

技術番号 TN020001-V0222

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 開発者名 原子燃料工業株式会社

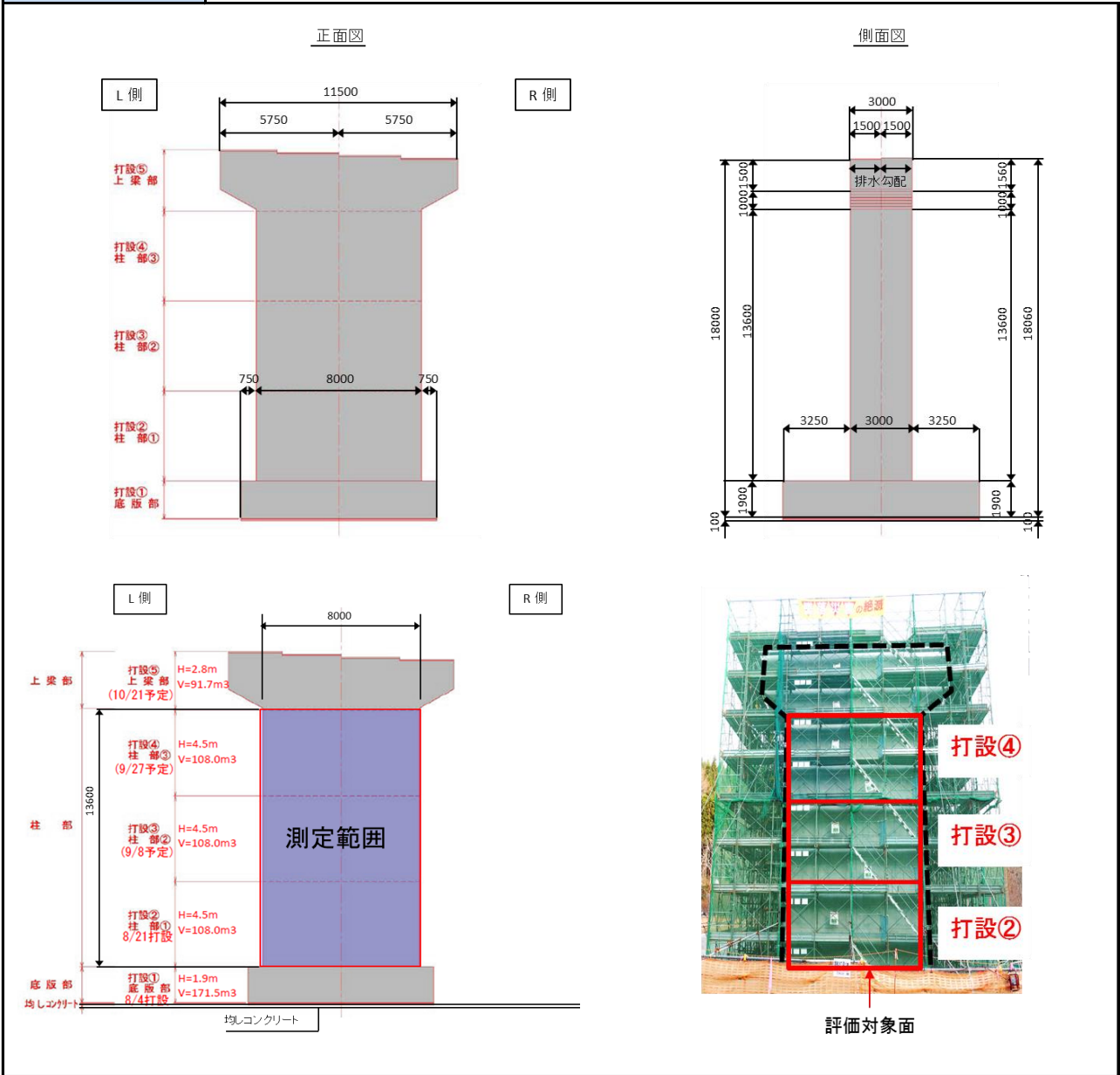
試験日 平成29年 11 月 20 日 天候 晴れのち雪 気温 -3 °C 風速 — m/s

試験場所 北海道函館市

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 寒冷地凍害抑制のための表面性状 試験区分 社内試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測速度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 機材搬入(PCタブレット(波形処理装置)、計測ハードウェア、AEセンサー)(写真-1)
- ② AEセンサー、ハンマー等の作動確認
- ③ 計測作業(橋脚部)(写真-2)
- ④ 後日、計測した波形よりコンクリート施工品質を検出する。

開発者による計測機器の設置状況



ハンマー(左手)



計測結果の比較

■計測結果

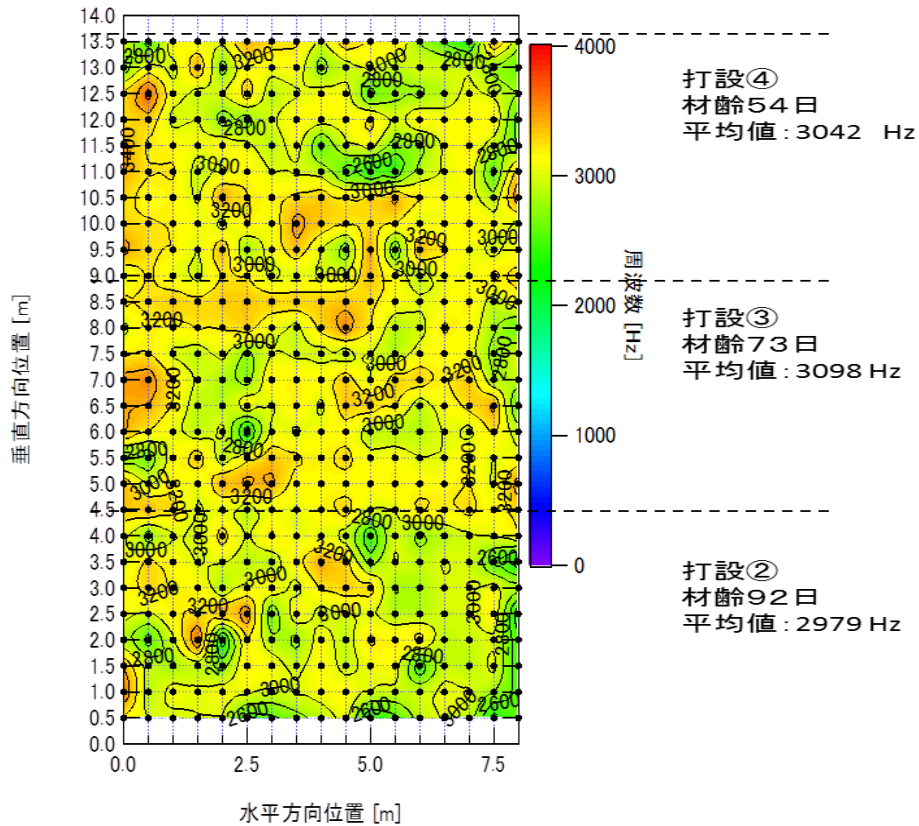


図-1 橋脚部の固有振動ピークコンター図

測定範囲および測定方法

- ・測定範囲は、水平方向: 0~8mを0.5m間隔で17点
垂直方向: 0.5m~13.5 mを0.5m間隔で27ライン(計459点)

- ・測定方法は、測定点にセンサを押し当てて、点検用ハンマーで打撃

■結果(図-1)

- ・橋脚全面を測定した結果では、打設③、④の平均的な評価ピーク周波数は打設②より高い値となった。
- ・打設③、④は、打設方法を改善しており、改善効果が振動測定で定量的に評価している可能性がある。
- ・高さ9.0×横4.5m付近の面的測定結果より、穴が多く密集している領域では、評価ピーク周波数が若干低く、表面性状を定量評価しうる結果が得られた。
- ・測点面積: 108m²(橋台H: 13.5m、B: 8mの場合) 調査・解析時間: 300分

技術番号 TN020001-V0222

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

開発者名 原子燃料工業株式会社

試験日 令和2年 1 月 22 日

天候 曇り

気温 11.5 °C

風速 — m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目

打音による周波数領域の変化と時間領域の変化。また、写真撮影による変状。

試験区分

標準試験

試験で確認する
カタログ項目

計測精度(表面空洞)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 取得されたデータがどの位置を打音したものなのかを明確にするため、あらかじめ各試験体の打音位置に番号づけを行う。また、試験体に番号をチョーキングしておく。今回の検証では、試験体には50mmピッチでメッシュを引いており、50mm四方のマスが15マス×12行存在する(目地部除く)。また、目地部の打音は2点に対して行うため(水平部と斜め部分:写真-3の①、②)、各行の1~17番として番号付けを行う。
- ② 各マスにAEセンサを押し付け、近傍を打音する。打音回数は1マス2回。打音前に、記録員が「○行の○番」等と言い打音位置を確認する。
- ③ 1点を打音するごとに、記録員はタブレット上でセンサーから取得されたデータ(波形)を確認し、正常にデータが取得できていることを確認する。
- ④ 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



写真-3



写真-4



写真-5



写真-6



写真-7

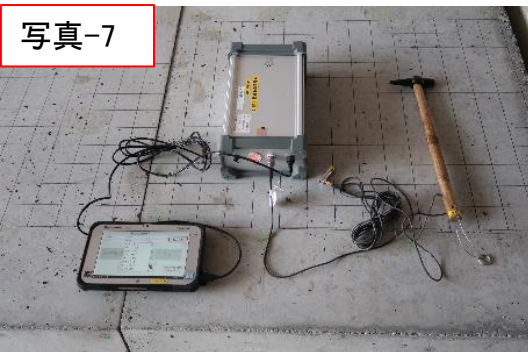


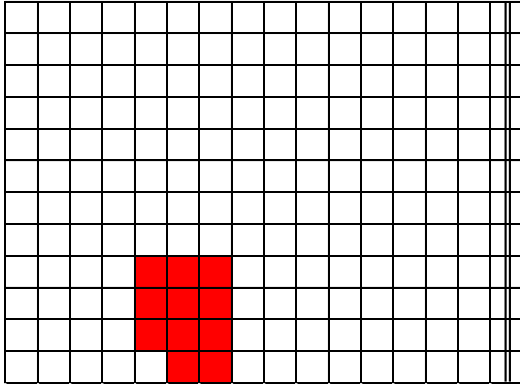
写真-8



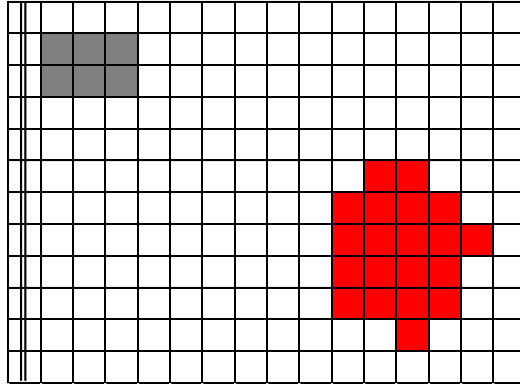
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

