシステム部 橋爪 洋
現有台数・基地	20台	基地	埼玉県蕨市 OKIシステムセンター
技術概要	洗堀による橋脚の傾き等の異常発生を無線加速度センサーにより、遠隔で常時モニタリングする技術である。河床の洗堀等により橋脚基礎の機能低下が発生し、傾斜角が基準値を超えて変化した場合には、これを自動で検知し、メールで発報できる。橋脚に設置する無線加速度センサーは、長期間(5年)の電池駆動とマルチホップ無線伝送に対応している。また、4G無線通信でセンサーデータをサーバへ転送するゼロエネルギーゲートウェイは、ソーラー発電駆動に対応している。このため、設置時の電源及び通信の配線工事が不要である。本システムは、傾斜角の他、橋脚の固有振動数、河川の水位を合わせて計測できる。		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	㊟洗堀
検出原理	加速度		
検出項目	傾斜角、固有振動数		

2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>無線加速度センサーは、橋脚にかかる加速度から橋軸方向及び橋軸直角方向の傾斜角を算出し、920MHz帯マルチホップ無線で送信する。920MHz帯マルチホップ無線でゼロエナジーゲートウェイに集約されたデータは、4G無線通信でサーバへ転送する。サーバにインターネット経由でブラウザでアクセスし、日々の傾斜角の変化を監視することができる。また、傾斜角の変化量が基準値を超えた場合には、自動で警報をメールで送信できる。ゼロエナジーゲートウェイは、通信機能のみの単体型の他、超音波水位計または水圧式水位計を一体化したタイプがある。</p>  <p>無線加速度センサー</p> <ul style="list-style-type: none"> 電池駆動 傾斜・固有振動数を計測可 <p>ゼロエナジーゲートウェイ</p> <ul style="list-style-type: none"> ソーラー発電駆動 センサー20台接続可 水位計一体型有り <p>データ収集サーバ</p> <ul style="list-style-type: none"> グラフ表示 メール発報
移動装置	<p>機体名称</p> <p>移動原理</p> <p>据置</p> <p>運動制御機構</p> <p>通信</p> <p>測位</p> <p>自律機能</p> <p>衝突回避機能(飛行型のみ)</p> <p>外形寸法・重量</p> <p>搭載可能容量(分離構造の場合)</p> <p>動力</p> <p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>
計測装置	<p>設置方法</p> <p>【無線加速度センサー】 エポキシ系接着剤またはボルトで橋脚に固定する。 通信ケーブル、電源の配線は不要。</p> <p>外形寸法・重量(分離構造の場合)</p> <p>【無線加速度センサー】 寸法:(L)140mm×(W)76×(H)60mm、重量:約530g</p> <p>センシングデバイス</p> <p>加速度センサー</p> <p>計測原理</p> <p>【無線加速度センサー】 3軸加速度センサにかかる重力を合成して、橋軸方向及び橋軸直角方向の2方向の傾斜角を算出する。</p>  <p>計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)</p> <p>平らな設置面が確保できること</p> <p>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</p> <p>取り付け時の固定(計測装置の固定に緩みがないこと) 周囲温度(直射日光の当たる位置は避けること)</p> <p>計測プロセス</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 無線加速度センサーは計測した3軸の加速度値から2方向の傾斜角を算出し、ゼロエナジーゲートウェイに920MHz帯マルチホップ無線でデータを送信する。 2) 920MHz帯マルチホップ無線によりゼロエナジーゲートウェイに集約されたデータは、4G無線通信でサーバへ転送する。 3) 計測データはサーバでデータベースに蓄積され、インターネットでサーバに接続したブラウザでグラフ表示できる。 4) 傾斜角の初期値からの変化量が基準値を超過した場合には自動でメール発報できる。

	<p>無線加速度センサー</p> <p>加速度計測 ↓ 傾斜角算出</p> <p>920MHz マルチホップ無線</p> <p>ゼロエナジーゲートウェイ</p> <p>データ 収集・転送</p> <p>4G</p> <p>サーバ</p> <p>警報判定 ↓ グラフ表示 ↓ データ蓄積</p> <p>・ グラフ表示 ・ メール発報</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電池駆動 ・ ソーラー発電駆動 ・ センサー20台接続可
アウトプット	計測データはWebブラウザから時系列グラフで参照可能である。 傾斜角の変化量が基準値を超過した場合には自動で電子メールが送信可能である。 計測データはCSV形式のファイルでダウンロード可能である。
計測頻度	通常は10分間隔。1分毎から24時間毎まで設定可能である。
耐久性	IP65
動力	【無線加速度センサー】 リチウム電池CR17450×2本
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	【無線加速度センサー】 電池寿命5年間
設置方法	【ゼロエナジーゲートウェイ】 太陽光発電が可能となるように南向きで日当たりが良い場所に設置する。 通信ケーブル、電源の配線は不要。
外形寸法・重量(分離構造の場合)	【ゼロエナジーゲートウェイ】 寸法:(W)230x(D)284x(H)378 mm、重量:約4Kg
データ収集・記録機能	計測データは4G無線通信でサーバに転送されグラフ表示可能である。 計測データはサーバでデータベースに保存される。また、CSVファイルで保存可能である。
通信規格(データを伝送し保存する場合)	920MHz帯マルチホップ無線、4G無線通信
セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	認証方式:共通鍵を用いた機器認証 暗号化方式:AES128
動力	【ゼロエナジーゲートウェイ】 太陽光発電、ニッケル水素電池
データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	【ゼロエナジーゲートウェイ】 連続不日照9日間

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗堀(2020) 実施年 2021年 ・誤差: -0.04~+0.06°		・温湿度の影響を含まない 福島ロボットテストフィールドの橋梁における計画結果は確認シートを参照。 ・各条件で3回以上計測し、変動は±0.01°以内。 ・レファレンスとの差異-0.04~+0.06°(手動設置による誤差含む) ①リファレンスデータ取得装置: デジタル傾斜計(Pro3600) ②本装置 ・計測結果(単位:度) 1回目 2回目 3回目 ① -5.04 -7.00 2.99 ② -5.03 -6.96 3.05 ・計測誤差(単位:度) -0.01 -0.04 -0.06
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)		性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	±60°	-
	感度	校正方法		未検証	-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	±0.01°	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	S/N比		性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	分解能		性能確認シートの有無 ※	有	
			性能値	±0.01°	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

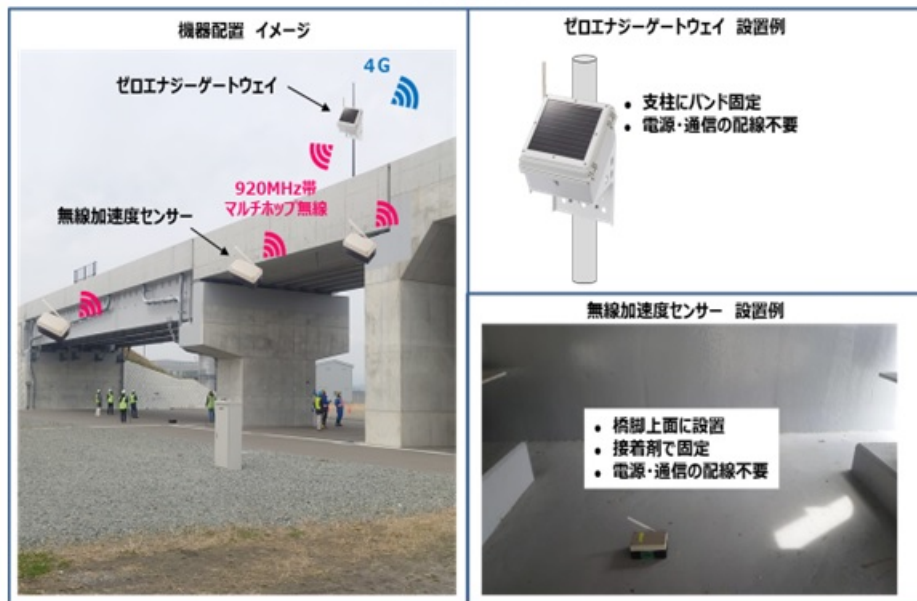
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	無線加速度センサーからゼロエナジーゲートウェイまで直接電波が届かない場合は無線中継機を設置すること。 ゼロエナジーゲートウェイは日当たり良い南向きに設置すること。	-
	安全面への配慮	各装置は落下防止策を実施する。	-
	無線等使用における混線等対策	設置前に未使用チャンネルを確認の上、設置すること。	-
	道路規制条件	高所作業を利用して設置する場合、交通規制が必要になる場合がある。	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1名、補助員1名の計2名	-
	作業ヤード・操作場所	自動計測のため操作は不要	-
	計測費用	橋脚3カ所をモニタリングした場合の計測費用の例 機器費:80万円 年間計測費:100万円	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	常時、自動で計測 常時、しきい値監視により異常時はメールで自動発報	-
	利用形態:リース等の入手性	機器販売 設置及び分析・報告は業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり ・機器故障は SEND/BACK による修理対応 ・その他の保守は有償にて対応	-
	センシングデバイスの点検	・有償にて対応	-
	その他	【無線加速度センサーの環境条件】 -20~60℃、25~85%RH 結露無きこと 【ゼロエナジーゲートウェイの環境条件】 -20~60℃、10~95%RH	-

6. 図面

機器設置方法例



システム構成






1. 基本事項

技術番号	BR030037-V0223		
技術名	スキャニングソナーとレーザースキャナによる橋梁基礎形状計測技術		
技術バージョン	Ver1.0	作成:	2023年3月
開発者	クモノスコーポレーション(株)		
連絡先等	TEL: 072-749-1188	E-mail: yamamoto.nobuyuki@kumonos.co.jp	空間技術部 山本 伸行
現有台数・基地	1台	基地	大阪府箕面市
技術概要	<p>SS(水中部)※1及びLS(地上部)※2は対象物の形状を計測し、3次元座標として形状をデータ化する技術である。SS(水中部)は高周波測深用のソナーヘッドを三脚に装着し、水底に機材を沈めて水中の地形や構造物の形状を計測することで、洗掘状況や構造物の変位や損傷を把握することができる。LS(地上部)は地形や構造物の地上部にレーザーを高速照射し対象物の形状を3次元計測する。SS(水中部)及びLS(地上部)で取得したデータは、それぞれの共通点近傍となる水面付近の形状と水位を基準として、合成することができる</p> <p>※1. スキャニングソナー ※2. レーザースキャナ</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	㊦洗掘
検出原理	超音波/レーザー/画像(静止画)		
検出項目	3次元座標		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測機はSS(水中部)及びLS(地上部)により構成する。</p> <p>SS(水中部):スキャニングソナーを三脚に固定し、水底に設置して別途操作装置にて計測を行う。移動は人力で行い、計測した結果は有線にて別途データ収集装置によって保存される。通信装置はなくデータ収集装置のデータを使用する。</p> <p>LS(地上部):レーザースキャナを三脚に固定し、陸上に設置して計測を行う。移動は人力で行い、計測した結果はLS(地上部)内蔵のデータ記録装置に保存される。</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	<p>【人力】</p> <p>・本計測機器は人が計測装置を運びながら、水中及び地上にて計測を行う。</p>	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	水面から水底への水深・流速に合わせて、人力・補助船外機・ガソリン船外機を選択する。	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	対象物及び損傷が直接計測できる水中及び地上部に三脚を用いて機器を設置する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>・SS(水中部)</p> <p>最大外形寸法(高さ21.5cm×幅13.6cm×奥行25.7cm)</p> <p>重量(3.9kg)</p> <p>・LS(地上部)</p> <p>最大外形寸法(高さ18.3cm×幅23cm×奥行10.3cm)</p> <p>重量(4.2kg)</p> <p>※設置用三脚を除く寸法</p>	
	センシングデバイス	<p>SS(水中部):Teledyne BlueView社製 BV5000</p> <p>LS(地上部):FARO社製 Focus3D S350</p>	
	計測原理	<p>SS(水中部):本体ソナーヘッド部より1.35MHzの音波256本を扇状に発信し、反射した音波を受信して水中にある位置を計測する。</p> <p>計測したデータを専用解析ソフトで解析し、対象物の3次元座標を取得する。</p> <p>傾斜計は内蔵されておらず、鉛直面もしくは水面を計測する。</p> <p>LS(地上部):本体レーザー発射部よりノンプリズムレーザーを発射し、反射したレーザーを受信して地上部の形状位置を計測する。</p> <p>計測したデータを汎用解析ソフトで解析し、対象物の3次元座標を取得する。</p>	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>SS(水中部)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・濁水中での計測可能(濁度90で検証済み) ・計測の水深は50cm以上、流速2m/sec以下 ・計測対象物の最小寸法は5cm以上 ・カメラ機能がないためカラスキャンは不可 ・水平が把握できる箇所を計測 ・気泡がある場合は計測が困難。 <p>LS(地上部)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地面の場合、計測可能 ・対象物がレーザーを反射しにくい素材の場合は、計測不可 ・積雪時・降雨時は使用しない。 ・水中は計測できない。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>SS(水中部)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・音速が環境により変化するため、音速計を用いて数値を実測し、補正に活用する。 ・常時洗掘され続ける環境の場合は計測が難しい。 <p>LS(地上部)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地面に機材が水平に設置できる箇所を選定する。 	
	計測装置	①作業計画・準備を実施する	<p>LS(地上部)及びSS(水中部)</p> <p>①対象物の周囲に移動し、LS(地上部)にて対象物の形状および地上部の変状を計測する。</p> <p>1器械点あたりの現地計測に要する時間は、計測準備に1分、計測に8分、データ確認に1分、器械の撤去に2分程度を要する。</p> <p>②対象物の死角ができないように機材を適宜移動し、対象物全体を計測する。</p> <p>③PCにて計測結果を点群化する。</p> <p>④各器械設置箇所の点群を合成する。2-5-308</p>
		①対象物近傍に移動し、SS(水中部)を水中に設置後計測する。	<p>SS(水中部)</p> <p>①対象物近傍に移動し、SS(水中部)を水中に設置後計測する。</p>

	計測プロセス	<p>1 器械点あたりの現地計測に要する時間は、計測準備に5分、計測に5分、データ確認に5分、器械の撤去に5分程度を要する</p> <p>②対象物の死角ができないように機材を適宜移動し、対象物全体を計測する。</p> <p>③PCにて計測結果を点群化する。</p> <p>④各器械設置箇所(point)の点群を合成する。</p> <p>LS(地上部)及びSS(水中部)</p> <p>①損傷個所の抽出を行い、寸法及び位置を図化する。</p> <p>②調書を作成する。</p> 
	アウトプット	<p>SS(水中部): 計測結果は生データファイル(.son)及び3次元点群ファイル(.xyz)で保存される。</p> <p>LS(地上部): 計測結果は生データファイル(.fls)で保存される。</p>
	計測頻度	<p>SS(水中部)</p> <p>・1時間に3器械点程度</p> <p>LS(地上部)</p> <p>・1時間に5器械点程度</p> <p>※水中環境により変動する</p>
	耐久性	<p>SS(水中部): IP68 耐圧水深1000m</p> <p>LS(地上部): IP55</p>
	動力	<p>SS(水中部): 外部電源 (バッテリーもしくは発電機を使用)</p> <p>LS(地上部): バッテリー</p>
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<p>LS(地上部): 4時間</p>
データ収集・通信装置	設置方法	<p>SS(水中部): PCへの有線接続によるPC内部保存</p> <p>LS(地上部): 本体一体型</p>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<p>SS(水中部): ノートPCサイズ</p>
	データ収集・記録機能	<p>SS(水中部): PC内部保存</p> <p>LS(地上部): 本体メモリーカードに保存</p>
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	<p>SS(水中部): 外部電源 (バッテリーもしくは発電機を使用)</p>
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・計測誤差:0.013m	検証場所:護岸 材質:木材(テストピース) 水深:5m 流速:未計測 濁度:未計測(淡水)	
		標準試験値	標準試験方法 3次元座標 洗堀(2021) 実施年 2021年 ①・計測誤差0.002m ②・計測誤差0.002m ③・計測誤差0.006m ④・計測誤差0.004m	材質:コンクリート 水深:2m 上段①・流速0m/s,濁度0度 計測誤差0.002m 中段②・流速0.1~0.2m/s,濁度0度 計測誤差0.002m 中段③・流速0m/s,濁度60~90度 計測誤差0.006m 下段④・流速0.2~0.3m/s,濁度60~90 計測誤差0.004m	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	①半径:15m ②半径:350m	上段①SS(水中部) 半径:15m 下段②LS(地上部) 半径:350m ・静水、淡水及び海水 ・濁度:泥や小石が舞い上がらないこと ・流速により三脚が移動しないこと ・水深が50cm以上あること ・水中に気泡が発生しないこと ・三脚据え付けに支障のある水中障害物がないこと	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	①1.5cm 2-5-311	①SS(水中部):メーカー値1.5cm	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	SS(水中部): 桁下は人・船舶が進入できる箇所 LS(地上部): 固定された器械設置できる箇所	-
	周辺条件	船舶を使用する場合は護岸に直接立ち入れること。	-
	安全面への配慮	水中据え付け作業が必要な場合は潜水士が実施する。 船上作業については河川管理者の確認が必要	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	SS(水中部) 計測で船舶を使用する場合、波浪等で船舶が安全に航行できない場合は計測不可。 濁度90以上の濁水での計測は検証が必要。 LS(地上部) 仮設足場・船舶からの計測は不可。	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	BV5000及び3DLS操作技量 点群確認・処理能力 弊社技術指導あり	当社の技術指導を受講すること
	必要構成人員数	3名 操作者1名 作業補助1名 地上部計測者1名	水深が深く、水上からの三脚設置が不可能な場合は、潜水士による機材設置作業が必要
	作業ヤード・操作場所	SS(水中部) ・PCが操作できる環境があること ・有線ケーブルが届く範囲 LS(地上部) ・スキナが設置できる箇所があること	SS(水中部) ・現場の範囲が大きく、地上部から有線操作できない場合は、船舶等にPCを設置し機材を操作する。
	計測費用	【橋梁条件】 橋種[コンクリート橋] 橋長100m 全幅員10m 部位・部材[橋脚のみ] 活用範囲[1,000㎡] 検出項目[洗堀] <費用> 調査費用 外業27万円 内業36万円 機械経費 32万円(1日) ※諸経費、旅費交通費等は別途。 ※現場により変動します。	作業量:橋脚3基/日 桁下高10m、 水深3m、 径間長30m、 流速0.5m/sec以下
	保険の有無、保障範囲、費用	任意	-
	自動制御の有無	無	-
	利用形態:リース等の入手性	計測業務 レンタル業務(自社対応) 販売業務	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	弊社から販売・レンタルの場合はサポートあり(別途有償)	-
	センシングデバイスの点検	SS(水中部):校正点検 LS(地上部):校正点検	-
	その他	-	-

6. 図面

SS (水中部) 機材



LS (地上部) 機材



LS (地上部) 計測状況



SS (水中部) 計測状況 (水深 1m未満)



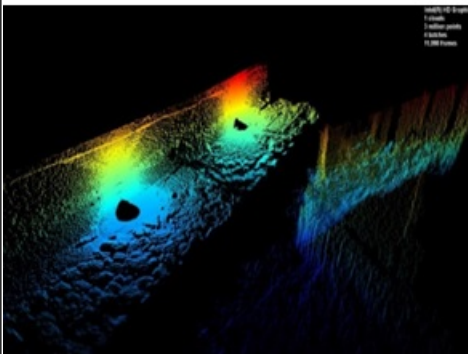
SS (水中部) 計測状況 (水深 1m 未満)



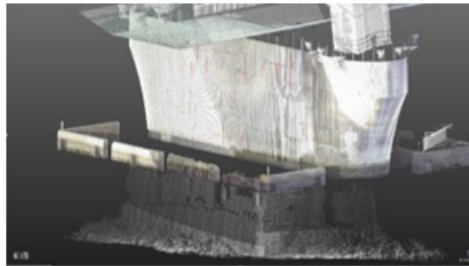
SS (水中部) 積載状況 (船舶)



SS (水中部) 水中計測結果



SS (水中部) 及びLS (地上部) データ統合



1. 基本事項

技術番号	BR030038-V0223		
技術名	3Dデータを活用した構造物の状態把握(洗掘)		
技術バージョン	バージョン1	作成:	2023年3月
開発者	アイセイ株式会社		
連絡先等	TEL: 03-6806-7281	E-mail: seki-k@eyesay.co.jp	技術開発部 関和彦
現有台数・基地	2台	基地	東京都荒川区
技術概要	地上型レーザスキャナにより構造物の3次元計測を行い、座標値で形状を復元する。 基準データとして既存の3次元設計データや設計図面を使用し、比較を行うことで変化した箇所や変化量を算出する技術。橋梁下部工の傾斜等構造物の全体的な変化を捉えることが可能。注視する箇所の特定や経時的なモニタリングとしての活用が可能である。		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	②洗掘
検出原理	レーザー		
検出項目	3次元座標		

2. 基本諸元

計測機器の構成		計測装置本体を三脚に据え付けることで地上に据え置きし、3次元計測を行うものである。また、計測したデータは計測装置本体内蔵メディア(SDカード)内に保存される。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	【人力】 本計測機器は、計測装置本体を三脚を用いて地上に据え置き3次元計測を行うものである。 対象構造物の大きさや計測環境による死角が生じ1箇所からの計測のみでは形状を捉える事が困難な場合は必要に応じて、複数箇所から計測する必要がある。複数箇所から計測する際の移動は、人力により三脚ごと移動して、再度設置する。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	計測装置本体:最大外形寸法(長さ230mm×幅183mm×高さ103mm) 最大重量(4.2kg(バッテリーを含む)) 三脚装着時:三脚高さを1700mmに設定(通常時)し、その上に計測装置本体を装着 ※設置時の三脚の占有平面範囲:1500×1500[mm]程度	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	内蔵バッテリーを使用した場合の計測装置の連続稼働時間: 4.5時間(外気温5~40℃)		
計測装置	設置方法	本計測機器は、計測装置本体を三脚上部の雲台に装着(直付けネジロック方式)し、三脚取付地上に据え付ける。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置本体:最大外形寸法(長さ230mm×幅183mm×高さ103mm) 最大重量(4.2kg(バッテリーを含む))	
	センシングデバイス	・地上型レーザスキャナ FARO社製 FocusS350 光学式トランスミッター	
	計測原理	橋脚近くの地上に地上型レーザスキャナを据え置き、計測対象構造物にレーザを照射し、その反射状況から物体の写像を高精度3次元データとして計測し、3次元座標を取得する。計測する際には、計測機本体に内蔵するGPS、コンパス、ハイトセンサ、2軸補正センサを用いて計測精度を確保している。また、同じく内蔵するHDR(High Dynamic Range)写真オーバーレイ機能を用いて鮮明なカラーデータも同時に取得している。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	計測対象構造物に対して、計測精度を確保可能な距離(後述)にまで近接する必要がある。 また、計測条件(構造物の特徴点を撮影可能であること)に合致し、三脚の置時の最大占有平面範囲と作業員1名の動作範囲を確保可能なスペースを複数箇所(構造物の形状による)確保する必要がある。	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	計測精度に影響するため、雨天・降雪時には計測不可(計測装置本体は防水性能を装備)。 スキャナが正常に稼働するためには、測定装置の内部温度を15℃以上とする必要あり(計測装置本体は標準で5~40℃まで動作可能)。また、余りの低温環境下においては、内蔵バッテリーの駆動時間に影響を及ぼす可能性あり。 対象物に強磁性がある場合は、地球磁場に影響を与え、測定精度が低下する恐れがあり。	
	計測プロセス	準備:計測距離により取得データの精度が異なる為、計測機器の設置箇所が特に重要となる。 対象構造物から精度が十分担保できる適切な距離と対象構造物が複雑な形状などの場合、データが網羅できるように計測機器の適切な設置位置と設置数を見極める。	
		①計測:対象構造物に対してレーザを放射状に照射して表面形状を計測し、3次元座標データと色情報のRGB、反射強度を取得する。夜間作業でも反射強度を取得する事で実施が可能となる。 ②合成:対象構造物が大きい事や形状が複雑で複数箇所から計測が必要な場合は、3次元座標データを一つの座標系に合成する。1箇所からの計測で対象を網羅できる場合は合成は行わない。 ③フィルタリング:実施内容や用途に応じて、必要箇所のデータを残して、不要な箇所データは取り除く処理を行う。また、その他、対象構造物以外の人や物がデータに含まれ後作業の妨げになるデータはノイズとして捉え除去を行う。 ④リファレンスモデル作成:差分解析を行う為、計測データに対してリファレンスとなるデータが必要となる。対象構造物の設計図面や他の時期に計測したデータ等を用いて、リファレンスモデル(参照値)の作成を行う。 ⑤差分解析:リファレンスモデルと計測機器で取得した3次元座標データを重畳し、橋脚の鉛直度を確認し、洗掘の疑いの有無を判定する。 ⑥ヒートマップ作成:差分解析した結果を、可視化する為に諧調ごとに色分けをしてヒートマップを作成する。ヒートマップを用いて、洗掘箇所を可視化する。	
		【アウトプットを得るまでに要する時間(目安)】 ・現地計測に要する時間は、計測準備に10分(計測装置起動時間込み)、計測に7分@計測箇所(ただし、対象構造物の大きさや形状によって変化)、計測箇所間の移動に5分(計測機器の再設置時間含む)、機器の撤去に5分程度を要する(機器撤去後の機材の車両積込時間等含まず)。 ・総計測時間は、計測対象構造物の大きさや形状によって大きく変動する。 ・計測後の、差分解析に要する時間は、構造対象物一つにつき、およそ2営業日を見込む。ただし、顧客の用途や計測対象構造物の大きさ・形状によって大きく変動する。	

