

1. 基本事項

技術番号		BR030040－V0426			
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:	2026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／飛島建設(株)			
連絡先等		TEL:	090-3716-7333	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		・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。 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。 (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 (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			
技術区分	橋種	コンクリート橋			
	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。	

		自動車荷重作用 ↓ 圧縮・引張ひずみ ・ひび割れ開口幅計測 ↓ 断面ひずみ分布算出 ↓ 作用曲げモーメント算出 ↓ ひび割れ開口曲げ モーメント算出 ↓ PC鋼材緊張力推定 引張鉄筋ひずみ算出
アウトプット		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か否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) ・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)。
	計測頻度	・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
	耐久性	・特に規定なし
	動力	・電源100Vが必要
	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	設置方法	・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。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・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。
	データ収集・記録機能	・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
	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	電源100V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)	—

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	—
	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

