

## 1. 基本事項

技術番号	TN020001-V0425		
技術名	デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム		
技術バージョン	NFI-DRI-MB-002	作成:	2023年3月
開発者	原子燃料工業株式会社		
連絡先等	TEL: 0724-52-7272	E-mail:	ryo-ogawa@nfi.co.jp h-fujiyoshi@nfi.co.jp mtm-ishii@nfi.co.jp エンジニアリングサービス部 小川、藤吉、石井
現有台数・基地	20台	基地	大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目950 原子燃料工業株式会社 エンジニアリングサービス部
技術概要	トンネルの覆工コンクリート、附属物を対象に、AEセンサを用いた打音計測装置を用い、デジタル化された振動情報(固有周波数、振動の減衰時間)から、コンクリートのうき、はく離、内部欠陥(内部空洞、PCグラウト充填不足)や、ボルトのゆるみを把握する技術。		
技術区分	対象部位	その他覆工面	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 劣化 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	

2. 基本諸元

計測機器の構成		AEセンサと計測装置、波形処理用タブレットPCがケーブルによって接続された構造。打音検査ハンマーで打音した振動情報を記録し、現場において計測点毎に検査結果がコンクリートの変状、ボルトの変状の有無を示す基準周波数を超えているか否かを簡易的に表示する。
移動装置	移動原理	—
	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		—
外形寸法・重量 (分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ寸法 (直径12φ×高さ40mm)、最大重量 (0.05kgf)</li> <li>・計測装置寸法 (長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量 (2.4kgf)</li> <li>・波形処理用タブレットPC寸法 (長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量 (0.8kgf)</li> </ul>
センシングデバイス		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ エヌエフ回路設計ブロック AE900S-WB</li> <li>・カメラ Panasonic FZ-M1 タブレットPC内蔵カメラ</li> </ul>
計測原理		<p>測定部分において通常点検用ハンマーにより弾性波を発生させ、発生した弾性波をAE (Acoustic Emission: 音響) センサ表面の圧電素子で受信し、アンプ・フィルター・A/D変換器により振動波形として数値化する。</p> <p>現場での計測値 (固有周波数、振動の減衰時間) とコンクリートの変状、ボルトの変状が無いと判断した基準値とを比較することで、タブレットPCがリアルタイムで自動判定する。</p> <p>コンクリートの変状、ボルトの変状が無いと判断した基準値の設定方法は以下の2通り</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①現場においてコンクリートの変状、ボルトの変状が無いと判断した個所を計測</li> <li>②モックアップ試験/理論式/FEM解析</li> </ol>
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"> <li>・AEセンサを対象に密着させるため、必要に応じて計測部位にリフト車で近接する必要がある。・コンクリートの計測の場合でも、計測対象の前処理は不要で、AEセンサを押し当てて密着させる (AEセンサの前面を特殊加工しているため)。</li> <li>・AEセンサを密着できないほどコンクリート表面に凹凸のある場合は適切な振動計測が困難な可能性が有る。(例: 骨材がボロボロになっている箇所)</li> <li>・コンクリート表面に付着した小石や砂利を打撃して砕いてしまうと、破裂に伴う振動を取得してしまい、適切な振動計測が困難な可能性が有る。その場合は計測場所をずらして再計測する。</li> <li>・ボルトの場合、完全に緩んでいる状態 (手で回せる程度) は適切な振動取得が困難な可能性が有る。その場合は、緩みと判断する。</li> <li>・計測部位から計測装置までケーブルを配線する必要がある (ケーブルは最長10m程度)。</li> <li>・測定は雨天や積雪時でも可能。</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサを計測対象に手で均一に押しあてる必要がある (適切な振動計測であったことを伝えるアラーム音と画面表示機能あり)。</li> <li>・コンクリートの変状、ボルトの変状の有無を判定するための適切な固有振動ピークの決定。</li> </ul>
計測装置	計測プロセス	<p>①計測前後で、校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。</p> <p>②測定個所に測定者がAEセンサを当て、テストハンマーにより打撃し、弾性波を発生させる。</p> <p>③発生した弾性波はAEセンサにより取得され、自動的にA/D変換されたのち、周波数解析される。同時に、タブレットPCにより対象の外観を撮影する。</p> <p>④周波数解析で得られた振動情報 (固有周波数、振動の減衰時間) と、あらかじめ設定したコンクリートの変状、ボルトの変状が無い部位の振動情報 (判定基準値) とを比較し、判定基準値から逸脱した場合、変状ありとして、計測結果をタブレットPC上に表示する【簡易判定】。また、撮影した画像データもデータ間の紐づけ後、タブレットPCに記録保存される。</p> <p>⑤必要に応じて、手動処理により人間によるエンジニアリングジャッジ (EJ) を行う【詳細判定】。</p> <p>基本はコンピュータプログラム処理であり、異常値は人間が確認する。</p> <p>面的な打音検査結果に基づき、振動情報 (固有周波数、振動の減衰時間) の分布や変化量に応じて変状の程度を評価する。</p>

	アウトプット	<p>【現場計測時】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動計測で得られる振動波形および振動の減衰時間、振動波形を周波数解析して得られる周波数分布および固有振動数をタブレットPC上に表示。</li> <li>・コンクリートの変状、ボルトの変状の有無を示す基準周波数を超えているか否かを簡易的に表示する。</li> <li>・面的に振動計測した場合、各計測点の計測結果(固有振動数、振動の減衰時間)を面的に表示。【現場計測後】</li> <li>・振動波形のデジタルデータ(出力形式はcsv形式)</li> <li>・計測対象に紐づけされた撮影画像、並びに、手書きメモのデジタルデータ(出力形式はjpg形式)</li> </ul>
	耐久性	<p>タブレットPCは、IP65準拠。 計測装置は、箱はIP65以上の部品を使用。 ※防塵・防滴性能は、各部品の無破損・無故障を保証するものではありません。 ※部品単位での防塵・防滴性能を持つものを利用していますが、本製品としての防塵・防滴試験は実施していません。</p>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー</li> <li>・計測装置内蔵バッテリー</li> </ul>
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・波形処理用タブレットPCバッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。</li> <li>・計測装置内蔵バッテリー(駆動時間:約55時間、充電時間:約5時間)。</li> </ul> <p>※バッテリー駆動時間は、動作環境・液晶の輝度・システム設定により変動。</p>
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)	タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)
	データ収集・記録機能	タブレットPC内部に保存。
	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	波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。
	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	—	—
適用可能なトンネルの最大寸法	—	—
障害物回避	—	—



## 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】 コンクリートの剥離 ・検出率=97% ・的中率=69% 【標準試験値】 標準試験方法(2020) 実施年 2020年 コンクリート内部の空洞 ①目地部を含む場合 検出率:53.2%、的中率:87.4% ②目地部を含まない場合 検出率:53.6%、的中率:87.4%		【性能値】実橋梁橋脚(板厚1500mm)、箱桁床版(板厚200mm)、桁側面(板厚600mm)における計測結果。従来打音点検において剥離と判定された139箇所における結果。 (出典)戸田一郎, 前田良文, 小濱健吾, 松永嵩, “コンクリート構造物のデジタル打音検査の判断指標に関する検討”, コンクリート工学年次論文集vol.42no.1pp.1498-1503_2020 【標準試験値】標準試験体による検証結果 ・試験体寸法:1000mm×1000mm ・50mm×50mmの格子状に計測 ・内部空洞寸法は以下の通り 厚さ:1mm、10mm、50mm かぶり厚:10mm、20mm、30mm、40mm、50mm
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 2017年 ・平均点検量:100m <sup>2</sup> /日(500mm格子間隔) ・平均作業時間:5時間/日		橋脚建設現場の足場上
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 ※	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	作業範囲	通常の打音検査と同等	—
	安全面への配慮	通常の打音検査と同等	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	必要	—
	交通規制の範囲	通常の打音検査と同等	—
	現地への運搬方法	通常の打音検査と同等	—
	気温条件	通常の打音検査と同等	—
	トンネル延長の制約	通常の打音検査と同等	—
	車線数の制約	通常の打音検査と同等	—
	断面形状の制約	通常の打音検査と同等	—
	その他	・コンクリート表面にAEセンサが密着できないほどの凹凸のないこと。 ・汚れ、すす等がある場合の作業の可否:可	—

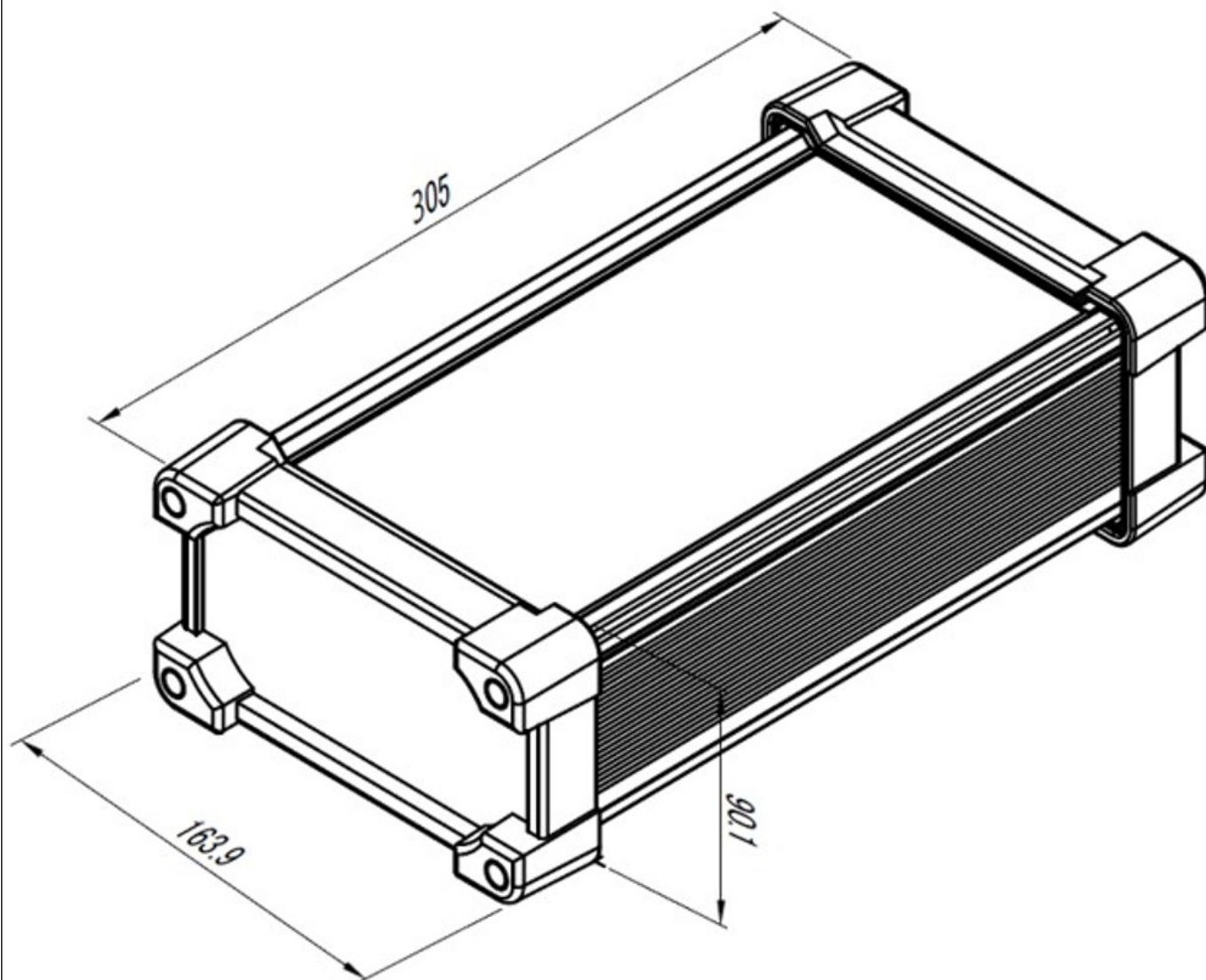
5. 留意事項(その2)

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	半日程度の当社社内資格認定講習	—
必要構成人員数	現場責任者1人、計測員1人、補助員1人 車両運転員1人、交通誘導員1人、合計5名	—
操作に必要な資格等の有無	半日程度の当社社内資格認定講習	—
操作場所	通常の打音検査と同等	—
計測費用	<p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500m、周長17m</li> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検・補修箇所なし</li> <li>・照明灯具の回避や計測作業手間等により日数や費用の増加はなし。</li> </ul> <p>(パターン1)延長500mのトンネル1本のみ計測の場合                      【外業】新技術活用による費用:2名×3万円×5チーム×1.7日=51万円                      (弊社トレーニング、OJT後、10名の点検員により実施)                      機器経費:1.5万円×2日×5台=15万円                      ※全面調査の場合は上記の費用の10倍                      【内業】測定データ解析、報告書作成費用:100万円                      ※全面調査の場合は上記の費用の10倍</p> <p>(パターン2)延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合                      【外業】新技術活用による費用:2名×3万円×5チーム×17日=510万円                      (弊社トレーニング、OJT後、10名の点検員により実施)                      機器経費:1.5万円×17日×5台=127.5万円                      ※全面調査の場合は上記の費用の10倍                      【内業】測定データ解析、報告書作成費用:1,000万円                      ※全面調査の場合は上記の費用の10倍</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定期点検作業(近接目視、打音検査、たたき落とし、付属物の触診等)の費用は含まない。</li> <li>・高所作業車費用、交通規制費用は別</li> <li>・トレーニング(半日)費用、OJT(1日)費用は別</li> <li>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</li> <li>・トンネル覆工面の打音点検結果の定量評価・変状が見られた個所の詳細調査(うき範囲の定量評価・可視化等)</li> <li>・外観写真と打音点検結果を統合したデジタル検査記録の作成・デジタル検査記録を用いた経年管理と劣化予測</li> </ul>
計測作業日数	<p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500m、周長17m</li> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検・補修箇所なし</li> <li>・照明灯具の回避や計測作業手間等により日数や費用の増加はなし。</li> </ul> <p>(パターン1)延長500mのトンネル1本のみ計測の場合                      ・変状が見られた個所をトンネル壁面の10分の1と仮定し、デジタル打音検査する場合、                      ・デジタル打音検査範囲:500m×17m÷10=850m<sup>2</sup>・5台で検査                      【外業】作業日数:8,50m<sup>2</sup>÷100m<sup>2</sup>÷5台=1.7日                      【内業】データ解析、報告書作成日数:10日                      ※全面調査する場合は上記日数の10倍</p> <p>(パターン2)延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合                      【外業】パターン1の作業日数:17日                      【内業】パターン1の作業日数:20日                      ※全面調査する場合は上記日数の10倍</p>	—
作業条件・運用条件	<p>保険の有無、保障範囲、費用</p> <p>加入していない</p>	—
時間帯(夜間作業の可否)	通常打音検査と同等(夜間作業も可)	—
計測時の走行速度条件	通常打音検査と同等	—
渋滞時の計測可否	通常打音検査と同等	—
車両から覆工表面までの距離条件	通常打音検査と同等(高所用道具の使用可能)	—
トンネル内照明の消灯の必要性	通常打音検査と同等	—
可搬性(寸法・重量)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測装置寸法(長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量(2.4kgf)</li> <li>・タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)</li> </ul>	—
自動制御の有無	波形処理用タブレットPCは、適切な振動計測か否かを画面表示およびアラーム音で知らせる機能あり。 例:“○”、“信号弱”、“信号強”、アラーム音	—

利用形態:リース等の入手性	計測装置は購入品あるいはレンタル。	—
関係機関への手続きの必要性	通常の打音検査と同等	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・現場簡易解析:波形処理用タブレットPCに標準装備 ・詳細解析:担当者による検査データ解析サービスあり	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり。 条件:年間サポート契約	—
センシングデバイスの点検	校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。基準値を満たさない場合は、センサ交換、デジタルオシロスコープの交換で対応。	—
その他	<p>【特許状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特許第6308902 アンカーボルトの非破壊検査方法および非破壊検査装置</li> <li>・特許第6084952 アンカーボルトの非破壊検査方法および非破壊検査装置</li> <li>・特許第6190781 アンカーボルトの状態評価方法</li> <li>・特許第6504964 部材の状態評価装置および状態評価方法</li> <li>・特許第6371409 部材の状態評価方法</li> <li>・特開2019-082347 トンネル内重量物の取付治具の非破壊診断方法</li> <li>・特開2019-132658 PCグラウト充填状態の非破壊診断方法</li> <li>・特開2019-124691 コンクリート部材の品質評価方法</li> </ul> <p>【気象条件】 トンネル内であれば気象条件の制限なし</p> <p>【作業条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高所作業車が必要</li> <li>・事前のトレーニング(半日程度)が必要</li> </ul>	—

6. 図面





タブレットPC寸法  
長さ203mm×幅132mm×高さ18mm

## 1. 基本事項

技術番号	TN020002-V0425		
技術名	道路性状測定車両イーグル(トンネル形状計測)		
技術バージョン	-	作成:	2025年2月
開発者	西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社		
連絡先等	TEL: 087-834-2386	E-mail: toshiaki.takabatake@w-e-shikoku.co.jp	営業部営業企画課 高畑 東志明
現有台数・基地	1台	基地	香川県高松市花園町三丁目1番1号
技術概要	光切断法による3次元形状計測技術を利用して、覆工コンクリートのはく離の前兆である段差を非接触かつ定量的に検出する技術である。		
技術区分	対象部位	その他覆工面	
	損傷の種類	本土工におけるうき はく離	
	物理原理	その他(三次元形状計測)	
	検出項目	その他(対象物表面の形状)	



## 2. 基本諸元

計測機器の構成		本計測機器は、3次元形状計測カメラ、レーザー、距離計、PC、発電機で構成され、これらは車両に搭載されている。車両を走行させることで、トンネル覆工の3次元形状スリットを取得し、PC内に記録される。
移動装置	移動原理	車両型(車両にセンシング機器を設置し、交通流にそって走行しながら車道と撮影対象箇所の離隔の範囲内でアプローチするもの)
	外形寸法・重量	外形寸法:5030mm×1800mm×3040mm(測定車両寸法) 車両重量:3910kg
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—
	動力	計測機器を搭載した車両による移動
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—
計測装置	設置方法	固定治具により計測機器を車両に設置させる。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	センシングデバイス	3次元形状計測カメラ:高さ分解能0.5mm
	計測原理	光切断法により、3次元形状計測を行う。
	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"> <li>・撮影視野:トンネル半断面分(約8.5m程度)</li> <li>・撮影速度:80km/h以下</li> <li>・計測機器との離隔:5m以下</li> <li>・トンネル覆工表面を撮影対象(非常駐車帯部は除く)とするため、道路附属物の陰にある覆工面は計測不可能。</li> <li>・雨天でないこと(トンネル進入までの回送時に、レンズに雨滴が付着するため)</li> </ul>
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル内の路面に大きな段差がある場合、走行時に計測車両が上下に大きく揺れるため、計測値に歪みが生じる。覆工面の合成時にある程度の補正は可能であるが、路面状態はできるだけ段差等が無く、良好な方が望ましい。</li> <li>・走行測定時、蛇行運転にならないよう留意する。</li> </ul>
	計測プロセス	<p>3次元形状は車両で走行しながら計測を行う。計測延長、各カメラのラップ等について確認する。データに不足が確認された場合には、再計測を実施する。</p> 
	アウトプット	3次元形状画像:独自形式であり専用ソフト(Je3DPF)でのみ読み込み可能。
	耐久性	計測機器の防水・防塵性能無し
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:発電機</li> <li>・定格容量:AC100V、5.5KVA</li> </ul>
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	車両搭載の発電機による稼働 【カタログ掲載値】連続運転可能時間:約6.1h(定格負荷5.5kVA)	
データ収集・通信装置	設置方法	移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	カメラに付属した記録メディア(SSD)にデータを保存する。保存データは、有線接続された計測用PCにて確認可能。現場作業完了後、SSDから記録用ハードディスクにデータをコピーする。
	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"> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:発電機</li> <li>・定格容量:AC100V、5.5KVA</li> </ul>
	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	道路幅員1800mm、高さ3040mmより大きく、車両が走行できること	—
適用可能なトンネルの最大寸法	計測機器との離隔が5m以下であること	—
障害物回避	回避機能無し(障害物と衝突の恐れがある場合は適用外とする)	—

## 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 2014年、2020年 ・厚さ3mm、□5cm×5cm以上検出可 ※計測対象に目地部含まず (機器仕様としては、うき・はく離(前兆である段差があるもの) の凹凸0.5mm以上検出可能)		—
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 ※	有	
	【性能値】 ・最高速度80km/h 【標準試験値】 標準試験方法(2020) 実施年 2014年、2020年 ・最高速度80km/h (検証時は10~20km/hで走行)		—
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 2020年 進行方向:16.7mm(3測線計測結果と真値の誤差平均) 周方向:14.7mm(3測線計測結果と真値の誤差平均)		—

※「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	・側壁から天端まで	—
	安全面への配慮	・回転灯の点灯 ・後方電光表示パネルにて「調査中」表示	—
	無線等使用における混線等対策	無し	—
	交通規制の要否	不要	—
	交通規制の範囲	—	—
	現地への運搬方法	測定機器が搭載された車両により自走運搬	—
	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	2車断面まで可	—
	断面形状の制約	道路幅員1800mm、高さ3040mmより大きく、車両が走行できること	—
	その他	計測対象は可視範囲に限る(ジェットファンなどの附属物の裏は計測不可) 非常駐車帯部の計測は不可	—

## 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	・解析システムの操作方法を習得したもの ※システム操作は簡単で、短時間で習得可能(特別な技術は不要)	—
必要構成人員数	計測機器操作1人、車両運転員1人	—
操作に必要な資格等の有無	・計測車両の運転 : 準中型免許 ・測定・解析システム : 特に無し(システム操作の習得)	—
操作場所	・計測車両 助手席PC設置場所	—
計測費用	【概算費用】(外内業含む、形状計測のみ) 直接人件費 : 625,900円 直接経費費 : 2,782,740円 (周長17m×延長500m×10トンネルの場合)	左記は形状計測のみの金額を示す。現地作業では、可視画像も同時計測可能。 【費用算出において想定している活用方法(コースケース)】 ・覆工コンクリートのはく離の前兆である段差を非接触かつ定量的に検出する
計測作業日数	準備・片付けで約1時間程度 点検作業時間は、対象トンネル延長の往復走行時間	—
保険の有無、保障範囲、費用	無し	—
時間帯(夜間作業の可否)	作業時間の制限は特に無し。	—
計測時の走行速度条件	撮影速度80km/h以下	—
渋滞時の計測可否	・渋滞による低速走行は計測可能 (ただし、車両が完全停止する場合は計測不可)	—
車両から覆工表面までの距離条件	計測機器との離隔が3.5m~5.0m程度であること 2車断面まで可	—
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)	測定機器が搭載された車両による移動	—
自動制御の有無	無し	—
利用形態:リース等の入手性	・請負業務 ・計測車両および解析ソフトウェアの販売可能	—
関係機関への手続きの必要性	交通管理者との協議	—
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	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・測定機器、解析システムの購入に応じてサポート体制有り	—
センシングデバイスの点検	・測定機器は開始前に動作確認を行う ・年1回、機器メンテナンスを行う	—
その他	—	—

## 6. 図面

外形寸法: 5030mm × 1800mm × 3040mm



※  
 上記は車体左側を開口した写真であるが、計測対象覆工面に応じて、左側・右側を開口して計測する。一度の計測では、全周計測できないため、複数回走行し、全周を計測する。下記に計測パターンを示す。

- ① 対面通行片側1車の場合・・・車両は往復走行することで全周計測が可能。左側開口部にて計測。
- ② 片側2車の場合・・・走行車線を走行し、左側開口部にて左半面を計測。追越車線を走行し、右側開口部にて右半面を計測。

## 1. 基本事項

技術番号	TN020003-V0425		
技術名	レーザー打音検査装置		
技術バージョン	VER1.0	作成:	2024年11月
開発者	株式会社フotonラボ (理研発SBIRスタートアップ)		
連絡先等	TEL: 048-483-4931	E-mail: laser-info@photon-labo.jp	レーザー打音事業部
現有台数・基地	1台	基地	福岡県北九州市
技術概要	車両に搭載した2種類のレーザーを用いて覆工コンクリート内部におけるうきを対象とした点検を遠隔化・デジタル化する。搭載されたスキャナーにより、設定した範囲内を自動で格子状にスキャンする。深さ5cm程度までの覆工コンクリート内部のうきを検知可能であり、検査結果は装置に搭載した高精度カメラで取得した覆工面画像と重ね合わせて表示される。覆工面画像とともにうき部分の確認および、継続的に計測データを蓄積することでうき箇所の変化を確認することができる。		
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	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理	その他(一)	
	検出項目	対象物表面の振動 打音の周波数変化	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>・本検査装置は、以下の装置群により構成される。</p> <p>「遠隔で打撃を与えつつ振動を計測するレーザー装置」</p> <p>「レーザー装置を駆動するための制御装置」</p> <p>「覆工表面状態を確認・記録するための高精度カメラ」</p> <p>上記が、移動装置(トラック)上に組み込まれている。</p> <p>・検査装置の制御・データの取得は、移動装置に設置したPCを用いて行い、計測した振動データは同PCに記録される。</p>
移動装置	移動原理	・【車両型】
	外形寸法・重量	・一体構造(移動装置+検査装置):最大外形寸法(全長8.5m x 幅2.3m x 高さ3.2m)、最大重量(7.4 t)
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—
	動力	・移動装置(検査装置を搭載する車両)は、車両に搭載されたディーゼルエンジンにより駆動する。
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—
計測装置	設置方法	・移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	センシングデバイス	<p>・振動励起レーザー:高強度パルスレーザー照射装置 自社開発【非接触タイプ】</p> <p>・振動計測レーザー:レーザードップラー振動計 自社開発【非接触タイプ】</p> <p>・覆工面撮像用カメラ:CMOSカメラ(30倍ズーム、500万画素)</p>
	計測原理	<p>・高強度パルスレーザーを覆工表面に照射し、表面を僅かに蒸散させることでその反作用により表面を振動させ、レーザードップラー振動計により音波領域(20kHz以下)の表面振動を計測する。覆工面内部にうきが存在する場合、共振により特定の周波数の振動が強く発生するため、表面振動の変化を解析することで覆工コンクリート内部のうき箇所を検知する。検出感度の校正は、基準うき供試体を使用して実施する。</p>
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>・検査位置にレーザーを照射するため、レーザーの出射口から検査位置の間が見通せる(障害物が無い)必要がある。</p> <p>・検査位置の表面は、コンクリートの様に光を散乱させる状態である必要がある。鏡面や塗装されていない金属へのレーザーの照射は、光を思わぬ方向に反射させ周囲を危険にさらす可能性があるため、これを避けねばならない。</p> <p>・レーザーが途中で散乱・吸収されてしまうため、濃霧が発生していないことが望ましい。(覆工面の濡れや汚れは問題にならない)</p> <p>・計測時には、検査車両が停止している必要があるため、検査車両側の交通規制が必要である。</p> <p>・検査に高強度レーザーを使用するため、装置周辺及び検査位置周辺3mの範囲をレーザー管理区域(JISC6802準拠)に指定する必要がある。</p>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>・微小振動を計測するため、計測時には検査装置を不必要に揺らさないように留意が必要である。</p> <p>・振動計測の結果から打音異常の判定を行う閾値は、使用者の求める基準に応じて適切に設定される必要がある。</p>	
計測プロセス	計測(手動処理)	<p>・検査位置付近まで車両を移動後、検査位置及び範囲を手動で指定し、検査を開始する。振動励起レーザー、振動計測用レーザー、スキャン装置(照射位置の移動)を自動制御して、指定した範囲の計測(エアースキャン)を行う。計測終了後にデータ処理及び異常判定を行い、判定結果は覆工面の写真に重ね合わせて表示される。表示結果を人間が確認し、正常に検査が完了していることを確認後、次の検査に移行する。</p>
	計測(自動処理)	
アウトプット	<p>・検査結果は、制御ソフト上で、検査直前に撮影した覆工面写真上に異常判定を色分け(うきは赤、健全部は緑)して表示した画像を重ねて表示される。</p> <p>・制御ソフト上で、任意の検査箇所をクリックすることで、振動計測の結果(振動波形、振動周波数分布)を表示することが可能である。</p> <p>・画像データの出力形式はJPGであり、振動データの出力形式は、テキストまたはCSV形式である。</p>	
耐久性	—	
動力	<p>・動力源:電気式</p> <p>電源供給方法:ディーゼル発動機</p> <p>検査装置全体の定格容量:200V単相(20kVA、60Hz)、100V(1kVA、60Hz)</p>	
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	・本検査装置を搭載する車両上に、装置の制御装置を兼用した、データ収集・記録装置となるPCを搭載する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・データ収集・通信装置は、検査装置の制御装置(ノートパソコン)と共通である。分けることも可能である。
	データ収集・記録機能	・検査中は、PCのハードディスクに保存。計測終了後、バックアップとして別記録媒体(外付けストレージ等)に出力保存。
	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	・動力源:電気式 ・電源供給方法:内蔵バッテリー ・定格容量:100V, 1000W
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	データの移動には、データ暗号化対応のUSBメモリ等を使用する。



### 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5m x高さ5m程度以上	—
適用可能なトンネルの最大寸法	装置との距離が15m以下程度	—
障害物回避	・覆工面画像を確認し、オペレータの操作により、トンネル内附属物を回避する。 ・トンネル内附属物の背面側を測定することはできない。	—

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 2019年 ・表面近くの空洞(ジャンカ(劣化)を含む)を模擬した打音検査用模擬供試体を用いた試験結果における、検出可能な変状のサイズを記載する。検証時、打音異常を有する試験体4体 ・空洞厚10mm、深さ30mmの場合、サイズ200mm×200mm以上であれば検出可能。 ・空洞厚0.1mm、深さ30mmの場合、サイズ200mm×200mm以上であれば検出可能。 ※計測対象箇所が目地部を含む		・検査位置の表面がコケ・石灰等で覆われていないこと。 ・検査箇所の表面が散乱体である(鏡面ではない)こと。
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 ※	有	
	【性能値】 ・未検証 【標準試験値】 標準試験方法 (2020) 実施年 2019年 ・計測速度: 約7.5分/m <sup>2</sup> (3cm間隔計測) 1回のスキャン範囲(計測領域面積)を11点x11点x3回=363点(0.09m <sup>2</sup> )とすると、計測時間は約36.3秒。1回の移動時間を5秒とすると、0.9平米あたりに必要な計測時間は、計測回数:10回+移動時間:9回で合計:408秒となる。1平米あたりに必要な計測時間を評価すると408/0.9平米≒453秒(約7.5分)/平米となる。 計測したデータの解析及び検査結果の表示には別途同程度の時間を必要とする。		・幅100mm程度の目地の内部まで計測するために、計測間隔を30 mmに設定。 ・毎秒10回の計測を行う。 ・S/Nの向上のために、1ヶ所を3回計測する。 ・スキャン範囲の移動に5秒/回必要である。 ・計測は、車両が停止した状態で行い、検査位置の移動は、装置に設置されたスキャナーによって行う。
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 ※	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	作業範囲	・路面より高さ1m位置の側壁から天端まで。	—
	安全面への配慮	・検査車両の設置側車線の交通規制が必要である。 ・JIS C6802「レーザー製品の安全基準」に従い、レーザー管理区域の指定(検査位置から半径3m程度)が必要である。 ・レーザー管理区域内作業者の保護メガネが必要である。 ・「レーザー管理区域を指定する看板の設置」、「注意喚起の看板の設置」を行う。	—
	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	・要	—
	交通規制の範囲	・片側車線	—
	現地への運搬方法	・検査車両による自走運搬	—
	気温条件	・トンネル内気温:5℃~35℃ ・濃霧ではないこと	—
	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	—

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	・特になし	—
必要構成人員数	・現場責任者1人、装置オペレーター1人、車両運転員1人合計3名	—
操作に必要な資格等の有無	・「レーザー機器取扱技術者」による社内安全教育2時間以上。	—
操作場所	・車両内、車両荷台上	—
計測費用	<p>[作業日数]</p> <p>・新技術活用による作業日数:1日から実施</p> <p>[参考費用]</p> <p>・新技術活用による費用 外業:2,000(千円)/日</p> <p>・機械の輸送費 基地からの輸送費(実費)</p> <p>・別途解析作業が必要(内業:500(千円)/日)</p> <p>[1日(7時間作業)=2,500千円で検査可能な範囲の参考値]</p> <p>・計測ピッチを20cmに設定した場合の1日の検査可能な面積: 約160平米</p> <p>・計測ピッチを3cmに設定した場合の1日の検査可能な面積: 約35平米</p>	<p>[検出対象となる変状]</p> <p>・圧ざ、ひび割れ 不可</p> <p>・うき、はく離 可</p> <p>・変形、移動、沈下 不可</p> <p>・鋼材腐食 不可</p> <p>・巻厚の不足または減少、背面空洞 不可</p> <p>・漏水等による変状 不可</p> <p>・付属物の取付状態異常 不可</p> <p>・その他 なし</p> <p>[作業内容]</p> <p>・近接目視点検 不可</p> <p>・打音検査 可</p> <p>・たたき落とし 不可</p> <p>・変状箇所スケッチ 不可</p> <p>・変状箇所写真撮影 可</p> <p>・その他 なし</p> <p>[作業範囲]</p> <p>・覆工表面 可</p> <p>・付属物背面の覆工 不可</p> <p>・付属物 不可</p> <p>・その他 なし</p> <p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <p>・打音点検の代替(たたき落とし除く)</p> <p>・トンネル覆工面の打音点検の判定補助</p>
作業条件・運用条件 計測作業日数	<p>・平均点検量:40平米/日(計測間隔は10cmの場合) 160平米/日(計測間隔は20cmの場合)</p> <p>・平均作業時間:7時間/日</p>	—
保険の有無、保障範囲、費用	・加入を検討中	—
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	・計測は、車両を停止した状態で行う。	—
渋滞時の計測可否	・原則として不可	—
車両から覆工表面までの距離条件	・1m以上、15m以内	—
トンネル内照明の消灯の必要性	・特に無し	—
可搬性(寸法・重量)	・本検査装置は、専用車両(4t平積みトラック)に搭載されている。本装置を含めた車両の寸法・重量は、全長8.5m、幅2.3m、高さ3.2m、重量7.4t。	—
自動制御の有無	無し	—
利用形態:リース等の入手性	無し	—
関係機関への手続きの必要性	・交通規制及びレーザー管理区域の指定を必要とするため、トンネル管理者及び警察等との協議を要する。	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<p>・解析ソフト:自社開発ソフトを使用</p> <p>・必要作業:担当者による解析作業(費用:500千円/日)</p>	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	有、条件:保守契約について締結している場合	—
センシングデバイスの点検	JIS C6802「レーザー製品の安全基準」に基づき、検査前に装置の点検を行う。	—
その他	・対向車が存在する場合、安全確保のため、レーザー打音の検査位置(照射位置)と対向車線のドライバーまでの距離を3m以上に保つこと。	—

## 6. 図面



**寸法：全長8.5m x 幅2.3m x 高さ3.2m**

**最大重量：約7.4 t**

**繰り返し：最大10 Hz**

**動作環境：5°C～35°C**

# 1. 基本事項

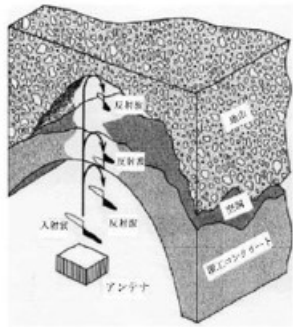
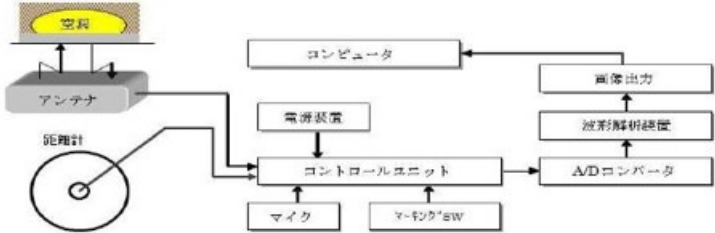

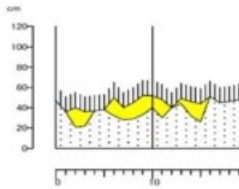
技術番号	TN020004-V0323		
技術名	天秤方式移動型レーダ探査技術		
技術バージョン	Vr.1	作成:	2023年3月
開発者	株式会社ウォールナット		
連絡先等	TEL: 042-537-3838	E-mail: sale@walnut.co.jp	調査グループ
現有台数・基地	10	基地	東京都立川市
技術概要	<p>天秤方式移動型レーダ探査技術は、小断面・大断面のトンネル径及びトンネル種類を問わず、時速2km～5kmで連続的に高速でレーダ探査可能な技術であり、探査対象(知りたい情報)に合わせたセンサーを設置し、計測を行うことができる。</p> <p>従来の計測方法は、人がセンサーを覆工面まで近づいて保持する必要があり、作業床を上げたまま計測するため探査速度が遅く、また、高所作業を伴うため安全性での課題があった。</p> <p>地中レーダは、センサーを替えることで、覆工の厚さ(1m程度)、背面空洞(2m程度)、内部欠陥(t=1.0mm、5cm角以上のうき、発生深度)が検出出来る。</p> <p>また、設置するセンサーは地中レーダーにとどまらず、20kg以下のセンサーで有れば取り付け可能である。</p> <p>トンネル壁面に接触させないと使用できないセンサーを簡易的に壁面まで近づけることが出来る。</p>		
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 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 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理	電磁波	
	検出項目	電磁波の反射強度	





## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>本計測技術は、「電磁波を照射・反射を受信するアンテナ部の計測装置」、「再現性を管理するための距離計装置」、「電磁波を制御・計測データを保存するデータ収集・記録装置」がそれぞれ独立しており、各装置間はケーブルにより接続されている。</p> <p>アンテナ部に取り付けた治具により、対象に応じて最適なアンテナを設置でき、探査測線に合わせる必要があるアンテナ以外は、自由な設置・配置が可能である。</p> <p>保持ユニット(ブーム)の先端に取り付けられるセンサーは地中レーダーにとどまらず、打撃ユニット(自動打撃装置)を設置することで、自動打音計測も可能である。</p>
移動装置	移動原理	<p>【人力】※天秤システム センサーを取り付けるブームとブームを操作する操作アーム、ブームと操作アームを固定する固定台の3部構成。操作アームはテコの原理により、カウンターウェイトを設置することで操作を容易にする。</p> <p>【車両型】※天秤システムを搭載し計測する移動手段 車両あるいは台車に天秤システムを設置し、アンテナを覆工に接触させて探査を行う。移動原理は搭載する車両もしくは人力による。</p>
	外形寸法・重量	<p>天秤システム単独</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大断面用 h=1.7m b=1.0m w=1.0m 50kg</li> <li>・小断面用 h=0.4m b=1.0m w=0.2m 3kg 簡易足場への取り付け可能</li> </ul> <p>移動装置の外形寸法・重量は、搭載する車両あるいは台車により異なる。</p>
	搭載可能容量 (分離構造の場合)	<p>搭載可能容量は、搭載する車両あるいは台車により異なる。</p> <p>道路トンネルの場合、一般的には高所作業車等の車両荷台に天秤システムを設置する。</p> <p>一般的な地中レーダアンテナの取り付けが可能。</p>
	動力	<p>移動装置の動力は、搭載する車両もしくは人力。</p>
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	
センシングデバイス	設置方法	<p>搭載する車両又は台車に天秤システムを載せ、ワイヤーや単管等で固定する。</p>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自社開発アンテナ h=0.2m b=0.3m w=0.4m 10kg</li> <li>・GSSI社400MHzアンテナ h=0.15m b=0.3m w=0.4m 9kg</li> <li>・GSSI社900MHzアンテナ h=0.08m b=0.3m w=0.2m 8kg</li> </ul> <p>※)使用したい周波数帯のアンテナ・その他センサーを簡易治具にて取り付けれる。</p>
	<p>アンテナ部: 自社開発アンテナ、その他市販品 (GSSI社400MHzアンテナ、GSSI社900MHzアンテナ、GSSI社1.6GHz、MALA社200MHz)【接触タイプ】</p> <p>自動打音装置: 自社開発</p> <p>データ記録・収集装置: 自社開発、GSSI社</p> <p>距離計部: 自社開発</p>	
計測原理		 <p>自動打音センサー</p>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中レーダーセンサ アンテナ部により電磁波の照射・反射波の受信を行い、コントロール部で記録を行う。トンネル縦断方向の移動量は、距離計にて検出し、反射波と関係付けることによりトンネル内における計測位置を明確化する。横断位置は測線で管理する。また、電磁波の速度は不変なため、キャリブレーションは必要ない。</li> <li>・打音センサ 覆工を一定の力で連続的に打撃し、その音を分析ユニット(打音分析装置)で分析することで覆工の健全性(うき・はく離・空洞・表面劣化などの有無や分布)の評価を実施することも可能である。覆工の健全性の評価は、打撃音の全エネルギーと欠陥部の特徴が顕著に現れる特定帯域(500Hz・3500Hz付近)の音響エネルギーの比から音響エネルギー指数を算出して行う</li> </ul>

計測装置	 <p><math>\rho</math> : 反射強度 (強度と極性情報を含む)  <math>\epsilon_1</math> : 第1層目の比誘電率  <math>\epsilon_2</math> : 第2層目の比誘電率</p>	
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"> <li>・地中レーダーセンサ 電磁波のため、覆工表面に導電体がある場合は、電磁波が透過しないのでその背面の反射波得られない。比誘電率の異なる層を検出するため、ウレタン系の注入剤と空洞の区別が付かない。</li> <li>・打音センサ コンクリートの硬度により音速に変化が現れるため、トンネルごとに健全部での標準データ取得が必須である。</li> </ul>	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中レーダーセンサ 比誘電率の異なる面を検出するため、比誘電率に影響を与える材料、構成などが精度と信頼性に影響を及ぼす要因となる。</li> <li>・打音センサ 特になし</li> </ul>	
計測プロセス	<p>コントロールユニット(パルサー)でモノパルスを作り送信アンテナより送信する。送信したパルスは対象物で反射し、受信アンテナから受信する。コントロールユニット(サンプラー)で波形を合成し、設定した距離ごとに反射波を記録する。その後AD変換を行いコンピュータに保存する。</p> 	
アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中レーダーセンサ 計測装置の最終アウトプットは電磁波の反射時間と距離情報であり、解析処理により覆工巻厚、背面空洞、内部欠陥位置などの数値データを元に、1mごとの巻き厚・空洞厚データ、および模式図の作成を行う。</li> <li>・打音センサ 異常箇所の発生位置を出力。 前回データと比較することにより進行性の確認</li> </ul> <p>巻厚/空洞厚データシート</p>  	
耐久性	防水性能無し	
動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:外部バッテリー、内蔵バッテリー</li> <li>・定格容量:使用する装置により異なる。</li> </ul>	
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<p>搭載車両により異なり          例1) 車両 車載発電機もしくは、DC出力の利用可能          例2) 人力 (汎用バッテリーが使用可能: 12V/50Ah以上を推奨)          外気条件に制約無し</p>	
データ収集・通信装置	設置方法	データ収集装置・記録装置は、計測車両室内に設置、または荷台上にベルト等で固定する。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	使用するノートPCによる。市販の汎用品
	データ収集・記録機能	専用コントローラーもしくは、ノートPC内のHDD。計測終了後、別記録媒体 (CD、DVD等) に出力保存。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-



	動力	・動力源:電気式 ・電源供給方法:外部/バッテリー、内蔵/バッテリー ・定格容量:使用するアンテナにより異なる。 汎用バッテリーへの接続が可能、容量問わず
	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	・導水路トンネルなど小断面への適用が可能で、最小所要空間寸法幅1000mm X 高さ1000mm程度	-
適用可能なトンネルの最大寸法	天秤アーム長の関係から、最大高さ10m程度	-
障害物回避	オペレータの操作により、天秤システムを動作させ、トンネル内附属物を手動で回避する。	-

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
計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
	<p>【性能値】</p> <p>[1] 劣化、表面近くの空洞 縦断5cm、横断1mのジャカ、浮きなどの内部欠陥を80%以上の検出率で計測。探査深度20cm程度(中心周波数3GHz) 計測可能な計測範囲の理論値:100cm(アンテナ中心より左右50cm)</p> <p>[2]覆工厚、背面空洞 (非接触レーダ使用時 中心周波数1GHz) 計測可能な覆工厚さの理論値 40cm程度 誤差±5cm 計測可能な背面空洞の理論値 200cm程度 誤差±10cm 鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) 鉄筋間隔が20cm以上であれば探査に影響なし (接触レーダ使用時 中心周波数400MHz) 計測可能な覆工厚さの理論値 80cm程度 誤差±5cm 計測可能な背面空洞の理論値 200cm程度 誤差±10cm 鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) 鉄筋間隔が20cm以上であれば探査に影響なし</p> <p>【標準試験】 標準試験方法(2020) 実施年 2020年</p> <p>[1] 劣化、表面近くの空洞 ・模擬供試体の地中レーダ測線上にある、t=1mm の一部以外は検出 ※全空洞に対する検出率:90%、的中率:78% ・試験場に設置されている最小5cm角t=1.0mm被り3cmの模擬浮きを含む全ての模擬浮きを検出。</p> <p>[2]覆工厚、背面空洞 試験場に設置されている、覆工厚40cm、模擬巻き厚不足、背面空洞、鋼製支保工を100%検出。 既往探査結果では、地中レーダと実削孔との対比の結果、探査精度は80~90%程度</p>		<p>・地中レーダは、ある一定の面(使用するセンサにより異なる)による探査のため、対象が平滑の場合、誤差は透過した物体がもつ比誘電率の個体差程度であり、殆ど発生しない。</p> <p>覆工背面のように平滑ではない場合、背面の凹凸程度の誤差が発生する。既存調査結果より、±5cm程度。</p> <p>また、背面空洞は、凹凸の影響が2面(覆工背面、地山面)となるため、±10cm程度は発生する。</p> <p>・計測可能な計測範囲の理論値:アンテナの幅400MHzの場合約40cm(1測線あたり)</p> <p>・検出能力は使用するセンサー(波長)によるため、検出したい物・大きさにより、センサーを適切に選定する必要がある。</p> <p>・探査可能な深度は、対象物の層構造により変化する。背面空洞は電磁波の減衰が少ないため、探査装置の記録可能深度を変えることにより、1m~3m程度は検出が可能である。</p>
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 ※	有	
	<p>【性能値】 0.1km/hから5km/hまで自由に設定可能</p> <p>【標準試験】 検証時:3km/h</p>		<p>路面の条件に依存され、未舗装路の場合には、測線を保持するために、1km/h以下程度で走行する必要がある。また、覆工面に障害が多い場合も同様で、センサーの接触による既設物の破損を防ぐために、障害前後ではゆっくり走行する必要がある。</p>
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 ※	無	
	<p>【性能値】 距離計精度 0.1%以内</p> <p>【標準試験】 未検証</p>		<p>使用する距離計に依存し0.1%~4%の装置を保有。舗装路の場合は、0.1%、未舗装路の場合は、4%以内に納める。</p>

※「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	路面より高さ10mm程度の位置の側壁下面から天端まで。	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	要	-
	交通規制の範囲	交通規制を行う場合は「片側車線」	-
	現地への運搬方法	車両に搭載して運搬	-
	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	汚れ・すす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	・計測は特になし ・解析は電磁波の原理を理解した技術者	-
必要構成人員数	現場責任者1人、計測員1人、車両運転員1人、合計3名	-
操作に必要な資格等の有無	・特になし	-
操作場所	調査対象や断面規模により異なるが、通常は、車両に設けられた作業床、荷台、手持ち併走など 作業ヤードの要否:否	-
計測費用	(1)支援技術による計測作業にかかる現場計測費用 ・500,000円/日 ・機械の輸送費 3,000円(都内陸送) 150,000円(北海道航送+陸送) 200,000円(沖縄航送+陸送) (2)従来の点検手法により作業を行うこととしての現場計測費用 ・600,000円/日	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・背面空洞や巻厚不足の点検
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500mのトンネル10本を一括して計測する場合 (1)支援技術による計測作業にかかる日数 ・500m1本×3測線:1日(従来と比較して0%向上) ・500m10本×3測線:5日(従来と比較して200%向上) [計測作業日数算出上の条件] ・トンネル間距離は短く断面変化が少ない ・1トンネル当たり縦断3測線の計測 ・接触型レーダ時の規制切り替え時間を0.5H程度と過程 (2)従来の点検手法(人力)により作業を行うこととして算出を実施する場合の日数 ・500m1本×3測線:1日 ・500m10本×3測線:10日	該当技術単独で実施した場合。 (他の要素作業による待機を含めず)
作業条件・運用条件	保険の有無、保障範囲、費用	加入済み、保証範囲:人+自転車+車、保証金額:無制限
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし(夜間作業は可) 等	-
計測時の走行速度条件	5km/h以下	-
渋滞時の計測可否	-	-
車両から覆工表面までの距離条件	車両や台車により異なるが、専用システムでは無いので、応用した設置が可能 通常10m程度まで。	-
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)	・特になし	-
自動制御の有無	・無	-
利用形態:リース等の入手性	すべて自社機材 計測サービスを提供(業務委託)	-
関係機関への手続きの必要性	交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する	-
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 ・背面空洞調査250,000円~500,000円/km ・内部欠陥調査500,000円~1,000,000円/km ・自動打音調査100,000円~150,000円/km	計測延長が長くなると単価は下がる。
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	-	-
その他	特許状況:特になし 気象条件:特になし 作業条件:特になし	-