<p>アウトプット</p>	<ul style="list-style-type: none"> 計測データ(計測対象箇所からの距離や撮影時の位置情報、他)は、計測装置内蔵メディア(SDカード)内にオリジナル形式FLS形式で保存される。保存されたFLSデータを専用の処理ソフトに取り込み3次元座標が生成される。生成した3次元座標の保存形式は、一般的に汎用性の高いLAS形式やascii形式等で保存される。 生成した3次元座標を差分解析ソフトに取り込み解析する事でヒートマップに可視化が可能となる。
<p>計測頻度</p>	<ul style="list-style-type: none"> 洗掘や変化を捉える場合は、業務受託時の1回の計測を実施する。 経時的なモニタリングを行う際は、計測機器を据え置くのではなく、現地に不動点を設置する事で都度計測を行い、基準データや前回計測データとの比較を行うため、特に性能保証期間を定めない。
<p>耐久性</p>	<p>IP54規格に準拠した防塵・防水性能を装備</p>
<p>動力</p>	<ul style="list-style-type: none"> 内蔵バッテリー(14.4V)により動作 外部供給(19V)も可能(AC電源ケーブル接続)
<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>	<p>内蔵バッテリーを使用した場合の計測装置の連続稼働時間:4.5時間(外気温5~40℃)</p>
<p>データ収集・通信装置</p>	<p>設置方法 -</p> <p>外形寸法・重量(分離構造の場合) -</p> <p>データ収集・記録機能 -</p> <p>通信規格(データを伝送し保存する場合) -</p> <p>セキュリティ(データを伝送し保存する場合) -</p> <p>動力 -</p> <p>データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合) -</p>

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・誤差:±1.0mm	約10mおよび25mでの系統的測定誤差 ※計測機器メーカーであるFARO社製の提供スペックによる	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗堀(2020) 実施年 2021年 ・誤差:-0.18°~+0.17°	①リファレンスデータ取得装置: デジタル傾斜計(Pro3600) ②本装置 ・計測結果(単位:度) 1回目 2回目 3回目 ① 3.48 5.32 -7.92 ② 3.31 5.50 -7.99 ・計測誤差(単位:度) 0.17 -0.18 0.07	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・0.6m - 350m	・90%の反射率を持つ面(白)に対して垂直入射した場合、ランバート反射モデル使用 ※計測機器メーカーであるFARO社製の提供スペックによる	
	感度	校正方法	・国際度量衡委員会(CIPM)相互承認協定の参加国であるNISTまたは別の認定された計量標準総合センターによって国際単位系(SI)に基づき校正を実施		・計測器メーカーであるFARO社のISO認定のFAROサービスセンターにおいて、標準化されたデバイス校正サービスを使用した場合
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	未検証	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・45040点/0.1㎡	1)計測対象構造物から3.0m離れた距離に計測機器を設置し、計測パラメータ:1/1×1の条件で計測 2)計測結果を、解析ソフト「Trimble RealWorks」を用いて解析して感度を算出
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・点間距離:0.4mm	・計測対象構造物から3.0m離れた距離に計測機器を設置し、計測パラメータ:1/1×1の条件で計測 ・計測結果を、解析ソフトを用いて解析して算出	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	桁下高1.0m以上 (作業者が進入し、計測機器を設置できる箇所)	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	人や車の往来が頻繁であるならば、計測中は注意喚起の看板の設置	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	原則、地上部による計測。 工事足場など不安定で振動が起きやすい場所の計測不可。 気温5℃以下は計測不可(主に内蔵バッテリーの性能が劣化するため)。 降雨・降雪時は、計測不可。 風速が10m/s以上は、計測不可。	-

5. 留意事項(その2)

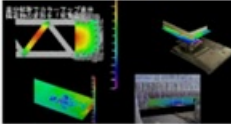
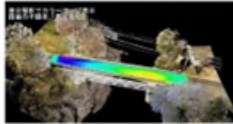
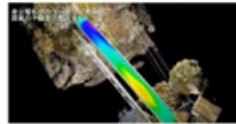
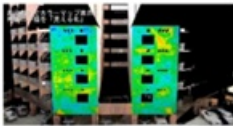
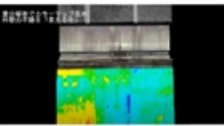
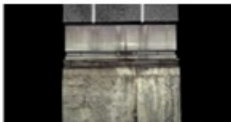
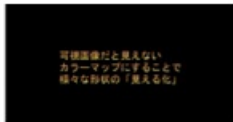
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・特別な資格保有、講習会への参加、研修の履修等の条件なし ・計測装置の操作方法および計測機器(計測装置と三脚)の設置箇所の判定のための知識が必要	-
	必要構成人員数	・責任者:1名 ・作業員:1名	-
	作業ヤード・操作場所	計測機器設置場所	計測の妨げになる計測機器と対象構造物の間に入らない
	計測費用	【見積前提条件】 橋種 [河川橋梁] T型橋脚1基 検出項目 [橋脚1基の洗掘] 設置箇所数 [4カ所] 【概算費用】(外内業含む) [直接人件費]+[安全費]+[一般管理費] = 計 :480,000円 ◆計測対象箇所: 60.0㎡ ◆単価: ¥4,000/㎡ ~	費用は計測環境及び計測構造物の構造(橋種など)により変わる。 同じく、計測を要する面の数、計測対象面積、計測箇所などにより変わる。 ※業務の内訳は以下の通り 外業:現地調査業務 内業:計画、諸準備、成果品作成(差分解析含む)
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	計測機器メーカーによる保守点検サポートあり	-
	センシングデバイスの点検	計測機器メーカーであるFARO社のISO認定のFAROサービスセンターにおいて、標準化されたデバイス校正サービスを受けることが可能	-
その他	-	-	

[動画URL]地上型レーザースキャナ計測デモ



<https://www.youtube.com/watch?v=9k6RUA28P-g>

[動画URL]差分解析「色の世界」



https://www.youtube.com/watch?v=FLZ7SLMR5qM&list=P1JQY-UbC-w1JWaTZKq17RbcD_vS8CGWuE&index=6

1. 基本事項

技術番号	BR030039-V0123		
技術名	変位計と熱電対を用いた桁遊間計測システム		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 構研エンジニアリング / 北見工業大学		
連絡先等	TEL: 011-780-2816	E-mail:	t.takehara@koken-e.co.jp 橋梁部・竹原智久
現有台数・基地	4基	基地	北海道札幌市 株式会社 構研エンジニアリング
技術概要	<p>本技術は、主桁に配置した変位計と熱電対から温度変化による遊間量を経時測定する技術である。</p> <p>この遊間の計測による変化量の履歴(経時測定データ)と桁の温度変化による理論伸縮量を比較検討することで、支承の機能不全や伸縮装置の接触などの異常箇所の検出や下部工の変状(側方移動など)の進行が確認できる可能性を有する技術である。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 下部構造(橋台)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑬遊間の異常
		共通	⑳変形・欠損 ㉑沈下・移動・傾斜
検出原理	変位置量		
検出項目	2点間の変位置量(伸縮量)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ・直線変位計 ・熱電対【温度計】(桁取付治具) ・通信機器(データロガー,bluetooth) ・電源(バッテリー) 桁遊間に変位計, 桁に熱電対を設置し, そのデータをロガーで記録しbluetoothにより発信する。 データは, 数か月に1回程度, 通信機器周辺でbluetoothにより収集(橋面から収集可能) ※電源は, ソーラー発電または商用電源に変更可能 ※通信は, LTEやLPWAによる通信に変更可能	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	【変位計】 <ul style="list-style-type: none"> ・変位計は, 両端を桁端部と胸壁に固定する。 ・桁端部は, 鉛直補剛材等にはめ込むジグにより固定する。 ・胸壁部は, 打込みアンカー等による固定する。 ・変位計は, 1主桁を基本とし桁の上段と下段に設置する。 ・両橋台への設置を推奨する。 【温度計】 <ul style="list-style-type: none"> ・温度計(熱電対)は, 直射日光の影響を受けない桁間の設置を推奨する。 	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・変位計:最大外形寸法(長さ136mm×φ22.2mm)、最大重量(120gf) ・データロガー:最大外形寸法(長さ38mm×幅85mm×高さ75mm)、最大重量(126gf) ・バッテリー:最大外形寸法(長さ166mm×幅126mm×高さ176mm)、最大重量(10.5kgf) 	
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ・変位計 緑測器社製 LP-50FJS ・熱電対 東京測器研究所社製 T型熱電対 ・データロガー 日置電機社製 LR8515 ・バッテリー 電菱社製 JC30-12 	
	計測原理	正常な橋梁は桁の線膨張により, 温度変化で伸縮する。しかし, 支承や伸縮装置, 橋台(胸壁)に接触すると, 温度変化による伸縮が阻害される。この桁の温度変化による理論伸縮量と計測された遊間量の履歴を比較することで, 接触の有無を計測することができる。また, 桁の上下の変位量の履歴も比較することで, 時系列での傾斜有無が計測でき, 接触箇所の推定が可能である。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	【環境条件】 <ul style="list-style-type: none"> ・外気温 -30℃~50℃の範囲であること 【その他】 <ul style="list-style-type: none"> ・一定期間の計測が必要(低温時を包括する時期の設置を推奨) 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	変位計の固定条件(確実に固定されていない場合, 精度と信頼性に影響を及ぼす)	
	計測プロセス	①桁遊間に設置した変位計の出力電圧と温度を設定頻度で計測する。 変位量は乗法により求める(出力電圧に感度係数を掛ける)。 ②変位量, 温度及び計測日時をデータロガーのメモリに保存する。一定期間計測する。 ③現地でタブレット(PC可)にインストールした計測制御通信ソフトでbluetoothを経由し変位量と温度をダウンロードする。頻度は計測計画による。 ④変位量から初期値(変位計設置時の計測値)を引いて当該計測日時の変位量を求める。 【処理フロー図】	
アウトプット	・計測される変位量と温度の時刻歴のデータはcsvファイルにて保存される。		

	計測頻度	計測頻度は任意で設定可能
	耐久性	・IP65
	動力	バッテリーなどの仮設電源が必要
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	90日(平均外気温:3.5℃, 30分に1回計測, 毎日3時間bluetoothで発信の場合)
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> 【通信機器】 ・計測部より有線で通信機器に接続 ・通信機器の養生を行い橋座等に設置 ・bluetoothでデータを発信 ・近傍(橋面等)でデータを収集
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・通信装置:最大外形寸法(長さ38mm×幅85mm×高さ75mm)、最大重量(126gf)
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・計測機器より有線で通信機器(ロガー機能あり)に接続し, データ収集・保存 ・通信装置から計測したデータをbluetooth経由で受信側PC等に伝送しハードディスクに保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・通信機器 日置電機社製 LR8515型番 Bluetooth 2.1+EDR
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・ペアリング:P-256楕円曲線 ・認証方式 :HMAC-SHA256およびAES-CTR ・暗号化方式:AES-CCM暗号化 ・SSP :楕円曲線Diffie-Hellman鍵共有(ECDHE)SSP
	動力	・バッテリーなどの仮設電源が必要
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	90日(平均外気温:3.5℃, 30分に1回計測, 毎日3時間bluetoothで発信の場合)

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・単独直進性±0.3%~±0.5% (精密級±0.1%~±0.2%)	・有効ストローク50mm :単独直進性±0.5%(精密級±0.2%) ・有効ストローク100~300mm :単独直進性±0.3%(精密級±0.1%)	
		標準試験値	標準試験方法 遊間の異常(2020) 実施年 2022年 ・相対差:0.0823mm	・真値:0.011~0.453mm ・測定値:0.051~0.606mm-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	・50mm~300mm	変位計タイプ6種類 有効ストローク 50mm, 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm 橋梁規模に応じ変位計タイプを選定する ・直流電圧測定範囲0~5V、測定分解能1mV以下のデータロガーを使用する。	
	感度	校正方法	レーザー測長器(標準器)を使った基準点校正		メーカーの校正室で実施する
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	・検出率100%	直流電圧測定分解能1mV以下のデータロガーを使用する。
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	・0.01mm/1mV	感度 0.01mm/1mV 直流電圧測定分解能1mV以下のデータロガーを使用する。
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	-			
	性能値	0.01mm	0.01mm 直流電圧測定分解能1mV以下のデータロガーを使用する。		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

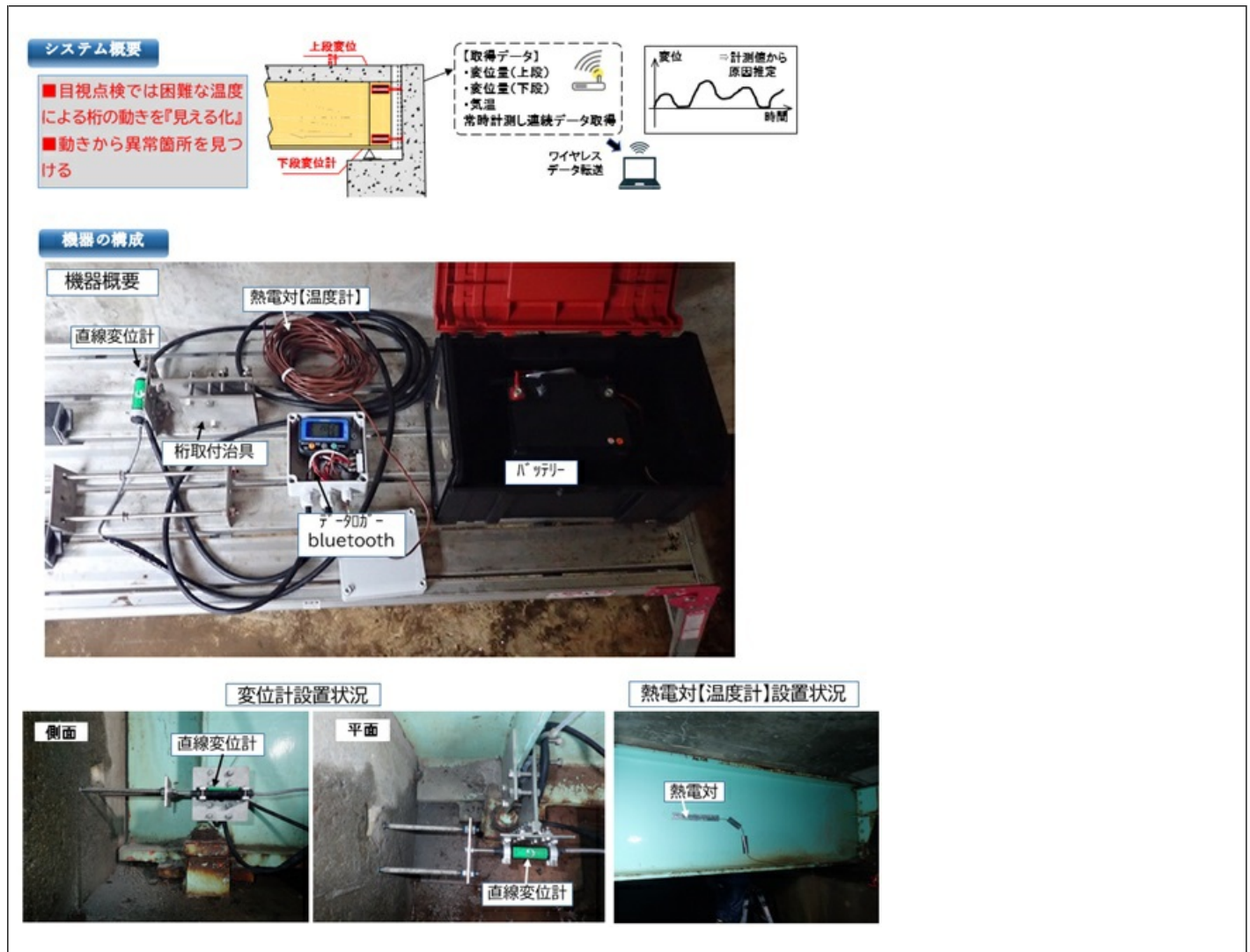
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	機器の設置スペースを確保する必要がある	-
	周辺条件	機器が雨雪の影響を受ける場合は、必要に応じ養生を実施する必要がある。	-
	安全面への配慮	第三者被害がある橋梁においては、機器の落下防止対策を講じる必要がある	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・機器設置後に動作確認(桁の温度変化や車両载荷等により変位計の動作を確認)を行うのがよい ・データは、数か月に1回程度収集するのがよい ・計測が長期となる場合は、3ヵ月1回程度でバッテリーを交換を行う必要がある 	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、作業員1人、補助員1人 合計3名	-
	作業ヤード・操作場所	桁下に作業ヤードが必要 作業ヤード範囲: 1m2程度	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 鋼橋(単純H鋼桁) 橋長 14.6m 全幅員 12.5m 計測箇所 [両橋台の1主桁上下遊間,桁温度] 計測期間 [3ヵ月] 計測項目 [変位量と桁温度] 〈費用〉合計 80万円 ただし,消費税,一般管理費,間接工事費,旅費交通費,足場設置費,診断費用,諸経費は含まないものとする。	-
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	-	-

6. 図面

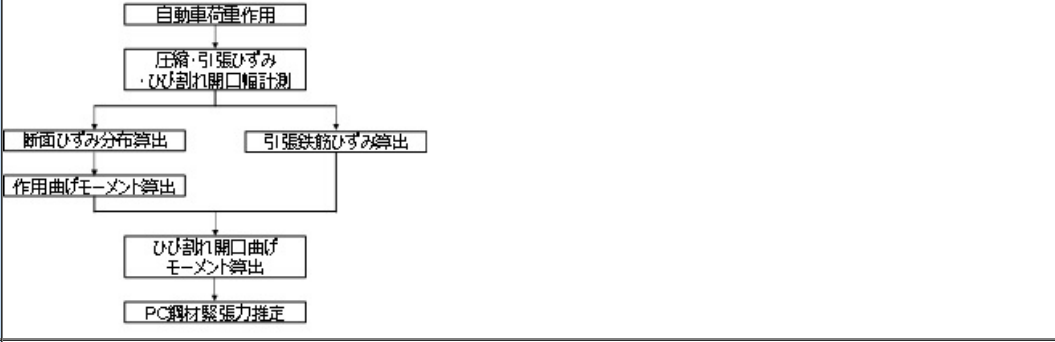


1. 基本事項

技術番号	BR030040-V0123		
技術名	表面ひずみ法によるPC桁の現有PC鋼材緊張力の推定技術		
技術バージョン	—	作成:	2023年3月
開発者	東電設計(株) / 東京理科大学 / (株)高速道路総合技術研究所 / 飛鳥建設(株)		
連絡先等	TEL: 03-6372-5178	E-mail: kenji-kobayashi@tepsco.co.jp	東電設計(株) 耐震技術部 小林 賢司
現有台数・基地	(a)ひずみゲージ・ π 型変位計:2セット (b)FBG式光ファイバセンサ・ひずみゲージ:1セット	基地	—
技術概要	<p>・本技術は、プレストレストコンクリート道路橋の橋軸直角方向のひびわれが生じた主桁を対象として、自動車走行時の主桁表面の圧縮側と引張側のひずみ、およびひびわれ開口幅を計測して、PC鋼材の緊張力を推定する非破壊調査手法である。T型あるいはI型断面のポストテンション方式を対象とする。</p> <p>表面ひずみ等の計測方法は、下記の(a)もしくは(b)のいずれかとする。</p> <p>(a)主桁の圧縮側と引張側のひずみゲージ(長さ90mm)2枚と、引張側のπ型変位計(評点距離50mm)1台</p> <p>(b)主桁の圧縮側と引張側のFBG式光ファイバセンサ(評点距離700~1000mm)2本と、引張側のひずみゲージ(長さ90mm)1枚</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	-
検出原理	ひずみ		
検出項目	緊張力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		(a)主桁の圧縮側と引張側のひずみゲージ(90mm)と、引張側ひびわれ部の π 型変位計のそれぞれを有線でブリッジボックスと動ひずみアンプを介して現地のパソコンに接続する。 (b)主桁の圧縮側と引張側のFBG式光ファイバセンサ(1000mm)をFBG測定器を介して、また引張側のひずみゲージ(90mm)をブリッジボックスと動ひずみアンプを介して、それぞれ現地のパソコンに接続する。	
移動装置	機体名称	—	
	移動原理	【据置型】 ・本計測機器は主桁に固定して計測を行うものであり、自動車の自然走行、あるいは、荷重が既知の試験車の走行ときに動的な計測を行うものである。	
	運動制御機構	通信	—
		測位	—
		自律機能	—
		衝突回避機能(飛行型のみ)	—
	外形寸法・重量	—	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—	
	動力	—	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—		
計測装置	設置方法	・ひずみゲージは、コンクリート表面に接着剤により取り付ける。 ・ π 型変位計は、コンクリート表面に接着剤で取り付けた取付コマに、ねじで設置する。 ・FBG式光ファイバセンサは、コンクリート表面に接着剤、もしくはアンカーで取り付けた治具で設置する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置: ・動ひずみアンプ:約428(W)×148(H)×320(D)mm ・ブリッジボックス: 65(W)×40(H)×110(D)mm(2台) ・FBG測定器:240×120×97mm	
	センシングデバイス	・ひずみゲージ(ゲージ長90mm) 単軸 ・ π 型変位計(評点距離50mm) ・FBG式光ファイバセンサ(評点距離700~1000mm)	
	計測原理	・自動車走行に対する主桁の曲げモーメントが大きくなる箇所(支間中央付近)において、圧縮側と引張側にひずみゲージを設置する。ひびわれが複数本、存在する場合、ひびわれ間の中央に設置する。また、主桁の下面、もしくは下フランジ下端のひびわれ部に π 型変位計を設置する。自動車走行に対するひずみとひびわれ開口幅を動的に計測する。ひびわれ開口幅から引張鉄筋のひずみを推定し、圧縮側と引張側のひずみから計測箇所の発生曲げモーメントを算出する。引張鉄筋のひずみと発生曲げモーメントの関係の勾配の変化点から算出したひびわれ開口曲げモーメントから、PC鋼材の残存緊張力を推定する。ひずみゲージはFBG式光ファイバセンサとすることができる。その場合、 π 型変位計は、ひびわれ間のひずみゲージとすることができ、FBG式光ファイバセンサとひずみゲージの差分からひびわれ開口幅とする。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・センシングデバイス貼付けのために計測部位に近接する必要がある。また、センシングデバイス設置箇所から計測機器まで伝送ケーブルを配線する必要がある。 ・主桁に表面被覆材が施されている場合、ひずみゲージを貼付けるためにひずみゲージの面積の約1.5倍の面積で被覆材を除去する必要がある。 ・ひびわれ開口曲げモーメント以上の曲げモーメントが発生する自動車荷重が作用する必要がある。 (一例として、支間長17.04 m、桁高1 m、支間中央有効緊張力1460kNのT桁の場合で、計測断面に発生する曲げモーメントが概ね600kN・m(荷重79.8kN)以上)	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・サンプリング周期を適切に設定する必要がある。計測する径間内を自動車が通過するのに必要な時間を概ね20点以上で計測するのが望ましい。 ・直角方向のひびわれが鋼材の腐食に起因する場合、腐食に伴ううきが生じている箇所への π 型変位計やFBG式光ファイバセンサの治具の設置は避ける必要がある。	
	計測プロセス	1.圧縮・引張ひずみ・ひびわれ開口幅の計測 ひずみゲージと π 型変位計との組合せ、あるいはFBG式光ファイバセンサとひずみゲージとの組合せで自動車走行時の主桁の圧縮・引張ひずみ、ひびわれ開口幅の計測を行う。 2.計測断面のひずみ分布の算出・作用曲げモーメント算出 圧縮と引張のひずみ、および計測断面の主桁の断面二次モーメントと弾性係数から、計測断面に発生している曲げモーメントを算出する。 3.引張鉄筋ひずみ推定 ひびわれ開口幅から、引張鉄筋の平均ひずみを算出する。 4.ひびわれ開口曲げモーメント算出 ステップ2の曲げモーメントと引張鉄筋のひずみの関係から、ひびわれ開口曲げモーメントを算出する。 5.PC鋼材緊張力の推定 ひびわれ開口曲げモーメントからPC鋼材緊張力を算出する。	

		
<p>アウトプット</p>		<p>計測プロセスを経て具体的にアウトプットされるデータの種別、項目、データ形式等を記載する。また、計測データが当初の目的に応じて取得できているのかを現地で確認可能な機能があれば具体的に記載するとともに、アウトプットを得るまでに要する時間(目安)を記載する。 (記載例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ、ひびわれ開口幅の計測データは計測用のパソコンにテキスト形式で保存される(約1日)。 ・計測データから、表計算ソフトを使用して、作用曲げモーメント、引張鉄筋ひずみ、ひびわれ開口曲げモーメント、PC鋼材緊張力を算出する(4日)。
<p>計測頻度</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・計測頻度は交通量に応じて検討する必要がある。大型車の通行が多い場合の実績は、連続で10分の計測を1時間に3回程度 ・サンプリング周波数は20Hz~30Hz程度
<p>耐久性</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・特に規定なし
<p>動力</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・電源100Vが必要
<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>		<p>—</p>
<p>データ収集・通信装置</p>		<p>設置方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測のときに、桁下などにスイッチボックス、動ひずみアンプ、FBG測定器、ノートパソコンを設置する。 <p>外形寸法・重量(分離構造の場合)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データ収集:ノートパソコン程度 ・通信装置:無線通信はしない。 <p>データ収集・記録機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ノートパソコンのハードディスク、あるいは記録メディア(CD・DVD)に保存 <p>通信規格(データを伝送し保存する場合)</p> <p>—</p> <p>セキュリティ(データを伝送し保存する場合)</p> <p>—</p> <p>動力</p> <ul style="list-style-type: none"> 電源100Vが必要。 <p>データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)</p> <p>—</p>

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・PC鋼材緊張力の推定誤差2%(導入した緊張力との差) ・PC鋼材緊張力の推定誤差2%(導入した緊張力との差))	・PC鋼材緊張力の推定誤差2%(導入した緊張力との差) ・支間長3m, 桁高0.7m, PC鋼材直線配置の試験体, および支間長17m, 桁高1m, PC鋼材曲げ上げ配置の試験体の載荷試験から導出した値	
		標準試験値	-	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・ひずみゲージ・FBG式ファイバセンサ 2000 μ ・ π 型変位計:2mm	-	
	感度	校正方法	メーカーにより校正試験		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	自動車走行に対する主桁の曲げモーメントが大きくなる位置での計測での感度が高い。	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無		
性能値		約50db	計測機器によって異なる。		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	16bit	計測機器によって異なる。		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

