

1. 基本事項

技術番号		BR020019－V0425			
技術名		衝撃弾性波法による横締めPCグラウト充填調査			
技術バージョン		バージョン1		作成:	2025年3月
開発者		一般財団法人首都高速道路技術センター 首都高速道路株式会社 アイレック技建株式会社			
連絡先等		TEL: 050-3613-8416	E-mail:	i.omiya@tecmex.or.jp	企画部 企画課 大宮 勲
現有台数・基地		1台	基地	東京都台東区	
技術概要		・本技術は、PC橋梁に配置される横締めPC 鋼材のシース内グラウトについて、衝撃弾性波法を用いて充填・充填不良の判定を行う非破壊検査技術である。PC鋼材の片端から金属ハンマで鉄板を打撃して、反対側の受信用センサで記録し、弾性波の伝播速度と伝播波形に現れる特性からグラウトの充填状態を判定する。			
技術区分	橋種	コンクリート橋			
	対象部位	上部構造（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	その他（横締めPC鋼材シース内のグラウト充填不良）		
		共通			
	検出原理	衝撃弾性波法			
検出項目	弾性波の振幅、伝播速度				

2. 基本諸元

計測機器の構成		・本装置は以下の8つで構成される。 ①波形データ収集装置(以下、オシロスコープ) ②電圧増幅器(以下、アンプ) ③電源・発電機等の付帯装置(以下、電源) ④鉄板 ⑤金属ハンマ(以下、ハンマ) ⑥トリガ波形用加速度センサ(以下、送信用センサ) ⑦受信用AEセンサ(以下、受信用センサ) ⑧BNCケーブル(以下、ケーブル) ・移動装置を含まない分離型で、鉄板を除く装置をBNCケーブルにより有線接続する。 ・送信用センサはマグネットホルダーでハンマに取り付ける。受信用センサで測定された波形はアンプで増幅され、オシロスコープで記録される。	
移動装置	機体名称	-	
	移動原理	【人力】鉄板、ハンマ、送信・受信用センサ、オシロスコープ、アンプ、電源他 ・オシロスコープ、アンプ、電源等は計測対象の中央付近に人力で設置する。ケーブルが延長できる範囲内の測定が完了した後、人力により移動する。 ・鉄板、ハンマ、送信・受信用センサは、測定者が人力で測定箇所を設置する。	
	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	-	
	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	【送信側】 ・送信用センサとマグネットホルダーをネジ構造により接続する。マグネットホルダーに接触媒質を塗布しハンマに密着させて、粘着テープで補強する。鉄板に接触媒質を塗布して、鋼材端部直上のコンクリート面に密着させる。 【受信側】 ・受信用センサに接触媒質を塗布して、鋼材端部直上のコンクリート面に密着させる。    	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・ハンマ:最大外形寸法(長さ305mm×幅100mm×高さ40mm)、最大重量(1.2kgf) ・鉄板:(長さ60mm×幅60mm×高さ8mm)、最大重量(0.332kgf) ・送信用センサ:最大外形寸法(長さ20mm×幅18mm×高さ22mm)、最大重量(0.031kgf) ・受信用センサ:最大外形寸法(長さ19mm×幅18.5mm×高さ19mm)、最大重量(0.011kgf)	
	センシングデバイス	・ハンマ:SS-400 アイレック技建内製品 ・鉄板:アイレック技建内製品 ・受信用センサ:日本フィジカルアコースティクス株式会社製A3タイプ ・送信用センサ:ブリュエル・ケア製4371 ・オシロスコープ:LeCroy 社製 WaveSurfer44Xs ・アンプ:アイレック技建内製品 抵抗値50Ω/1MΩ フィルタ50・120・500・1MHz 増幅率0〜60dB ゲイン調節機能有	
	計測原理	・計測は、鋼材片側の桁側面に鉄板を押し当て、鉄板を送信用センサが取り付けられた金属のハンマで打撃する。鉄板を打撃することで高周波数振幅波の性質をもつ弾性波が入力される。鋼材反対側の受信用センサで受信して波形を確認し、グラウトの充填度を評価する。 ・弾性波の伝播速度および伝播波形に現れる特徴波を評価指標として、充填度を判定する。 ①伝播音速による評価 ハンマに固定された送信用センサと受信用センサにより、打撃〜受信までの伝播波の到達時間を測定する。片側の桁側面に鉄板を押し当てハンマで打撃すると、送信用センサにより、送信波形が記録される。反対側の桁側面に設置した受信用センサで伝播した波形を受信すると伝播時間が求められる。伝播距離(桁の長さ)から伝播音速を算出して評価する。一般に未充填の場合には、減衰を受けないため音速が早くなる傾向にある。 ②前方高周波数振幅波による評価	