## 6. 図面

天秤システム

重り

ブーム  
各種長さを用意

支柱

ベース

交換出来るセンサー

ベースを動力源に設置・固定

地中レーダセンサー

自動打音センサー

**大断面用**

地山

コンクリート

アンテナ

ブーム

フォーム

コンクリート

新設計

**小断面**

地山

コンクリート

アンテナ

**従来型レーダー計測**

従来計測方法

障害物があると作業床を下げる必要がある。

通路センター付近を計測する際には対向車に注意する必要がある。

1日の作業量は3km程度

**天秤システムレーダー計測**

天秤システム

連続的にデータ取得が可能。

1日の作業量は6km程度

2-4-34

## 1. 基本事項

技術番号	TN020005-V0425		
技術名	トンネル点検・診断システム iTOREL (アイトール)		
技術バージョン	バージョン1.1	作成:	2023年3月
開発者	東急建設株式会社		
連絡先等	TEL: 042-763-9533	E-mail: takahashi.yuusuke@tokyu-cnst.co.jp	技術研究所 高橋
現有台数・基地	1台	基地	神奈川県相模原市
技術概要	<p>本システムは、高所作業車に打音検査ユニットを搭載し、走行しながらトンネルの覆工コンクリートを検査する装置(以下、「車両型」)である。このユニットはハンマーを自動的に打撃し打音をマイクで収集することができる。収集した打音は音響解析とAI(機械学習、またはクラスタリング)による自動変状抽出を可能とする。打音異常の箇所は、撮像ユニットと組み合わせることでひび割れ検出結果とともに画像上で確認できる。打音検査ユニットはシステムから取り外して別の機械に搭載する事が可能である。例えば走行式門型フレームに搭載して車両を通行させながらトンネル全体を一度に検査する「フレーム型」や、人力による打撃を集音し、変状を自動判定する「人力型」がある(但し、フレーム型、車両型は警察の道路使用許可が必要)。</p>		
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	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>打音検査ユニットは、モータ駆動により打撃を加える「打撃装置」と、その反響音をとらえる「集音装置」、そして集音した打音データを解析してうきなどの変状を抽出するための「自動変状抽出システム」から構成される。この3つの構成要素を一体とした打音検査ユニットは、操作用タブレットPCとLANで接続され、打撃装置の制御や、データの記録および解析を行う。打音収集および異常判定は自動で行い、打音(WAVデータ)およびXMLデータ(点検時刻、打撃回数、打音特徴量、打撃位置、判定結果)もPCに自動保存される。</p> <p>撮像ユニットはLED照明とエリアカメラと撮像用コンピュータから構成され、打音検査ユニットと同様に操作用タブレットPCとLANで接続される。撮像ユニットの移動に合わせて自動で撮影・保存され、即座にひび割れ検出処理が行われる。検出精度は幅0.3mm以上のひび割れについて未検出本数1割以下、ひび割れ長さ8割以上である。誤検出はひび割れ密度の1割以下である。</p> <p>各ユニットは、高所作業車の作業床やトンネル縦断方向に移動可能な門型フレームに取り付けて運用することを想定する。</p> <p>またユニットを取り外し、人力による打音を集音装置により収集して自動変状抽出システムによって変状抽出を行うこともできる。</p>
移動装置	<p><b>移動原理</b></p> <p>【車両型】 高所作業車の作業床に、モータによりトンネル周方向に回転可能な装置(スイングアーム)を取り付け、この装置に打音検査ユニットと撮像ユニットを搭載する。縦断方向の移動は高所作業車の走行、周方向は作業床の高さと装置の角度を手動で調整することで対応する。</p> <p>【フレーム型】 トンネル縦断方向に走行可能なガントリー型フレームにアーチ状のレールと移動機構を取り付け、移動機構に打音検査ユニットと撮像ユニットを搭載し、一般車両を通行させた状態で点検を行うことを可能とする。縦断方向の移動はガントリー型フレームに備えたタイヤを電動モータにより駆動する。周方向の移動は移動機構を電動モータによるラックレール方式により駆動する。操作は歩道上で行う。</p> <p>【人力型】 人の打音をマイクで収集して「自動変状抽出システム」によって変状抽出を行うため、打音検査を行う点検員の体(背中)にユニットを装着して移動する。この手法では「検査者」と「記録者」の2名での運用を想定し、ユニットと接続された操作用タブレットPCを持った記録者が検査員の打撃した位置を画面にタップしながら打撃位置のデータを記録する。</p> <p><b>外形寸法・重量</b></p> <p>【車両型】 最大外形寸法(長さ6.1m×幅1.9m×高さ3.7m)、最大重量(8t) ※高所作業車AT-120SRMを使用した場合</p> <p>【フレーム型】 最大外形寸法(長さ5000mm×幅8000mm×高さ5700mm)、最大重量(4.0t)</p> <p><b>搭載可能容量(分離構造の場合)</b></p> <p>【車両型】 最大外形寸法(長さ3.0m×幅1.8m×高さ1.5m)、最大重量(1.0t) ※高所作業車AT-120SRMを使用した場合</p> <p>【フレーム型】 最大外形寸法(長さ800mm×幅600mm×高さ300mm)、最大重量(120kg)</p> <p><b>動力</b></p> <p>【車両型】 仮設備:有(電気式) 車両に搭載した発電機(200V 5.6KVA)から有線により電力供給する。</p> <p>【フレーム型】 仮設備:有(電気式) 装置に組付けた発電機(200V 6.5KVA)から有線により電力供給する。</p> <p><b>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</b></p> <p>【車両型】【フレーム型】共通 連続稼働時間24時間以内、外気温5度~35度、結露なき環境(湿度80%以下)</p>
設置方法	<p><b>設置方法</b></p> <p>【車両型】 高所作業車等の作業床にスイングアーム装置を専用のねじクランプで取り付け、この装置に各ユニットをボルトで固定する。</p> <p>【フレーム型】 トンネル縦断方向に移動可能なガントリー型フレームにトンネル周方向に移動可能なアーチ状のレールを取り付ける。このレール上を移動する移動機構に、各ユニットをボルト固定する。</p> <p><b>外形寸法・重量(分離構造の場合)</b></p> <p>【車両型】【フレーム型】共通 打音検査ユニット:最大外形寸法(長さ580mm×幅560mm×高さ200mm)、最大重量(18kg) ※ユニット1台あたり 撮像ユニット:最大外形寸法(長さ380mm×幅630mm×高さ150mm)、最大重量(8kg) ※ユニット1台あたり</p> <p>【人力型】 集音装置(検査者が背負う形式を想定):最大外形寸法(長さ300mm×幅300mm×高さ500mm)、最大重量(1.0kg) 自動変状抽出システム(タブレットPCを想定):最大外形寸法(長さ300mm×幅200mm×高さ20mm)、最大重量(0.3kg)</p> <p><b>センシングデバイス</b></p> <p>【車両型】【フレーム型】【人力型】共通 打撃装置:自社開発(市販の点検用ハンマを搭載) 集音装置:マイク(SONY製ECM-VG1)、アンプ(ROLAND製UA-22) 撮像ユニット:LED照明(自社開発)、カメラ(Sentech製STC-SPC891PCL)</p>



計測原理

ハンマ等の打撃によって発生した打音をマイク(集音装置)で収集し、PCに入力する。自動変状抽出システムは、マイクによって取得した打音をスペクトル解析し、打音の特徴量をもとに機械学習やクラスタリングの解析を行うことで変状の自動識別を行う。音響信号を扱う部分では、あらかじめハンマ音に対してマイクのゲイン調整を行った上で、入力 of 最大値に対してトリガがかかる閾値を設け、一般的な残響時間の定義で用いられている値と同様にサンプリング中のピーク値に対し60dB減衰するまでを打音と判定する。周波数解析においては、打音として検出された区間に時間窓を設け、窓をスライドしながらFFT(Fast Fourier Transformation)を行うことによってそれぞれの打音の特徴量を取得する。

【クラスタリングに基づく変状抽出】

集音装置により収集した打音を周波数解析し、複数の打音を比較することで特徴を見つけ出し、その特徴量をもとに複数の集合に分けることで、健全部とうき部に分類する方法である。本手法においては、どの集合が健全であるかは特定できないため、それぞれの集合の代表値を聞き、うきと健全を区別(ラベル付け)する必要がある。実際の点検現場では、うき部に比べ健全部の分布する面積は広いので、サンプル数が多い方を健全部、サンプル数が少ない方をうき部とみなすこともできる。

【機械学習に基づく変状抽出】

クラスタリングによって分けられた健全部およびうき部の集合の特徴を学習することで、点検を行いながらリアルタイムで変状抽出が可能となる。本手法においては、アンサンブル学習の枠組みを用いることで、特徴量設計における課題を解決し、変状検出を自動的に行うことが可能な手法の構築されている。アンサンブル学習は、識別に貢献しない特徴量が存在し単一の識別器では性能が低下する場合にも、数十個程度の異なる識別器を組み合わせることで、より性能の良い検出が可能である。本

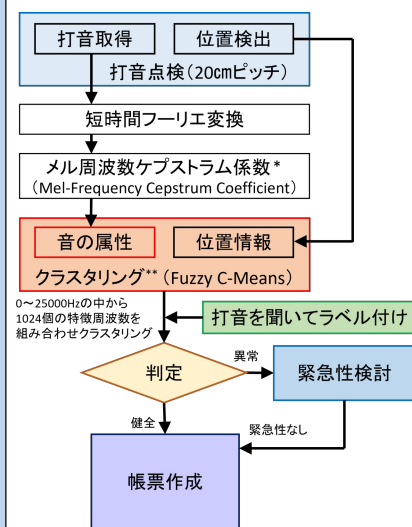
手法では、アンサンブル学習の1つであるブースティングアルゴリズムを用いて変状識別器を構成した。ブースティングアルゴリズムでは、訓練データの重みづけを更新しながら複数の弱識別器を逐次生成していき、弱識別器の重み付き多数決によって最終的な識別関数(強識別器  $H(x)$ )を構成する。

【車両型】【フレーム型】共通

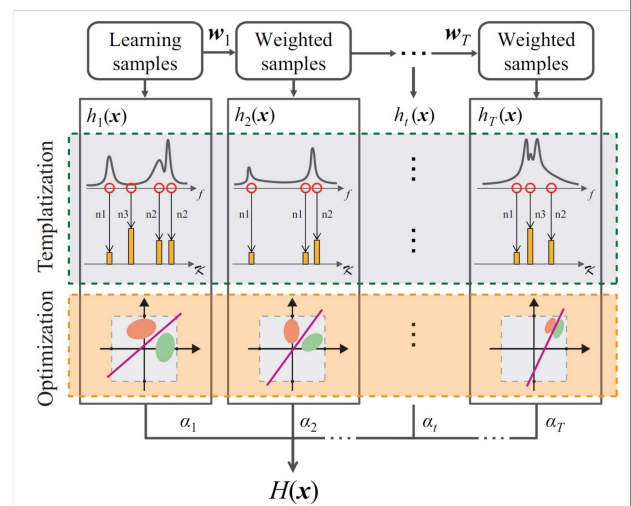
打撃装置によって発生する打音を集音装置にて収集する。健全部とうきの判定は前述のクラスタリングまたは機械学習によって行われる。移動装置のトンネル縦断方向もしくは周方向の移動量をエンコーダによって計測し、トンネル内における打撃位置を算出する。打撃位置は打音特徴量もしくは判定結果とともにPCに記録する。

【人力】

記録者はタブレットPCによって事前に検査対象の写真を撮影し、変状抽出プログラムの操作画面に出力しておく。検査者がコンクリート表面を叩いて発生させた打音を集音装置により収集し、記録者は検査者が叩いた箇所を操作画面上でタップすることで打撃位置を入力し、打音特徴量もしくは判定結果とともにタブレットPCに記録する。



クラスタリング処理フロー



機械学習処理フロー

計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)

【車両型】【フレーム型】【人力型】共通

現場の環境によって打音の反響音が異なるため、計測の最初に集音装置のボリュームつまみを調節し、打音が正常に検出可能であることを「自動変状抽出システム」の画面上で確認する。

計測装置 精度と信頼性に影響を及ぼす要因

【車両型】【フレーム型】【人力型】共通

打音検査ユニットの適用範囲は打撃可能なコンクリート面であるが、車両型やフレーム型に搭載される打撃装置が接近できない照明やケーブル等の坑内設備の周囲200mm以内は適用できない。コンクリート表面に設置された突起物については最大265mmまで回避可能で、打音検査ユニット本体からコンクリート表面までの離隔が115~265mmであれば打撃が可能である。なお、人力型は人が叩ける範囲であれば適用は制限されない。

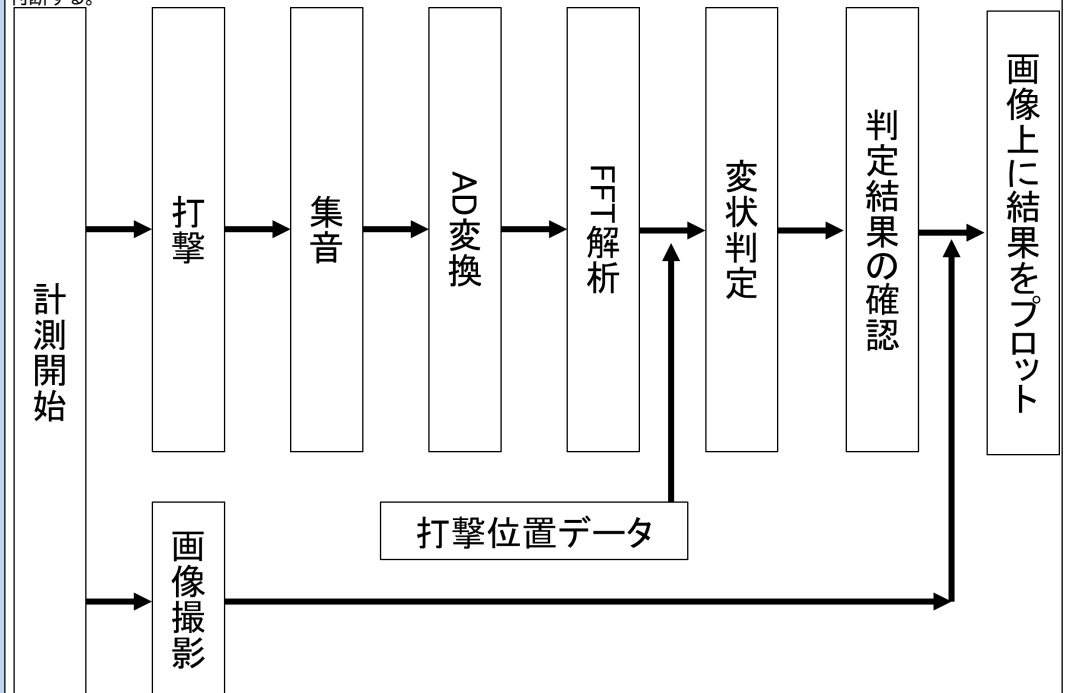
吹付け仕上げなど覆工表面に凹凸のある場合も離隔調整範囲(115~265mm)内であれば打撃が可能であるが、ハンマが接触する角度によって打音が変化するため現時点では対象としていない。

1) 事前準備  
 打音データはPCに保存されるため、クラスタリングによる判定では現地でのデータキャリブレーションは必要としないが、機械学習による判定を行う場合は、事前に取得した教師データから識別器を生成する。ユニットに電源を入れて打撃テストを行い、打音が正常に取得できることをソフトウェア上に表示されるスペクトルのピーク値で確認する。取得できない場合は、アンプの音量ボリュームを調節する。  
 フレーム型および車両型を使用する場合は、点検開始位置でエンコーダをリセットさせる。人力型の場合は、点検箇所の手対画像をカメラで撮影するが、点検対象が画角に収まらない場合は複数枚に分けて撮影し、タブレットPCに保存しておく。

2) 点検作業～結果出力  
 専用ソフトウェアで打音検査ユニットおよび撮像ユニットを起動させ、打音、位置、画像の記録を開始する。打音と画像の収集および識別は自動で行い、打音(WAVデータ)およびXMLデータ(点検時刻、打撃回数、打音特徴量、打撃位置、機械学習判定結果、画像、ひび割れ検出結果)はPCに自動保存される。

3) 変状の自動抽出  
 初めて点検を行う場合は、現地で収集した複数打音のデータをクラスタリングによって複数の集合に分類し、集合ごとに打撃面積または人の判断を使用して健全とうきのラベル付けを行い、判定結果として出力する。このクラスタリングによる判定作業は事務所で行われる。  
 機械学習では、事前に計測した健全およびうきの特徴量をもとに複数の識別器を作成し、各識別器に付加された重み付けの値から打音ごとの判定結果をリアルタイムで出力する。2回目以降の点検では、クラスタリング時に得られた打音データを機械学習で使用する教師データとして学習し、次回以降の定期点検時に使用することができる。  
 クラスタリングと機械学習のどちらを変状判定方法として使用するかは坑内の環境や教師データの有無によって使用者が判断する。

計測プロセス



調査フロー

<p>アウトプット</p>	<p>【車両型】【フレーム型】【人力型】共通                  出力データ: 打音データ、点検結果(点検時刻、打撃回数、打音特徴量、打撃位置、判定結果)、覆工コンクリート画像上に撮像ユニットにより検出したひび割れ検出結果と変状抽出結果を重ねて表示した展開写真                  データ出力形式: 打音データ(WAV形式)、点検結果(XML形式)、展開写真(PNG形式)</p>
<p>耐久性</p>	<p>【車両型】【フレーム型】共通                  打撃装置の耐用寿命: 打撃回数204,000回</p>
<p>動力</p>	<p>【車両型】【フレーム型】共通                  仮設備: 有                  動力源: 電気式                  電源供給方法: 外部からの電源供給(発電機等)                  定格容量: AC100V                  【人力型】                  仮設備: 有                  動力源: 電気式                  電源供給方法: タブレットPC内蔵バッテリー(最大4時間稼働)およびUSB給電による外部バッテリー(4時間以上)                  ※マイク、アンプへの電源供給もタブレットPCから行う。</p>
<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>	<p>【車両型】【フレーム型】共通                  バッテリー駆動不可                  【人力型】                  4時間以上(外気温20℃、0.3秒に1打音計測した場合)</p>

データ収集・通信装置	設置方法	<p>【車両型】【フレーム型】共通 判定用PCを車両やフレームの制御盤内に搭載する。設定・操作はユニットに有線LANで接続したタブレットPCを使用する。</p> <p>【人力型】 集音装置(マイクおよびアンプ)は検査者が装着 記録装置は操作用タブレットPCと併用、タブレットPCはショルダータイプのケースに収め、記録者が装着</p>
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>【車両型】【フレーム型】共通 判定用PC: 最大外形寸法(長さ400mm×幅350mm×高さ300mm)、最大重量(500g)</p> <p>【人力型】 タブレットPC内</p>
	データ収集・記録機能	<p>【車両型】【フレーム型】共通 データ収集・解析・記録機能は、判定用PCに内蔵 データを出力する場合は、判定用PCに操作用タブレットPCをLAN接続してデータを転送</p> <p>【人力型】 集音装置からUSBケーブルによって有線接続したタブレットPCにデータを収集・解析・記録データを出力する場合はUSBメモリ等を使用</p>
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	<p>【車両型】【フレーム型】共通 ・通信方法 有線LAN ・通信速度 10Gbps(CAT6A相当)</p>
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	<p>【車両型】【フレーム型】共通 有線LAN接続のためPCのセキュリティに依存する。ただし、接続時に事前に設定したIDとパスワードが必要。</p>
	動力	<p>【車両型】【フレーム型】共通 仮設備:有(計測装置の動力を併用)</p> <p>【人力型】 仮設備:無(操作用タブレットPC上で稼働)</p>
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	<p>【人力型】 連続稼働時間2時間以内、外気温5度～35度、結露なき環境(湿度80%以下) ただし、タブレットPCのバッテリーを複数台用意する、タブレットPC本体を複数台用意する、電源(100V)が確保可能、などの対応により時間は無制限に使用可能。</p> <p>【フレーム型】【車両型】共通 連続稼働時間24時間以内、外気温5度～35度、結露なき環境(湿度80%以下)</p>

## 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	<p>【車両型】【フレーム型】共通            打音検査ユニット単体の最小所要空間寸法:幅1m X 高さ1m程度(上記装置及び必要離隔を含んだ数値)            適用可能な最小寸法は採用する移動装置に依存する。            フレーム型の場合:幅員6.4m×高さ5.5m            車両型の場合:幅員3.0m×高さ4.0m</p> <p>【人力型】            人が点検可能なスペース</p>	<p>打音を解析して変状抽出するため、現場で発生するノイズに留意する。小さな定常的騒音や比較的低い音には耐性があるが、打音が埋もれてしまうほどの大きな騒音や突発的騒音(バイクや自動車の走行音)、また打音に近いような比較的高い音(金属がぶつかる際に発生する音など)が計測中に発生すると、誤検出の要因となる。</p>
適用可能なトンネルの最大寸法	<p>【車両型】【フレーム型】共通            適用可能な最小寸法は採用する移動装置に依存する。            フレーム型の場合:片側1車線の一般道トンネル程度のサイズ(幅員8,5m×高さ5.7m程度)であれば適用可能車両型の場合:高さ11m(幅員は特に制限なし。)</p> <p>【人力型】            人が点検可能な作業床が設置できれば適用可能</p>	<p>フレームとトンネル壁面の離隔が115~265mmの場合、計測機器の自動離隔調整機能により対応が可能。ただし、トンネル壁面の段差や勾配など急な離隔変化が発生する箇所での打撃は避ける。</p>
障害物回避	<p>【車両型】【フレーム型】共通            オペレータの操作によりフレームを手動または自動変形しトンネル内附属物を回避する。附属物の突出量が壁面から265mm以下の場合には回避可能。</p>	<p>障害物の周囲200mm以内の打撃は本計測装置では実施できないため、人力による検査を実施する。</p>

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	<p>・打音を解析して変状抽出するため、現場で発生するノイズに留意する。小さな定常的騒音や比較的低い音には耐性があるが、打音が埋もれてしまうほどの大きな騒音や突発的騒音(自動車のクラクション等)、また打音に近いような比較的高い音(金属がぶつかる際に発生する音など)が計測中に発生すると、誤検出の要因となる。</p> <p>クラスタリングによって判定を行う場合、打音特徴量の類似度によって分類したそれぞれの集合の代表となる打音を点検員が聞き、集合についてうきと健全の区別(ラベル付け)するため精度や信頼性はラベル付けした点検員に依存する。</p> <p>機械学習によって信頼性の高い判定を行う場合、対象となるトンネルのうきと健全の教師データ(打音データ)が3,000個以上必要となる。事前に教師データをもとにした識別器の作成が必要になるが、1つの打音毎に健全と浮きなどの変状をリアルタイムに判定できる。</p> <p>初めて打音検査ユニットで点検を行うトンネルについては、教師データを保有していないためクラスタリングによる点検を実施する。教師データが不要であるため、現地でのキャリブレーション時間は短い、ブロック毎など一定数の打音データを取得しなければ識別処理を行うことができない。クラスタリングで取得した打音データは、次回点検時に教師データとして使用できるため、次回以降は機械学習による打音検査が可能。</p> <p>・吹付け仕上げなどによる覆工表面の凹凸がないこと。 ・苔やエフロなどでコンクリート表面が覆われていないこと。</p>
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 ※	有	<p>フレーム型は打音検査ユニット3台を併用した場合の速度、車両型は打音検査ユニット2台を搭載した場合の速度。横断方向および縦断方向への移動に要する時間を含む。</p>
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 ※	無	<p>当社開発の撮像ユニットを用いた場合の精度となる。</p>

※「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	【車両型】側壁SL(路面より高さ2m程度)から天端 【フレーム型】側壁SL(路面より高さ2m程度)から天端 【人力型】特に規定しない	特になし
	安全面への配慮	自動打撃時にはく落防止対策を実施する フレーム型、車両型を使用する場合は交通誘導員を配置	建築限界とトンネル内空の余裕量が少ないトンネルの場合は、フレーム型使用時も片側交互通行等の検討が必要
	無線等使用における混線等対策	特になし	特になし
	交通規制の要否	要(片側交互規制)	フレーム型のトンネル進入時は一時的な通行止めが必要
	交通規制の範囲	警察との道路使用協議による 【車両型】トンネル区間全て(片側交互通行) 【フレーム型】歩道規制もしくはトンネル区間全て(片側交互通行)	特になし
	現地への運搬方法	打音検査ユニット本体は普通車で輸送可能 【車両型】【フレーム型】 フレームやレール、移動機構は分割してトラック運搬、組立 【人力型】 専用バッグによる運搬	【車両型】 10tユニック1台 【フレーム型】 10tトラック2~3台
	気温条件	気温5度~35度	特になし
	トンネル延長の制約	特になし	延長に応じてHDD等へ計測データの保存が必要
	車線数の制約	【車両型】 片側交互規制 【フレーム型】 条件に応じて車線規制なし又は片側交互規制 ただし、歩道の通行止め等の規制が必要	片側1車線道路トンネル対応
	断面形状の制約	特になし(レール形状を変えることでボックスカルバートにも適用可能)	点検システムと建築限界の干渉について図面または3次元計測等による事前検討が必要
	その他	すす汚れによる作業の可否:可	・吹付け仕上げなど覆工表面に凹凸のある場合も離隔調整範囲(115~265mm)内であれば打撃が可能であるが、ハンマが接触する角度によって打音が変化するため現時点では対象としていない。 ・苔やエフロなどでコンクリート表面が覆われている場合、点検前に除去が必要。



## 5. 留意事項(その2)

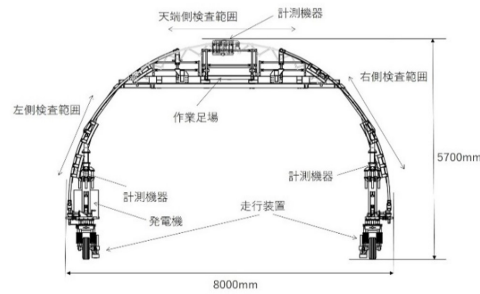
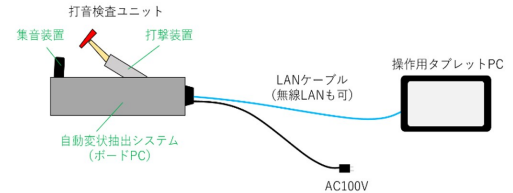
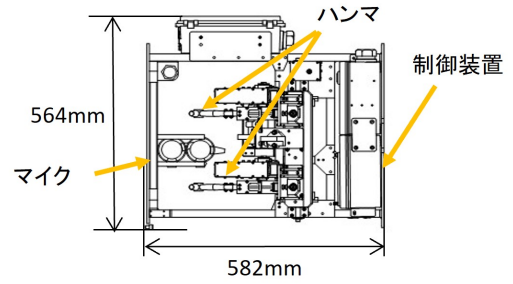
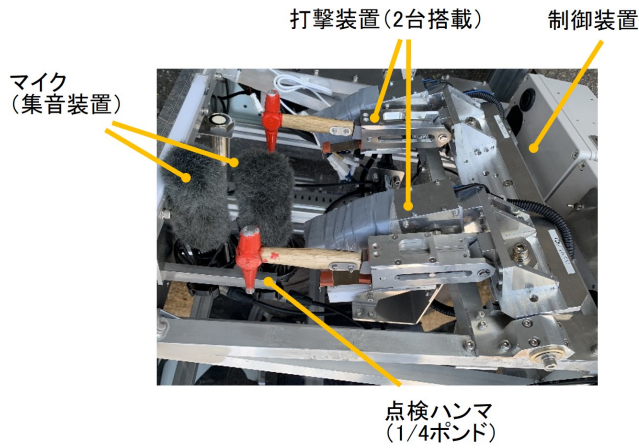
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	【打音検査ユニット】 点検時:特になし(基本的なPC操作ができることが望ましい) 解析時:打音検査経験者(クラスタリングでの打音聞き分け) 【資格】車両型のみ高所作業車の運転(技能講習)	特になし
必要構成人員数	【車両型】【フレーム型】共通 現場責任者1人、点検員1人、点検補助員1人、交通誘導員3人(合計6名) 【人力型】 点検員1人、点検員補助1人(合計2名)	打音検査ユニット単体の操作は1人で可能 交通誘導員の人数は交通規制帯の延長により変化する
操作に必要な資格等の有無	特になし	4時間以上の社内操作講習受講を推奨
操作場所	・作業ヤード 【車両型】 7m×3m程度 (交通規制帯内で組立作業が可能) 【フレーム型】 12m×12m程度 (トンネル入り口付近に組立用の作業ヤードが必要) ・操作場所 【車両型】 作業床上および高所作業車運転席 【フレーム型】 移動足場上または地上	特になし
計測費用	【トンネル条件】 ・片側1車線(2車線)断面 ※1※2※3 【計測費用】 【トンネル延長が500mの場合】 ・従来的人力点検による費用 625万円(税抜) ※4※5 ・車両型による費用※6※7 打音検出+ひび割れ検出 530万円(税抜) 打音検出のみ 480万円(税抜) 【トンネル延長が180mの場合】参考 ・従来的人力点検による費用 225万円(税抜) ※4※5 ・車両型による費用※6※7 打音検出+ひび割れ検出 240万円(税抜) 打音検出のみ 210万円(税抜)	【計測費用算定上の条件】 ※1 片側交通規制が可能 ※2 附属物なし ※3 トンネル半径(側壁)4.65mの場合 ※4 ひび割れ密度0.3m/m2の場合 ※5 初回点検の場合 ※6 200mm間隔でトンネル全面を打撃する場合 ※7 トンネル内の附属物の設置状況により費用が変わる可 能性あり 【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネル覆工面の打音点検の代替(たたき落とし除く)
計測作業日数	【トンネル条件】 ・片側1車線(2車線)断面 ※1※2※3 【作業日数】 【トンネル延長が500mの場合】 ・従来的人力点検による作業日数 8日 ※4※5 ・車両型による作業日数※6※7 打音検出+ひび割れ検出 4日 打音検出のみ 2日 【トンネル延長が180mの場合】参考 ・従来的人力点検による作業日数 5日 ※4※5 ・車両型による作業日数※6※7 打音検出+ひび割れ検出 2日 打音検出のみ 1日	【計測作業日数算定上の条件】 ※1 片側交通規制が可能 ※2 附属物なし ※3 トンネル半径(側壁)4.65mの場合 ※4 ひび割れ密度0.3m/m2の場合 ※5 初回点検の場合 ※6 200mm間隔でトンネル全面を打撃する場合 ※7 トンネル内の附属物の設置状況により作業日数が変わる可能性あり
保険の有無、保障範囲、費用	現在検討中	特になし
時間帯(夜間作業の可否)	特になし(夜間作業は可)	特になし
計測時の走行速度条件	【フレーム型】 25m/h(計測時は走行を停止しているため平均点検スピード) 【車両型】 1.2km/h(打撃間隔200mmの場合) 【移動時の走行速度】 フレーム型:1~10m/min(移動時の走行速度) 車両型:ベース車両の走行性能による。	フレーム型の最大登坂可能勾配10%
渋滞時の計測可否	特になし (点検による渋滞が予測される場合はフレーム型を推奨)	特になし
車両から覆工表面までの距離条件	【車両型】 高所作業車の作業床が覆工表面から300mmまで近寄れる範囲 【フレーム型】 門型フレームに組付けたレールと覆工表面までの離隔が150mm程度まで近寄れる範囲	特になし
トンネル内照明の消灯の必要性	特になし	特になし

可搬性(寸法・重量)	<p>【車両型】【フレーム型】共通 外形寸法:長さ580mm×幅560mm×高さ200mm、重量:14kg 【人力型】 外形寸法:長さ300mm×幅300mm×高さ500mm、重量:1.0kg (PC寸法:長さ300mm×幅200mm×高さ20mm、重量:0.3kg)</p>	特になし
自動制御の有無	<p>・うき、空洞の自動判定 ・打撃装置から覆工表面までの離隔自動調整(115~265mm) ・打撃力自動調整(打撃方向による打撃力低下防止機能)</p>	特になし
利用形態:リース等の入手性	<p>打音検査ユニット:購入 高所作業車はレンタル品 (一般的なトンネル点検車をレンタルする。) ガントリー型フレームの貸出し可能</p>	特になし
関係機関への手続きの必要性	<p>警察および道路管理者との道路使用協議および申請書の提出を要する。</p>	特になし
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<p>・解析ソフト:自社開発ソフトを使用 ・必要作業:クラスタリング等の解析作業および展開図作成 ・費用:計測費用に含む。</p>	特になし
不具合時のサポート体制の有無及び条件	<p>有(打撃装置、集音装置、自動変状抽出システム) サポート会社:(株)小川優機製作所</p>	特になし
センシングデバイスの点検	<p>作業開始前にソフト上から計測機器を動作し、各部が正常に動作することを確認する。 打撃装置(ハンマ)、集音装置(マイク)の外観検査は目視で確認する。</p>	特になし
その他	<p>・特許出願状況 特許第6302105号 「打音装置およびこれを用いた点検方法」 特許第6387031号 「コンクリート打音装置およびこれを用いたコンクリート点検方法」 特許第6506817号 「構造物の点検方法」 特許第6545987号 「移動架構装置」 特許第6633454号 「変状部の検出方法及び変状部の検査装置」 特許第6974993号 「コンクリート構造物の評価方法及び評価装置」 特許第6990531号 「移動足場装置」 特許第7288815号 「トンネル点検装置」 商標登録第6200054号 「iTOREL(アイトーレル)」 ※実施料は別途調整が必要</p> <p>・気象条件 特になし</p> <p>・作業条件 特になし</p> <p>・適用できない条件等 著しい騒音等で打音が聞き取りづらい環境となっている場合は計測が困難。</p>	特になし



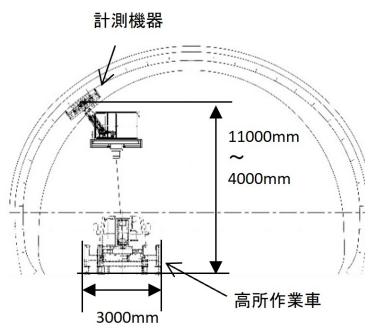
6. 図面

・打音検査ユニット(特許第6302105号)

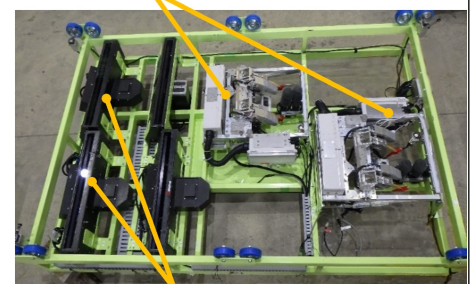


フレーム型(特許第6990531号)

人力型

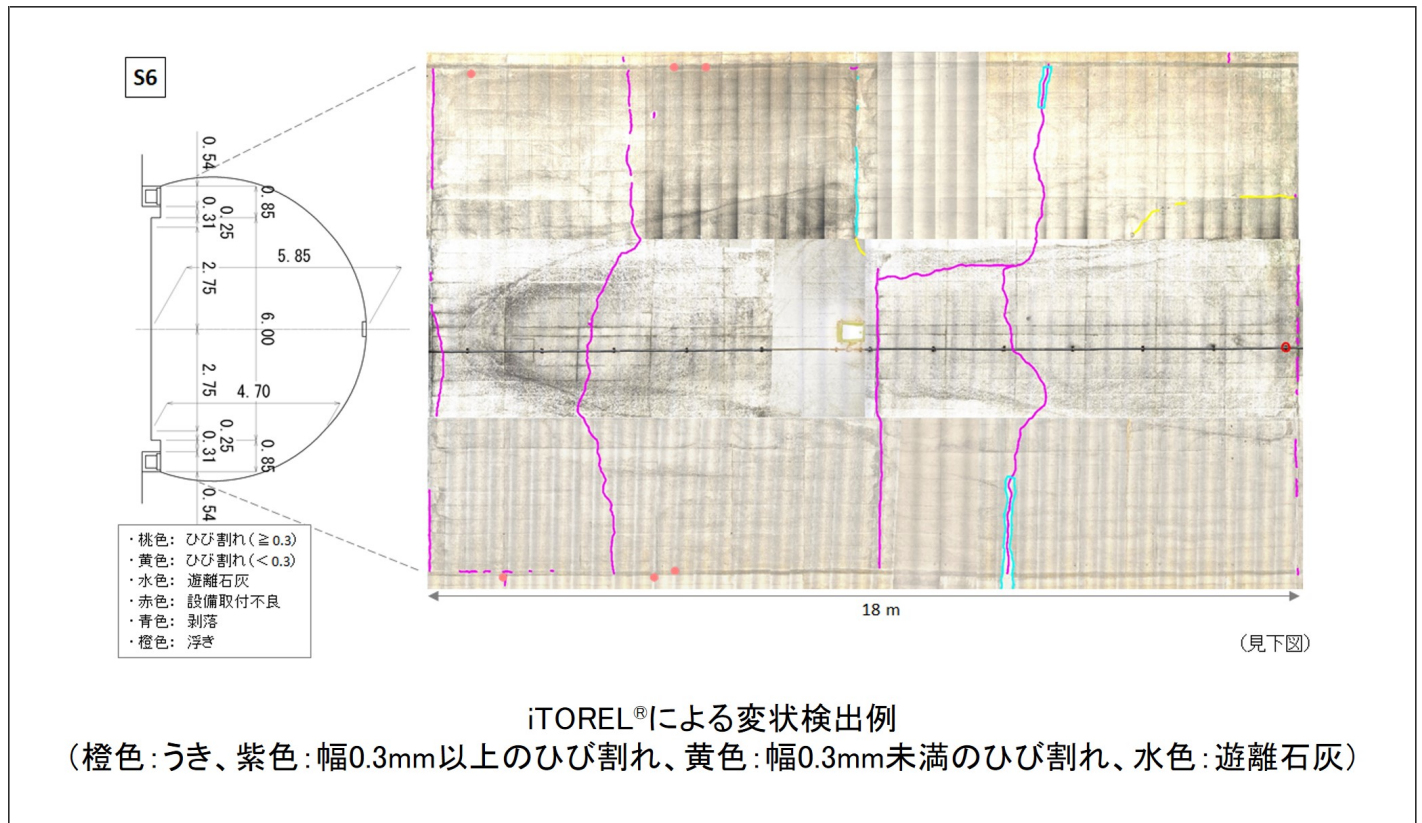


打音検査ユニット(合計4本のハンマーで打撃)



車両型(特許第7288815号)

点検ユニット(車両型用)



# 1. 基本事項

技術番号	TN020006-V0524		
技術名	走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミム・アル)-レーダ 探査技術-		
技術バージョン	Ver.5	作成:	2024年3月
開発者	パシフィックコンサルタンツ株式会社		
連絡先等	TEL: 03-6777-4763	E-mail: tn-mimm@ss.pacific.co.jp	交通基盤事業本部 トンネル部
現有台数・基地	MIMM-R,-R2号機 各1台	基地	茨城県つくば市

トンネル覆工壁面の連続画像撮影システム、高精度3次元レーザ計測システム、非接触レーダ探査システムを車両に搭載し、覆工表面ひび割れや漏水等の変状と、トンネル断面形状、巻厚、背面空洞、内部欠陥等を計測する。  
 MIMM-Rに搭載しているレーダは2種類あり、TYPE1:巻厚・空洞探査用レーダと、TYPE2:うき・ジャンカなどを探査する内部欠陥レーダである。  
 TYPE1:覆工巻厚・背面空洞調査レーダシステムは、H31年トンネル点検要領に定められた、巻厚の不足、または減少及び背面空洞による突発性崩壊のおそれに対する判定を行うための、巻き厚・空洞のデータを別途レーダ調査を行うことなく計測することが出来る。TYPE2:内部欠陥レーダは同要領に定められたうき、はく離に対する対策判定のためトンネル覆工表面付近に発生している欠陥の有無・発生位置を検出する事が出来る。TYPE1、TYPE2ともに、交通規制が不要であり、近接目視前に打音検査のスクリーニング(健全部)として活用し、打音検査の効率化を図ることが可能である。  
 走行1回で、非接触式走行型のTYPE1:レーダ1測線、TYPE2:レーダは3測線(アーチ部半断面)を、交通規制を伴わずに時速50~70km/hで、覆工巻厚、空洞厚、内部欠陥位置を検知することができる。  
 レーダはMIMM-Rに搭載された統合システムであり、画像、レーザのほかに、レーダとしての性能カタログを別途作成した。

技術概要

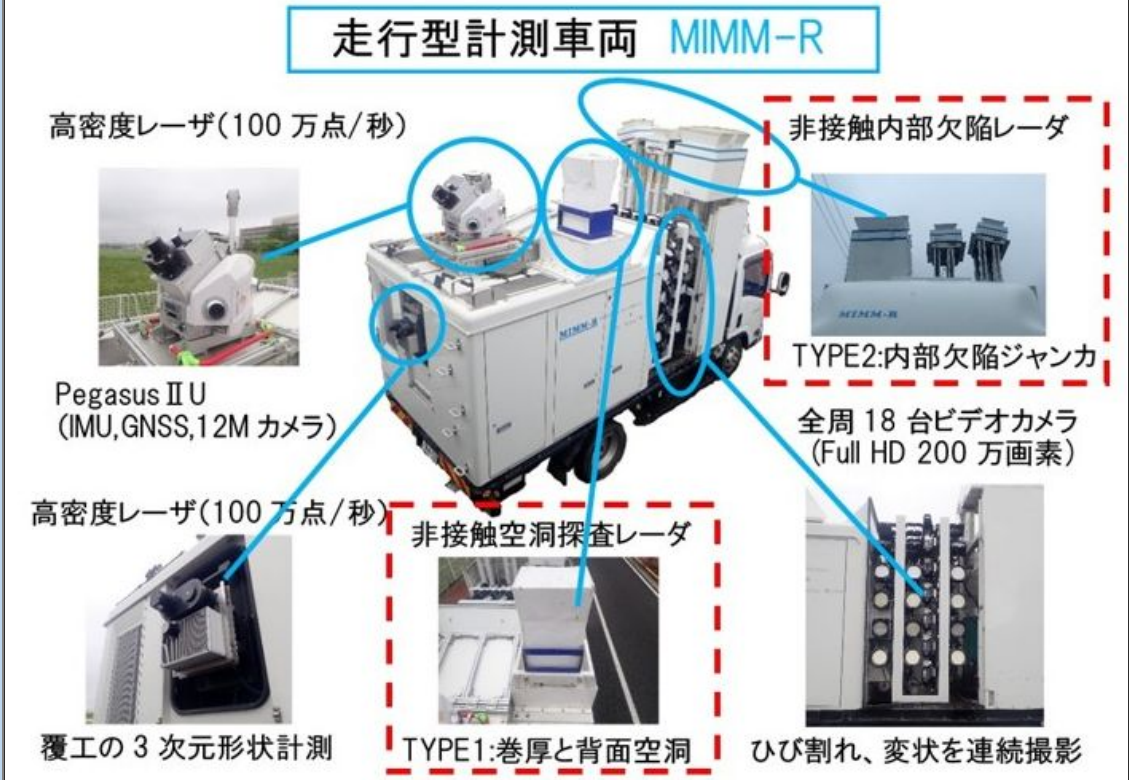


図-1 技術概要図

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
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み
	物理原理	電磁波
	検出項目	電磁波の反射強度



2. 基本諸元


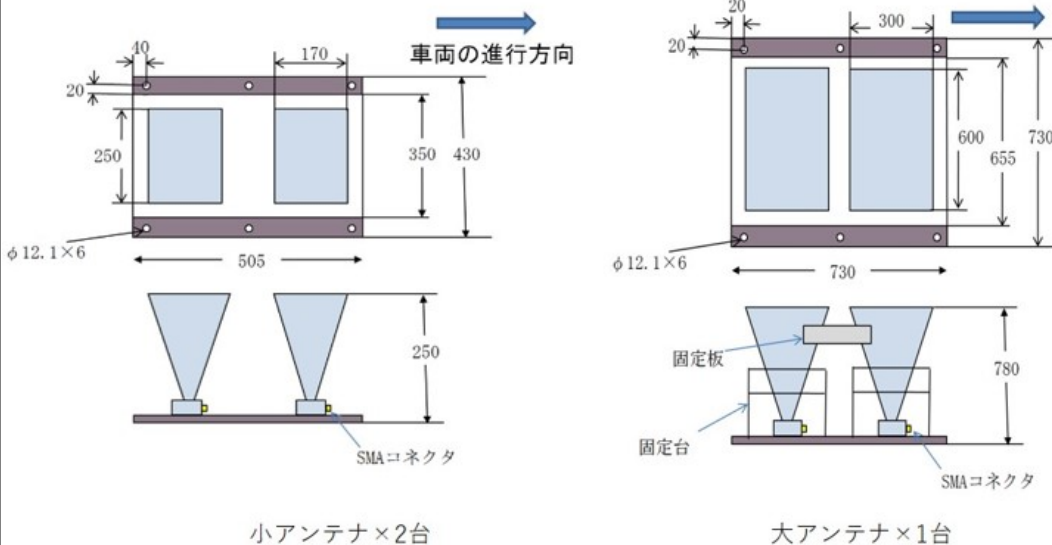
計測機器の構成	<p>・本計測機器は、「電磁波を照射・反射を受信するアンテナ部とみ合わせた計測装置」、「再現性を管理するための距離計装置」、「電磁波を制御・計測データを保存するデータ収集・記録装置」がそれぞれ独立しており、各装置間はケーブルにより接続されている。よって探査測線に合わせる必要があるアンテナ以外は、自由な設置・配置が可能である。</p>
<p>移動原理</p> <p>移動装置</p>	<p>(型式) [車両型]</p> <p>・MIMM-Rまたは、車両に搭載させ、探査測線に対応した通行車線を走行しながらトンネル縦断方向のデータを取得。</p> <p>TYPE : 1 巻き厚空洞レーダー</p> <p>TYPE : 2 内部欠陥レーダー</p>  <p>図-2 アンテナ離隔図</p>
外形寸法・重量	<p>搭載する車両により以下の通りである。</p> <p>例1) MIMM-R 高さ3.25m 幅2.08m 長さ5.99m 重さ7.22t</p> <p>例2) 高所作業車 高さ3.24m 幅1.88m 長さ5.57m 重さ7.27t</p>
搭載可能容量 (分離構造の場合)	<p>車両搭載型のシステムであり、必要な測線、調査内容により、MIMM-Rに限らず、適切に設置できる車両であれば容量制限は無い。</p>
動力	<p>搭載車両により以下の通りである。</p> <p>例1) 車両(MIMM-R:トラック、リース車両:高所作業車など)</p> <p>例2) 人力けん引(無駆動車:リアカー、荷車を想定)</p>
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	<p>移動装置は、車両あるいは人力であり、一日の連続稼働が可能。</p> <p>例1) MIMM-R 8h以上 走行距離400km程度</p>
設置方法	<p>・MIMM-Rの場合は一体構造であり、それ以外の車両の場合は、取り付け治具を簡易ベルトなどで作業床に固定する。</p>  <p>小アンテナ×2台</p> <p>大アンテナ×1台</p> <p>図-3 内部欠陥アンテナ形状図</p>

図-3 内部欠陥アンテナ形状図

外形寸法・重量 (分離構造の場合)

TYPE1:空洞レーダ  
 ・アンテナ部(電磁波照射+受信装置):最大外形寸法(長さ330mm×幅450mm×高さ1000mm)、最大重量(13kgf)  
 TYPE2:内部欠陥レーダ  
 ・アンテナ部(電磁波照射+受信装置)小:最大外形寸法(長さ430mm×幅510mm×高さ360mm)、最大重量(8kgf)×2台  
 ・アンテナ部(電磁波照射+受信装置)大:最大外形寸法(長さ600mm×幅730mm×高さ780mm)、最大重量(20kgf)×1台

共用部分  
 ・距離計部:最大外形寸法(長さ90mm×幅40mm×高さ140mm)、最大重量(0.6kgf)  
 ・コントローラ部(電磁波を制御・計測データを保存するデータ収集・記録装置):最大外形寸法(長さ480mm×幅240mm×高さ120mm)、最大重量(9kgf)

センシングデバイス

・アンテナ部 TYPE1:空洞レーダ、TYPE2:内部欠陥レーダとも自社開発  
 ・距離計部 アクト電子社製 MODEL 1521N  
 ・コントローラ部 自社開発



TYPE2:内部欠陥レーダー	
構成要素	仕様
センサ部	形式 : 非接触アンテナ 送受別アンテナ
	周波数帯域 : 中心周波数 3GHz
コントロール部	処理装置 : パーソナルコンピューター
	レーダ方式 : FM-CW 方式
	最大計測速度 : 90km/h
	位置検出 : エンコーダ同期式
距離計	距離信号 : オドメトリ信号
記録・表示部	・ コンピュータ OS (Windows)
	・ 記録装置 : コンピュータ内 HD
	・ 表示 : 強弱濃淡変換表示, 波形表示選択

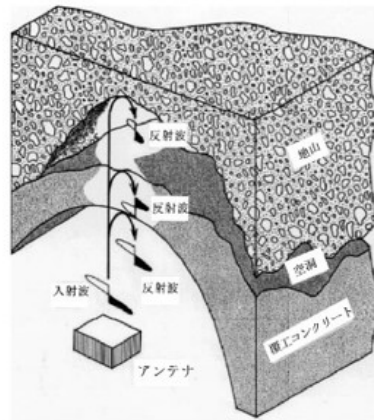
図-4 内部欠陥アンテナ仕様

電磁波の反射 : 電磁波の速度は不変なため、計測のためのキャリブレーションは不要

TYPE1:空洞レーダ  
 ・アンテナ部により電磁波の照射・反射波の受信を行い、コントロール部で記録を行う。トンネル縦断方向の移動量は、レーザードップラー式距離計にて検出し、反射波と関係付けることによりトンネル内における計測位置を明確化する。

TYPE2:内部欠陥レーダ  
 FM-CW方式の電磁波を照射し、合成開口処理を行い、移動方向平均値算出処理、設定値乗算処理、引算処理はレーダの移動方向に広がる信号成分を抑圧処理を行う。位置計測は同上。

計測原理



$$\rho = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

$\rho$  : 反射強度 (強度と極性情報を含む)

$\epsilon_1$  : 第1層目の比誘電率

$\epsilon_2$  : 第2層目の比誘電率

図-5 TYPT1 解析原理

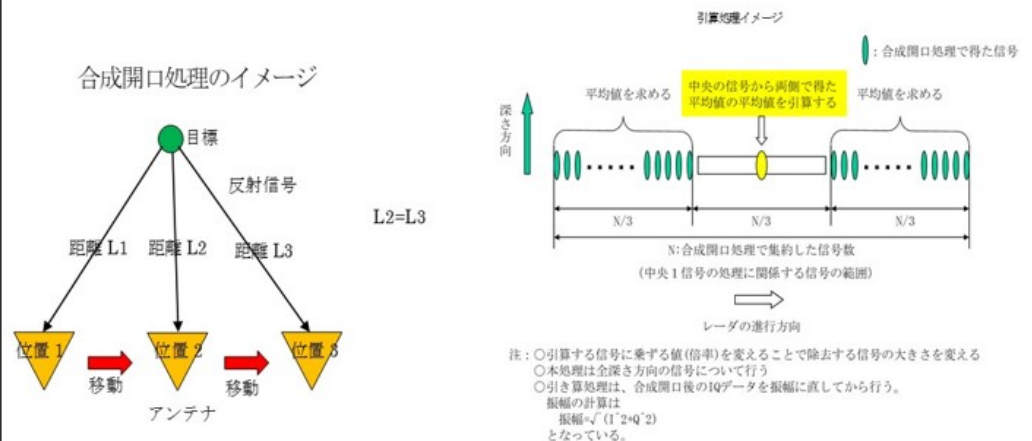


図-6 TYPT2 解析原理

計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)

空中を30万Km/秒の速度で伝搬する電磁波(電波)は、従来地中への透過が非常に困難であったが、特定の電磁波は、減衰はあるものの地中を透過することができ、その電磁波を用いた地中レーダーは、高い分解能、精度を持つ非破壊検査が可能となる。

通常、地中レーダーに用いられる電磁波は、UHF波あるいはマイクロ波と呼ばれるものが主たるもので、その波長は数cm程度までのものである。探査対象物に向けてアンテナから電磁波を放射すると、電気的性質の異なる物質(比誘電率で定義される)の境界面で電磁波は反射する。この反射波がアンテナに戻ってくるまでの時間を計測することにより、境界面までの距離を算定することができる。同時に境界面毎に異なる反射の強弱及び位相を計測し、算定された距離とともにデータ処理した上、境界面毎に対象物を断面図化して表示するのが、地中レーダーの基本的な原理である。