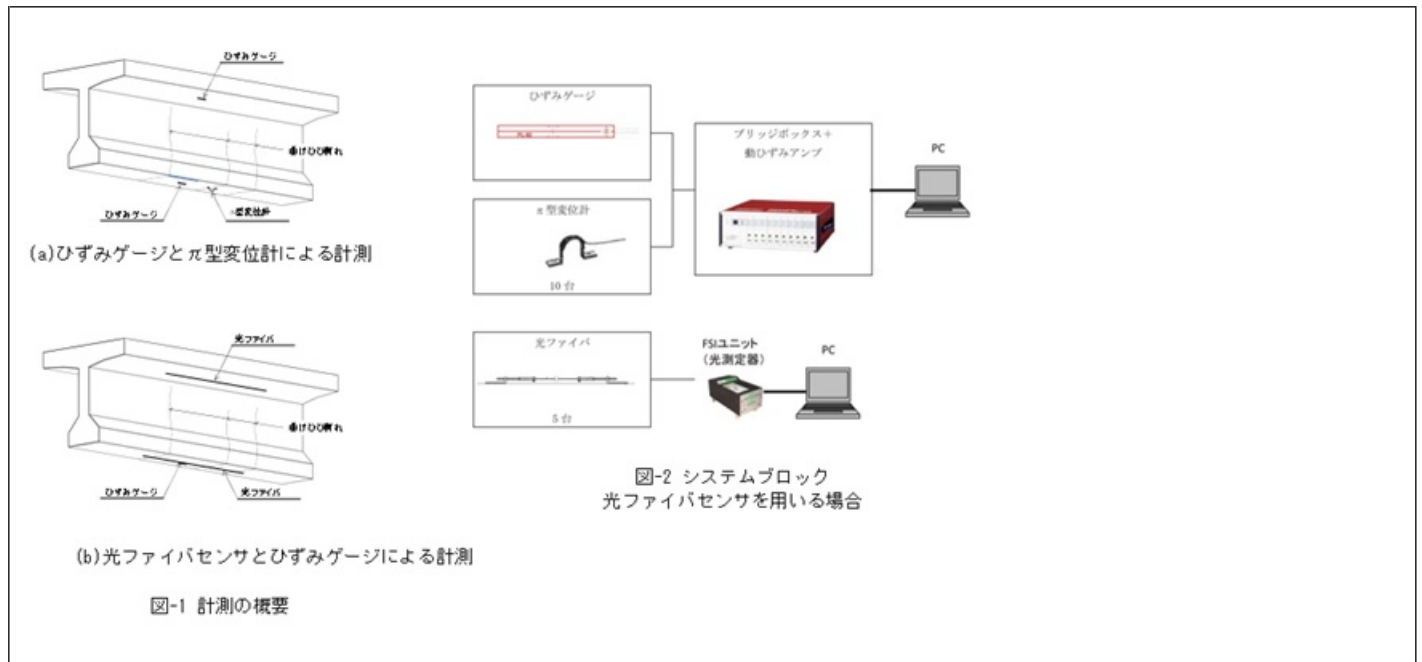
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	—	—
	桁下条件	桁下は人が進入でき、センシングデバイスが設置できること。	—
	周辺条件	—	—
	安全面への配慮	桁下に計測機器やノートパソコンを設置し、第三者が容易に触れることができる場合、立入禁止の看板の設置や計測中の注意喚起が必要。	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	道路規制条件	荷重が既知の試験車を単独走行させて計測を行う場合、先導車などの対策が必要。	—
	その他	センシングデバイスを設置する際、桁下が高い場合には高所作業車あるいは足場が必要である。	—

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	電気式の計測機器や、FBG式光ファイバセンサ、パソコンの取扱いに精通していること。	—
	必要構成人員数	センシングデバイスの設置作業2名, 計測2名, 現場責任者1人の合計3名	対象橋梁の条件と工程により, 設置作業, 計測の増員を検討する必要がある。
	作業ヤード・操作場所	・主桁にセンシングデバイスを設置し, 計測機器設置場所まで配線が可能な高所作業車や足場の範囲 ・計測場所: 計測機器より10m以内	—
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [コンクリート橋] 橋長 20m 全幅員 18 m (6主桁) 部位・部材 [主桁] 検出項目 [ひずみ・ひびわれ開口幅] 設置箇所数 [1箇所] 計測頻度 [3回/1時間] 計測期間 [1日] <費用> 合計 (a)150万円(経費含む, 旅費・宿泊は除く) (b)150万円(経費含む, 旅費・宿泊は除く)	・費用合計は, 計測器設置(1日), 計測(1日), 計測器撤去(1日)を想定 ・計測は, 高所作業車1台(12m)をリースした場合を想定
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	—
	自動制御の有無	なし	—
	利用形態:リース等の入手性	ブリッジボックス, アンプはリース可能。	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	なし	—
	センシングデバイスの点検	—	—
その他	桁下が河川のような計測の場所が確保できない橋梁, およびセンシングデバイス, 計測機器の設置が困難な橋梁は対応不可。	—	

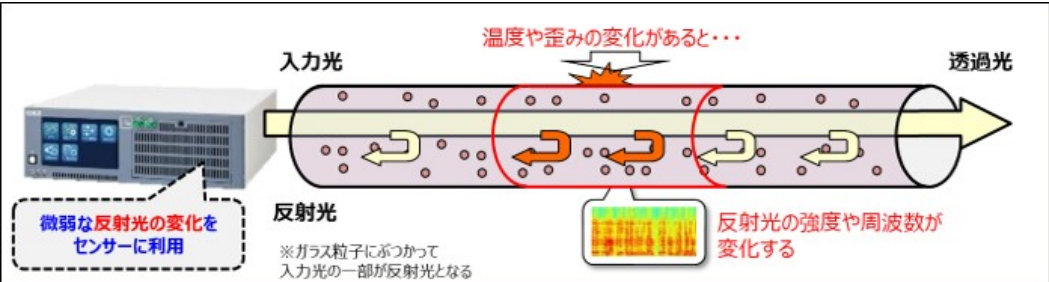
6. 図面



1. 基本事項

技術番号	BR030041-V0123		
技術名	分布型光ファイバーセンサーによるモニタリング技術		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	沖電気工業株式会社		
連絡先等	TEL: 048-431-3598	E-mail: yamaguchi553@oki.com	担当部署: スマートコミュニケーションシステム部 担当者: 山口 徳郎
現有台数・基地	6式	基地	埼玉県蕨市中央
技術概要	本技術は、光ファイバーケーブル上のプルリアン散乱光の解析によるモニタリング技術である。本技術の活用で、リアルタイムかつ広範囲の一括測定を可能にすることができ、光ファイバーの伸縮量の変化からひびわれ等の損傷を捉えることが可能である。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	②異常なたわみ
検出原理	周波数		
検出項目	伸縮量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバー 光ファイバーセンサーWX1033 <p>本計測機器本体は据え置き型装置であり、計測用光ファイバーを上部構造/下部構造に固定し計測を行うものである。また、計測したデータは装置内、ローカルPCおよび通信ネットワーク(有線、LTE等)を介してサーバーに転送される。</p>	
移動装置	機体名称	—	
	移動原理	—	
	運動制御機構	通信	—
		測位	—
		自律機能	—
		衝突回避機能(飛行型のみ)	—
	外形寸法・重量	—	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—	
動力	—		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—		
設置方法		<ul style="list-style-type: none"> 計測装置が安定して操作できる設置台上に設置 動作環境条件を満たすこと(温度、湿度、安定電源、雨に濡れないこと等) 	
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> 外形寸法:幅430mm×奥行き420mm×高さ132mm(突起物を除く) 重量:約14kg 	
センシングデバイス		シングルモード光ファイバー	
計測原理		<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーに光パルスを入射したときに発生する後方散乱光の1つである「ブリルアン散乱光」の周波数が歪み等に比例して変化するという特性を利用 光ファイバーに沿った対象物の連続的な伸縮歪みを測定することが可能 OKIの装置ではブリルアン散乱光の変化を電気信号の位相シフトに変換するアルゴリズムを採用しリアルタイムに光ファイバー全長の歪み変化を分布的に測定することが可能 	
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)		<ul style="list-style-type: none"> センサー(光ファイバー)貼付けのために計測部位に近接できる必要がある。また、計測部位から計測装置(測定器)までケーブルを配線する必要がある。 鋼材への光ファイバー設置は塗装などを剥がして鋼材素地を露出する必要がある。また、コンクリートの計測の場合は、設置面の平準化や下地処理を行う必要がある。 	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		<ul style="list-style-type: none"> 温度変化による見かけ歪みが生じるため、計測データの温度ドリフトに留意が必要である。 コンクリートでの計測にあたっては、不均質な材料の特性や表面形状の不均一などの影響を受けないように対策が必要である。 	
計測プロセス		<ol style="list-style-type: none"> 設計時 <ul style="list-style-type: none"> 構造物の種類や規模、橋りょうなどであれば床版構造などを踏まえ、光ファイバー設置方法(対象物に接着設置、アンカー留めなど)、設置ルートを検討し、光ファイバーの被覆の種類や装置配置を確認すること 施工時 <ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーを設置する個所については、事前に隅出しを行い、設置個所を特定すること 実測の前に、光ファイバーの導通、光損失テストを行うこと 光ファイバーの端部の収納のために、端子箱を設置すること 端子箱は、落下や浸水などがないように適切な場所に設置すること 維持管理 <ul style="list-style-type: none"> 光ファイバー線材は耐久性が高いが、周辺環境の変化等による予期せぬ障害を考慮し、年に1回程度目視点検することが望ましい 自然条件 <ul style="list-style-type: none"> 計測機器の周囲温度は、0℃～40℃であること 	
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> 計測される歪み値データはcsvファイルにて装置内に保存される。また保存されたデータをサーバーに転送することも可能 現地計測に要する時間は、計測準備に30分、計測に10分、データ確認に5分、機器の撤去に15分程度を要する。 	
計測頻度		最短1秒	
耐久性		—	

	動力	・動力源:電気式(AC100V) ・定格容量:450W
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	-
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	-
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	-
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	—	—	
		標準試験値	—	—	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	歪み(伸縮) ・測定性能: $\pm 20 \mu \varepsilon$	—	
		標準試験値	—	—	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	—	—	
		標準試験値	—	—	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	—	—	
		標準試験値	—	—	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	$0 \sim 7,500 \mu \varepsilon$	・測定可能距離: 5km ・温度: 20℃	
	感度	校正方法	—	—	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	—	—
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	有	
			性能値	・ $\pm 20 \mu \varepsilon$ (再現性: 1σ) ・ $\pm 60 \mu \varepsilon$ (再現性: 3σ)	歪み(伸縮) ・検出感度: $\pm 20 \mu \varepsilon$ (再現性: 1σ) ・検出感度: $\pm 60 \mu \varepsilon$ (再現性: 3σ)
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	—		—		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	1m	・空間分解能: 1m		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

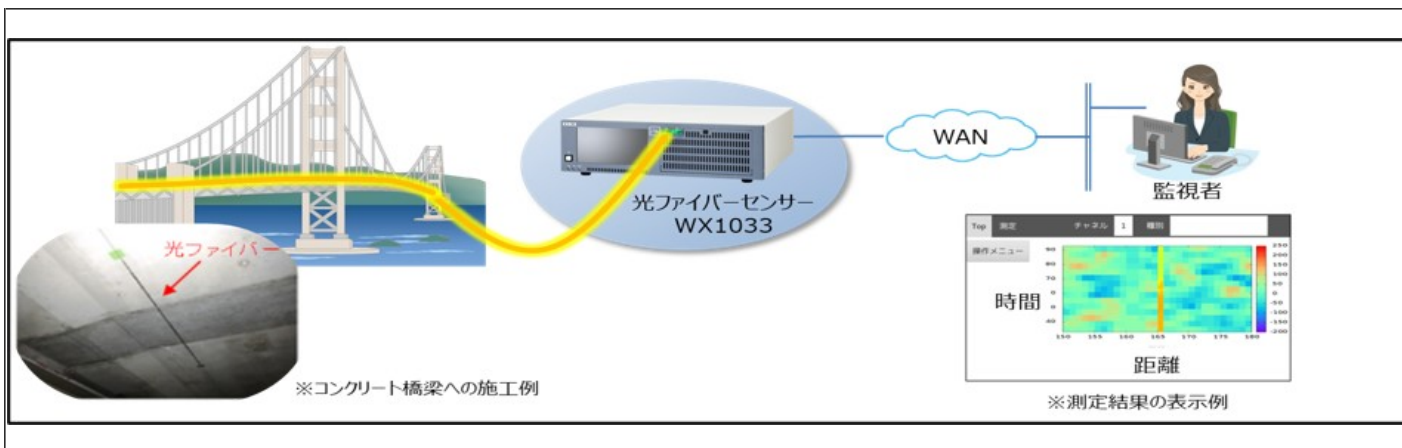
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	資格不要 装置購入時、オペレーション訓練制度あり	—
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人、補助員1人 合計3名	計測規模により異なる。左記は最小人員
	作業ヤード・操作場所	作業ヤード範囲: 2m2 操作場所: 計測機器付近	—
	計測費用	・調査費用 - 初期費用: 現地調査:約10万円 工事費:約100万円 光ファイバーケーブル:約25万円 光ファイバーセンサー(WX1033A):約1,000万円 小計 1,135万円 - 内業: 計測データ整理(サーバ使用料):約5万円/回 計測結果の解析:約10万円/回 報告書作成:約10万円/回 小計 25万円 ＜費用＞ 合計 1,160万円	算出条件 ・橋種 [コンクリート] ・橋長197m ・幅員9m ・設置光ファイバー長:100m ・光ファイバー延長:160m ・光ファイバーセンサーWX1033:1台 ・日当施工量50m/日
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	—
	自動制御の有無	自律制御:有、遠隔制御:有	—
	利用形態:リース等の入手性	購入品のみ	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	購入後1年間:無償修理 以降、スポット・サポート(修理、計測支援)あり(有償)	—
センシングデバイスの点検	—	—	
その他	—	—	

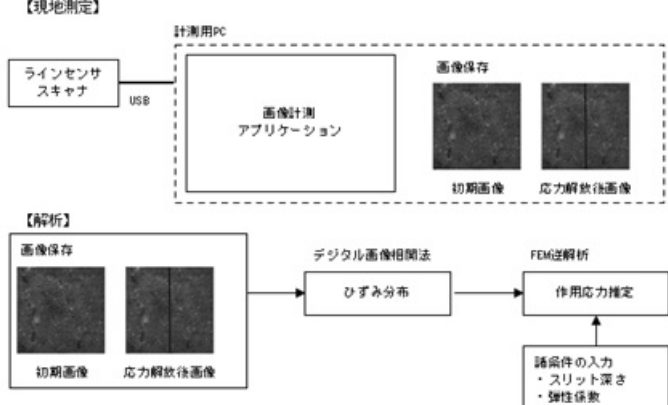
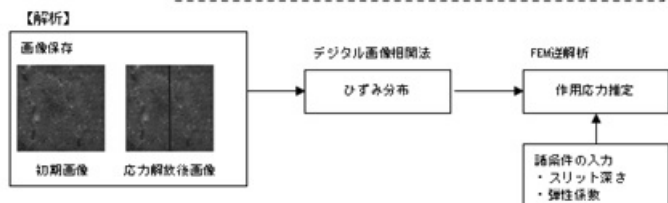
6. 図面



1. 基本事項

技術番号	BR030042-V0123		
技術名	デジタル画像相関法によるひずみ計測技術(スリット応力解放法)		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 計測リサーチコンサルタント/国立大学法人佐賀大学		
連絡先等	TEL: 082-899-5472	E-mail: oomachi@krcnet.co.jp	事業推進部・大町正和
現有台数・基地	1台	基地	広島県広島市東区福田1丁目665-1
技術概要	<p>・本技術は、応力が作用しているコンクリートに作用応力方向に対して直角にスリットを切削し、切削前後の画像をラインセンサスキャナで取得することで、取得画像からデジタル画像相関法により解放ひずみ分布を求める手法である。画像から得られた解放ひずみ分布とFEM解析で得られるひずみ分布とをフィッティングすることでコンクリートの現有応力を推定することができる。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,縦桁,床版)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	静止画		
検出項目	ひずみ		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本検査機は、スリットを切削するカッター、切削前後の画像を取得するスキャナ、計測用PCで構成されている</p> <p>主な機器構成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スキャナ(本体) ・スリット切削用コンクリートカッター ・計測用PC(計測用アプリケーションが搭載) 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	人力	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・対象部材に取付穴(φ3.4mm)を穿孔し、コンクリートビスによって下部コネクタを設置する。下部コネクタに上部コネクタを取り付け、上部コネクタにスキャナを差し込み固定する。 	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	スキャナ:400mm×400mm×130mm 重量6kg コンクリートカッター:740mm×310mm×365mm 重量6.8kg	
	センシングデバイス	スキャナ(CISセンサ)	
	計測原理	本技術は、一様に応力が作用しているコンクリート部材の表面に作用応力方向に対して直角にスリットを切削し、スリット切削前後のコンクリート表面の画像を取得し、画像からデジタル画像相関法によってスリット切削による解放ひずみを解析し、FEMの逆解析を行うことでコンクリートに作用している応力を推定するものである。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・本検査機は、防滴仕様となっていないため、降雨下または測定面が濡れている状況での作業はできない ・狭隙部では、スキャナやコンクリートカッターが設置できないため適用できない ・曲率半径3m以下の曲面では画像中でピントが合わない部分ができ、適用できない ・電源供給ができない場所は計測できない 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・初期画像とスリット切削後の画像で測定面の状況(汚れや濡れの状況)が変わると画像解析精度が低下する ・ひびわれが多数存在している箇所は、すでに内在応力が解放された状態となっており、精度の良い計測ができない可能性がある ・スリット切削前後の画像取得時に橋上の載荷重量が極端に異なる場合、精度の良い計測ができない可能性がある。 	
	計測プロセス	<p>現場作業</p> <ol style="list-style-type: none"> ①計測位置、計測対象を決定する ②計測位置を平坦にし、清掃を行う ③測定面に白と黒のスプレーでランダムパターンを付ける ④スリット切削前のコンクリート表面をスキャンする(初期画像の取得) ⑤コンクリートカッターを取り付け、応力作用方向に対して直角にスリットを切削 ⑥スリット切削後のコンクリート表面をスキャンする(応力解放後画像の取得) <p>解析作業</p> <ol style="list-style-type: none"> ①初期画像と応力解放後の画像を用いてデジタル画像相関法によって測定面のひずみ分布を取得 ②ひずみ分布を基にFEMの逆解析を行い、作用応力を推定 <p>【現地測定】</p>  <p>【解析】</p> 	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測される画像は計測用PCにbitmap形式で保存される。保存された画像をデジタル画像相関法で解析した結果(ひずみ)はcsvファイルで保存される。 ・現地計測に要する時間は、準備に1時間(コンクリート面の状況による)、初期画像取得(ピント調整含む)に10~30分、スリット切削に30分、応力解放後画像の取得に5~10分、スリットの補修に20分程度を要する。 		

	計測頻度	任意
	耐久性	-
	動力	AC100V
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
データ収集・通信装置	設置方法	-
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・使用するPCの寸法による
	データ収集・記録機能	・スキャナに接続された計測用PCに画像が保存される
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	通信方法:有線(USBケーブル)
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	PC本体のバッテリーまたはAC100V
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件		
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-			
		性能値	-	-		
		標準試験値	-	-		
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無			
		性能値	±10%		作用応力の±10% ・測定箇所付近にひび割れないこと ・測定対象のコンクリートの弾性係数が分かること	
		標準試験値	未検証		-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-			
		性能値	-		-	
		標準試験値	-		-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-			
		性能値	-		-	
		標準試験値	-		-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	-			
		性能値	-		-	
	感度	校正方法	-		-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-		
			性能値	-		-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-		
			性能値	-		-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値	-			-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無				
	性能値	0.021mm/pixel		画像:0.021mm/pixel		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

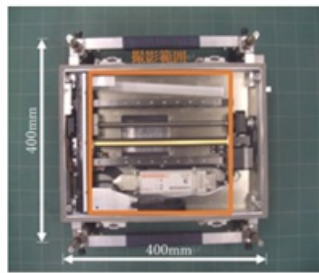
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	人が進入できる程度の高さが必要 高所作業車や足場で測定箇所付近に近接できること	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	計測装置は設置したまま放置しないこと	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	橋梁点検車を使用または橋面にて測定する場合は道路規制が必要	道路管理者および所管警察署との協議が必要
	その他	・雨天時は計測不可	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	解析作業については専門の技術者が対応	-
	必要構成人員数	現地作業:現場責任者1人、作業員2人 解析作業:1人	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [コンクリート橋] 橋長 102m 全幅員 9.25m 部位・部材[主桁] 活用範囲 [-]m ² 検出項目 [ひずみ] <費用> 合計 48万円	数量、対象部位の状況によっては価格が変動する 【計測】約48万円/箇所 ・外業 約10万円/箇所 ・内業 約30万円/箇所 ・機械経費 約8万円/箇所 足場、高所作業車、交通費等は含まず
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	株式会社計測リサーチコンサルタントが不具合に対応	-
センシングデバイスの点検	スキャナはキャリブレーションシートによって点検を実施	-	
その他	-	-	

6. 図面

機器構成図



(a) 寸法図



(b) 測定の様子

図-1 スキャナ (本体)

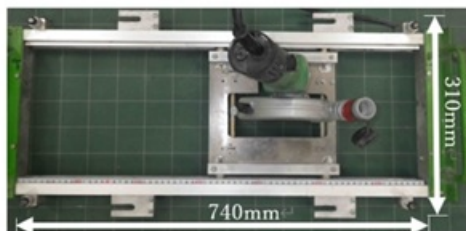


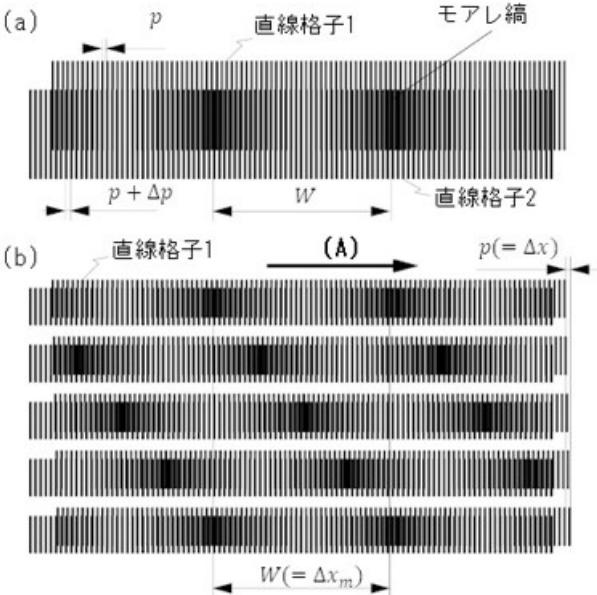
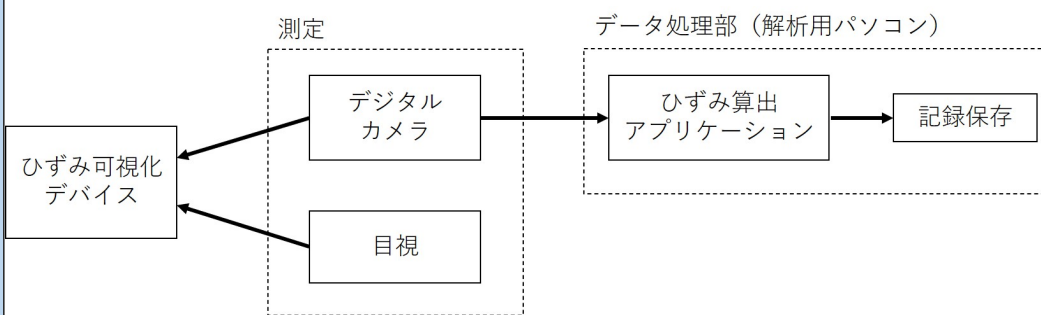
図-2 スリット切削用コンクリートカッター

1. 基本事項

技術番号	BR030043-V0123		
技術名	モアレ縞を用いたひずみ計測技術(ひずみ可視化デバイス)		
技術バージョン	SVD-1	作成:	2023年3月
開発者	(株)計測リサーチコンサルタント/国立大学法人広島大学		
連絡先等	TEL: 082-899-5472	E-mail: oomachi@krcnet.co.jp	事業推進部・大町正和
現有台数・基地	350台	基地	広島県広島市東区福田1丁目665-1
技術概要	<p>本技術は、微小な変位を拡大して表示できるモアレ縞の特徴を用いたひずみ計測用センサである。鋼・コンクリート部材のひずみを定量的に肉眼で読み取ることができるとともに、一般的なデジタルカメラでデバイスを撮影し、そのデジタル画像を解析することで、肉眼で読み取るひずみ値よりもさらに精度の高いひずみ値を算出することが可能な技術である。</p> <p>本体は、線格子や文字状の格子を生成したガラス製のフロントプレート及びリアプレート、鋼製の温度補償板(温度補償 対象:コンクリート及び軟鋼)で構成される。加えて、本体を取り付ける治具やひずみ算出アプリケーションなども付属されている。電気的な要素を使用しないため、電源が不要で、長期的に部材のひずみの変化(応力状態の変化)を確認できる。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚,橋台) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	静止画		
検出項目	ひずみ		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本機器は、以下で構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ可視化デバイス本体 ・取付脚 ・ダミープレート <p>ひずみを計測する場合は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デジタルカメラ 1台 ・解析用PC(ひずみ算出アプリケーション(付属品)が搭載) 1台 <p>以上の機器を準備する必要がある</p>	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
動力	-		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<p>①設置位置の位置出しを行う ②ダミープレートと取付脚を組立てる ③②で組立てた取付脚を設置位置に置き、アンカー固定または溶接固定を行う ④取付脚からダミープレートを取り外し、ひずみ可視化デバイスを取付ける</p>		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【検査機本体】 ひずみ可視化デバイス:最大外形寸法(長さ17mm×幅120mm×厚さ6.8mm)</p> <p>【取付治具】 ・取付脚 :最大外形寸法(24mm×77mm×18mm) ・ダミープレート:外形寸法(16mm×110mm×6.8mm)</p>		
センシングデバイス	ひずみ可視化デバイス SVD-1		
	<p>ピッチの異なる直線格子を生成した2枚のプレートを重ねることで発生するモアレ縞の原理を用いている。 直線格子1のピッチをp、直線格子2のピッチをp+Δpとすると、モアレ縞のピッチWは、$((p+\Delta p)/\Delta p) \cdot p$で表される。これらの関係より、直線格子1がピッチpほど移動すると、視覚的に$(p+\Delta p)/\Delta p$倍に拡大表示され、モアレ縞はWほど移動する。 この原理によって、微小変位を視覚的に拡大表示して検出している。</p>		