※変状位置が既知の模擬試験体のため未実施

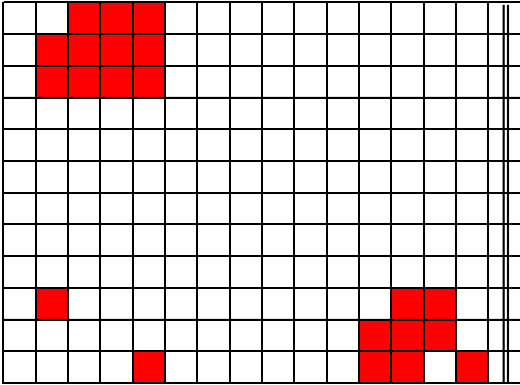
試験体No.7



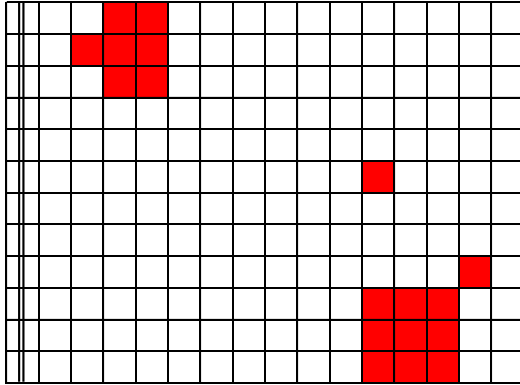
試験体No.8



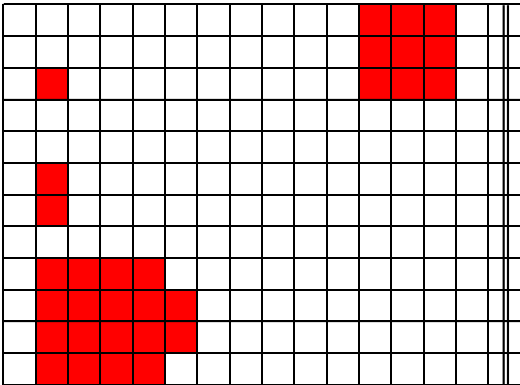
試験体No.9



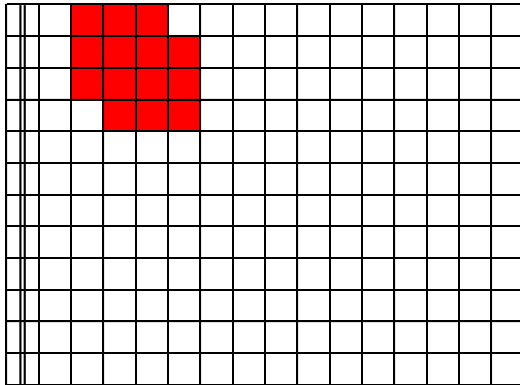
試験体No.10



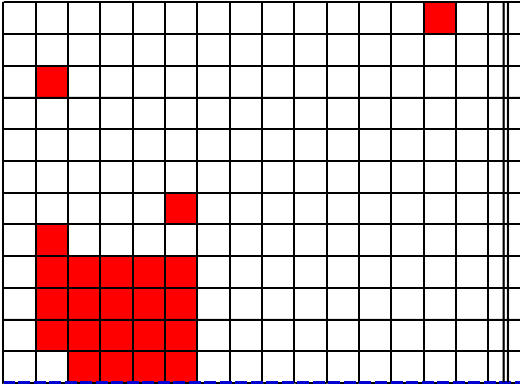
試験体No.11



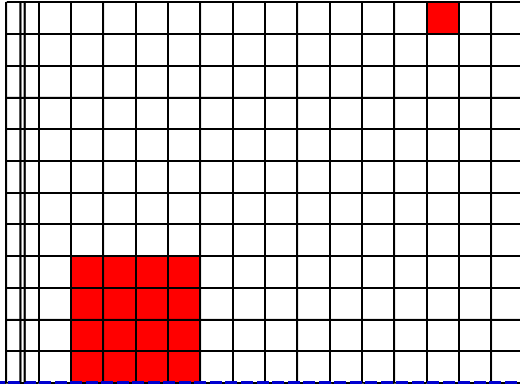
試験体No.12



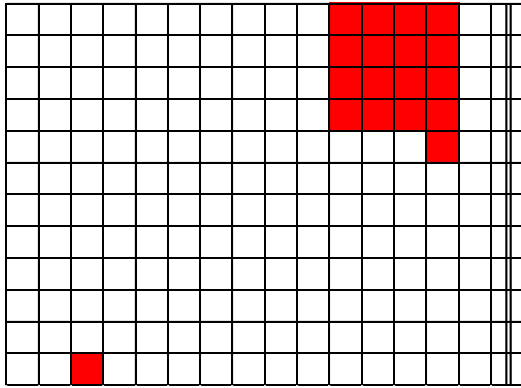
試験体No.13



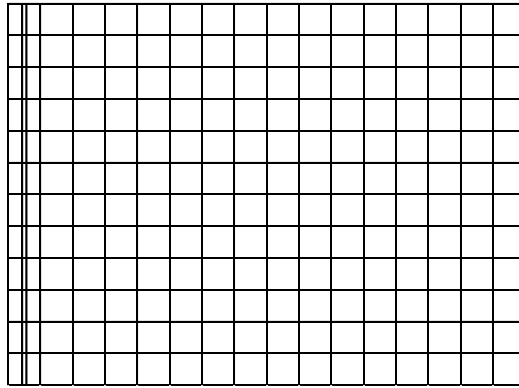
試験体No.14



試験体No.15



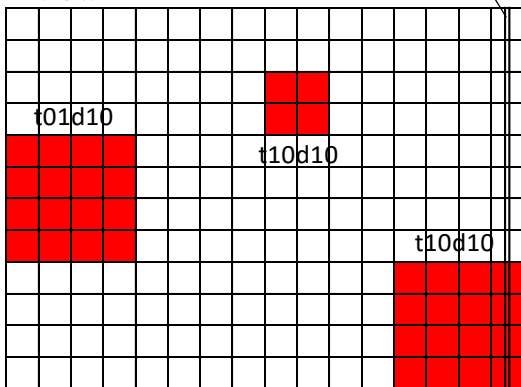
試験体No.16



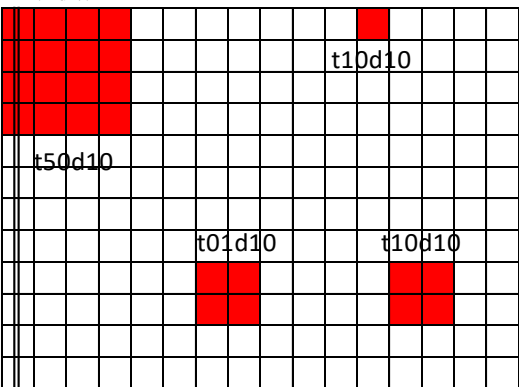
・正解位置

試験体No.1

目地部

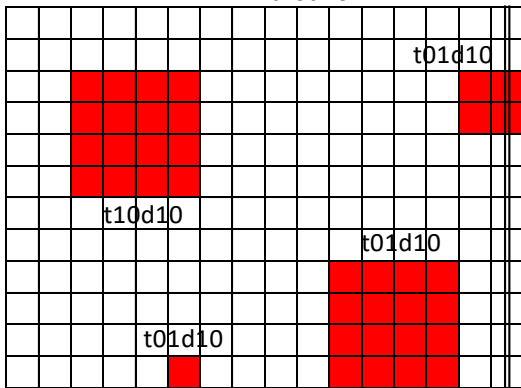


試験体No.2

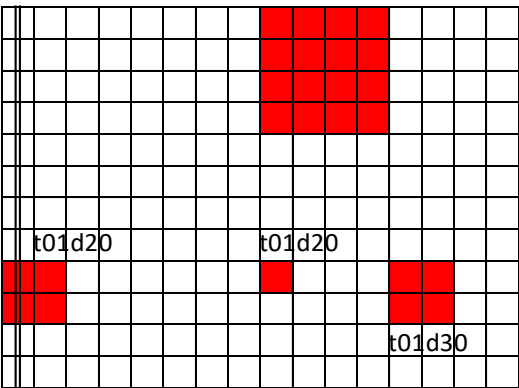


試験体No.3

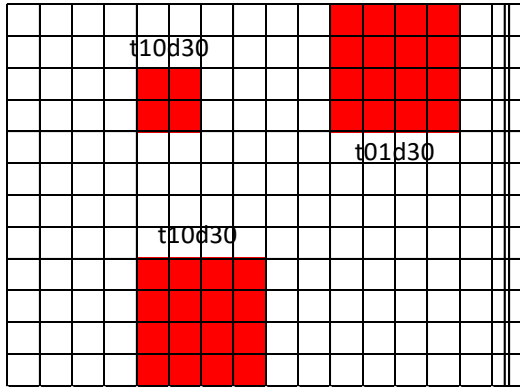
t10d20



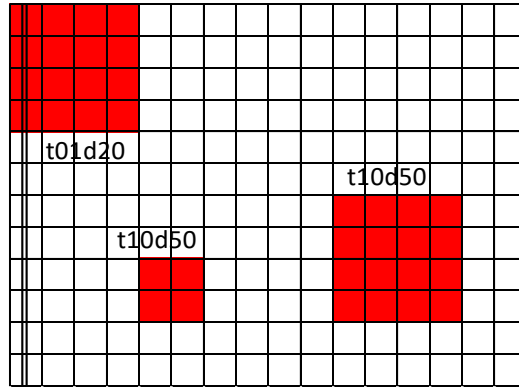
試験体No.4



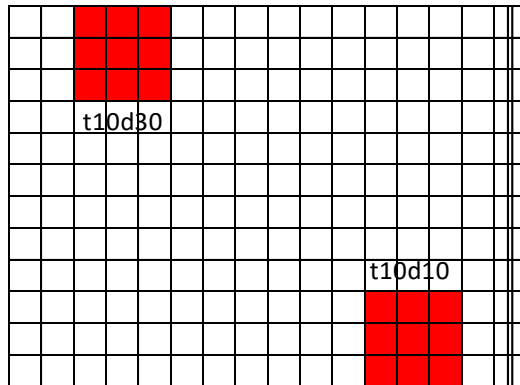
試験体No.7



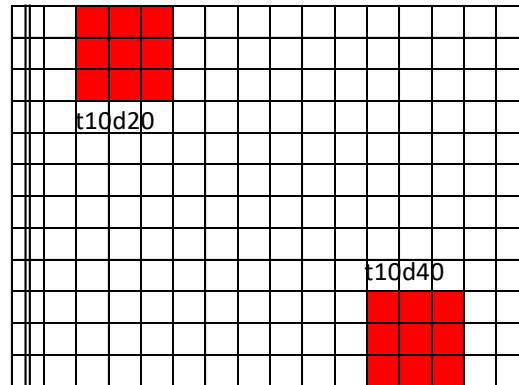
試験体No.8



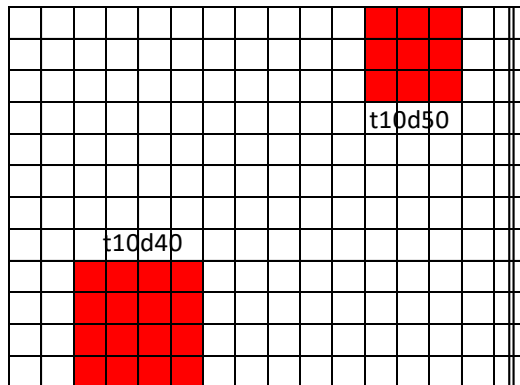
試験体No.9



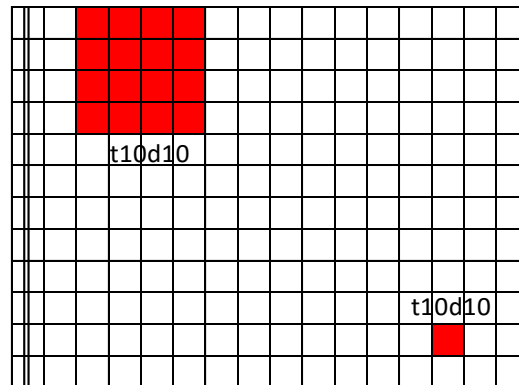
試験体No.10



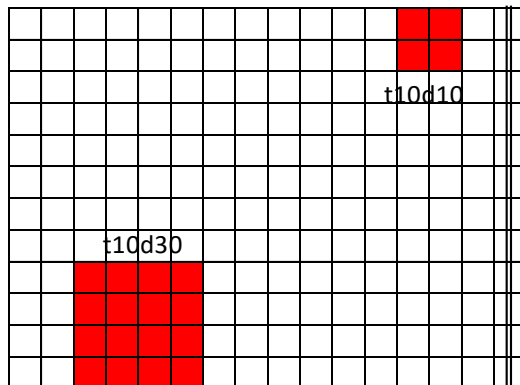
試験体No.11



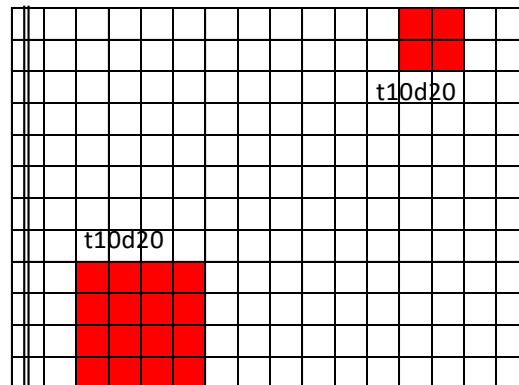
試験体No.12



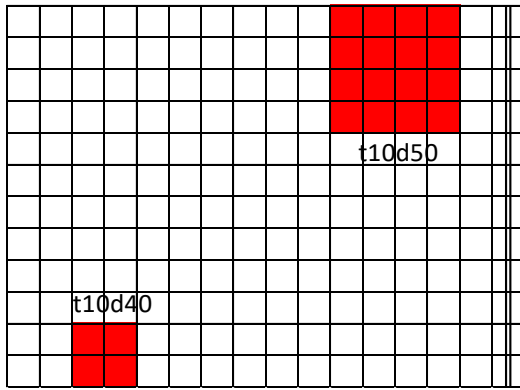
試験体No.13



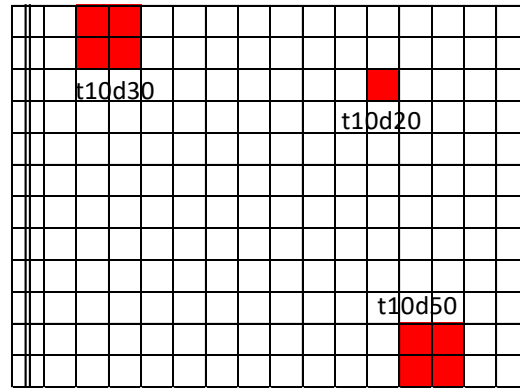
試験体No.14



試験体No.15



試験体No.16



・目地部の変状を検出対象とした場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
238
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
208
(3)供試体内の空洞箇所数
391

※表面はく離箇所を除く

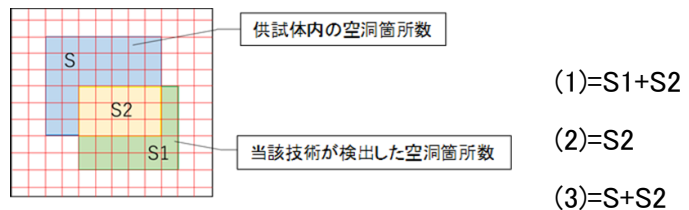
検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.532	0.874

・目地部の変状を検出対象としない場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
231
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
202
(3)供試体内の空洞箇所数