計測装置

精度と信頼性に影響を及ぼす要因

上記原理の通り、何か特定な物性を見つけ出す物では無く、電気的性質の異なる面で反射する物理現象を人間が判断(解析)する。よって過去の経験、背面状況から推察し、物性を判読するため、誤認識の可能性がある。例) 空洞と解析したが、裏込め剤の発泡ウレタンが注入されているなど。

電気的性質が異ならないと反射が発生しないので検出できない。  
例) 覆工コンクリートと、注入後かなり年月が経過したセメント系裏込め材の境界など。

また、徐々に物性が変化するような状況は検出が出来ない。

例) 徐々に含水率が増えていく、地下水位の位置

計測プロセス

TYPE1:空洞レーダ  
 パルサーでモノパルスを作り送信アンテナより送信する。送信したパルスは対象物で反射し、受信アンテナから受信する。サンプラーで波形を合成し、設定した距離ごとに反射波を保存する。  
 保存したデータをAIにより簡易分析し、巻厚が薄い場所、覆工表面側に発生している異常信号の有無通知を行う。

TYPE2:内部欠陥レーダ  
 送信アンテナから、連続波を送信する。送信した電波は対象物で反射し、受信アンテナから受信する。合成開口処理を行い、特異信号を目立たせる処理をする。一つ前の反射波と引き算処理を行い、特異信号のみ残る処理を行い、設定した距離ごとに反射波を保存する。

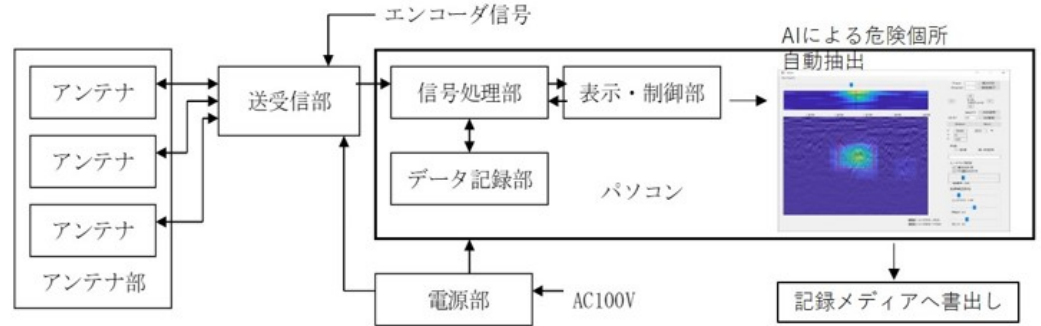


図-7 計測プロセス

・TYPE1:巻厚・空洞厚レーダー  
計測延長、1mごと(ニーズにより変更可能)の巻厚・空洞厚  
・TYPE2:内部欠陥レーダー  
発生位置  
統合システムにより、画像+変形モードコンター図+巻厚・空洞厚コンター図+内部欠陥位置の同時表示が可能

アウトプット

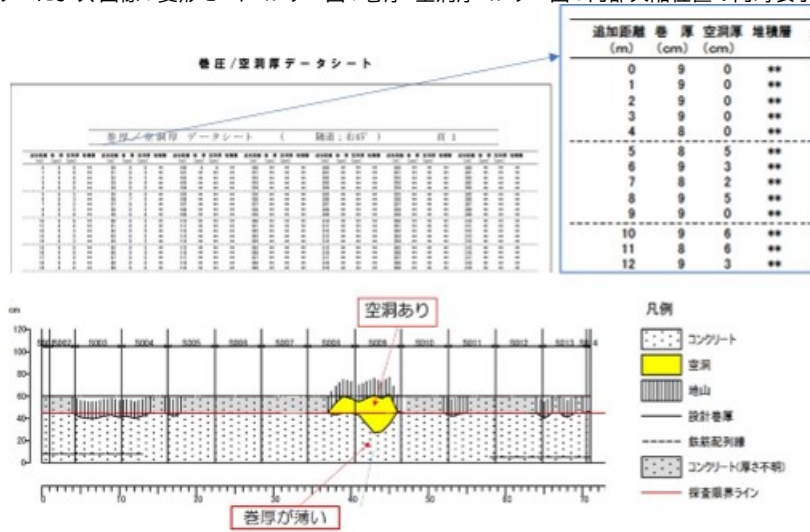


図-8 TYPE1: 出カイメージ (2次元展開図)

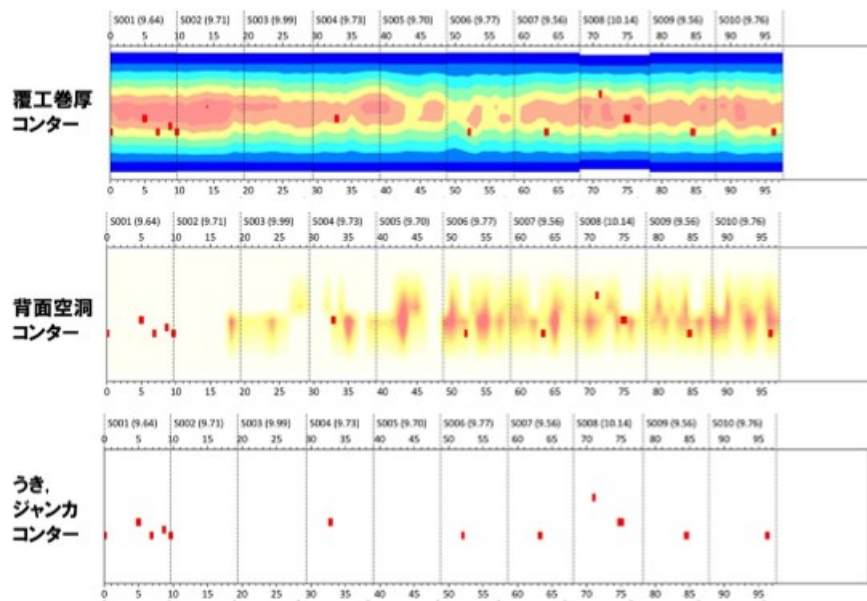


図-9 TYPE2: 出カイメージ (2次元展開図)



	耐久性	・特に制限なし
	動力	搭載車両により以下の通りである。 例1) 車両 車載発電機もしくは、DC出力の利用可能 例2) 人力 (汎用バッテリーが使用可能: 12V/50Ah以上を推奨)
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	車両の場合は、車両のDC出力を使用可 例1) MIMM-R 8時間以上 走行距離400km程度まで (外気温に影響なし)
データ収集・通信装置	設置方法	搭載車両により以下の通りである。 例1) 車両 専用操作室もしくは、助手席 例2) 人力 (荷台)
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・Windows7 以降概ねのPCに対応
	データ収集・記録機能	・計測中は、PCのハードディスクに保存。計測終了後、別記録媒体 (CD、DVD、HDD等) に出力保存
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	なし
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	なし
	動力	搭載車両により以下の通りである。 例1) 車両 車載発電機もしくは、DC出力の利用可能 例2) 人力 (汎用バッテリーが使用可能: 12V/50Ah以上を推奨)
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	なし

## 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	【性能値】 MIMM-Rを使用する場合は、1車線の道路トンネル それ以外の車両・台車を使用する場合には ・人道(歩道)トンネル程度 ・最小所要空間寸法 幅700mm X 高さ1500mm程度 【標準試験】 未検証	なし
適用可能なトンネルの最大寸法	【性能値】 ・MIMM-R搭載の場合は、2から3車線の道路トンネル ・高所作業車などに搭載する場合は、特に制限はない 【標準試験】 未検証	計測対象面からアンテナまでの離隔3m以内に設置が出来る場合に限る。
障害物回避	【性能値】 非接触のため無し MIMM-R搭載の場合は、アンテナから壁面まで3m程度の離隔 で計測することが可能であり、建築限界内での使用のため特 にジェットファン・看板など障害物回避の必要性はない 【標準試験】 未検証	-

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	
	<p>【性能値】 TYPE1:巻き厚・空洞レーダー(中心周波数1GHz) 計測可能な覆工厚さの理論値 40cm程度 誤差±5cm 計測可能な背面空洞の理論値 200cm程度 誤差±10cm 鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) 鉄筋間隔が20cm以上であれば探査に影響なし</p> <p>TYPE2:内部欠陥レーダー(中心周波数3GHz) 縦断5cm、横断1mのジャカ、浮きなどの内部欠陥80%以上の検出率で計測。探査深度20cm程度</p> <p>【標準試験】 TYPE1:巻き厚・空洞レーダー [1] 表面近くの空洞 空洞厚30mm、被り10~50mmの場合、500×500mm以上であれば検出可能 模擬空洞7か所中、2か所検出 検出率 28%、的中率 100% [2] 巻厚不足、鋼製支保工、背面空洞 ① 模擬巻厚不足の検出 40cm覆工厚に対し、20cmの巻厚、1か所を検出 検出率100% 的中率 100% ② 鋼製支保工 40cm覆工厚に対し、被り250mmで、H150の鋼製 支保工11基を検出 検出率100%、的中率 100% ③ 背面空洞 40cm覆工の背面空洞(空気)を検出 検出率100%、的中率100%</p> <p>TYPE2:内部欠陥レーダー [1] 表面近くの空洞 非接触レーダーであり、空洞の有無を探索する。小規模な模擬うき(5cm×5cm)単体の検出は難しいが、探査範囲内に複数ある事として検出可能 模擬空洞403か所中、403か所検出 検出面が広いため、検出した範囲内に小規模なうきが複数個存在 検出率100%、的中率 100% [2] 表面近くの空洞(別テストフィールドにて実施:確認シート参照) 空洞厚10mm、被り30mm、大きざ10cm×10cm以上であれば検出可能 模擬空洞10か所中、8か所検出 検出率 80%、的中率 100%</p>	<p>TYPE1:巻き厚・空洞レーダー 【確認シート参照】</p> <p>巻厚・空洞レーダは基本的に背面空洞探査を主目的としている。表層近くの空洞の場合は、規模が大きな空洞であることが条件となり、空洞厚3cm以上、空洞規模50cm程度以上であれば、探査可能となる。</p> <p>レーダーアンテナから覆工壁面までの離隔は3m程度以下 計測可能な計測範囲の理論値:75cm(1測線あたり) 照明灯具、照明ケーブルなどの近傍は、電磁波が反射するため探査困難</p> <p>巻厚・空洞レーダの空洞探査深度は、45cm程度以下 覆工厚が50cm程度の場合、背面空洞は探査できない 覆工厚が45cm程度以下の場合、背面空洞の有無が確認できる。 覆工厚が20cm程度の場合、背面空洞厚が探査できる場合がある(例えば覆工20cmの場合、空洞厚が1m程度まで探査できる)</p> <p>探査可能な深度は、対象物の層構造により変化する。 背面空洞は電磁波の減衰が少ないため、探査装置の記録可能深度を変えることにより、1m~3m程度は検出が可能である。 【技術マニュアル参照のこと】</p> <p>TYPE2:内部欠陥レーダー 【確認シート参照】</p> <p>内部欠陥レーダは非接触で、レーダーアンテナから覆工壁面までの離隔は3m程度以下 照明灯具、照明ケーブルなどの近傍は、電磁波が反射するため探査困難 非接触のため、探査幅は1m程度となり、小さな欠陥単体の位置を検出することはできず、欠陥の有無を検出する 【技術マニュアル参照のこと】</p>
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 ※ 有	
	<p>【性能値】 計測速度は、0.1km/hから80km/h程度、データ間隔は、0.5cm毎から100cmまで自由に設定可能</p> <p>【標準試験】 20km/h、30km/h、40km/hで検証</p>	<p>計測機の性能に計測速度は依存しない。 計測速度は、使用環境により変化する。 (交通量、路面状況、使用する車両・台車などによる)</p>
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 ※ 無	
	<p>【性能値】 距離計精度 0.1%以内 それ以外の車両では、0.1%から4%で、使用する距離計による。</p> <p>【標準試験】 未検証</p>	<p>現在使用している、電磁波の周波数帯による1波長は数cm程度から30cm程度であり、mm単位の細かい分解能は必要としない。 路面の状況により距離計を使い分ける。</p>

※「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	
	交通規制の範囲	-	
	現地への運搬方法	・「車両に搭載して運搬」 ・「分割して運搬し現地にて組立」	
	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	・アンテナと壁面までの離隔が3m以内に設置出来ない場合	
	その他	【汚れ、すす等がある場合の作業の可否】 可	

5. 留意事項(その2)

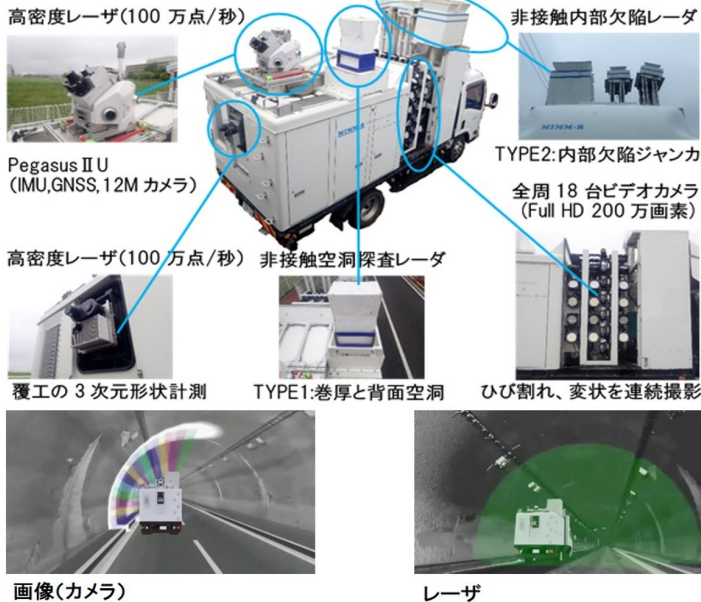
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	計測サービスを提供するための、社内規定による	
必要構成人員数	現場責任者1人、計測員1人、車両運転員1人、合計3名	
操作に必要な資格等の有無	計測サービスを提供するための、社内規定による	
操作場所	車両内	
計測費用	空洞レーダ単独計測の場合 250,000円/日 MIMM-RでTYPE1,2とも計測する場合 1,000,000円/日 [トンネル条件] ・延長500mのトンネル1本のみ計測の場合、延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合 ・ひび割れ密度0.3m/m <sup>2</sup> ・2車線断面 [費用] ・新技術活用による費用 TYPE1:巻き厚・空洞レーダー 1TN25万円 10TN25万円 TYPE2:内部欠陥レーダー 1TN75万円 10TN150万円 ・機械の輸送費 計測地により要相談 [費用算定上の条件] ・TYPE1:巻き厚・空洞レーダーは巻厚30cm未満かつ空洞厚30cm以上の場所検出、測線天端1本 ・TYPE2:内部欠陥レーダーは健全スクリーニング、測線アーチ6測線	※)MIMM-Rをレーダ単独で使用するには割高になるが、複合(撮影・レーザとの併用)の計測する場合はこの限りではない。 【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・近接目視点検前に、打音検査(問題箇所、健全箇所)のスクリーニングを実施、打音検査の効率化 ・巻厚不足、背面空洞(突発性崩壊)を考慮した対策区分 定の支援 ・統合型診断システムによる総合的判断による健全性診断の支援
計測作業日数	・計測作業日数 1日で、測線延長:50kmから100km/日の計測が可能	
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み、保証範囲:人+自転車+車、保証金額:無制限	
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	・特になし 法定速度内 80km/h程度まで対応可能	
渋滞時の計測可否	・特になし 一日の作業量が減るので避けたい	
車両から覆工表面までの距離条件	車両走行に対する制限は特に無いが、「アンテナから対象物までの離隔を3m以内」	
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)	・特になし	
自動制御の有無	-	
利用形態:リース等の入手性	・すべて自社機材(MIMM-R以外の車両のみ、レンタルで入手) ・計測サービスとして提供(機材+オペレーション+結果)	
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 解析費 ①TYPE1で空洞位置特定の場合 100,000円/日当たり ②TYPE1で天端1測線解析縦断図化の場合 400,000円/km(測線長当たり) ③TYPE1で3測線 コンター展開図、断・横断面図作成の場合 700,000円/km(3測線長当たり) ④TYPE2で内部欠陥 2次元展開図化 250,000円/km(3測線/1走行当たり) ・出力イメージは、アウトプット参照	例えば、解析費は ③1km 3測線 700,000円 ②1km 3測線+④6測線(2走行)1,200,000円 ③④ともMIMM-R計測で、日あたり複数トンネルの場合、計測費は割安
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	-	
その他	【計測作業日数】 規制を必要としない走行型のため、法定速度=計測速度となる。 トンネル場所により大きく異なる ※)近接している場合には測線延長で数十km程度は可能 【特許状況】 特になし 【気象条件】 ・特になし 【作業条件】 ・特になし	



6. 図面

走行型高速3D計測システムによるインフラ点検・診断技術

- 走行型計測車両 MIMM-R



カメラ、レーザ、レーダおよび、近接目視、打音検査を総合的に融合させ、適切な判定を実施し、トンネル点検・診断全般の効率化、省力化などの支援を目指す。

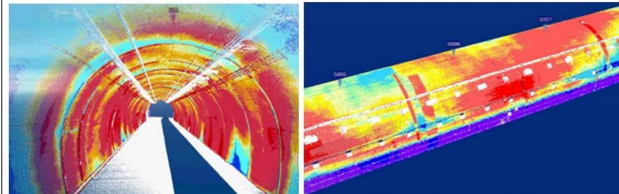
地形測量対応MMS (3Dマッピング)

- 高精度地形測量、地物認識
- ⇒道路管理の電子化、CIM導入への対応



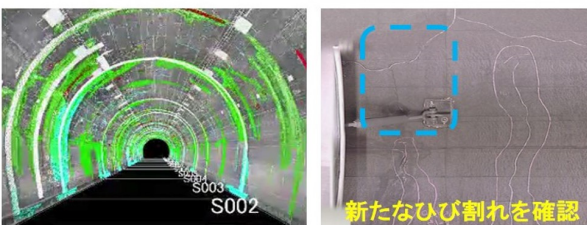
MMS:3次元形状計測: 高精度レーザ(100万点/秒)

- トンネル形状、変形モード解析、段差検出
- ⇒ひび割れ変状原因、進行性が推定可能



MIS:3次元画像計測、損傷度評価

- 0.2mm幅のひび割れ検出精度(70km/h)
- ⇒近接目視点検の支援、効率化、正確な位置



MRS:非接触型レーダ: 2タイプ (50~70km/h)

- 巻厚・空洞探査 & 内部欠陥(うき、ジャンカ)
- ⇒高速非接触レーダ(離隔3m)は世界初の技術

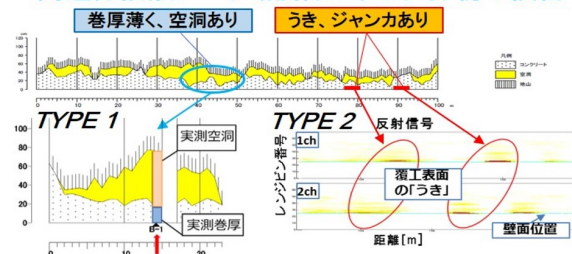


図-9 全体図

# 1. 基本事項

技術番号	TN020007-V0223		
技術名	道路トンネル防災車「トンネルマスター」		
技術バージョン	VER1.0	作成:	2023年03月
開発者	株式会社ウォールナット		
連絡先等	TEL: 042-537-3838	E-mail: sale@walnut.co.jp	調査グループ
現有台数・基地	1台	基地	東京都立川市

トンネル防災車「トンネルマスター」は非接触型レーダ、天秤システム接触型レーダ、高所作業台を有する車両であり、道路トンネルの「巻厚の不足または減少、背面空洞」をマルチに探査できる車両である。

○非接触型レーダは「H31年道路トンネル定期点検要領」に定められた、巻厚の不足、または減少及び背面空洞による突発性崩壊のおそれに対する判定項目の中で、緊急性を有する巻厚30cm以下及び、空洞30cm以上の場所が、交通規制を要さず時速50～70kmで計測できるシステムである。

○天秤システム接触型レーダは、道路交通規制内で実施する必要があるが、非接触レーダでは、検出する事ができない深い位置の探査が可能なシステムである。従来の調査員が手で保持するスタイルと比較し壁面まで人が近づく必要無く探査が可能である。小断面・大断面のトンネル径及びトンネル種類を問わず、連続的に高速でレーダ探査可能な技術であり、探査対象(知りたい情報)に合わせたセンサーを設置し、計測を行うことができる。時速2～5km程度(人が小走り程度)の速度での計測が可能であり、センサーを替えることで、覆工の厚さ(1m程度)、背面空洞(2m程度)、内部欠陥(t=1.0mm、5cm角以上のうき、発生深度)できる。

○高所作業台を有しており、有効巻厚の減少を評価するために必要な、覆工の強度確認(テストハンマーやコア試料による試験)、レーダ結果の検証削孔などの直接調査が可能である。

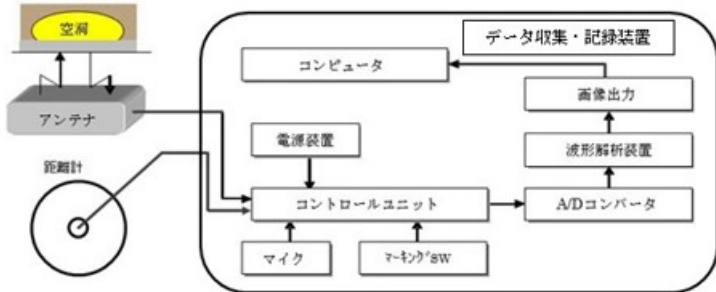
技術概要



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 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み
	物理原理	電磁波
	検出項目	電磁波の反射強度



2. 基本諸元

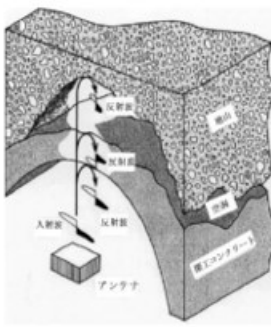
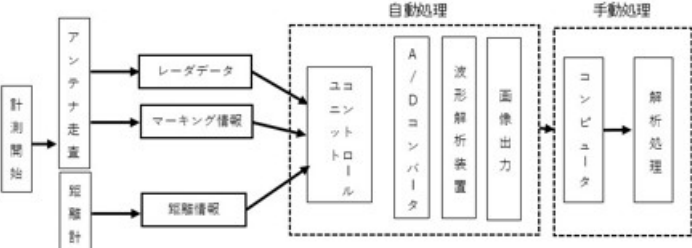
<p>計測機器の構成</p>	<p>非接触型レーダ、天秤システム接触型レーダとも、「電磁波を照射・反射を受信するアンテナ部の計測装置」、「再現性を管理するための距離計装置」、「電磁波を制御・計測データを保存するデータ収集・記録装置」がそれぞれ独立しており、各装置間はケーブルにより接続されている。</p> <p>非接触型レーダアンテナは、防災車荷台上の昇降回転機構に設置されておりアンテナ高さ、角度の調整が可能となっている。</p> <p>天秤システム接触型レーダは、トラック上部に天秤システムの設置治具を取り付けており、計測対象深度やトンネル高さによりアンテナや天秤治具長を変更することで探査対象に合わせた調査が可能である。</p> 
----------------	---

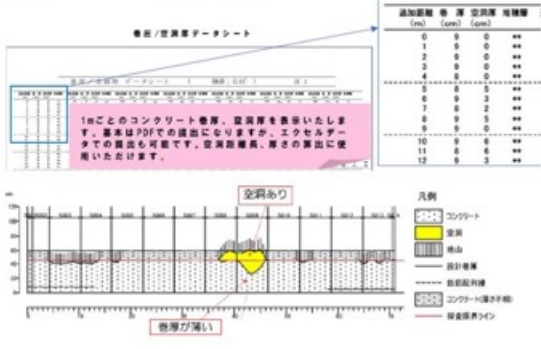

		<p>【フレーム型】※非接触型レーダ トンネル防災車の荷台上に搭載した電動式の昇降・回転機構にアンテナを設置し調整を行う。防災車キャビン内で遠隔操作により調整が可能である。</p> <p>【車両型】※非接触型レーダを搭載し計測する移動手段 移動原理は防災車(車両型)である。</p> <p>【人力】※天秤システム接触型レーダ センサーを取り付けるブームとブームを操作する操作アーム、ブームと操作アームを固定する固定台の3部構成。操作アームはテコの原理により、カウンターウエイトを設置することで操作重量を軽減する。</p> <p>【車両型】※天秤システム接触型レーダを搭載し計測する移動手段 車両に天秤システムを設置し、アンテナを覆工に接触させ、探査を行う。移動原理は防災車(車両型)である。</p>
--	--	---

	<p>移動原理</p>	<p><b>非接触型電磁波覆工背面調査 (非接触レーダ)</b></p> 
--	-------------	---

<p>移動装置</p>		<p><b>接触型電磁波覆工背面調査</b></p> 
-------------	--	---



	<p><b>外形寸法・重量</b></p>	<p>【車両寸法】                  防災車 高さ2.99m 幅1.69m 長さ4.69m 重さ2.97t                  【非接触レーダ寸法】                  アンテナ部(電磁波照射+受信装置):最大外形寸法 長さ330mm×幅450mm×高さ1000mm 重量13kg                  設置時車両高さ 高さ最大4.5m(調整可能)                  【天秤システム接触型レーダ寸法】                  天秤システム(操作アーム除く) 長さ1700mm×幅1000mm×高さ1000mm 重量30kg                  設置時車両高さ 高さ最大7.0m(天秤棒長さにより調整可能)</p>
	<p><b>搭載可能容量(分離構造の場合)</b></p>	<p>【非接触レーダ】                  ・最大重量(13kg)                  【天秤システム接触型レーダ】                  操作アーム4m 最大重量(100kg程度)                  人力での保持になる。カウンターウェイトにより調整が可能。</p>
	<p><b>動力</b></p>	<p>防災車はガソリンエンジン駆動                  昇降装置動作時は車内電源+ガソリン発電機(1.6KV)を使用</p>
	<p><b>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</b></p>	<p>—</p>
	<p><b>設置方法</b></p>	<p>【非接触型レーダ】                  防災車荷台の昇降回転装置に装着する。コントローラ関係はキャビン内に設置する。                  【天秤システム接触型レーダ】                  防災車キャビンに天秤システム保持治具を有し天秤システムを装着する。                  コントローラ関係はキャビン内に設置する。</p>
	<p><b>外形寸法・重量(分離構造の場合)</b></p>	<p>【非接触型レーダ寸法】                  ・非接触型アンテナ 長さ330mm×幅450mm×高さ1000mm 重量13kg                  【天秤システム接触型レーダ】                  ・中深度用500MHzアンテナ 長さ400mm×幅300mm×高さ200mm 重量10kg                  ・浅深度用900MHzアンテナ 長さ300mm×幅200mm×高さ80mm 重量8kg</p>
	<p><b>センシングデバイス</b></p>	<p>【アンテナ部】非接触型タイプ、接触型タイプとも自社開発                  【距離計部】非接触型レーダ:アクト電子社製レーザードップラー距離計                  天秤システム接触型レーダ:自社開発                  【データ記録・収集装置】非接触型タイプ、接触型タイプとも自社開発</p>
	<p><b>計測原理</b></p>	<p>【レーダセンサー】(非接触型、天秤接触型共通)                  アンテナ部により電磁波の照射・反射波の受信を行い、コントロール部で記録を行う。トンネル縦断方向の移動量は、距離計にて検出し、反射波と関係付けることによりトンネル内における計測位置を明確化する。また、電磁波の速度は不変なため、キャリブレーションは必要ない。</p>  $\rho = \frac{\sqrt{\epsilon_1 - \epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1 + \epsilon_2}}$ <p><math>\rho</math>: 反射強度(強度と極性情報を含む)  <math>\epsilon_1</math>: 第1層目の比誘電率  <math>\epsilon_2</math>: 第2層目の比誘電率</p>
	<p><b>計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)</b></p>	<p>【レーダセンサー】(非接触型、天秤接触型共通)                  電磁波のため、覆工表面に導電体がある場合は、電磁波が透過しないのでその背面の反射波得られない。                  比誘電率の異なる層を検出するため、電気的性質が異ならないと反射が発生しないので検出できない。</p>
	<p><b>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</b></p>	<p>【レーダセンサー】(非接触型、天秤接触型共通)                  ・レーダは何か特定な物性を見つけ出す物では無く、電気的性質の異なる面で反射する物理現象を人間が判断(解析)するため、過去の経験、背面状況から推察し、物性を判読するため、誤認識の可能性がある。                  例) 空洞と解析したが、裏込め材の発泡ウレタンが注入されているなど。                  ・電気的性質が異ならないと反射が発生しないので検出できない。                  例) 覆工コンクリートと、注入後かなり年月が経過したセメント系裏込め材の境界など。                  ・徐々に物性が変化するような状況は検出ができない。                  例)、地下水位の位置のように徐々に含水率が増えていく場合</p>
<p><b>計測装置</b></p>	<p><b>計測プロセス</b></p>	<p>コントロールユニット(パルサー)でモノパルスを作り送信アンテナより送信する。送信したパルスは対象物で反射し、受信アンテナから受信する。コントロールユニット(サンプラー)で波形を合成し、設定した距離ごとに反射波を記録する。その後AD変換を行いコンピュータに保存する。                  【処理フロー】</p> 

	<p>アウトプット</p>	<p>【レーダセンサー】(非接触型、天秤接触型共通) 計測装置の最終アウトプットは電磁波の反射時間と距離情報であり、解析処理により覆工巻厚、背面空洞、内部欠陥位置などの数値データを元に、1mごとの巻き厚・空洞厚データ、および模式図の作成を行う。 緊急を要する際などは概略的(空洞の有無の確認のみ)に確認する事も可能。(ニーズにより変更可能)</p>  <p>追加距離 巻厚 空洞厚 地層種 (cm) (cm) (cm)</p> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>5</td><td>**</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>5</td><td>**</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>2</td><td>**</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>5</td><td>**</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> <tr><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>**</td></tr> </table> <p>1mごとのコンクリート巻厚、空洞厚を算出いたします。巻厚はRFIでの算出になりますか、エクセルデータでの算出が可能です。空洞距離長、厚さの算出に使用いたします。</p> <p>凡例             コンクリート          空洞          地山          設計巻厚          既設巻厚          コンクリート巻き厚          保護鉄筋ライン</p>	0	0	0	**	1	0	0	**	2	0	0	**	3	0	0	**	4	0	0	**	5	0	5	**	6	0	5	**	7	0	2	**	8	0	5	**	9	0	0	**	10	0	0	**	11	0	0	**	12	0	0	**
0	0	0	**																																																			
1	0	0	**																																																			
2	0	0	**																																																			
3	0	0	**																																																			
4	0	0	**																																																			
5	0	5	**																																																			
6	0	5	**																																																			
7	0	2	**																																																			
8	0	5	**																																																			
9	0	0	**																																																			
10	0	0	**																																																			
11	0	0	**																																																			
12	0	0	**																																																			
	<p>耐久性</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レーダは防滴程度の防水性能を有するが長時間の雨曝し状態は不可</li> <li>・レーダは精密機器であるため走行振動以上の衝撃は望ましくない</li> </ul>																																																				
	<p>動力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:車両からの供給 (外部バッテリー、内蔵バッテリーでの対応も可能)</li> <li>・定格容量:使用する装置により異なる。</li> </ul>																																																				
	<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>	<p>外部(内蔵)バッテリー:4時間~10時間程度</p>																																																				
<p>データ収集・通信装置</p>	<p>設置方法</p>	<p>【非接触型レーダ】 防災車荷台の昇降回転装置に装着する。コントローラ関係はキャビン内に設置する。距離計は車両側方に設置する。 【天秤システム接触型レーダ】 防災車キャビン上に保持設置を設置する機構を有し、天秤システムを装着する。コントローラ関係はキャビン内に設置する。距離計は車両後方に取り付ける。</p> <p>外形寸法・重量(分離構造の場合) 汎用PCで対応可能。(長さ400mm×幅300mm×高さ30mm 重量3kg程度)</p> <p>データ収集・記録機能 計測中は、PCのハードディスクに保存し計測終了後、別記録媒体(CD、DVD等)に出力保存</p> <p>通信規格(データを伝送し保存する場合) —</p> <p>セキュリティ(データを伝送し保存する場合) —</p> <p>動力 ・動力源:電気式 ・電源供給方法:車両からの供給 (外部バッテリー、内蔵バッテリーでの対応も可能) ・定格容量:使用するPCにより異なる(20~50W程度)</p> <p>データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合) —</p>																																																				

### 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	車両搭載型のため車両通行が可能であることを前提とする。 [非接触型レーダ] 最小所要空間寸法 幅2000mm X 高さ3000mm程度 (上記装置及び必要離隔を含んだ数値) [天秤システム接触型レーダ] 最小所要空間寸法 幅2000mm X 高さ3000mm程度	-
適用可能なトンネルの最大寸法	[非接触型レーダ] トンネル高さ ~7.5m [天秤システム接触型レーダ] トンネル高さ ~7.0m	非接触型レーダは計測対象面からアンテナまでの離隔3m以内に設置ができる場合に限る。
障害物回避	[非接触型レーダ] 建築限界内のため回避の必要なし [天秤システム接触型レーダ] 天秤システムを操作し回避可能	-

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	<p>【非接触型レーダ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・巻厚・空洞レーダは基本的に背面空洞探査を主目的としている。表層近くの空洞の場合は、規模が大きな空洞であることが条件となり、空洞厚3cm以上、空洞規模50cm程度以上であれば、探査可能となる。</li> <li>・レーダアンテナから覆工壁面までの離隔は3m程度以下</li> </ul> <p>計測可能な計測範囲の理論値:75cm(1測線あたり)</p> <p>照明灯具、照明ケーブルなどの近傍は、電磁波が反射するため探査困難である。</p> <p>巻厚・空洞レーダの空洞探査深度は、45cm程度以下覆工厚が50cm程度の場合、背面空洞は探査できない</p> <p>覆工厚が45cm程度以下の場合、背面空洞の有無が確認できる。</p> <p>覆工厚が20cm程度の場合、背面空洞厚が探査できる(例えば覆工20cmの場合、空洞厚が1m程度まで探査できる)</p> <p>探査可能な深度は、対象物の層構造により変化する。背面空洞は電磁波の減衰が少ないため、探査装置の記録可能深度を変えることにより、1m~3m程度は検出が可能である。</p> <p>【天秤システム接触型レーダ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地中レーダは、ある一定の面(使用するセンサにより異なる)による探査のため、対象が平滑の場合は、殆ど発生しない。透過した物体がもつ比誘電率の個体差程度の誤差である。</li> <li>・トンネルの覆工背面のように平滑ではない場合、背面の凹凸程度の大きさの誤差が発生する。既存調査結果より、厚さ誤差は±5cm程度である。また、背面空洞は、凹凸の影響が2面(覆工背面、地山)となるため、誤差は±10cm程度発生する。</li> <li>・計測可能な計測範囲の理論値:アンテナの幅400MHzの場合約40cm(1測線あたり)</li> <li>・検出能力は使用するセンサー(波長)により異なるため、検出したい物・大きさにより、センサーを適切に選定する必要がある。</li> <li>・探査可能な深度は、対象物の層構造により変化する。背面空洞は電磁波の減衰が少ないため、探査装置の記録可能深度を変えることにより、1m~3m程度は検出が可能である。</li> </ul>
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 ※	有	<p>【非接触型レーダ】</p> <p>計測速度は、0.1km/hから80km/h、データ間隔は、0.5cm毎から100cm毎まで自由に設定可能であり、計測機の性能に計測速度は依存しない。計測速度は、使用環境により変化する。(交通量、法定速度など)</p> <p>【天秤システム接触型レーダ】</p> <p>路面の条件に依存し、未舗装路の場合には、測線を保持するために低速(1~2km/h)で走行する。</p> <p>また、覆工面に障害物が多い場合も同様で、センサーの接触による既設物の破損を防ぐために、障害物前後では低速で走行する。</p>
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 ※	無	<p>【性能値】</p> <p>距離計精度 0.1%以内 (レーザードップラー距離計 製造メーカー仕様)</p> <p>距離計精度 4.0%以内 (ホイールエンコーダ距離計)</p> <p>【標準試験】</p> <p>未検証</p>

※「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	【非接触型レーダ】 地表から高さ3.0m以上のトンネルアーチ部分が作業範囲である。 【天秤システム接触型レーダ】 側壁から高さ7.0mのトンネル天端までが範囲である。	天秤システム接触型レーダで側壁を計測する際は、必要に応じ荷台に天秤治具を設置する。
	安全面への配慮	【非接触型レーダ】 特になし 【天秤システム接触型レーダ】 アンテナが交通規制帯よりはみ出さずに計測を行う。	
	無線等使用における混線等対策	—	
	交通規制の要否	【非接触型レーダ】 不要 【天秤システム接触型レーダ】 要	
	交通規制の範囲	【非接触型レーダ】 不要 【天秤システム接触型レーダ】 片側車線	
	現地への運搬方法	車両に搭載して運搬	
	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	天端の計測を実施する際は、車両通行可能かつ下記の高さ以下のトンネルになる。 非接触型レーダ:7.5m 天秤システム接触型レーダ:7.0m
その他	汚れ・すすがある場合の作業可/否 : 可		

5. 留意事項(その2)

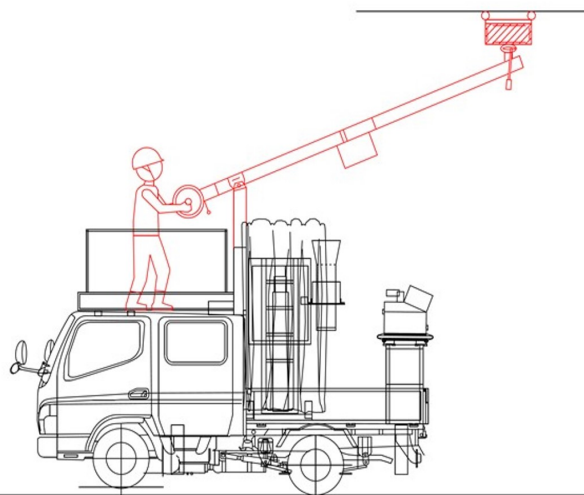
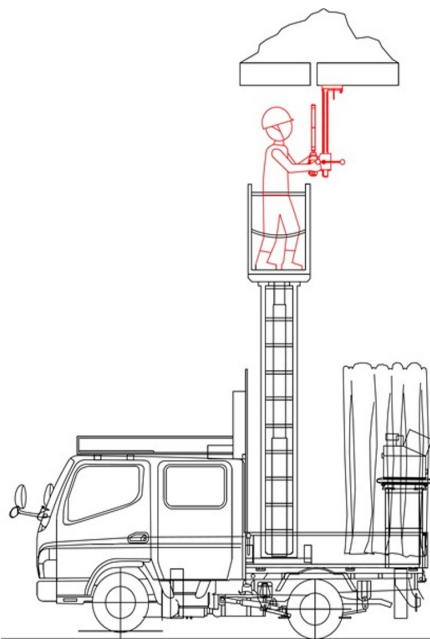
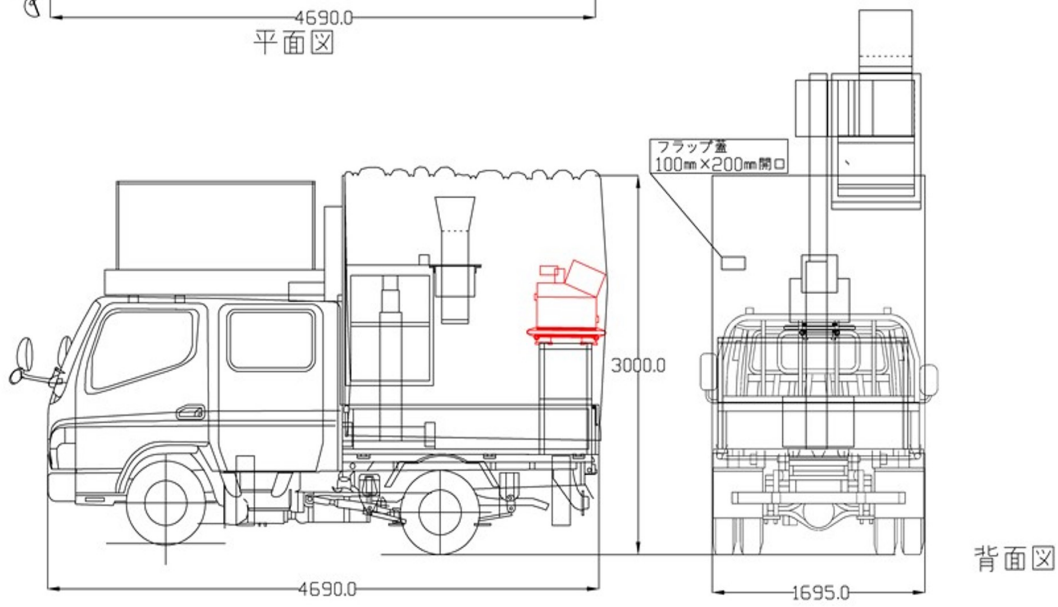
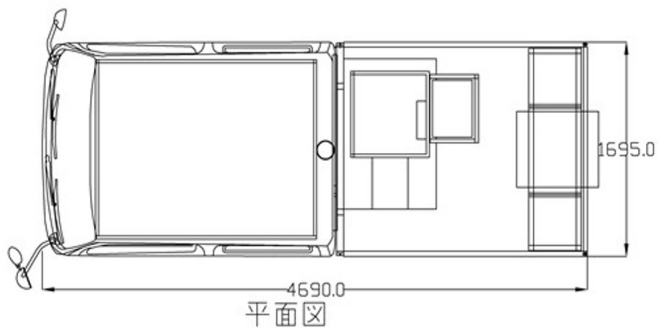
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	・レーダ計測(データ取得)は特になし ・解析は電磁波の原理を理解した技術者	
必要構成人員数	【非接触型レーダ】 現場責任者1人、車両運転員1人、合計2名 【天秤システム接触型レーダ】 現場責任者1人、点検員1人、車両運転員1人、合計3名 (※1) ※1 交通規制に要する人員は除く	
操作に必要な資格等の有無	・防災車の運転のため普通運転免許 ・レーダ機材取り扱いに免許は必要なし	
操作場所	【非接触型レーダ】 ・防災車車両内 【天秤システム接触型レーダ】 ・防災車車両(キャビン)上での天秤操作+キャビン内でのコンピューター操作が基本である。 ・トンネル入り口付近に準備用の作業ヤードが車両周辺3m程度必要である。(人員移動ができる程度)	
計測費用	(1)支援技術による計測作業にかかる現場計測費用 【非接触型レーダ】 ・250,000円/日 【天秤システム接触型レーダ】 ・500,000円/日 【共通】 ・機械の輸送費 3,000円(都内陸送) 150,000円(北海道航送+陸送) 200,000円(沖縄航送+陸送) (2)従来の点検手法により作業を行うこととしての現場計測費用 【非接触型レーダ】 ・250,000円/日 【天秤システム接触型レーダ】 ・600,000円/日	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・背面空洞や巻厚不足の点検
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500mのトンネル10本を一括して計測する場合 (1)支援技術による計測作業にかかる日数 【非接触型レーダ】 ・500m1本×3測線:1日(従来と比較して0%向上) ・500m10本×3測線:1日(従来と比較して200%向上) 【天秤システム接触型レーダ】 ・500m1本×3測線:1日(従来と比較して0%向上) ・500m10本×3測線:5日(従来と比較して200%向上) 【計測作業日数算出上の条件】 ・トンネル間距離は短く断面変化が少ない ・1トンネル当たり縦断3測線の計測 ・接触型レーダ時の規制切り替え時間を0.5H程度と過程 (2)従来の点検手法(人力)により作業を行うこととして算出を実施する場合の日数 【非接触型レーダ】 ・500m1本×3測線:1日 ・500m10本×3測線:2日 【天秤システム接触型レーダ】 ・500m1本×3測線:1日 ・500m10本×3測線:10日	
作業条件・運用条件		
保険の有無、保障範囲、費用	加入済み、保証範囲:人+自転車+車、保証金額:無制限	
時間帯(夜間作業の可否)	制約なし(夜間作業は可)	
計測時の走行速度条件	【非接触型レーダ】 特になし 法定速度内 80km/h程度まで対応可能 【天秤システム接触型レーダ】 5km/h以下	
渋滞時の計測可否	【非接触型レーダ】 特になし 【天秤システム接触型レーダ】 規制内のため対象外	
車両から覆工表面までの距離条件	【非接触型レーダ】 アンテナから対象物までの離隔が3m以内 【天秤システム接触型レーダ】 車両高(3m)より4.0m以内	
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)	車両搭載式のため特になし	
自動制御の有無	【非接触型レーダ】 有: 過上昇制御、過回転制御機能を有する。 【天秤システム接触型レーダ】 無	
利用形態:リース等の入手性	すべて自社機材 計測サービスを提供(業務委託)	
関係機関への手続きの必要性	【非接触型レーダ】 必要なし 【天秤システム接触型レーダ】 交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	
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 解析費用 背面空洞調査km単価 @250,000円~500,000円/km	計測延長が長くなると能率向上による単価が低下する。 総延長0.5kmの場合: 250,000円 km単価 500,000円 総延長1.0kmの場合: 435,000円 km単価 435,000円 総延長10kmの場合: 2,500,000円 km単価 250,000円
不具合時のサポート体制の有無及び条件	計測サービスを提供のため無し	
センシングデバイスの点検	社内規定による校正点検を実施	
その他	特許条件: 特になし 気象条件: 【非接触型レーダ】 降雨時の計測は不可 【天秤システム接触型レーダ】 特になし 作業条件: 覆工表面に金属(鋼板)が施工されている場合やスチールファイバーコンクリートの場合はレーダが透過しないため計測ができない。	



6. 図面

トンネル防災車外形寸法図



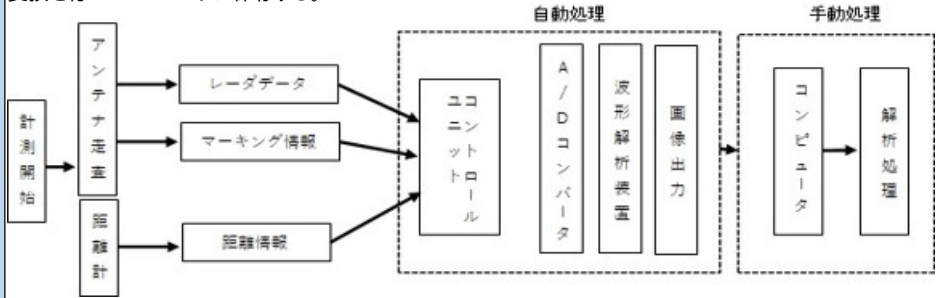
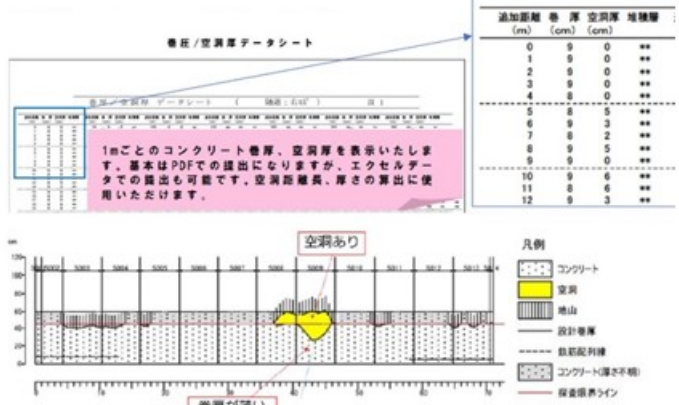


## 1. 基本事項

技術番号	TN020008-V0223		
技術名	電磁波探査ドローンによる覆工探査技術		
技術バージョン	ver 1.0	作成:	2023年3月
開発者	株式会社ウォールナット		
連絡先等	TEL: 042-537-3838	E-mail: sale@walnut.co.jp	調査グループ
現有台数・基地	1台	基地	東京都立川市
技術概要	<p>本技術は、覆工天端部において「コンクリート厚、空洞厚、コンクリート表面のうき」をドローンで探査可能な技術である。ドローンに搭載された地中レーダアンテナを覆工天端部に押し当てて時速2km程度で走行させながらデータを取得していく。完全ケーブルレス化した地中レーダにより、従来型の計測方式と比べて、計測車両、高所作業車、仮設足場等の準備が不要である。ドローンの操縦者と補助員の2名で探査することが可能である。</p> <p>災害時においては、高所作業車や足場が使えない場所であっても、対応が可能である。</p> <p>搭載するセンサーを替えることで、覆工の厚さ(1m程度)、背面空洞(2m程度)、内部欠陥(t=1.0mm、5cm角以上のうき、発生深度)の探査が可能である。</p>		
技術区分	対象部位	覆工天端	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理	電磁波	
	検出項目	電磁波の反射強度	

