

1. 基本事項

技術番号		BR020039－V0125			
技術名		コンクリート構造物の内部変状検知における弾性波トモグラフィ法			
技術バージョン		-		作成:	2025年3月
開発者		・先端インフラメンテナンス研究所（代表） ・株式会社IHI検査計測 ・一般社団法人IPH工法協会 ・京都大学 成長戦略本部 インフラ先端技術産学共同研究部門 ・株式会社CORE技術研究所 ・一般社団法人東海技術センター（五十音順）			
連絡先等		TEL:	06-6367-2310	E-mail:	ogura.nori@atim.or.jp 小椋 紀彦
現有台数・基地		4台		基地	大阪市北区西天満1-2-5 大阪JAビル4F
技術概要		AEセンサや加速度センサなどを対象構造物の一面に設置し、構造物内部を伝播する弾性波を計測し、各センサで計測した弾性波の波形データ（到達時間差）から変状検知する技術である。			
技術区分	橋種	鋼橋 コンクリート橋			
	対象部位	上部構造（床版） 下部構造（橋脚） H形鋼桁橋（床版） RC床版橋（上部構造（主桁））			
	損傷の種類	鋼			
		コンクリート	⑥ひびわれ ⑧漏水・遊離石灰 ⑪床版ひびわれ ⑫うき		
		その他			
		共通			
	検出原理	弾性波の伝播速度			
	検出項目	内部損傷（空隙、ひびわれ）			

2. 基本諸元

計測機器の構成		・受信センサ(AE・加速度センサ) ・弾性波発生(鋼球やハンマーでの打撃) ・波形収録機 ・解析ソフト(ノートパソコン or タブレット端末)
移動装置	機体名称	【人力】 計測者が計測機器の設置・撤去・運搬を行う。
	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	・受信センサ:対象構造物の一面に接着剤またはテープにて設置 ・鋼球:設置なし(計測者が手に持つ) ・波形収録機:計測箇所近傍に据え置き。センサと有線接続 ・ノートパソコン or タブレット端末:波形収録機近傍に設置、波形収録機と有線接続
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・AEセンサ:最大外形寸法(径28.6mm×高さ31.5mm)、重量(0.08kgf)、周波数範囲(100~450kHz) ・加速度センサ:最大外形寸法(径20mm×高さ30mm)、重量(0.04kgf)、周波数範囲(3Hz~15kHz)※センサは周波数応答によって使い分ける ・鋼球、ハンマ:最大外形寸法(径20mm×長さ120mm)、重量(0.02kgf) ※鋼球、ハンマは周波数応答によって使い分ける ・波形収録機:最大外形寸法(長さ30cm×幅200cm×高さ15cm(波形収録機)、重量(約2.0kgf)
	センシングデバイス	・AE(Vallen, PAC社製)・加速度センサ (PAC社製)【接触タイプ】 ※弾性波を感知できるものなら他製品でも適用可能であり、センサは周波数応答によって使い分ける ・鋼球、ハンマ ※鋼球、ハンマは周波数応答によって使い分ける ・波形収録機 (Vallen, もしくはNI社製) ・ノートパソコン or タブレット端末 ※波形収録用ソフトウェアを搭載したPC。WindowsOSのPCなら適用可能
	計測原理	AEや加速度センサを対象構造物の一面に設置し、その対面を鋼球で打撃する。打撃点とセンサの間に変状がある場合、弾性波はその変状を迂回してセンサに到達するため、見掛けの伝播速度が低下する。これより、複数の打撃点から各センサへの弾性波伝播速度を計測することで、計測範囲内の変状箇所を特定することができる。
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・センサ設置のために計測箇所に近接する必要がある。また、計測箇所から波形収録機までケーブルを配線する必要がある。 ・母材とセンサの密着性を図るため、センサの設置箇所は平滑にしておかなければならない。また、常に水が流れているような湿潤状態ではセンサ設置作業は行えない(湿っている程度なら可能)。 ・弾性波の収録のため、近傍で強い振動(はつり作業や大型車両の通過等)が伴う場合は計測作業は行えない。
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・計測精度向上のため、入力装置およびセンサの設置間隔は適切に設定する必要がある。仮設定した入力装置と受信位置において波線経路を分析、センサの設置間隔などの見直しを逐次行い、対象構造物の特性を踏まえた最適な入力装置および設置間隔を設定する。 ・計測波形はランダムノイズを含んでいる。SN比(信号雑音比)改善するため、1打撃点あたりの複数回の弾性波を用いて、スタッキング処理(複数回の起振を行い加算する)を行う場合がある。
		以下、計測プロセスを示す。 ①仮設定した入力装置と受信位置において波線経路を分析、センサの設置間隔などの見直しを逐次行い、対象構造物の特性を踏まえた最適な入力装置および設置間隔を設定する。 ②対象構造物の一面にAE・加速度センサを接着剤またはテープにて設置し、計測者が鋼球にて打撃を加え、センサと有線接続された波形収録機およびPCによって計測データを保存する。 ③計測データにスタッキング処理を行った後、AIC(赤池情報量規準)により弾性波の伝播速度を算出する。 ④算出された各測線の伝播速度よりコンター図を作成する。 ⑤作成したコンター図より計測箇所の損傷箇所を判定・評価する。 ③の詳細工程は弾性波トモグラフィ解析フローに示す。 ④の工程では、一般的な等高線・3D 地表マップ作成ツール(Surferなど)を使用する。