		鉄板をハンマで打撃すると、高周波数振幅波(短周期の弾性波)が入力される。受信した伝播波の立ち上がり部(初動周波数)の波形に着目し、初動周波数に高周波数振幅波が観測されるものは未充填と判定する。グラウトが充填されると伝播時に減衰して、高周波数振幅波は記録されない。受信波はアンプを通してオシロスコープに記録されるが、打撃は調査員が実施しているため一定の入力波ではない。また、現地状況により打撃力は適宜調整する必要がある。よって、アンプのゲインを調整する必要がある。 ・鉄板とハンマ、受信用センサ設置のために桁側面に近接出来る必要がある。 ・オシロスコープから各センサまでケーブルを配線するため、配線が可能な範囲のみ測定が可能である。 ・鉄板と受信用センサ設置時には、コンクリートとの付着を良好にし、弾性波の伝播ロスを少なくするため、接触媒質を塗布する。接触媒質は水溶性のため、雨等により流される可能性がある場合には適用できない。 ・桁下面側からの打撃や波形の受信はできない。 距離 L 伝播時間 t 打撃 受信 音速 (C) = 距離 (L) ÷ 伝播時間 (t) ※充填音速 (C') < 未充填音速 (C'') 伝播音速による評価 トリガ波形 初動周波数に高周波振幅を持つ波形 伝播波形 伝播時間 初動周波数に高周波振幅を含まない 【未充填シースの計測波形】 【充填シースの計測波形】 前方高周波数振幅波による評価
計測装置	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	
	計測プロセス	① 初めに鋼材端部の位置出しを行う。電磁波レーダーを用いて横締め鋼材両端の桁側面を探索する。 ② オシロスコープを据え置き、BNCケーブルで各センサとアンプを接続後、配線する。 ③ 片側の桁側面にハンマと鉄板とセンサ、接触媒質を持った測定者が待機する。鉄板に接触媒質を塗布し、桁側面に押し当てる。 ④ 反対側の桁側面に受信用センサと接触媒質を持った測定者が待機する。受信用センサに接触媒質を塗布して、桁側面に押し当てる。 ⑤ 鉄板をハンマで打撃する。鋼材内を伝搬した弾性波は反対側の受信用センサで受信される。 ⑥ 受信用センサで受信された弾性波はアンプで増幅され、オシロスコープに記録される。オシロスコープで波形を確認しながら、表示波形のレンジを調節する。併せて、アンプも調節し、高周波数振幅波の有無を確認する。 ⑦ ハンマを打撃する測定者に打撃強さを指示しながら、グラウト充填有無の判定に必要な波形を5波形収集する。 ⑧ 5波形の収集が完了したら、受信側と送信側を入れ替えて、再度5波形を収集する。 ⑨ 測定完了後、接触媒質を水で洗い流して、現場作業は終了とする。 ⑩ 送信波形の立ち上がり時刻と受信波形の立ち上がり時刻の差から伝播時間を算出する。伝播距離(桁長さ)で除して、伝播速度を算出する。 ⑪ 受信波形の高周波数振幅を確認する。 ⑫ 両側から打撃した測定結果について、伝播速度と高周波振幅の2つの情報により、グラウトの充填有無を判定する。 手動処理 自動処理 手動処理 加速度センサ 電気信号 有線 電気信号 AEセンサ 有線 アンプ 感度調整(手動) 有線 オシロスコープ 表示レンジ調整(手動) データ収集 A/D変換 転送処理 記録保存 データ処理部(解析ソフト) データ解析 結果出力 記録保存