計測装置	計測原理	 <p>(a) 直線格子1, モアレ縞, 直線格子2, p, $p + \Delta p$, W</p> <p>(b) 直線格子1, (A), $p(= \Delta x)$, $W(= \Delta x_m)$</p>
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影時に、外乱光の影響がないこと(デバイス表面に不均一な影、ハレーションなど) ・設置面が平坦であり、ひずみ可視化デバイスの表面が汚れていないこと(または汚れをふきとれること)
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・正対して撮影できない場合、精度が低下する。 ・撮影時、外乱光の影響がある場合、精度が低下する可能性がある。
	計測プロセス	<p>計測プロセス</p> <p>【目視による計測】</p> <ol style="list-style-type: none"> ①設置時に100$\mu\epsilon$ごとの目盛の最も濃く表示されている数値を読み取り、記録する ②計測時に100$\mu\epsilon$ごとの目盛の最も濃く表示されている数値を読み取り、記録する ③上記①②で読み取った数値の差分を計算する <p>【デジタルカメラによる計測】</p> <ol style="list-style-type: none"> ①設置時にひずみ可視化デバイスを撮影する(5枚以上推奨) ②計測時にひずみ可視化デバイスを撮影する(5枚以上推奨) ③上記①②で撮影した画像を画像解析アプリケーションにより画像解析してひずみ値を算出 
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・画像解析アプリケーションで解析されたデータは、csvファイルで保存される。 ・現地の状況や環境にもよるが、現場での作業が目視の場合は1分程度、デジタルカメラによる撮影の場合は1~2分(5枚以上の撮影)、画像の解析に5分程度(5枚の画像を解析)要する
	計測頻度	任意
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・自然環境下における10年以上の耐候性能 ・自然環境下(沿岸部暴露)における10年以上の耐腐食性能を持つ
	動力	・ひずみ可視化デバイスの動力は不要
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-
	データ収集・通信装置	<p>設置方法</p> <p>外形寸法・重量(分離構造の場合)</p> <p>データ収集・記録機能</p> <p>通信規格(データを伝送し保存する場合)</p> <p>セキュリティ(データを伝送し保存する場合)</p> <p>動力</p> <p>データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)</p>

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	画像解析の場合 繰り返し精度(2σ)±10με 非直線性:±1% of F.S.	画像解析の場合 繰り返し精度(2σ)±10με 非直線性:±1% of F.S.	画像解析の場合 繰り返し精度(2σ)±10με 非直線性:±1% of F.S. ・ひずみ可視化デバイスに正対して撮影 ・設置面が平坦かつ外乱光の影響がない場所で撮影 ・1回の計測当たり5枚以上撮影し、平均値を採用
		標準試験値	標準試験方法 変位 ひずみ(2020) 実施年 2022年 ①相対差:3.59με ②相対差:7.25με		①動的載荷試験の相対差 サンプル数:10 ・引張最大値 リファレンス値:21~32με 測定値:27~28με ・圧縮最大値 リファレンス値:12~13με 測定値:8~12με ②静的載荷試験の相対差 サンプル数:5 ・引張最大値 リファレンス値:24~32με 測定値:25~45με
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	±500με	測定範囲:±500με (F.S.=1000με)	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	目視:50με 画像解析:1με	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	人が進入できる程度の高さが必要 高所作業車や足場で測定箇所付近に近接できること	-
	周辺条件	正対して撮影できる箇所であること	-
	安全面への配慮	設置後、落下することのないようネジのゆるみ止め等の措置を行う	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	高所かつ遠距離からの撮影が困難な場合、高所作業車が必要である	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	現場計測前に本技術の使用手法や設定などの研修が必要	-
	必要構成人員数	【設置時】 現場責任者1人、作業員2人 【計測時】 現場責任者1人、作業員1人	-
	作業ヤード・操作場所	設置スペース:1m×1m	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [コンクリート橋] 橋長 102m 全幅員 9.25m 部位・部材[主桁] 活用範囲 [-]m2 検出項目 [ひずみ] <費用> 合計 140万円	鋼橋や数量、場所によっては価格が変動する 設置箇所数 [10箇所] 計測頻度 [5回/1年] 計測期間 [1年] <費用> 合計約140万円
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	ひずみ可視化デバイス一式は購入品のみ 設置については業務委託も可能	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	株式会社計測リサーチコンサルタントが不具合に対応	-
	センシングデバイスの点検	取付にゆるみなどがいないか、本体に割れなどがいないか点検する	-
	その他	-	-

6. 図面

機器構成

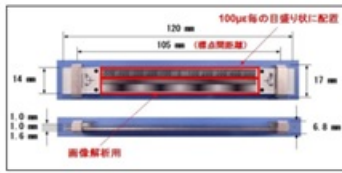


図-1 装置全体像

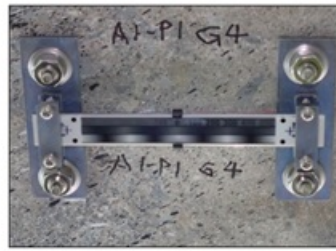


図-2 現場状況

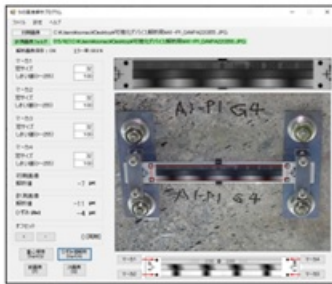


図-3 ひずみ算出アプリケーション



図-4 計測方法

技術概要



①デジタルカメラで検査機を撮影

SD
画像ファイルを転送



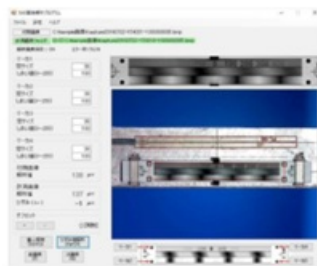
②ひずみ算出アプリケーションを起動

画像読み込み



③初期画像のひずみを解析

比較


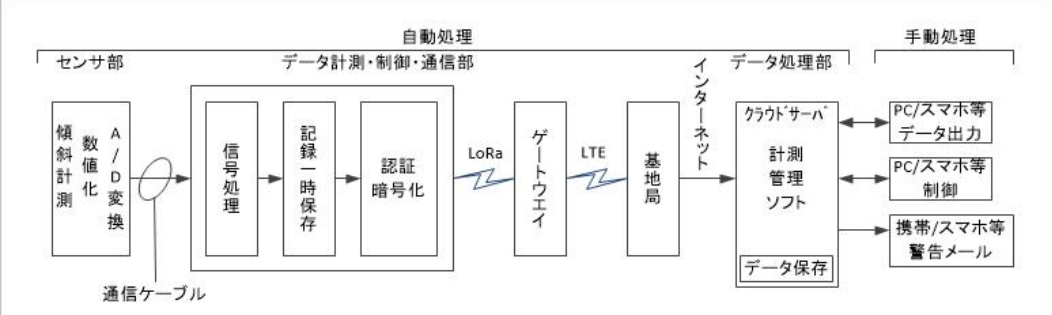


④計測画像のひずみを解析

1. 基本事項

技術番号	BR030044-V0123		
技術名	熱検知型MEMS傾斜計とLoRa通信を用いた橋梁の傾斜角モニタリングシステム		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	日本仮設株式会社/国立大学法人北見工業大学/株式会社構研エンジニアリング		
連絡先等	TEL: 011-662-6231	E-mail: hinata@nihonkasettsu.co.jp	開発センター・日向洋一
現有台数・基地	20台	基地	札幌市西区発寒16条14丁目6番50号
技術概要	<p>本技術は、熱検知型のMEMS傾斜計を用いて遠隔で下部構造(橋脚)の傾斜角を計測する技術である。 この傾斜角の測定精度は0.025度未満で、使用温度は-30~60度、通信距離は最大15km、5年間電池交換なしで運用可能である。 また、車両交通に伴う振動影響をキャンセルするダンパとフィルタを有している。計測データは、LoRa(LPWA)とLTE及びインターネットを経由して、クラウドサーバに保存することで、傾斜角進行の可視化、閾値判定、警告メールの発信機能を有する。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(橋脚,橋台,基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	㊟沈下・移動・傾斜 ㊟洗掘
検出原理	加速度		
検出項目	傾斜角		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>・計測機器は、傾斜計、計測通信端末、ゲートウェイの3点から構成される。</p> 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・センサの計測軸(X軸、Y軸)と橋梁の取付方向(橋軸、橋軸直角)を確認して、センサ設置位置を決める。 ・センサ設置個所にアンカー(φ6mm)3本を打込み。 ・センサをセットし、水平器で水平をとり、ナットで締め付ける。 ・ゼロ点設定は遠隔で行うことができる。 	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・傾斜角センサ:最大外形寸法(長さ90×幅70×高さ23mm)、最大重量(300gf)	
	センシングデバイス	・傾斜角センサ 緑測器社製 THD3010Z-D-DS5A	
	計測原理	・橋脚に傾斜角センサを設置し、傾斜データを計測する。計測した傾斜角データから合成角度と方位計算を行い、橋脚の傾斜の有無を把握する。キャリブレーション(傾斜角のゼロ点設定)は遠隔で行うことができる。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・傾斜角センサ設置のために計測部位に近接できる必要がある。 ・太陽光発電のため、計測部位から計測端末(制御・通信・電源部)を離す場合、計測装置までケーブルを配線する必要がある。 ・下部工(Co)のセンサ設置個所に、φ6~8mmのグリップアンカー等3本を設置する必要がある。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・日変動、季節変動による計測データのドリフトの留意が必要である。	
	計測プロセス	<p>①橋脚に設置した傾斜角計によりXY2軸の傾斜角の時刻歴を計測する。傾斜角センサの設置場所や計測時の位置関係を「6. 図面」において詳述する。</p> <p>②XY2軸の傾斜角の時刻歴から合成角度と方位を計算する。一定期間計測を行い、日変動(温度変化)と傾斜角の変動幅の関係を把握する。</p> <p>③日変動と傾斜角の関係、あるいはFEMの数値シミュレーションで求められた洗堀割合と傾斜角の関係から閾値を設定する。</p> <p>④橋脚の傾斜角を常時モニタリングし、計測されたデータから合成角度・方位を算出、閾値との比較を行うことで、洗堀の進行状況を把握する。</p> <p>【処理フロー図】</p> 	
計測装置	<ul style="list-style-type: none"> ・XY2軸の傾斜角の時刻歴データはテキストファイルにて保存。 ・一時保存されたデータはサーバに転送され、合成角度θ・方位φを計算し、閾値内であるか否かをアウトプットする。 ・計測に要する時間は、計測に1分、データ確認に1分程度を要する。 $\theta = \sqrt{[X_((t))]^2 + [Y_((t))]^2}$ $\phi = [\tan]^{-1} (Y_((t)) / X_((t)))$		

	アウトプット	
	計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・1日、1時間、10分、5分、2分から選択できる。 ・閾値を超えた場合、自動的に2分間隔に変更。
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・IP67
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・センサ・計測端末の内蔵電源(エナジーハーベスト)で稼働。 ・日中は超小型太陽電池で駆動し、夜間及び不日照時は2次電池(ニッケル水素電池)で駆動する。 ・降雨や降雪により不日照が続き、2次電池が枯渇した場合、1次電池(単三乾電池型リチウム電池)で駆動する。 ・太陽光発電により2次電池の電圧が復帰すると、自動的に2次電池に切り替わる。
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・5年間(外気温:-30~60℃、60分/1日に1回計測の場合)
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・傾斜角センサに有線で接続し、梁部上面に計測端末を固定する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測端末:最大外形寸法(長さ125mm×幅125mm×高さ75mm)、最大重量(1kgf) ・ゲートウェイ 最大外形寸法(長さ175mm×幅130mm×高さ45mm)、最大重量(500gf)
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・計測端末で収集したデータをLoRa、LTEで伝送し、インターネット(VPN)経由でクラウドサーバーに保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> センサ～ゲートウェイ ・通信方法 LoRa(LPWA)、通信規格 920MHz帯 ・通信速度 146bps~22kbps ・通信距離 最大15km ゲートウェイ～LTE基地局 ・通信方法 LTE、通信規格 2.1GHz帯 ・通信速度 23Mbps-45Mbps(上り) ・通信距離 最大1km~1.5km
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・認証方式:ログイン認証 ・暗号化方式:計測端末 - ゲートウェイ間 AES128 暗号化、クラウドサーバ-PC間 SSL 暗号通信 ゲートウェイ - クラウドサーバ間 さくらインターネットのLTE閉域網接続 ・CSRF対策
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・計測端末 機器内蔵電源(エナジーハーベスト) ・ゲートウェイ AC100V/太陽光発電などの仮設電源が必要
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・連続5年間(-30~60℃)使用可能

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・測定精度:0.025	・周囲温度 -30~60℃ 絶対直線性:1% (FS%, FS=20°) 水平位置 温度特性:0.1°(25℃の出力角との差) ・周囲温度:-30℃ 測定精度:0.025° (0°±0.5°の範囲)	
		標準試験値	標準試験方法 振動特性 洗堀(2020) 実施年 2022年 ・相対差:0.0245°	・リファレンス値:-4.00~3.00° ・計測値:-4.01~2.96°	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	±10°	周囲温度 -30~60℃	
	感度	校正方法	ポリゴンミラーで校正された治具を使い、校正を実施		・周囲温度:25℃
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・0.006°	周囲温度 -30~60℃	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

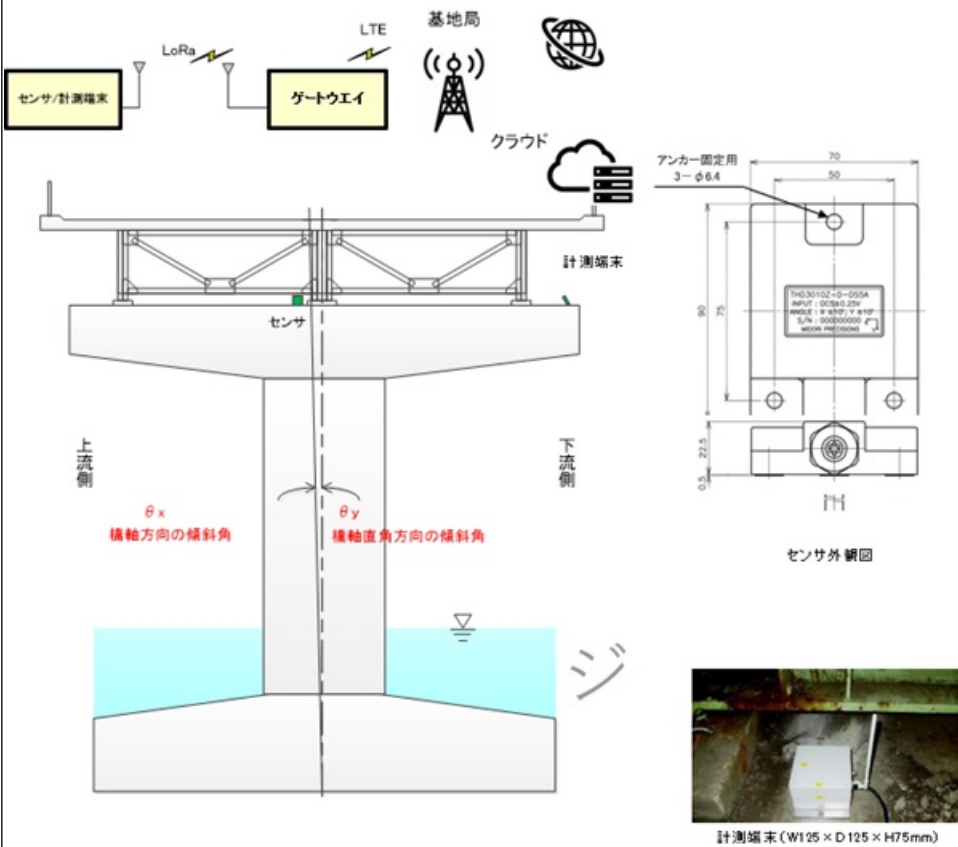
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	桁下は人が進入できる箇所、あるいは橋梁点検車が使用できる箇所	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	センサ設置・撤去中は注意喚起の看板の設置	-
	無線等使用における混線等対策	使用周波数を変更できる(4ch)	-
	道路規制条件	装置の設置・撤去時は交通規制の必要がある 車道部片側相互通行	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・橋梁点検車や高所作業車及び橋座上においてセンサ設置技量。	シミュレーションにより閾値を設定する場合:FEM解析技術
	必要構成人員数	・技術者1人、補助員1人 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	作業ヤードは不要 モニタリングは、Webブラウザで行う	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [コンクリート橋] 橋長 57m 全幅員 7m 部位・部材[橋脚] 検出項目 [傾斜角] 設置箇所数 [1箇所] 計測頻度 [1回/時間] 計測期間 [1年] <費用> 合計 300,000円 計測機器レンタル、通信費、クラウドサーバ管理費、データ管理ソフトウェアの利用料を含む。条件:5年間継続。 <設置費用> 合計 100,000円 但し、仮設足場、旅費は含まれていない。	分析・報告は業務委託
	保険の有無、保障範囲、費用	保険には加入していない。	-
	自動制御の有無	自律制御有	-
	利用形態:リース等の入手性	業務委託 レンタル	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり、年間保守契約要	-
センシングデバイスの点検	-	-	
その他	大規模災害でLTEが使えない場合、ゲートウェイにPCを直接繋いでデータを確認することが可能。	-	

6. 図面

・システム概要



1. 基本事項

技術番号	BR030045-V0123		
技術名	水中ドローン(DiveUnit300)を用いた橋梁点検支援技術(洗掘)		
技術バージョン	1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社FullDepth		
連絡先等	TEL: 03-5829-8045	E-mail: funatsu@fulldepth.co.jp	DU事業部営業チーム 船津
現有台数・基地	3台	基地	〒103-0004 東京都中央区東日本橋2-8-4東日本橋1stビル
技術概要	<p>本技術は、MNBソナー装備した水中ドローンで橋梁の洗掘を計測する技術である。</p> <p>これは、MNBソナーを水平方向と垂直方向に取り付けることによって、水平方向の音響映像加えて、垂直方向の音響映像で、対象物の奥行きと高さを計測することで、対象物の奥行きと立体の寸法を記録する。</p>		
技術区分	対象部位	下部構造(基礎)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
	共通	㊟洗掘	
検出原理	超音波		
検出項目	画像		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>下記各機器を接続し、一体的な構造となる。(図面参照)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水中ドローン(DiveUnit300):カメラやセンシングデバイス等が一体となった移動装置(水中) ・光ケーブル(テザーユニット):陸上のある操縦用コントローラーと水中ドローンを繋ぐケーブル(水中/陸上) ・操作用PCユニット(セントラルユニット):カメラ映像 センシングデバイスのデータを取得し操縦信号を送るPCユニット(陸上) ・I/Fボックス:オプション用の接続ユニット(水中ドローンと一体的構造)(水中) ・スキット(水平方向MNBソナー取付台):オプション搭載時の取付治具(水中) ・DVL:ホバリング用のセンサー(水中) ・MNBソナー×2(水中) ・MNBソナー表示用PC×2(陸上) 	
移動装置	機体名称	産業用水中ドローン DiveUnit300	
	移動原理	・機体は水平方向に4基(前後左右旋回の動作) 鉛直方向に2基(浮上沈降) 姿勢制御に1基(水平姿勢維持)で、人が操縦して潜航させる。	
	運動制御機構	通信	有線通信型
		測位	—
		自律機能	ホバリング機能 ホールド(方位・姿勢・深度保持)機能
		衝突回避機能(飛行型のみ)	—
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> ・一体構造(移動装置+計測装置) ・最大外形寸法(L720mm×W410mm×H500mm) ・最大重量(34kg) 	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—	
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・動力源:電気式 ・電源供給容量:Li-ion バッテリー 		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・240分(外気温:20℃の場合)		
計測装置	設置方法	移動装置と一体的な構造	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—	
	センシングデバイス	MNBソナー (マルチビームソナー) Oculus750d(BluePrint社製) ×2	
	計測原理	<p>・濁水中での計測が可能。計測の際には、水平角度130°、垂直角度20°で音波を扇状に発信し、反射波を受信して鉛直方向から見た俯瞰図をリアルタイムで取得することができる。(右図、概念図を参照)</p>  <p>図1 概念図</p>	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>・対象物の前に障害物等があり、対象に超音波が当たっていない場合については、計測ができない。(図2)</p>  <p>図2 MNBソナー運用イメージ</p>	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・淡水と海水で音速が異なるため、設定を調査場所によって設定を合わせる。		
計測プロセス	<ol style="list-style-type: none"> ①水中ドローンに搭載されたソナーで、橋脚及び洗掘等の測定対象となる箇所をソナーで形状を計測する。 ②ソナーを水平方向と垂直方向に取り付ける。 ③水中測位装置、ソナー及びホバリング機能を頼りに、一定の離隔で水平移動や及び同じ場所で垂直移動することで、それぞれの位置で取得したソナーの2次元の映像(図2参照)より、測定対象の計測データを取得する。 ④計測データを統合し、測定対象となる箇所の概形図を作成する。 		
アウトプット	計測した際の映像データは、MNBソナーのオリジナルファイル(.oculus)でアウトプットされる。		
計測頻度	— 2-5-374		
		水深300mの耐圧性能	

	耐久性	※当社独自の耐圧試験機による耐圧試験で確認
	動力	—
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—
データ収集・通信装置	設置方法	移動装置と一体的構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	計測装置内PCのハードディスクにデータ収集。記録を行う
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	—
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	—
	動力	バッテリー駆動
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	—

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	—	—
	標準試験値	標準試験方法 (2019) 実施年 2022年 変化量0cm	流速0.2m/s
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	縦:横:高さの最大寸法(mm) 縦:800mm 横:1200mm 高:600mm	【飛行型】水中部 衝突回避距離を加味した最小所要空間寸法を縦、横、高さの最大寸法(mm) 縦:800mm 横:1200mm 高:600mm場合。ホールド機能のみの利用であれば、考慮不要
	標準試験値	標準試験方法 水中(2022) 実施年 2022年 W2.0m×H1.0m ×L1.0m	—
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	・最大稼働範囲 300m	飛行型 (水中潜航) 最大稼働範囲 300m 付属品 テザーケーブルのケーブル長範囲
	標準試験値	—	—
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	—	—
	標準試験値	—	—

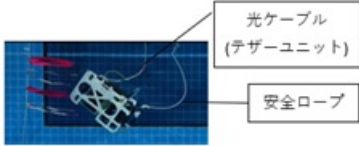
※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	1m/s(1Knot)	プールの静水下において実施 計測時対象物サイズ 幅410mm 高さ375mm 奥行639.5m 基準点からの距離 4.06m 計測値 4.03m	
		標準試験値	標準試験方法 (2019) 実施年 2022年 0.003m ² /sec	—	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	約3cm	プールの静水下において実施 計測時対象物サイズ 幅410mm 高さ375mm 奥行639.5m 基準点からの距離 4.06m 計測値 4.03m	
		標準試験値	標準試験方法 3次元座標 洗堀(2021) 実施年 2022年 流速0m/s,濁度1度 計測精度 0.027 流速0.2~0.4m/s,濁度1度 計測精度 0.023 流速0m/s,濁度60~90度 計測精度 0.023 流速0.2~0.4m/s,濁度60~90度 計測精度 -	被写体距離 8.0cm	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	—	—	
		標準試験値	—	—	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未実施	—	
		標準試験値	標準試験方法 (2019) 実施年 2022年 フルカラーチャート識別可能	流速0m/s 被写体距離 8.0cm 濁度1.1度	
	計測レンジ(計測範囲)		性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	120m以内	ソナーを中心とした最大130°扇状角度、最大距離レンジ120m以内の物体 流速1.0m/s(1Knot)以内
	感度	校正方法		—	—
		検出性能		性能確認シートの有無 ※	無
				性能値	凸形状で10cm以上
		検出感度		性能確認シートの有無 ※	無
	性能値			—	—
	S/N比		性能確認シートの有無 ※	無	
性能値			—	—	
分解能		性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	4mm	ビーム数512 範囲分解能 4mm	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	—	—
	桁下条件	—	—
	周辺条件	—	—
	安全面への配慮	<p>下図のように、安全ロープを取り付けることで、突発的に流速が上がる場合衝突を回避する。 ※光ケーブル(テザーユニット)の引っ張り強度136kgを超える可能性がある場合</p>  <p>図3 安全ロープ</p>	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	道路規制条件	—	—
	その他	<p>大雨の場合、計測不可。 流速0.5m/sec以下、300m以浅 水深は0.5m以上で垂直方向を計測するために取り付けしたMNBソナーが水中にある必要がある。</p>	—

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	水中ドローンの特性を理解し、点検対象を撮影する際に的確かつ安全な潜航計画を立案できること。	—
	必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人、補助員1人 合計3名	—
	作業ヤード・操作場所	・点検対象付近の約2m×2mの平坦な陸上 ・機材一式を搬入搬出が可能な通路があること	—
	計測費用	機体価格16,900,000円(1基あたり) サブスクリプションサービス価格7,700,000円/年	オプション等の条件により価格が変わります。
	保険の有無、保障範囲、費用	保険加入有 顧客の責に依らない機器の故障について保障 機体の保守点検サービス有	—
	自動制御の有無	無	—
	利用形態:リース等の入手性	購入品のみ	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり(前述の「保守点検サービス」加入者を優先的にサポート)	—
	センシングデバイスの点検	無	—
	その他	流速 0.5m/sec以上の河川等(適用不可) 雨天時計測には、テント等の雨天対策が必要 使用温度範囲0℃~40℃	—