2. 基本諸元

<p>計測機器の構成</p>	<p>本技術は、「電磁波を照射・反射を受信するアンテナ部の計測装置」と「再現性を管理するための距離計装置」をドローンに搭載している。取得した電磁波データと距離データは、Wifiを経由し、タブレット端末へ受信・記録される。周波数の異なるレーダをドローンに搭載することで探査対象に合わせた調査が可能である。</p>
<p>移動装置</p>	<p>・地中レーダアンテナを搭載したドローンを、操縦によって移動する</p>
<p>外形寸法・重量</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最大外寸法(長さ2206mm×幅1932mm×高さ1068mm)</li> <li>・機体のみ重量(23.8kg)</li> <li>・バッテリー込み重量(31.6kg)</li> <li>・最大ペイロード(5kg)</li> <li>・最大重量(36.6kg)</li> </ul>
<p>搭載可能容量 (分離構造の場合)</p>	<p>対象外</p>
<p>動力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリーなどの仮設電源が必要</li> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給容量:バッテリー4個</li> <li>・定格容量:22.4V、16000mAh(1個あたり)</li> </ul>
<p>連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)</p>	<p>・10分(推奨動作環境温度 0℃~45℃)</p>
<p>設置方法</p>	<p>・移動装置の上部に計測装置をボルト・ナットにより取付を行う。</p>
<p>外形寸法・重量 (分離構造の場合)</p>	<p>対象外</p>
<p>センシングデバイス</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンテナ部:接触型タイプ、自社開発</li> <li>・距離計部:アクト電子社製 レーザードップラー距離計</li> <li>・データ記録・収集装置:自社開発</li> </ul>
<p>計測原理</p>	<p>【レーダセンサ】 アンテナ部により電磁波の照射・反射波の受信を行い、コントロール部で記録を行う。トンネル縦断方向の移動量は、距離計にて検出し、反射波と関係付けることによりトンネル内における計測位置を明確化する。また、電磁波の速度は不変なため、キャリブレーションは必要ない。</p> $\rho = \frac{\sqrt{\epsilon_1 - \epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1 + \epsilon_2}}$ <p>ρ : 反射強度 (強度と極性情報を含む)  ε<sub>1</sub> : 第1層目の比誘電率  ε<sub>2</sub> : 第2層目の比誘電率</p> <p>2-4-70</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)	<p>【レーダセンサ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波のため、探査範囲に導電体がある場合は、電磁波が透過しないのでその背面の反射波得られない。</li> <li>・比誘電率の異なる層を検出するため、電気的性質が類似していると反射が発生しないので検出できない。</li> </ul>
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レーダは何か特定な物性を見つけ出す物ではなく、電気的性質の異なる面で反射する物理現象を人間が判断(解析)するため、反射強度・極性より物性を類推し判断するため、誤認識の可能性がある。</li> <li>・電気的性質が異ならないと反射が発生しないので検出できない。</li> </ul>
	計測プロセス	<p>コントロールユニット(パルサー)でモノパルスを作り送信アンテナより送信する。送信したパルスは対象物で反射し、受信アンテナから受信する。コントロールユニット(サンプラー)で波形を合成し、設定した距離ごとに反射波を記録する。その後AD変換を行いコンピュータに保存する。</p> 
アウトプット		<p>【レーダセンサ】</p> <p>計測装置の最終アウトプットは計測装置の最終アウトプットは電磁波の反射時間と伝搬速度から、対象までの距離に換算配筋調査であれば、被り深さ、ボイド調査であれば、下面からの距離、うきの検出であれば、範囲と発生深度の情報周波数の異なるレーダをドローンに搭載することで配筋状況などの確認も可能。(ニーズにより変更可能)</p> 
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IPX3相当(機体)</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリーなどの仮設電源が必要</li> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:バッテリー</li> <li>・定格容量: 14.54V、6.62Ah(1個あたり)</li> </ul>
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	10分(推奨動作環境温度 0℃~45℃)	
データ収集・通信装置	設置方法	・タブレット端末を携帯し、ドローン操縦者と移動
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データ収集:タブレット端末 最大外形寸法(長さ201mm×幅292mm×高さ8.5mm 重量776g)</li> <li>・通信装置:WiFi無線機器 最大外形寸法(長さ160mm×幅36.5mm×高さ160mm・重量360g)</li> </ul>
	データ収集・記録機能	・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータは、Wifiを経由してタブレット端末に保存される
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通信方法 WiFi</li> <li>・通信規格 2.4GHz</li> <li>・通信規格 54Mbps</li> <li>・通信距離 200m(環境により通信距離は異なる)</li> </ul>
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	・認証方式 WPA、WPA2、WEP
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリーなどの仮設電源が必要</li> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:AC(バッテリーからインバータ)</li> </ul>
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	10.5時間

### 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	・道路幅員5m×高さ5m ※法面等の場合は、障害物から2m程度の離隔が必要	-
適用可能なトンネルの最大寸法	・最大寸法に制限なし	-
障害物回避	・障害物から2m以内から回避	-

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	<p>・地中レーダーは、ある一定の面(使用するセンサにより異なる)による探査のため、対象が平滑の場合、誤差は透過した物体がもつ比誘電率の個体差程度であり、殆ど発生しない。</p> <p>覆工背面のように平滑ではない場合、背面の凹凸程度の誤差が発生する。既存調査結果より、±5cm程度。</p> <p>また、背面空洞は、凹凸の影響が2面(覆工背面、地山面)となるため、±10cm程度は発生する。</p> <p>・検出能力は使用するセンサー(波長)によるため、検出したい物・大きさにより、センサーを適切に選定する必要がある。</p> <p>・探査可能な深度は、対象物の層構造により変化する。背面空洞は電磁波の減衰が少ないため、探査装置の記録可能深度を変えることにより、1m~3m程度は検出が可能である。</p>
	<p>センサー(アンテナ)部分は既存登録機器と同機種であり過年度検証結果に準拠                      天秤システム接触形レーダ:技術番号V0121 天秤方式移動型レーダ探査技術)                      【性能値】                      [1]劣化、表面近くの空洞                      縦断5cm、横断1mのジャカ、浮きなどの内部欠陥を80%以上の検出率で計測。探査深度20cm程度(中心周波数3GHz)                      計測可能な計測範囲の理論値:100cm(アンテナ中心より左右50cm)                      [2]覆工厚、背面空洞                      (非接触レーダ使用時 中心周波数1GHz)                      計測可能な覆工厚さの理論値 40cm程度 誤差±5cm                      計測可能な背面空洞の理論値 200cm程度 誤差±10cm                      鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) 鉄筋間隔が20cm以上であれば探査に影響なし(接触レーダ使用時 中心周波数400MHz)                      計測可能な覆工厚さの理論値 80cm程度 誤差±5cm                      計測可能な背面空洞の理論値 200cm程度 誤差±10cm                      鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) 鉄筋間隔が20cm以上であれば探査に影響なし                      【標準試験】                      標準試験方法(2020)                      実施年 2021,2022年                      [1]劣化、表面近くの空洞                      ・模擬供試体の地中レーダー測線上にある、t=1mm の一部以外は検出                      ※全空洞に対する検出率:90%、的中率:78%                      ・試験場に設置されている最小5cm角t=1.0mm被り3cmの模擬浮きを含む全ての模擬浮きを検出。                      [2]覆工厚、背面空洞                      試験場に設置されている、覆工厚40cm、模擬巻き厚不足、背面空洞、鋼製支保工を100%検出。                      既往探査結果では、地中レーダーと実削孔との対比の結果、探査精度は80~90%程度</p>		
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 ※	有	計測器の性能に計測速度は依存しない。
	<p>【性能値】                      0.1km/hから5km/hまで自由に設定可能                      【標準試験】                      標準試験方法(2020)                      実施年 2021,2022年                      検証時:2.85km/hで走行計測(9.5m:12秒)</p>		
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 ※	無	
	<p>【性能値】                      距離計精度 0.1%以内                      【標準試験】                      未検証</p>		

※「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	・覆工天端	
	安全面への配慮	・作業員以外の立ち入りを制	
	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	・要	
	交通規制の範囲	・全面通行止め	
	現地への運搬方法	・車両および人による運搬	
	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	・道路幅員5m以上、高さ5m以上	
	その他	・汚れ、すす等による作業の可否:可	



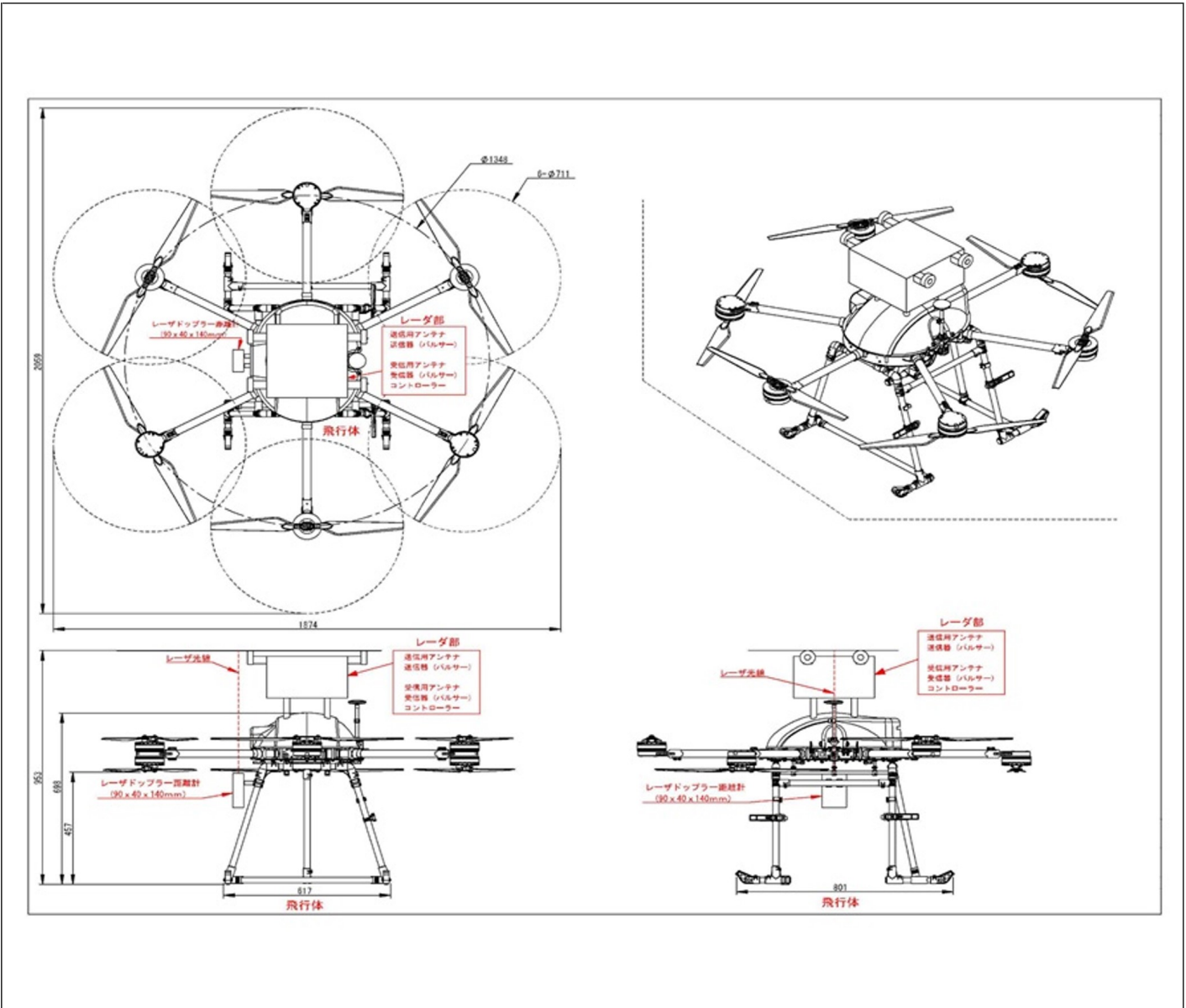
5. 留意事項(その2)

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	ドローン操縦士回転翼3級 有資格者	
必要構成人員数	現場責任者1人、操作1人	
操作に必要な資格等の有無	・ドローン操縦士回転翼3級 有資格者 ・フライト時間10時間以上	
操作場所	トンネル内(ドローンを視認できる場所)	
計測費用	<p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500mのトンネル1本のみ計測の場合、延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合</li> </ul> <p>(1)支援技術による計測作業にかかる現場計測費用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【延長500m】</li> <li>・新技術活用による費用 300,000円</li> <li>【延長500mの10本】</li> <li>・新技術活用による費用 900,000円(3日で積算)</li> </ul> <p>[共通]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機械の輸送費 3,000円(都内陸送)</li> <li>150,000円(北海道航送+陸送)</li> <li>200,000円(沖縄航送+陸送)</li> </ul> <p>(2)従来の点検手法により作業を行うこととしての現場計測費用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【延長500m】</li> <li>・従来の人力支持による費用 500,000円</li> <li>【延長500mの10本】</li> <li>・従来の人力支持による費用 5,000,000円</li> </ul> <p>[費用算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工天端1測線のみ</li> </ul>	<p>【参考】新技術活用による費用 400,000円(延長1,000mの場合)</p> <p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・背面空洞や巻厚不足の点検</li> </ul>
計測作業日数	<p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500mのトンネル1本のみ計測の場合、延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合</li> </ul> <p>(1)支援技術による計測作業にかかる日数</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【延長500m】</li> <li>・新技術活用による作業日数 2時間(従来より400%向上)</li> <li>【延長500mの10本】</li> <li>・新技術活用による作業日数 3日(従来より300%向上)</li> </ul> <p>※トンネル位置・規制は考慮しない</p> <p>(2)従来の点検手法(人力)により作業を行うこととして算出を実施する場合の日数</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>【延長500m】</li> <li>・従来の人力支持による作業日数 1日</li> <li>【延長500mの10本】</li> <li>・従来の人力支持による作業日数 10日</li> </ul> <p>※トンネル位置・規制は考慮しない</p> <p>[計測作業日数算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測は、覆工天端1測線のみ</li> </ul>	<p>【参考】新技術活用による作業日数 1日(延長1,000mの場合)</p>
保険の有無、保障範囲、費用	<p>保険 有</p> <p>保証範囲 管理財物損壊(施設用)</p> <p>費用 1,000,000千円(支払限度額)</p>	
時間帯(夜間作業の可否)	特になし(夜間作業可、夜間作業である必要はない)	
計測時の走行速度条件	4km/h以下(計測限界速度)	
渋滞時の計測可否	特になし	
車両から覆工表面までの距離条件	特になし	
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)	1名運搬可	
自動制御の有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天面張り付き機能</li> <li>・横ずれ防止機能</li> <li>・自動離陸機能</li> </ul>	
利用形態:リース等の入手性	すべて自社機材 計測サービスを提供(業務委託)	
関係機関への手続きの必要性	交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	

作業条件・運用条件

	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 解析費用 ・背面空洞調査@250,000円~500,000円/km	計測延長が長くなると能率向上による単価が低下する。 総延長0.5kmの場合: 250,000円 km単価 500,000円 総延長1kmの場合: 435,000円 km単価 435,000円 総延長10kmの場合: 2,500,000円 km単価 250,000円
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	特になし	
	センシングデバイスの点検	社内規定による校正点検	
	その他	(特許条件)条件なし (気象条件)トンネル内: 風速3m/h未満 (作業条件)特になし ・覆工天端部に照明ケーブル等の支障物がある区間では、適応不可 ・覆工に内装版、吸音板がある区間では、適応不可 ・覆工表面に金属(鋼板)が施工されている場合やスチールファイバーコンクリートの場合は、適応不可	

6. 図面



## 1. 基本事項

技術番号	TN020009-V0225		
技術名	表面波トモグラフィ法		
技術バージョン	Ver.01	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 成長戦略本部 インフラ先端技術産学共同研究部門		
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"> <li>・受信センサ(AE・加速度センサ)</li> <li>・弾性波発生(鋼球やハンマーでの打撃)</li> <li>・波形収録機</li> <li>・解析ソフト(ノートパソコン or タブレット端末)</li> </ul>
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)		-
設置方法		<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・鋼球:設置なし(計測者が手に持つ)</li> <li>・波形収録機:計測箇所近傍に据え置き。センサと有線接続</li> <li>・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</li> </ul>
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサ:最大外形寸法(径20mm×高さ30mm)、重量(0.04kgf)</li> <li>・鋼球:最大外形寸法(径20mm×長さ120mm)、重量(0.02kgf) ※種類による</li> <li>・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)</li> </ul>
センシングデバイス		<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・鋼球 自社製</li> <li>・波形収録機 NI社製</li> <li>・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</li> </ul>
計測原理		<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>
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"> <li>・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。</li> <li>・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)。</li> <li>・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。</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>
計測装置		<ol style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ol>
計測プロセス		<p>The flowchart illustrates the measurement process, divided into manual and automatic stages. It starts with '条件整理' (Manual), followed by '入力装置・センサ設置間隔の設定' (Manual), which includes sub-steps for '受信位置仮設定' and '波線経路分析'. This leads to '現場計測' (Manual), involving 'センサ設置' and '鋼球による打撃' to record '弾性波波形収録'. The next stage is '波形解析・トモグラフィ処理' (Automatic), which includes 'スタッキング処理' and '伝播速度算出(AIC処理)'. This is followed by 'コンター図作成' (Automatic) and finally '判定評価' (Manual).</p>
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>
耐久性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AE・加速度センサ:IP50相当</li> <li>・波形収録機:IP40相当</li> </ul>
動力		<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源:電気式</li> <li>・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</li> <li>・定格電圧:AC100V</li> </ul>
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)		<p style="text-align: center;">2=4=79</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・24時間以上(278400mAh/1002Whの外付けバッテリーの場合)</li> </ul>

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
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で区分けした分析結果 ・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 <sup>2</sup> (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。

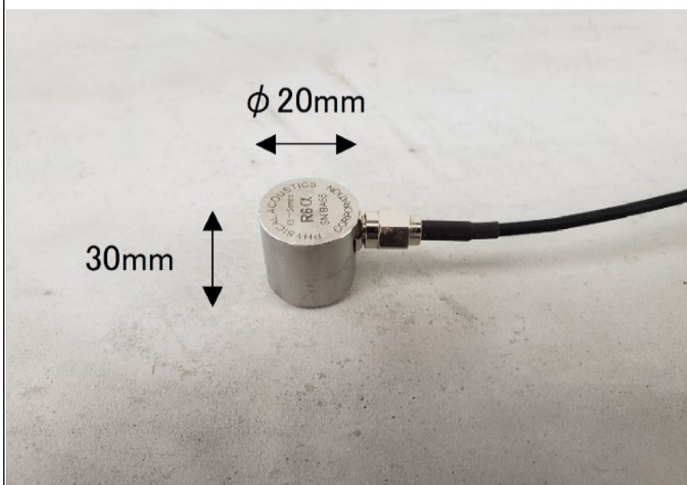
## 5. 留意事項(その1)

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

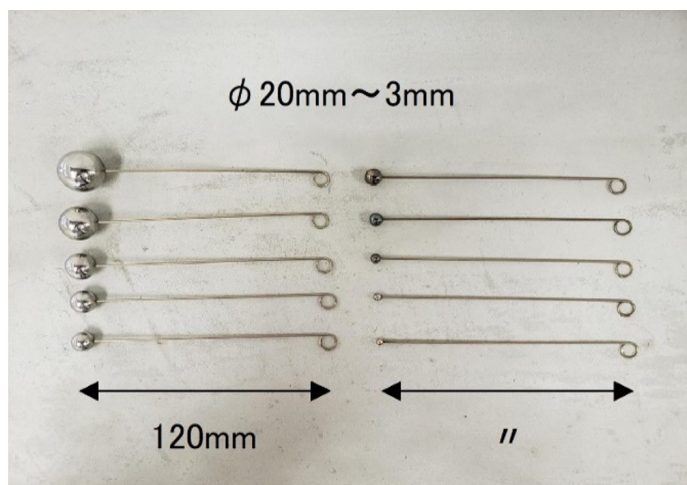
5. 留意事項(その2)

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	—

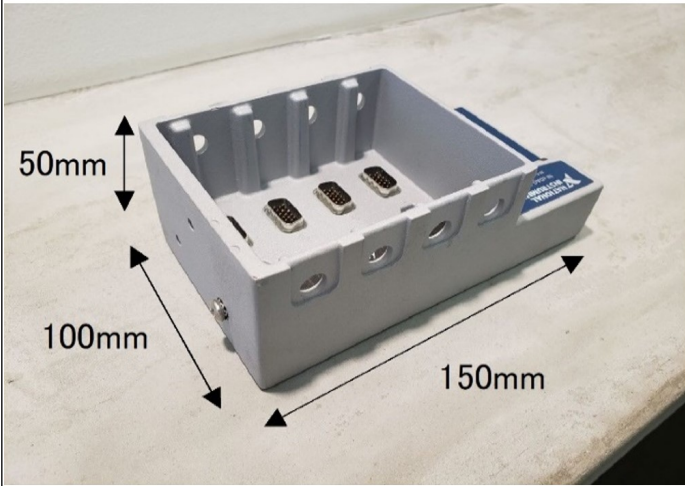
6. 図面



AEセンサ



鋼球

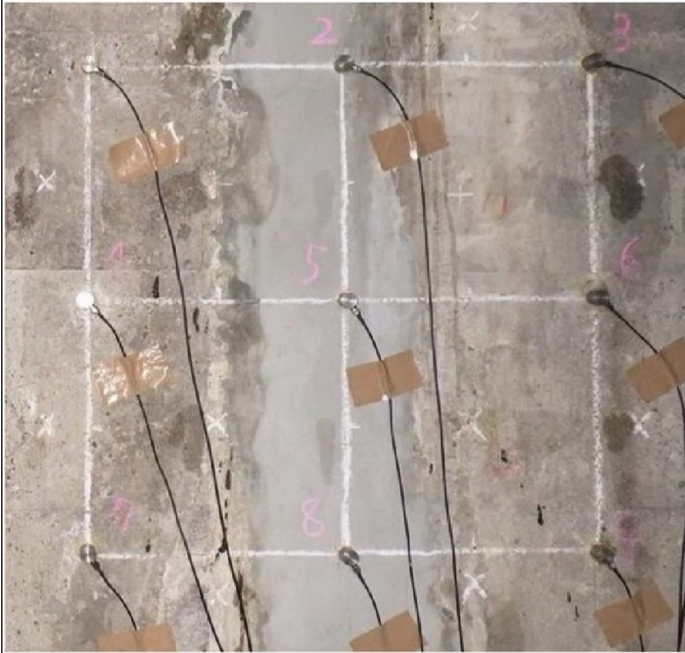


波形収録機



計測状況





センサ設置状況



鋼球による打撃

## 1. 基本事項

技術番号	TN020010-V0325		
技術名	トンネル覆工内部レーダ検査システム		
技術バージョン	MTIS-4/MPLA-10Gi	作成:	2023年3月
開発者	株式会社三井E&Sテクニカルリサーチ		
連絡先等	TEL: 0863-23-3029	E-mail: trc-yusuke-hatada@mes.co.jp	レーダー事業室 旗田 祐介
現有台数・基地	背面空洞探査用レーダ:2台 表面近傍探査用レーダ:2台	基地	岡山県玉野市
技術概要	<p>3次元映像化装置マルチパスリアアレイレーダ(MPLAレーダ)を搭載した走行型のトンネル覆工検査システム。MPLA方式で取得した3次元解析データにより、従来の2次元画像より覆工変状等を実際の状態に近い画像で捉え、目視・打音では困難な覆工状態を個人差の無いデジタルデータとして表示することができる。</p> <p>またMPLA方式のレーダを使用することで、データを面的に取得できるため、シングルパス方式のレーダ装置と比較して1回あたりの検査幅が広い検査効率が高い。</p> <p>面的なデータを取得することで、シングルパス方式のレーダ装置と比較して空洞の広がりを検知することができる。</p> <p>周波数が異なる「背面空洞探査用レーダ」と「表面近傍探査用レーダ」の2種類のレーダがあり、対象部位および対象深さにあわせてレーダ装置を選択することが可能。</p> <p>また背面空洞探査用レーダは「探査幅60cmタイプ」と「探査幅100cmタイプ」があり、状況に合わせて選択が可能である。背面空洞探査用レーダは搭載可能なシステムとして「高所作業車搭載型」と「専用車両一体型」があり、現地状況にあわせて選択が可能である。</p>		
技術区分	対象部位		
	損傷の種類		
	物理原理		
	検出項目		

2. 基本諸元

計測機器の構成	<p>・本計測機器は、「電磁波を送受信するセンサー部」と「計測データを処理、保存するデータ処理部」で構成される。</p> <p>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 ・ローラジャッキを搭載した高所作業車のバケットに、レーダ装置を搭載した計測システムを固定したものの。 【専用車両一体型】 ・専用車両にレーダ装置を搭載した計測システム。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ 【ハンディー型】 ※高所作業車による計測時、専用治具への搭載可能。</p>
移動装置	<p>移動原理</p> <p>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】／【接触型】 専用計測システムによってトンネル壁面にレーダ装置を接地し、ローラジャッキを搭載した高所作業車の動力によってレーダ装置を接地した状態で移動しながらデータ取得するもの。レーダ装置は移動用キャスタによって離隔(10mm～50mm)を保って計測面に接地される。 【専用車両一体型】／【接触型】 専用車両に搭載された専用アームによってトンネル壁面にレーダ装置を接地させ、専用車両の動力によってレーダ装置を接地した状態で移動しながらデータを取得するもの。レーダ装置は移動用キャスタによって離隔(10mm～50mm)を保って計測面に接地される。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ ・ハンディー型のため、対象外。</p>
	<p>外形寸法・重量</p> <p>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 最大外形寸法(長さ492mm×幅1080mm×高さ1700mm)、最大重量(130kg)／レーダ装置搭載時 【専用車両一体型】 最大外形寸法(長さ7970mm×幅2310mm×高さ2990mm)、最大重量(3900kg)／中型車(レーダ装置搭載時)</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ ・ハンディー型のため、対象外。</p>
	<p>搭載可能容量(分離構造の場合)</p> <p>1) 背面空洞探査用レーダ ・最大搭載可能レーダ装置 最大外形寸法(長さ492mm×幅1080mm×高さ254mm)、最大重量(30kg)</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ ・ハンディー型のため、対象外。</p>
	<p>動力</p> <p>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 移動装置なし。搭載した高所作業車の動力を使用する。 【専用車両一体型】 専用車両の動力を使用する。 動力源: 内燃式 容量: 6.4OL</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ ・ハンディー型のため、対象外。</p>
	<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p> <p>—</p>
設置方法	<p>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 高所作業車のバケットにレーダ装置を含む計測システムを固定する。 【専用車両一体型】 移動装置と一体的な構造。計測装置については交換可能な構造を有する。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ ・ハンディー型 (高所作業車による計測時、専用治具への搭載可能)</p>
外形寸法・重量(分離構造の場合)	<p>1) 背面空洞探査用レーダ装置(自社開発)【非接触型】 最大外形寸法(長さ492mm×幅1080mm×高さ254mm)、重量(30kg)／探査幅100cmタイプ 最大外形寸法(長さ635mm×幅728mm×高さ215mm)、重量(18kg)／探査幅60cmタイプ</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ(自社開発)【非接触型】 センサー部: 外形寸法(長さ530mm×幅450mm×高さ190mm)、重量(9.8kg)</p>
センシングデバイス	<p>1) MPLAレーダ背面空洞用レーダ装置(自社開発)【非接触型】／移動用キャスタは接触、離隔50mm程度 ・周波数: 100MHz～2,500MHz ・1回当たりの計測幅600mm/ 1000mm (使用するレーダ装置による)</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ【非接触型】／移動用キャスタは接触、離隔2mm程度 ・周波数: 100MHz～8,750MHz ・1回当たりの計測幅350mm</p>
計測原理	<p>・電磁波レーダ法による非破壊検査(電気特性の異なる媒体境界からの反射を3次元画像化する)。 ・MPLAレーダは、複数の送受信アンテナを配列している事から、従来型レーダの「進行方向」(x)データ・「深さ方向」(z)データ(2次元)に加え、「幅方向」(y)のデータが存在する。このx・y・zのデータを用い、3次元映像化関数の解を求め、像を再構成することで、3次元半透明画像による検査結果を得ることができる。</p>
計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	<p>背面空洞探査用レーダおよび表面近傍探査用レーダ ・レーダ装置をトンネル壁面に接地させた状態で、レーダ装置を移動させることでデータを取得するため、トンネル壁面にレーダ装置を走査させるスペースが無い場所は計測不可。 ・電磁波レーダ法による非破壊検査のため、導電体の裏は電磁波が通らないため、検査不可。 ・壁面の結露、漏水箇所の場合、検査性能が低下する。</p> <p>背面空洞探査用レーダ ・鉄筋ピッチ150mm以下の背面空洞は検知不可。</p>

<p><b>計測装置</b></p>	<p>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>背面空洞探査用レーダおよび表面近傍探査用レーダ</li> <li>・深さ位置の精度向上のため、コンクリートの状態より比誘電率を設定する必要がある。</li> <li>表面近傍探査用レーダ</li> <li>・精度向上のため、センサー部と検査対象との距離はできるだけ近づける(2mm~5mm)ことが好ましい。</li> </ul>
<p><b>計測プロセス</b></p>	<p>自動処理</p> <p>手動処理</p> <p>人間が3次元画像より異常判定</p>
<p><b>アウトプット</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元画像にて出力する。(自社フォーマット。専用ソフトで表示可能)</li> <li>・3次元画像をもとに2次元画像データの作成も可能。(自社フォーマット。専用ソフトで表示可能)</li> </ul>
<p><b>耐久性</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IP63相当</li> </ul>
<p><b>動力</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 ・動力源:電気式 ・電源供給方法:外部電源(高所作業車より電源を供給する) ・定格容量:100V 【専用車両一体型】 専用車両に搭載された発電機より電力を供給する。(AC100V)</li> <li>2) 表面近傍探査用レーダ ・動力源:電気式 ・電源供給方法:内蔵バッテリーまたは外部電源 ・定格容量:DC24V(内蔵バッテリー)、100V(外部電源)</li> </ol>
<p><b>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 背面空洞探査用レーダ ・外部電源を使用するため、対象外。</li> <li>2) 表面近傍探査用レーダ ・3時間</li> </ol>
<p><b>設置方法</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 ・高所作業車のバケットにレーダ装置、記録装置を含む計測システムを固定して、設置する。 【専用車両一体型】 ・専用車両と一体構造。</li> <li>2) 表面近傍探査用レーダ ・ハンディ型のため対象外。</li> </ol>
<p><b>外形寸法・重量(分離構造の場合)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 背面空洞探査用レーダ 一体型のため対象外。</li> <li>2) 表面近傍探査用レーダ 信号処理部:外形寸法(長さ405mm×幅505mm×高さ190mm)、重量(12.6kg)</li> </ol>
<p><b>データ収集・記録機能</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測中は、計測システムのハードディスクに保存。</li> <li>計測終了後、別記録媒体(ポータブルハードディスク)に出力保存可能。</li> </ul>
<p><b>通信規格(データを伝送し保存する場合)</b></p>	<p>—</p>
<p><b>セキュリティ(データを伝送し保存する場合)</b></p>	<p>—</p>
<p><b>データ収集・通信装置</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 ・動力源:電気式 ・電源供給方法:外部電源(高所作業車より電源を供給する) ・定格容量:100V 【専用車両一体型】 専用車両に搭載された発電機より電力を供給する。</li> <li>2) 表面近傍探査用レーダ ・動力源:電気式 ・電源供給方法:内蔵バッテリーまたは外部電源 ・定格容量:DC24V(内蔵バッテリー)、100V(外部電源)</li> </ol>
<p><b>データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)</b></p>	<p>—</p>

## 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	1) 背面空洞探査用レーダ ・高所作業車搭載型 高所作業車の展開可能高さによる。 ・専用車両一体型 幅2.5m×高さ5.0m程度。 2) 表面近傍探査用レーダ ・作業者がアクセス可能な範囲。	1) 背面空洞探査用レーダ ・検査位置の直下を車両通行可能であること。
適用可能なトンネルの最大寸法	1) 背面空洞探査用レーダ ①高所作業車搭載型 高所作業車の展開可能高さによる。 ②専用車両一体型 路面から壁面までの距離が9.0m 2) 表面近傍探査用レーダ ・作業者がアクセス可能な範囲。	1) 背面空洞探査用レーダ ・検査位置の直下を車両通行可能であること。
障害物回避	1) 背面空洞探査用レーダ ・オペレータの操作により、レーダ装置を搭載している支持装置を動作させることで、トンネル内障害物を回避する。 2) 表面近傍探査用レーダ ハンディ型のため、対象外。	—

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	
	<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      [1] 覆工内部空洞、背面空洞                      【性能値】(理論値)                      ・計測可能な背面空洞深さの理論値:1000mm (周波数2.5GHz)                      ・計測可能な計測範囲の理論値:1000mm(1測線あたり)                      ・鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(理論値)                      :深さ100cm(周波数2.5Hz)、範囲1000mm(1測線あたり)                      【性能値】(社内試験結果)                      ・深さ1000mmにある空洞(500mm×500mm×t100mm)を検知可能。                      【標準試験】                      標準試験方法(2022)                      実施年 2022年                      平面サイズ)                      試験対象:断面方向6911.5mm                      検出結果:断面方向6730mm                      ※計測不可範囲有のため、断面方向のみ比較。                      代表点のずれ:空洞始点位置が60mmのずれ                      奥行)                      試験対象:空洞厚さ350mm(CL部/空洞最厚位置)                      検出結果:空洞厚さ393mm(CL部/空洞最厚位置)                      代表点のずれ:最大空洞厚さ位置が80mmのずれ                      ※平面・縦断の位置精度は確認シートに図示。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ                      [2] 劣化、表面近くの空洞【性能値】(社内検証結果)                      ・表面近傍深さ(95mm以内)であれば、大きさ200mm×200mm以上および厚さ1mm以上の空洞は検出可能である。                      【標準試験】                      標準試験方法(2022)                      実施年 2022年                      ・厚さ10mm以上の空洞の場合、深さ50cm以内、サイズ50mm×50mm以上であれば検出可能。※計測対象箇所目地部を含む※全空洞に対する検出率:74.7%、検出率:97.4%</p>		<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      ・トンネル壁面にレーダ装置の走査を阻害する突起物(3cm以上)が無いこと。                      ・計測範囲に計測車両の走行を阻害する障害物が無いこと。                      ・鉄筋コンクリート覆工の鉄筋径、鉄筋間隔、配置状況(2段筋等)によっては、背面空洞の計測可能な深さおよび計測範囲に影響あり。                      ・鉄筋間隔については250mm以上で計測性能に影響なし。                      ・深さ方向の位置精度は設計巻厚情報または削孔情報をもとにした補正により、向上する。                      ・設計巻厚情報および削孔情報が無い場合は、深さ方向位置は一般的な比誘電率を使用して算出する。</p>
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 ※	有	
	<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      【性能値】                      ・最大計測速度:4km/h(10mm間隔計測)                      (専用車両一体型/探査幅100cmタイプ搭載)                      【標準試験】                      ・計測速度:6.8m<sup>2</sup>/min(10mm間隔計測)                      (専用車両一体型/探査幅100cmタイプ搭載)</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ                      【性能値】                      計測速度:最大12.5m<sup>2</sup>/min(10mm間隔計測)                      【標準試験】                      ・未検証</p>		<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      ・66.5m<sup>2</sup>を連続計測した際の計測時間より算出。                      ・検査範囲にレーダ走査に支障する障害物(高さ3cm以上)のものがないこと。                      ・車両通行範囲に車両通行に支障する障害物がないこと。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ                      ・装置最大計測速度より算出。</p>
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	
	<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      【性能値】                      ・計測方向平均誤差:1.0%以内                      【標準試験】                      ・計測方向平均誤差:0.7%</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ                      【性能値】                      ・計測方向平均誤差:1.0%以内                      【標準試験】                      ・未検証</p>		<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      ・検査範囲にトンネル内障害物がないこと。                      ・車両通行範囲に障害物がないこと。                      ・計測データから算出したトンネル目地間の距離と実測値の誤差を比較。2スパン分(9.5m)に対する誤差。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ                      ・検査範囲にトンネル内障害物がないこと。                      ・基準位置(マーキング等)が必要</p>

※「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	1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 ・高所作業でアクセス可能な範囲。 【専用車両一体型】 ・アーチ部範囲。(最大高さ9m) 2) 表面近傍探査用レーダ ・目地部周辺 ・作業者が高所作業車等でアクセス可能な範囲。	—
	安全面への配慮	・作業注意喚起の看板の設置 ・誘導員の設置	—
	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	要	—
	交通規制の範囲	・片側車線規制 計測範囲について規制が必要。	—
	現地への運搬方法	1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 車両にて運搬。現地にて高所作業車に組付。 【専用車両一体型】 自走にて移動。 2) 表面近傍探査用レーダ ・人による運搬	—
	気温条件	・0℃~40℃	—
	トンネル延長の制約	・特になし	—
	車線数の制約	1) 背面空洞探査用レーダ ・1車線分の作業範囲を要する。 2) 表面近傍探査用レーダ ・高所作業車および足場等の設置のため、1車線分の作業範囲を要する。	—
	断面形状の制約	・特になし	—
その他	1) 背面空洞探査用レーダ ・すす汚れによる作業の可否:可 ・壁面の結露、漏水箇所の場合、検査性能が低下する。 2) 表面近傍探査用レーダ ・すす汚れによる作業の可否:可 ・漏水箇所および壁面結露範囲については計測不可。	—	

5. 留意事項(その2)

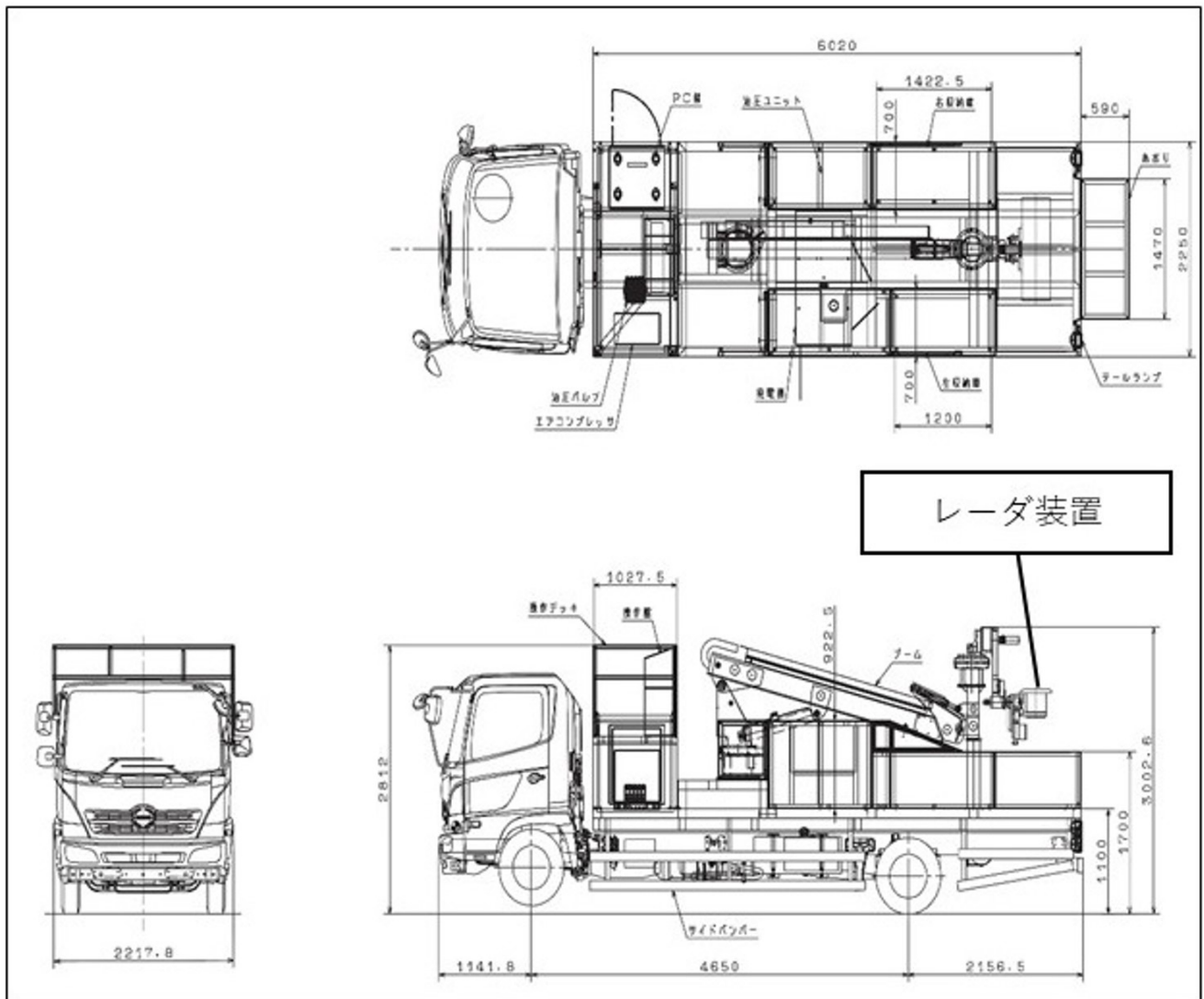
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	・特になし	—
必要構成人員数	1) 背面空洞探査用レーダ ・現場責任者1人、システムオペレータ1人、車両運転員1人、装置オペレータ1人、合計4名 2) 表面近傍探査用レーダ ・現場責任者1人、計測装置オペレータ1人、車両運転員1人、高所作業車オペレータ1人、合計4名	1) 背面空洞探査用レーダ ・専用車両一体型での計測を想定した場合。 2) 表面近傍探査用レーダ ・高所作業車での計測を想定した場合。
操作に必要な資格等の有無	・特になし	—
操作場所	1) 背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 高所作業車、バケット上で操作。 【専用車両一体型】 車両内および車両上にて操作する。 2) 表面近傍探査用レーダ ・高所作業車バケットまたは足場上。	—
計測費用	1) 背面空洞探査用レーダ 【参考】新技術活用による計測費用 【トンネル条件】 ・2車線断面、歩道なし ・2回目以降の点検 ・補修箇所なし ・計測範囲:トンネル天頂部5m範囲 (計測幅1m/回×5測線) 【費用】 ・【参考】新技術活用による費用 条件1) 延長500m/1本のみ 外業840千円、内業480千円 合計 1,320千円 条件2) 延長500m/10本連続 外業5,770千円、内業4,740千円 合計 10,510千円 【費用算定上の条件】 ・現地1日(8h)を想定した場合。 ・旅費交通費、移動経費は別途計上とする。 ・解析は空洞分布(有無・位置・広がり)までとする。 ・探査幅100cmタイプのレーダ装置を使用した場合。 ・トンネル間の移動は含まない。 2) 表面近傍探査用レーダ 【参考】新技術活用による計測費用 【トンネル条件】 ・2車線断面、歩道なし ・2回目以降の点検 ・補修箇所なし ・計測範囲:目地部周辺、その他 調査箇所は要協議 【費用】 ・【参考】新技術活用による費用 条件1) 延長500m/1本 外業:2,580千円 内業:250千円 計2,830千円 条件2) 延長500m/10本連続 外業:24,630千円 内業:1,080千円 計25,710千円 【費用算定上の条件】 ・現地1日(8h)を想定した場合。 ・旅費交通費、移動経費は別途計上とする。 ・解析は変状分布(有無・位置)とする。 ・トンネル間の移動時間は含まない。	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 背面空洞探査用レーダ:背面および覆工内部空洞調査 表面近傍探査用レーダ:打音検査(覆工表面近傍の浮き、空洞の調査)(叩き落としは除く)

作業条件・運用条件	計測作業日数	<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      【参考】新技術活用による作業日数                      [トンネル条件]                      ・2車線断面、歩道なし                      ・2回目以降の点検                      ・補修箇所なし                      ・計測範囲:トンネル天頂部5m範囲                      (計測幅1m/回×5測線)                      [作業日数]                      条件1) 延長500m/1本のみ                      外業:1日 内業:最短5日                      条件2) 延長500m/10本連続                      外業:10日 内業:最短20日                      [計測作業日数算定上の条件]                      ・計測範囲内に障害物なく、円滑に計測できること。                      ・計測トンネルについては規制されていること。                      ・トンネル間の移動は含まない。</p> <p>2) 表面近傍探査用レーダ                      【参考】新技術活用による作業日数                      [トンネル条件]                      ・2車線断面、歩道なし                      ・2回目以降の点検                      ・補修箇所なし                      ・計測範囲:目地部周辺、その他                      調査箇所は要協議                      [作業日数]                      ・新技術活用による作業日数                      条件1) 延長500m/1本                      外業:6日 内業:5日                      条件2) 延長500m/10本連続                      外業:60日 内業:25日                      [計測作業日数算定上の条件]                      ・計測範囲内にレーダ走査に支障する障害物(高さ2cm以上)がなく、円滑に計測できること。                      ・計測トンネルについては規制されていること。                      ・トンネル間の移動時間は含まない。</p>	—
	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 時間的制約はなし	—
	計測時の走行速度条件	<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      ・10.0km/h以下                      2) 表面近傍探査用レーダ                      ・2.0km/h以下 (人力での走査)</p>	—
	渋滞時の計測可否	—	—
	車両から覆工表面までの距離条件	・特になし	—
	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)	・特になし	—
	自動制御の有無	・特になし	—
	利用形態:リース等の入手性	<p>1) 背面空洞探査用レーダ                      ・すべて自社機材                      ※高所作業車搭載型は高所作業車の手配が必要。                      2) 表面近傍探査用レーダ                      ・すべて自社機材                      ※高所作業車等の手配が必要。                      ・センサー単体での購入可能。                      ・リースは応相談。</p>	—
	関係機関への手続きの必要性	・交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	—
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<p>・解析ソフト:自社開発ソフトを使用                      ・必要作業:専門技術者による解析作業</p>	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・無し(自社設備)	—
	センシングデバイスの点検	・レーダ装置については、自社基準によるメンテナンス(年1回)	—

	<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精度向上のため、レーダ装置にトンネル壁面に合わせた曲率をつけることが望ましい。(曲率変更の改造可能)</li> <li>・導電体が施工されている箇所については、検査不可。</li> <li>・壁面の結露、漏水箇所の場合、検査性能が低下する。</li> <li>・背面空洞探査用レーダについて、鉄筋ピッチ150mm以下の背面空洞は検知不可。</li> <li>・特許状況 なし</li> <li>・気象条件 特になし</li> <li>・作業条件／背面空洞探査用レーダ 【高所作業車搭載型】 ローラージャッキ付きの高所作業車が必要。</li> <li>【専用車両一体型】 特になし</li> <li>・作業条件／表面近傍探査用レーダ トンネル上部計測には高所作業車等が必要。 (ローラージャッキ付きの高所作業車を推奨)</li> </ul>
--	------------	---

6. 図面

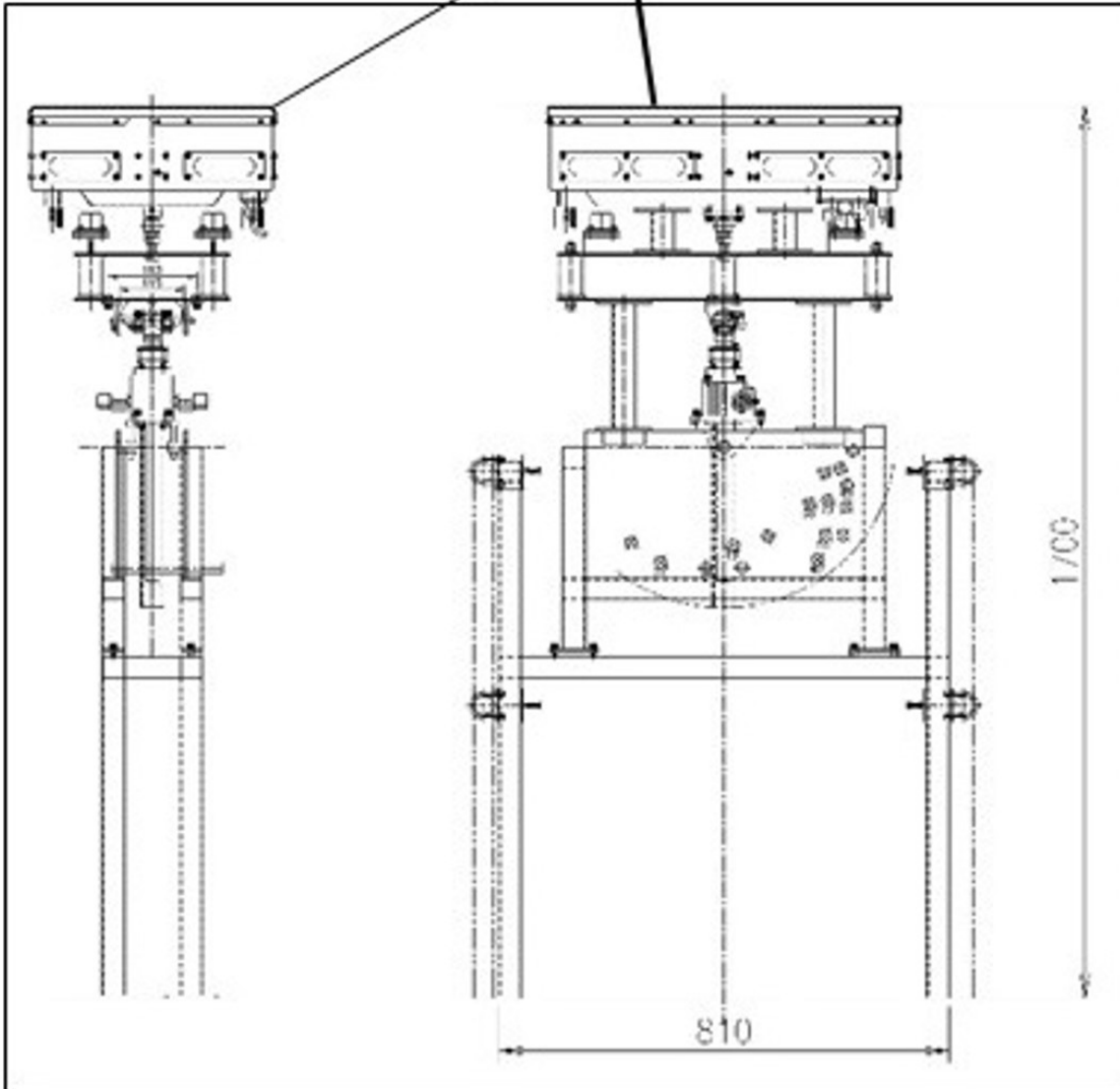
背面空洞探査用レーダ



専用車両一体型

背面空洞探査用レーダ

レーダ装置



高所作業車搭載型



表面近傍探査用レーダー

高分解能型コンクリート構造物検査システム

# マルチパスリニアアレイレーダー MPLA-10Gi



MPLA-10Gi マルチパスリニアアレイレーダー 主要目		
原理	マルチパスリニアアレイレーダー	
全長 × 全幅 × 全高	530mm×450mm×190mm	
周波数帯域	100MHz~約10GHz	FMCW方式
アンテナ素子数	32素子(送信:16素子,受信:16素子)	
測定幅	約350mm	1回の走行による測定幅
測定深度	約200mm	検査対象条件により変化する
測定ピッチ	10mm	
センサー部重量	9.8kg	



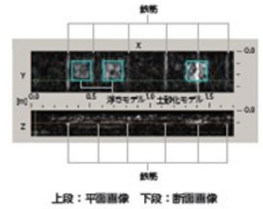
高分解能型コンクリート構造物検査システム

## Multi Path Linear Array Radar

マルチパスリニアアレイレーダー MPLA-10Gi

業界トップレベル、かつ唯一の3次元化技術で誰でも簡単に  
一目瞭然でコンクリート内部を透視!