377

※表面はく離箇所を除く

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.536	0.874



技術番号 TN020002-V0323

技術名 道路性状測定車両イーグル(トンネル形状計測)

開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 令和2年 1 月 17 日

天候 曇り

気温 6 °C

風速 2.6 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目 うき・はく離(段差があるもの)

試験区分 標準試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(うき・はく離)、位置精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① トンネル外にて、計測機器とPCを接続し、動作確認を行う。
- ② 計測対象であるうきの模擬体付近に車両を停車させて、カメラのピント等の調整を行う。実現場では、停車せずにトンネルを通り抜けて、取得した画像からカメラの調整を行うが、今回はトンネル西口が封鎖されており、通り抜けが出来なかったことと、1社のみでの検証であったため、トンネル内に停車して調整した。
- ③ その後、対象物(模擬体・マーカー)の走行計測を行う。トンネル西口が封鎖されているため、低速度(10km/h程度)での計測であった。走行後はバックでトンネル東口まで戻り、合計2回計測を行った。
- ④ 1度の計測ごとに、社内のPCでデータが正常に取得できていることを確認する。
- ⑤ うきの模擬体、マーカーを設置時に計測しておいた距離等を、今回計測結果と比較し、検出精度、位置精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



写真-3



写真-4



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

写真-5



写真-6



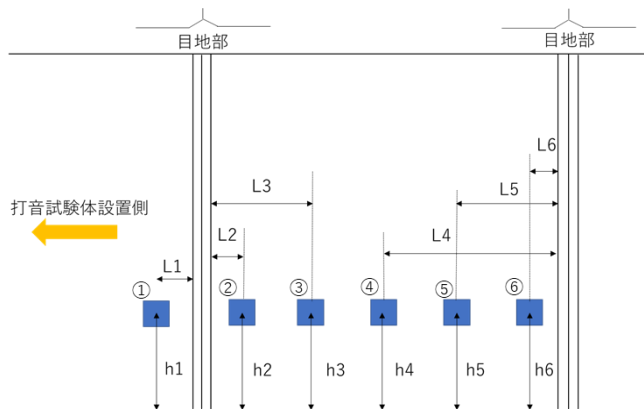
計測結果の比較

○計測精度(うき・はく離)

※走行速度:10(km/h)で計測

・うきの厚さ、サイズ計測結果

	うき					
	①	②	③	④	⑤	⑥
検出厚さ(mm)	3.5	3.6	3.4	5.4	5.5	5
真値(mm)	3	3	3	5	5	5
誤差(検出厚さ-真値)	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5	0
検出サイズ(mm ²)	2352	9792	39104	2400	9792	39292
真値(mm ²)	2500	10000	40000	2500	10000	40000
誤差(検出サイズ-真値)	-148	-208	-896	-100	-208	-708



○位置精度

※走行速度:10(km/h)で計測

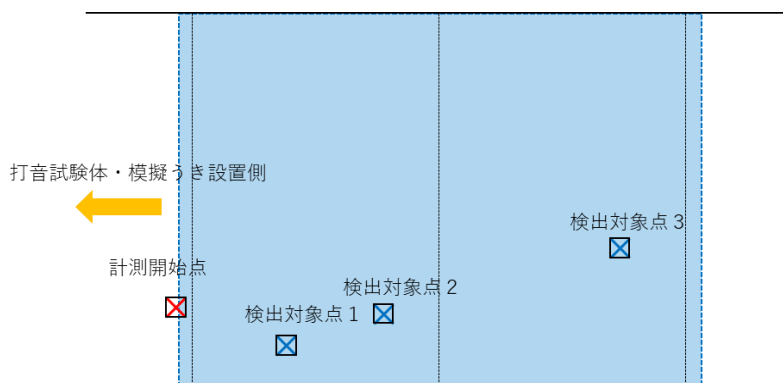
計測結果		
検出対象点	トンネル延長方向(cm)	トンネル周方向(cm)
1	193.8	50.2
2	402.5	1.4
3	799.3	97.8

真値		
検出対象点	トンネル延長方向(cm)	トンネル周方向(cm)
1	192	52
2	400	0
3	800	99

誤差(計測結果-真値)		
検出対象点	トンネル延長方向(cm)	トンネル周方向(cm)
1	1.8	-1.8
2	2.5	1.4
3	-0.7	-1.2

・位置精度(トンネル延長方向・周方向の誤差平均)