6. 図面

DiveUnit300 標準構成



図4 標準構成

DiveUnit300を用いた橋梁点検支援技術(洗撮)の構成

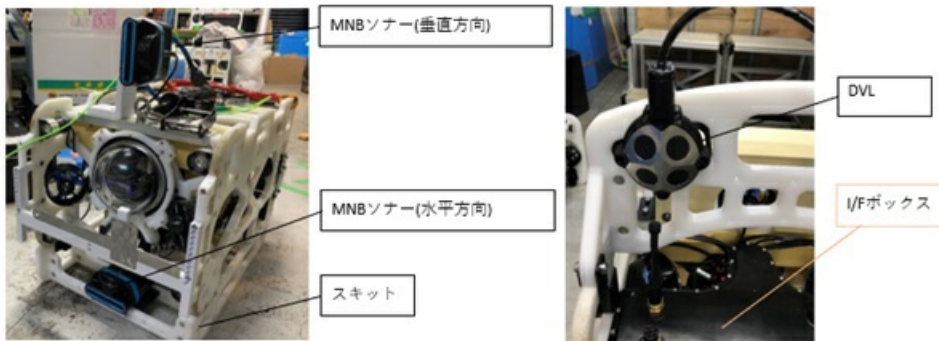


図5 MNBソナー×2とスキット

図6 DVLとI/Fボックス

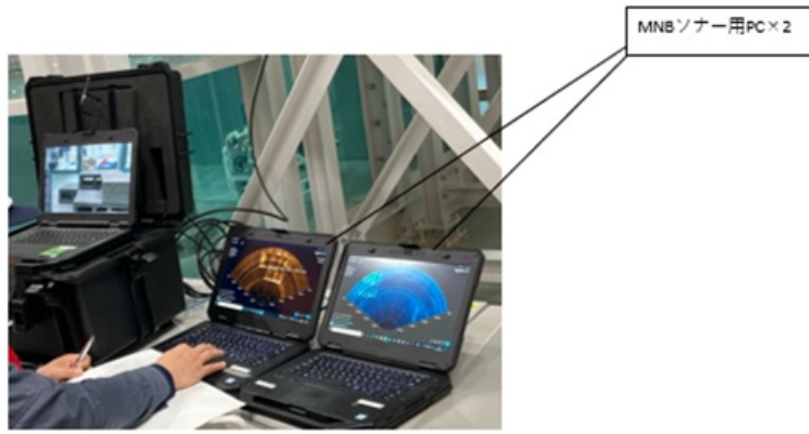


図7 MNBソナー用PC×2

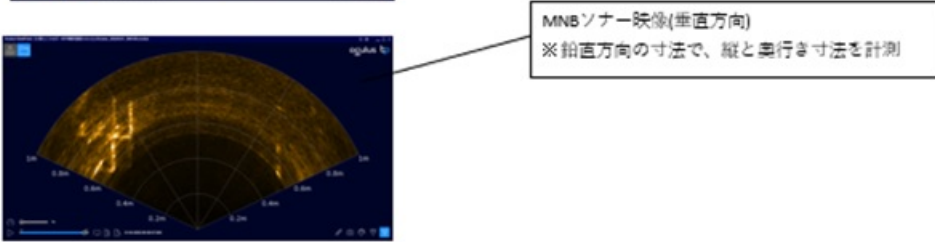
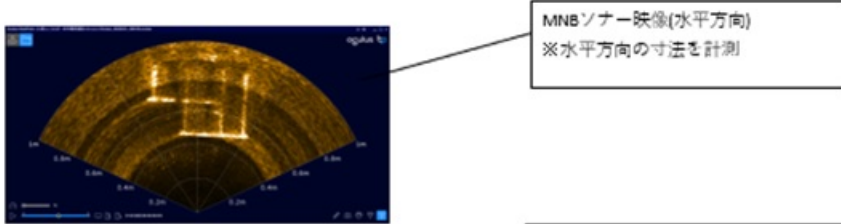
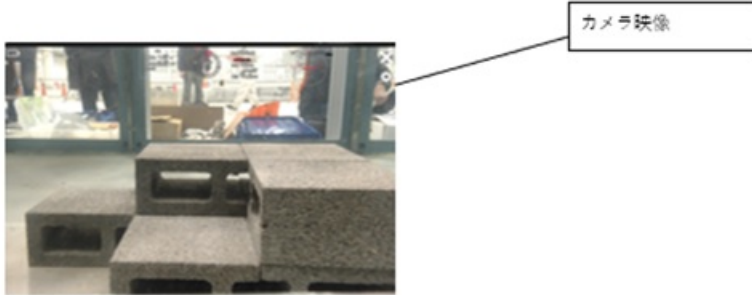
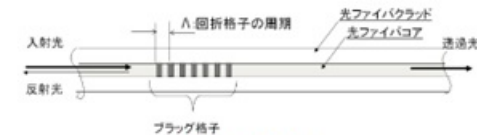
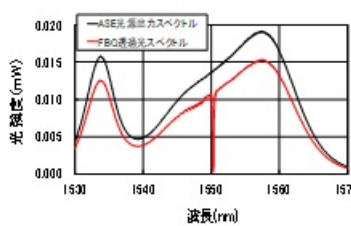
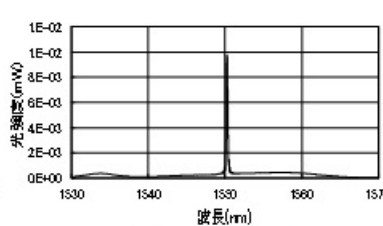
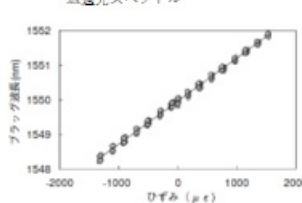
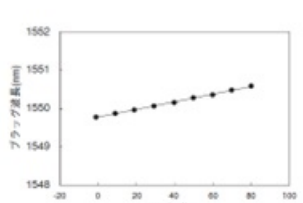


図8 カメラとMNBソナー(水平と垂直)の取得映像

1. 基本事項

技術番号	BR030046-V0023		
技術名	光ファイバFBGセンサを用いた無線型応力モニタリングシステム		
技術バージョン	Ver.1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社IHI検査計測		
連絡先等	TEL: 045-791-3518	E-mail: uejima1792@ihi-g.com	計測事業部 計測技術部 上島秀作
現有台数・基地	1台	基地	神奈川県横浜市金沢区
技術概要	長期間耐用型のFBG (Fiber Bragg Grating) センサを使用して、鋼橋の着目部位のひずみを自動計測するシステム。太陽光パネルを備えるため電源が無い現場でも動作可能で、計測データを無線通信で送信することができる。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	光の波長の変化		
検出項目	応力(ひずみ)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ①FBGセンサー ②制御装置BOX ③バッテリーBOX ④太陽光パネル 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
動力	-		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ①FBGセンサーは接着剤と一体型となった構造を持つ。計測対象の接地面に付属のプライマーを塗布し、センサーを貼り付けた後、キュアリングを実施する。 ①FBGセンサーと②制御装置BOXを屋外用光ファイバケーブルを用いて接続する。光ファイバは距離による減衰の影響が少ないため、距離の制限はない。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測対象に設置するセンサー部分の寸法は40×20×2mm、両端には長さ1mの光ファイバケーブルが付属している。		
センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ①FBGセンサー: 長期間計測可能FBGセンサー(自社および日東電工株式会社との共同開発品) PCT/JP2020/035044(出願日:2020/9/16) ②光電変換機: FBGA-1525-1565-FA(BAY SPEC社) 		
計測原理	<p>ASE光源(増幅自然光源)は広帯域の波長をもつ光源で、これをFBGセンサーに入射すると特定の波長の光のみが反射します。ひずみが生じた場合は反射する光の波長が変化して、波長の変化量はひずみと比例関係にあることから、FBGひずみセンサーはこの特性を用いています。</p> <p>図1に①FBGセンサーの構造を示す。本センサーは、光ファイバのコア内にブラッグ格子と呼ばれる回折格子を形成し、特定の波長のみを反射する機能を持たせた光ファイバ型デバイスである。また、本センサーはひずみゲージと比較し、電気的影響(ノイズ)を受けず、耐候性にも優れており、長期間の計測にも適している。図2にASE光源、およびFBGセンサーの透過光スペクトルを、図3にFBGセンサーの反射光スペクトルを示す。図2、図3より、透過光は1550 nm以外の波長スペクトルを、反射光は1550 nmのみの波長スペクトルを示しているのが分かる。図4および図5に、FBGのひずみと温度をそれぞれ独立に変化させたときのブラッグ波長の変化を示す。これらは直線性を示しており、FBGセンサーによる応力(ひずみ)の計測が可能となる。</p>		
計測装置	 <p>図1 FBGセンサーの構造</p>		
	 <p>図2 ASE光源、FBGセンサーの透過光スペクトル</p>  <p>図3 FBGセンサー反射光スペクトル</p>  <p>図4 FBGセンサーによるひずみ測定</p>  <p>図5 FBGセンサーによる温度測定</p>		
計測の適用条件(計測原	<p>①FBGセンサー貼付けのために計測部位に近接できる必要がある。また、計測部位から②制御装置BOXまで屋外用光ファイバケーブルを配線する必要がある。</p> <p>③鋼材のFBGセンサー貼付箇所は塗装などを剥がして鋼材素地を露出させる必要がある。</p>		

	<p>理に照らした適用条件)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・母材とFBGセンサーの密着性を図るため、設置後にキュアリング作業(80℃で30min程度加熱)をする必要がある。 ・携帯電話の電波が繋がる場所に②制御装置BOXを設置する必要がある。 ・雨天時使用可能 	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・FBGセンサは温度変化による見かけひずみが生じるため、応力(ひずみ)計測部位近傍に温度計測用のダミーFBGセンサを設置し、温度の影響を除去する必要がある。 	
計測プロセス	<p>①設置したFBGセンサにより応力(ひずみ)の時刻歴を計測する。</p> <p>【処理フロー図】</p> <p>①FBGセンサ</p> <p>②制御装置BOX</p> <p>③バッテリーBOX</p> <p>④太陽光パネル</p> <p>無線通信ルータ</p> <p>無線通信ルータ</p> <p>データ処理(監視用PC)</p> <p>データ出力記録保存</p> <p>応力(ひずみ)への変換</p> <p>現地</p> <p>事務所</p>	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・直接計測される物理量の光波長は②制御装置BOX内のPCにcsvファイルとして保存される。 ・保存されたcsvファイルは、監視用PCに伝送され、応力(ひずみ)への変換を行う。 	
計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・1時間に1回、ただし、変更は可能 ・最大計測期間は5年間 	
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ①FBGセンサ:屋外で5年相当の耐久性 ②制御装置BOX:IP65 ③バッテリーBOX:IP65 	
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・システムにバッテリーおよび太陽光パネルが含まれるため、自家発電で駆動可能。 ・動力源:電気式 ・電源供給容量:バッテリー ・定格容量:12V, 5V 	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネルを使用している場合は、FBGセンサの耐久期間である5年間は連続モニタリングできる。 ・ただし、バッテリー容量が12V以下になった場合は計測できなくなるが、太陽光パネルにより充電されると自動で計測が再開される。 	
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・②制御装置BOX、③バッテリーBOX、④太陽光パネル:平滑な地面に設置する。チェーンなどで移動しないよう固縛する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・②制御装置BOX:最大外形寸法(500×400×200mm)、最大重量(3.0kg) ・③バッテリーBOX:最大外形寸法(400×300×200mm)、最大重量(8.0kg) ・④太陽光パネル(治具を含む):最大外形寸法(1000×500×500mm)、最大重量(3.0kg)
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・①FBGセンサで計測したデータは②制御装置BOX内のPCにCSVファイルで保存される。 ・携帯電話通信網によりデータを伝送することができるため、事務所に設置したPCによりデータを受信することができる。その際には専用の受信用ルータが必要である(システム付属)。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 無線(LTE or 3,4G) ・通信速度 送受信最大200kbps(バースト転送機能有り)
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・IPsec(暗号化アルゴリズム: AES256bit, 3DES)機能を搭載し、携帯電話通信網を利用した高セキュリティなネットワークである。 ・セキュリティプロトコル: ESP
	動力	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーにより駆動する。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・制御装置BOXが駆動している時間帯であればデータ収集可能。

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	計測誤差:±5%	・応力:フルスケール(ひずみが±2000 $\mu\epsilon$ の場合)の±5% ・応力(ひずみ):引張載荷試験において、恒温槽で荷重載荷時の温度を-10℃、30℃、80℃に保持した状態で、引張荷重による試験体の発生ひずみが最大で2000 $\mu\epsilon$ となるよう荷重を載荷した。この試験でのひずみゲージによる計測結果と比較し、検証した。	
		標準試験値	標準試験方法 ひずみ(2020) 実施年 2023年 ・相対差:1.97%(1.1832 $\mu\epsilon$)	・サンプル数:5 ・リファレンス値:58~62 $\mu\epsilon$ ・計測値:57~61 $\mu\epsilon$	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	±2000 $\mu\epsilon$	・応力:ひずみ換算で±2000 $\mu\epsilon$ ・-10℃~80℃の温度範囲	
	感度	校正方法	・外部校正されている光スペクトラムアナライザを用いて校正する。 ①基準FBGセンサのプラグ波長を計測する。 ②光スペクトラムアナライザにより基準FBGセンサを接続し、①の結果と比較する。		・波長のずれが±0.05nm以内
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
性能値	-		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・計測可能波長帯域:1525nm-1565nm ・最小検出波長変化量:±1 pm(ひずみ換算で0.8 $\mu\epsilon$)	・光電変換機の性能		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	・計測対象場所に計測員がアクセスできること(作業足場、高所作業車など使用可)	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	・小型アンテナの設置(システム付属)	-
	道路規制条件	-	-
	その他	・計測可能温度範囲 気温-10~+80℃	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	-	-
必要構成人員数	・計測員 2名	・安全な場所では1人でも計測可能
作業ヤード・操作場所	・作業ヤード範囲: センサ設置は1m ² , システム設置は2m ² ・操作場所: システムの設置はFBGセンサ設置箇所から離れていても問題ない。光ファイバケーブルでFBGセンサと制御装置BOXを接続すれば良い。	-
計測費用	【橋梁条件】 橋種 [鋼橋] 部位・部材 [上部構造(主桁、横桁、床版等)/下部構造(製橋脚)/支承部(支承本体)] 作業日数 1日 検出項目 [応力(ひずみ)] 設置箇所数 [2点] 計測頻度 [1時間のうち5分間(変更可能)] 計測期間 [6か月] 外業 120万円(機器使用料を含む) 内業 30万円(応力と時刻歴データの整理) ＜費用＞ 合計 150万円(移動費は含まない)	-
保険の有無、保障範囲、費用	・保険には加入していない	-
自動制御の有無	-	-
利用形態: リース等の入手性	・点検サービスのみ(計測、解析、評価)	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート制あり	-
センシングデバイスの点検	・校正機関による校正(1回/年) ・外部校正不可の場合は社内点検(1回/年)	-
その他	・携帯電話通信網が使えない場所(地下など)ではデータ伝送が困難	-

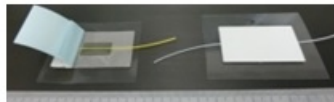
6. 図面



写真1 システム構成



写真2 制御装置BOXの内部

写真3 長期間計測可能FBGセンサ
(左：設置前、右：設置後)

1. 基本事項

技術番号	BR030047-V0023		
技術名	計測装置(3DSL-Rhino"ライノ")を用いた三次元計測システム(支承部の機能障害)		
技術バージョン	22Q4 Ver 1.0	作成:	2023年3月
開発者	株式会社セイコーウェーブ		
連絡先等	TEL: 042-595-7041	E-mail: haru.shinmura@seikowave.jp	総務・営業支援担当 新村 波瑠
現有台数・基地	2台	基地	東京都立川市高松町
技術概要	<p>【目的】 本計測システムは、夏季と冬季に1回ずつ、橋梁の支承本体形状を三次元計測し、夏季と冬季の移動量や変動角度などを算出することで、支承部の機能障害を検出するものである。</p> <p>【構成】 本計測システムは、専用ケーブルで接続された計測装置本体と、専用ソフトウェアを搭載したパーソナルコンピュータ(PC)で構成される。</p> <p>【動作概要】 本計測装置の一方の窓から縦縞のパターン光(LED光)を、対象となる支承部表面に照射し、もう一方の窓からその画像を手動トリガーによって撮影し、PCに送信して三次元座標を生成する。</p>		
技術区分	対象部位	支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑩支承部の機能障害
		共通	
検出原理	パターン光(LED光)投影法		
検出項目	画像(投影したパターン光が写りこんだ24コマの静止画)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ○計測装置本体 (3DSL-Rhino) ○パーソナルコンピュータ ○接続用システムケーブル (7.5m、他に短いケーブルや延長ケーブルも用意あり) ○バッテリーパック 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	<ul style="list-style-type: none"> 【人力型】 ・人が計測装置を持ち運びながら計測を行う。 	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-	
計測装置	設置方法	・計測装置のハンドルを両手で持って計測する。手持ちで安定しない場合は、計測装置の底に三脚用ネジがあるので、一脚などを接続し、安定させる。計測装置を移動させる場合は、本装置一式には移動装置はついていないため、計測者が計測対象場所まで運ぶ。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・計測装置寸法: 300(W)×158(D)×155(H) mm、重量 1.7kg	
	センシングデバイス	・1/3 型CMOSイメージセンサー (644 x 484 ピクセル、最大フレームレート 309 fps、ADコンバーター 12-bit)	
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> ・構造化光位相シフト法: 装置内蔵のプロジェクターからパターン光を投射し、内蔵カメラで24コマの視差画像を撮影することで、計測対象物表面の三次元座標(点群、メッシュ、計測1面につき最大30万点)を得る。1面の計測所要時間は0.08秒。 ・現場でのキャリブレーションは不要。 ・計測装置の分解能: 縦横方向 0.4mm, 奥行方向 50ミクロン。 ・計測寸法の再現性(繰り返し誤差): ±50ミクロン以下 (1σ)。 	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・計測対象物に直射日光が当たらないように、また、雨粒が当たらないように養生が必要。 ・計測対象物の見たままをデータ化するため、外来付着物が存在する場合、外来付着物も合わせて計測してしまう。そのため、必要に応じて、外来付着物を除去すること。 ・計測可能な対物距離は35cm ~ 47cmであり、1回の計測で取得可能な範囲は、270mm x 150mmの範囲である。PC搭載当社オリジナルソフトウェアを使うことで、さらに広い範囲をソフトウェアによる三次元座標合成も可能。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・計測装置内蔵のプロジェクターからパターン光(LED光)を投射し、そのパターンが計測対象物に当たった状態をカメラで撮影するため、パターン光よりも強い光(太陽の直射日光等)が当たると、計測ができなくなる、あるいは、計測データの品質が落ちる。対象表面の外光照射度10,000ルクス以下が目安となる。計測装置は自発光型なので、暗所での計測は問題ない。 ・カメラで複数フレーム(24コマ)撮影し、三次元座標を計算するため、24コマ投射の間(80ミリ秒)、大きな揺れがあると計測不能、ないしデータ品質劣化を招く。ただし、計測用ソフトウェアは、一定以上の揺れがあった場合、揺れが収まるまでデータを取得しない機能を備えているため、一定のデータ品質を保つことができる。 ・計測対象表面に水滴がついている場合は、測定ができないため、乾いたウェスで拭う必要がある。 ・カメラで複数フレーム(24コマ)撮影し、三次元座標を計算するため、24コマ投射の間(80ミリ秒)、大きな揺れがあると計測不能、ないしデータ品質劣化を招く。ただし、計測用ソフトウェアは、一定以上の揺れがあった場合、揺れが収まるまでデータを取得しない機能を備えているため、一定のデータ品質を保つことができる。 ・計測対象表面に水滴がついている場合は、測定ができないため、乾いたウェスで拭う必要がある。 	
	計測プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・計測装置は、パターン投影用プロジェクターと、デジタルカメラの2つの要素から構成されている。プロジェクターからは、PMP (Phase Measuring Profilometry)パターン、いわゆる構造化パターンが投影され、計測対象物にあたったパターンをデジタルカメラで撮影することで、空間位相 (Phase)データが生成される。同時に、カメラのピクセル単位で反射光の強度を保存し、テクスチャ情報としてデータ化する。これらの画像と位相データを独自のアルゴリズムで計算することで、迅速に対象物の三次元座標を得ることができる。この一連の流れを説明したのが下図である。 三次元座標の計算では、計測用PCに保存された、個々の装置の光学系特性やパターン特性を網羅したキャリブレーションデータを使うため、計測にあたり、現場でのキャリブレーションは不要である。 ①計測用PCと計測装置を現場に人力で運ぶ。 ②計測用PCと計測装置をシステムケーブルで接続し、電源供給を開始する。 ③計測用PCにて、計測用ソフトウェアを立ち上げ、計測装置と計測対象物との距離が35cm~47cm 以内になるよう、また手振れが小さくなるように保持する。 ④計測装置の右ハンドルについているトリガーボタンを押して、データを取得できることを確認する。 ⑤Paintingアイコンをクリックして、自動合成モードを立ち上げる。⑥画面中央に表示されるリアルタイム3D点群画像を確認し、トリガーボタンを押す。 ⑦PCからトラッキング音が出ていることを確認しつつ、かつ、重畳領域が半分以上になるようにパターン投影を移動させ、トリガーボタンを押す。ソフトウェアが自動的に配置を実行し、画面に連続3D点群画像を表示する。 ⑧上記⑦の作業を繰り返し、支承部全体、あるいは、アクセス可能な側の部位の計測を完了させる。 ⑨計測用ソフトウェアの保存アイコンで、支承全体の3D点群データをPLY形式で保存する。⑩CloudCompare を立ち上げ、保存されたPLYファイルを読み込む。 ⑪固定点から移動部までの距離や角度を求める。 	

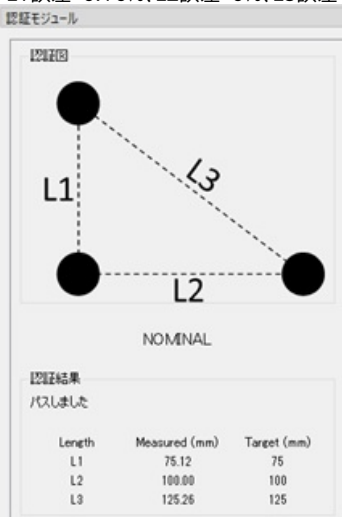
		<p>⑫上記作業を計測対象となる支承で実施し、夏季・冬季の移動距離等を比較することで、機能障害を判断する。</p>
アウトプット		<p>① 支承本体外形の三次元形状画像(点群、メッシュ情報を含むPLYファイル)。 ② 支承本体固定部と可動部の位置関係データ(距離、角度)。 ③ 夏季・冬季のデータ比較(移動距離、角度など)。</p>
計測頻度		<p>・夏季1回と冬季1回。ないし、明け方1回と昼過ぎ1回、など温度変化の大きい時点でそれぞれ測定する。</p>
耐久性		<p>・計測装置本体は、IP54相当の耐水性・防塵性を有する。PCには防塵性、耐水性はない。</p>
動力		<p>・AC100V出力端子を備えたバッテリー装置(500Whr)。</p>
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		<p>・外部給電方式のため、バッテリー装置の容量に応じて稼働時間が異なる。当社が所有しているバッテリー装置を利用した場合、計測装置とPCを連続して5時間弱駆動することが可能。(計測装置の平均消費電力=15W。PCの平均消費電力=100W。)</p>
データ収集・通信装置	設置方法	-
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	-
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	-
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	<p>・L1誤差:0.16%、L2誤差:0%、L3誤差:0.21</p>  <p>測定日:2022/10/24</p> <p>L1 真値:72.12mm 測定値:75mm</p> <p>L2 真値:100mm 測定値:100mm</p> <p>L3 真値:126.26mm 測定値:126mm</p> <p>・測定値がターゲット値と1mm以上の誤差がある場合、この認証試験はパスしない。その場合、工場にて、精密な再校正が必要である。</p> <p>・認証試験を行う場合、外光が直接当たらないように、外光を遮断しなければならぬ(50ルクス以下)。また、認証試験片は、安定した、かつ、正反射(ないし鏡面反射)の無い台の上に置くこと。</p> <p>・ジグとカメラ光軸角度=90度±15度以内であること。</p> <p>・揺動排除(高精度モード)で計測すること。</p>		
		標準試験値	標準試験方法 支承の機能障害(2022) 実施年 2023年 ・相対差:23.93%(0.909mm)	<p>・サンプル数:2</p> <p>・真値:3.83mm、3.77mm</p> <p>・測定値:4.60mm、4.80mm</p>	
		4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	標準試験値		-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	<p>・計測対象物との距離:350mm~470mm</p> <p>・測定範囲:1面あたり150mm x 270mm@対象物との距離450mm。(標準搭載の自動合成ソフトウェア Painting により、さらに広い範囲の測定も可能(最大600mm x 600mm程度))。</p>	<p>・計測対象面に雨滴がないこと。</p> <p>・ジグとカメラ光軸角度=90度±15度以内であること。</p> <p>・外光照度50ルクス以内であること。</p> <p>・揺動排除(高精度モード)で計測すること。</p>	
	感度	校正方法	<p>・当社が提供する簡易校正ジグを計測することで、ターゲット値との誤差を計測することができる。</p>	<p>・計測対象面に雨滴がないこと。</p> <p>・ジグとカメラ光軸角度=90度±15度以内であること。</p> <p>・外光照度50ルクス以内であること。</p> <p>・揺動排除(高精度モード)で計測すること。</p>	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	2-5-394 100%		<p>・計測対象面に雨滴がないこと。</p> <p>・ジグとカメラ光軸角度=90度±15度以内であること。</p>		

	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	・外光照度50ルクス以内であること。 ・揺動排除(高精度モード)で計測すること。
		性能値	-	-
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	・縦横の分解能 = 0.4mm ・深さの分解能 = 0.05mm	・計測対象面に雨滴がないこと。 ・ジグとカメラ光軸角度=90度±15度以内であること。 ・外光照度50ルクス以内であること。 ・揺動排除(高精度モード)で計測すること。

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

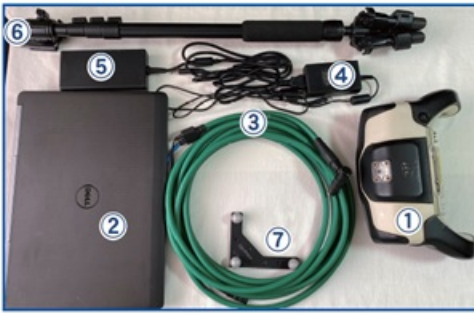
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	・高所作業をする場合は、墜落制止用器具の装着が必要である。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	1) 直射日光が当たる場合は、遮光養生(日傘程度で十分)を施すか、直射日光の当たらない時間帯での計測が必要である。 2) 雨天の場合は、雨養生が必要である。計測対象面に雨滴が付着した場合は、乾いたウェスで拭き取ること。 3) 排水機能が十分に機能せず、湿潤している場合は、計測対象面を乾いたウェスで拭き取ること。ウェスで拭き取っても湿潤している場合は、自然乾燥するまで待つこと。	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・計測装置の取り扱いに慣れ、一定品質の測定データを得るためには、当社技術者によるトレーニング(3時間程度)が必要である。	-
	必要構成人員数	・計測装置の操作者1名、PC操作者1名 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	・計測対象箇所から7メートル以内に、PCを設置する場所(30cm x 30cm程度)が必要である。7メートルを超える場合は、延長ケーブルを利用する。	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [鋼橋/Co橋] 橋長:規定しない 全幅員:規定しない 部位・部材 [支承部・支承部本体] 検出項目 [支承部の機能障害] 設置箇所数 [0 : 計測の都度持ち込む。設置はしない] 計測箇所数 [1日につき支承部4箇所] 計測頻度 [2回 / 年] 計測期間 [半年] (夏季に1回、冬季に1回) <費用> 合計50万円(支承部4箇所、夏季1回の計測、冬季1回の計測、報告書作成)	-
	保険の有無、保障範囲、費用	・計測装置とPCには動産保険加入(保険料は点検費用込み)。第三者補償の保険には加入していない。	-
	自動制御の有無	無し	-
	利用形態:リース等の入手性	・装置購入(450万円・納期6週間) ・レンタル(一週間単位にて貸出可。費用は3万円/日) ・計測業務受託(一日単位で対応可。費用は計測・解析・報告含め約30万円/日および交通宿泊費実費相当額加算)	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有り	・電話対応、ウェブ会議対応、データ解析対応、装置修理、等
センシングデバイスの点検	・簡易型検証用ジグを使つての事前点検可能。通常、1か月に1回程度の頻度で十分。	-	
その他	・支承部が外部から目視できない状態では計測できない。	-	

