

1. 基本事項

技術番号	TN020009-V0122		
技術名	表面波トモグラフィ法		
技術バージョン		作成:	2021年10月
開発者	一般社団法人 先端インフラメンテナンス研究所 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 インフラ先端技術産学共同講座		
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	3台	基地	大阪市北区西天満1-2-5 大阪JAビル4F
技術概要	本技術はコンクリート構造物の維持管理に寄与する非破壊技術として、弾性波法を応用したトモグラフィ技術である。これは弾性波の中でも表面を伝播するレイリー波に着目し評価するものであり、片面にセンサを配置した状態で内部状態を広範囲に2D、3Dで可視化することができる。		
技術区分	対象部位	覆工の横断目地 覆工の水平打継ぎ目 覆工天端 その他覆工面 はく落防止対策工 漏水対策工 その他補修箇所	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 劣化 その他(ひび割れ/豆板・ジャンカ/空洞)	
	物理原理	その他(弾性波(レイリー波))	
	検出項目	その他(弾性波の伝播速度)	

2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測機器は、計測データを保存するデータ収集・記録装置に、センサがコードでそれぞれ繋がっている。そのため、記録装置は動かさなくてもコードの長さに応じてセンサのみの移動でトンネル縦断・横断方向に移動可能な形で構成されている。主な機器構成を下記に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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	移動原理	(型式)【人力】 計測者が計測機器の設置・撤去・運搬を行う。
	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"> ・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)	<ul style="list-style-type: none"> ・センサ:最大外形寸法(径20mm×高さ30mm)、重量(0.04kgf) ・鋼球:最大外形寸法(径20mm×長さ120mm)、重量(0.02kgf) ※種類による ・波形収録機:最大外形寸法(長さ15cm×幅10cm×高さ5cm(波形収録機)、重量(約0.5kgf)
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> ・AE・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 ・鋼球 自社製 ・波形収録機 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	<ul style="list-style-type: none"> ・AE・加速度センサを対象構造物の一面に設置し、その近傍を鋼球で打撃する。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。 ・本計測では、弾性波の中でも影響を受ける深さが波長の1/2と言われるレイリー波に着目し、表層部から径の異なる鋼球で打撃する(異なる波長の弾性波を入力する)ことで、それに応じた深さを評価することができる。
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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10回分の弾性波を用いて、スタッキング処理(複数回の起振を行い加算する)を行う。
計測プロセス	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>③計測データにスタッキング処理を行った後、AICにより伝播速度を算出する。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。</p> <p>④作成したコンター図より計測箇所の変状を判定・評価する。</p>	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> ・計測された弾性波波形データは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	<ul style="list-style-type: none"> ・AE・加速度センサ:IP50相当 ・波形収録機:IP40相当 	
動力	<ul style="list-style-type: none"> ・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)	
設置方法	-	

データ収集・通信装置	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
適用可能なトンネルの最小寸法	・最小所要空間寸法 幅1500mm X 高さ1500mm程度 (人が入れて作業できる空間)	-
適用可能なトンネルの最大寸法	・特に制限なし	-
障害物回避	・特に制限なし	-

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 (2020) 実施年 2021年 [1] 劣化、表面近くの空洞 ・検出率での評価 右記測定条件では、最大1.0m×1.0m程度までの任意の範囲で打音異常を検出可能。検証時に使用した模擬試験体16体では、16体全てで変状の検出は可能であった。 (参考) 5cm×5cmで区分けた分析結果 ・空洞厚1mmの場合 検出率64% (深さ10mm 60%, 深さ20mm 66%, 深さ30mm 70%) ・空洞厚10mmの場合 検出率64% (深さ10mm 63%, 深さ20mm 83%, 深さ30mm 65%, 深さ40mm 50%, 深さ50mm 40%) ・空洞厚50mmの場合 検出率86% (深さ10mm 100%, 深さ20mm 75%) ・全空洞に対する検出率65% ・的中率 的中率の算出は、模擬試験体では測定条件(損傷の深さ)が揃わないため不可		【性能値】 未検証 【標準試験値】 ・鋼球径 3mm, 5mm, 10mmの3種類を使用 ・受信センサ10個(受信9, 発信1)で、0.6m×0.6mの範囲を、打撃16箇所評価
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 ※	無	
	【性能値】 未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2021年 ・計測速度: 2箇所/h程度 ・1箇所当たりの計測範囲 1.0m ² (センサ設置箇所数:9、打撃点数12)		【性能値】 未検証 【標準試験値】 ・1箇所当たりの計測範囲を1m×1mとした場合を想定(センサ設置箇所数、打撃点数により増減) (足場または高所作業車を用いていないことを想定)
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 ※	有	
	【性能値】 未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2021年 空洞厚1mm, 深さ10mm ①水平方向誤差:100mm 垂直方向誤差:32mm 空洞厚10mm, 深さ10mm ①水平方向誤差:95mm 垂直方向誤差:39mm ②水平方向誤差:137mm 垂直方向誤差:3mm		【性能値】 未検証 【標準試験値】 代表的な模擬供試体を抜粋し、疑似損傷を含む範囲に区分した後、各区分における検出箇所の重心位置と疑似損傷の重心を比較し位置精度の誤差として算出