計測プロセス	初期データの作成 ・観測走時の計測 ・調査領域のセル分割 ・発振源・受信点位置データの作成 初期モデルの作成 波線追跡法(Ray Tracing)による理論走時の計算 観測走時と理論走時との走時残差の計算 モデルの修正 残差が許容誤差以内か？ 最終速度分布 弾性波トモグラフィ解析フロー	
	アウトプット	・計測された弾性波の波形データはcsvファイルで保存される。 ・解析結果は、計測範囲内の弾性波の伝播速度を色の濃淡で示したコンター図として出力する。コンター図は画像ファイル(jpgやpngファイル)として保存できる。
	耐久性	・AE・加速度センサ:IP50相当 ・波形収録機:IP40相当
	動力	・動力源:電気式 ・電源供給方法:外付けバッテリーまたはAC電源 ※ノートパソコンからの電源供給でも起動可能 ・定格電圧:AC100V
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	24時間以上 (278400mAh/1002Whの外付けバッテリーの場合)
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	計測データはPC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	空洞検出:部材厚に対して20%の立方体の大きさ	セル内の波線密度:約450波線/㎡ ※波線の長さではなく、波線の通過する数
		標準試験値	標準試験方法 床版劣化(2025年) 検出率=当該技術で検出した正解損傷面積／正解損傷面積 的中率=当該技術で検出した正解損傷面積／当該技術で検出した損傷面積(誤検出含む) ・検出率:55% ・的中率:22%	・データ取得手段:AEセンサー、舗装上面打撃 ・移動距離:徒歩5m
	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	空洞検出:部材厚さ5m程度 ひびわれ検出:部材厚さ20m程度	・セル内の波線密度が約450波線/㎡となるように、センサを配置 ※波線の長さではなく、波線の通過する数
	校正方法	コンクリート面に設置したセンサの近傍で弾性波を入力		・20～100kHzの範囲で弾性波を入力
	感 度	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	センサ感度 AEセンサの場合:53dB 加速度センサの場合:5mV(m/s2)	・センサをグリスなどで接着する ・不陸がある場合は、前処理としてケレンを行う
		検出感度	性能確認シートの有無 ※	-
	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)