トンネル延長方向(mm)	トンネル周方向(mm)
16.7	14.7



技術番号 TN020002-V0323

技術名 道路性状測定車両イーグル(トンネル形状計測) 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

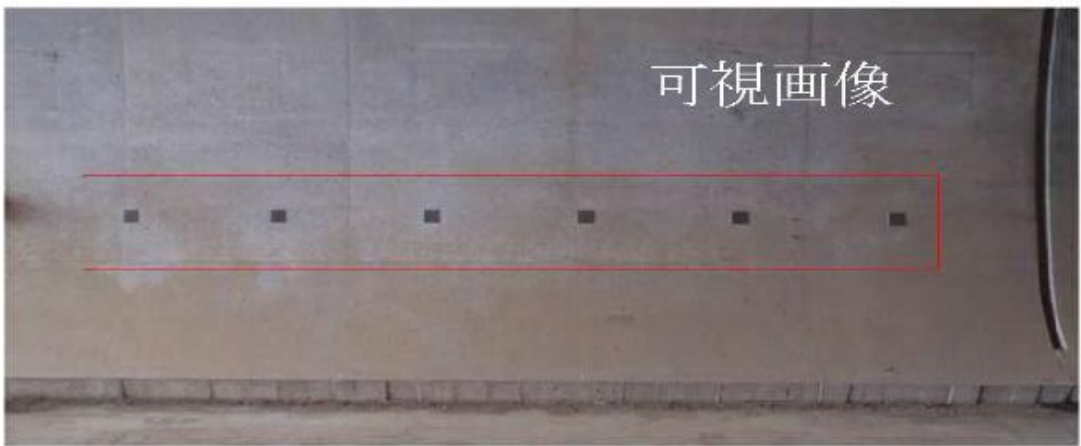
試験日 平成26年10月30日～31日 天候 曇り 気温 21.4 °C 風速 1.4 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離(段差があるもの) 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(うき・はく離)、形状計測

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① トンネル外にて、計測機器とPCを接続し、動作確認を行う。
- ② 計測対象トンネルを通り抜けて、カメラのピント等の調整を行う。
- ③ その後、対象物(模擬体)の走行計測を行う。現地条件上、低速度(20km/h程度)での計測であった。
- ④ 1度の計測ごとに、社内のPCでデータが正常に取得できていることを確認する。
- ⑤ うきの模擬体の凹凸形状を、今回計測結果と比較し、検出精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



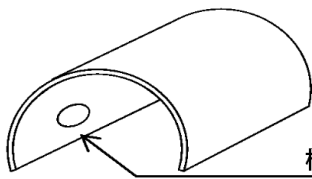
写真-3



写真-4



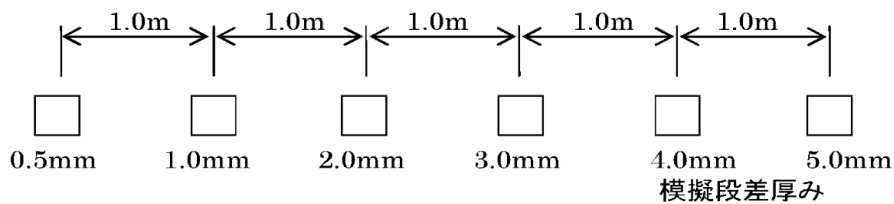
比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況



模擬段差設置エリア



模擬段差
□100×100mm
厚さ 0.5~5.0mm



模擬段差設置状況

計測結果の比較

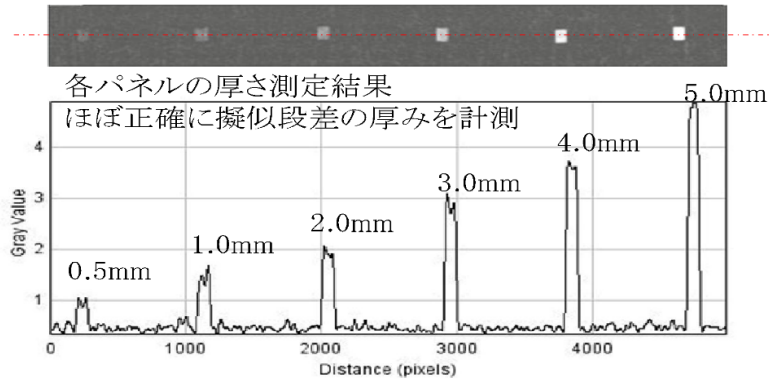
○計測精度(うき・はく離)

※走行速度:20(km/h)で計測

・うきの模擬体の凹凸形状計測結果

形状計測結果

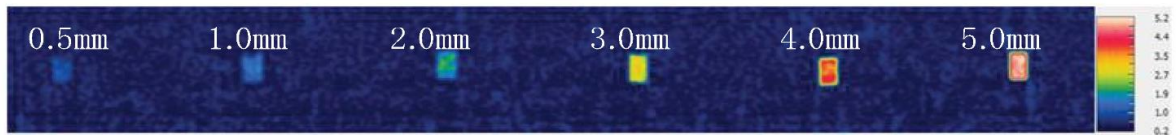
赤枠内の模擬段差(強調表示画像)



形状計測結果(模擬段差箇所の高さデータ)

段差の自動抽出結果

模擬段差箇所の段差量のカラースケール表示例



模擬段差箇所の段差の自動抽出例



0.5mmの擬似段差を自動抽出

0.5~1mmの段差=青、1~2mmの段差=黄、2mm~=赤表示

形状計測:凹凸0.5mm以上検出可能

技術番号 TN020003-V0323

技術名 レーザー打音検査装置 開発者名 (株)フotonラボ

試験日 令和元年 11 月 29 日 天候 晴れ 気温 19 °C 風速 0 m/s

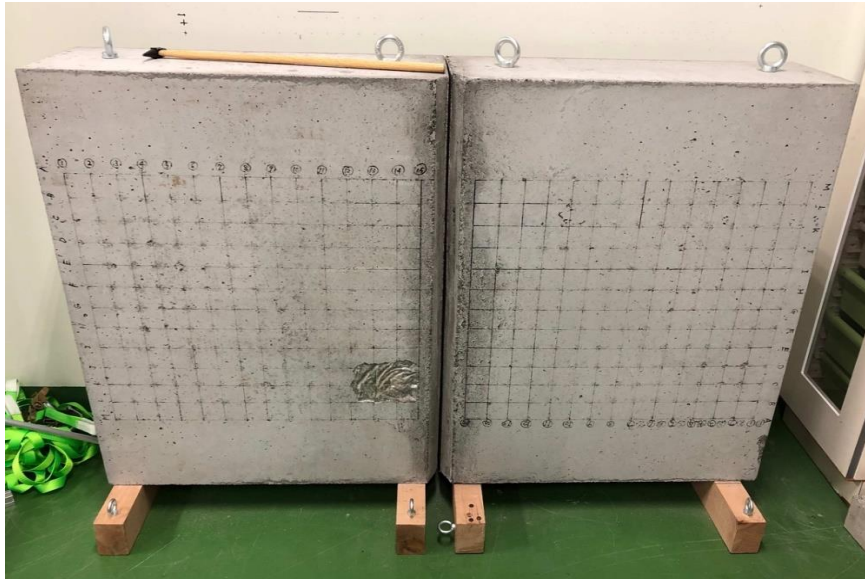
試験場所 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
関西光科学研究所実験棟実験室

カタログ分類 非破壊計測技術(トンネル) カタログ 検出項目 うき・はく離 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測速度

対象構造物の概要

- ① 供試体 (No.2, 8) を目地部を隣接させるように設置



試験方法(手順)

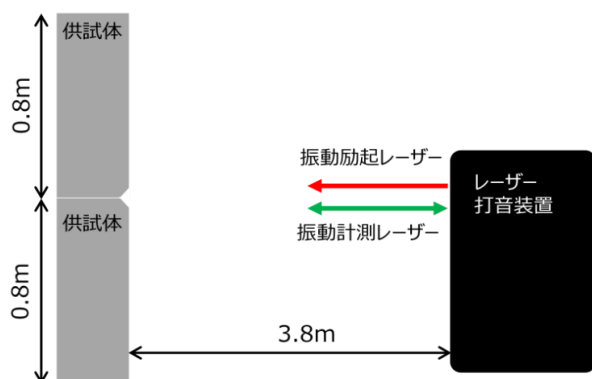
- ① 供試体 (No.2, 8) を並べて配置する。(目地部を組み合わせ)

② 模擬欠陥の領域 (60cmx150cm) に対して、計測間隔:3cm、1回のスキャン範囲 (計測領域面積):30cmx30cm (11点x11点=合計121点) ずつ計測を実施する。#この1回分のスキャン範囲 (計測領域) を1面と呼ぶこととする。
この時、レーザー打音装置は毎秒10回計測する。

③ 垂直報告に2面 (30cmx2回=60cm)、水平方向に5面 (30cmx5回=150cm) の合計10面分の計測時間を計測する。

開発者による計測機器の設置状況

- ① 供試体からレーザー打音装置(レーザー出射口)から設置した供試体の中心の位置まで3.8mである

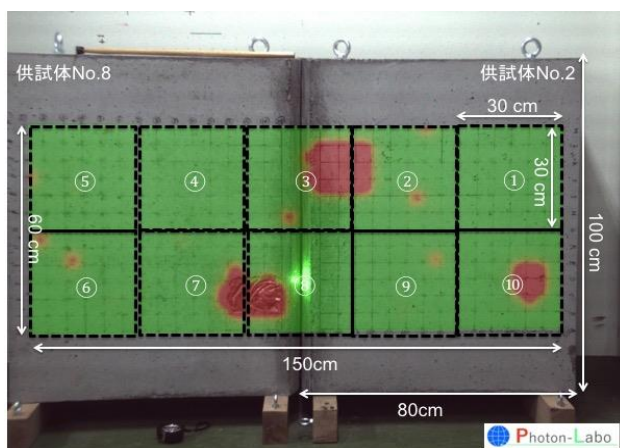


比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

特になし

計測結果の比較

- ① 幅10cm程度の目地の内部まで計測するために、計測間隔を3cmに設定する。S/Nの向上のために計測箇所1点につき3回打音計測する。
- ② 1回の計測領域を30cm x 30cmと設定する。
- ③ 1回の移動時間が短い(5秒/回)に下の①~⑩まで移動させながらスキャン範囲10面分の計測対象領域(垂直方向:60cm、水平方向:150cm)を計測する。(下記図参照)