- 32アンテナ素子による広範囲調査
- 高速スイッチングによるデータ収集
- 独自ソフトによる半透明3次元画像表示
- 業界初最大10GHzの超広帯域FM-CW技術により、床版内の微少な損傷を調査



**M MITSUI E&S**

株式会社三井E&Sマシナリー

# 1. 基本事項

技術番号	TN020011-V0324		
技術名	覆工巻厚・背面空洞レーダ探査システム		
技術バージョン	Ver1	作成:	2023年3月
開発者	応用地質株式会社 メンテナンス事業部		
連絡先等	TEL: 048-652-4956	E-mail: oyo-mainte-tn2021@oyonet.oyo.co.jp	技術部/事業企画部
現有台数・基地	1台	基地	埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5

・当該技術の特徴  
 覆工巻厚・覆工背面空洞の調査が必要となった場合、点検作業と同時にトンネル点検車搭載型地中レーダを用いて計測する技術。  
 ・計測結果の活用  
 外力によるトンネル覆工の健全性の診断、覆工背面空洞充填対策設計に活用。



**計測概念図**




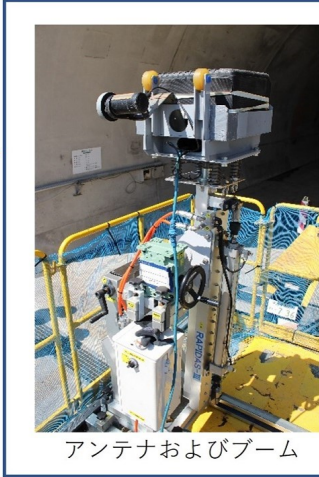

**計測状況**



**覆工厚・背面空洞分布図**

技術区分	対象部位	
	損傷の種類	
	物理原理	電磁波
	検出項目	電磁波の反射強度

2. 基本諸元

<p>計測機器の構成</p>		<p>・計測機器は収録機、アンテナ、ブームから構成されており、トンネル点検車に搭載し計測する。</p>    <p>アンテナおよびブーム      収録機 (GSSI社製 SIR-3000型)</p> <p>トンネル点検車</p>
<p>移動装置</p>	<p>移動原理</p>	<p>【接触型】 ・トンネル点検車に設置した架台にて、計測装置のアンテナを覆工面に設置し、トンネル点検車をトンネル縦断方向に移動させながら計測する。</p>
	<p>外形寸法・重量</p>	<p>・分離構造: 移動装置(トンネル点検車)の最大外形寸法(長さ5,160mm×幅3,450mm×高さ11,000mm)</p>
	<p>搭載可能容量(分離構造の場合)</p>	<p>・収録機: 最大外形寸法(長さ315mm×幅220mm×高さ105mm)、最大重量(4.1kgf) ・アンテナ: 最大外形寸法(長さ300mm×幅300mm×高さ170mm)、最大重量(5kgf)</p>
	<p>動力</p>	<p>・動力源: 内燃機関 ・燃料: ディーゼル ・定格容量: 103kW</p>
	<p>連続稼働時間(バッテリー給電の場合)</p>	<p>(内燃機関のため該当なし)</p>
<p>計測装置</p>	<p>設置方法</p>	<p>・計測機器を移動可能なトンネル点検車に搭載し、アンテナを作業員が覆工面に向けて操作する。</p>
	<p>外形寸法・重量(分離構造の場合)</p>	<p>・収録機: 最大外形寸法(長さ315mm×幅220mm×高さ105mm)、最大重量(4.1kgf) ・アンテナ: 最大外形寸法(長さ300mm×幅300mm×高さ170mm)、最大重量(5kgf)</p>
	<p>センシングデバイス</p>	<p>・地中レーダ探査機 GSSI社製 SIR-3000型</p>
	<p>計測原理</p>	<p>本計測機器は、「送信アンテナから電磁波を覆工背面に向けて放射し、覆工中の異なる材質の境界で生じる反射波を受信する。覆工中に入射した電磁波は拡散・減衰しながら伝播し、覆工内部の空隙や異物、覆工背面、支保工、空洞上下面、地層境界などで反射した反射波が受信アンテナに捉えられる計測装置」を移動可能なトンネル点検車に作業員とともに搭載し、作業員が覆工面に沿って探査することによりデータを連続取得するものである。</p>
	<p>計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)</p>	<p>・鉄筋コンクリート等の金属が密に入っている箇所、覆工面が鋼材で覆われている箇所は計測不可。</p>
<p>精度と信頼性に影響を及ぼす要因</p>	<p>・覆工内の配筋、覆工背面の空洞内に地下水が多い場合は空洞厚を測定できないことがある。</p>	
<p>計測プロセス</p>	<p>測定から解釈図面作成までは、下記プロセスにて行う。</p> <pre>     graph LR       subgraph Manual [手動処理]         A[測定計画] --&gt; B[測定準備]         B --&gt; C[レーダ測定]         C --&gt; D[データ転送]         D --&gt; E[データチェック]       end       subgraph Automatic [自動処理]         F[距離マークの等間隔処理] --&gt; G[フィルター処理]         G --&gt; H[反射面の抽出]         I[電磁波速度の算出] --&gt; J[深度返還]         H --&gt; J         J --&gt; K[解釈図面作成]       end       E --&gt; F       F --&gt; G       G --&gt; H       H --&gt; I       I --&gt; J       J --&gt; K     </pre>	

	アウトプット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析した測定記録から反射強度の違いによって地物等を解釈した断面図</li> <li>・覆工厚や空洞厚を示したコンター図 (コンター図作成のためには縦断方向に3測線以上必要)</li> <li>・データ出力形式はJPGまたはDXFである。</li> </ul>
	耐久性	(該当なし)
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専用バッテリーが必要</li> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:内蔵バッテリー</li> <li>・定格容量:10.8V</li> </ul>
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・150分(外気温18℃の場合)
データ収集・通信装置	設置方法	計測装置および架台を移動可能なトンネル点検車に搭載し、収録機を架台の中に設置し、アンテナを作業員が覆工面に向けて操作する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・収録機:最大外形寸法(長さ315mm×幅220mm×高さ105mm)、最大重量(4.1kgf)</li> <li>・アンテナ:最大外形寸法(長さ300mm×幅300mm×高さ170mm)、最大重量(5kgf)</li> </ul>
	データ収集・記録機能	計測中は、PCのハードディスクに保存。計測終了後、別記録媒体(HDD等)に出力保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	通信方法 有線
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	(該当なし)
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専用バッテリーが必要</li> <li>・動力源:電気式</li> <li>・電源供給方法:内蔵バッテリー</li> <li>・定格容量:10.8V</li> </ul>
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	・150分(外気温18℃の場合)

### 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2m×高さ4m程度 ・トンネル点検車の寸法 長さ5195mm×幅1,880mm×高さ3,170mm	—
適用可能なトンネルの最大寸法	・最大高10m程度	—
障害物回避	・オペレーターの手動操作によりトンネル内附属物を回避する。	—

## 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
計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	背面空洞の誤差は覆工背面の凹凸の程度により変化する。 簡易ボーリングで覆工をコア抜きし確認した覆工巻厚でキャリブレーションを行うことにより、精度を確保することができる。(1トンネルにつき3本程度)
	【性能値】 ・社内試験による結果 適応可能覆工厚:100cm程度まで 覆工巻厚の誤差:±10%程度 計測可能な背面空洞深さの理論値:100cm程度(周波数400MHz) 計測可能な計測範囲の理論値:30cm程度(1測線あたり) 鉄筋コンクリート覆工の背面空洞は計測不可 【標準試験】 標準試験方法(2022) 実施年 2021年 [1] 覆工巻厚、背面空洞 鋼製支保工の位置を検出可能(覆工厚(80cm))		
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 ※	有	—
	【性能値】 未検証 【標準試験】 標準試験方法(2022) 実施年 2021年 ・計測速度:2Km/h程度		
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 ※	無	—
	—		

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。



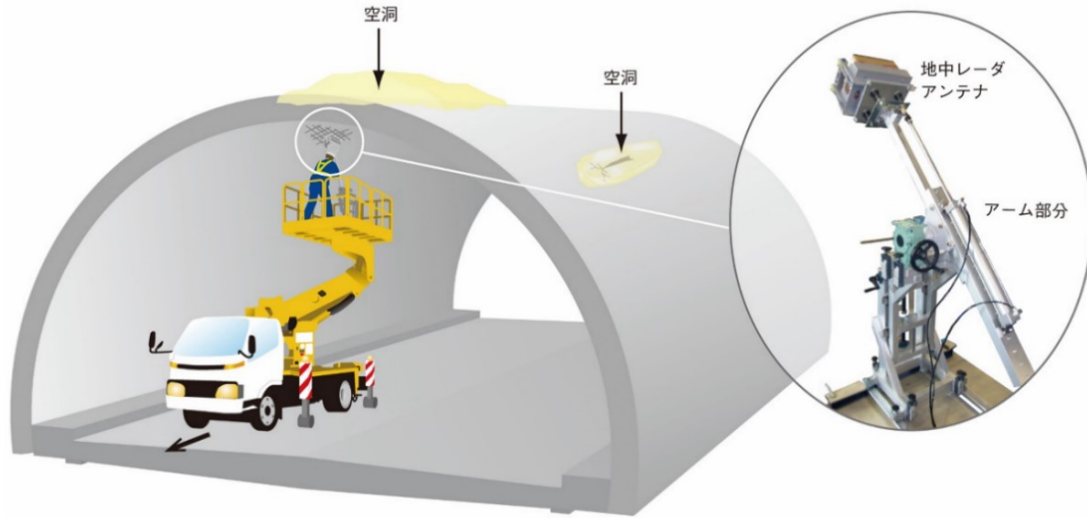
## 5. 留意事項(その1)

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	作業範囲	・路面より高さ0mm位置の側壁から天端まで。	—
	安全面への配慮	・交通規制を行う場合は「注意喚起の看板の設置」 ・交通規制を行わない場合は「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	・要	—
	交通規制の範囲	・片側車線(1車線)	点検作業ヤード内で可能
	現地への運搬方法	・「車両に搭載して運搬」	—
	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	・最小所要空間寸法 幅2m×高さ4m程度	—
	その他	・汚れ、すず等がある場合の作業の可否: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	・特になし	—
必要構成人員数	・現場責任者1人、計測員1人、計測補助員1人、車両運転員1人、合計4名	車線規制が必要な場合は別途交通誘導員が必要となる。
操作に必要な資格等の有無	・自動車普通免許(高所作業車10m以下)	—
操作場所	・作業ヤード:点検作業ヤード内 ・操作場所:トンネル点検車の架台	—
計測費用	[トンネル条件] ①延長500mのトンネル1本(全線で2測線実施)の場合 [費用] ・測定費用 100万円 ・解析費 40万円 [費用算定上の条件] ・安全費含まず ②延長500mのトンネル10本(全線で2測線実施)の場合 [費用] ・測定費用 700万円 ・解析費 320万円 [費用算定上の条件] ・安全費含まず	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・覆工巻厚および背面空洞厚の測定
計測作業日数	[トンネル条件] ①延長500mのトンネル1本(全線で2測線実施)の場合 [作業日数] ・計測作業日数 1日 ・解析作業日数 5日 [計測作業日数算定上の条件] ・足場設置等の特殊条件を考慮しない ②延長500mのトンネル10本(全線で2測線実施)の場合 [作業日数] ・計測作業日数 7日 ・解析作業日数 40日 [計測作業日数算定上の条件] ・足場設置等の特殊条件を考慮しない	—
作業条件・運用条件		
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み、保証範囲:人+自転車+車、保証金額:無制限	—
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	(該当なし)	—
渋滞時の計測可否	・特になし	—
車両から覆工表面までの距離条件	・2m以内	—
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)	・特になし	—
自動制御の有無	・無	—
利用形態:リース等の入手性	・すべて自社機材(トンネル点検車を除く)	—
関係機関への手続きの必要性	・必要に応じて交通規制のため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	—
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(DZTPicker)を使用 ・必要作業:担当者による解析作業	—
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	—	—
その他	特許状況:特になし 気象条件:特になし 作業条件:特になし	—

6. 図面



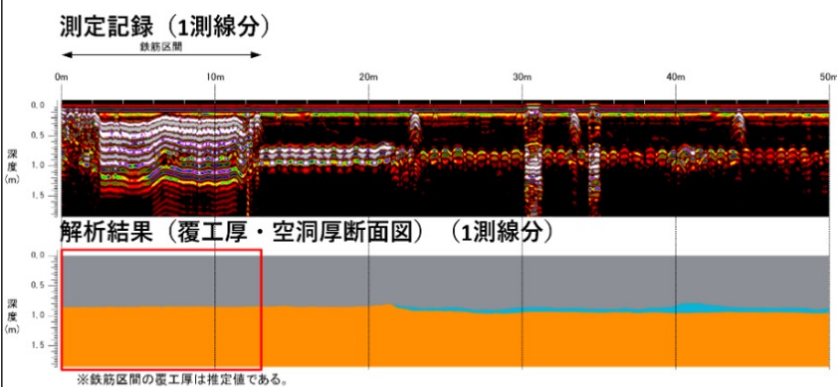
計測概念図



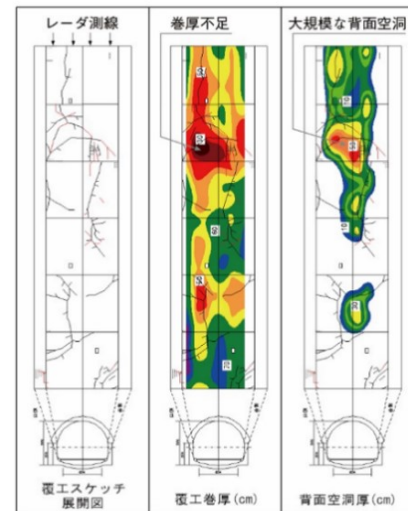
測定状況



計測機器搭載状況



測定記録を解析し、覆工断面図および覆工厚・背面空洞分布図を作成する。



覆工厚・背面空洞分布図

※トンネル縦断方向に3測線以上計測することで、覆工厚・背面空洞分布図が作成可能

## 1. 基本事項

技術番号	TN020012-V0223		
技術名	電磁パルス法を用いたあと施工アンカー定着部の非破壊評価技術		
技術バージョン	ver.4.1.1.9	作成:	2023年3月
開発者	株式会社 アミック		
連絡先等	TEL: 045-510-4317	E-mail: takanabe@amic-pro.co.jp	研究開発部 高鍋雅則
現有台数・基地	30台	基地	神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央4-36-1
技術概要	<p>・当該技術の特徴 本技術で使用する計測機器(アンカーパルステスター)は、電磁パルス法によりアンカーの健全性を検査する機能と、超音波法によりアンカーの長さを測定する機能を併せ持ったハイブリッド装置である。</p> <p>・計測結果の活用 【電磁パルス法】 あと施工アンカーの取付状態を把握する 【超音波法】 あと施工アンカーの定着長を計算する</p>		
技術区分	対象部位	吸音板 照明 警報表示板 標識 ジェットファン	
	損傷の種類		
	物理原理		
	検出項目		

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<p>・本体計測機器は、「電磁パルス法によりアンカーの健全性を検査する機能と、超音波法によりアンカー長さを測定する機能を併用する計測装置」および「測定データを保存するデータ収集・記録装置」が一体となっており移動は人力で行う。</p> <p>【電磁パルス法】 計測機器の構成:波形表示解析装置(本体)/電磁パルス発生装置/励磁コイル/AEセンサ</p> <p>【超音波法】 計測機器の構成:波形表示解析装置(本体)/探触子</p>
移動装置	移動原理	<p>【人力】 ・人が計測装置を持ち運びながら計測を行うもの。</p>
	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	<p>【電磁パルス法】 ・人が測定対象アンカーに近接可能な足場または高所作業車に装置本体と電磁パルス発生装置を設置し、アンカーに励磁コイルとAEセンサを直接設置する。</p> <p>【超音波法】 ・人が測定対象アンカーに近接可能な足場または高所作業車に装置本体を設置し、アンカーに探触子を直接設置する。</p>
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<p>・本体:最大外形寸法(長さ110mm×幅286mm×高さ182mm)、最大重量3.7kgf 電磁パルス発生器:最大外形寸法(長さ131mm×幅205mmL×高さ74mmH)、最大重量1.2kg 付属品1.25kgf</p>
	センシングデバイス	<p>・AEセンサ:富士セラミックスAE503AM(アンカー筋頭部用)、Vallen VS30V(コンクリート表面用) ・超音波探触子:菱電湘南エレクトロニクス5K10N-E</p>
	計測原理	<p>電磁パルス法と超音波法の原理を示す。</p> <p>【電磁パルス法】 ・励磁コイルにパルス状の電流を流すことで瞬間的な電磁力をアンカー筋に作用させる。これにより発生した弾性波をコンクリート表面とアンカー筋頭部に取り付けたAEセンサで受信し定着部の健全性を評価する。電気的制御なのでハンマーで叩くよりデータの再現性が良い。</p> <p>【超音波法】 ・アンカー筋頭部の端面より入力した超音波が埋設部の端面より反射して戻ってくる往復伝搬時間と、アンカー筋の音速よりアンカー筋の測定長さを計算する。アンカー筋の測定長さから突出長を引いて、設計値を満たす定着長があるか確認する。評価するアンカー筋と同じ材質、同程度の長さと同径を有するアンカーにより装置校正を行う。</p>
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	<p>【電磁パルス法】 ・評価基準とするアンカーと評価対象のアンカーの突出長が同程度であるか確認する。各評価指標値はアンカー筋の突出長により大きく変わり、評価基準とするアンカーと評価対象のアンカーの突出長が違う場合はNGポイントが大きくなり不良と判定してしまうためである。 ・励磁コイルは検査対象アンカー筋の頭部にウレタンスポンジを用いて設置する。 ・AEセンサはグルーガンを用いてアンカー筋の頭部とコンクリート表面に設置する。センサ設置を正しく設置するためにアンカー筋頭部端面が軸方向に対し直角かつ平滑でありコンクリート表面には凹凸が存在しない必要がある。 ・測定面表面が水で濡れている場合や湿度が90%を超えるような場所では感電の恐れが生じる。測定面が水で濡れている場合は乾燥措置を講じ、湿度が高い時は測定日を変更する。 ・気温0℃～40℃で使用する。</p> <p>【超音波法】 ・探触子を正しく接触させるためにアンカー筋頭部端面が軸方向に対し直角かつ平滑である必要がある。 ・気温0℃～40℃で使用する。</p>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<p>【電磁パルス法】 ・AEセンサの受信面の接触状態が悪いと、十分に弾性波を受信せず測定に支障をきたす場合がある。AEセンサの接触面に凹凸、ひび割れ、砂粒がないことを確認し、センサと接触面とをグルーガンを用いて確実に密着させる。接触面に凹凸がある場合は、グラインダー、やすり、ワイヤーブラシ、砥石等により表面を平滑にする。 ・励磁コイルを検査対象アンカーに対して正しく設置しないと、正しく評価できない場合があるので、励磁コイルはコイル保持具を用いて正しい位置に設置する。 ・目視にて採取波形が安定したことを確認してからデータを保持し次の箇所の測定を行う。</p> <p>【超音波法】 ・探触子の受信面の接触状態が悪いと、十分にエコーが得られず測定に支障をきたす場合がある。探触子の接触面に凹凸がないことを確認し、探触子と接触面とを接触媒質を用いて確実に密着させる。接触面に凹凸がある場合は、グラインダー、やすり、ワイヤーブラシ等により表面を平滑にする。 ・超音波が入射側の端面から斜めに入射したり、埋込側の端面で斜めに反射してしまうと、超音波は側面での反射を繰り返して減衰してしまうため、ピークエコーがノイズに埋もれてしまう可能性がある。特にアンカーが長く径が小さい場合にこの傾向が大きい。そのため、アンカー筋の両端面を長さ方向に対して垂直にしておく必要がある。</p>	

計測プロセス		<p>電磁パルス法および超音波法の計測プロセスを示す。</p> <p>【電磁パルス法】</p> <p>電磁パルス法の処理フローを以下(a)に示す。処理のプロセスを以下に示す。</p> <p>①測定開始時、本体にパルス磁場発生装置と励磁コイル、アンカー筋頭部用AEセンサを接続し電源を入れる</p> <p>②装置本体で条件設定(アンカーNo.、現場名、アンカータイプ等)の入力を行う</p> <p>③コイル保持具ウレタンスポンジによりアンカー筋に励磁コイルを設置、? グルーガンによりアンカー筋頭部とコンクリート表面にAEセンサを設置する</p> <p>④パルス磁場発生装置のスイッチを押すとアンカーで弾性波が発生する</p> <p>⑤波形データがAEセンサで受信される</p> <p>⑥波形データがAD変換される</p> <p>⑦時間軸波形と周波数スペクトルのデータが算出される (④~⑦を測定CH分繰り返す)</p> <p>⑧時間軸波形と周波数スペクトルから評価指標値が算出される</p> <p>⑨評価指標値と判定データからNGポイントが算出される(基準アンカー測定時は仮のNGポイントが計算される)</p> <p>⑩装置画面にアンカーの健全性を示す○△×が表示される</p> <p>⑪測定データを保存する</p> <p>⑫基準アンカー測定終了後に健全性評価に用いる判定データを作成する (③~⑪を測定アンカー本数分繰り返す) ※評価指標とNGポイントは技術マニュアルを参照</p> <p>【超音波法】</p> <p>超音波法の処理フローを以下(b)に示す。処理のプロセスを以下に示す。</p> <p>①測定開始時、アンカーパルスステータに探触子を接続し電源を入れる</p> <p>②装置本体で条件設定(アンカーNo.、現場名、アンカー公称長さ、アンカー種類等)の入力を行う</p> <p>③校正用アンカーに探触子を接触させる</p> <p>④探触子よりアンカー筋に超音波が入力される</p> <p>⑤装置が校正される</p> <p>⑥測定するアンカーに探触子を接触させる</p> <p>⑦本体画面にアンカー長さが表示される</p> <p>⑧測定データを保存する</p> <p>⑨スケールでアンカー突出長を測定する</p> <p>⑩アンカー長さから突出長を引算し定着長を計算する</p>
	アウトプット	<p>【電磁パルス法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>判定結果を○△×で表示する</li> </ul> <p>【超音波法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>アンカー長さ</li> </ul>
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP66(本体)</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>動力源:電気式</li> <li>電源供給方法:内蔵バッテリー</li> <li>定格電圧:DC15V、AC100V</li> </ul>
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>4時間(外気温:25℃、1分に1回計測の場合)</li> </ul>
データ収集・通信装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測装置と一体</li> </ul>
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測データは本体に挿入するSDカードに保存される。</li> </ul>
	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1000mm X 高さ1500mm程度	作業員が最低1人は入れる程度の空間が必需
適用可能なトンネルの最大寸法	—	
障害物回避	—	

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	<p>『アンカー定着部健全性評価』(電磁パルス法)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・センサと接触面とをグルーガンを用いて確実に密着させる。</li> <li>・接触面に凹凸がある場合は、グラインダー、やすり、ワイヤーブラシ、砥石等により表面を平滑にする。</li> <li>・励磁コイルはコイル保持具を用いて正しい位置に設置する。</li> <li>・目視にて採取波形が安定したことを確認してからデータを保持し次の箇所の測定を行う。</li> </ul> <p>『アンカー長さ測定』(超音波法)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・探触子と接触面とを接触媒質を用いて確実に密着させる。</li> <li>・接触面に凹凸がある場合は、グラインダー、やすり、ワイヤーブラシ等により表面を平滑にする。</li> <li>・アンカー筋の両端面を長さ方向に対して垂直にしておく。</li> </ul>
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	<p>『性能値』</p> <p>アンカー1本あたり5~10分</p> <p>【標準試験値】</p> <p>標準試験方法 (2021)</p> <p>実施年 2021年</p> <p>アンカー1本あたり5~10分</p>
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 ※	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)

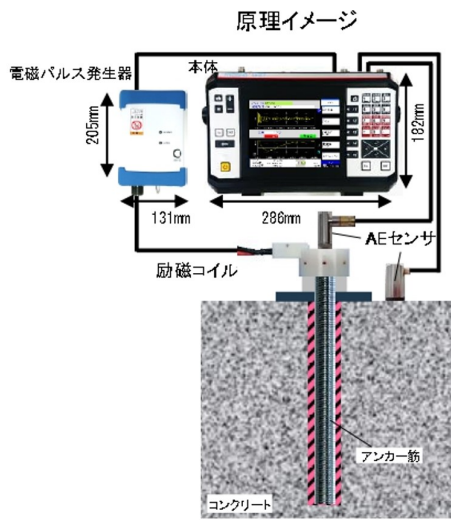
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	作業範囲	・路面より高さ50mm位置の側壁から天端まで。	
	安全面への配慮	・高電圧装置のため水がかりに注意する ・注意喚起の看板の設置	
	無線等使用における混線等対策	—	
	交通規制の要否	・要(高所作業車使用時)	
	交通規制の範囲	・片側車線	
	現地への運搬方法	・人による運搬	
	気温条件	・0℃～40℃	
	トンネル延長の制約	・特になし	
	車線数の制約	・特になし	
	断面形状の制約	・特になし	
	その他	・すす汚れによる作業の可否:可	

## 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	・特になし	
必要構成人員数	・現場責任者(測定者)1人、補助員1人、合計2名	
操作に必要な資格等の有無	・特になし	
操作場所	・作業ヤード:否	
計測費用	[トンネル条件] ・基準数量:30本/日(現地までの交通費等除く) [費用] ・調査費用 外業(現場作業): 77,100円/日 内業(机上作業): 134,300円/2日 ・機械経費:80,000円/式 ・その他の費用(安全管理費、諸経費、技術経費):140,000円/式 合計:431,400円 [費用算定上の条件] ・トンネル一部区域のアンカー施工部 ・前処理が必要ないこと ・作業日数は要相談	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネル付属物を固定しているアンカーボルトの点検補助
計測作業日数	・計測作業日数1日 (作業時間8時間、点検量30本)	
保険の有無、保障範囲、費用	請負業者賠償責任保険に加入 請負作業遂行中の事故 1事故最大5000万円	
作業条件・運用条件 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	—	
渋滞時の計測可否	—	
車両から覆工表面までの距離条件	—	
トンネル内照明の消灯の必要性	—	
可搬性(寸法・重量)	・可搬式トランクに収納。総重量約9kgf。	
自動制御の有無	・無	
利用形態:リース等の入手性	・すべて自社機材	
関係機関への手続きの必要性	・特になし	
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・解析ソフト:なし	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・あり	
センシングデバイスの点検	・年1回、製造メーカーによる定期点検	
その他	特許状況:特になし 気象条件:特になし 作業条件:特になし	

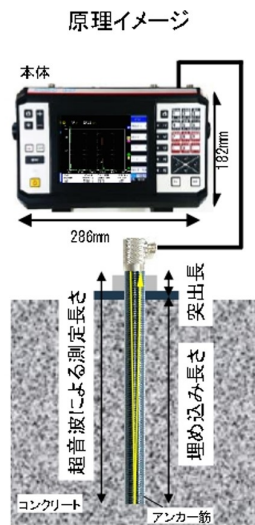
6. 図面

電磁パルス法(健全性評価)



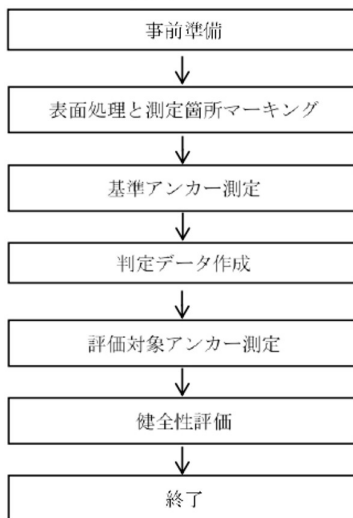
本体 : 286mmL×182mmH×110mmD, 3.7kg  
 電磁パルス発生器 :  
 205mmL×74mmH×131mmD, 1.2kg

超音波法(長さ測定)

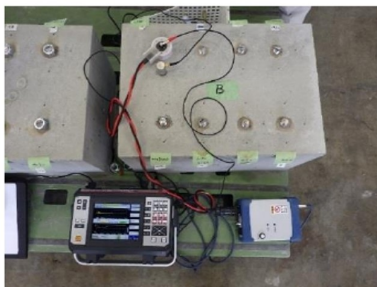


本体 : 286mmL×182mmH×110mmD, 3.7kg

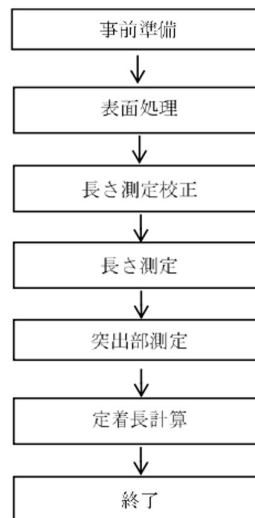
調査フロー



状況写真



調査フロー



状況写真



## 1. 基本事項

技術番号	TN020013-V0325		
技術名	デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム		
技術バージョン	バージョン1	作成:	2023年3月
開発者	西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 原子燃料工業株式会社		
連絡先等	TEL: 0724-52-7272	E-mail:	ryo-ogawa@nfi.co.jp h-fujiyoshi@nfi.co.jp mtm-ishii@nfi.co.jp エンジニアリングサービス部 小川、藤吉、石井
現有台数・基地	20台	基地	大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目950 原子燃料工業株式会社 エンジニアリングサービス部
技術概要	トンネルの付属物を対象に、AEセンサを用いた打音計測装置を用い、デジタル化された振動情報(固有周波数)から、あと施工アンカーで取り付けられたトンネル付属物(ジェットファン、大型標識等)の固定ボルトのゆるみを把握する技術。		
技術区分	対象部位	その他(ボルト)	
	損傷の種類	その他(ボルトのゆるみ)	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	



## 2. 基本諸元

計測機器の構成		AEセンサと計測装置、波形処理用タブレットPCがケーブルによって接続された構造。打音検査ハンマーで打音した振動情報を記録し、現場において計測点毎に検査結果からボルトの変状の有無を基準周波数に基づき簡易的に表示する。また、撮影された画像からトンネル附属物のボルトと周囲の覆工コンクリートの状態を記録する。
移動装置	移動原理	—
	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		—
外形寸法・重量 (分離構造の場合)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ寸法 (直径12φ×高さ40mm)、最大重量 (0.05kgf)</li> <li>・計測装置寸法 (長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量 (2.4kgf)</li> <li>・波形処理用タブレットPC寸法 (長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量 (0.8kgf)</li> </ul>
センシングデバイス		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ エヌエフ回路設計ブロック AE900S-WB</li> <li>・カメラ Panasonic FZ-M1 タブレットPC内蔵カメラ</li> </ul>
計測原理		<p>測定部分において通常点検用ハンマーにより弾性波を発生させ、発生した弾性波をAE (Acoustic Emission: 音響) センサ表面の圧電素子で受信し、アンプ・フィルター・A/D変換器により振動波形として数値化する。</p> <p>現場での計測値 (固有周波数) とボルトの変状が無いと判断した基準値とを比較することで、タブレットPCがリアルタイムで自動判定する。</p> <p>ボルトの変状が無いと判断した基準値の設定方法は以下の2通り</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①現場においてボルトの変状が無いと判断した箇所を計測</li> <li>②モックアップ試験 / 理論式 / FEM解析</li> </ol>
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"> <li>・AEセンサを対象に密着させるため、必要に応じて計測部位にリフト車で近接する必要がある。</li> <li>・計測対象の前処理は不要で、AEセンサを押し当てて密着させる (AEセンサの前面を特殊加工しているため)。</li> <li>・ボルトに締結されたナットが完全に緩んでいる状態 (手で回せる程度) は適切な振動取得が困難な可能性がある。その場合は、緩みと判断する。</li> <li>・計測部位から計測装置までケーブルを配線する必要がある (ケーブルは最長10m程度)。</li> <li>・測定は漏水箇所でも可能。</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサを計測対象に手で均一に押しあてる必要がある (適切な振動計測であったことを伝えるアラーム音と画面表示機能あり)。</li> <li>・ボルトの変状の有無を判定するための適切な固有振動ピークの決定。</li> </ul>
計測装置	計測プロセス	<p>①計測前後で、校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。</p> <p>②測定箇所に測定者がAEセンサを当て、テストハンマーにより打撃し、弾性波を発生させる。</p> <p>③発生した弾性波はAEセンサにより取得され、自動的にA/D変換されたのち、周波数解析される。同時に、タブレットPCにより対象の外観を撮影する。</p> <p>④周波数解析で得られた振動情報 (固有周波数) と、あらかじめ設定したボルトの変状が無い部位の振動情報 (判定基準値) とを比較し、判定基準値から逸脱した場合、変状ありとして、計測結果をタブレットPC上に表示する【簡易判定】。また、撮影した画像データもデータ間の紐づけ後、タブレットPCに記録保存される。</p> <p>⑤必要に応じて、手動処理により人間によるエンジニアリングジャッジ (EJ) を行う【詳細判定】。</p>
	アウトプット	<p>【現場計測時】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動計測で得られる振動波形、振動波形を周波数解析して得られる周波数分布および固有振動数をタブレットPC上に表示。</li> <li>・ボルトの変状の有無を基準周波数に基づき簡易的に表示する。</li> </ul> <p>【現場計測後】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動波形のデジタルデータ (出力形式はcsv形式)</li> <li>・計測対象に紐づけられた撮影画像、並びに1車書きメモのデジタルデータ (出力形式はjpg形式)</li> </ul>

	耐久性	タブレットPCは、IP65準拠。 計測装置は、箱はIP65以上の部品を使用。 ※防塵・防滴性能は、各部品の無破損・無故障を保証するものではありません。 ※部品単位での防塵・防滴性能を持つものを利用していますが、本製品としての防塵・防滴試験は実施していません。
	動力	・波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー ・計測装置内蔵バッテリー
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・波形処理用タブレットPCバッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。 ・計測装置内蔵バッテリー(駆動時間:約55時間、充電時間:約5時間)。 ※バッテリー駆動時間は、動作環境・液晶の輝度・システム設定により変動。
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)	タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)
	データ収集・記録機能	タブレットPC内部に保存。
	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	波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。
	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	—	—
適用可能なトンネルの最大寸法	—	—
障害物回避	—	—

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	<p>【性能値】                      (引用)福間透, 清水寛, 吉原正記, 松永嵩, 磯部仁博,                      “デジタル打音検査によるジェットファンアンカーの診断基                      準構築に向けて”, 土木学会第74回年次学術講演会,                      VI-787, 香川大学 幸町キャンパス, 2019年9月3-5日.                      【標準試験値】                      施工技術総合研究所殿供試体による検証結果(令和3年                      3月29日)                      [1] ボルトの施工不良                      ・供試体:M18 あと施工アンカー                      ・供試体A(ナットあり)、供試体B(ナットなし)ともにあと施                      工アンカーの施工条件は同じ(下記参照)。                      ボルトNo.1:削孔径19mm、定着長160mm                      ボルトNo.2:削孔径19mm、定着長120mm                      ボルトNo.3:削孔径19mm、定着長70mm                      ボルトNo.4:削孔径24mm、定着長75+45mm                      (地際から75mm位置に40mm深さの断面欠損を                      模擬)                      ボルトNo.5:削孔径24mm、定着長90+30mm                      (地際から90mm位置に40mm深さの断面欠損を                      模擬)                      ボルトNo.6:削孔径19mm、定着長160mm                      ボルトNo.7:削孔径24mm、定着長120mm                      (地際から120mm位置に60mm深さの空洞を模                      擬)                      ボルトNo.8:削孔径24mm、定着長120mm                      (地際から120mm位置に60mm深さの空洞を模                      擬)                      ※健全の判定のための健全基準値を以下の方法で取                      得する必要がある。                      ・パターン1:現場で健全と確認した対象から得られる                      計測値。                      ・パターン2:健全状態で作製したモックアップ試験体で                      得られる計測値。                      [2]ボルトの緩み                      ・JF吊り金具模擬供試体                      ・供試体:M24 あと施工アンカー                      ・ボルト1~4の4本で吊り金具を固定。                      ・ボルトの緩みを模擬するため、段階的にトルクを変化さ                      せながら計測。</p>
	<p>【性能値】実機ジェットファンアンカーボルト(M24)について、評価ピーク周                      波数が平均値より大幅に低い一部のJFアンカーのトルクレンチによる締付                      確認では、規定のトルク値(240 N・m)より低い締付トルクの状態にあるこ                      とが確認され、規定トルク値で再締付後の評価ピーク周波数は、平均値近                      傍まで回復することを確認した。                      【標準試験値】                      標準試験方法(2021)                      実施年 2021年                      [1] ボルトの施工不良                      ①供試体A(ナットあり)                      ・定着長不足の判定不可能。                      ②供試体B(ナットなし)                      ・定着長70mm~120mmの範囲で、定着長不足を判定可能。                      [2]ボルトの緩み                      ①トルク200N・m(健全状態)                      健全と判定:12条件中、11条件                      ②トルク100N・m(異常状態)                      異常と判定:9条件中、9条件                      ③トルク50N・m(異常状態)                      異常と判定:10条件中、10条件</p>		
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	<p>【性能値】                      ・平均点検量:20分/1基                      ※ ジェットファン1基でアンカーボルト16本                      ※ 高所作業車の移動時間は除く                      【標準試験値】                      未検証</p> <p>・当社の現場検査実績をもとに算出                      ・高所作業車上</p>
	性能確認シートの有無 ※	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 ※	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	作業範囲	通常の打音点検と同等	—
	安全面への配慮	通常の打音点検と同等	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	必要	—
	交通規制の範囲	通常の打音点検と同等	—
	現地への運搬方法	通常の打音点検と同等	—
	気温条件	通常の打音点検と同等	—
	トンネル延長の制約	通常の打音点検と同等	—
	車線数の制約	通常の打音点検と同等	—
	断面形状の制約	通常の打音点検と同等	—
	その他	汚れ、すす等がある場合の作業の可否:可	—

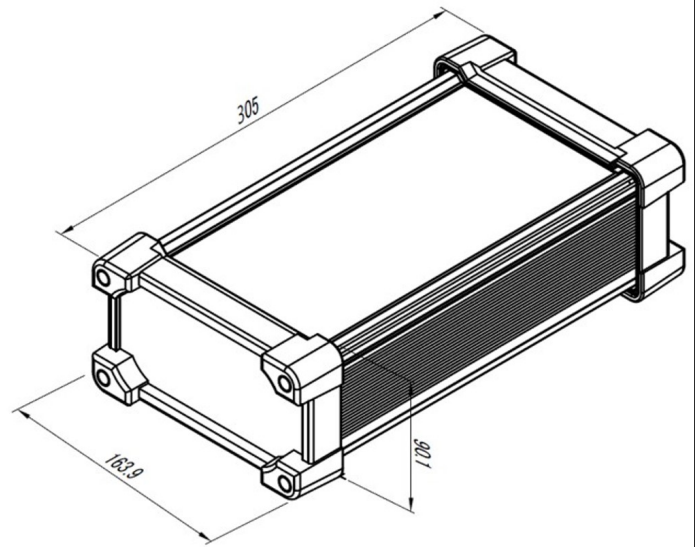
## 5. 留意事項(その2)

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	半日程度の当社社内資格認定講習	—
必要構成人員数	現場責任者1人、計測員1人、補助員1人 車両運転員1人、交通誘導員1人、合計5名	—
操作に必要な資格等の有無	半日程度の当社社内資格認定講習	—
操作場所	通常の打音点検と同等	—
計測費用	<p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500m、ジェットファン2基</li> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検</li> <li>・補修箇所なし</li> <li>・照明灯具の回避や計測作業手間等により日数や費用の増加はなし。</li> </ul> <p>(パターン1)延長500mのトンネル1本(ジェットファン2基、アンカーボルト32本)のみ計測の場合 【外業】新技術活用による費用:2名×3万円×1日=6万円 (弊社トレーニング、OJT後、2名の点検員により実施) 機器経費:1.5万円×1日=1.5万円 【内業】測定データ解析、報告書作成費用:64万円</p> <p>(パターン2)延長500mのトンネル10本(ジェットファン20基、アンカーボルト320本)を一括して計測する場合 【外業】新技術活用による費用:2名×3万円×5日=30万円 (弊社トレーニング、OJT後、2名の点検員により実施) 機器経費:1.5万円×5日=7.5万円 【内業】測定データ解析、報告書作成費用:640万円</p> <p>[費用算定の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高所作業車費用、交通規制費用は別</li> <li>・トレーニング(半日)費用、OJT(1日)費用は別</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高所作業車利用</li> <li>・定期点検作業(近接目視、打音検査、たたき落とし、付属物の触診等)の費用は含まない。</li> <li>・点検作業全体における当該技術のカバー率:100% (但し、トルクの緩みがある場合は再締結作業:30%、当該技術:70%)</li> <li>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</li> <li>・アンカーボルトの各種異常(ゆるみ、施工不良等)の定量評価</li> <li>・外観写真と打音点検結果を統合したデジタル検査記録の作成</li> <li>・デジタル検査記録を用いた経年管理と劣化予測</li> </ul>
計測作業日数	<p>[トンネル条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・延長500m、ジェットファン2基</li> <li>・ひび割れ密度0.3m/m<sup>2</sup></li> <li>・2車線断面、歩道なし</li> <li>・2回目以降の点検</li> <li>・補修箇所なし</li> <li>・照明灯具の回避や計測作業手間等により日数や費用の増加はなし。</li> </ul> <p>(パターン1)延長500mのトンネル1本(ジェットファン2基、アンカーボルト32本)のみ計測の場合 【外業】作業日数:1日 【内業】データ解析、報告書作成日数:1日</p> <p>(パターン2)延長500mのトンネル10本(ジェットファン20基、アンカーボルト320本)を一括して計測する場合 【外業】作業日数:5日 【内業】データ解析、報告書作成日数:10日</p> <p>[計測作業日数算定上の条件]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ジェットファンアンカーボルトのゆるみ(デジタル打音検査)</li> <li>・覆工コンクリートのひび割れ(デジタル画像撮影)</li> </ul>	高所作業車利用
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)	通常打音点検と同等(夜間作業も可) 時間的制約なし	—
計測時の走行速度条件	通常打音点検と同等	—
渋滞時の計測可否	通常打音点検と同等	—
車両から覆工表面までの距離条件	通常打音点検と同等(高所用具の使用可能)	—
トンネル内照明の消灯の必要性	通常打音点検と同等	—
可搬性(寸法・重量)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測装置寸法(長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量(2.4kgf)</li> <li>・タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)</li> </ul>	—
自動制御の有無	波形処理用タブレットPCは、適切な振動計測可否かを画面表示およびアラーム音で知らせる機能あり。 例:“○”、“信号弱”、“信号強”、アラーム音	—
利用形態:リース等の入手性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査委託業務の請負い可能。</li> <li>・計測装置は購入品あるいはレンタル。 (レンタル先:原子燃料工業株式会社、TEL:0724-52-7221)</li> </ul>	—



	関係機関への手続きの必要性	通常打音点検と同等	—
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・現場簡易解析:波形処理用タブレットPCに標準装備 ・詳細解析:担当者による検査データ解析サービスあり	—
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり。 条件:年間サポート契約	—
	センシングデバイスの点検	校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。基準値を満たさない場合は、センサ交換、デジタルオシロスコープの交換で対応。	—
その他		【特許状況】 ・特許第6084952号 アンカーボルトの非破壊検査方法および非破壊検査装置 ・特許第6190781号 アンカーボルトの状態評価方法 ・特許第6308902号 アンカーボルトの非破壊検査方法および非破壊検査装置 ・特許第6371409号 部材の状態評価方法 ・特許第6504964号 部材の状態評価装置および状態評価方法 【気象条件】 トンネル内であれば気象条件の制限なし 【作業条件】 ・高所作業車が必要 ・事前のトレーニング(半日程度)が必要	—

## 6. 図面

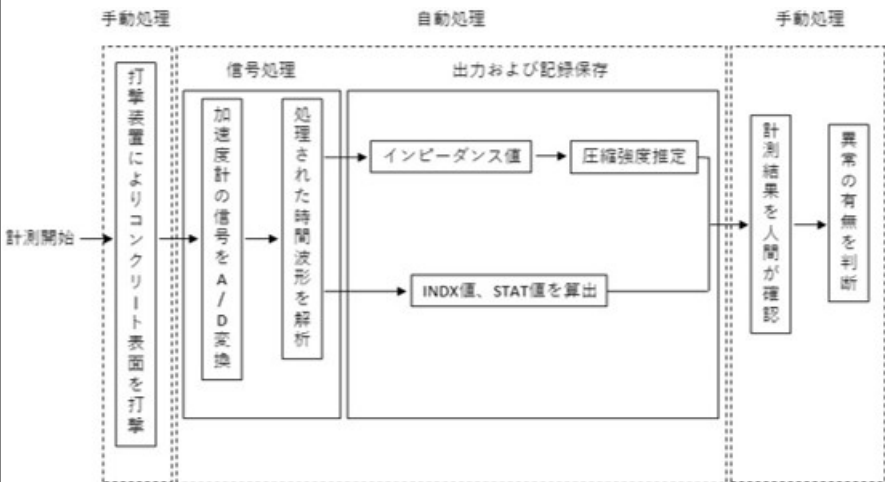


タブレットPC寸法  
長さ203mm × 幅132mm × 高さ18mm

## 1. 基本事項

技術番号	TN020014-V0225		
技術名	ハンマ打撃によるコンクリートの非破壊検査装置CTS		
技術バージョン	ver.4	作成:	2025年2月
開発者	日東建設株式会社		
連絡先等	TEL: 0158-84-2715(本社) 011-874-6200(札幌支店)	E-mail: konnou@nittokensetsu.co.jp okamoto@nittokensetsu.co.jp	技術開発部 金王 雄亮(本社) 技術開発部 岡本 真(札幌支店)
現有台数・基地	7台(自社保有デモ機)	基地	北海道紋別郡雄武町 ※当社販売店やリース・レンタル会社でも保有
技術概要	<p>CTSは、加速度計を内蔵したハンマでコンクリートを打撃したときの打撃応答波形を測定・解析することにより、非破壊でコンクリートの圧縮強度や、表面近傍(表面から50mm程度まで)のうき・はく離および表面の劣化度合い(塑性化等)を検知するコンクリート用の計測器である。</p> <p>本計測器により、推定強度(STR値)、表面劣化度合い(INDX値)および表面剥離指標値(STAT値)が得られる。うき・はく離の検査を行う場合、このうちSTR値を用いた各測定点での相対比較によりその評価を行う。計測結果は即座に本体ディスプレイ上に表示され、データ整理は表計算ソフトを用いて行う。</p>		
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 坑門	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理		
	検出項目		

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> <li>・本計測器は、打撃装置、AD変換機、およびデータの解析・表示・保存を行う記録装置(制御用コンピュータ)が一体構造で構成された計測器である。</li> <li>・本計測器は、打撃装置と専用の本体装置で構成された専用機型と、汎用のPCを制御用コンピュータとして活用する汎用機型の2つのタイプがある。</li> </ul>
移動装置	移動原理	<p>【人力】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打音検査と同様、測定対象に近接しハンマによる打撃を行う。</li> </ul>
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一体構造(①専用機型):測定装置(108 x 169 x 42mm)、打撃装置(380g)</li> <li>・一体構造(②汎用機型):USBデバイス(106 x 40 x 11mm)、打撃装置(380g)、PC(PCの製造元、型式による)</li> </ul>
	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)	—
計測原理	設置方法	・移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	センシングデバイス	・打撃装置 自社開発 【接触タイプ】
	計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・打撃装置により打撃を行い、得られた打撃応答波形から機械インピーダンス値を算出し圧縮強度の推定を行う。計測された打撃応答波形は、波形が最大値に至る前半部分(貫入過程)と後半部分(反発過程)に分けることができる。貫入過程では、コンクリート表面の塑性変形の影響を強く受けるが、反発過程では、コンクリートの弾性変形の復元によってハンマが反発するため、塑性変形の影響を受けづらい。本計測器では、コンクリート表面の塑性変形の影響を避けるため、反発過程の機械インピーダンス値を用いて圧縮強度を推定する。</li> <li>また、貫入過程と反発過程の機械インピーダンスの比から表面の劣化度合いを、波形のローカルピーク数から骨材はく離の状況などを推定できる。</li> </ul>
	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"> <li>・測定対象をハンマで直接打撃する必要があるため、計測部位に近接できる必要がある。</li> <li>・コンクリート表面に大きな凹凸があると正しく計測できない可能性がある。</li> <li>・打撃装置がコンクリート表面に対して垂直になるよう注意しながら打撃を行う。</li> <li>・極端な低温環境下(-5℃以下)では、電子機器の保護が必要な場合がある。</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・コンクリートはバラツキの多い材料であり、同一測定点で複数回の測定を行い平均値を求め評価を行う。	
計測装置	計測プロセス	<p>① コンクリート表面に対して打撃装置が垂直になるよう打撃する (明らかな打撃ミスや異常な波形が測定された場合は再度測定を行う。)</p> <p>② ハンマに内蔵された加速度計の信号をA/D変換。</p> <p>③ 信号を解析し、各種指標値の算出</p> <p>④ ディスプレイ上に各数値を表示しデータを保存</p> <p>⑤ 計測結果を人間が確認、異常の有無を判断</p> 
	アウトプット	<p>【専用機型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各種指標値をテキストデータで出力。</li> <li>・データ出力形式はCSV。</li> </ul> <p>【汎用機型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打撃応答波形を時系列データとして出力。</li> <li>・各種指標値をテキストデータで出力。</li> <li>・データ出力形式はCSV。</li> </ul>

	耐久性	—
	動力	【専用機型】 動力源:電気式 電源供給方法:単三乾電池4本 【汎用機型】 動力源:電気式 電源供給方法:USBバスパワー(PCの内蔵バッテリーに依存)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	①専用機型:12時間(カタログ値) ②汎用機型:PCの内蔵バッテリーに依存(概ね6時間【外気温20℃】)
データ収集・通信装置	設置方法	・移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	【専用機型】 計測装置内に保存。計測終了後、PCに出力保存。 【汎用機型】 汎用機型: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)	・通信方法:有線(USBケーブル) ※①専用機型の場合
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	—
	動力	【専用機型】 動力源:電気式 電源供給方法:単三乾電池4本 【汎用機型】 動力源:電気式 電源供給方法:USBバスパワー(PCの内蔵バッテリーに依存)
	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	・人が点検可能なスペース (打音検査が行える程度のスペース)	—
適用可能なトンネルの最大寸法	・人が点検可能な作業床を設置し近接できれば適用可能	—
障害物回避	・装置そのものがトンネル内付属物と干渉する事はない。	—