6. 図面

図1 計測装置一式



一式内容物

3D スキャナー 3DSL-Rhino™ 図1①	1台
駆動用パーソナルコンピュータ 図1②	1台
システムケーブル 7.5m 図1③	1本
・ACアダプター (3DSL-Rhino用) 図1④	
・ACアダプター (PC用) 図1⑤	
・姿勢保持用一脚 図1⑥	各1
・キャリブレーション認証試験片 図1⑦	

上記内容物は全て運搬用ベリカンケースに収容されます。

図2 計測対象面にパターン光を投影し、計測実施
(夏季1回、冬季1回)

図3 3D画像(点群、メッシュ)生成

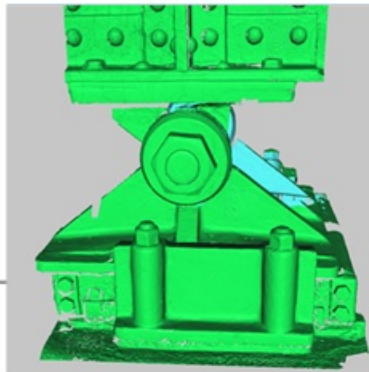
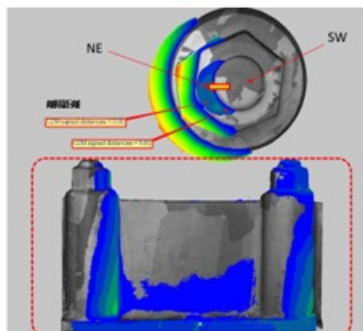


図4 夏季・冬季データを重ね合わせる、可動部移動距離を求める



赤破線内で固定点として、支承可動部の移動距離等を求める。

図5 可動部の夏季・冬季の角度のずれを求める



<計測装置 3DSL-Rhino(ライノ)のセットアップと計測作業の動画>
https://seikowave.jp/video/Rhino_setup_H264_audio.mp4

1. 基本事項

技術番号	BR030048-V0023		
技術名	映像解析による非接触桁たわみ計測技術		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	計測検査株式会社		
連絡先等	TEL: 093-642-8231(代表)	E-mail: kkeigyo@keisokukensa.co.jp	担当部署 営業部(代表)
現有台数・基地	1台	基地	福岡県北九州市八幡西区陣原
技術概要	<p>本技術は、動画映像を用いて車両が橋梁上を通過する際に桁に発生するたわみを計測・可視化するものである。本技術を用いることで、撮影データから遠隔・非接触でたわみを計測可能である。</p> <p>本技術の特徴としては、ハイスピードカメラで動画映像を撮影するだけで、ターゲット等を設置しなくても任意の計測対象表面の変位を遠隔・非接触で計測が可能である。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	
検出原理	動画像		
検出項目	活荷重たわみによる変位量		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> 計測装置: ハイスピードカメラ、カメラ三脚 データ収集・通信: 有線(制御・解析PCにデータ収集) 必要に応じて、対象箇所の照度不足を補うための照明装置を用いる。 	
移動装置	機体名称	IRIS M	
	移動原理	<p>【設置型】</p> <ul style="list-style-type: none"> 本計測機器は計測装置とデータ収録・通信が一体構造であり、人力で調整や設定を行い、地面に据え置いて計測を行うものである。 	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	・動画像をピクセル解析	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> 本測定機器は、カメラを三脚の雲台上部に1/4インチねじで固定し、測定対象物が観察できる場所に三脚を設置して計測する。 振動によるブレの低減の為に、三脚の脚に免振ゲルパッドを敷き計測する。 カメラレンズは、測定対象に合わせて必要なスペックのものに付け替えが可能である。 	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置: カメラ本体(レンズなし) 最大外形寸法(長さ75mm×幅43mm×高さ35mm)、最大重量(0.9kgf)	
	センシングデバイス	<p>【カメラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> FLIR社 ハイスピードカメラ <p>【レンズ】</p> <ul style="list-style-type: none"> フォトロン社 Cマウントレンズ <p>【データ測定収録PC】</p> <ul style="list-style-type: none"> DELL Latitude 5420 Rugged <p>【レーザー距離計】</p> <ul style="list-style-type: none"> BOSCH GLM400C 	
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> 動画像から計測対象表面の模様を追跡、画面内の各点の動き分布をMotion Amplification®softwareによって解析し、人の目では見えない小さな動きを増幅・可視化する。また、動画像内の任意範囲を選択しピクセル解析することで、対象物の変位を算出し、車両通過時に発生する活荷重たわみ成分を算出する。 	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> 焦点距離6mmのレンズを用いて撮影した場合、最大画角は1,920×1,080mmの領域が撮影され、10mの距離から撮影した場合、変位分解能は20.83μmとなる。 撮影距離は、撮影前にレーザー距離計などで予め計測する。 照度が不足する場合は照明装置を使う。地面から桁までの距離、撮影対象の周辺環境(日照の影響の有無など)、撮影時間等を考慮して機材を選定して測定を行う。 設置場所については、計測対象となる桁下面を撮影できる位置で、かつ計測時にカメラが揺れないような強固な場所を選定する。 雨、陽炎、日照変動(明るさ変動)の影響を受けにくい環境で撮影を行うよう計画する。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> 計測対象表面の特異点を画像処理により変位算出するため、計測対象表面に特異点が必要である。 光沢のある表面の場合、ハレーションが起きて測定困難となる可能性がある。 計測対象表面に対し正対していない場合、対象までの距離と角度が不正確だと誤差の要因となる。計測対象表面に対して±20°以内で計測することを推奨する。 20°以上での計測となる場合、解析結果に補正計算を行うことで計測可能である。 	
	計測プロセス	<p>①事前準備</p> <p>橋梁の位置、種類、構造、周辺の交通量など基本情報・設計情報を調査する。機材の設置位置及び設置位置からの対象物までの距離、画角、地形、照明の要否、撮影条件などの調査をする。以上を踏まえ、撮影計画を立てる。</p> <p>②機器設置</p> <p>撮影計画に基づき、機器を設置する。三脚にカメラ・レンズを取り付けて、計測対象に向け固定する。カメラと測定解析用PCをUSB3.0screw look cableで接続する。</p> <p>③撮影条件設定・キャリブレーション</p> <p>測定解析用PC内のMotion Amplification®softwareでカメラ向き角度、画角、フォーカスを合せ、レンズの焦点距離を確認する。次に、Motion Amplification®softwareでPC画面上の設定画面より明るさ、撮影フレームレート、露光時間、撮影時間を設定する。最後に、レーザー距離計を用いてカメラと対象物との距離を測定し、その値を入力する。これにより、キャリブレーションが完了となる。</p> <p>④撮影・データ保存</p> <p>作業者は、Motion Amplification®softwareを操作し、撮影を開始し、任意の計測後、撮影を終了する。この時、撮影開始のタイミング及び測定時間の打合せを事前しておく必要がある。測定時間を打合せにて決定し、測定終了した後データの保存を行う。</p> <p>⑤データ解析</p> <p>測定解析用PCのMotion Amplification®softwareより、解析したいデータを読み込み、解析実施箇所を打ち合わせ解析を行う。</p> <p>Motion Amplification®softwareでデータを読み込み、表示された映像内の解析したい箇所を範囲選択すると、自動で</p>	

		<p>時系列波形と周波数スペクトラム波形が作成される。作成された時系列波形および周波数スペクトラム波形はMotion Amplification®softwareにより、縦軸の成分を変位、速度、加速度と選択が可能であり、選択した成分の時系列波形を表示させることが可能である。表示した時系列変位波形、周波数スペクトラム波形をcsv形式に変換して数値データを得る。</p> <p>⑥映像の編集</p> <p>撮影動画を、フィルター処理や明るさ調整、再生スピード調整などの追加解析を行うことで視覚的に振動を確認でき、測定対象物の挙動把握を行うことができる。映像はMP4形式にも変換可能である。</p> <p>・現地計測に要する時間は1時間程度であり、内訳として機器設置、設定に20分、計測およびデータ確認に30分、機器の撤去に10分程度を要する。</p>
	アウトプット	<p>・撮影された映像はMotion Amplification®software形式で保存される。Motion Amplification®softwareでファイルを読み込み、任意の場所を選び時系列波形、周波数スペクトル波形をcsv形式で保存が可能である。</p>
	計測頻度	<p>・計測頻度は、1試験終了の後、測定対象物の振動が収まってから次の試験を行うことを推奨する</p> <p>・再現性確認のために、1試験につき3回以上の測定を推奨する</p>
	耐久性	<p>・水濡れ厳禁</p>
	動力	<p>・カメラは測定解析用PCバッテリーより供給</p>
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<p>・6時間(測定解析用PCバッテリー供給の時、外気温:25℃、30分に1回計測の場合)</p>
データ収集・通信装置	設置方法	<p>・データ収集・処理部となる測定解析用PCは、計測装置とUSB3.0screw look cable接続となる</p> <p>・測定解析用PCはPC用三脚の上に設置する</p>
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>・データ収集・通信装置:最大外形寸法(長さ352mm×幅249mm×高さ37mm)、最大重量(2.22kgf)</p>
	データ収集・記録機能	<p>・撮影された映像は測定解析用PCに保存される。測定終了時に測定データを保存するか否を選択する必要がある。Motion Amplification®softwareで保存したファイル呼びだし処理を行う。処理を施すと処理済みデータはその都度保存が可能である。</p>
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	<p>・測定解析用PCは、PC内臓バッテリーで6時間の撮影計測が可能である。</p> <p>・計測作業が長時間に及ぶ場合は、AC出力ポータブル電源から給電を行いながら撮影計測が可能である。。</p>
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<p>・ファイル保存先のディスク空き容量に依存する。なお、1データファイルの容量は、測定時間、フレームレートによって異なる。</p>

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・相対差:0.12mm(9.33%)	・動画をピクセル解析 ・レーザー式変位計と本技術測定値との相対差 変位の相対差 鉛直方向:0.12mm(9.33%) 撮影距離:1m 計測回数:3回 加振周波数:10Hz 撮影フレームレート:120fps	
		標準試験値	標準試験方法 ひずみ (2020) 実施年 2023年 ・相対差:3.30%(0.1261 $\mu\epsilon$)	・サンプル数:5 ・リファレンス値:-3.77~-3.92 $\mu\epsilon$ ・計測値:-3.62~-3.79 $\mu\epsilon$	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・最小変位:0.25 μm	・計測範囲:測定対象物が測定画面に収まる範囲 ・50mmレンズ、1mの距離で測定するとき	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・0.25 μm	・計測範囲:測定対象物が測定画面に収まる範囲 ・50mmレンズ、1mの距離で測定するとき $R\mu = \frac{\Delta}{\Delta} \times 12.5$ $R\mu$:最小変位分解能(μm) D :カメラから対象までの撮影距離(m) F :レンズの焦点距離(mm) ※12.5は検証に基づいた換算係数		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	・桁下は人が進入できる箇所であること	・長さ700mmの三脚を持って移動できること ・桁下に三脚を据え付けできること(水などがある場合は設置不可)
	周辺条件	・計測対象表面に追跡可能な模様があること ・数秒間の計測時間中に大きな環境光変動が発生しないこと ・計測対象表面に局所的な照明変化(水面からの反射光など)が発生しないこと ・カメラ-計測対象表面間に雨粒や雪、植物、昆虫などが入り込まないこと	・模様がなない場合は、マグネット型ターゲットを設置することで計測可能となる場合がある ・暗くて画像が映らない場合は別途照明を利用することを推奨する ・局所的な明るさの変化・ものの動きを変位として誤算出してしまうため、映り込みに注意して画角を設定する
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	・照明安定環境下、温度安定環境下で撮影すること ・雨、雪、陽炎などが映りこまないこと ・計測機器設置場所が振動しない事
	その他	・屋内撮影:十分な明るさが必要なため、照明を使用した撮影を推奨する ・屋外撮影:雨天・小雨・大雨の場合は測定は不可	-

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・OJTによる説明・講習を受け、撮影方法や注意点を習得した者	-
	必要構成人員数	・測定解析用PC操作者1名、補助者(測定合図出し等)1名 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	・作業ヤード範囲: 2m ² ・操作場所: 計測機器より1m以内	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [鋼橋/Co橋] 橋長 指定なし 全幅員 指定なし 部位・部材 [上部工、桁] 検出項目 [変位置] 設置箇所数 [1~3箇所] 計測頻度 [随時] 計測期間 [一日] <費用> 合計600,000円(データ解析、報告書作成含む)	・計測可否が不明な場合、現地踏査が別途必要 ・経費(運送費、交通費、宿泊費、日当、雑材費)は別途
	保険の有無、保障範囲、費用	・有	-
	自動制御の有無	・自動制御なし	-
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	・計測作業、解析・報告書作成作業
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	・動画像をピクセル解析	-
	その他	-	-

6. 図面



図1 計測システムの基本構成



図2 本技術を用いた桁たわみ測定イメージ



図3 本技術で撮影した画像、解析したい場所を選択(赤四角部分)

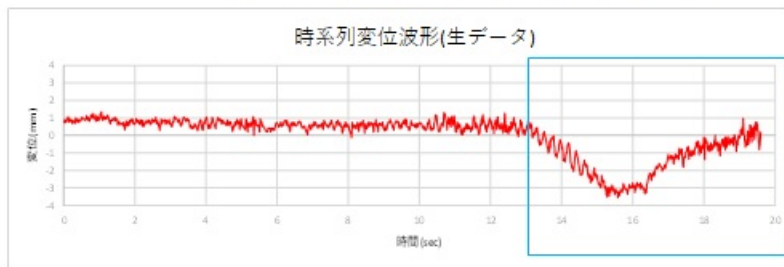


図4 図3で選択した箇所の時系列変位波形

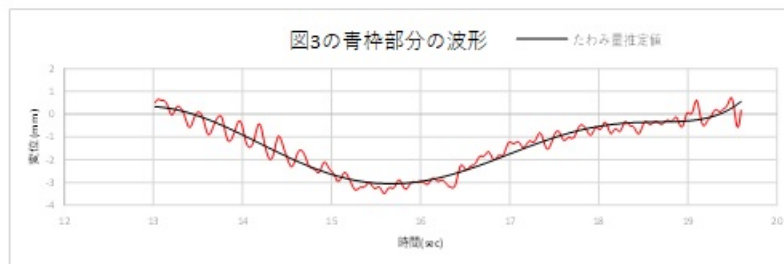


図5 最小二乗法によりたわみ量を推定した結果

1. 基本事項

技術番号	BR030049-V0023		
技術名	ドローン空撮による橋梁のたわみ計測		
技術バージョン	—	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 CORE技術研究所 (産業技術総合研究所との共同研究により開発)		
連絡先等	TEL: 03-5825-9166	E-mail: ogura.nori@coreit.co.jp	東京支店 技術部 小椋 紀彦
現有台数・基地	3台	基地	東京都台東区浅草橋3丁目8番5号 VORT浅草橋8F
技術概要	<p>ドローン空撮による橋梁のたわみ計測とは、無人航空機(以下「ドローン」という)に搭載したデジタルカメラ(以下「カメラ」という)を用いて橋梁を撮影し、検査車両の通過等に伴う橋梁のたわみを計測する技術である。</p> <p>本技術は、測定対象となる橋梁の測定したい箇所(一般的には橋の中央)に繰り返し模様がある測定マーカと、ドローンの画像ぶれを補正するために、たわみがほぼゼロの箇所(一般的には橋脚や橋台)に2つ以上の基準マーカを事前に設置する。これらのマーカをドローンカメラで撮影して、画像のぶれ補正を行い、橋梁のたわみ値を算出する点検方法である。計測タイミングとしては、状態把握や補修後の確認時などに利用できる。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚,橋台) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
		共通	㊦異常なたわみ
検出原理	画像(静止画/動画)		
検出項目	たわみ		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> 基本ベース機器: ドローン 画像撮影機材: ドローンに搭載するカメラ(動画、静止画)、SDカードに保存 格子マーカ: 一定周期の繰り返し模様がある格子マーカ(基準マーカ2枚以上、測定マーカ1枚以上) 	
移動装置	機体名称	・AUTEL EVO II Pro (Autel Robotics)	
	移動原理	<ul style="list-style-type: none"> 【飛行型】 ・自重を揚力で支えることで、平面方向、鉛直方向いずれの移動にも物理的制約が存在しないもの。 	
	運動制御機構	通信	<ul style="list-style-type: none"> 【無線通信】 ・操縦系周波数: 2.4GHz帯
		測位	・GNSS測位(全地球航法衛星システム)
		自律機能	・自律機能有、制御機構への入力はGPS-GNSS
	衝突回避機能(飛行型のみ)	・プロペラガード(水平)	
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> ・外形寸法(長さ354mm×幅424mm×高さ110mm) ・最大重量(1.2kg) 	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—	
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーなどの仮設電源が必要 ・動力源: 電気式 ・電源供給容量: バッテリー ・定格容量: 11.55V、7100mAh 		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・最大40分(外気温: 20℃の場合)		
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ: ドローンカメラを利用する。 ・格子ターゲット: 粘着テープなどによる貼り付けもしくはマグネットで固定する。 		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン: 長さ354mm×幅424mm×高さ110mm、1.2kg ・格子マーカ: 格子サイズは50mmピッチ、マーカサイズは300mm×300mm(橋のスパン長さが30mの場合を想定) 		
センシングデバイス	・1インチCMOSセンサ、20MPピクセル、6K動画撮影		
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> ・橋の中央部に1つの測定用格子マーカと、橋脚に2つ以上の基準格子マーカを設置し、これらのマーカが同時に被写体として写っている動画データをドローンカメラで記録する。記録した画像データから高精度な画像ぶれ補正を行い、橋梁のたわみ計測を解析する。 ・計測に用いる格子マーカのピッチ間隔の情報は既知であるため、キャリブレーションは不要である。 <p>具体的には、</p> <ol style="list-style-type: none"> ①一定間隔の繰り返し模様が描かれた格子マーカ(複数個)の変形前と変形後の画像をドローンカメラで撮影する。 ②画像上での2つ以上の基準マーカの中心座標を算出し、変形前後で各基準マーカの中心座標が同じ値になるように画像ぶれを補正する。 ③画像ぶれ補正後の画像に対して、下図のとおり、ローパスフィルタなどの画像処理により2次元の格子模様をx方向またはy方向の1次元の格子模様に分離する。 ④それぞれの方向の1次元の格子模様に対して、間引き処理と輝度補間を行い、同時に複数枚の位相がシフトされたモアレ縞画像を得る。 ⑤得られたこれらのモアレ縞画像の位相解析を行う。この画像処理を変形前と変形後の格子画像にそれぞれ行い、モアレ縞の位相差分布から物体の変位分布を求める。 ⑥最後に基準マーカABに対する測定マーカCの相対変位量を算出して、橋のたわみ値とする。 		
計測装置	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・格子マーカ設置のために計測部位に近接する必要がある。鉄橋の場合はマグネット、コンクリート橋の場合は粘着テープなどを使い、格子マーカを設置する。長期に渡って計測を行う場合は耐久性のある塗装を施したマーカを使用する。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・画角や撮影距離に応じて、適切な測定結果が得られるよう、格子ピッチのサイズや格子全体の大きさを適切にする必要がある。 ・実験で使用する格子マーカは防塵性・防水性と耐熱性のある素材が望ましい。 	
		<ol style="list-style-type: none"> ①橋脚および橋の中央部に設置した格子マーカをドローンより画像撮影を行う。現地計測に要する時間は、計測準備に30分、計測に5分、データ確認に10分、機器の撤去に10分程度を要する。 ドローンの飛行場所や計測時の位置関係を「6. 図面」において詳述する。 ②検出した2つ以上の基準マーカの位置からドローンの画像ぶれ補正を行う。 ③サンプリングモアレ法を用いて、基準マーカと測定マーカの変位量を算出し、基準マーカの変位量に対する測定マーカの変位量を求める。 ④橋のたわみ量を定期的にモニタリングし、計測されたたわみ量から橋梁の健全性を把握する。 	

計測プロセス	【処理フロー図】	
	アウトプット	・計測されるたわみ値(変位)の時刻歴データはcsvファイルとして保存される。
	計測頻度	・動画撮影のフレームレート: 24~30fps
	耐久性	・IP60程度
	動力	・バッテリー(7100mAh)、充電時間は90分
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・最大で40分(外気温:20℃)
データ収集・通信装置	設置方法	・移動装置と一体的な構造(ドローンカメラ)
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・解析用ノートパソコン 市販品 B4サイズ程度
	データ収集・記録機能	・記録メディア(SDカード)に保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	—
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	—
	動力	・AC100V(ACアダプタにてDC12V)
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	—

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	-	・構造物(橋梁)から離れた場所(10メートル以上)からの画像撮影を実施するため、構造物に接近する必要がない。
	標準試験値	標準試験方法 地上・自然風(2019) 実施年 2023年 ・変化量:0cm 標準試験方法 室内・人工風(2023) 実施年 2023年 ・水平方向 3Dモーションキャプチャでは、測定不可 ・鉛直方向 3Dモーションキャプチャでは、測定不可	・風速:6.6m/s(自然風) ・室内では本ドローンの飛行制御が出来ないため、室内での人工風による安定試験を中止した。
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	【飛行型】 最小所要空間寸法: 縦、横、高さ(1000、1000、-) (mm)	目視確認できる範囲
	標準試験値	・未検証	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	【飛行型】 最大距離:300m	目視確認できる範囲
	標準試験値	標準試験方法 飛行体(ドローン)(2022) 実施年2023年 ・50m	・風速:6.6m/s
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	無	
	性能値	・垂直:±0.02mm、水平:±0.02mm	・たわみ計測時はホバリングで撮影
	標準試験値	・未検証	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・相対差:1%(0.5mm)	・移動ステージによる移動量(計測値)との相対差 y方向の変位の相対差: 0.5 mm未満(1%) (※ドローンと格子マーカの距離は7m程度の室内実験、および30mの室外実験で検証)格子ピッチの1/100 (例 50mmピッチ使用時は0.5mm) ※ 天候および計測距離などの条件による	
		標準試験値	標準試験方法 活荷重たわみ(2022) 実施年2023年 ・相対差:7.7%(0.170mm)	・サンプル数5 ・平均たわみ量(真値):2.219mm	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・垂直:±0.02mm、水平:±0.02mm	・たわみ計測時はホバリングで撮影	
		標準試験値	・未検証	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 (2019) 実施年 2023年 ・フルカラーチャート識別可能	・照度:10.8~66.9kLux	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・10mmピッチから200mmピッチ	・格子マーカの大きさによる(最大1m程度) ・標準格子(50mmピッチ、A3サイズ)	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・検出率:100%	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	・格子ピッチの1/100~1/1000	・激しい陽炎がないこと
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	
性能値	・格子ピッチの1/100		-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・格子マーカのピッチの1/1000 (=0.1%)	・格子ピッチが正確に印刷されている		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

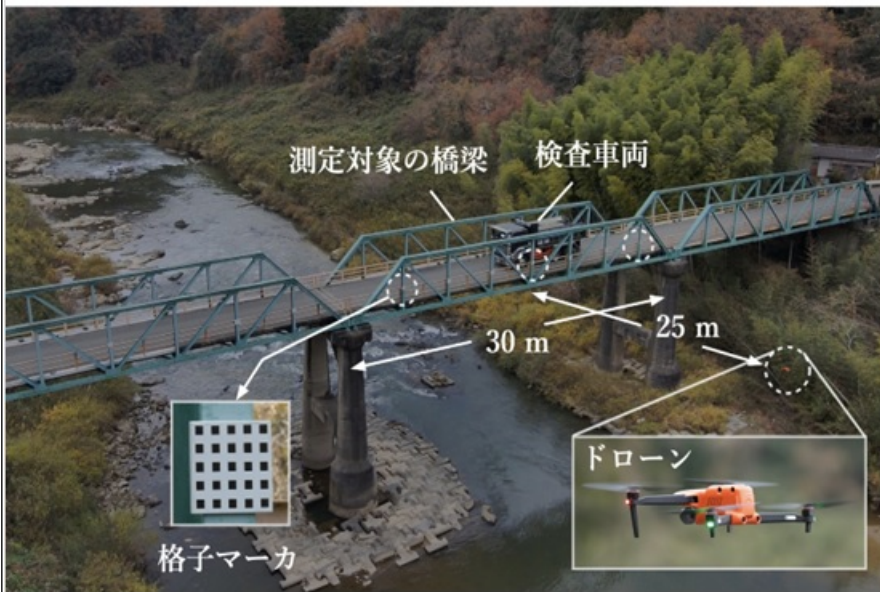
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	—	—
	桁下条件	・格子マーカを撮影できること。障害物はないことを条件とする	—
	周辺条件	・ドローンの飛行範囲内に電波塔や電線がある場合は不可 ・陽炎や霧が激しい現場環境の場合は、測定結果のばらつきが大きくなる場合がある	—
	安全面への配慮	・飛行中は操縦者および補助者による監視し、計測中は注意喚起の看板の設置	—
	無線等使用における混線等対策	・事前に無線の混線状況を確認すること	—
	道路規制条件	・格子マーカの貼り付け・撤去作業時に車道の規制が必要な場合がある。	—
	その他	・大雨、霧と陽炎がある場合は計測誤差が大きくなる可能性がある ・高所を計測する場合には、格子マーカを設置するために足場あるいは高所作業車が必要である。	—

5. 留意事項(その2)