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

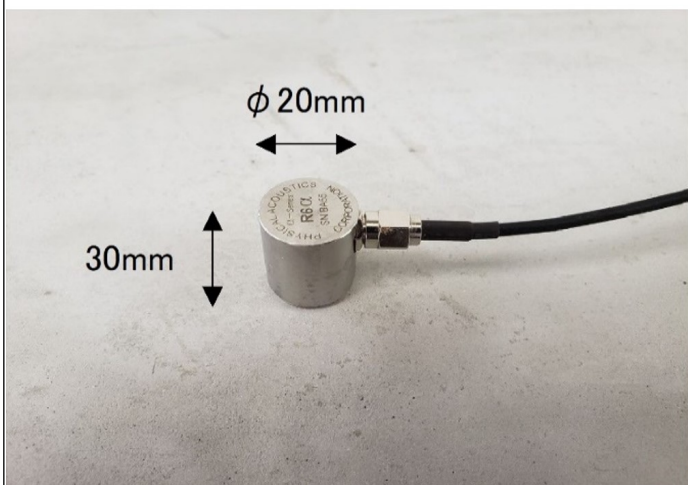
5. 留意事項(その1)

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	作業範囲	・特に制限なし	—
	安全面への配慮	・特になし	—
	無線等使用における混線等対策	・特になし	—
	交通規制の要否	・不要	・高所作業車等を伴わない作業の場合
	交通規制の範囲	・不要	・高所作業車等を伴わない作業の場合
	現地への運搬方法	・人による運搬	—
	気温条件	・特になし	—
	トンネル延長の制約	・特になし	—
	車線数の制約	・特になし	—
	断面形状の制約	・特になし	—
	その他	・特になし	・すず汚れによる作業の可否:可

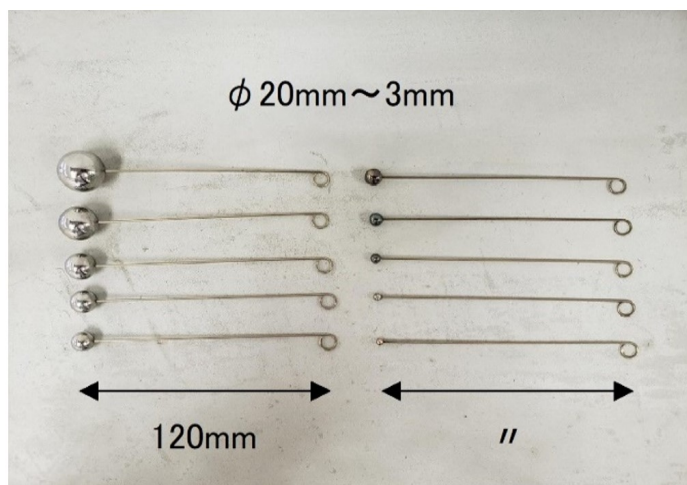
5. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
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	—
必要構成人員数	・現場責任者1人、計測者2人、合計3名	・規制が伴う場合を除く
操作に必要な資格等の有無	・該当なし	—
操作場所	・作業ヤード: 不要	—
計測費用	[トンネル条件] 延長500mのトンネル1本のみ計測の場合(延長100m当たりで計測箇所5箇所と想定)、 25箇所調査が可能と想定 [費用] ※計測の機械経費 ・従来の人力点検(テストハンマー使用)による費用 2万円 ・新技術活用による費用 10万円(解析ソフト含まず)	・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
計測作業日数	[トンネル条件] 延長500mのトンネル1本のみ計測の場合(延長100m当たりで計測箇所5箇所と想定)、 25箇所調査が可能と想定 [作業日数] ・従来の人力点検(テストハンマー使用)による作業 400測点/箇所×25箇所=10000測点 を1日で打撃する必要がある ・新技術活用による作業 16測点/箇所×25箇所=400測点 を1日で打撃する必要がある	・1箇所当たりの調査範囲を、1.0m2の範囲と想定 ・高所作業車使用等を伴わない作業の場合を想定 ・1m2当たり、テストハンマーによる打撃間隔を50mmとすれば、400測点/箇所での打撃が必要 ・新技術では、1m2当たり、最小16測点/箇所での打撃が必要
作業条件・運用条件 保険の有無、保障範囲、費用	・加入していない	—
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可)	—
計測時の走行速度条件	・走行しながらの作業は不可	—
渋滞時の計測可否	・走行しながらの作業は不可	—
車両から覆工表面までの距離条件	・高所作業車使用の場合、作業台から計測箇所に手が届くまで近接する必要がある	—
トンネル内照明の消灯の必要性	・特になし	—
可搬性(寸法・重量)	・計測機器は小型かつ軽量であり、人力による運搬が可能	—
自動制御の有無	・無	—
利用形態:リース等の入手性	・計測機器:購入	—
関係機関への手続きの必要性	・必要なし	—
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	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・無	—
センシングデバイスの点検	・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。	—
その他	・特許状況:特になし ・気象条件:特になし ・作業条件:高所の場合は高所作業車等を検討	—

