

1. 基本事項

技術番号	BR030030-V0021		
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:	2021年10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	鋼橋/コンクリート橋	
	検出原理	重力加速度	
	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	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。
	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	
計測原理	<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 $\delta(x)$ (mm) を算出し、橋桁の変形形状とする。</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)	<ul style="list-style-type: none"> ・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続く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	<ul style="list-style-type: none"> ・3軸加速度計の設置間隔は、4m以下が望ましく、間隔が広くな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。

計測プロセス	<p>■自動処理範囲</p> <p>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)</p> <p>■手動処理範囲</p> <p>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)</p> <p>【処理フロー】</p>
アウトプット	<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、データ算出に半日 (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。
計測頻度	<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。
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・IP67
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーからCANケーブルで給電
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> ・給電されていれば連続稼働が可能。
設置方法	<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。
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<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
データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ノートPC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)	-
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"> ・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
構造物近接での安定性能 (飛行型のみ)	性能確認シートの有無 ※ -	-
狭小進入可能性能	性能確認シートの有無 ※ -	-
最大可動範囲	性能確認シートの有無 ※ -	-
運動位置精度	性能確認シートの有無 ※ -	-

※「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	計測レンジ (計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70°C	
		【性能値】 -1 G~+1 G (加速度計としての精度保証範囲) 【標準試験値】 未検証			
	感度	校正方法	デジタル出力のため該当仕様なし		-
		検出性能	性能確認シートの有無 ※	無	加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70°C
			【性能値】 -15 G~+15 G (加速度計としての動作レンジ(精度保証外)) 【標準試験値】 未検証		
	検出感度	性能確認シートの有無 ※	無	加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70°C	
		【性能値】 0.06 μ g/LSB (加速度計としての感度) 【標準試験値】 未検証			
	S/N比	性能確認シートの有無 ※	無	加速度計の性能を確保する温度条件: -30~+70°C	
		【性能値】 0.5 μ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$ typ. 【標準試験値】 未検証			
	分解能	性能確認シートの有無 ※	無	-	
	【性能値】 24bit 【標準試験値】 未検証				
計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	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(3 σ)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。		
	【性能値】 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 σ =0.16mm (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】 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 σ =0.17mm (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%				
計測速度 (移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		-		
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 ※		-		
色識別性能 (画像から計測する場合)	性能確認シートの有無 ※		-		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

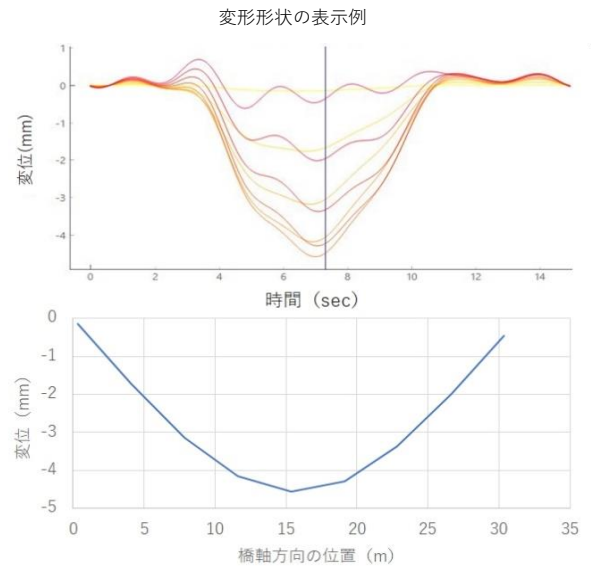
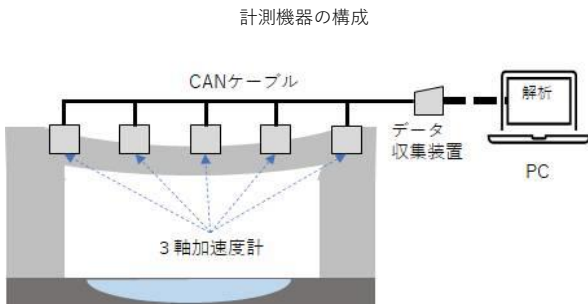
5. 留意事項(その1)

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"> ・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



3軸加速度計の設置例 (全景)



3軸加速度計の設置例 (拡大)