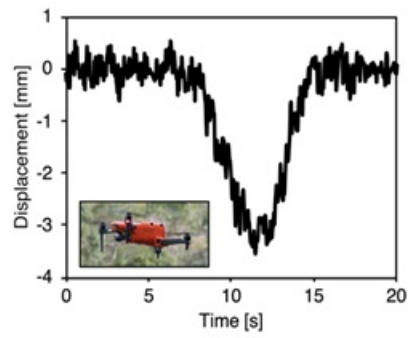
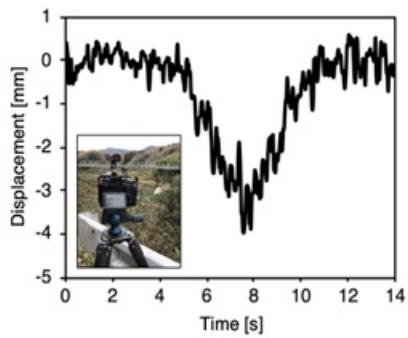
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・JUIDA無人航空機操縦技能、無人航空機安全運航管理者	—
	必要構成人員数	・現場責任者1人、操作1人、補助員1人 合計3名	・現場責任者は道路橋点検士の資格保有者
	作業ヤード・操作場所	・一般的な無人航空機の飛行環境に準ずる ・飛行体を目視確認可能な位置	—
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [3径間溶接単純桁トラス橋] 橋長 87.6 m (1径間約30m) 全幅員 5.0 m 部位・部材 [垂直材] 検出項目 [変位] 設置箇所数 [9] 計測頻度 [6回] 計測期間 [1日] <費用> 合計 300,000円(業務委託の場合)	・1径間ごとに実施
	保険の有無、保障範囲、費用	・対人・対物保証保険有	—
	自動制御の有無	・自律制御有	—
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート制なし	—
	センシングデバイスの点検	—	—
その他	・悪天候(台風・暴雨など)や第三者影響範囲(民家など)は適用不可	—	

6. 図面

・ドローン空撮による橋梁のたわみ計測の実験中の様子(2021年12月実施時)




・スパン長さが30mのトラス橋を対象に2トンの検査車両が通過時に、従来の遠方方向から三脚に固定されたカメラからサンプリングモアレ法を利用して得られたたわみ値(左図)と、ドローン空撮から画像ぶれ補正して得られたたわみ値(右図)である。



1. 基本事項

技術番号	BR030050-V0023		
技術名	IoTを活用した変位量を常時計測するモニタリング技術		
技術バージョン	Ver1.0	作成:	2023年3月
開発者	株式会社パスコ		
連絡先等	TEL: 03-5435-3560	E-mail: taodma5360@pasco.co.jp	事業統括本部 営業部 和田 智靖
現有台数・基地	1000台 (2023年4月時点)	基地	東京都目黒区下目黒1-7-1
技術概要	<p>本技術は、IoTセンサーを活用した橋梁の遠隔モニタリング技術である。橋梁に設置するセンサーとデータを管理するクラウドシステムで構成される。</p> <p>これは、センサーは橋台と橋桁端部等に設置し、遊間の変位を常時計測し状態を監視する。計測データはクラウド上のサーバーへ常時蓄積され、遊間の変位量が設定した値を超えた時には管理者へアラームを発報し通知する。</p> <p>本技術の適用場面は、措置としての監視(遠隔モニタリング)を行う場面である。</p> <p>遊間の変位をモニタリングすることで、遊間異常の他、支承部の異常、橋台の移動、橋脚の洗堀に伴う沈下・傾斜など損傷の発見につながる可能性がある。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	⑬遊間の異常
		共通	
検出原理	軸棒につながる抵抗式位置センサーによる変位量		
検出項目	2点間の変位量(伸縮量)		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ・抵抗式位置センサー ・温度センサ ・3軸加速度センサ ・LTE通信モジュール ・バッテリー 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・接着剤により固定する。(センサー設置面を清掃し接着剤により接着する。接着剤による取付が不可能な場合、取付金具により取付を行う。) 	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置:最大外形寸法(長さ約370mm×幅約80mm×高さ約50mm)、最大重量(約370g、電池含む)	
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ・抵抗式位置センサー ・加速度センサ ・温度センサ 	
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> ・抵抗式位置センサーのレバー位置により抵抗値が変化するので、その変化により距離の検出を行う。 ・加速度センサは重力加速度を、既知のバネ係数と重さを持った重りの移動距離を静電容量の変化を計測することで検出する。 ・加速度センサは故障に繋がる衝撃や、計測精度に影響を与える姿勢変化の検出に利用する。 	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・遊間の計測は1軸のため、検出したい遊間距離がその伸縮方向にあること。 ・本体を設置できる空間があり、接着箇所が平面に近いこと。平面でない場合、接着剤・パテ等で埋められる範囲であること。 ・常時水に触れている場所ではないこと。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・通行人や車両の衝突などによる力を受けないこと(通過車両による振動は可)。 ・水没しないこと。 ・日照・周辺の高温設備等による極端な温度上昇がないこと。 ・短時間のうちに強制送信を繰り返さないこと。 	
	計測プロセス	<p>①一定時間ごとに、抵抗式位置センサーで距離を検出する。この際、複数回計測を行い、例外値を除外することで、車両通過に伴う振動や荷重による変化を除外する。また、筐体内温度も同時に計測する。</p> <p>②一日一回、LTEにてサーバに計測結果を送信する。</p> <p>③サーバに蓄積されたデータを閲覧/分析し、橋梁の状態を把握する。</p> <p>④衝撃や大きな姿勢変化があった場合、①②のプロセスとは別に随時送信する。</p> 	
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・データは遊間距離と筐体内温度がサーバに保存される。csv形式にてダウンロードも可能。 ・データは設置直後から計測しており、データは翌日以降からサーバに蓄積される。ただし設置の初期状態では接着剤が硬化するまでデータが不安定なため、設置の翌日以降のデータを見ることを原則とする。 	
	計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・10分に1回計測(ただし衝撃や大きな姿勢変化は常時検出) ・保証期間は設置後5年間 	
	耐久性	IPx6	
動力	・機器内蔵バッテリーにより動作		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・約5年間以上		
計測装置	設置方法	・計測装置・通信装置は一体的な構造。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	2-5-416	
	データ収集・記録機能	・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータを、クラウドサーバ上に保存	

データ収集・通信装置	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	・通信方法 無線 ・通信規格 LTE Cat.M1
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	・VPN接続
	動力	・内蔵バッテリー ・約5年以上 (標準的環境下で計測間隔[10分] / データ送信間隔[1日1回] を続けた場合)
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	・1日144回(10分毎)の計測、1日1回の送信で約5年間

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・相対差:±0.1mm	・計測する変位が±20mm以内であること。 ・使用温度-20℃～+60℃の範囲で使用すること。	
		標準試験値	標準試験方法 遊間の異常(2020) 実施年 2023年 ・相対差:0.42%(0.02mm)	・サンプル数3 ・リファレンス:11.460mm、-7.500mm、 18.380mm ・測定値:11.49mm、-7.48mm、18.42mm	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	■変位測定 ・測定範囲-20.00mm～+20.00mm(1軸方向のみ) ■温度測定 ・測定範囲-20℃～+60℃	-	
	校正方法	-	-	-	
	感度	検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	
			性能値	■変位測定 ・最小表示値0.01mm ・測定精度±0.1mm ■温度測定 ・最小表示値0.1℃ ・測定精度±2℃	-
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	-			
	性能値	-	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	<ul style="list-style-type: none"> ・センサーを接着剤または弊社所定の取付け金具等で取付けができること。 ・センサー本体と固定部との段差が60mm以内であること。 ・火山性ガス及び塩害等によりセンサーが腐食する可能性がないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塗装やシート材等の施された橋梁へのセンサー設置は撤去時に塗装等を毀損するおそれがあるため、接着剤での取付けに留意する。
	安全面への配慮	・センサーと欄干等に落下防止対策のためワイヤーで固定する。	-
	無線等使用における混線等対策	・LTE Cat.M1の通信範囲内	-
	道路規制条件	・センサーの設置・保守・撤去時は現場状況により交通規制の必要性がある。	・交通規制の必要性は道路管理者と協議し必要に応じて警察へ届出を行う。
	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・使用温度-20℃~+60℃の範囲で使用する。 ・変位は10分間隔に一度の頻度で取得し、1日1回データをクラウドサーバーへアップロードする。 	・管理するデータ閲覧用クラウドシステムへアクセスできる。

5. 留意事項(その2)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・センサーの取付はパスコの作業員が実施する。	-
	必要構成人員数	・設置作業:現場責任者1人、センサー設置作業1名 合計2名	・設置環境、周辺の交通環境の状況により、必要に応じて補助員・保安員を別途配置する。
	作業ヤード・操作場所	・センサーの取付作業員の作業スペースを確保できること	-
	計測費用	1) 契約費用(計画・準備・打ち合わせ) 1契約につき 20万円 ※1 2) 設置費用(1橋あたり) 1台目 =10万円/台 ※2、※3 同一橋梁2台目以降 =1万円/台 3) サービス価格(センサー利用料、通信量、システム利用料、保守料を含む) 月額利用料 =1万円/月・台	※1.注記)1契約あたり (1契約で複数の橋梁へセンサー設置する契約は可能。橋梁数、センサー設置数により 2)設置費用を計上)。 ※2.足場等の設置が不要な設置環境を想定する。 ※3.北海道、沖縄、島しょ部は除く。
	保険の有無、保障範囲、費用	・保険には加入していない。	-
	自動制御の有無	・計測・送信は全て自動で行う。	・クラウドサーバー上で、アラームを発報する変位量を設定。
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	・センサーの設置、保守、クラウド提供はパスコで行う。
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有り	-
	センシングデバイスの点検	・センサー取付け後、初回の定期点検を半年後以降の点検は1年ごとに実施。	・現地にて、センサーの取付け状況・外観、周辺環境等を確認し、必要に応じて改善や障害物撤去等の措置を実施。
その他	-	-	

6. 図面

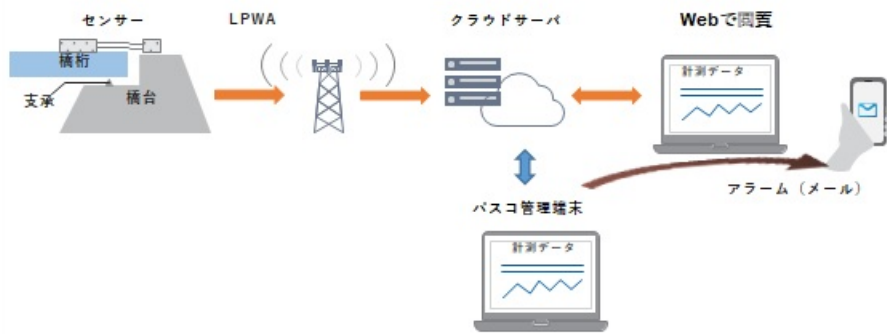


図1 技術全体の構成

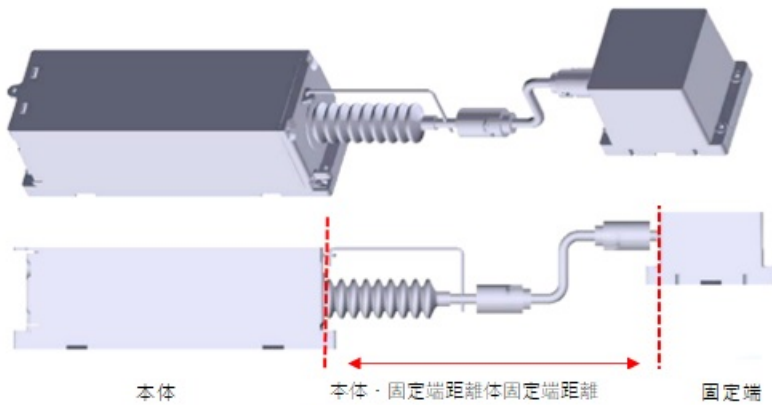


図2 センサー外観

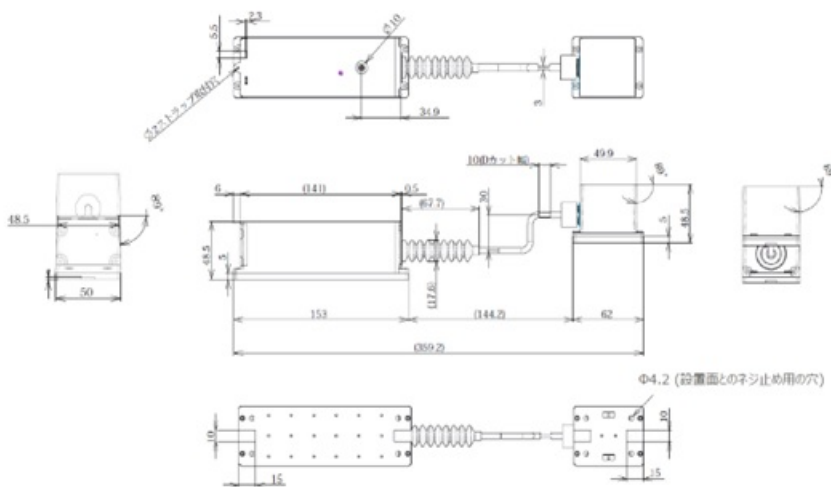


図3 センサー図面



図4 計測データの管理画面

1. 基本事項

技術番号	BR030051-V0023		
技術名	穿孔法による応力測定技術		
技術バージョン	Ver.1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社IHI検査計測		
連絡先等	TEL: 045-791-3518	E-mail: uejima1792@ihi-g.com	計測事業部 計測技術部 上島秀作
現有台数・基地	3台	基地	神奈川県横浜市金沢区
技術概要	鋼製の構造部材に小径穴(標準値: ϕ 2mm, 深さ1mm)の穿孔を行い、その解放ひずみをひずみゲージを使用して計測することで、穴周辺に作用する内在応力(死荷重および活荷重による応力および残留応力などによって部材に内在する全応力)を評価する手法である。ASTM(American Society for Testing and Materials)規格に則り解析することで、深さ方向の内在応力分布を評価する。		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚) 支承部(支承本体)	
	損傷の種類	鋼	-
		コンクリート	-
		その他	-
		共通	-
検出原理	ひずみ		
検出項目	内在応力		

2. 基本諸元

計測機器の構成		(1)穿孔装置 (2)ひずみ測定器 (3)電子制御システム、 (4)データ処理PC (1)～(4)は有線にて接続される。穿孔装置に付属する電動モーターに取り付けられた超硬ドリルで対象物を穿孔する。また、穿孔装置のステッピングモーターが電子制御システムによって制御されることで正確に掘り進むことが可能である。穿孔により得られた解放ひずみはひずみ測定器を通してPCへ送られる。このPCはデータ収集だけでなく、電子制御システムの制御も兼ねる。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
設置方法	(1)穿孔装置:対象物が鋼材の場合、穿孔装置の足部分の磁石で固定することができる。磁力で固定ができない場合は、足部分と対象物を接着剤で固定する。 (2)ひずみ測定器、電子制御システム:穿孔装置、PCの近傍に置き、ケーブルを介して接続される。		
外形寸法・重量(分離構造の場合)	・穿孔装置:最大外形寸法(長さ170mm×幅150mm×高さ170mm)、最大重量(4.6kg) ・ひずみ測定器:最大外形寸法(長さ52.5mm×幅200mm×高さ121mm)、最大重量(850g) ・電子制御システム:最大外形寸法(長さ245mm×幅220mm×高さ140mm)、最大重量(5.4kg)		
センシングデバイス	・ひずみゲージ 主に、東京測器研究所社製 型番 FRS-2 3軸 ・ひずみ測定器 HBM社製 QuantumX 型番 MX440B		
計測原理	・計測対象場所にひずみゲージを貼付け、ひずみゲージ中心を段階的に穿孔する。穿孔によって、穿孔位置に内在する応力が解放されることによるひずみ(解放ひずみ)を取得する。取得した解放ひずみをASTM規格に則り解析することで各深さの内在応力を評価する。 ・キャリブレーションは穿孔開始直前のひずみ値をゼロとすることで行う。 ・本技術は穴を開けるため、全く同じ位置の計測は不可能である。		
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・ひずみゲージ貼付けのために計測部位に近接できる必要がある。また、計測部位から計測装置(測定器)までケーブルを配線する必要がある。 ・鋼材のひずみゲージ貼付箇所は塗装などを剥がして鋼材素地を露出する必要がある(ひずみゲージに対して穿孔するため、コーティング材塗布の必要なし)。 ・母材とひずみゲージの密着性を図るため、湿潤状態ではゲージ貼付作業はできない(測定は雨天や降雪時は装置一式にシートをかければ可能)。 ・母材とひずみゲージの密着性を図るため、ゲージ貼付け面が平らであること。 ・部材端部や異種材料を跨いだ計測は不可。 ・計測箇所はひずみゲージ貼り付けるため15mm×15mm以上の範囲が必要(詳細はひずみゲージサイズによる)		
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・ひずみ計測にあたり計測精度向上のため、S/N比の向上に留意する必要がある。特に、ノイズ低減のために、アースを取る場所に留意が必要である。 ・温度変化による見かけひずみが生じるため、鉄鋼の線膨張率に近いひずみゲージの使用が望ましい。 ・計測精度向上のため、可能な限り計測位置を垂直に穿孔する必要がある。 ・応力解析時の補正のために実際の穿孔穴径を計測することが望ましい。		
計測装置	①PCに穿孔条件(穿孔深さ、ドリル送り速度等)を入力する。 ②鋼材に貼り付けたひずみゲージに対して、穿孔装置により穿孔を行う(自動)。 ③穿孔による解放ひずみはひずみ測定器でAD変換され、PCに送信される(自動)。 ④各深さに対応する解放ひずみ値がPCに収録され、同時にPC画面に解放ひずみグラフが描かれる(自動)。 ⑤目標深さまでの穿孔が完了したことを確認後、穿孔穴径をダイヤルゲージを使用して測定する。 ⑥PCに穿孔穴径を入力して計測が完了となる。 ⑦計測データをASTM規格に基づき解析し、各深さの内在応力値を求める。		
計測プロセス	【処理フロー図】		

		自動処理	手動処理
		<p>The diagram illustrates the system architecture. On the left, under 'Automatic Processing', a '穿孔装置' (hole-making device) is connected to '穿孔装置の制御' (control of hole-making device) via '通信ケーブル' (communication cable). The control unit is connected to '電子制御システム' (electronic control system). Below this, a 'ひずみゲージ' (strain gauge) is connected to 'ひずみ測定器' (strain gauge) via 'リード線' (lead wire). The strain gauge is also connected to 'A/D変換' (A/D conversion). On the right, under 'Manual Processing', a 'データ処理部 (PC)' (data processing unit) is shown. It receives data from '穿孔装置の制御' and 'A/D変換' via '通信ケーブル' and 'LANケーブル' (LAN cable) respectively. The PC performs '計測条件設定' (measurement condition setting), 'データ収集・グラフ化' (data collection and graphing), '応力解析' (stress analysis), and '記録保存' (recording and saving).</p>	
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> ・計測される各穿孔深さに対応する解放ひずみ、穿孔穴径はDATファイルにてPC保存される。保存されたデータをASTM規格に基づき解析し、各深さの内在応力値をアウトプットする。 ・得られる情報は、平面応力の3方向成分、最大最小主応力、最大主応力方向、ミーゼス応力など。 ・現地計測に要する時間は、計測準備に60分、計測に30分、データ確認に15分、機器の撤去に30分程度を要する。 	
計測頻度		<ul style="list-style-type: none"> ・1回の計測で深さ方向に20分割(標準深さ1mm、1ステップ0.05mm)して解放ひずみを計測する。 ・性能保証期間は装置校正有効期間と同等。 	
耐久性		<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ測定器:IP20 (EN 60529) 	
動力		<ul style="list-style-type: none"> ・穿孔装置、電子制御システム:AC100V ・ひずみ測定器:DC24V 	
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)		-	
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> ・PC:穿孔装置、ひずみ測定器、電子制御システムの近傍に置き、ケーブルを介して接続される。 	
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・最大外形寸法(長さ375mm×幅265mm×高さ270mm)、最大重量(2.2kg) 	
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ測定器から計測したデータをLANケーブル経由でPCに伝送しハードディスクに保存。 ・データはDATファイルにて保存され、計測中に通信が断絶した場合でも、その時点までのデータが保存される。 ・DATファイルは専用の解析ソフトウェアで処理する。 	
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-	
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-	
	動力	AC100V	
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-	

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	[システム一式の計測精度] ・引張応力が100MPaのとき±7%、200MPaのとき±6%	・計測位置の内在応力が対象とする材料の降伏応力の80%未満で定量的な結果が得られる(ASTM規格準拠) ・本システム一式の計測精度は社内試験で検証済み。 ・SM490材(厚さ10mm)の一軸引張試験により、引張試験機のロードセル値と本システムの計測値を比較した。	
		標準試験値	未検証	-	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・降伏応力の80%以内	・定量的評価では対象とする材料の降伏応力の80%以内ASTM規格に準拠 ・穿孔部分が均質・等方材料であること	
	感度	校正方法	・ひずみゲージ データシートによる ・ひずみ測定器 ひずみ校正器による		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	-			
	性能値	-	・ひずみ値±1×10 ⁻⁶ の分解能を有するひずみ測定器を使用する(ASTM規格に準拠) ・ひずみ測定器は分解能24bitコンバータ内蔵		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	・計測対象場所に計測員がアクセスできること(作業足場、高所作業車など使用可)	-
	安全面への配慮	・穿孔中の高速回転ドリルによる受傷注意 ・飛散した切粉による受傷注意	安全保護メガネの利用推奨
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	・橋梁自重(死荷重)測定の場合は車両を載せないこと	車両が載った場合は「死荷重+活荷重」となる
	その他	ひずみ測定器 ・気温-20~+65℃ ・相対湿度5~95%(結露がないこと) ・少雨時は適用可(装置にシートをかける)	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・ST(ひずみ)レベル2以上 (社団法人 日本非破壊検査協会)	-
	必要構成人員数	・計測員2名	・安全な場所では1人でも計測可能
	作業ヤード・操作場所	・作業ヤード範囲: 4m ² ・操作場所: 計測機器より1m以内	・計測開始後は自動計測するため、離れていても問題ない
	計測費用	1日作業・2か所測定の場合 ・調査費用計 500,000円 (外業:200,000円、内業:300,000円) ・機器経費:100,000円 合計 600,000円	・移動費は含まない
	保険の有無、保障範囲、費用	・保険には加入していない	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート制あり	-
	センシングデバイスの点検	・ひずみゲージ 抵抗と絶縁の確認(都度) ・ひずみ校正器による(1回/年)	-
	その他	・連続した非常に大きな衝撃が生じる現場では対応不可 ・穿孔位置が曲率の大きい場所では対応不可	-

6. 図面

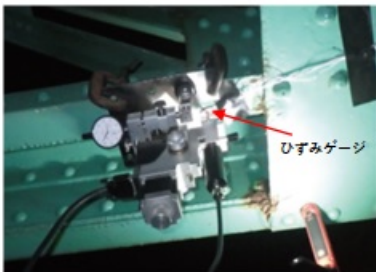
◆穿孔装置



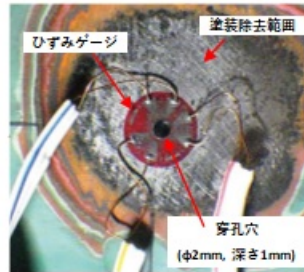
◆システム一式



◆穿孔装置設置状況 (上向き)



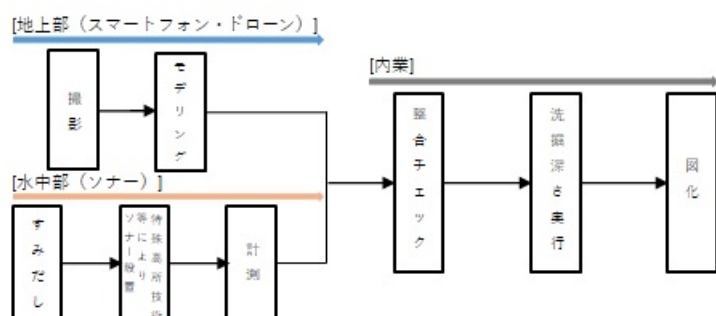
◆ひずみゲージ貼付け状況



1. 基本事項

技術番号	BR030052-V0023		
技術名	ドローン・スマホ・ソナーにより橋梁全体の状態・形状計測技術		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	株式会社A.L.I. Technologies / 株式会社特殊高所技術/PRSPIT		
連絡先等	TEL: 03-6409-6761	E-mail: doboku@ali.jp	エアモビリティ第三本部
現有台数・基地	ドローン12台/ソナー1台(基地:東京/大阪/京都/名古屋/福岡/三重)	基地	東京都港区芝公園3-1-8芝公園アネックス6F
技術概要	<p>本技術は、スマートフォン、ドローン、水中ソナーを用いて橋梁全体の状態を把握する技術である。</p> <p>地上部は、スマートフォン及びドローンを用いて損傷箇所の画像を取得する。</p> <p>水中部は、ソナー技術を用いて反射波映像で基礎部、河床の形状を把握する。</p> <p>また、水中部のソナー計測結果と下部構造位置の整合をとるため、ドローンによる3次元モデルを構築する。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,縦桁,床版) 下部構造(橋脚,橋台,基礎)	
	損傷の種類	鋼	①腐食 ③ゆるみ・脱落 ⑤防食機能の劣化
		コンクリート	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑨抜け落ち ⑪床版ひびわれ
		その他	⑬遊間の異常 ⑭路面の凹凸 ⑮舗装の異常 ⑯支承部の機能障害
		共通	⑩補修・補強材の損傷 ⑰定着部の異常 ⑲変色・劣化 ⑳漏水・滞水 ㉑異常なたわみ ㉒変形・欠損 ㉓土砂詰まり ㉔沈下・移動・傾斜 ㉕洗掘
検出原理	スマートフォン・ドローン:静止画/動画 水中ソナー:超音波		
検出項目	部位・部材の損傷、形状寸法		