1面あたり計測範囲: 0.09 m²
 1面あたり計測回数: 363回
 1面あたり計測時間: 36.3秒
 1回あたり移動時間: 5秒
 計測領域(0.9 m²)の計測時間: 408秒(約7分) → 1m²あたりの計測時間: 453秒(約7.5分)

計測面積(m ²)	計測時間(min)	計測速度(m ² /min)
0.9 m ²	6.8 (min)	0.132(m ² /min)

技術番号	TN020003-V0323				
技術名	レーザー打音検査装置	開発者名	(株)フォトンラボ		
試験日	令和元年 11 月 29 日	天候	晴れ	気温	19 °C
		風速	0 m/s		
試験場所	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所実験棟実験室				
カタログ分類	非破壊計測技術(トンネル) カタログ	検出項目	うき・はく離	試験区分	標準試験

試験で確認する カタログ項目	計測精度
-------------------	------

対象構造物の概要

① 供試体 (No.2, 8) (No.4, 7) を目地部を隣接させるように設置 (計測速度評価と同様の配置)

試験方法 (手順)

- ① 供試体 (No.2, 8) (No.4,7) を並べて配置する。(目地部を組み合わせ)
- ② 模擬欠陥の領域 (60cmx150cm) に対して、計測間隔:3cm、1回の計測領域面積:30cmx30cm (11点x11点=合計121点) ずつ計測を実施する。
- ③ 計測した振動スペクトルを解析し、検知した打音異常部を赤、健全部を緑色で表記する。

開発者による計測機器の設置状況

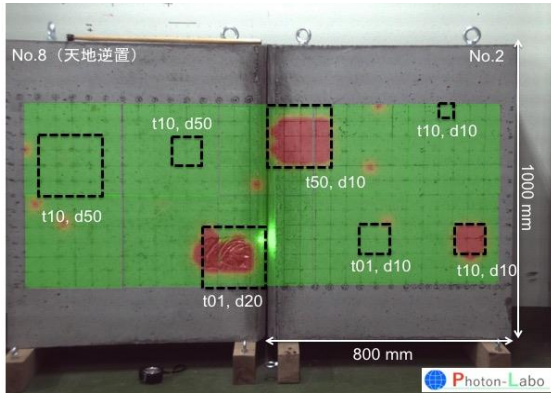
- ① 供試体からレーザー打音装置 (レーザー出射口) から設置した供試体の中心の位置まで3.8mである。
(計測速度評価と同様の配置)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

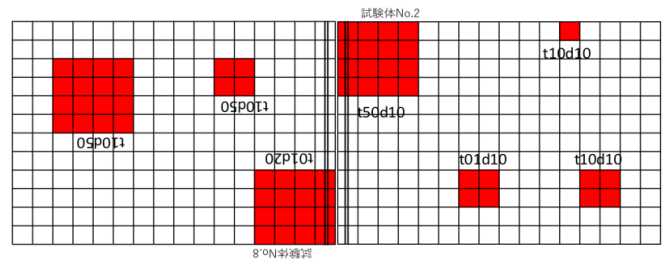
特になし

計測結果の比較

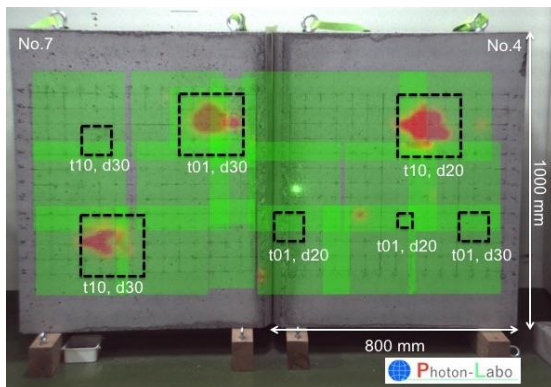
- ① 幅10cm程度の目地の内部まで計測するために、計測間隔を3cmに設定する。毎秒10回の計測を行う。S/Nの向上のために、1ヶ所を3回計測する。
- ② 1回の計測領域を30cm x 30cmと設定する。
- ③ No.8(天地逆置)、No.2の計測結果



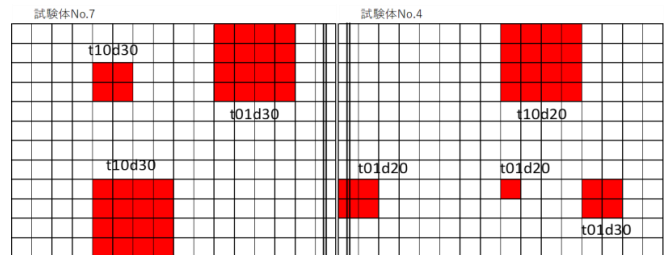
No.8(天地逆置)、No.2の正解



- ④ No.7、No.4の計測結果



No.7、No.4の正解



※供試体の計測エリアは、1マス50mm x 50mmとする。

・目地部を含む

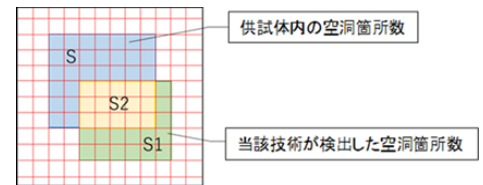
(1)当該技術により検出した空洞箇所数
62
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
52
(3)供試体内の空洞箇所数
122

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.43	0.84

・目地部を含まない

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
59
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
49
(3)供試体内の空洞箇所数
112

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.44	0.83



(1)=S1+S2

(2)=S2

(3)=S+S2

技術番号 TN020004-V0323

技術名 天秤方式移動型レーダ探査技術

開発者名 (株)ウォールナット

試験日 令和2年 1 月 15 日

天候 晴れ

気温 7 °C

風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等

試験フェーズ 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)、位置精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 台車に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
- ② アンテナ部が試験体上を真つすぐ移動するようにして、試験体1～16までをまとめて計測する。1人がアンテナ部、1人が台車部を持ち、同時に移動させる。1度に計測可能な幅が数十センチ程度のため、3測線で計測。
- ③ 移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
- ④ 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2

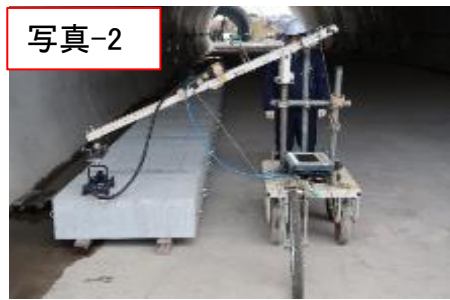


写真-3



写真-4



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-5



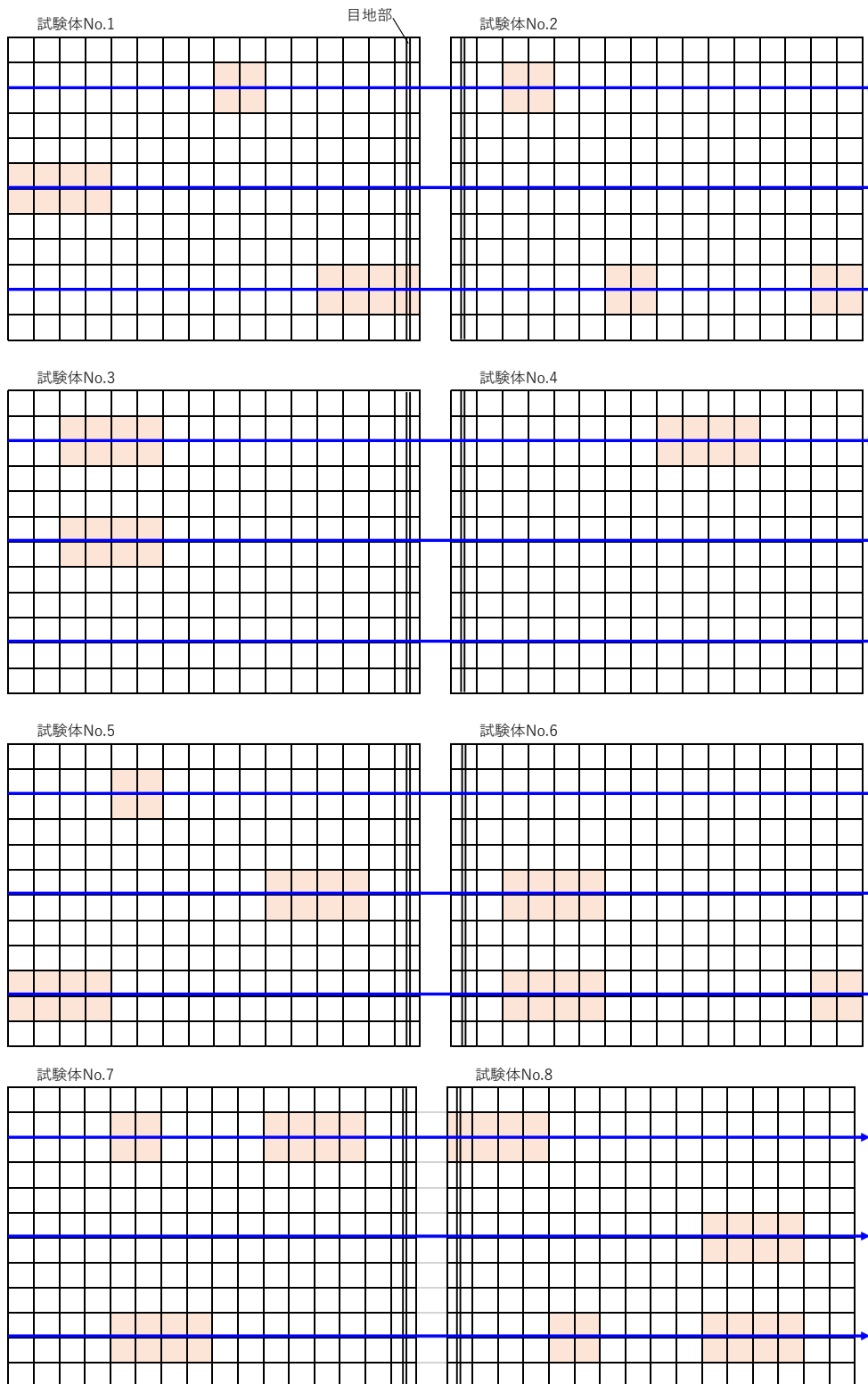
写真-6



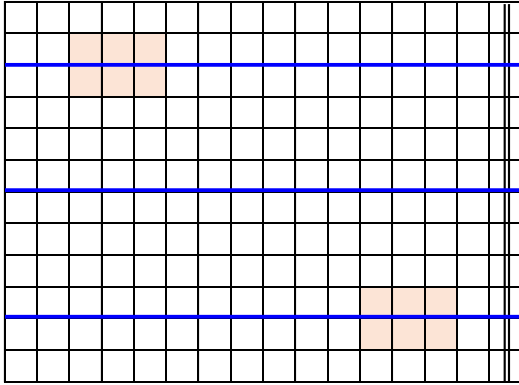
計測結果の比較

○計測精度(表面空洞)