## 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	
	標準試験方法(2020) 実施年 2022年 表面近傍(深さ10mm~50mm)に空洞を模したコンクリート供試体計16 体を対象に測定を実施。 ※本実験の計測対象箇所目地部は含まない。 検出率=0.512 的中率=0.943		・コンクリート表面に大きな凹凸があると正しく計測できない可能性がある。 ・測定対象をハンマで直接打撃する必要があり、表面被覆等の処理が施されている場合、被覆厚や材料によっては測定ができない。 ・測定面とハンマの衝突時の打撃角度が±10度程度に収まるよう注意しながら打撃を行う。
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	
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 ※	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	作業範囲	・手の届く範囲	—
	安全面への配慮	・ヘルメット、安全帯の着用	—
	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	・要(高所作業車を使用する場合)	—
	交通規制の範囲	・交通規制を行う場合は「片側車線」 ・交通規制を行わない場合は「不要」	—
	現地への運搬方法	・専用の収納ケースに収納し、人による運搬	—
	気温条件	・特になし。ただし、極端な低温環境下(-5℃以下)では、電子機器の保護が必要な場合がある。	—
	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	・コンクリート厚さ100mm以上	—
	その他	・すす汚れがある場合の作業の可否: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	・特になし	—
必要構成人員数	点検員1人、点検補助員1人	—
操作に必要な資格等の有無	・特になし	—
操作場所	・作業ヤード: 否	—
計測費用	測定数量: 3250点 ※測定用足場、高所作業車、交通規制の費用は別途 外業: 84,800円(コンクリート表面処理、測点マーキング含む) 内業: 70,500円	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネル覆工面の打音点検の判定補助、打音点検の代替(たたき落とし除く)
計測作業日数	計測作業日数: 1日	計測作業日数算定上の条件 ・片側交互通行が可能である事 ・測定範囲は地上から2m程度の高さまで(手を伸ばして届く範囲)。それ以上の高さの場合は高所作業車を使用する。 ・トンネル半径および延長は無制限 注: 作業日数は測定点数により異なる
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み、保証範囲: 対人・対物 保証金額: 1億円	—
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし	—
計測時の走行速度条件	・特になし	—
渋滞時の計測可否	・特になし	—
車両から覆工表面までの距離条件	・特になし	—
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)	【①専用機型】 測定装置(108mm x 69mm x 42mm)、打撃装置(380g) ※収納ケース収納時(400mm x 120mm x 270mm、4kg)  【②汎用機型】 USBデバイス(106mm x 40mm x 11mm)、打撃装置(380g)、 PC(PCの製造元、型式による) ※収納ケース収納時(390mm x 130mm x 240mm、4kg)	—
自動制御の有無	・無	—
利用形態: リース等の入手性	・購入、レンタル	—
関係機関への手続きの必要性	・高所作業車等を使用する場合交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	—
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: 表計算ソフトによるデータ整理	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有(製造元あるいは販売店へ連絡)	—
センシングデバイスの点検	・1年に1回あるいは50,000打撃に1回、装置の製造元(日東建設)による定期点検	—
その他	【特許状況】 ・装置価格に含まれる 【気象条件】 ・雨天作業時は装置が濡れないよう注意する 【作業条件】 ・トンネル上部の計測には高所作業車等が必要である。 【適用できない(適用できなかった)条件等】 ・障害物などにより十分な打撃力でハンマ打撃を行えない場合は計測が困難。	—

6. 図面

① 専用機型



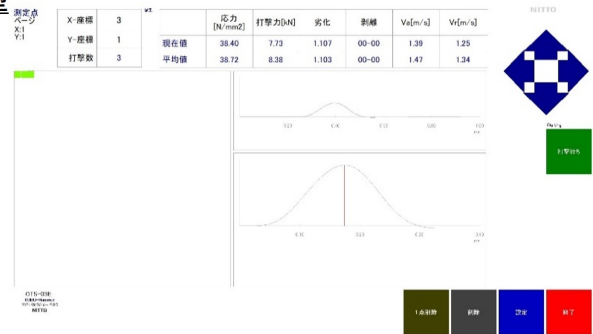
測定画面

② 汎用機型

AD変換機 (106 x 40 x 11mm) タブレットPC (Windows OS)



打撃装置 (上記打撃装置と同じ)



測定画面

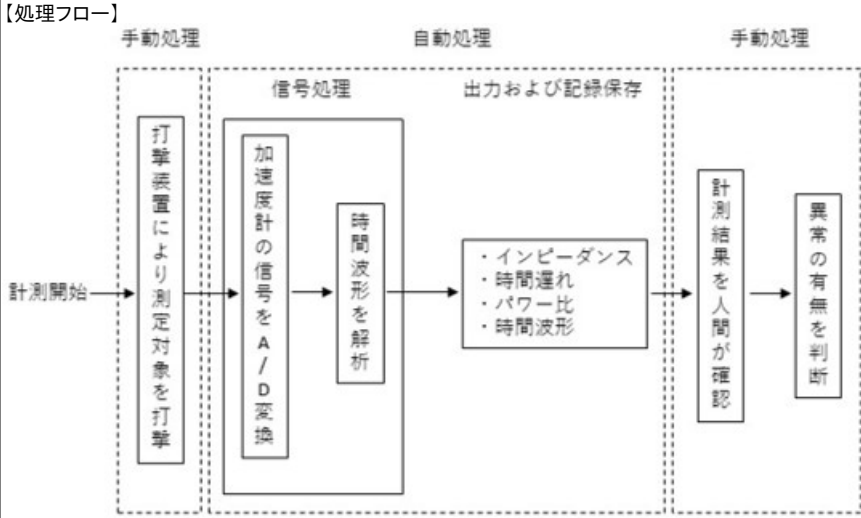


測定状況

## 1. 基本事項

技術番号	TN020015-V0225		
技術名	ボルト・ナットの健全性検査装置BOLT-Tester		
技術バージョン	ver.1	作成:	2025年2月
開発者	日東建設株式会社		
連絡先等	TEL: 0158-84-2715(本社) 011-874-6200(札幌支店)	E-mail: konnou@nittokensetsu.co.jp okamoto@nittokensetsu.co.jp	技術開発部 金王 雄亮(本社) 技術開発部 岡本 真(札幌支店)
現有台数・基地	3台(自社保有デモ機)	基地	北海道紋別郡雄武町 ※当社販売店やリース・レンタル会社デモ保有
技術概要	BOLT-Testerは、あと施工アンカーやナットの健全性をハンマ打撃によって検査する計測器である。衝撃加速度計を内蔵したハンマでボルトやナットを打撃し、その時に得られる反力の時間波形によって健全性の評価を行う。ボルトの固着不足やナットの緩みなどがある場合、打撃に対する反力の生成に遅れが生じ、測定波形からこの挙動を読み取り検査を行う技術である。		
技術区分	対象部位	吸音板 天井板 照明 ケーブル類 警報表示板 標識 ジェットファン その他附属物	
	損傷の種類	表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理		
	検出項目		

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		・本計測器は、打撃装置、AD変換機、およびデータの解析・表示・保存を行う記録装置(制御用PC)が一体構造で構成された計測器である。
移動装置	移動原理	【人力】 ・打音検査と同様、測定対象に近接しハンマによる打撃を行う。
	外形寸法・重量	・一体構造(計測装置) 打撃装置※(大ハンマ:1400g、中ハンマ:420g、小ハンマ:190g) ※打撃対象物によってハンマ質量を変える。 AD変換機(106 x 40 x 11mm) PC(PCの製造元、型式による)
	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	・移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	センシングデバイス	・打撃装置 自社開発 【接触タイプ】
	計測原理	・打撃は、作用と反作用によって成立する。反作用は打撃対象物の状態によってその大小や反力が生成されるまでの時間などが変化する。本技術は、打撃装置(ハンマ)で、対象物を打撃し、打撃応答波形(ハンマに作用する加速度)を測定することで反力の発生状況を確認する。 ・キャリブレーションとして、健全な状態の対象物をあらかじめ測定することにより、検出精度の向上が期待できる。
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・測定対象をハンマで直接打撃する必要があるため、計測部位に近接できる必要がある。 ・打撃装置が測定対象に対して垂直になるよう注意しながら打撃を行う。 ・極端な低温環境下(-5℃以下)では、電子機器の保護が必要な場合がある。 ・接着系アンカーのボルトと母材の固着具合を調べる際は、軸力を開放する必要がある。
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・測定対象に対して打撃装置が垂直かつ測定対象の中央を打撃するよう注意しながら打撃を行う。 ・一つの測定対象に対して、計測結果の再現性を確認するため複数回打撃を行う。
計測プロセス	計測プロセス	<p>① 測定対象に対して打撃装置が垂直かつ測定対象の中央を打撃するよう注意しながら打撃を行う。 (明らかな打撃ミスや異常な波形が測定された場合は再度測定を行う。)</p> <p>② ハンマに内蔵された加速度計の信号をA/D変換。</p> <p>③ 信号を解析し、各種指標値の算出。</p> <p>④ 制御用PCに計測結果を出力</p> <p>⑤ 計測結果を人間が確認、異常の有無を判断</p> <p>【処理フロー】</p> 
	アウトプット	・打撃応答波形を時系列データとして出力。 ・各種指標値はテキストデータで出力。 ・データ出力形式はCSV。 ・モニタに表示された計測結果画面をキャプチャし、JPG形式で保存する事も可能。
耐久性	—	
動力	・動力源:電気式 ・電源供給方法:USBバスパワー(PCの内蔵バッテリーに依存)	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・PCの内蔵バッテリーに依存。 ・概ね6時間(外気温20℃)	
設置方法	・移動装置と一体的な構造	
外形寸法・重量(分離構造の場合)	—	

データ収集・通信装置	データ収集・記録機能	・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	・動力源:電気式 ・電源供給方法:PCの内蔵/バッテリーに依存
	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	・人が点検可能なスペース (打音検査が行える程度のスペース)	—
適用可能なトンネルの最大寸法	・人が点検可能な作業床を設置し近接できれば適用可能	—
障害物回避	・装置そのものがトンネル内付属物と干渉する事はない。	—



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	
	<p>標準試験方法(2021)                      実施年 2022年                      1. アンカーボルト定着部異常の検出                      アンカーボルト定着部の異常を模した二つの供試体(供試体A、供試体B)を対象に測定を実施。                      ・供試体A                      M18ボルト8本(正規施工2本、施工不良6本)、ナット有                      ・供試体B                      M18ボルト8本(正規施工2本、施工不良6本)、ナット無</p> <p>【試験結果】                      ・供試体A                      施工不良6本中4本検出                      ・供試体B                      施工不良6本中4本検出                      2. ボルトの緩み検出                      ジェットファンのベースプレート部を模した供試体を対象に測定を実施。                      ・M24ボルト4本のうち、測定対象となるボルト・ナットのトルク値を200N・m、100N・m、50N・mと変化させて測定を実施。                      ・ベースプレートに対する引張荷重の有無による違いの確認も行った。                      ・大ハンマによる軸方向の打撃および中ハンマによるナット側面の打撃により測定を実施。</p> <p>【試験結果】                      ・大ハンマによる軸方向の打撃                      トルク50N・mはテンションの有無を問わず判別が可能。                      テンションが導入されていない場合は、トルク100N・mと200N・mも判別が可能。                      ・中ハンマによるナット側面の打撃                      トルク50N・mはテンションの有無を問わず判別が可能。</p>		<p>・ボルト・ナットが極端に腐食しているような状態で正しい測定が難しいため、事前に処理を行う必要がある。                      ・保護キャップなどの保護材によりボルト・ナットが覆われていないこと。                      ・測定面とハンマの衝突時の打撃角度が±10度程度に収まるよう注意しながら打撃を行う。</p>
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	
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 ※	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	作業範囲	・手の届く範囲	—
	安全面への配慮	・ヘルメット、安全帯の着用	—
	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	・要(高所作業車を使用する場合)	—
	交通規制の範囲	・交通規制を行う場合は「片側車線」 ・交通規制を行わない場合は「不要」	—
	現地への運搬方法	・専用の収納ケースに収納し、人による運搬	—
	気温条件	・特になし。ただし、極端な低温環境下(-5℃以下)では、電子機器の保護が必要な場合がある。	—
	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	・すす汚れがある場合の作業の可否:可	—

## 5. 留意事項(その2)

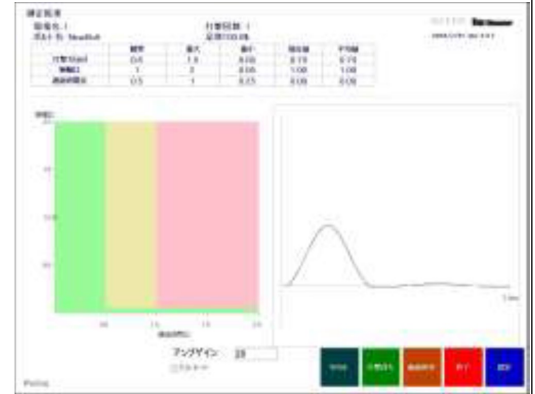
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	・特になし	—
必要構成人員数	点検員1人、点検補助員1人	—
操作に必要な資格等の有無	・特になし	—
操作場所	・作業ヤード: 否	—
計測費用	施工条件: トンネルジェットファン取付あと施工アンカーの調査 測定数量: あと施工アンカー260本 3回打撃/本 ※測定用足場、高所作業車、交通規制の費用は別途 外業: 109,800円 内業: 89,925円	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネル附属物の取り付けボルトやナットの点検補助、打音点検の代替
計測作業日数	計測作業日数: 1日	計測作業日数算定上の条件 ・片側交互通行が可能 ・高所作業車を使用 ・トンネル半径および延長は無制限 注: 作業日数は測定対象本数により異なる
保険の有無、保障範囲、費用	・加入済み、保証範囲: 対人・対物 保証金額: 1億円	—
時間帯(夜間作業の可否)	・特になし	—
計測時の走行速度条件	・特になし	—
渋滞時の計測可否	・特になし	—
作業条件・運用条件 車両から覆工表面までの距離条件	・特になし	—
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)	・打撃装置(190g、420g、1400g)、AD変換機(106 x 40 x 11mm)、PC(PCの製造元、型式による) ※収納ケース収納時(390mm x 130mm x 240mm、4kg)	—
自動制御の有無	・無	—
利用形態: リース等の入手性	・購入、レンタル	—
関係機関への手続きの必要性	・高所作業車等を使用する場合交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	—
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: 表計算ソフトによるデータ整理	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有(製造元あるいは販売店へ連絡)	—
センシングデバイスの点検	・1年に1回、装置の製造元(日東建設)による定期点検	—
その他	【特許状況】 ・装置価格に含まれる 【気象条件】 ・雨天作業時は装置が濡れないよう注意する 【作業条件】 ・トンネル上部の計測には高所作業車等が必要である。 【適用できない(適用できなかった)条件等】 ・障害物などにより十分な打撃力でハンマ打撃を行えない場合は計測が困難。	—

6. 図面

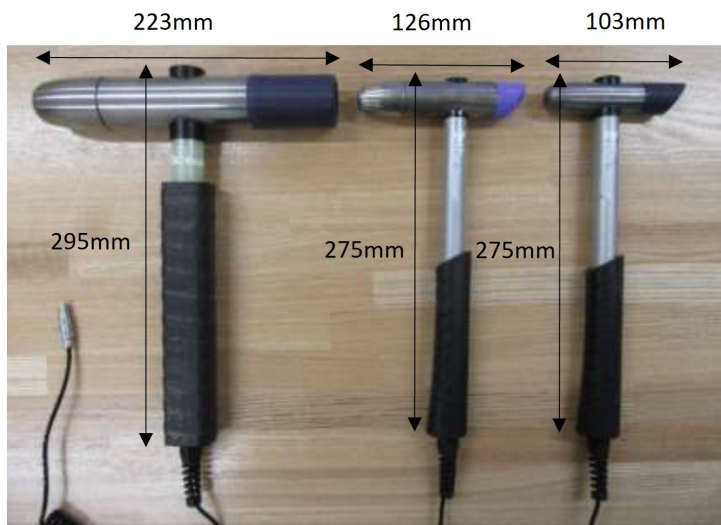
USBデバイス      タブレットPC (Windows OS)



打撃装置



測定画面



打撃装置 (左から1400g、420g、190g)



測定状況

# 1. 基本事項

技術番号	TN020016-V0225		
技術名	AI打音アプリ「ウェイヴ・プレーナー」(ウェーブレット解析)		
技術バージョン	1.1	作成:	2025年 1月
開発者	株式会社構研エンジニアリング/国立大学法人北海道大学		
連絡先等	TEL: 011-522-7379	E-mail:	<a href="https://www.koken-e.co.jp/contact/">https://www.koken-e.co.jp/contact/</a> (株) 構研エンジニアリング防災施設部
現有台数・基地	3台	基地	札幌市中央区

**技術概要**

【概要】  
 打音により得られた音響データに対してウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識させる。認識した画像の輪郭を比較し、構造物の欠陥箇所や欠陥状態を検出する技術である「構造物の検査方法」(特許第6429215号)を、スマートフォン、タブレットPC向けにアプリ化したものである。

【特徴】  
 ・覆工のうき・はく離を検出  
 ・スマートフォン、タブレットPC等の携帯型端末機器にアプリをインストール(必要に応じて外付け集音マイクを使用)  
 ・定期点検および重点監視などで利用

①打音・集音

②フーリエ変換

③ウェーブレット変換

④判定 (二値化画像)

教師画像リスト

健全

100mm

75mm

50mm

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 その他補修箇所
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離
	物理原理	音響
	検出項目	打音の周波数変化



データ収集・通信装置	設置方法	-(一体構造のため計測装置と同じ)
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-(一体構造のため計測装置と同じ)
	データ収集・記録機能	・計測デバイス内に保存
	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	・特になし(一体構造)
	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1m X 高さ1.5程度	・人が入れる大きさ
適用可能なトンネルの最大寸法	・特になし	—
障害物回避	・トンネル内附属物を回避	・附属物の隙間から打音できる場合を除く

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	・大型車の通行がないときに集音
	[1] 劣化、表面近くの空洞 ①うき・はく離(深さ)の計測精度(供試体A) ・検出率:100%、的中率78% ②うき・はく離の計測精度(Aトンネル) ・検出率:63%、的中率71% ③うき・はく離の計測精度(供試体B) ・検出率:94%、的中率68% ④うき・はく離の計測精度(供試体C) ・検出率:66(66)%, 的中率62(57)% ※空洞厚10mm、深さ100mmの場合、サイズ50mm×50mm以上程度であれば検出可能 ※④の(カッコ)は目地部を含む結果  [2] うき・はく離 ー $\text{検出率} = \frac{\text{正解個数のうち技術で検出できた個数}}{\text{打音異常の正解個数}}$ $\text{的中率} = \frac{\text{当該技術で検出した打音異常のうち正解個数}}{\text{技術で検出した個数(誤検出数含む)}}$		
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	
	ー		ー
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 ※	無	
	ー		ー

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

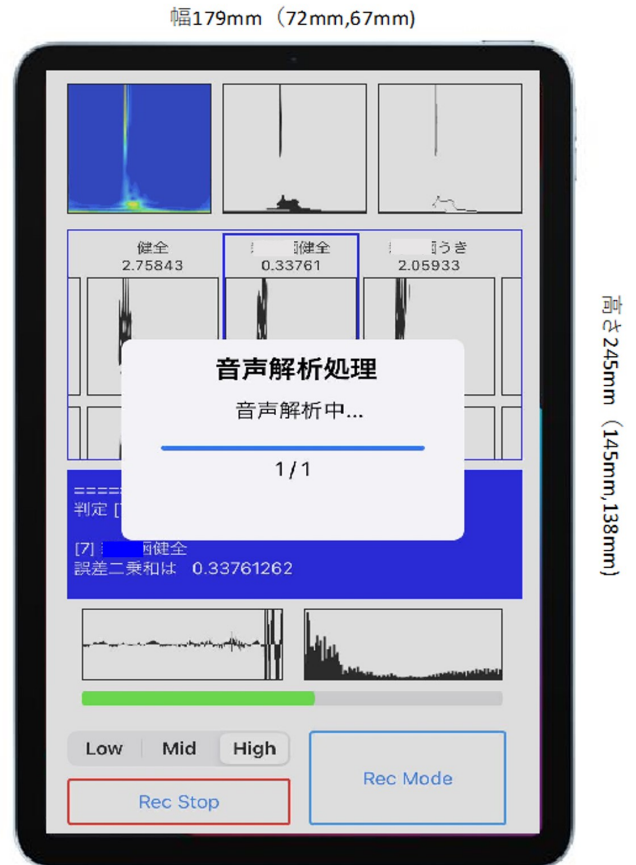
## 5. 留意事項(その1)

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	・基本不要	—
	交通規制の範囲	・基本不要	—
	現地への運搬方法	・人による運搬	—
	気温条件	・動作時環境温度:0~35℃ ・保管時(非動作時)温度:-20~45℃ ・相対湿度:5~95%(結露しないこと) ・動作高度:3,048mまでテスト済み	—
	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	・すす汚れがある場合は、検出精度が低下	—	

## 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	・特になし	—
必要構成人員数	点検員1人、点検補助員1人、合計2名	※高所作業車を用いる場合や片側交互通行規制を行う場合を除く
操作に必要な資格等の有無	・特になし	—
操作場所	・特になし	—
計測費用	<p>[トンネル条件] ・水平打継ぎ目片側打音検査A=150m2(幅30cm、延長500m)、高所作業不要箇所</p> <p>[費用①]延長500mのトンネル1本のみ計測の場合 ・従来の人点検による費用:500千円(外業:200千円/1日、内業:300千円/2日) ・新技術活用による費用:500千円(外業:300千円/1日、内業:200千円/1日) ・機械の輸送費 不要(連絡車で運送)。 [費用②]延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合 ・従来の人点検による費用:2,200千円(外業:1,000千円/5日、内業:1,200千円/8日) ・新技術活用による費用:1,600千円(外業:1,100千円/5日、内業:500千円/3日) ・機械の輸送費 不要。</p>	<p>[費用算定上の条件] ・新技術活用による費用は、従来点検との併用によって生じる、「人力による点検」部分には含めていない ・片側交互通行規制費用は、別途必要</p> <p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネル覆工面の判定補助</p>
計測作業日数	<p>[トンネル条件] ・水平打継ぎ目片側打音検査A=150m2(幅30cm、延長500m)、高所作業不要箇所</p> <p>[日数①]延長500mのトンネル1本のみ計測の場合 ・従来の人点検による日数:3日(外業:1日、内業:2日) ・新技術活用による日数:2日(外業:1日、内業:1日) [日数②]延長500mのトンネル10本を一括して計測する場合 ・従来の人点検による日数:13日(外業:5日、内業:8日) ・新技術活用による日数:8日(外業:5日、内業:3日)</p>	<p>[費用算定上の条件] ・新技術活用における、従来点検との併用によって生じる、「人力による点検」部分は、日数に含めていない ・片側交互通行規制費用は、別途必要</p>
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	—
計測時の走行速度条件	・特になし	—
渋滞時の計測可否	・特になし	—
車両から覆工表面までの距離条件	・特になし	—
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)	・特になし	—
自動制御の有無	・無	—
利用形態:リース等の入手性	・自社機材	・高所作業車を使用する場合は、別途リース等で入手
関係機関への手続きの必要性	・必要なし ・交通規制を行う場合は、トンネル管理者及び警察との協議を要する	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・特になし	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・特になし	—
センシングデバイスの点検	・特になし	—
その他	<p>【特許状況】 ・「構造物の検査方法」(特許第6429215号) 【気象条件】 ・トンネル坑口付近で使用する場合は、降雨時の計測は不可 【作業条件】 ・トンネル上部の計測には高所作業車等が必要 【適用できない(適用できなかった)条件等】 ・坑内騒音が著しい場合は、一時計測を見合わせる</p>	<p>・トンネル点検システム「ロードビューワ」(覆工撮影～調査作成)と組み合わせることで測定位置の管理が可能 ・判定結果は、異常の有無のほか計測値で表示されることから、経年変化や周囲との比較を定量的に評価可能</p>

6. 図面



※ 寸法：iPadAir4(iPhone12,iPhoneSE2)

1. 基本事項

技術番号	TN020017-V0225		
技術名	コンクリート打音診断システム		
技術バージョン	v 1.1.0 (rev:3)	作成:	2023年3月
開発者	株式会社アニモ (共同開発: 本四高速道路ブリッジエンジニア株式会社、都築電気株式会社)		
連絡先等	TEL: 045-663-8640	E-mail:	asuzuki@animo.co.jp skimura@animo.co.jp 鈴木、木村、田中
現有台数・基地	5台	基地	神奈川県横浜市中区尾上町2-27 大洋建設関内ビル 4F 株式会社アニモ

トンネル等のコンクリート構造物のコンクリートのうき、はく離、内部空洞などの変状を打音情報から自動検出するスマートフォンを使ったコンクリート打音診断システム

ハンマーパル システム概要

1) 利用イメージ



All Rights Reserved, © ANIMO LIMITED. CONFIDENTIAL.

技術区分	対象部位	その他覆工面
	損傷の種類	本体工におけるうきはく離
	物理原理	音響
	検出項目	打音の周波数変化

2. 基本諸元

スマートフォンとそれに無線接続された指向性マイクとスマートウォッチの構成。診断対象のコンクリートを標準打音検査ハンマーで連続槌打した打音情報を収録・分析して得られたスペクトル情報から、コンクリートのうき、はく離、内部空洞等のコンクリートの変状を自動検出し、その結果をスマートフォンの画面に表示するとともにスマートウォッチの振動として検査作業者に伝える。

ハンマーパル システム概要

1) 利用イメージ



All Rights Reserved, © ANIMO LIMITED. CONFIDENTIAL.

0

計測機器の構成	移動原理	—
	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)	—
移動装置	設置方法	—
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	a. 指向性マイク: 寸法 2.00 x 2.00 x 6.92 cm、重量 26.0 g b. マイク無線化システム: 寸法 4.53 x 1.85 x 4.30 cm、重量 63.8 g c. スマートホン: 寸法 14.80 x 7.10 x 9.40 cm、重量 160.0 g d. スマートウォッチ: 寸法 6.05 x 5.38 x 1.49 cm、重量 83.0 g
センシングデバイス	指向性マイク: Simorr社 3452	



コンクリート表面の点検対象部分において、点検用標準ハンマーで少しずつ位置を移動させながら槌打し、連続的に打音を発生させる。連続する打音を指向性マイクで収録し、スマートフォンでスペクトル分析を行う。コンクリート内部に変状がある場合には、連続する打音のスペクトルに変化が発生するため、その変化をスマートフォンのAI判定ロジックで捉える。従来の打音点検システムのように変状がない正常部分の基準データを登録する必要がなく作業効率が高下することがない。

## ハンマーパル 点検者端末の画面 (androidスマホ)

- ①作業場所設定
- ②録音開始
- ③録音/分析
- ④結果表示



All Rights Reserved, © ANIMO LIMITED. CONFIDENTIAL.

計測原理

計測装置

計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)

新たな制限条件はなく従来の打音点検作業に、そのまま適用できる。無線システムを使用しているためケーブル等による作業阻害は発生しない。

精度と信頼性に影響を及ぼす要因

特になし。

計測プロセス

<計測プロセス>

- a. スマートフォンの電源をいれ、アプリAWBPortableを立ち上げる。
- b. 点検場所の情報(ジョイント番号、車線、段)をプルダウンメニューから選択する。
- c. 録音を開始し打音点検作業(計測処理)を開始する。
- d. 異常があると画面に表示が出る、同時にスマートウォッチが振動する。
- e. 録音を停止すると全体の診断結果が表示される。
- f. b.に戻る。



アウトプット

判定結果をスマートフォン画面上に表示するとともに、日時情報・作業場所情報を含むファイル名のcsvファイルに出力。収録した音響データを日時情報・作業場所情報を含むファイル名のwavファイルに保存する。

耐久性

スマートフォン: 防水IPX5/IPX8, 防塵IP6X  
スマートウォッチ: 耐水圧50m

動力

マイク無線化システムの内蔵バッテリー(充電式)  
スマートフォン内蔵バッテリー(充電式) 4-151  
スマートウォッチ内蔵バッテリー(充電式)

	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	約5時間 (フル充電時間:約220分)
データ収集・通信装置	設置方法	スマートフォンに内蔵
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	スマートフォン:寸法 14.80 x 7.10 x 9.40 cm、重量 160.0 g
	データ収集・記録機能	スマートフォン内部メモリに保存
	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	スマートフォン内蔵バッテリー (連続使用: 約5時間、フル充電時間:約220分)
	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	—	—
適用可能なトンネルの最大寸法	—	—
障害物回避	—	—

## 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	
	標準試験方法(2020) 実施年 2022年 変状検出率:85%以上(右記供試体では100%検出) 「性能確認シート:有」		コンクリート供試体による精度検証実験の条件 供試体寸法:5,000mm x 1,000mm x 650mm 供試体の圧縮強度: 18Nおよび24Nの2種 供試体に埋め込んだ変状: ・空洞(12種)(100x100x50mm) 深さ(mm):15, 20, 25, 30, 40, 45, 50, 140, 150, 160, 250, 260 ・豆板(1種) ・クラック(1種)
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 ※		
	・点検量: 300m <sup>2</sup> /日 ・点検作業時間: 5時間/日		—
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」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	従来の打音検査作業と同じ	—
	安全面への配慮	従来の打音検査作業と同じ	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	従来の打音検査作業と同じ	—
	交通規制の範囲	従来の打音検査作業と同じ	—
	現地への運搬方法	従来の打音検査作業と同じ	—
	気温条件	従来の打音検査作業と同じ	—
	トンネル延長の制約	従来の打音検査作業と同じ	—
	車線数の制約	従来の打音検査作業と同じ	—
	断面形状の制約	従来の打音検査作業と同じ	—
	その他	従来の打音検査作業と同じ	—

## 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	1日間の操作講習	
必要構成人員数	本システムを操作する調査技術員1人	他に、現場責任者1人、補助員1人、点検者運転員1人、交通誘導員1人が必要 (合計5人)
操作に必要な資格等の有無	無し	
操作場所	従来の打音検査作業と同じ	トンネル内点検車のデッキの上
計測費用	概算費用: 点検費用:2名×3万円/日(調査技術員+補助員) 機器経費:5万円/日	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・打音点検時の変状位置の音響推定をAIで支援することにより点検員の判断を支援、また作業員のスキルに依存しない打音点検を支援
計測作業日数	点検量に依存(最低1日)	
保険の有無、保障範囲、費用	加入無し	
時間帯(夜間作業の可否)	従来の打音検査作業と同じ	
計測時の走行速度条件		
渋滞時の計測可否	従来の打音検査作業と同じ	
車両から覆工表面までの距離条件	従来の打音検査作業と同じ	
トンネル内照明の消灯の必要性	従来の打音検査作業と同じ	
可搬性(寸法・重量)	a.指向性マイク:寸法2.00x2.00x6.92cm、重量26.0 g b.マイク無線化システム:寸法4.53x1.85x4.30cm、重量63.8 g c.スマートフォン:寸法14.80x7.10x9.40cm、重量160.0 g d.スマートウォッチ:寸法6.05x5.38x1.49cm、重量83.0 g	
自動制御の有無		
利用形態:リース等の入手性	点検システムは購入あるいはレンタル	
関係機関への手続きの必要性	従来の打音検査作業と同じ	
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	解析処理はスマホに内蔵	
不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポートサービスあり	
センシングデバイスの点検	サポートサービスに定期点検を含む 不具合時に交換	
その他	—	—

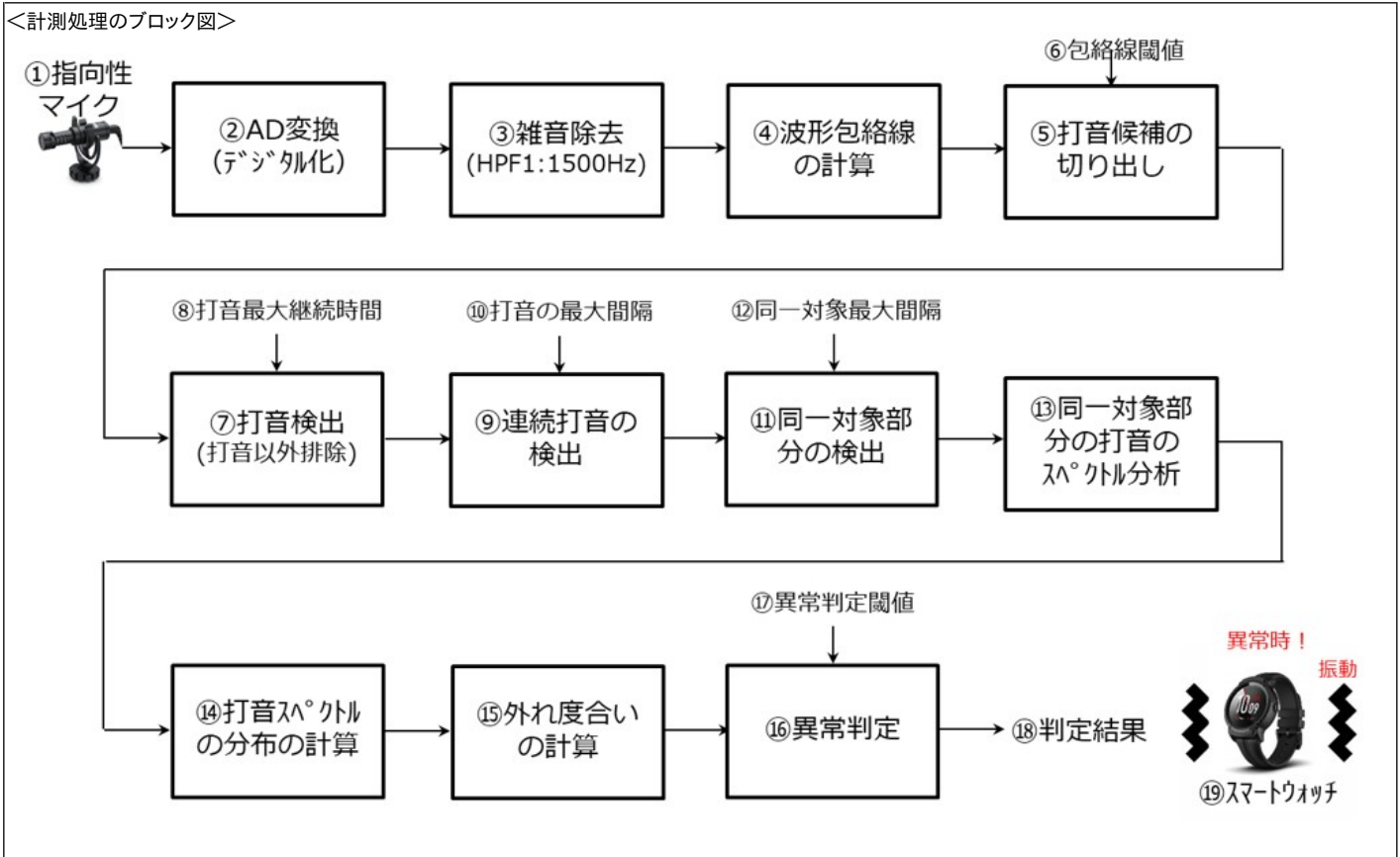
## 6. 図面

<システム全体の写真>





<計測処理のブロック図>



## 1. 基本事項

技術番号	TN020018-V0225		
技術名	デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム(背面空洞)		
技術バージョン	バージョン1	作成:	2023年3月
開発者	原子燃料工業株式会社		
連絡先等	TEL: 0724-52-7272	E-mail:	ryo-ogawa@nfi.co.jp h-fujiyoshi@nfi.co.jp mtm-ishii@nfi.co.jp エンジニアリングサービス部 小川、藤吉、石井
現有台数・基地	20台	基地	大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目950 原子燃料工業株式会社エンジニアリングサービス部
技術概要	<p>覆工コンクリートの背面空洞をデジタル打音検査を用いて以下の2通りのいずれかで検知する技術である。</p> <p>①地山側に空洞が存在している場合: 覆工コンクリートの片面を加振すると、厚みに対応する縦波共振の固有周波数 <math>F = C/2d</math> (F:固有周波数 d:厚み C:音速)が生じる。周波数分布に現れるこの縦振動のピーク形状は、背面空洞がある場合には、覆工のみが振動するためシャープになり、背面空洞がない場合には、地山に拘束されながら振動するためブロードになる。</p> <p>②巻厚不足により覆工背面側に空洞が存在している場合: 覆工コンクリートの片面を加振すると、厚みに対応する縦波共振の固有周波数 <math>F = C/2d</math> (F:固有周波数 d:厚み C:音速)が生じる。音速Cを適切に設定することで、測定した周波数から巻厚を評価する。</p>		
技術区分	対象部位	その他覆工面	
	損傷の種類	その他(覆工背面の空洞)	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		AEセンサと計測装置、波形処理用タブレットPCがケーブルによって接続された構造。打音点検用ハンマーで打音した振動情報を記録し、固有周波数のピーク形状を表示する。
移動装置	移動原理	-
	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"> <li>・人が計測装置を計測対象まで持ち運び、AEセンサを計測対象に押し当てて密着させる。</li> <li>・その際、計測装置、波形処理用タブレットPCは計測員、または、補助員が保持する。</li> </ul>	
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ寸法 (直径12φ×高さ40mm)、最大重量 (0.05kgf)</li> <li>・計測装置寸法 (長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量 (2.4kgf)</li> <li>・波形処理用タブレットPC寸法 (長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量 (0.8kgf)</li> </ul>	
センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ エヌエフ回路設計ブロック AE900S-WB</li> <li>・カメラ Panasonic FZ-M1 タブレットPC内蔵カメラ</li> </ul>	
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定部分において打音点検用ハンマーにより弾性波を発生させ、発生した弾性波をAE (Acoustic Emission: 音響) センサ表面の圧電素子で受信し、アンプ・フィルター・A/D変換器により振動波形として数値化する。</li> <li>・覆工コンクリートの背面空洞をデジタル打音検査を用いて以下の2通りのいずれかで検知する。</li> <li>①地山側に空洞が存在している場合: 覆工コンクリートの片面を加振すると、厚みに対応する縦波共振の固有周波数 <math>F = C/2d</math> (F:固有周波数 d:厚み C:音速) が生じる。周波数分布に現れるこの縦振動のピーク形状は、背面空洞がある場合には、覆工のみが振動するためシャープになり、背面空洞がない場合には、地山に拘束されながら振動するためブロードになる。なお、固有周波数ピークのシャープ/ブロードの「基準値」は、ピーク半値幅、面積等により判定する。「基準値」の設定方法は、現場において事前に背面空洞が存在しない健全な状態と判断した箇所の固有周波数ピークを利用する。</li> <li>②巻厚不足により覆工背面側に空洞が存在している場合: 覆工コンクリートの片面を加振すると、厚みに対応する縦波共振の固有周波数 <math>F = C/2d</math> (F:固有周波数 d:厚み C:音速) が生じる。音速Cを適切に設定することで、測定した周波数から巻厚を評価する。</li> </ul>	
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"> <li>・AEセンサを対象に密着させるため、必要に応じて計測部位にリフト車で近接する必要がある。</li> <li>・計測対象の前処理は不要で、AEセンサを押し当てて密着させる (AEセンサの前面を特殊加工しているため)。</li> <li>・計測部位から計測装置までケーブルを配線する必要がある (ケーブルは最長10m程度)。</li> </ul>	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサを計測対象に手で均一に押しあてる必要がある (適切な振動計測であったことを伝えるアラーム音と画面表示機能あり)。</li> <li>・背面空洞の有無を判定するための適切な基準値 (ピーク半値幅、面積等) の決定 (計測原理参照)。</li> </ul>	
計測装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>①計測前後で、校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。</li> <li>②測定箇所に測定者がAEセンサを当て、打音点検用ハンマーにより打撃し、弾性波を発生させる。</li> <li>③発生した弾性波はAEセンサにより取得され、自動的にA/D変換されたのち、周波数解析される。同時に、タブレットPCにより対象の外観を撮影する。撮影した画像データはデータ間の紐づけ後、タブレットPCに記録保存される。</li> <li>④測定位置で得られた共振周波数の測定結果が、あらかじめ設定した基準値から逸脱した場合、変状ありとして判断する。【現場簡易判定】。</li> <li>⑤必要に応じて、手動処理により人間によるエンジニアリングジャッジ(EJ)を行う 【事務所詳細判定】。</li> <li>・基本はコンピュータプログラム処理であり、異常値は人間が確認する。</li> <li>・面的な打音検査結果に基づき、共振周波数の分布や変化量に応じて変状の程度を評価する。</li> </ul>	
計測プロセス	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">手動処理</div> <div style="text-align: center;">自動処理</div> <div style="text-align: center;">手動処理</div> </div> <pre> graph LR     subgraph Manual1 [手動処理]         A[測定部位を打音検査]     end     subgraph Auto1 [自動処理]         B[AE計測]         C[画像撮影]         D[A/D変換]         E[数値処理 周波数解析他]         F[位置記録 変状記録]         G[データ間の紐付け後、装置内に記録保存 (周波数および位置情報他)]     end     subgraph Manual2 [手動処理]         H["【詳細判定】 人間によるEJ"]     end     A --&gt; B     A --&gt; C     B --&gt; D     D --&gt; E     C --&gt; F     E --&gt; I[異常値判定]     I --&gt; J["タブレットPC表示 【簡易判定】"]     F --&gt; G     I --&gt; H     G --&gt; H     </pre>	

	アウトプット	<p>【現場計測時】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動計測で得られる振動波形、振動波形を周波数解析して得られる周波数分布および共振周波数をタブレットPC上に表示。</li> <li>・現場の測定で得られる共振周波数のピーク形状と、現場において背面空洞がないと判断した個所の共振周波数のピーク形状とを比較する。</li> </ul> <p>【現場計測後】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現場の測定結果とあらかじめ設定した基準値とを比較した結果。</li> <li>・振動波形のデジタルデータ(出力形式はcsv形式)</li> <li>・計測対象に紐づけされた撮影画像、並びに、手書きメモのデジタルデータ(出力形式はjpg形式)</li> </ul>
	耐久性	<p>タブレットPCは、IP65準拠。</p> <p>計測装置は、箱はIP65以上の部品を使用。</p> <p>※防塵・防滴性能は、各部品の無破損・無故障を保証するものではありません。</p> <p>※部品単位での防塵・防滴性能を持つものを利用していますが、本製品としての防塵・防滴試験は実施していません。</p>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー</li> <li>・計測装置内蔵バッテリー</li> </ul>
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・波形処理用タブレットPCバッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。</li> <li>・計測装置内蔵バッテリー(駆動時間:約55時間、充電時間:約5時間)。</li> </ul> <p>※バッテリー駆動時間は、動作環境・液晶の輝度・システム設定により変動。</p>
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)	タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)
	データ収集・記録機能	タブレットPC内部に保存。
	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	波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。
	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	-	-
適用可能なトンネルの最大寸法	-	-
障害物回避	-	-

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	左記の計測精度の前提となる条件を記載する。 ・400mm×400mm×100 mmの覆工コンクリート模擬供試体を用いて以下の3条件の試験結果。 ①供試体をそのまま地面に設置した場合 ②供試体をくぼみを設けた地面に設置した場合 ③供試体を盤木上に設置し、地面から浮かせた場合 ..... ※1 実トンネルにおける測定実績から算出。 ※2 検出したい背面空洞の広さ(範囲)に応じて50cm程度の格子状に測定する。 ※3 最小評価巻厚:20cm 左記の計測精度の前提となる条件を記載する。 ・高所作業車上で測定 ・健全巻厚を含む巻厚不足箇所を等間隔で測定。 ・測定面に塗装有り ・背面空洞模擬として、2500mm長さにかけて設計巻厚400mmから最小巻厚200mmまで次第に薄くなる構造。 ・支保工箇所は評価対象外。 ・覆工コンクリートの縦波音速を4000m/sと仮定して、AE測定で得られた縦波共振周波数から巻厚を算出した。
	【社内試験】背面空洞模擬供試体 同一のコンクリート厚(巻厚)の背面における空洞の有無を縦波共振の固有振動ピーク形状(半値幅)により検知可能 ..... 【性能値※1】 ①地山側に空洞が存在している場合: ・計測可能な背面空洞深さの理論値 :背面空洞の有無を評価(背面空洞の深さは評価不可) ・計測可能な計測範囲の理論値(※2) :50cm(測定点から半径25cm)背面空洞を検出できる範囲 ・鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) :上記と同様。 ②巻厚不足により覆工背面側に空洞が存在している場合: ・計測可能な背面空洞深さの理論値 :設計巻厚-最小評価巻厚(※3) ・計測可能な計測範囲の理論値(※2) :50cm(測定点から半径25cm)背面空洞を検出できる範囲 ・鉄筋コンクリート覆工の背面空洞の計測値(実績) :上記と同様。 標準試験方法(2022) 実施年 2022年 【標準試験】:巻厚不足模擬トンネル 評価巻厚は健全巻厚部(設計巻厚400mm)で概ね400mm、最小巻厚箇所(設計巻厚200mm)で概ね200mm以下となり、背面空洞模擬としての巻厚不足(最小巻厚200mm)を検出可能。		
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	・高所作業車上
・平均点検量:100m <sup>2</sup> /日(500mm格子間隔) ・平均作業時間:5時間/日			
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」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)

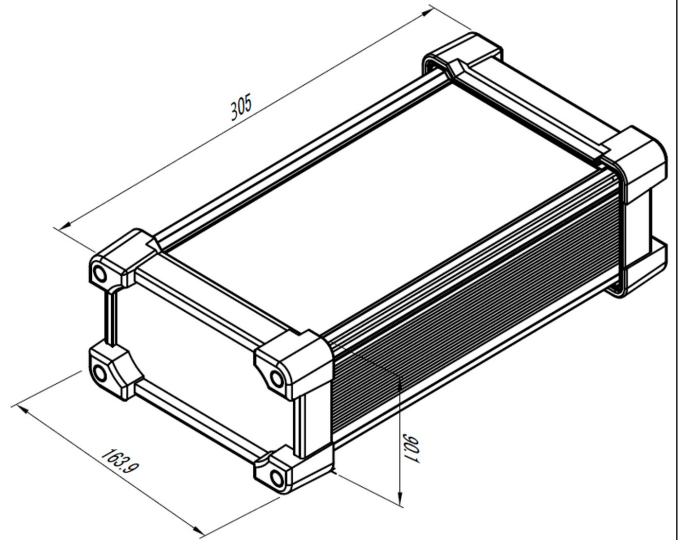
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	作業範囲	通常の打音検査と同等	-
	安全面への配慮	通常の打音検査と同等	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	必要	-
	交通規制の範囲	通常の打音検査と同等	-
	現地への運搬方法	通常の打音検査と同等	-
	気温条件	通常の打音検査と同等	-
	トンネル延長の制約	通常の打音検査と同等	-
	車線数の制約	通常の打音検査と同等	-
	断面形状の制約	通常の打音検査と同等	-
	その他	汚れ、すす等がある場合の作業の可否:可	-



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	半日程度の当社社内資格認定講習	-
必要構成人員数	現場責任者1人、計測員1人、補助員1人 車両運転員1人、交通誘導員1人、合計5名	-
操作に必要な資格等の有無	半日程度の当社社内資格認定講習	-
操作場所	通常の打音検査と同等	-
計測費用	[費用] 背面空洞が疑われる箇所:100m2 【外業】新技術活用による費用:2名×3万円×1日=6万円 (弊社トレーニング、OJT後、2名の点検員により実施) 機器経費:1.5万円×1日=1.5万円 【内業】測定データ解析、報告書作成費用:64万円 ※計測点数による [費用算定の条件] ・高所作業車費用、交通規制費用は別 ・トレーニング(半日)費用、OJT(1日)費用は別	・高所作業車利用 ・定期点検作業(近接目視、打音検査、たたき落とし、付属物の触診等)の費用は含まない。 【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・電磁波レーダが適用不可能な箇所における背面空洞の評価 ・外観写真と打音点検結果を統合したデジタル検査記録の作成 ・デジタル検査記録を用いた経年管理と劣化予測
計測作業日数	背面空洞が疑われる箇所:100m2 【外業】作業日数:1日 【内業】データ解析、報告書作成日数:5日 ※計測点数による	高所作業車利用
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)	通常打音検査と同等(夜間作業も可) 時間的制約なし	-
計測時の走行速度条件	通常打音検査と同等	-
渋滞時の計測可否	通常打音検査と同等	-
作業条件・運用条件 車両から覆工表面までの距離条件	通常打音検査と同等(高所用治具の使用可能)	-
トンネル内照明の消灯の必要性	通常打音検査と同等	-
可搬性(寸法・重量)	・計測装置寸法(長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量(2.4kgf) ・タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)	-
自動制御の有無	波形処理用タブレットPCは、適切な振動計測可否かを画面表示およびアラーム音で知らせる機能あり。 例:“O”、“信号弱”、“信号強”、アラーム音	-
利用形態:リース等の入手性	・調査委託業務の請負い可能。 ・計測装置は購入品あるいはレンタル。(レンタル先:原子燃料工業株式会社、TEL:0724-52-7221)	-
関係機関への手続きの必要性	通常打音検査と同等	-
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・現場簡易解析:波形処理用タブレットPCに標準装備 ・詳細解析:担当者による検査データ解析サービスあり	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり。 条件:年間サポート契約	-
センシングデバイスの点検	校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。基準値を満たさない場合は、センサ交換、デジタルオシロスコープの交換で対応。	-
その他	【特許状況】 ・特許第6371409号 部材の状態評価方法 【気象条件】 トンネル内であれば気象条件の制限なし。 【作業条件】 ・高所作業車が必要 ・事前のトレーニング(半日程度)が必要 【適用できない(適用できなかった)条件等】 特になし。	-