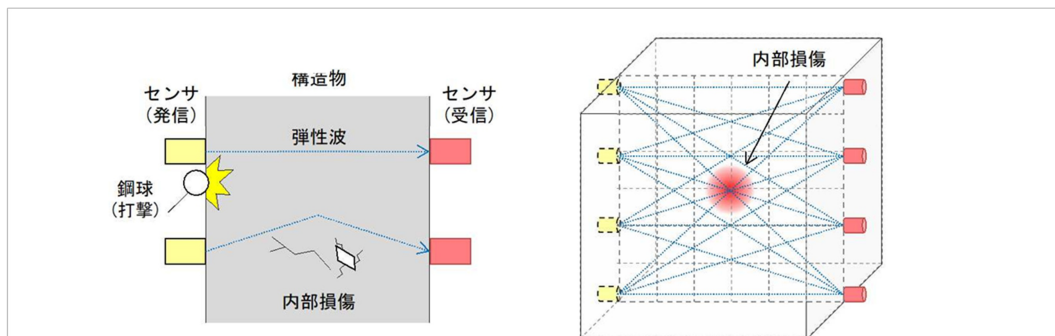
項目		適用可否／適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	センサ設置や計測時、撤去作業時に車道の規制が必要な場合がある	-
	塗装剤条件	-	-
	躯体条件	-	-
	躯体温度条件	-	-
	その他	高所で計測する場合には、センサを設置するために足場あるいは高所作業車が必要である。	-

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	コンクリート構造物および弾性波法に精通するもの (業務委託先の実施者)	-
	必要構成人員数	現場責任者1人、計測者2人、合計3名	規制が伴う場合、必要に応じて交通整備の人員が必要
	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	作業ヤード:不要	-
	点検費用	【橋梁条件】 橋種 [5径間連続鋼単純合成桁板橋] 橋長 125 m (1径間約25m) 全幅員 5.0 m 部位・部材 [床版(1パネル)2m×5m] 検出項目 [伝播速度] 設置箇所数 [18] 計測頻度 [5回] 計測期間 [1日] <費用> 合計 800,000円(業務委託の場合)	・現場での作業人員は同じと想定 ・計測時の機械経費で比較
	保険の有無、保障範囲、費用	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(開発者である5社が実施する)	-
	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	・各センサおよび波形収録装置は使用前点検を実施する。作業開始前に計測機器の動作を確認し、各部が正常であることを確認する。異常が確認された場合は、予備の部品と交換する。 ・1年ごとにメーカーが定めた校正を実施する。	-
	その他	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等 ・解析ソフト:自社開発ソフトを使用 ・必要作業:担当者による解析作業 ・費用:計測費に含む	-

6. 図面

計測概要、イメージ

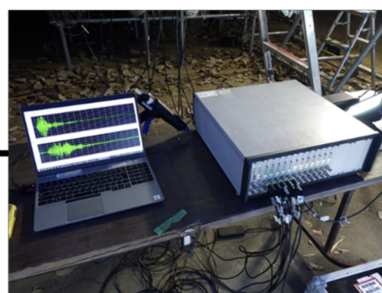


設置状況、機器一覧



センサ設置後

BNCケーブル接続



計測機器類



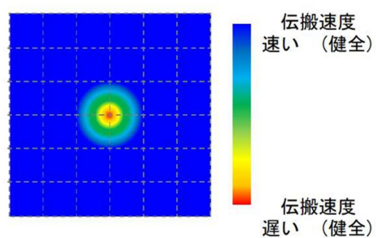
センサ設置状況



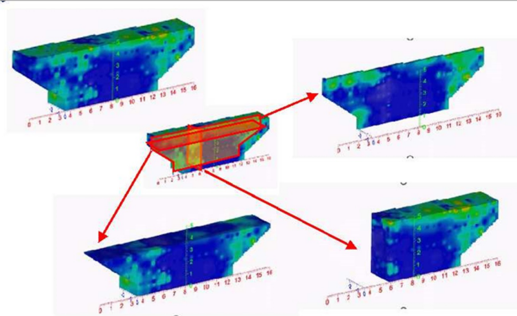
鋼球・ハンマ

トモグラフィ測定結果

トモグラフィ測定結果



2次元評価



3次元評価