	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	・オシロスコープとアンプは据え置きとし、地上面もしくは足場内等の安定した場所に設置する。 ・オシロスコープとアンプはBNCケーブルにより接続される。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・オシロスコープ:最大外形寸法 (長さ300mm×幅250mm×高さ150mm)、最大重量 (6.95kgf) ・アンプ:最大外形寸法 (長さ230mm×幅165mm×高さ50mm)、最大重量 (1.39kgf)
	データ収集・記録機能	・オシロスコープで記録されたデータは一度本体内に保存される。データ移設は記録メディアを用いる。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	・有線による接続
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	・有線による伝送
	動力	・発電機または仮設電源が必要 ・動力源:電気式 ・電源供給方法:有線 (ACアダプター) ・定格容量:電圧100V、電流:0.5A (オシロスコープ・アンプ)
	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)実橋・的中率:100% (2)試験体:50%までの未充填の判別	(1)実橋 ・的中率(正解率)=新技術でPCグラウトの充填・未充填の正解箇所数/測定箇所数=100% (2箇所/2箇所) ・シースの種類:金属 ・シース径:φ42mm ・角度(PC鋼材):水平 ・PC鋼材径:φ24mm (2)試験体 ・検知可能であったグラウト未充填率=50%まで ・シースの種類:金属 ・シース径:φ38mm ・角度(PC鋼材):水平 ・PC鋼材径:φ26mm
		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	・横締め長さ:5~20m	-
	校正方法	-	-	-
	感度	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	① ・周波数範囲0.1-12.6kHz ・共振周波数15kHz ② ・周波数帯域30-55kHz ・共振周波数35kHz	上段①送信用センサの検出性能: ・周波数範囲0.1-12.6kHz ・共振周波数15kHz 下段②受信用センサの検出性能: ・周波数帯域30-55kHz ・共振周波数35kHz
	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	・分解能:0.1μs	分解能: ・サンプリング時間間隔0.1μs ・測定時間長10ms

※「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	・送信・受信センサを有線接続する必要があるため、有線ケーブルを配線できる必要がある。	-
	周辺条件	・測定部位の両側面に測定者がアクセスできる必要がある。 ・測定者が配置できる空間があって、安定した姿勢で測定できることが望ましい。	-
	安全面への配慮	・測定者が安定した姿勢で測定できるよう、高所作業車や足場等が必要となる可能性がある。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	・桁側面へのアクセスに橋梁点検車(オーバーハング車)を使用する場合、片側1車線規制が必要。	-
	塗装剤条件	・剥落防止工等があっても測定可能。	-
	躯体条件	・コンクリート表面に油や泥など著しい付着物がある場合には、ウェス等で表面清掃を行う	-
	躯体温度条件	-	-
	その他	・水溶性の接触媒質が大雨等で流される場合には適用できない(小雨であれば可能)。 ・PC鋼材が湾曲して配置されている場合(直線配置でない場合)、測定できない可能性がある。調査実績の一例として、鋼材長さが13~14mで曲率半径24mがある(以下図参照)。	-

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	・資格等は不要。 ・アンプのゲイン調整やオシロスコープの操作等ができる者	-
	必要構成人員数	・オシロスコープ・アンプ調整者1名、送信者1名、受信者1名 ・合計3名	・高所作業車・橋梁点検車を使用する場合は、操作者が必要。
	操作に必要な資格等の有無、フライト時間	-	-
	作業ヤード・操作場所	・オシロスコープとアンプを据え置く場所が必要:1㎡	-
	点検費用	【点検費用の一例】 ・橋梁:単純PCT桁橋 ・径間数:6径間 ・橋長:107m(14.5+14.5+19.5+19.5+19.5+19.5m) ・調査数量:42本 ・昼/夜:昼間 ・調査日数:3日 ・高架下:管理地 ・高所作業車:使用 上記条件の場合 ○外業・現場作業:71万円 ○内業・机上作業:35万円 ○機械経費:11万円 ○合計:117万円 ○その他費用:高所作業車費用は含まない。現地状況により必要なものは手配。	-
	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	・調査実施前に動作確認	-
	その他	-	-

6. 図面