## 6. 図面



タブレットPC寸法

長さ203mm×幅132mm×高さ18mm



## 1. 基本事項

技術番号	TN020019-V0225		
技術名	デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム(ひび割れ深さ)		
技術バージョン	バージョン1	作成:	2023年03月
開発者	原子燃料工業株式会社		
連絡先等	TEL: 0724-52-2727	E-mail:	ryo-ogawa@nfi.co.jp h-fujiyoshi@nfi.co.jp mtm-ishii@nfi.co.jp エンジニアリングサービス部 小川、藤吉、石井
現有台数・基地	20台	基地	大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目950 原子燃料工業株式会社エンジニアリングサービス部
技術概要	<p>覆工コンクリートのひび割れの深さをデジタル打音検査を用いて以下の2通りのいずれかで検知する技術である。</p> <p>①ひび割れが生じたコンクリート表面を面的に打音検査し、厚みに対応する縦波共振の固有周波数 <math>F = C/2d</math> (F:固有周波数 d:厚み C:音速) の面的な分布における低音量や低下範囲からひび割れ深さを推定する方法。ひび割れ深さの増大に伴い、ひび割れ周辺の周波数が低下する傾向となる。</p> <p>②測定対象とするひび割れと直行する直線状で、ひび割れ開口部から等距離ではさむような形になるよう、AEセンサを2箇所設置し、片方のAEセンサ近傍を打音点検用ハンマで打撃する。2つのセンサの信号取得時間差<math>\Delta T</math>、ひび割れ開口部からセンサまでの位置L、コンクリート中の弾性波伝播速度Vとし、ひび割れ深さ<math>d = \sqrt{((V\Delta T)^2 - L^2)}</math>を算出する。</p>		
技術区分	対象部位	その他覆工面	
	損傷の種類	その他(覆工コンクリートのひび割れ)	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		AEセンサと計測装置、波形処理用タブレットPCがケーブルによって接続された構造。打音点検用ハンマーで打音した振動情報を記録する。
移動装置	移動原理	-
	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"> <li>・人が計測装置を計測対象まで持ち運び、AEセンサを計測対象に押し当てて密着させる。</li> <li>・その際、計測装置、波形処理用タブレットPCは計測員、または、補助員が保持する。</li> </ul>	
外形寸法・重量 (分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ寸法 (直径12φ×高さ40mm)、最大重量 (0.05kgf)</li> <li>・計測装置寸法 (長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量 (2.4kgf)</li> <li>・波形処理用タブレットPC寸法 (長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量 (0.8kgf)</li> </ul>	
センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサ エヌエフ回路設計ブロック AE900S-WB</li> <li>・カメラ Panasonic FZ-M1 タブレットPC内蔵カメラ</li> </ul>	
計測原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定部分において打音点検用ハンマーにより弾性波を発生させ、発生した弾性波をAE (Acoustic Emission: 音響) センサ表面の圧電素子で受信し、アンプ・フィルタ・A/D変換器により振動波形として数値化する。</li> <li>・覆工コンクリートのひび割れの深さは以下の2通りのいずれかで検知する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>①ひび割れが生じたコンクリート表面を面的に打音検査し、厚みに対応する縦波共振の固有周波数 <math>F = C/2d</math> (<math>F</math>: 固有周波数 <math>d</math>: 厚み <math>C</math>: 音速) の低下量や低下範囲からひび割れ深さを推定する方法。ひび割れ深さの増大に伴い、上記の周波数は低下する傾向となる。</li> <li>②測定対象とするひび割れと直行する直線状で、ひび割れ開口部から等距離ではさむような形になるよう、AEセンサを2箇所設置し、片方のAEセンサ近傍をハンマーで打撃する。2つのセンサの信号取得時間差 <math>\Delta T</math>、ひび割れ開口部からセンサまでの位置 <math>L</math>、コンクリート中の弾性波伝播速度 <math>V</math> とし、ひび割れ深さ <math>d = \sqrt{(V\Delta T)^2 - L^2}</math> を算出する。</li> </ul> </li> </ul>	
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"> <li>・AEセンサを対象に密着させるため、必要に応じて計測部位にリフト車で近接する必要がある。</li> <li>・計測対象の前処理は不要で、AEセンサを押し当てて密着させる (AEセンサの前面を特殊加工しているため)。</li> <li>・計測部位から計測装置までケーブルを配線する必要がある (ケーブルは最長10m程度)。</li> </ul>	
精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AEセンサを計測対象に手で均一に押しあてる必要がある (適切な振動計測であったことを伝えるアラーム音と画面表示機能あり)。</li> <li>・現場コンクリートの弾性波速度の設定</li> </ul>	
計測装置	計測プロセス	<p>①計測前後で、校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。</p> <p>②測定箇所に測定者がAEセンサを当て、打音点検用ハンマーにより打撃し、弾性波を発生させる。</p> <p>③発生した弾性波はAEセンサにより取得され、自動的にA/D変換されたのち、周波数解析される。同時に、タブレットPCにより対象の外観を撮影する。撮影した画像データはデータ間の紐づけ後、タブレットPCに記録保存される。</p> <p>④測定位置で得られた固有周波数の測定結果が、あらかじめ設定した基準値から逸脱した場合、変状ありとして判断する。【現場簡易判定】。</p> <p>⑤必要に応じて、手動処理により人間によるエンジニアリングジャッジ (EJ) を行う【事務所における詳細判定】。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本はコンピュータプログラム処理であり、異常値は人間が確認する。</li> <li>・面的な打音検査結果に基づき、固有周波数の分布や変化量に応じて変状の程度を評価する。</li> </ul>
	計測プロセス	
アウトプット	<p>【現場計測時】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・振動計測で得られる振動波形、振動波形を周波数解析して得られる周波数分布および固有周波数をタブレットPC上に表示。</li> <li>・2つのセンサを接続可能なタイプの装置の場合、それぞれのセンサが振動が検知された時刻及び時刻差を表示。</li> </ul> <p>【現場計測後】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現場の測定結果とあらかじめ設定した基準値とを比較した結果。</li> <li>・振動波形のデジタルデータ (出力形式はcsv形式)</li> <li>・計測対象に紐づけられた撮影画像、並びに、手書きメモのデジタルデータ (出力形式はjpg形式)</li> </ul>	

	耐久性	タブレットPCは、IP65準拠。 計測装置は、箱はIP65以上の部品を使用。 ※防塵・防滴性能は、各部品の無破損・無故障を保証するものではありません。 ※部品単位での防塵・防滴性能を持つものを利用していますが、本製品としての防塵・防滴試験は実施していません。
	動力	・波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー ・計測装置内蔵バッテリー
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・波形処理用タブレットPCバッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。 ・計測装置内蔵バッテリー(駆動時間:約55時間、充電時間:約5時間)。 ※バッテリー駆動時間は、動作環境・液晶の輝度・システム設定により変動。
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)	タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)
	データ収集・記録機能	タブレットPC内部に保存。
	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	波形処理用タブレットPCの内蔵バッテリー(駆動時間:約20時間、充電時間:約4.5時間)。
	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	-	-
適用可能なトンネルの最大寸法	-	-
障害物回避	-	-

### 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	
	【社内試験】 表面に開口部を有するひび割れに対して、その周辺も含めて複数箇所を振動測定し、それぞれの位置にて固有周波数を取得。その固有周波数の低下量や低下範囲から、ひび割れ深さや角度を評価可能 【標準試験】 ひび割れ深さ100 mmで幅の異なるひび割れについての検証結果を以下に示す。 ひび割れNo.1 (幅0.5mm) 評価深さ76 mm ひび割れNo.1 (幅1.0mm) 評価深さ85 mm ひび割れNo.1 (幅2.0mm) 評価深さ94 mm		左記の計測精度の前提となる条件を記載する。 ・単一のひび割れが生じている状態 左記の計測精度の前提となる条件を記載する。 ・単一のひび割れが生じている状態 ・ひび割れ表面長さがひび割れ深さと比較して長い場合 ・ひび割れが深さがコンクリートの厚み未満(ひび割れが貫通していない状態)の場合
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	
	・平均点検量:30箇所/日 ・平均作業時間:5時間/日		・高所作業車上
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」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。



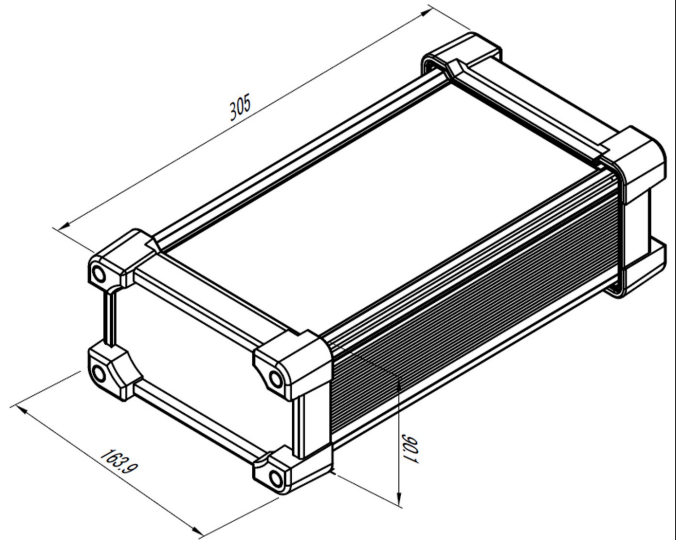
## 5. 留意事項(その1)

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	通常の打音検査と同等	-
	安全面への配慮	通常の打音検査と同等	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	必要	-
	交通規制の範囲	通常の打音検査と同等	-
	現地への運搬方法	通常の打音検査と同等	-
	気温条件	通常の打音検査と同等	-
	トンネル延長の制約	通常の打音検査と同等	-
	車線数の制約	通常の打音検査と同等	-
	断面形状の制約	通常の打音検査と同等	-
	その他	汚れ、すす等がある場合の作業の可否: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	半日程度の当社社内資格認定講習	-
必要構成人員数	現場責任者1人、計測員1人、補助員1人 車両運転員1人、交通誘導員1人、合計5名	-
操作に必要な資格等の有無	半日程度の当社社内資格認定講習	-
操作場所	通常の打音検査と同等	-
計測費用	<p>【費用】</p> <p>ひび割れ評価箇所数:30箇所</p> <p>【外業】新技術活用による費用:2名×3万円×1日=6万円 (弊社トレーニング、OJT後、2名の点検員により実施)</p> <p>機器経費:1.5万円×1日=1.5万円</p> <p>【内業】測定データ解析、報告書作成費用:64万円 ※計測点数による</p> <p>【費用算定の条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高所作業車費用、交通規制費用は別</li> <li>・トレーニング(半日)費用、OJT(1日)費用は別</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高所作業車利用</li> <li>・定期点検作業(近接目視、打音検査、たたき落とし、付属物の触診等)の費用は含まない。</li> </ul> <p>【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れの健全性診断の判断支援</li> <li>・外観写真と打音点検結果を統合したデジタル検査記録の作成</li> <li>・デジタル検査記録を用いた経年管理と劣化予測</li> </ul>
計測作業日数	ひび割れ評価箇所数:30箇所 【外業】作業日数:1日 【内業】データ解析、報告書作成日数:5日 ※計測点数による	高所作業車利用
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)	通常打音検査と同等(夜間作業も可) 時間的制約なし	-
計測時の走行速度条件	通常打音検査と同等	-
渋滞時の計測可否	通常打音検査と同等	-
作業条件・運用条件 車両から覆工表面までの距離条件	通常打音検査と同等(高所用治具の使用可能)	-
トンネル内照明の消灯の必要性	通常打音検査と同等	-
可搬性(寸法・重量)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測装置寸法(長さ300mm×幅150mm×高さ75mm)、最大重量(2.4kgf)</li> <li>・タブレットPC寸法(長さ203mm×幅132mm×高さ18mm)、最大重量(0.8kgf)</li> </ul>	-
自動制御の有無	波形処理用タブレットPCは、適切な振動計測可否かを画面表示およびアラーム音で知らせる機能あり。 例:“O”、“信号弱”、“信号強”、アラーム音	-
利用形態:リース等の入手性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査委託業務の請負い可能。</li> <li>・計測装置は購入品あるいはレンタル。(レンタル先:原子燃料工業株式会社、TEL:0724-52-7221)</li> </ul>	-
関係機関への手続きの必要性	通常打音検査と同等	-
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場簡易解析:波形処理用タブレットPCに標準装備</li> <li>・詳細解析:担当者による検査データ解析サービスあり</li> </ul>	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート制あり。 条件:年間サポート契約	-
センシングデバイスの点検	校正用ステンレス棒における計測結果が基準値内であることを確認する。基準値を満たさない場合は、センサ交換、デジタルオシロスコープの交換で対応。	-
その他	<p>【特許状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特許第6371409号 部材の状態評価方法</li> </ul> <p>【気象条件】</p> <p>トンネル内であれば気象条件の制限なし。</p> <p>【作業条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高所作業車が必要</li> <li>・事前のトレーニング(半日程度)が必要</li> </ul> <p>【適用できない(適用できなかった)条件等】</p> <p>特になし。</p>	-

## 6. 図面



タブレットPC寸法

長さ203mm×幅132mm×高さ18mm

## 1. 基本事項

技術番号	TN020020-V0124		
技術名	マルチチャンネルレーダによるトンネル覆工背面の空洞・支保工探査システム		
技術バージョン	IDS Stream T	作成:	2023年3月
開発者	エフティーエス株式会社/IDS Geo Radare		
連絡先等	TEL: 03-6206-2220	E-mail: yotsu@fts-ltd.jp	担当部署・四塚
現有台数・基地	1台	基地	栃木県那須塩原市高林字下川原林701-8(高林産業団地内)
技術概要	<p>・当該技術の特徴 マルチチャンネルレーダを搭載した車載型トンネル覆工探査システム。2種類のアンテナ構成により、1回のスキャンで表層部と深層部の探査を同時に行う事ができ覆工変状等を画像で捉えることができ、目視・打音では困難な覆工背面状況を可視化させることができる。</p> <p>また、トンネル覆工面に接触させることが必要ないので電線等の突起物の障害物を無視することができ効率が良い探査ができる。専用車両一体型では、探査幅960mmで最大速度60kmにて探査が可能であり、データ解析では、縦断面図,横断面図,トモグラフィ図,3D図の表示ができトンネル背面からの変状箇所を簡単に抽出することができる。</p> <p>抽出結果をCAD図に反映させ変状箇所をマーキングすることで毎年監視することができる。</p>		
技術区分	対象部位	覆工天端 その他覆工面	
	損傷の種類		
	物理原理	電磁波	
	検出項目	電磁波の反射強度	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		本計測器は、電磁波を送受信するアンテナ部とデータを処理し保存する演算部で構成された計測装置。・背面空洞探査用レーダが一体化された計測システム。・専用車両にレーダ装置を搭載しトンネル横断方向に移動可能な計測システム。
移動装置	移動原理	1)専用車両一体型／非接触型・トンネル覆工面に対してレーダ装置が垂直になるように設置し、覆工面との一定距離(最大20cm)を保持した状態で移動(時速最大60km)しながらデータ取得する。
	外形寸法・重量	専用車両一体型最大外形寸法(長さ4690mm×幅1695mm×高さ3950mm~5950mm)最大重量(3650kg)中型車(レーダ装置搭載時)
	搭載可能容量(分離構造の場合)	-
	動力	専用車両一体型 ・専用車両の動力を使用する。 ・動力源は、内燃式。 ・容量は、3.0L ・アンテナ供給電源は、仮設電源DC12v
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	・5時間(外気温20℃の場合)
計測装置	設置方法	専用車両一体型 ・移動装置と一体的な構造。 ・計測装置については、交換可能な構造である。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	・アンテナ部(計測装置):最大外形(700×1120×385mm/35kg)
	センシングデバイス	【専用車両一体型】／【非接触型】 ・トンネル覆工面に対してレーダ装置が垂直になるように設置し、覆工面との一定距離(最大20cm)を保持した状態で移動(時速最大60km)しながらデータ取得する。 ・マルチチャンネルシステムは、17chのアンテナが装備されており、アンテナから得られる情報を解析し表示させる。1回当たりの計測幅960mm/計測長さ620mm
	計測原理	・電磁波レーダ法による非破壊検査。 ・専用車両に距離計を設置し、移動距離が正しいことをメジャ等で確認し動作確認をする。 ・計測装置(レーダ装置)は、移動量に応じてPC上に記録される。
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	・計測装置(レーダ装置)をトンネル壁面に垂直になるように一定距離を保ち移動させることでデータを取得するため、トンネル壁面に計測装置(レーダ装置)を走行させるスペースがない場合計測不可。 ・電磁波レーダ法は、導電体の背面の計測不可。
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・覆工背面空洞の位置精度を検出する場合、コンクリートの状態により比誘電率を設定する必要がある。 ・コンクリート壁面に結露、漏水がある場合、検査性能が低下する。 ・覆工壁面と計測装置(レーダ装置)の距離が離れ過ぎの場合、検査精度が低下する。
	計測プロセス	
	アウトプット	・JPG画像 ・線画マーキング箇所をDXFファイルに出力
	耐久性	・IP65
	動力	【専用車両一体型レーダ装置】 ・動力源:内燃機 ・電源供給方法:外部バッテリーDC12v
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	【専用車両一体型レーダ装置】 ・計測部連続使用:約5時間	
データ収集・通信装置	設置方法	【専用車両一体型】 ・専用車両と一体構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	一体型のため対象外
	データ収集・記録機能	【専用車両一体型】 ・計測中は、PCハードディスクに自動保存
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	【専用車両一体型】 ・100BASE-T規格 ・転送する場合、USB等に保存

セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
動力	【専用車両一体型】 ・電源供給:内部バッテリー/15vおよび外部バッテリー/12v
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	【専用車両一体型】 ・最小断面:道幅2500mm/高さ3000mm程度必要。	・車両通行可能であること。
適用可能なトンネルの最大寸法	【専用車両一体型】 ・トンネル壁面との距離が1000mm以下かつ天端6000mm以下。	・覆工面と計測装置の距離が遠くなるほど性能低下。
障害物回避	【専用車両一体型】 ・オペレータ操作により、計測装置(レーダ装置)を制御し、トンネル内付属物(ジェットファン、照明灯具、看板等)の回避をする。	・回避した覆工背面の測定不可。



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】 ・計測可能な背面空洞深さ (周波数900MHZ)1000mm(周波数200MHZ)2000mm 【標準試験】 標準試験方法 2020年 実施年 2022年 [1]覆工内部のうき・空洞探査 模擬トンネルの模擬うきテストピース面の空洞(ジャンカ(劣化)を含む)を検出した。 [2]覆工内部有筋部のうき・空洞探査 模擬トンネルの鉄筋部空洞の検出 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ20×20mm検出可 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ10×10mm検出可 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ5×5mm検出不可 [3]覆工内部無筋部の支保工位置・空洞の検出 模擬トンネルの無筋部空洞の検出 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ50×50mm検出可 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ30×30mm検出可 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ20×20mm検出可 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ10×10mm検出可 ・かぶり30mm空洞厚10mm、サイズ5×5mm検出不可 ・支保工の位置確認可 [4]覆工コンクリートの巻厚不足 ・模擬トンネルの巻厚不足:厚400mm~200mm検出可 [5]かぶり10~50mm変化/空洞厚30mm検出可 [6]かぶり50mm/空洞厚30mm検出可		
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 ※	有	
	【性能値】 ・最大計測速度:60km/h (専用車両一体型/探査幅960mm搭載) 【標準試験】 標準試験方法 2020年 実施年 2022年 ・計測速度:10km/h		
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】 ・計測方向 2mm 【標準試験】 標準試験方法 2020年 実施年 2022年 ・計測方向平均誤差:19mm		

※「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	【専用車両一体型】 SLラインから天端まで	-
	安全面への配慮	【専用車両一体型】 特になし	-
	無線等使用における混線等対策	【専用車両一体型】 特になし	-
	交通規制の要否	【専用車両一体型】 不要	-
	交通規制の範囲	【専用車両一体型】 不要	-
	現地への運搬方法	【専用車両一体型】 車両に搭載し運搬	-
	気温条件	【専用車両一体型】 特になし	-
	トンネル延長の制約	【専用車両一体型】 特になし	-
	車線数の制約	【専用車両一体型】 特になし	-
	断面形状の制約	【専用車両一体型】 ・道路幅2000mm以上、高さ2000mm以上必要 ・矩形断面では、コーナ部計測の精度が著しく低下する ・非常駐車帯等により断面寸法の変化がある区画では側壁に車両を寄せることが必要になる	-
	その他	【汚れ、すす等がある場合の作業の可否】 ・汚れ等がある場合の計測の可否:計測可能 ・漏水箇所、結露箇所:計測精度低下	-

## 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	特になし	-
必要構成人員数	【専用車両一体型】 ・車両運転者1名、システムオペレータ1名、装置オペレータ1名、 合計3名。	-
操作に必要な資格等の有無	特になし	-
操作場所	【専用車両一体型】 ・車両内で操作するが、トンネル覆工背面測定箇所をターゲット に計測部を移動させる作業が必要になる。	-
計測費用	1) 覆工背面空洞探査 トンネル条件 ・2車線断面、歩道なし/補修無し ・計測範囲:トンネル天頂部3m範囲 (計測幅960mm/1回×3側線) 『新技術活用による費用』 参考:条件1)トンネル1本のみ ・延長1000m以下のトンネル1本 ・1側線:120万(外業作業) ・結果報告書:50万(内業作業) 条件2)トンネル10本連続計測の場合 ・延長1000m以下のトンネル10本 ・10側線:100万(外業作業) ・結果報告書:50万(内業作業) [費用算定上の条件] ・現地1日(8h)を想定 ・旅費交通費、移動経費は別途計上 ・解析は、空洞分布(有無および位置)までとする ・トンネル間の移動時間は含まない	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・接触レーダシステムおよび打音検査の代替システム
計測作業日数	1) 覆工背面空洞探査 トンネル条件 ・2車線断面、歩道なし/補修無し ・計測範囲:トンネル天頂部3m範囲 (計測幅960mm/1回×3側線) 『作業日数』 参考:条件1)トンネル1本のみ ・延長1000mm以下のトンネル1本 ・1側線:1日 ・結果報告書:最短3日 条件2)トンネル10本連続計測 ・延長1000mm以下のトンネル10本 ・10側線:10日 ・結果報告書:最短20日 [計測作業日数定上の条件] ・計測範囲内に障害物がなく円滑に計測できること ・トンネル間の移動時間は含まない	-
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/時間制約なし	-
計測時の走行速度条件	車両一体型レーダ ・60km/h	-
渋滞時の計測可否	特になし	-
車両から覆工表面までの距離条件	特になし	-
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)	特になし	-
自動制御の有無	無	-
利用形態:リース等の入手性	すべて自社機材	-
関係機関への手続きの必要性	・交通規制は、必要としないが、トンネル管理者との協議を要する。	-
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:専任者による解析作業 2-4-181	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	装置の故障時の対応:自社設備にて整備	-

	センシングデバイスの点検	・レーダ装置については、自社基準による点検が必要。 年1回	-
	その他	【特許状況】無し 【気象条件】特になし 【作業条件】 ・計測部設置する一時待機場所が必要である。 【適用できない(適用できなかった)条件等】 ・導電体が施工されている箇所 ・覆工面に漏水、結露がある場合、精度が低下する	-

6. 図面

レーダ装置

4690

1695

1965

2000~

1950

90°

専用車両一体型

IDS GeoRadar Stream-T トンネル背面探査レーダー  
最高品質と生産性が融合された非接触型アレイアンテナ

トンネルライニングの厚さ測定、支保エマッピング  
空洞の検出、湧水領域の位置検出

新商品 NEW


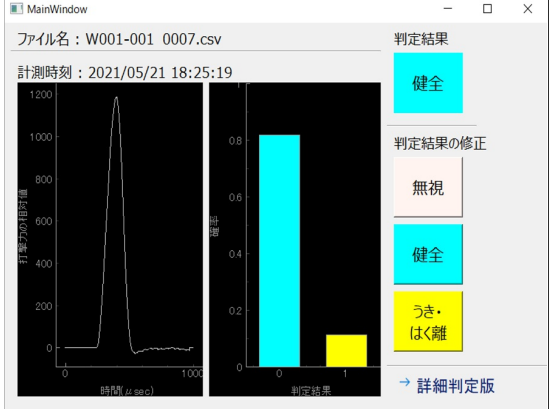
特長

- 最大60Km/sで探査が可能
- 高密度アレイアンテナにより詳細データの取得が可能
- 異なる2つの周波数により表層部と深層部を一度に探査

fIS エフティーエス株式会社

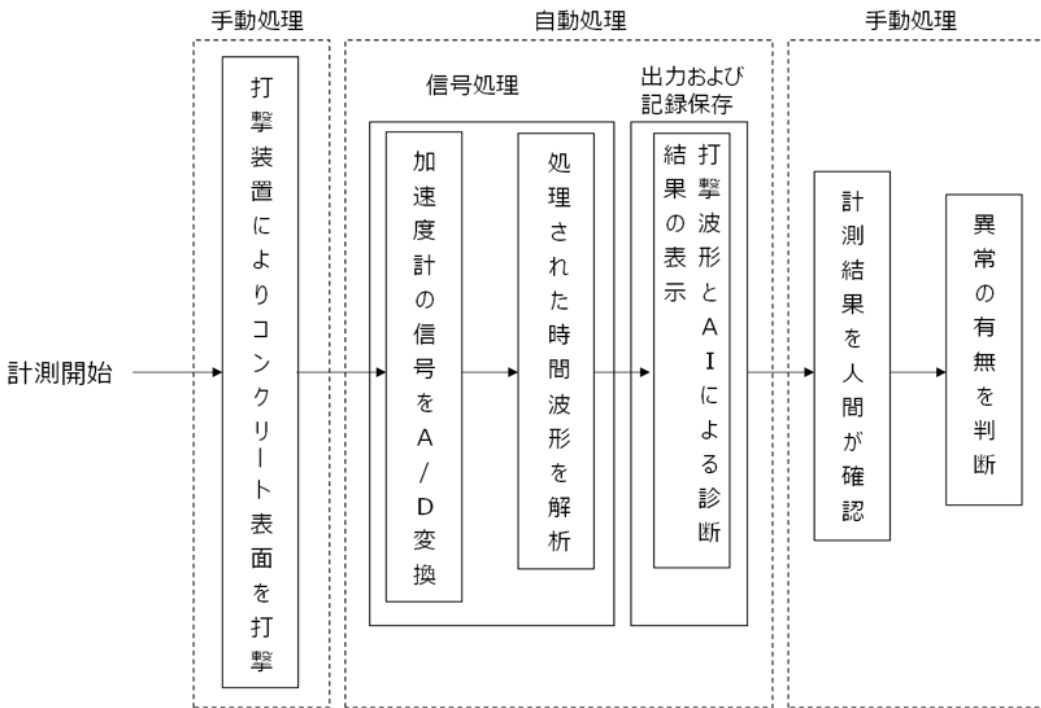
# 1. 基本事項

技術番号	TN020021-V0023		
技術名	AIを用いた打音検査解析によるコンクリートの診断システム		
技術バージョン	ver.1.0	作成:	2023年3月
開発者	応用地質株式会社/株式会社アイティエス		
連絡先等	TEL: 048-652-4956	E-mail: oyo-mainte-tn2021@oyonet.oyo.co.jp	技術部/事業企画部
現有台数・基地	4台	基地	埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5

技術概要	<p>道路トンネルなどインフラ構造物における、コンクリートの状態把握に伴う打音検査について、打音ハンマーの打撃波形をAIによって解析し、コンクリートの状態を自動判定する技術である。</p> <p>打音ハンマー(CTS)で打撃を行い、打撃力の波形をグラフ化と「健全」「劣化」「うき・はく離」で判定し、本体ディスプレイ上に、リアルタイムで表示する。また、打撃力の波形をAIにて分析し、トンネルの覆工コンクリートにおける状態を自動的に判定するシステムである。</p> <p>なお、CTSとは、加速度計を内蔵したハンマーであり、コンクリートを打撃した際の打撃応答波形を測定・解析することで、コンクリートの圧縮強度や、表面近傍(表面から50mm程度まで)のうき・はく離および表面の劣化度合い(塑性化等)を非破壊で検知可能なコンクリート用の計測器である。</p>
	 

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 内装板 坑門
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離 劣化 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み
	物理原理	
	検出項目	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> <li>本計測器は、打撃装置、AD変換機、およびデータの解析・表示・保存を行う記録装置(コンピュータ)が一体構造で構成された計測器である。</li> <li>データ収録はパソコン(タブレット)で行う。</li> </ul>
移動装置	移動原理	【人力】 ・打音検査と同様に、覆工表面など測定対象に近接してハンマーによる打撃を行う。
	外形寸法・重量	・一体構造：測定装置(108 x 169 x 42mm)、打撃装置(380g)、USBデバイス(106×40×11mm)、パソコン(タブレット)
	搭載可能容量(分離構造の場合)	—
	動力	—(データ収録用パソコンによる)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	—(データ収録用パソコンによる)
設置方法		・移動装置と一体的な構造
外形寸法・重量(分離構造の場合)		—
センシングデバイス		打撃装置 日東建設社製【接触タイプ】 記録装置 自社開発
計測原理		<ul style="list-style-type: none"> <li>打音ハンマー(CTS)は打撃装置による打撃から得られた打撃応答波形より、機械インピーダンス値を算出し圧縮強度の推定を行う。計測された打撃応答波形は、波形が最大値に至る前半部分(貫入過程)と後半部分(反発過程)に分けることができる。貫入過程では、コンクリート表面の塑性変形の影響を強く受けるが、反発過程では、コンクリートの弾性変形の復元によってハンマーが反発するため、塑性変形の影響を受けづらい。本計測器で用いるハンマーは、コンクリート表面の塑性変形の影響を避けるため、反発過程の機械インピーダンス値を用いて圧縮強度を推定する。</li> <li>また、貫入過程と反発過程の機械インピーダンスの比から表面の劣化度合いを、波形のローカルピーク数から骨材はく離の状況などを推定できる。</li> <li>この打音ハンマー(CTS)で得た打撃応答波形をAIで解析することで、「健全」「劣化」「うき・はく離」を判定する。</li> </ul>
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"> <li>測定対象を打音ハンマーで直接打撃する必要があるため、計測部位に近接する必要がある。</li> <li>コンクリート表面に大きな凹凸があると正しく計測できない可能性がある。</li> <li>打撃装置がコンクリート表面に対して垂直になるよう注意しながら打撃を行う。</li> <li>極端な低温環境下(-5℃以下)では、電子機器の保護が必要な場合がある。</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		コンクリートはバラつきの多い材料であり、同一測定点で複数回の測定を行い平均値を求め評価を行う。
計測装置	計測プロセス	<ol style="list-style-type: none"> <li>①コンクリート表面に対して打撃装置が垂直になるよう打撃を実施 (明らかな打撃ミスや異常な波形が測定された場合は再度測定を行う。)</li> <li>②ディスプレイ上に打撃波形とAI診断結果(「健全」「劣化」「うき・はく離」)を表示</li> <li>③計測結果を人間が確認、異常の有無を判断</li> </ol> 
アウトプット		<ul style="list-style-type: none"> <li>打撃応答波形を時系列データとして出力する。</li> <li>各種指標値をテキストデータで出力する。</li> <li>データ出力形式はCSVである。 2-4-185</li> </ul>
耐久性		—



	動力	動力源:電気式 電源供給方法:データ収録用パソコン(USBバスパワー)
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	専用機型:データ収録用パソコンの性能による
データ収録・通信装置	設置方法	・移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	データ収録用パソコンに保存する。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	通信方法:有線(USBケーブル)
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	データ収録用パソコンによる
	動力	CTSとデータ収録用パソコンをUSBケーブルで接続し、データ通信および動力を確保する。
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	データ収録用パソコンによる

### 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	・人が点検可能なスペース (打音検査が行える程度のスペース)	—
適用可能なトンネルの最大寸法	・人が近接できれば適用可能	—
障害物回避	・人が計測時に回避する	—

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
計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート表面に大きな凹凸があると正しく計測できない可能性がある。</li> <li>・測定対象をハンマーで直接打撃する必要があり、表面被覆等の処理が施されている場合、被覆厚や材料によっては測定ができない。</li> <li>・測定面とハンマーの衝突時の打撃角度が±10度程度に収まるよう注意しながら打撃を行う。</li> </ul>
	<p>【性能値】 未検証 【標準試験値】 標準試験方法 2022年 実施年 2022年 表面近傍(深さ10mm~50mm)に空洞を模したコンクリート供試体計14体を対象に測定を実施。 ※本実験の計測対象箇所が目地部は含まない。</p> <p>検出率=0.525 的中率=0.836</p> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{検出率} = \frac{\text{当該技術で検出した空洞箇所数}}{\text{供試体内の空洞箇所数}}</math> </p> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{的中率} = \frac{\text{当該技術で検出した空洞箇所数}}{\text{当該技術により検出した空洞箇所数}}</math> </p>		
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	—
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 ※	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	作業範囲	・人が近接できれば適用可能	—
	安全面への配慮	・ヘルメット、安全帯を着用すること	—
	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	・要(高所作業車を使用する場合)	—
	交通規制の範囲	・交通規制を行う場合は「片側車線」 ・交通規制を行わない場合は「不要」	—
	現地への運搬方法	・専用の収納ケースに収納し、人により運搬	—
	気温条件	・特になし。ただし、極端な低温環境下(-5℃以下)では、電子機器の保護が必要な場合がある	—
	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	・コンクリート厚さ100mm以上	—
	その他	・すす汚れがある場合の作業の可否: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	特になし。	—
必要構成人員数	点検員1人	—
操作に必要な資格等の有無	特になし。	—
操作場所	作業ヤード:否	—
計測費用	測定数量:3300点 ※測定用足場、高所作業車、交通規制の費用は別途 外業:100,000円(コンクリート表面処理、測点マーキング含む)	【費用算出において想定している活用方法(ユースケース)】 ・トンネル覆工面の打音点検の判定補助
計測作業日数	計測作業日数:1日	計測作業日数算定上の条件 ・片側交互通行規制が可能である事 ・測定範囲は地上から2m程度の高さまで(手を伸ばして届く範囲)。それ以上の高さの場合は高所作業車を使用する。 ・トンネル半径および延長は無制限 注:作業日数は測定点数により異なる
保険の有無、保障範囲、費用	作業現場ごとに対応	—
時間帯(夜間作業の可否)	特になし。	—
計測時の走行速度条件	特になし。	—
渋滞時の計測可否	特になし。	—
車両から覆工表面までの距離条件	特になし。	—
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)	測定装置(108mm x 69mm x 42mm)、打撃装置(380g)、パソコン(タブレット) ※収納ケース収納時(400mm x 120mm x 270mm、4kg(パソコン除く))	—
自動制御の有無	無	—
利用形態:リース等の入手性	・購入、計測委託	—
関係機関への手続きの必要性	高所作業車等を使用する場合、交通規制を必要とするため、トンネル管理者および警察との協議を要する。	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	解析ソフト、計測時に使用	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	・有(製造元あるいは販売店へ連絡)	—
センシングデバイスの点検	1年に1回あるいは50,000打撃に1回、製造メーカーによる定期点検	—
その他	【特許状況】 ・装置価格に含まれる 【気象条件】 雨天作業時は装置が濡れないよう注意する 【作業条件】 トンネル上部の計測には高所作業車等が必要である 【適用できない(適用できなかった)条件等】 障害物などにより十分な打撃力でハンマー打撃を行えない場合は計測が困難である	—

作業条件・運用条件

6. 図面



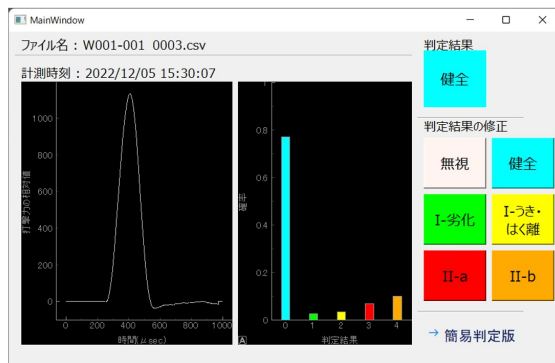
測定状況-1



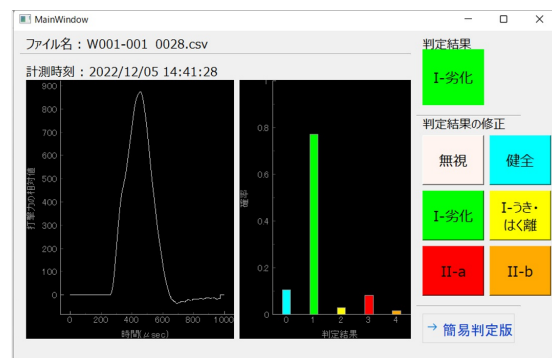
測定状況-2

— 打撃波形のAI判定結果 —

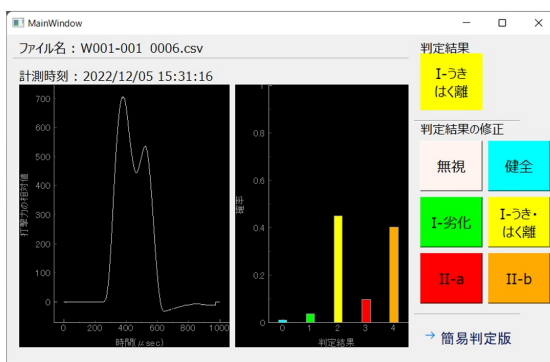
「健全」評価の表示例



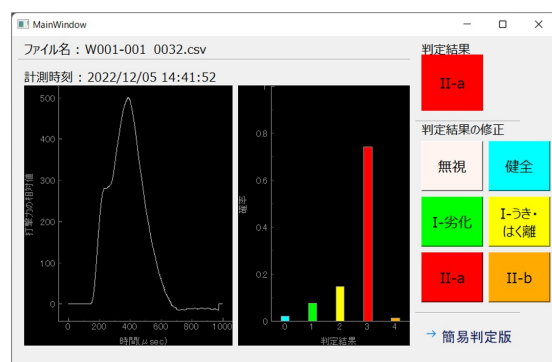
「劣化」評価の表示例



「I-うき・はく離」評価の表示例



「II-a」評価の表示例

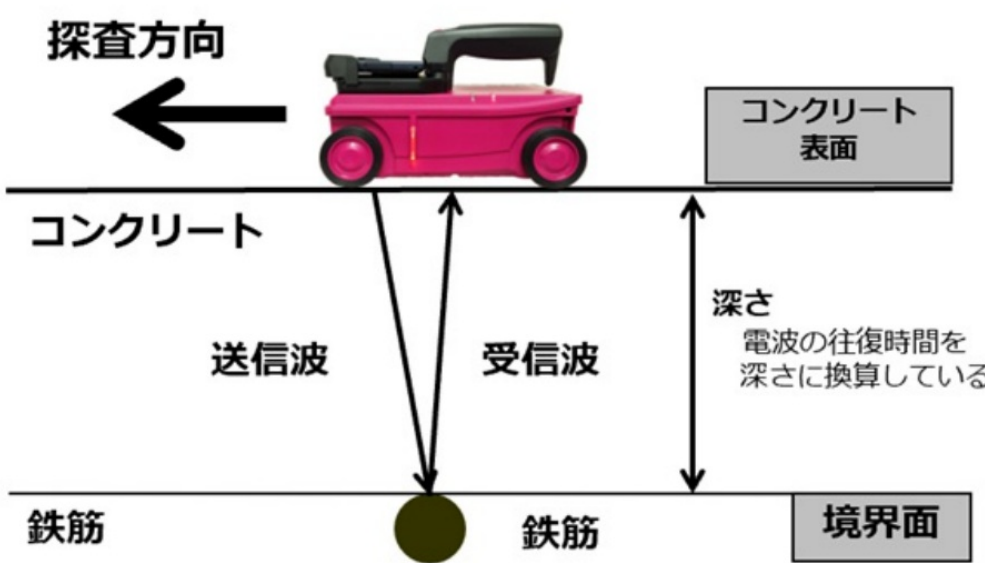
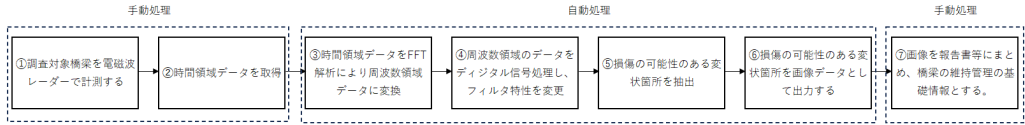


## 1. 基本事項

技術番号	TN020022-V0024		
技術名	電磁波レーダー(iRadar ADSPIRE01)を用いた覆工探査支援技術		
技術バージョン	Ver.1	作成:	2024年3月
開発者	株式会社計測技術サービス		
連絡先等	TEL: 06-6940-6640	E-mail: fujii@kgs-inc.co.jp	藤井 善幸
現有台数・基地	6台	基地	東京:東京都文京区後楽 大阪:大阪府大阪市西区土佐堀
技術概要	<p>iRadar(電磁波レーダー)を用いて、トンネル部のうき・はく離、覆工の厚さ、背面空洞を検出する技術である。探査面に対して電磁波を発信し、受信信号との相関を取ることでフィルタ定数を決定し、その定数を用いてデジタル信号処理を行う。</p> <p>このデジタル信号処理により、低ノイズ、高分解を実現。目視・打音では認識困難な変状を個人の能力に関係なく、デジタルデータとして表示、保存することができる。</p> <p>測定データにデジタル信号処理でフィルタ特性を変更することで、これまで見えにくかった空洞等からの反射信号を強調する。これまでのデジタル信号処理はデータを持ち帰り、大型の計算機で処理を行う必要があったが、アルゴリズムの改善により、装置に搭載されているスマホで処理が可能となり、リアルタイム・オンサイトで結果が出せるようになった。</p> <p>受信信号は振幅の時間変化のデータとなっているが、この時間領域のデータをFFT解析することで周波数領域に変換し、周波数領域でフィルタ特性を変更し、通常では判定が困難である空洞等からの反射信号を明確化することが可能となった。</p>		
技術区分	対象部位	覆工天端 その他覆工面	
	損傷の種類	本体内におけるうき はく離 劣化 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み	
	物理原理	電磁波	
	検出項目	電磁波の反射強度	



2. 基本諸元

計測機器の構成		iRadar ADSPIRE01 (アイレーダー アドスパイア・ゼロワン)
移動装置	移動原理	【人力】
	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		移動装置と一体的な構造 (コントローラー端末は分離も可能)
外形寸法・重量 (分離構造の場合)		-
センシングデバイス		レーダー部: JRCモビリティ社製 NJJ-200K (NETIS:KT-150040-VE) を用いる。 コントローラー部: スマートフォン、タブレット
計測原理		<p>当該技術のセンシングデバイスは、図2に示すように電磁波を放射し、反射波を受信する。対象がコンクリートの場合、電気的性質の異なる、鉄筋、空洞などからの反射波を受信し、その反射時間から深さ方向の距離を推定する。水平方向については、タイヤに組み込まれた距離検出機構により、水平位置を求める。</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)		<p>本技術の適用にあたって、一般的に次のような場合、測定が不可能となる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート内部に電磁波が透過する必要があるため、表面が金属で覆われている場合</li> <li>・同じ理由で、コンクリート中に炭素繊維等の導電体が多く混入している場合</li> <li>・雨濡れ等で表面の電磁気的特性が極端に異なる場合</li> </ul>
精度と信頼性に影響を及ぼす要因		<p>1) 機器精度に関する留意点</p> <p>調査にあたり使用機器の校正と使用前点検を以下の通り行う</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・性能を確保するため、校正は、装置メーカーにて、年1回、実施する</li> <li>・使用前点検として、標準試験体または、同等品にて、鉄筋位置の検出が規定誤差内に入っていることを確認する</li> </ul>
計測プロセス		
アウトプット		変状の可能性のある箇所を画像データにより示す (保存は専用のファイル形式、出力はjpg形式)
耐久性		防滴、防塵加工されている (IP54)
動力		電源給電方法: バッテリー
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)		約7時間
設置方法		移動装置と一体的な構造 (コントローラー端末は分離も可能)
外形寸法・重量 (分離構造の場合)		2-4-193 149*207*74.5 (mm) 980g

データ収集・通信装置	データ収集・記録機能	・データはコントローラー端末(スマートフォンもしくはタブレット)のストレージに保存 ・現地でのデータ確認は、コントローラー端末もしくは端末を接続したパソコンで行う。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	アンテナ部とコントローラー端末は、Wi-Fiを用いたPeer to Peerで接続され、データはコントローラー端末のストレージに保存される。
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	SSIDを用いて接続先を固定している。
	動力	電源給電方法:バッテリー
	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	・特に制限なし	・作業者がアクセス可能な範囲 ※ただしハンディータイプの為、高所の場合は高所作業車が必要となる。
適用可能なトンネルの最大寸法	・特に制限なし	・作業者がアクセス可能な範囲 ※ただしハンディータイプの為、高所の場合は高所作業車が必要となる。
障害物回避	-	-

## 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】 標準試験方法(2022) 実施年(2024) ①覆工巻厚 ②背面内部の浮き ※空洞天端を鉄板とした模擬空洞		-
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 ※	-	-
	-		-

※「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	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	・要	高所作業車を使用する場合
	交通規制の範囲	・片側車線(1車線)	-
	現地への運搬方法	ハンディータイプの為、専用ケース等に入れて運搬	-
	気温条件	0~50℃	-
	トンネル延長の制約	-	-
	車線数の制約	-	-
	断面形状の制約	-	-
	その他	-	-

## 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	-	-
必要構成人員数	操作1人(高所作業車使用の場合は別途、オペレーター1名) -	-
操作に必要な資格等の有無	-	-
操作場所	探査対象箇所にて作業	-
計測費用	参考:条件1)トンネル内探査(覆工部探査50㎡)の場合 ・探査40万(外業作業) ・結果報告書:10万(内業作業)	・現地1日(8h)を想定 ・旅費交通費、移動経費は別途計上 ・報告書は、うき・空洞分布(有無および位置)
計測作業日数	上記と同様	上記と同様
保険の有無、保障範囲、費用	動産保険に加入	-
時間帯(夜間作業の可否)	可	-
計測時の走行速度条件	-	-
渋滞時の計測可否	-	-
車両から覆工表面までの距離条件	-	-
トンネル内照明の消灯の必要性	-	-
可搬性(寸法・重量)	-	-
自動制御の有無	-	-
利用形態:リース等の入手性	購入, レンタル, 業務委託	-
関係機関への手続きの必要性	・高所作業の場合は交通規制を必要とするため、トンネル管理者及び警察との協議を要する。	-
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	有り(計測費用を参照)	-
不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり	-
センシングデバイスの点検	定期点検:年1回の校正	-
その他	-	-

## 6. 図面



**ADSPIRE 01**  
アドスパイア・ゼロワン





## 1. 基本事項

技術番号	TN020023-V0024		
技術名	AI技術を用いた打音検査器(PDC-200A)		
技術バージョン	Ver1	作成:	2024年3月
開発者	株式会社九検 株式会社ポート電子		
連絡先等	TEL: 0952-30-8221	E-mail: nishit@kk-kyuken.jp kogam@kk-kyuken.jp	技術開発 西敏臣 古賀美智 恵
現有台数・基地	1台	基地	佐賀県佐賀市鍋島町八戸溝166-35
技術概要	AI打音検査器(PDC-200A)は人力型による打撃音を付属のマイクで集音、デジタルデータ化したものをFFT変換した後、AIを用いた判定手法でうき・剥離の有無を器械が判断するものである。 打撃後0.3秒で判定することができ、専用アプリケーションをインストールしたタブレットによる波形表示を見ることができる。 また、小型で軽量の装置であり現場作業の負担が少なく打音検査を実施することができる。		
技術区分	対象部位	覆工天端 その他覆工面 坑門	
	損傷の種類	本体工におけるうき はく離	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		器機本体と本体に接続したマイクにより構成される。所定のハンマーにより検査箇所表面を打撃する。 また、専用アプリケーションをインストールしたタブレットによりデータ保存と音圧、周波数波形表示を行う。
移動装置	移動原理	—
	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	・人が計測装置を検査箇所まで持ち運ぶ
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	本体(134×76×35mm) 付属マイク(φ10×L101mm) ハンマー(打診棒・鋼球φ24mm) 本体重量 300g 付属タブレット(専用アプリケーション使用・WindowsOS)(270.0×190.0×19.8mm) タブレット重量 1230g
	センシングデバイス	集音マイク
	計測原理	ハンマーによる打撃音を専用マイクで集音し、時刻歴データとして記録する。記録された時刻歴データをFFT解析し、周波数毎の音圧を記録する。あらかじめ正常な箇所にて取得した教師データとのユークリッド距離を算出し、閾値を超えなければOK(正常)、閾値を超えたものをNG(異常)と判断し、パイロットランプを点灯させる。
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	人の手が入ることができる空間が必要 使用環境の気温は0度以上50度以下 降雨時、降雪時など器材が水に濡れる環境では使用不可
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	健全部より教師データを適切に取得する。 判定を行う閾値を適切に設定する必要がある。
	計測プロセス	1.健全な箇所にて教師データを取得する(10点程度)。 2.検査箇所をハンマーで打撃する。打撃音は専用マイクで集音されA/D変換され時刻歴データとして本体内に保存される。 3.時刻歴データは即座にFFT解析され、周波数帯毎の音圧を算出する。 4.周波数帯毎の音圧と教師データとのユークリッド距離を算出する。 5.測定と最も近い位置と2番目に近い位置にある教師データを選出し、それぞれのユークリッド距離の比を閾値として保存する。 6.スコア値が閾値を超えたら異常値としてNGランプを点灯させ、閾値以内であれば正常値としてOKランプを点灯させる。 7.自動採番した位置データとスコア値を本体内に保存する。 8.保存されたデータから成果品を作成する(csvファイルの作成、カラーマップの作成) — —
	アウトプット	現場計測時 パイロットランプにてうき・剥離の位置を指定する。 タブレットにてFFTのスペクトル波形を表示する。 現場計測後 測定点毎のスコア値を一覧表示(csvファイル、色分けしたマップ図) FFTデータの一覧表示(csvファイル、波形表示)
	耐久性	タブレットはIP65準拠 計測装置には防水、防塵性能はない。
	動力	計測装置内蔵バッテリー タブレット内蔵バッテリー
連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	計測装置内蔵バッテリー(連続駆動時間 4時間、充電時間 3時間) タブレット内蔵バッテリー(連続駆動時間 12時間 充電時間 4時間)	
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	—
	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	—	—
適用可能なトンネルの最大寸法	—	—
障害物回避	—	—

## 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】標準試験方法(2020) 実施年(2024) ・空洞厚0.1mm 深さ30mmの場合:サイズ200mm×200mm以上であれば検出可能 ・空洞厚10mm 深さ50mmの場合:サイズ150mm×150mm以上であれば検出可能 *計測対象に目地部は含まない *全空洞に対する検出率:77%、的中率 92%		・検査位置の試験体表面が平滑であること ・環境騒音は小さいほうが望ましい
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 ※	-	
	-		-

※「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)

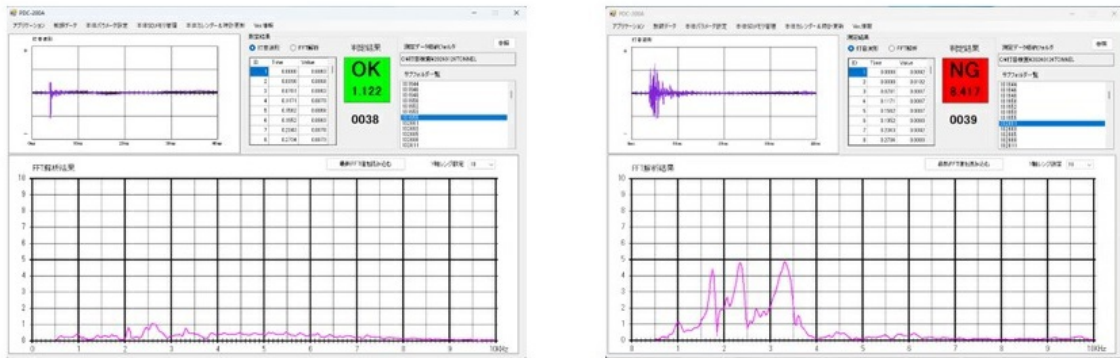
項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	作業範囲	通常打音点検と同様	—
	安全面への配慮	通常打音点検と同様	—
	無線等使用における混線等対策	不要	—
	交通規制の要否	通常打音点検と同様	—
	交通規制の範囲	通常打音点検と同様	—
	現地への運搬方法	通常打音点検と同様	—
	気温条件	使用環境の気温は0度以上50度以下。	—
	トンネル延長の制約	通常打音点検と同様	—
	車線数の制約	通常打音点検と同様	—
	断面形状の制約	通常打音点検と同様	—
	その他	—	—