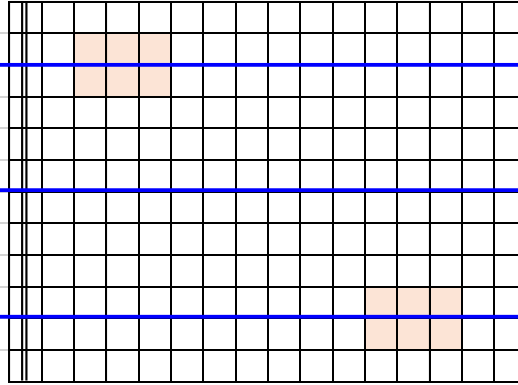
・当該技術による計測結果



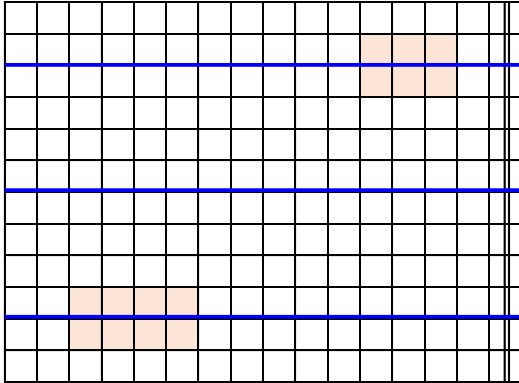
試験体No.9



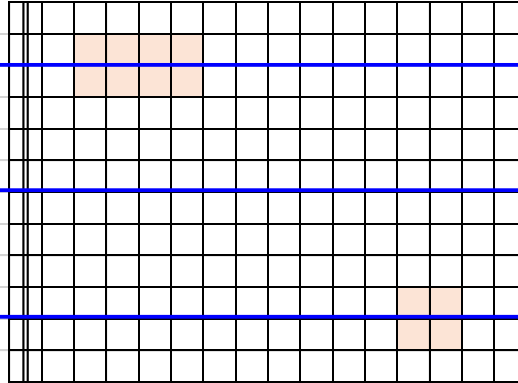
試験体No.10



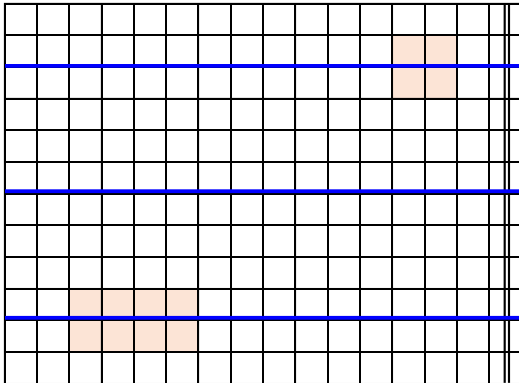
試験体No.11



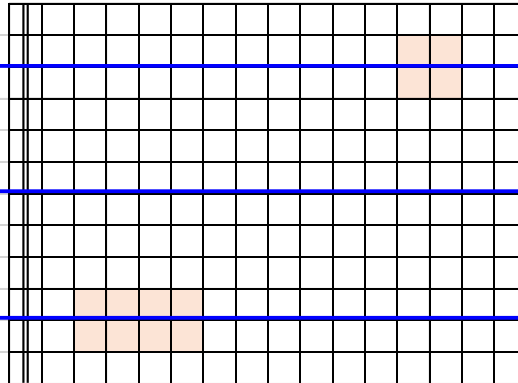
試験体No.12



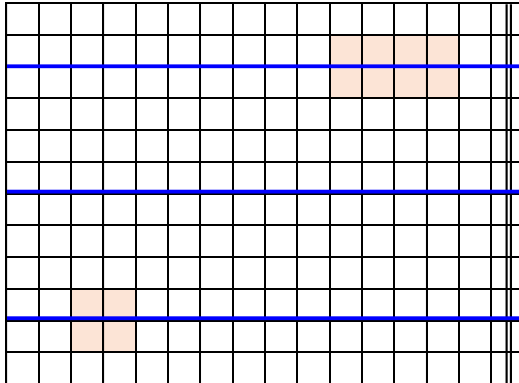
試験体No.13



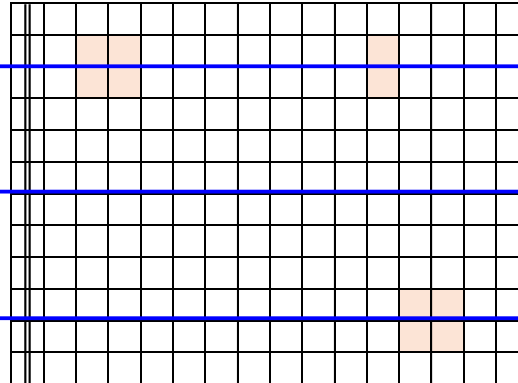
試験体No.14



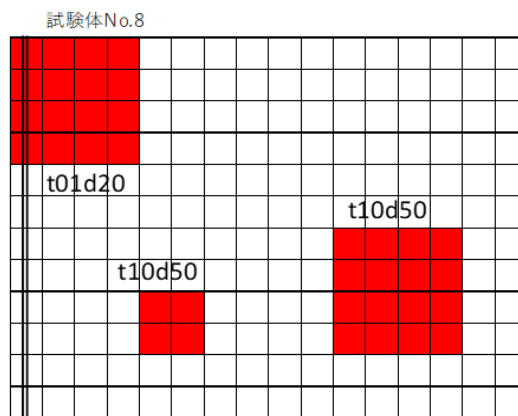
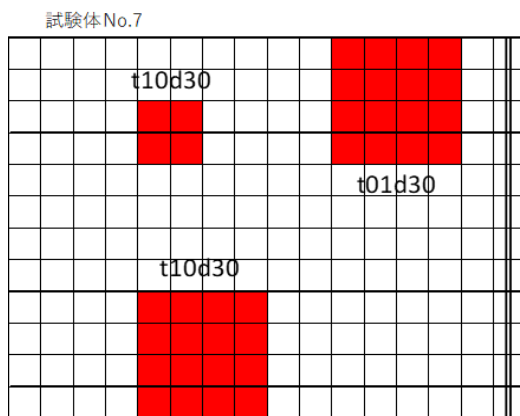
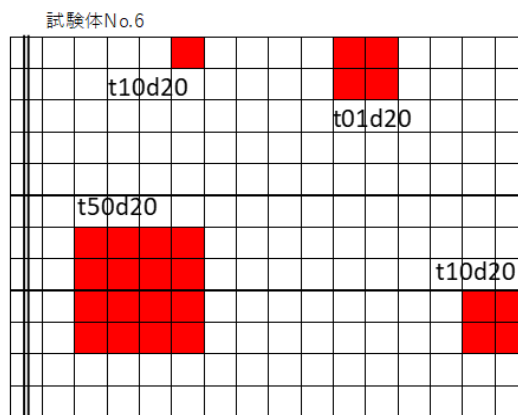
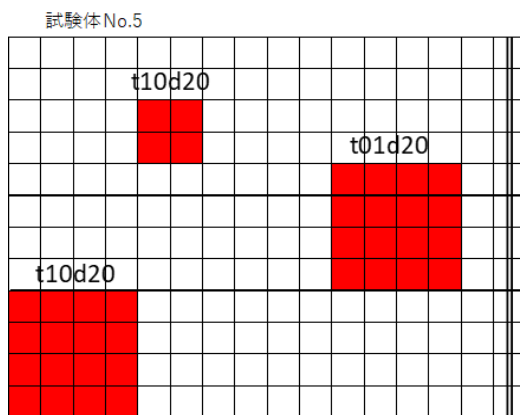
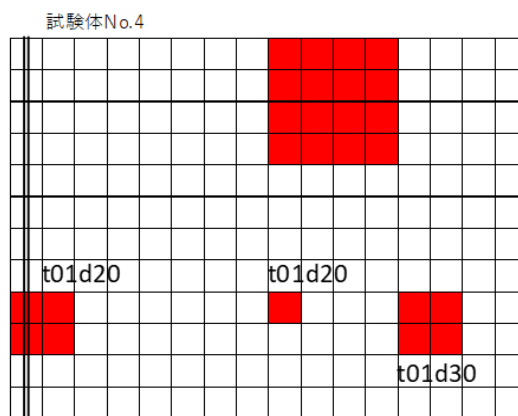
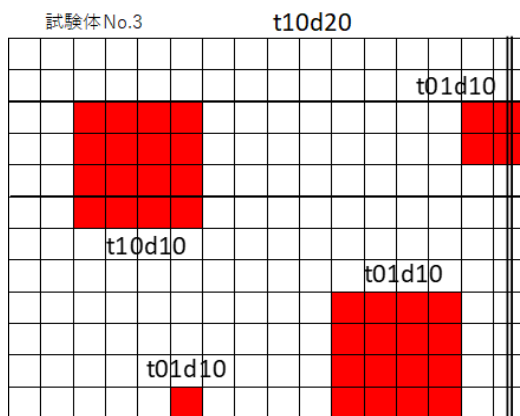
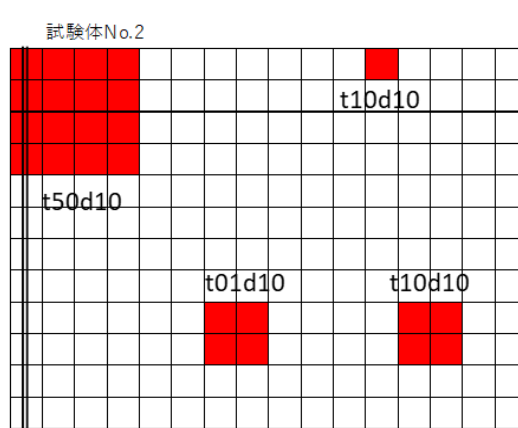
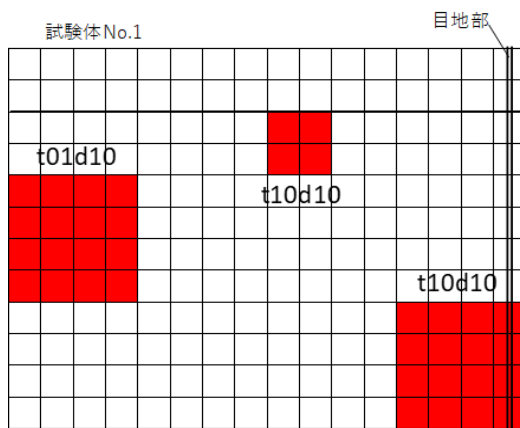
試験体No.15