2. 基本諸元

計測機器の構成		[地上部] ・スマートフォン ・ドローン [水中部] ・移動装置:計測器をポールに設置して人力で移動 ・計測装置:ソナー端子 ・データ収集・通信:SDカードに保存(Wifi通信により、計測中の画像はタブレットに映し出される)	
移動装置	機体名称	[ソナー] ローランス社製 ActiveTarget Live Sonar	
	移動原理	[人力型] ・スマートフォン,水中ソナー:人が計測装置を持ち運びながら計測を行う。 [飛行型] ・併用するドローンは、手動飛行および自動飛行により下部工、基礎周辺を飛行する(機体は任意である)。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	・ソナー計測器:ソナー取り付けポール長さ2m ・ソナー本体(背負いタイプ) :外形寸法(長さ50cm×幅40cm×高さ20cm)、重量(15kg)	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	・電源供給容量:バッテリー 12V/20Ah	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・240分(外気温:+5℃~20℃の場合)		
計測装置	設置方法	・対象物及び損傷部を直接計測できる位置で計測する。	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-	
	センシングデバイス	[ソナー(水中部)] ・ローランス社製 ActiveTarget Live Sonar	
	計測原理	[ソナー(水中部)] ・ソナー端子を水中に沈め、超音波を発信し、受信した反射波により形状を計測する。	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	[ソナー(水中部)] ・濁水中での計測可能 ・計測可能な水深は、50cm以上とする。 ・気泡、魚影に超音波が反射するため反射波が乱れる。 ・超音波を反射しない躯体(鋼板)は計測不可	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・ソナー端子が躯体の計測面に対して、垂直に設置されると、反射波が明瞭になり、斜めに入ると反射波に幅ができるため、計測値に差異があるため、端子を回転させて反射波が明瞭となる位置を確認する。	
	計測プロセス	①橋脚・基礎(躯体)の計測位置に目印をつけ、それをめがけてソナーの端子を水中に入れる。 ②反射波形をタブレット上のライブ画像で確認し、反射波形状を画像として取得する。 ③ドローン等で橋脚全体を3Dモデル化(点群化)し、ソナー計測した位置と水面の位置関係の整合をとる。 ④ソナーの反射波を図面上に重ね合わせ、人力でCAD等で洗掘ラインを可視化する。  <p>図.計測プロセス</p>	
	アウトプット	[スマートフォン,ドローン(地上部)] ・画像/動画 画像処理による、3次元モデル(点群データLas等) [ソナー(水中部)] ・画像	
	計測頻度	・計測時毎1回	
	耐久性	・高防水・防塵(規格未公開) 2-5-433	
動力	・バッテリーより専用ケーブルで供給		

	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・240時間 (外気温:5℃~20℃)
データ収集・通信装置	設置方法	・ポールに取り付けたソナー端子を水中に沈める。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	-
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	-
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 洗掘・形状寸法(2021) 実施年 2023年 ・相対誤差:0.083mm(濁度2.6度) ・相対誤差:0.126mm(濁度87.8度)	・サンプル数:24(濁度2.6度) ・サンプル数:24(濁度87.8度)	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・対象面からの離隔50cm~30m範囲	-	
	感 度	校正方法	・代理店によるサポートによる		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
	分解能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	・桁下は人が進入できる箇所	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	・人が橋脚からアプローチする場合、特殊高所技術の安全管理による
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

5. 留意事項(その2)

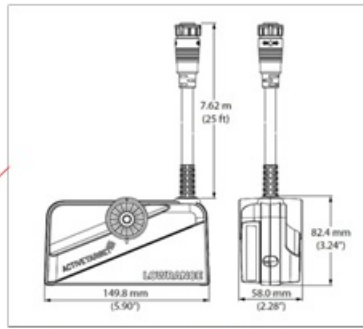
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・操作技術を習得した者、点検従事者	-
	必要構成人員数	・現場責任者1人、操作1 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	-	-
	計測費用	【鋼橋/コンクリート橋】 橋長50m 幅員20m [橋面積 1000m ²] 橋梁点検 1日作業 +洗掘調査 現場4名 費用:700,000円/日	・橋梁点検業務に付随して実施 ・洗掘調査のみの実施場合は計測条件等を確認が必要
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	・橋梁点検業務に付随して実施
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	-	-
その他	-	-	

6. 図面

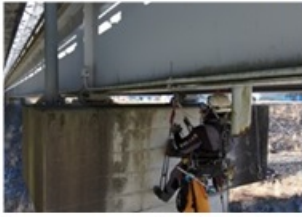
	ドローン(例)	スマートフォン	ソナー
機器	米国: Skydio社製 SkydioS2+ 等	iPhone12以降モデル (LiDAR機能付き)	米国: LOWRANCE社 GARMIN社/HUMMIN BIRD社等 LIVE SONAR
寸法	L229×W274×H126(mm)	L146×W72×H8(mm)	L150×W40×H60 (mm)



【機器一覧】



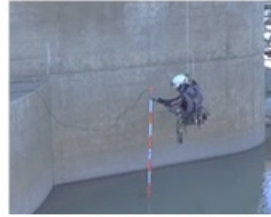
【ソナー端子(受発信子)】



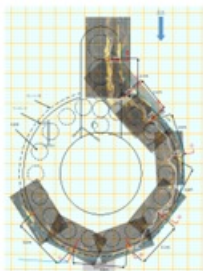
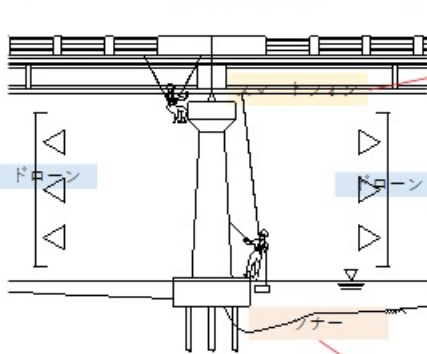
【スマートフォン支承部撮影状況】



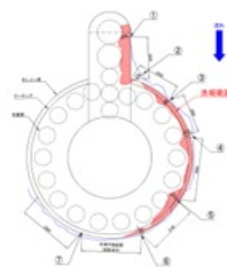
【ドローン】



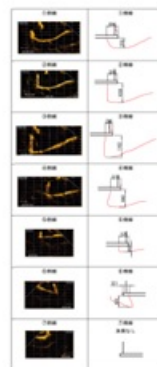
【ソナー基礎部の洗堀調査状況】



【図面との照合】



【図化】



【図化】

1. 基本事項

技術番号	BR030053-V0023		
技術名	ワイヤレスモニタリングシステム		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	グレートスタージャパン株式会社		
連絡先等	TEL: 045-228-8677	E-mail: s.nakamura@gresatstarjapan.co.jp	営業部 中村聡
現有台数・基地	2台	基地	神奈川県横浜市中区山下町223-1
技術概要	<p>本技術は、3軸の傾斜センサー等を用いて遠隔で下部構造(橋脚)の傾斜角を計測する技術である。 橋梁等の構造物にワイヤレスセンサーを設置することで、内蔵3軸の傾斜センサーによる角度値、レーザー距離計による距離値ワイヤレスセンの観測データをワイヤレスセンサーでクラウドに転送し、データをさまざまな場所で確認できるシステムである。本技術で採用する機種には、3軸の傾斜センサーだけのTTSと距離計機能がついた3軸の傾斜センサーODSの2機種がある。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,横桁,床版) 下部構造(橋脚,橋台)	
	損傷の種類	鋼	
		コンクリート	
		その他	
	共通	⑳異常なたわみ ㉑変形・欠損 ㉒沈下・移動・傾斜 ㉓洗掘	
検出原理	慣性計測装置(IMU)		
検出項目	傾斜角		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> ・センサーを橋脚等に固定 ・計測装置:3軸傾斜センサーまたは距離計付3軸傾斜センサー ・4Gゲートウェイによりデータをクラウドに送信 ・PCやスマートフォンにて角度変化、距離変化を観測 	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	-	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	-	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	・移動なし	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・計測装置:最大外形寸法(長さ90mm×幅90mm×高さ90mm)、最大重量(0.6kgf)	
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ・Senseive社製 3軸傾斜センサー ・Senseive社製 レーザー距離計 	
	計測原理	・橋脚等に3軸傾斜センサー設置し、傾斜の変化を計測する。変化量を観測することで、事故、災害予測が可能 またレーザー距離計付のセンサーでは同時に変位の年化量も計測可能	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・移動通信(4G等電話回線)を有するエリア ・移動体などの変位振動が大きい場所には適さない 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> ・設置時にセンサー確実に固定する必要がある ・温度変化による膨張、収縮のひずみが生じるが、同時に温度データをモニタリングすることで正常、異常の判断する。 	
	計測プロセス	<p>①橋脚等に設置したセンサの傾斜角及び距離値をゲートウェイに送信 ②ゲートウェイからデータをクラウドに転送上のWeb ③PCからWebモニターにて傾斜角及び距離値を確認 ④継続的にモニタリングすることで、データの変化を観察 ⑤閾値を設定することで、アラートによる警告が発動される</p> 	
	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測される傾斜角または距離値のデータはWebモニター上にグラフ化され、また各数値はcsvファイルにて出力可能。 ・機器の設置に要する時間は通信設定を含めて1~2時間程度。PCで確認可能 	
	計測頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・データ取得間隔は最低1秒から設置可能。TTSは15年(1測定/30min)、ODSは10年(1測定/30min) ・1回/30分でTTSは15年、ODSは10年の電池寿命。電池交換可能 	
	耐久性	・IP68	
動力	・内蔵リチウムイオンバッテリー		
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・TTS(3軸傾斜センサー)は15年(1測定/30分)、ODS(距離計付3軸傾斜センサー)は10年(1測定/30分)		
データ収集・通信装置	設置方法	・センサー周辺(最大300m)に4Gゲートウェイを設置。センサーと4Gゲートウェイは2.4G無線で接続	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・4Gゲートウェイ:最大外形寸法(長さ395mm×幅120mm×高さ65mm)、最大重量(1.2kgf)	
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・計測される傾斜角または距離値のデータはWebモニター上にグラフ化され、また各数値はcsvファイルにて出力可能。 ・データの取得間隔は最低1秒から設定可能 	
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・通信方法 4G ・通信規格 3.4 - 3.6GHz / 698 - 806MHz ・通信速度 平均150Mbps ・通信距離 4G受信範囲 	
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・Microsoft Azureクラウド使用(ISO/IEC2701準拠) <p style="text-align: center;">2-5-441</p>	
	動力	・ソーラパネルまたはAC電源	
	データ収集・通信可能時		

間(データを伝送し保存する 場合)	制限なし
----------------------	------

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	ODS 距離計 ・再現性(精度): $f \pm 0.15\text{mm}$ TTS 3軸傾斜センサー ・再現性(精度): $\pm 0.0005^\circ$ ($\pm 0.009\text{mm/m}$)	-	
		標準試験値	標準試験方法 洗堀 傾斜角(2020) 実施年 2023年 ・相対差: 0.0785°	・サンプル数3 ・リファレンス値: $-3.00, -5.90, 4.40^\circ$ ・計測値: $-2.94, -6.00, 4.47^\circ$	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・3軸傾斜センサー: 全方向角度計測可能 ・距離計の計測範囲: $40\text{mm} \sim 150\text{m}$	-	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		S/N比	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値		-	-	
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・3軸傾斜センサー: 0.0001° ($\pm 0.0018\text{mm/m}$) ・距離計: 0.1mm	-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

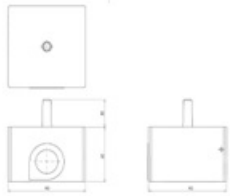
5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	・水中の観測は適さない	-
	周辺条件	・移动通信(4G等電話回線)を有するエリア	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	-
	その他	-	-

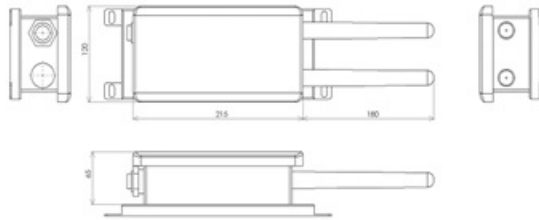
5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	-	
	必要構成人員数	・現場責任者1人、操作1人 合計2名	
	作業ヤード・操作場所	・作業員がセンサーおよび4Gゲートウェイを設置可能なエリア	
	計測費用	<p>【橋梁条件】① 橋種 [コンクリート橋/鋼橋] 橋長 35m 全幅員 10 m 部位・部材 [橋桁] 検出項目 [傾斜角] 設置箇所数 [4箇所(センサー4台、4Gゲートウェイ1台)] 計測頻度 [30分] 計測期間 [1年] <費用> 合計 1,265,000円 (保守含む)</p> <p>【橋梁条件】② 橋種 [コンクリート] 橋長 35m 全幅員 10 m 検出項目 [変位] 設置箇所数 [3箇所] 計測頻度 [1回/月] 計測期間 [1年] <費用> 合計710,000円 (保守含む)</p>	
	保険の有無、保障範囲、費用	・保険には加入していない	
	自動制御の有無	・自律制御無	
	利用形態:リース等の入手性	・購入およびレンタル	レンタル先:計測ネットサービス株式会社 〒114-0013 東京都北区東田端2-1-3 天宮ビル6・7F TEL:03-6807-6466(代表)
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート制あり	
	センシングデバイスの点検	-	
	その他	-	

6. 図面



ODS/TTS



4Gゲートウェイ

TTS (3軸傾斜センサー)

5年 1年 15年

3軸傾斜センサー	
分解能	0.0001° (0.0018mm/m)
再現性	±0.0005° (±0.009mm/m)
バッテリー寿命	1~15年
防塵、防水	IP68
設置	全方向

ODS (距離計測機能付き3軸傾斜センサー)

バッテリー寿命 10年

距離計	
分解能	0.1mm
再現性	±0.15mm
測距範囲	0.04~150m

センサーが設置面から傾いた時、角度に変化が生じることでスレを検知します。

+

取付用アダプター

Point

あらゆる形状・環境において360°全方位へ取付可能！

対象物までの距離を計測し、傾斜変動による歪みを検出します。

変位計、伸縮計、ひずみ計、圧力計、水位計、ひじれ、土圧、水分計、亀裂、地層り計、温度計など、各種センサーと連携できます。

1. 基本事項

技術番号	BR030054-V0023		
技術名	映像解析による非接触固有振動計測技術		
技術バージョン	-	作成:	2023年3月
開発者	計測検査株式会社		
連絡先等	TEL: 093-642-8231(代表)	E-mail: kkeigyo@keisokukensa.co.jp	担当部署 営業部(代表)
現有台数・基地	1台	基地	福岡県北九州市八幡西区陣原
技術概要	<p>本技術は、動画映像を用いた遠隔・非接触の計測手法により、車両が橋梁上を通過する際に桁に発生する振動加速度を計測・可視化するものである。</p> <p>本技術の特徴としては、ハイスピードカメラで動画映像を撮影するだけで、ターゲット等を設置しなくても任意の計測対象表面の振動加速度を遠隔・非接触で計測が可能である。</p>		
技術区分	対象部位	上部構造(主桁,床版)	
	損傷の種類	鋼	-
		コンクリート	-
		その他	-
		共通	-
検出原理	動画像		
検出項目	振動数/周波数スペクトル		

2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> 計測装置: ハイスピードカメラ、カメラ三脚 データ収集・通信: 有線(制御・解析PCにデータ収集) 必要に応じて、対象箇所の照度不足を補うための照明装置を用いる。 	
移動装置	機体名称	IRIS M	
	移動原理	<p>【設置型】</p> <ul style="list-style-type: none"> 本計測機器は計測装置とデータ収録・通信が一体構造であり、人力で調整、設定を行い、地面に据え置いて計測を行うものである。 	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能(飛行型のみ)	-
	外形寸法・重量	-	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-	
	動力	動画像をピクセル解析	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	-		
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> 本測定機器は、カメラを三脚の雲台上部に1/4インチねじで固定し、測定対象物が観察できる場所に三脚を設置して計測する。 振動によるブレの低減の為に、三脚の脚に免振ゲルパッドを敷き計測する。 カメラレンズは、測定対象に合わせて必要なスペックのものに付け替えが可能である。 	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	計測装置: カメラ本体(レンズなし) 最大外形寸法(長さ75mm×幅43mm×高さ35mm)、最大重量(0.9kgf)	
	センシングデバイス	<p>【カメラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> FLIR社 ハイスピードカメラ <p>【レンズ】</p> <ul style="list-style-type: none"> フォトン社 Cマウントレンズ <p>【データ測定収録PC】</p> <ul style="list-style-type: none"> DELL Latitude 5420 Rugged <p>【レーザー距離計】</p> <ul style="list-style-type: none"> BOSCH GLM400C 	
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> 動画像から計測対象表面の模様を追跡、画面内の各点の動き分布をMotion Amplification®softwareによって解析し、人の目では見えない小さな動きを増幅・可視化する。また、動画像内の任意範囲を選択しピクセル解析することで、対象物の振動加速度を算出し、加振試験を行った際の振動振幅、固有振動周波数を算出する。 	
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> 焦点距離6mmのレンズを用いて撮影した場合、最大画角は1,920×1,080mmの領域が撮影され、10mの距離から撮影した場合、加速度の分解能は0.002m/sec²となる。 撮影距離は、撮影前にレーザー距離計などで予め計測する。 照度が不足する場合は照明装置を使う。地面から桁までの距離、撮影対象の周辺環境(日照の影響の有無など)、撮影時間等を考慮して機材を選定して測定を行う。 設置場所については、計測対象となる桁下面を撮影できる位置で、かつ計測時にカメラが揺れないような強固な場所を選定する。 雨、陽炎、日照変動(明るさ変動)の影響を受けにくい環境で撮影を行うよう計画する。 	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> 計測対象表面の特異点を画像処理により変位算出するため、計測対象表面に特異点が必要である。 光沢のある表面の場合、ハレーションが起きて測定困難となる可能性がある。 計測対象表面に対し正対していない場合、対象までの距離と角度が不正確だと誤差の要因となる。計測対象表面に対して±20°以内で計測することを推奨する。20°以上の計測となる場合、解析結果に補正計算を行うことで計測可能である。 	
	計測プロセス	①事前準備	<p>橋梁の位置、種類、構造、周辺の交通量など基本情報・設計情報を調査する。機材の設置位置及び設置位置からの対象物までの距離、画角、地形、照明の要否、撮影条件などの調査をする。以上を踏まえ、撮影計画を立てる。</p>
		②機器設置	<p>撮影計画に基づき、機器を設置する。三脚にカメラ・レンズを取り付けて、計測対象に向け固定する。カメラと測定解析用PCをUSB3.0screw look cableで接続する。</p>
		③撮影条件設定・キャリブレーション	<p>測定解析用PC内のMotion Amplification®softwareでカメラ向き、画角、フォーカスを合せ、レンズの焦点距離を確認する。次に、Motion Amplification®softwareでPC画面上の設定画面より明るさ、撮影フレームレート、露光時間、撮影時間を設定する。最後に、レーザー距離計を用いてカメラと対象物との距離を測定し、その値を入力する。これにより、キャリブレーションが完了となる。</p>
		④撮影・データ保存	<p>作業者は、Motion Amplification®softwareを操作し、撮影を開始し、任意の計測後、撮影を終了する。この時、撮影開始のタイミング及び測定時間の打合せを事前しておく必要がある。測定時間を打合せにて決定し、測定終了した後データの保存を行う。</p>
	⑤データ解析	<p>測定解析用PCのMotion Amplification®softwareより、解析したいデータを読み込み、解析実施箇所を打ち合わせ解析を行う。</p> <p style="text-align: center;">2-5-449</p> <p>Motion Amplification®softwareでデータを読み込み、表示された映像内の解析したい箇所を範囲選択すると、自動で時系列波形と周波数スペクトラム波形が作成される。</p>	

		<p>作成された時系列波形および周波数スペクトラム波形はMotion Amplification®softwareにより、縦軸の成分を変位、速度、加速度と選択が可能であり、選択した成分の時系列波形を表示させることが可能である。表示した時系列加速度波形、周波数スペクトラム波形をcsv形式に変換して数値データを得る。</p> <p>⑥映像の編集 撮影動画を、フィルター処理や明るさ調整、再生スピード調整などの追加解析を行うことで視覚的に振動を確認でき、測定対象物の挙動把握を行うことができる。映像はMP4形式にも変換可能である。</p> <p>・現地計測に要する時間は1時間程度であり、内訳として機器設置、設定に20分、計測およびデータ確認に30分、機器の撤去に10分程度を要する。</p>
	アウトプット	・撮影された映像はMotion Amplification®software形式で保存される。Motion Amplification®softwareでファイルを読み込み、任意の場所を選び時系列波形、周波数スペクトル波形をcsv形式で保存が可能である
	計測頻度	・計測頻度は、1試験終了の後、測定対象物の振動が収まってから次の試験を行うことを推奨する ・再現性確認のために、1試験につき3回以上の測定を推奨する
	耐久性	・水濡れ厳禁
	動力	・カメラは測定解析用PCバッテリーより供給
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・6時間(測定解析用PCバッテリー供給の時、外気温:25℃、30分に1回計測の場合)
データ収集・通信装置	設置方法	・データ収集・処理部となる測定解析用PCは、計測装置とUSB3.0screw lock cable接続となる ・測定解析用PCはPC用三脚の上に設置する
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・データ収集・通信装置:最大外形寸法(長さ352mm×幅249mm×高さ37mm)、最大重量(2.22kgf)
	データ収集・記録機能	・撮影された映像は測定解析用PCに保存される。測定終了時に測定データを保存するか否を選択する必要がある。Motion Amplification®softwareで保存したファイル呼びだし処理を行う。処理を施すと処理済みデータはその都度保存が可能である。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・測定解析用PCは、PC内臓バッテリーで6時間の撮影計測が可能である。 ・計測作業が長時間に及ぶ場合は、AC出力ポータブル電源から給電を行いながら撮影計測することが可能である。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	・ファイル保存先のディスク空き容量に依存する。なお、1データファイルの容量は、測定時間、フレームレートによって異なる。

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	・相対差:0.95%(0.10Hz)	・圧電式加速度計による本技術測定値との相対差 周波数相対差:0.10Hz(0.95%) 撮影距離:1m 計測回数:3回 加振周波数:10Hz 撮影フレームレート:120fps	
		標準試験値	標準試験方法 剛性評価(2020) 実施年 2023年 ・相対差:1.11%(0.0585Hz)	・サンプル数:5 ・リファレンス値:5.04~5.74Hz ・計測値:4.98~5.67Hz	
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-		
		性能値	-	-	
		標準試験値	-	-	
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無		
		性能値	・測定周波数:0~90Hz(180fps撮影時) ・最大測定周波数:650Hz(低解像度、 1,300fpsで撮影時)	・Fmax(測定可能な最大周波数)はfps(フレーム レート)によって決定。 ※fps:1秒間あたりの画像(フレーム)数 撮影映像データから算出されるFFT解析周波数 範囲の最大Fmaxは $Fmax(Hz)=fps \div 2$	
	感度	校正方法	-	-	
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-	
			性能値	-	-
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	-		
性能値		-	-		
分解能	性能確認シートの有無 ※	無			
	性能値	・分解能:0.002(m/sec ²)	【6mmのレンズを用いて、10mの距離から撮影した 場合】		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	・桁下は人が進入できる箇所であること	・長さ700mmの三脚を持って移動できること ・桁下に三脚を据え付けできること(水などがある場合は設置不可)
	周辺条件	・計測対象表面に追跡可能な模様があること ・数秒間の計測時間中に大きな環境光変動が発生しないこと ・計測対象表面に局所的な照明変化(水面からの反射光など)が発生しないこと ・カメラ-計測対象表面間に雨粒や雪、植物、昆虫などが入り込まないこと	・模様がない場合は、マグネット型ターゲットを設置することで計測可能となる場合がある ・暗くて画像が映らない場合は別途照明を利用することを推奨する ・局所的な明るさの変化・ものの動きを変位として誤算出してしまうため、映り込みに注意して画角を設定する
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	-	・照明安定環境下、温度安定環境下で撮影すること ・雨、雪、陽炎などが映りこまないこと ・計測機器設置場所が振動しない事
	その他	・屋内撮影:十分な明るさが必要なため、照明を使用した撮影を推奨する ・屋外撮影:雨天・小雨・大雨の場合は測定は不可	-

5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	・OJTによる説明・講習を受け、撮影方法や注意点を習得した者	-
	必要構成人員数	・測定解析用PC操作者1名、補助者(測定合図出し等)1名 合計2名	-
	作業ヤード・操作場所	・作業ヤード範囲: 2m ² ・操作場所: 計測機器より1m以内	-
	計測費用	【橋梁条件】 橋種 [鋼橋/Co橋] 橋長 指定なし 全幅員 指定なし 部位・部材 [上部工、桁] 検出項目 [振動数、周波数スペクトラム] 設置箇所数 [1~3箇所] 計測頻度 [随時] 計測期間 [一日] <費用> 合計600,000円(データ解析、報告書作成含む)	・計測可否が不明な場合、現地踏査が別途必要 ・経費(運送費、交通費、宿泊費、日当、雑材費)は別途
	保険の有無、保障範囲、費用	・有	-
	自動制御の有無	・自動制御なし	-
	利用形態:リース等の入手性	・業務委託	・計測作業、解析・報告書作成作業
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	-	-
	センシングデバイスの点検	-	-
	その他	-	-

6. 図面



図1 計測システムの基本構成



図2 本技術を用いた固有振動測定の実イメージ



図3 本技術で撮影した映像



図4 映像内で解析箇所を選択する(赤四角部分)

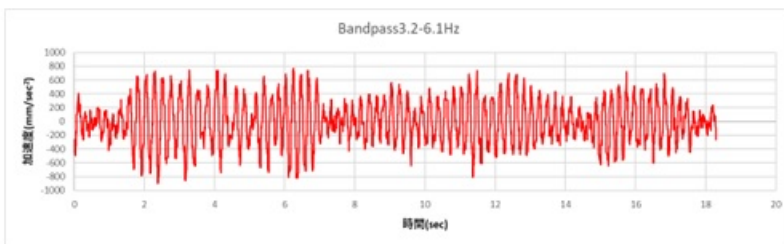


図5 図4で選択した箇所のフィルター処理波形

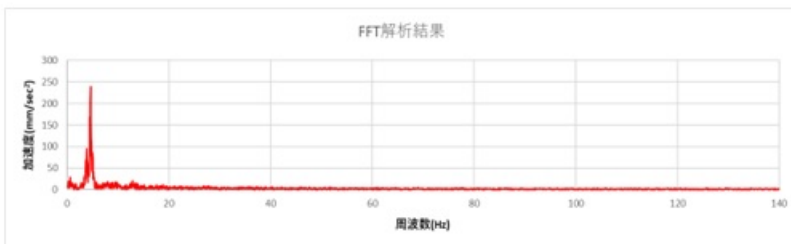


図6 図4で選択した箇所のFFT解析結果波形