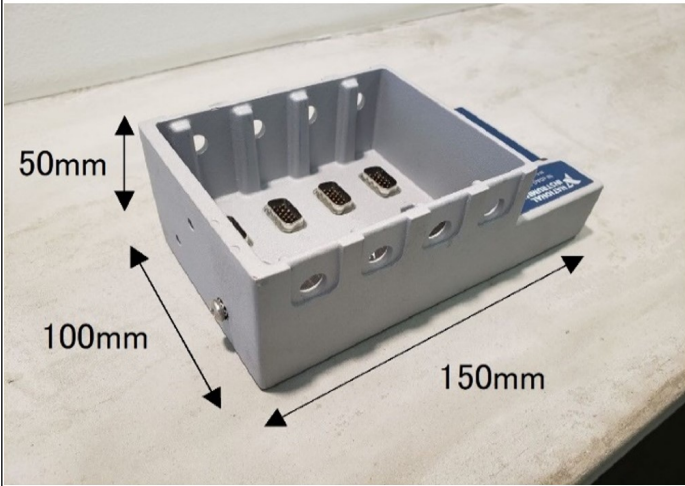
6. 図面



AEセンサ



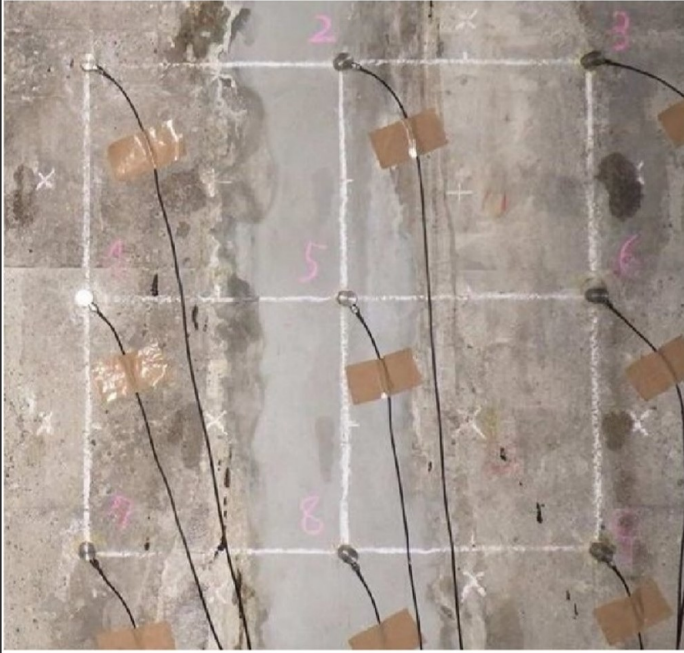
鋼球



波形収録機



計測状況



センサ設置状況



鋼球による打撃