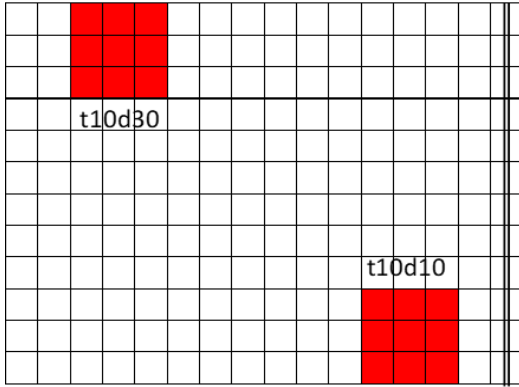
試験体No.16



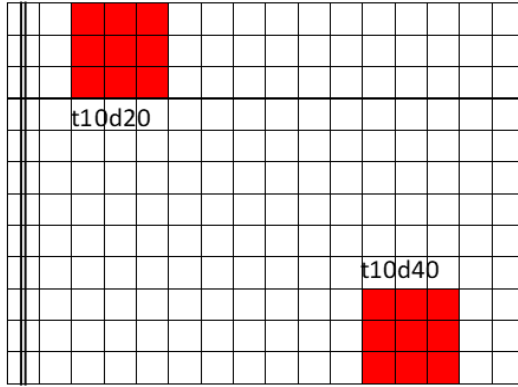
・正解位置



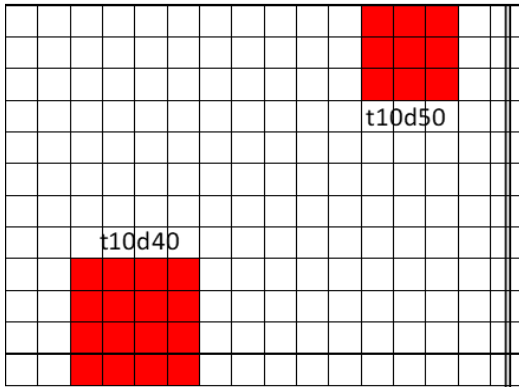
試験体No.9



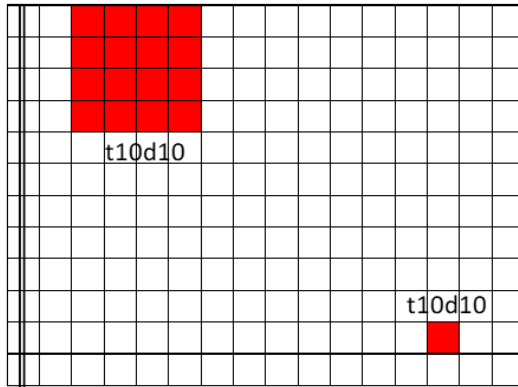
試験体No.10



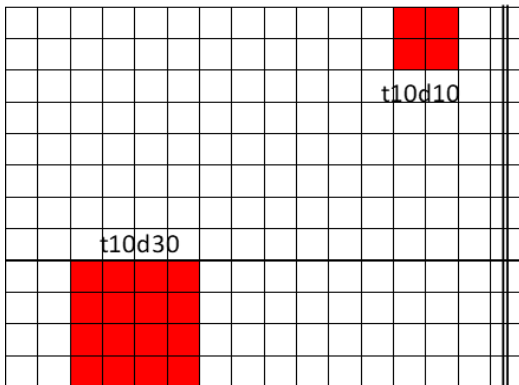
試験体No.11



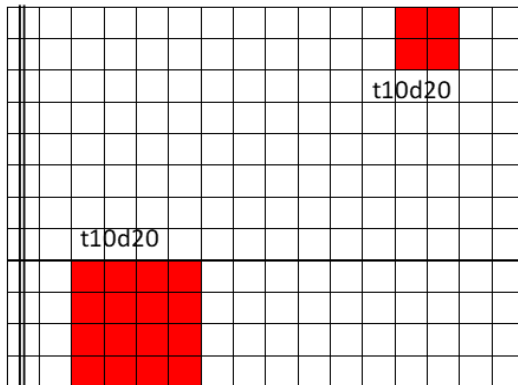
試験体No.12



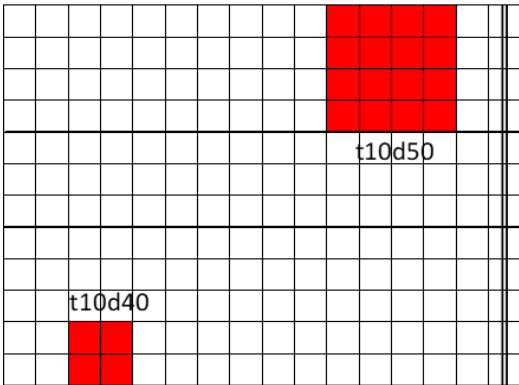
試験体No.13



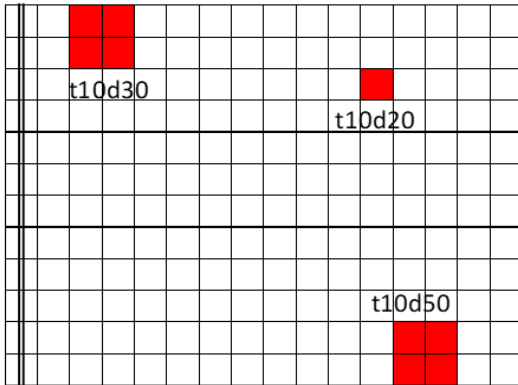
試験体No.14



試験体No.15



試験体No.16



・目地部の変状を検出対象とした場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
240
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
188
(3)供試体内の空洞箇所数
208

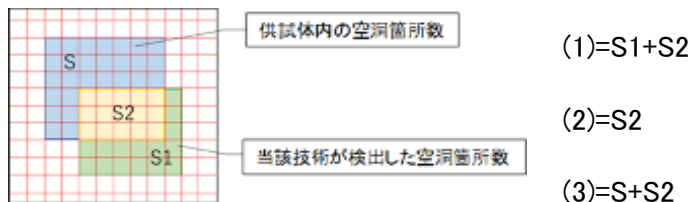
※今回行った3測線で計測可能な範囲での検出率・的中率である。3測線では、試験体全体をカバーすることは出来なかった。

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.903	0.783

・目地部の変状を検出対象としない場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
236
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
184
(3)供試体内の空洞箇所数
192

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.958	0.780



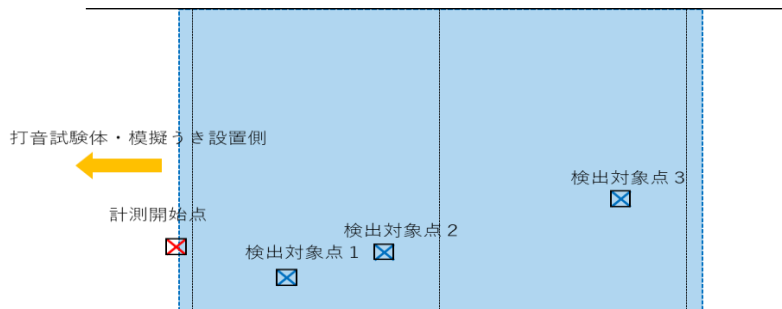
○位置精度

※本技術は、測線を指定して計測する技術のため、トンネル周方向の位置精度は対象外である。

計測結果		
検出対象点	トンネル延長方向(cm)	トンネル周方向(cm)
1	196	-
2	396	-
3	780	-

真値		
検出対象点	トンネル延長方向(cm)	トンネル周方向(cm)
1	192	52
2	400	0
3	800	99

誤差(計測結果-真値)		
検出対象点	トンネル延長方向(cm)	トンネル周方向(cm)
1	4	-
2	-4	-
3	-20	-



技術番号 TN020004-V0323

技術名 天秤方式移動型レーダ探査技術 開発者名 (株)ウォールナット

試験日 令和2年 1 月 28 日 天候 雨 気温 9 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験フェーズ 性能試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 台車に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
- ② アンテナ部が試験体上を真っすぐ移動するようにして、模擬浮きをまとめて計測する。1人がアンテナ部、1人が車両を運転し、同時に移動させる。
- ③ 移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
- ④ 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