## 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	30分程度の講習が必要	—
必要構成人員数	現場責任者1名 測定者1名 補助者1名 計3名	—
操作に必要な資格等の有無	—	—
操作場所	通常打音点検と同様	—
計測費用	【測定条件】 足場、高所作業車等を必要としない箇所 【測定範囲】 覆工コンクリート 300㎡ <費用> ・ 現場調査費用 110,000円 ・ 装置費用 30,000円 合計 140,000円	—
計測作業日数	1日当たりの作業量 300㎡	—
保険の有無、保障範囲、費用	保険加入はしていない	—
時間帯(夜間作業の可否)	通常打音点検と同様	—
計測時の走行速度条件	通常打音点検と同様	—
渋滞時の計測可否	通常打音点検と同様	—
車両から覆工表面までの距離条件	通常打音点検と同様	—
トンネル内照明の消灯の必要性	通常打音点検と同様	—
可搬性(寸法・重量)	本体(134×76×35mm) 付属マイク(φ10×L101mm) ハンマー(打診棒・鋼球φ24mm)本体重量 300g 付属タブレット(専用アプリケーション使用・WindowsOS) (270.0×190.0×19.8mm)タブレット重量 1230g	—
自動制御の有無	無し	—
利用形態:リース等の入手性	計測装置は購入品	—
関係機関への手続きの必要性	無し	—
解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	無し	—
不具合時のサポート体制の有無及び条件	購入後1年は保証期間としてサポート対応	—
センシングデバイスの点検	1年毎の定期点検を実施(有料)	—
その他	—	—

6. 図面

専用アプリケーションの波形表示





## 1. 基本事項

技術番号	TN020024-V0024		
技術名	こんこん ～連続打音検査装置～		
技術バージョン	-	作成:	2024年3月
開発者	首都高技術(株)		
連絡先等	TEL: 03-3578-5757	E-mail: info@shutoko-eng.jp	技術営業課 得能 智昭
現有台数・基地	8台	基地	東京都港区虎ノ門3-10-11 虎ノ門PFビル
技術概要	本技術は、ソレノイドコイルで往復する打撃部を設けた装置を長手ポールの先端に設置し、コンクリート面に押し当てることで打撃音を発生させ、重心周波数と音圧比を解析することで内部のうきの有無を判定する打音検査技術である。		
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 天井板 はく落防止対策工	
	損傷の種類	本体工におけるうき	
	物理原理	音響	
	検出項目	打音の周波数変化	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動装置:長手ポール</li> <li>・計測装置:こんこん(打突部、操作ボックス、バッテリー)</li> <li>・データ収集:收音マイク、Windows搭載PC</li> </ul>
移動装置	移動原理	<p>【人力型】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打突部を長手ポールの先端に設置(1/4-20UNC)する。</li> <li>・長手ポールの伸縮により高さ調節を、操作者の人力によりポールの回転や打突部の首振りを行うことにより、対象構造物へ接触させる。</li> </ul>
	外形寸法・重量	<p>【長手ポール:Bi rod 6C-7500】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・寸法 最長約7.5m、収納時約1.55m、ロッド外形最大38mm</li> <li>・重量 約1.6kg</li> </ul>
	搭載可能容量(分離構造の場合)	<p>【長手ポール】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>最大耐荷重 700g以下</li> </ul>
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人力による</li> </ul>
	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"> <li>・打突部下部に取り付けたねじ穴(1/4-20UNC)に、長手ポール先端のねじを回し入れる。</li> <li>・打突部と操作部を有線接続する。</li> </ul>
外形寸法・重量(分離構造の場合)		<p>【こんこん I 型】(5cm程度の深さまで計測が可能)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打突部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法 L120mm×W180mm×H120mm</li> <li>重量 600g</li> <li>打撃力 400N(打撃周期:1~10回/s)</li> </ul> </li> <li>・操作部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法 L120mm×W70mm×H120mm</li> <li>重量 800g(バッテリー含む)</li> </ul> </li> </ul> <p>【こんこん II 型】(3cm程度の深さまで計測が可能)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打突部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法 L120mm×W180mm×H120mm</li> <li>重量 500g</li> <li>打撃力 175N(打撃周期:1~10回/s)</li> </ul> </li> <li>・操作部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法 L265mm×W220mm×H100mm</li> <li>重量 2000g(バッテリー含む)</li> </ul> </li> </ul> <p>【データ収集】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・收音マイク FIFINE社製 USBラベリアマイク                             <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法 22mm×22mm×25mm</li> <li>重量 40g</li> </ul> </li> <li>・Windows搭載PC</li> </ul>
センシングデバイス		-
計測原理		<ul style="list-style-type: none"> <li>・こんこんの打突部中央に搭載されている打撃部を、ソレノイドコイルにより電磁石の力で往復運動させ、コンクリート構造物の打撃をおこなう。</li> <li>・打突部に搭載されているマイクにて打撃音を收音し、Windows搭載PCに保存する。</li> <li>・重心周波数(kHz)と音圧比(%)を算出し、周囲との相対評価によりうきの有無を判断する。</li> </ul>
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"> <li>・計測対象の表面に凹凸がある場合は、位置をずらして打撃すること。</li> </ul>
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・打突部のフレームを、対象物に確実に接触した状態で收音する。</li> <li>・打撃音を解析に用いるため、周囲の雑音(風、騒音など)の影響を受けないように留意が必要である。</li> </ul>
計測プロセス		<p>①健全部にて打突部先端を押し付けて打撃音を発生させ、その音圧と解析可能最大音圧との比が70%となるように、専用ソフトでゲイン調整を行う。</p> <p>②点検箇所にて、測定点ごとに打突部先端を押し付けて、打撃音を発生させる。</p> <p>③発生した打撃音をマイクにて收音し、専用ソフトにてA/D変換しデジタル値として記録する。</p> <p>④記録した打撃音データは、専用ソフトにて自動で周波数解析が実施される。</p> <p>⑤算出された重心周波数(kHz)と音圧比(%)は、自動でcsvファイルとして保存される。</p> <p>⑥算出された重心周波数と音圧比を確認し、いずれかの数値に周辺の打点と比較して高い値が確認された場合は、うきと判断する。</p>
アウトプット		<p style="text-align: center;">2-4-208</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・解析結果から、重心周波数、音圧、時刻をcsvファイルにて出力する。</li> </ul>

	耐久性	・防塵・防水性無し
	動力	・操作部に搭載のバッテリーを動力とする
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・連続8時間以上
データ収集・通信装置	設置方法	・Windows搭載PCを、打突部に設置した収音マイクと有線接続する。
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・収音マイク 寸法 22mm×22mm×25mm 重量40g ・Windows搭載PC 指定なし
	データ収集・記録機能	・Windows搭載PCに内蔵のストレージに保存する。
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	・USBケーブルによる
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・Windows搭載PCの内蔵バッテリー
	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	・こんこの寸法(縦120mm×横180mm×幅120mm)以上の空間であれば適用可能	-
適用可能なトンネルの最大寸法	・最大適用可能高さは8.0m以下	-
障害物回避	-	-

### 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	・打突部のフレームを、対象物に確実に接触した状態で收音する。 ・打撃音を解析に用いるため、周囲の雑音(風, 騒音など)の影響を受けないように留意が必要である。 ・計測対象の表面に凹凸がある場合は、位置をずらして打撃すること。
	【性能値】 ・未検証  【標準試験】 ・標準試験方法(2020) ・実施年(2024) ※模擬うきは供試体内の内部欠陥を発泡スチロールおよび薄膜シートで模擬することにより作成  ・Ⅰ型 全空洞に対する検出率:84%、的中率:70%  ・Ⅱ型 全空洞に対する検出率:92%、的中率:88%		
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 ※	-	-
	-		

※「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	・構造物との離隔が8.0m以内までとする。 ・障害物がある場合は、十分な離隔をとる。特に電線が近接する場合は、留意が必要である。	-
	安全面への配慮	・足元や周囲の安全確認のために、2人以上で作業を行う。 ・風速5m/s以上の環境下では使用不可	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	-	-
	交通規制の範囲	-	-
	現地への運搬方法	・専用ケースに収納して、手持ちにて運搬する。	専用ケースを運搬可能な移動経路を確保すること。 ・計測装置専用ハードケース: 460mm×350mm×17mm、3kg ・長手ポール専用ハードケース: 80mm×80mm×1600mm、1kg
	気温条件	-	-
	トンネル延長の制約	-	-
	車線数の制約	-	-
	断面形状の制約	-	-
その他	-	-	

## 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	・使用方法の講習を1時間程度	-
	必要構成人員数	・2人(ポール操作1人、解析1人)	-
	操作に必要な資格等の有無	-	-
	操作場所	・障害物がある場合は、十分な離隔をとる。特に電線が近接する場合は、留意が必要である。 ・足場が軟弱であったり突起物があったりと不安定な場合は、使用が困難である。	-
	計測費用	・337,996円(計測面積が500㎡の場合)	-
	計測作業日数	・3日(計測面積が500㎡の場合)	-
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	時間帯(夜間作業の可否)	-	-
	計測時の走行速度条件	-	-
	渋滞時の計測可否	-	-
	車両から覆工表面までの距離条件	-	-
	トンネル内照明の消灯の必要性	-	-
	可搬性(寸法・重量)	専用ケースに収納し、手持ちにて運搬する。 ・計測装置ハードケース:460mm×350mm×17mm、3kg ・長手ポールハードケース:80mm×80mm×1600mm、1kg	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態:リース等の入手性	・業務受注	-
	関係機関への手続きの必要性	-	-
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	・打音解析のために、自社開発アプリを使用する。 ・必要作業:アプリにて録音および解析結果の出力を行う。 ・費用:別途見積もり	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	・サポート体制あり	-
センシングデバイスの点検	-	-	
その他	・上を見ながらの作業となるため、足場の不安定な現場では使用困難	-	



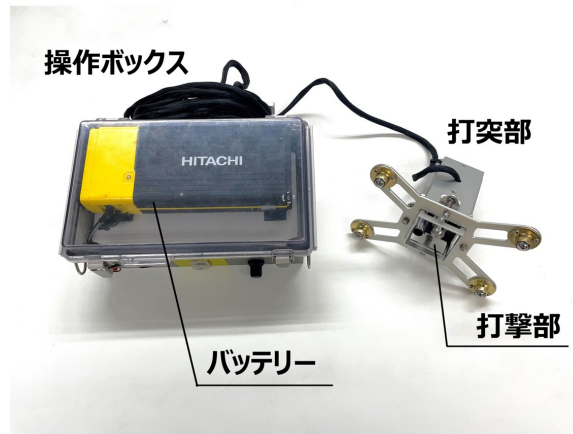
6. 図面

こんこん機器構成

【こんこん I 型】



【こんこん II 型】



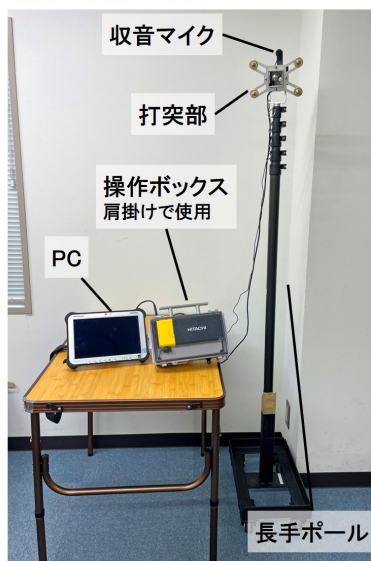
【長手ポール】



【データ収集】



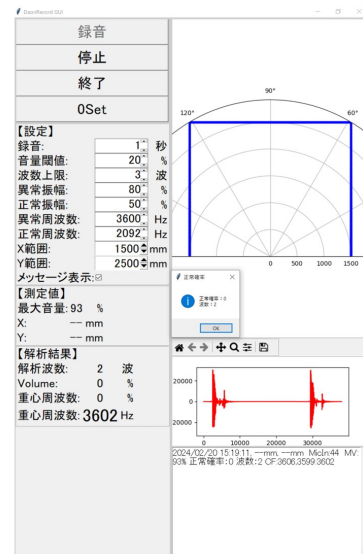
【設置状況写真】



【使用状況写真】



【解析ソフト】 (結果は一例)



1. 基本事項

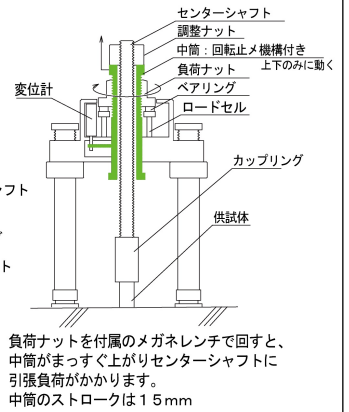
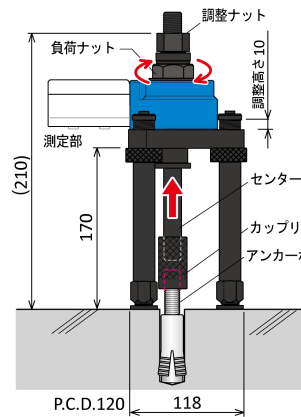
技術番号	TN020025-V0024		
技術名	あと施工アンカー 引張荷重確認試験機 (非破壊)		
技術バージョン	Ver.1	作成:	2024年3月
開発者	サンコーテクノ株式会社		
連絡先等	TEL: 0120-350-514 受付平日 9:00~12:00 13:00~17:00	E-mail: reference@sanko-techno.co.jp	サンコーテクノ株式会社 お客様相談窓口
現有台数・基地	—	基地	—

目視検査で、ナットのゆるみ・がたつき・浮き等が見られた場合や、打音検査で、アンカーボルトや固定ナット、附帯物、コンクリート躯体等に異常な音が観測された際に、アンカーの定着状況の確認のため引張試験(載荷試験)を行うための試験機。

テクノテスター AT-10DII



- ・最大荷重 100kN
- ・あと施工アンカーを非破壊で試験
- ・デジタル表示で変位と荷重を同時に測定、保存
- ・対象アンカーボルト径 M6 ~ M24・W1/4 ~ W1



テクノテスターAT-10DII ジェットファン止付け金具関連 アンカーボルト引張試験

技術概要



試験対象のアンカーボルトの取付物: 通信機器固定/ スプリンクラー/ 照明



対象部位

- 天井板
- 照明
- ケーブル類
- 警報表示板
- 標識
- ジェットファン
- その他附属物

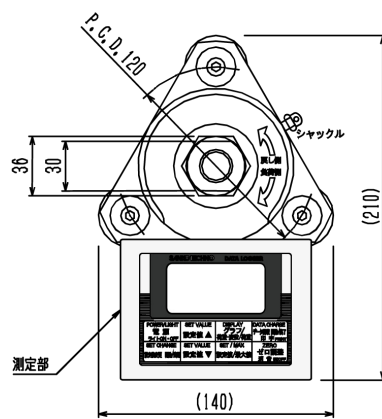
	損傷の種類	表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩みがたつき
	物理原理	
	検出項目	

2. 基本諸元

計測機器の構成

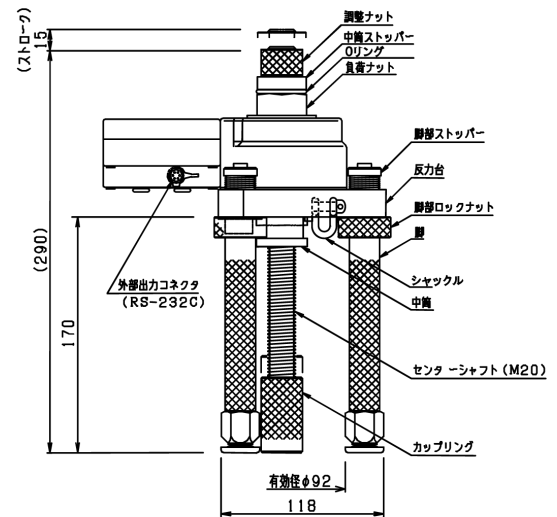


名称	テクノテスター (アンカーボルト引張荷重確認試験機)
型式	AT-10DII
最大荷重	100kN
最大変位量	15mm
対象アンカー	M6 (W1/4) ~ M24 (W1) (ボルト突出長 ボルト径と同長以上~120mm 以下 異形鉄筋 D10~D16)
傾斜補正範囲	±5度
荷重精度	非直線性: ±2% F.S. ±1 digit
変位精度	非直線性: ±2% F.S. ±1 digit
本体質量	6.1kg
本体寸法	図面参照
収納箱寸法	420×255×325mm



本体上面

測定部	測定範囲	荷重: 0~100kN 変位: 0~15mm
	最小表示値	荷重: 0.1kN 変位: 0.05mm
	保護構造	防まつ型 (IP54相当)
	表示部	ドットマトリクス 128x64ドット バックライト付
	データ蓄積	グラフデータ: 99データ ポイントデータ: 9999データ (試験日時・最大荷重値・最大荷重時の変位値)
機構部	外部出力	RS-232C
	電源	単三乾電池×4本
	連続使用時間	アルカリ乾電池使用時: 約30時間 (バックライト無点灯時)
	その他	最大値ホールド, 設定値によるブザー音, オートパワーオフ
	負荷方式	リニア・スライド・ロード機構内蔵ねじ締め式
	荷重センサ	歪ゲージ式ロードセル
	荷重センサ定格	100kN
付属品	変位センサ	ポテンシオメータ式
	変位センサ定格	15mm
	センターシャフト	M20 全ねじボルト
	締め付け工具一式	センターシャフト 調整ナット カップリング (M6~M24・W1/4~W1の16種類) 専用ボルト付, USBシリアル変換ケーブル テクノテスターReport・テクノテスターGraph (CD) テクノテスターPCケーブル (パソコン接続用ケーブル)



本体側面

移動装置	移動原理	専用収納箱420×255×325mmに入れ、作業者が持ち運び
	外形寸法・重量	本体重量6.1kg / 本体・付属品等をケースに入れた総重量 約20kg
	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	試験対象のアンカーボルトにカップリング・センターシャフトで接続、設置
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	本体 H(290)×W118×D(210)
	センシングデバイス	本体内蔵のロードセル・変位計
	計測原理	ねじ締め式による、「加重のロードセルでの検出」と「移動変位のポテンシオメータ (リニアセンサ) による検出」を同時検出し、デジタル値で記録を行う。
	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	—
	アウトプット	・専用小型プリンタで測定データをその場でプリントアウト ・試験機内部にデジタルデータを蓄積、パソコンに取り込みグラフ化
	耐久性	—
	動力	単三乾電池×4本

	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	アルカリ乾電池使用時:約30時間(バックライト無点灯時)
データ収集・通信装置	設置方法	試験機本体と一体化
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	—
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	RS-232Cシリアル通信 付属の専用ケーブルでD II 測定部とパソコンを接続し、テクノテスター測定部に蓄積した試験データをパソコンに転送し、Excel のワークシートとして保存が可能。
	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	脚の設置 P.C.D120 本体・測定部の幅 本体 H(290)×W118×D(210)に干渉しない障害物が周辺にない事 負荷ナットにかけたメガネレンチ(+延長パイプ)をまわすスペースがある事	—
適用可能なトンネルの最大寸法	—	—
障害物回避	—	—

## 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	
	実構造物への設置状況を確認し、 確認シートに整理		—
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 ※	-	
	—		—

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。



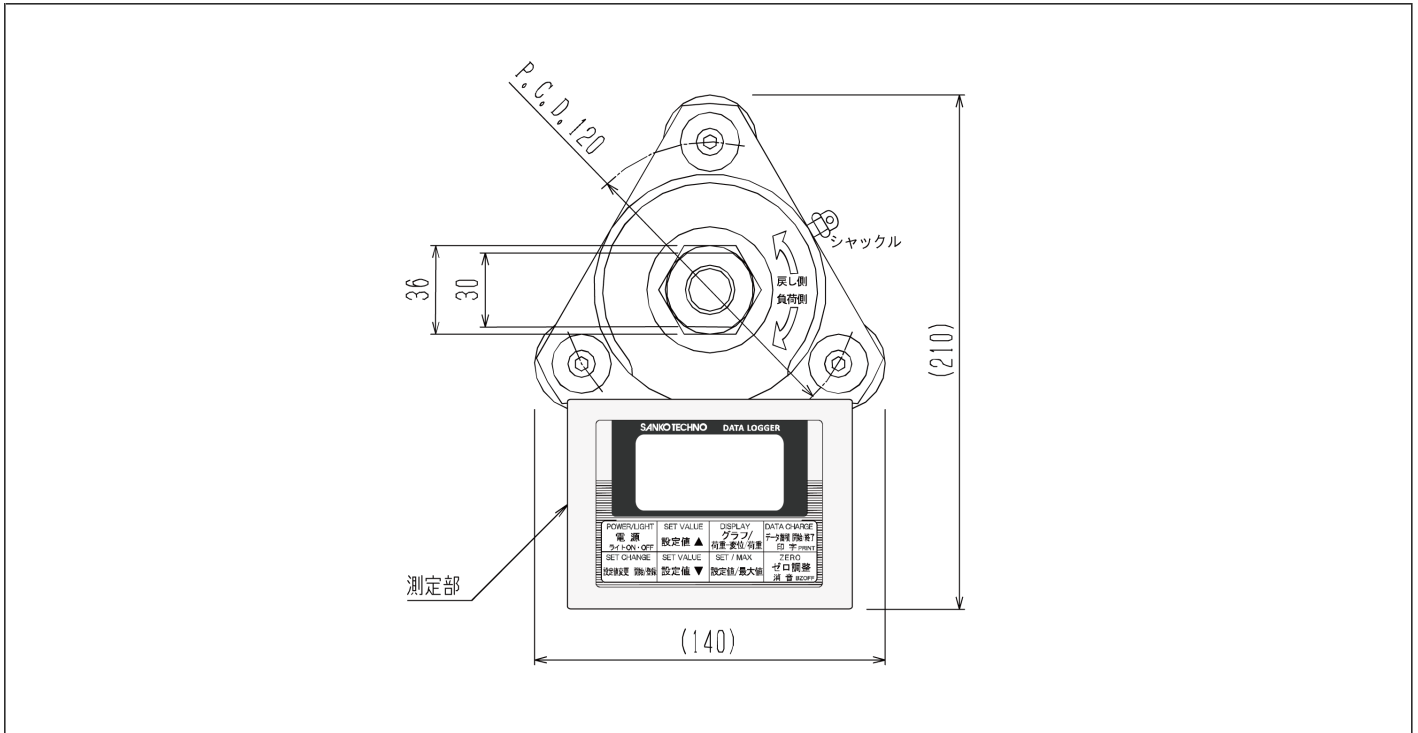
5. 留意事項(その1)

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	—	—
	安全面への配慮	トンネルの上部・側面などの高所に試験機を設置する場合、試験機本体のシャックルに落下防止用のワイヤーなどを付け、落下防止の措置をとる事 	—
	無線等使用における混線等対策	—	—
	交通規制の要否	—	—
	交通規制の範囲	—	—
	現地への運搬方法	—	—
	気温条件	—	—
	トンネル延長の制約	—	—
	車線数の制約	—	—
	断面形状の制約	—	—
その他	—	—	

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	—	—
	必要構成人員数	1名	—
	操作に必要な資格等の有無	特になし	あと施工アンカー主任技士または第1種あと施工アンカー施工士の有資格者が望ましい ※あと施工アンカー施工士とは(一社)日本建築あと施工アンカー協会が実施しているあと施工アンカーの資格制度
	操作場所	—	—
	計測費用	—	—
	計測作業日数	—	—
	保険の有無、保障範囲、費用	—	—
	時間帯(夜間作業の可否)	—	—
	計測時の走行速度条件	—	—
	渋滞時の計測可否	—	—
	車両から覆工表面までの距離条件	—	—
	トンネル内照明の消灯の必要性	—	—
	可搬性(寸法・重量)	—	—
	自動制御の有無	—	—
	利用形態:リース等の入手性	—	—
	関係機関への手続きの必要性	—	—
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	—	—
	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	—	—
	その他	—	—

6. 図面



## 1. 基本事項

技術番号	TN020026-V0025		
技術名	ストラクチャスキャン(電磁波レーダ)による覆工検査		
技術バージョン	1	作成:	2025年3月
開発者	KEYTEC株式会社 Geophysical Survey Systems, Inc.		
連絡先等	TEL: 078-200-5217 03-5534-8881	E-mail: ando@key-t.co.jp mikami@key-t.co.jp	営業 安藤 営業 三上
現有台数・基地	FLEX4台、SIR-EZ XT3台	基地	兵庫県神戸市 東京都中央区
技術概要	<p>ストラクチャスキャンは、電磁波がコンクリート内部の物標で反射する性質を利用して物標までの距離と位置を検知する非破壊検査装置(電磁波レーダ)であり、コンクリート内部の状態を可視化することができる。これをトンネル覆工表面近くの空洞、はく離などの劣化、覆工の厚み、背面空洞などの状態把握に応用する。ADC(自動深度補正)、カーブフィッティングなどの手法によるかぶり推定機能を有する。</p> 		
技術区分	対象部位	覆工天端 その他覆工面	
	損傷の種類	本体内におけるうき はく離 劣化 巻厚の不足または減少 表面近くの空洞、ならびに附属物本体・取付部材等の緩み その他(豆板)	
	物理原理	電磁波	
	検出項目	電磁波の反射強度	

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		計測装置 ストラクチャスキャン FLEX (FlexNX, NX25, NX15) ストラクチャスキャン SIR-EZ XT/LXT (SIR-EZ XT/LXT, 小型キューブアンテナ)
移動装置	移動原理	【人力型】 検査者がアンテナを測定面に当てて前進させることにより測定する。
	外形寸法・重量	ストラクチャスキャン FLEX FlexNX: サイズ 253×132×189mm、重量 2.2kg (バッテリー装着時) NX25: サイズ 112×112×105mm、重量 0.83kg (バッテリー装着時) 狭所用拡張アンテナ NX15: サイズ 132×139×139mm、重量 1.28kg (バッテリー装着時) 高深度用拡張アンテナ
	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)	-
	計測原理	ストラクチャスキャン SIR-EZ XT/LXT SIR-EZ XT/LXT: サイズ 157×190×236mm、重量 1.8kg (バッテリー装着時) 小型キューブアンテナ: 83×96×96mm(ケーブル長 3m)、重量 0.3kg(ケーブル込み 0.7kg) 狭所用拡張アンテナ
計測装置	設置方法	移動装置と一体的な構造
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	-
	センシングデバイス	装置本体アンテナ、および拡張アンテナ(GSSI製)
	計測原理	装置の移動毎に電磁波の反射を記録することで反射波形の画像を得る。波形に現れる鉄筋、非金属管、空洞などの反射より位置を検出、反射応答時間(T)とコンクリートの比誘電率(電磁波の速度を決定する)より埋設物の深さが求められる。この時、比誘電率( $\epsilon r$ )を正確に推定することが重要であるが、本技術では反射波形と理論波形との対比より比誘電率を推定する。[ADC(自動深度補正)、カーブフィッティング] 反射は物質の境界面で生じ、物質の比誘電率がより高い物質との境界面では正の反射となり、比誘電率がより低い物質との境界面では負の反射となる。この性質を利用し、トンネル覆工表面近くの空洞、はく離などの劣化、覆工の厚み、背面空洞などを判別することができる。
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	①自然条件 ・作動温度範囲:-10℃から40℃まで ・雨天屋外での探査は不可 ②現場条件 ・コンクリート内に鋼繊維・カーボンが混入されていないこと ・コンクリート表面に金属質のもの・カーボンが敷設されていないこと ・測定面に流水や留水がないこと ・装置本体が走行できること
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	車輪の回転により距離を求める為、測定面の凹凸や突起により車輪の空転やロックが生じないように注意する。避けられない場合はその位置を記録し判断時に考慮する。
計測プロセス	計測プロセス	装置を測定面に設置して測線に沿って手で移動させる。 移動距離毎にスキャンが行われる。このとき電磁波の送受信(ハイパースタッキング)、反射信号の記録、バンドパスフィルタ、深度補正、感度調整処理が行われ当該位置の反射信号として画面に表示される。このスキャンの繰り返しにより測線の断面の波形が得られる。 断面波形より覆工表面付近の空洞、覆工厚などを読み取りマーキングする。 <pre>graph LR     subgraph Manual_processing [手動処理]         A[計測装置の前進]         G[波形表示の確認]         H[損傷の判別]         I[マーキング]     end     subgraph Automatic_processing [自動処理]         B[電磁波の送受信]         C[HS処理]         D[BPF処理]         E[深度補正]         F[感度調整]     end     A --&gt; B     B --&gt; C     C --&gt; D     D --&gt; E     E --&gt; F     F --&gt; G     G --&gt; H     H --&gt; I     B --- J[装置内に保存]</pre>
	アウトプット	測定データ(*.DZT形式)、波形画像(*.png形式)
	耐久性	IP65
	動力	交換式専用バッテリー(Li-ion)
データ取	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	Flex NX 最長約3.5時間 SIR-EZ XT/LXT 最長約2.5時間
	設置方法	装置本体に保存
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	内蔵メモリ Flex NX: 200GB SIR-EZ XT/LXT: 14.5GB 2-4-225

集・通信装置	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	-	-
適用可能なトンネルの最大寸法	-	-
障害物回避	-	-



## 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】 巻厚の計測範囲(理論値) FlexNX/NX25: 750mm、NX15: 1000mm SIR-EZ XT/LXT/小型キューブアンテナ: 600mm  【標準試験】 [1]劣化、表面近くの空洞(2020) 実施年:2025年 かぶり10mmの場合、空洞厚3mm以上、幅50mm以上検出可 かぶり30mmの場合、空洞厚3mm以上、幅50mm以上検出可 かぶり50mmの場合、空洞厚3mm以上、幅50mm以上検出可 ※計測対象に目地部含まず  [3]背面空洞(2022) 実施年:2025年 深さ200mm~400mmの模擬背面空洞を検出		-
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 ※	-	
	-		-

※「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	-	-
	安全面への配慮	-	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	交通規制の要否	要	-
	交通規制の範囲	片側車線	-
	現地への運搬方法	-	-
	気温条件	-	-
	トンネル延長の制約	-	-
	車線数の制約	-	-
	断面形状の制約	-	-
	その他	-	-

## 5. 留意事項(その2)

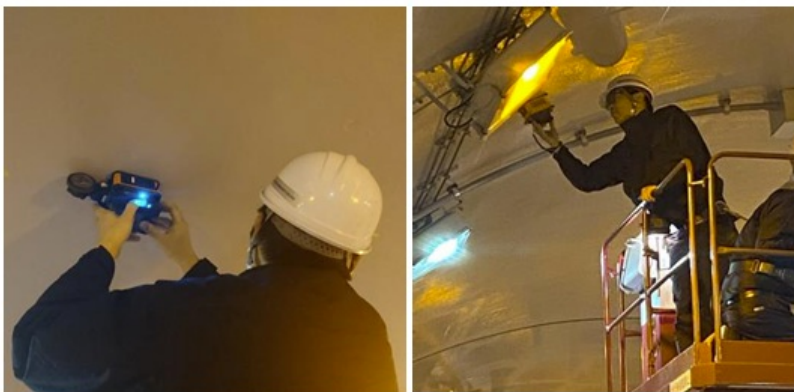
項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
調査技術者の技量	特になし	トレーニング(CPDS認定)、技量認定制度あり
必要構成人員数	測定1名	高所作業車等使用で別にオペレーター1名
操作に必要な資格等の有無	なし	-
操作場所	-	-
計測費用	調査条件 対象: 背面空洞 測定: 天端、肩(左右1測線)、10.5m x 10スパン 概略費用 調査費用: (外業: 24万円、内業: 12万円) 機械経費: 8.5万円 その他の費用: 2万円 ※交通費、事前調査、打合せ、高所作業車等含まず	-
計測作業日数	-	-
保険の有無、保障範囲、費用	-	-
時間帯(夜間作業の可否)	-	-
計測時の走行速度条件	-	-
渋滞時の計測可否	-	-
作業条件・ 運用条件	車両から覆工表面までの距離条件	-
	トンネル内照明の消灯の必要性	-
	可搬性(寸法・重量)	-
	自動制御の有無	-
	利用形態:リース等の入手性	購入/リース、レンタル、業務委託
	関係機関への手続きの必要性	-
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	新!Report Editor Pro
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	サポート体制あり
	センシングデバイスの点検	定期的(1回/年)に校正を実施
	その他	[気象条件] 雨天屋外での探査不可 [作業条件] 高所を計測する場合には、足場あるいは高所作業車が必要 [適用条件] コンクリート内に鋼繊維・カーボンが混入されていないこと コンクリート表面に金属質のもの・カーボンが敷設されていないこと 測定面に流水や留水がないこと 装置本体が走行できること

6. 図面

ストラクチャスキャン FLEX



- ① Flex NX
- ② NX25
- ③ NX15
- ④ エクステンションポール



ストラクチャスキャン SIR-EZ XT/LXT



- ① SIR-EZ XT
- ② SIR-EZ LXT
- ③ 小型キューブアンテナ
- ④ エクステンションポール
- ⑤ AC LineTrac



## 1. 基本事項

技術番号	TN020027-V0025		
技術名	温度変化の少ない場所での赤外線分析による健全箇所の特定制		
技術バージョン	Ver.1	作成:	2025年3月
開発者	株式会社 テクニカル・シンク 株式会社 フラクタル		
連絡先等	TEL: 06-6430-9174 080-3543-9821	E-mail: simojima@technicalthink.jp	〒661-0953 兵庫県尼崎市東園田町9丁目1 6番8号
現有台数・基地	画像撮影機材 (冷却型赤外カメラ等) 1セット (非冷却型赤外カメラ等) 1セット	基地	(冷却型赤外カメラ等) 東京 (非冷却型赤外カメラ等) 兵庫
技術概要	<p>トンネル内等変状発生部と健全部の温度変化の少ない場所において、赤外線画像から得られる壁表面の温度分布データを用い、2Dや3D表示によるコンター図から『うき』・『漏水』・『背面の滞水』等の変状の無い健全な範囲を特定する技術。</p> <p>この技術により対象壁面の状態把握のスクリーニングが可能(『うき』や『漏水』・『背面の滞水』といった変状の無い健全な範囲の把握)。</p> <p>当該技術の特徴</p> <p>①赤外線画像から得られる壁表面の温度分布から『うき』・『漏水』・『背面の滞水』などの変状が無い健全な範囲を特定する技術(ひび割れの評価は不可)。</p> <p>②計測(データ収集)は人力(静止画や動画)で行い、解析・評価は現地(簡易な解析)およびデータを事務所に持ち帰り独自開発の解析ソフトを用いて行う(参照:図面1)。</p> <p>③計測、分析・解析結果は壁面健全度調査のスクリーニングに活用し、『うき』や『漏水』・『背面滞水』等の変状が無い健全部を特定することで近接目視範囲の軽減を目的とする(参照:図面2)。</p> <p>本来、『うき』や『漏水』・『背面滞水』等の場所を直接特定できることが望ましいが、実際は解析・分析結果と変状の程度との関係を定量的にキャリブレーションできない(打音調査では『うき』と評価できなかったが、赤外線分析結果からは変状の可能性ありと判定せざるを得ないパターンがかなり見受けられる)。このため変状が存在する可能性は評価できても実際にその場所に変状があると断定することはかなり難しい(参照:図面3)。</p> <p>応募技術の原理</p> <p>物体の表面から発せられる電磁波(赤外線)を撮影し、電磁波のエネルギーを赤外線カメラの内部で温度に変換した温度分布(サーモグラフィー)を解析・分析の対象とする。</p> <p>変状部と健全部の温度差が小さいトンネル内部では、実績で両者の温度差が0.3℃以上とかなり小さいが、赤外線カメラで得られる温度は2/1000℃の分解能が確保されているため、健全部と変状部の区別は可能である(参照:図面4)。</p> <p>変状の可能性有無の評価は、画像から得られる温度分布を用いて図化した2次元や3次元の『温度コンター図の局所的な乱れの有無』と『健全部と変状部の温度差の程度』の2項目を指標とする(参照:図面5)。</p> <p>部材表面のコンターの乱れや温度差の発生は、部材内部に変状(『うき』による空気層や『漏水』・『背面滞水』による水分の層)があるとその影響で温度の伝搬が部分的に不均一となることが要因で、内部が均一な状態(健全な状態)では表面の温度分布はバラツキの範囲内(±0.1℃~0.2℃)で収まっている。</p> <p>対象の部位</p> <p>対象とするのは、トンネル等温度変化の少ない場所の壁面で、撮影可能な場所であれば対象とできる。</p> <p>ただし、対象物にできるだけ正対した状況での撮影が望ましい(±45度の角度までは対応可能)。</p> <p>広範囲に壁面が濡れていた李、熱放射タイプ(蛍光灯)の照明が在る橋での撮影は不可。</p>		
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 漏水対策工 その他補修箇所	
	損傷の種類	本体内におけるうき はく離 その他(漏水、背面滞水)	
	物理原理	赤外線	
	検出項目	その他(電磁波エネルギーから変換された温度分布)	

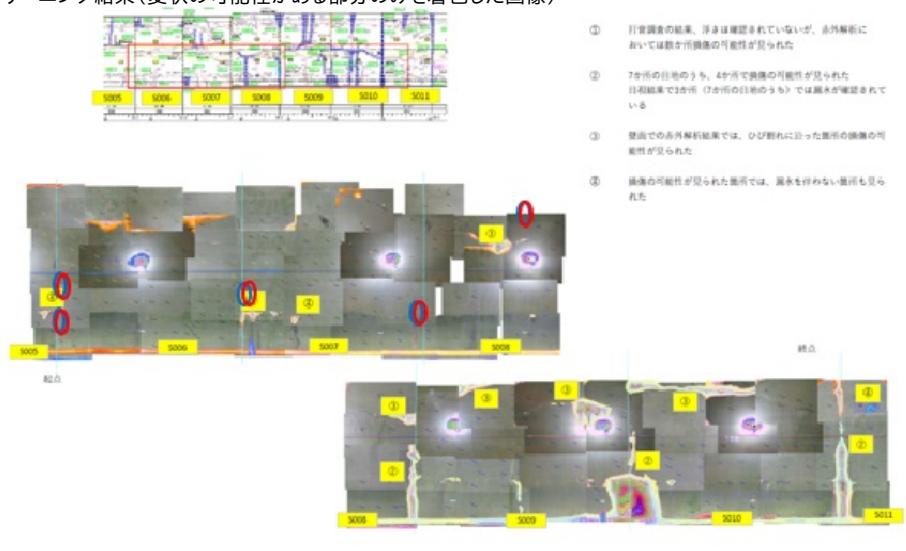
2. 基本諸元

計測機器の構成

赤外線カメラ(冷却型赤外線カメラ)  
 デジタルビデオカメラ  
 データ処理用パソコン  
 架台、台車、電源  
 温度計

移動装置	移動原理	人力(台車) (撮影機材を車に搭載することも可能)
	外形寸法・重量	台車寸法 110cm(長さ)×50cm(幅)×100cm(高さ)
	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	設置方法	架台に尽力で赤外カメラ等を組込、台車(車)に搭載
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	センシングデバイス	FLIR社製 冷却型赤外カメラ(226×102×109mm)
	計測原理	赤外カメラを用いて、対象物表面から発せられる電磁波エネルギーの撮影
	計測の適用条件(計測原理に照らした適用条件)	表面が濡れていないこと(漏水による濡れは除く) 表面に光沢のないこと 熱放射タイプの照明(蛍光灯)がないこと
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	散水等の水濡れ 蛍光灯等の熱放射対応の照明 表面に光沢のあるパネル等
	計測プロセス	①撮影装置の組み立て、台車への機材セット ②健全部代表箇所を選定および外気温度・健全部の表面温度計測撮影 撮影画像の確認(目的範囲の画像が撮影できていることの確認)



計測装置	アウトプット	<p>スクリーニング結果(変状の可能性のある部分のみを着色した画像)</p>  <p>① 日常調査の結果、浮きは確認されていないが、赤外線解析においては浮きの可能性が見られた</p> <p>② 7か所のうち、4か所で浮きの可能性が見られた。日常調査で3か所(7か所のうち3か所)では浮きが確認されている</p> <p>③ 要図での赤外線解析結果では、ひび割れに付いた箇所も浮きの可能性が見られた</p> <p>④ 浮きの可能性が見られた箇所では、調査を行わない箇所も見られた</p> <p>○ 赤外線解析で浮き確認 ○ 近接目視で浮き確認</p>
	耐久性	—
	動力	バッテリー給電
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	5時間
データ収集・通信装置	設置方法	データ収集 パソコンを用いて、人力(動画、静止画)によりデータ収集 通信装置 現状通信は行わない
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	—
	データ収集・記録機能	—
	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	1枚の赤外画角が、1.5m×1.0m 異常が確保可能なこと	トンネル幅・高さ共に 4.0m以上
適用可能なトンネルの最大寸法	1枚の赤外画角が 10.0m×6.5m 程度の大きさまで解析可能 これ以上画角が大きくなると、ドット(温度データを持つポイントの数)間隔が2cmを超えるため判定が難しくなる	片側の幅10m、高さ10m以下
障害物回避	—	—

## 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 ※	-
	温度分解能 2/1000℃(カタログ値) 健全部での温度バラツキ幅 0.05℃(標準偏差) [標準試験値] 標準試験方法(2020) 実施年:2025年 空洞厚0.3mm、深さ50mmの場合 10cm×10cm以上検出可	-
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 ※	-
	現状 40km/h までなら動画撮影の解析結果が静止画の解析結果と変わらないことを確認済	-
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」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	静止画撮影 道路占有が必要 動画撮影 速度40km/h規制が必要	—
	安全面への配慮	道路占有が可能な場合には撮影者自身の安全確保が必要(路面上からの遠隔撮影が必要なため、高所作業は不要) 道路占有が出来ない場合には、機材を車載しての撮影と成るため、走行時の安全表示対策が必要(現状、実施経験が少なく問題点の把握は未熟状態)	—
	無線等使用における混線等対策	無線は使用しない	—
	交通規制の要否	低速(5~10km/h)走行撮影や静止画撮影では交通規制が必要	—
	交通規制の範囲	片側規制	—
	現地への運搬方法	車	—
	気温条件	特に無し	—
	トンネル延長の制約	特に無し	—
	車線数の制約	特になし	—
	断面形状の制約	特に無し	—
その他	—	—	

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	赤外カメラとデジタルビデオカメラの同期技術が必要	—
	必要構成人員数	2~3名	—
	操作に必要な資格等の有無	資格不要	—
	操作場所	カメラの傍	—
	計測費用	概算費用(直接費)(交通規制は別途)(直径10m、延長100m当り) 準備 1件当り 100,000.-/1件当り 現地撮影 延長100m当り 100,000.-/100m当り 内業 画像250枚想定 600,000.-/100m当り 機械経費 カメラ・解析ソフト等 155,000.-/100m当り 交通費・宿泊費 実費	—
	計測作業日数	日単位 1日の撮影範囲は、断面半径10m程度で、延長50m×2スパン程度(静止画の場合) 動画の場合は、延長50m×4スパン程度	—
	保険の有無、保障範囲、費用	—	—
	時間帯(夜間作業の可否)	夜間作業可能	—
	計測時の走行速度条件	可能	現状40km/h まで確認済
	渋滞時の計測可否	反対車線が渋滞時は、渋滞している車が邪魔で撮影不可(天井部分は可能)	—
	車両から覆工表面までの距離条件	最低2m	—
	トンネル内照明の消灯の必要性	LED照明であれば消灯の必要無し	—
	可搬性(寸法・重量)	台車に組み込んだ状態で 1000mm(長さ)×500mm(幅)×1200mm(高さ) 重量約12kg	—
	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	撮影機材のリース無し	—
	関係機関への手続きの必要性	無し	—
	解析ソフトの有無と必要作業及び費用等	解析ソフトは現状未公開	—
	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	—	—
	その他	[特許状況] 無し [気象条件] 降雨の影響がある場合は不可 [作業条件] 対象物の見通しが可能なこと [適用できない条件] 対象物表面が照明を反射する場合不可	—

## 6. 図面

### 解析ソフト(健全部の定量化)

- 『健全部との温度差』を評価するため、独自の解析ソフトを開発

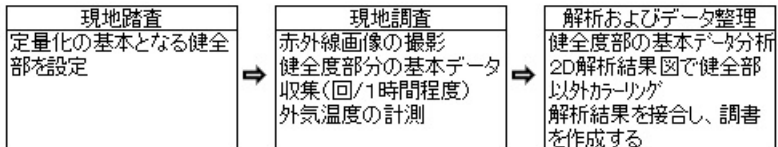
赤外線画像を用いた処理の基本は、赤外線画像解析手法を用いて事前にスクリーニングすることで近接目視範囲の軽減を前提とした処理方法です。

本来、うきや漏水等の変状を直接特定できることが望ましいが、実際は解析結果と変状の程度との相関を定量的にキャプレーション出来ない為、変状の可能性しか特定できないのが現状です。

このように変状の特定はできないのですが、健全部分に関してはかなり高い確率で特定が可能と考えられます。

健全部分の温度は変状部分に比べてはるかに温度変化が少ないことから、事前に健全部分の温度分布を確認することで、健全部分の定量化が可能になります。

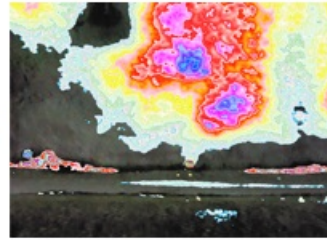
この考えを基に、以下の手順でスクリーニングを行います。



スクリーニング結果の表示例を以下に示します。



着色されていない部分が健全



着色されていない部分が健全

検証結果

赤外画像の解析結果と目視・打音調査結果との比較例を以下に示す。

比較結果の一例

変状	検出個数(事前調査)	検出個数(赤外)	見検出個数(赤外)	検出精度
うき	9	8	1	89%
漏水	19	17	2	89%

① 打音調査の結果、浮きは確認されていないが、赤外解析においては数か所異常の可能性が見られた

② 7か所の打音のうち、3か所で異常の可能性が見られた。打音結果で3か所（7か所の打音のうち）では漏水が確認されている

③ 壁面での赤外解析結果では、ひび割れによって異常の可能性が見られた

④ 異常の可能性が見られた箇所では、漏水を伴わない箇所も見られた

○ 赤外解析で浮き確認  
 ○ 近接目視で浮き確認

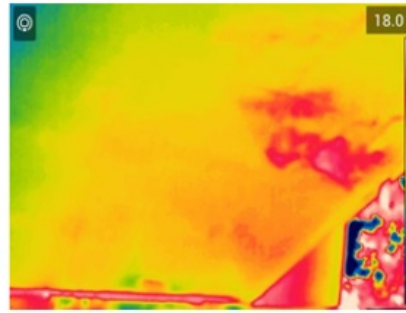
変状特定の難しさ

トンネル内での実績がまだまだ少ないため、参考に屋外での例を添付する

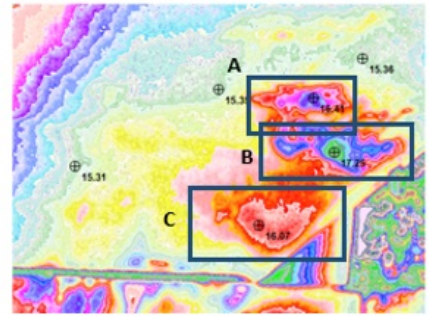
デジタル写真



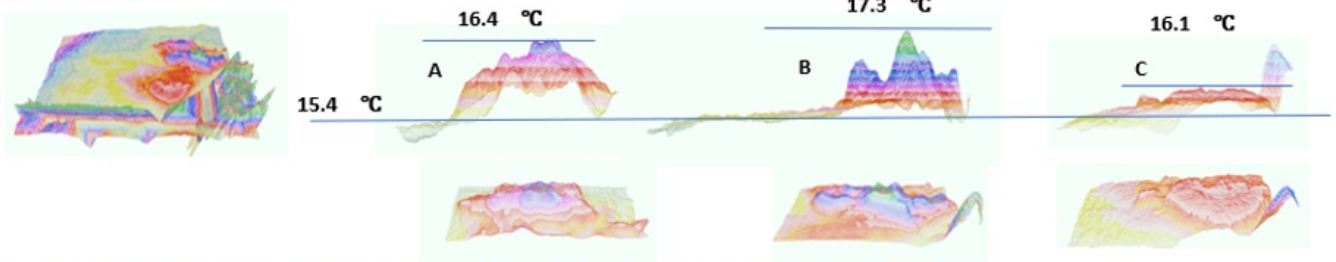
赤外線画像



2D解析結果



3D解析結果


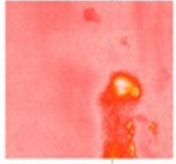

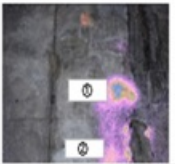

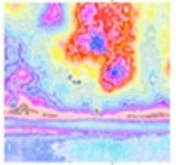

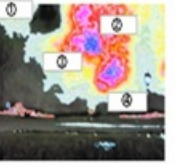

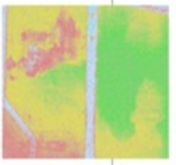
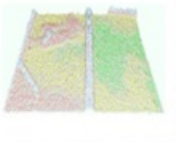


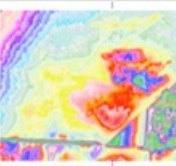
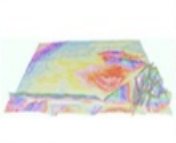



A、Bの2か所は打音で浮きを確認されているが、Cは打音では浮きの確認はされていない。

A,Bの温度差は 1.0°C以上あるが、打音で浮きを確認されなかったcでは温度差は 0.7°Cであった。



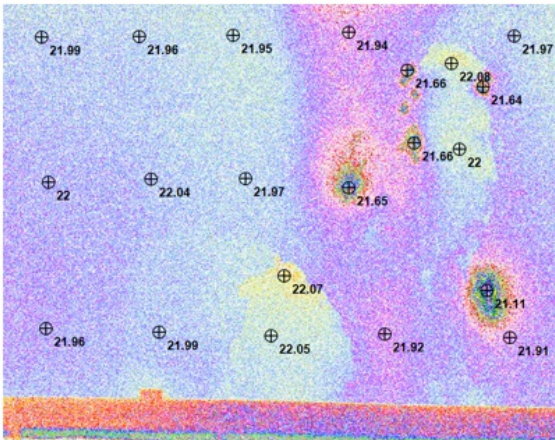
健全部と変状部の温度差の例

使用カメラ	デジタル画像	コンターの乱れ		異常部着色	温度差	
		2D解析	3D解析		健全部との温度差(°C)	
トンネル壁面 (冷却型カメラ)					健全部温度 22.05±0.2	① 218 ② 214 ③ ④
トンネル壁面 (非冷却型カメラ)					健全部温度 14.6±0.5	① 15.7 ② 16.2 ③ 16.5 ④ 16.7
地下構造物 (GL-30m) (冷却型カメラ)					健全部温度 16.4±0.2	① 16.56 ② 16.67 ③ 16.56 ④
床版 (非冷却型カメラ)					健全部温度 15.4±0.5	① 16.4 ② 17.3 ③ 16.1 (目視・打音では健全)

## 変状有無の判断指標

変状の有無を評価する指標として、コンターの乱れと健全部と変状部の温度差があります。  
ただし、過去の実績からコンターの乱れや温度差が有っても必ずしも変状があるとは言えません。  
実際に変状が有る場所では、95%以上の確率でコンターの乱れや温度差が確認できるのですが、目視調査や打音調査で変状が確認されなかった場所でもコンターの乱れや温度差が確認されることがあります。

2D画像



3D画像(画面上で回転可)