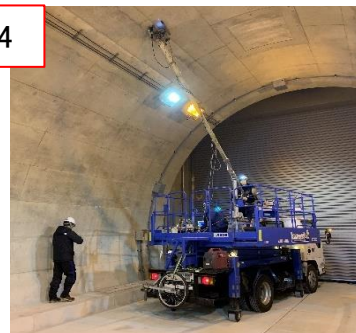
写真-2



写真-3



写真-4



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-5

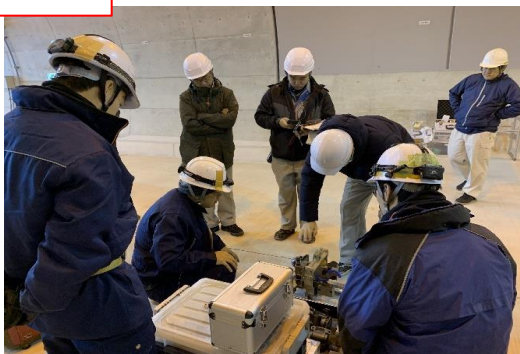


写真-6

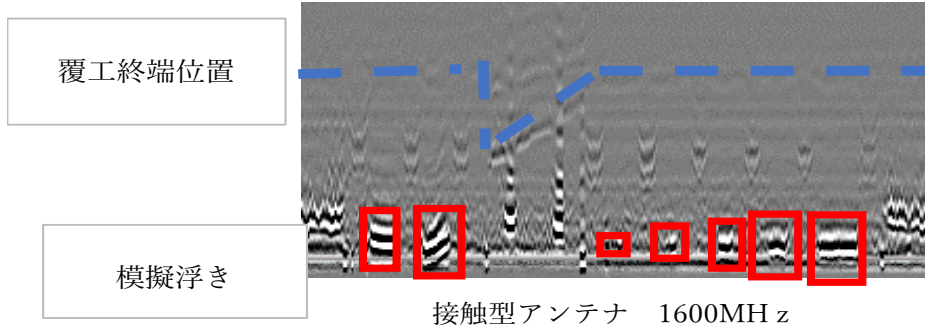


計測結果の比較

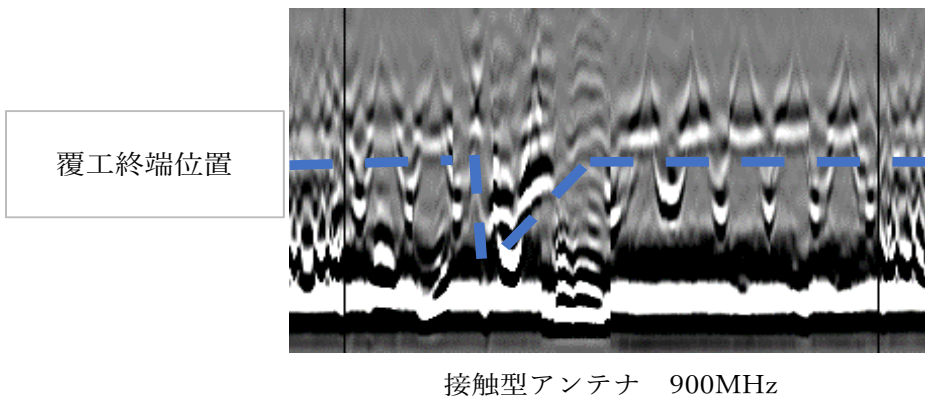
○計測精度(表面空洞)

・当該技術による計測結果 (地中レーダ: 巻き厚・空洞及び模擬浮き)

ケース 1 高周波接触アンテナ



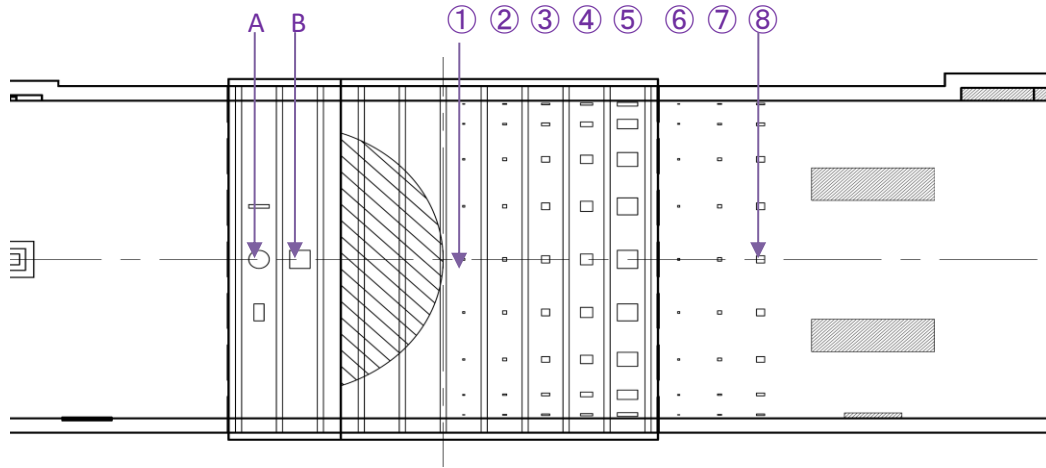
ケース 2 中周波接触アンテナ



・当該技術による計測結果 (自動打音装置)

	1.健全部	2.非健全部 うき 10 mm	3.非健全部 うき 5 mm	4.非健全部 中心(うき無)
DSA 値	262.8	73.5	82.5	126.2

・正解位置

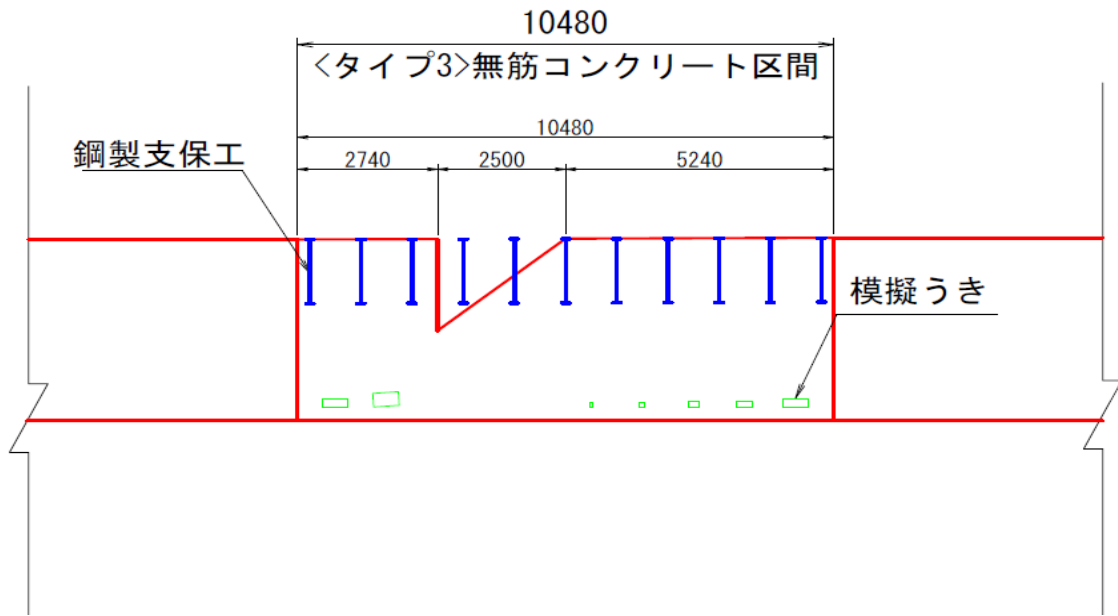


※上図模擬浮き番号対応

模擬うき かぶり30mm 空洞厚10mm	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
大きさ(mm)	50 × 50	100 × 100	200 × 200	300 × 300	500 × 500	50 × 50	100 × 100	200 × 200
検出	○	○	○	○	○	○	○	○

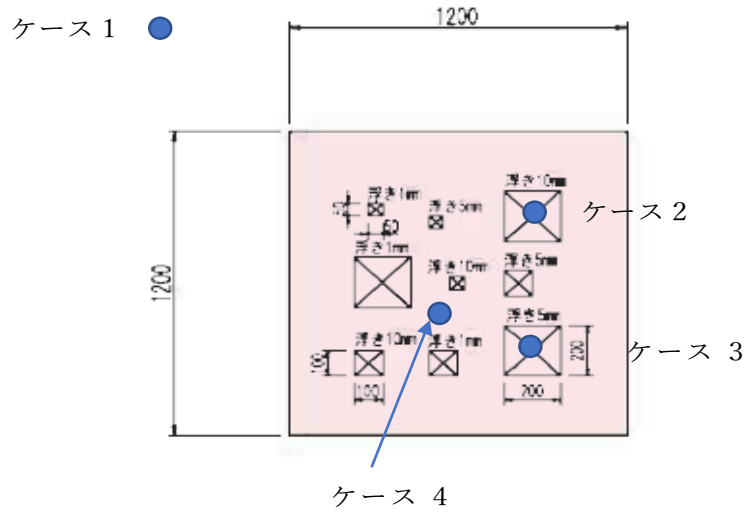
模擬うき	A (円形) かぶり50mm 空洞厚30mm	B (四角) かぶり10~50mm 空洞厚30mm
大きさ(mm)	500 × 500	500 × 500
検出	○	○

平面図を元にした断面図



打音実施位置

被り30mmテストピース



・計測精度 模擬浮き

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
7
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
7
(3)供試体内の空洞箇所数
7

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
1.000	1.000

・計測精度 背面空洞・巻厚不足

(1)当該技術により検出した背面空洞
1
(2)当該技術で検出した巻き厚減少箇所
1

背面空洞の信号検出

巻き厚減少位置の確認

検出率	的中率
1.000	1.000

・計測精度 自動打音

浮きの程度による、変化を数値データにより判別できた。

技術番号 TN020005-V0323

技術名 トンネル点検・診断システム iTOREL(アイトーレル)

開発者名 東急建設(株)

試験日 平成30年 10 月 17 日

天候 晴れ

気温 4 °C

風速 — m/s

試験場所 千葉県内(道路トンネル)

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目 うき・はく離、表面空洞

試験区分 社内試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測速度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 門型フレームのレール(天端、右側壁、左側壁)に打音検査ユニットをそれぞれ1台ずつ取り付け、合計3台のユニットを地上モニタに接続する。
- ② ユニートを動作し、打音データが正常に取得されるかを確認する。また取得されたデータ(振動の波形)を確認し、適切な打音エネルギーとなるように、ハンマーとコンクリート壁面の離隔を調整する。
- ③ 操作員は、点検ユニットをトンネル周方向に沿ってレール上を移動させる。このとき、レール上の移動量をエンコーダで計測しながら200mm間隔でハンマーを駆動させ、打音を発生させる。
- ④ 操作員は、打音と同時に取得される波形データを見て、データが正常に取得されているかを確認する。
- ⑤ 操作員は門型フレームをトンネル延長方向に移動させ、再度レール上に沿って打音データを取得する。点検した面積を、点検終了までに要した時間で除することで計測速度を算出した。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

点検時間の計測と記録を実施

計測結果の比較

○計測速度

・当該技術による計測結果

3台のユニットをフレームに搭載し計測した結果、

点検実施面積 : $200[\text{mm}/\text{ライン}] \times 90[\text{ライン}] \times 13\text{m}(\text{周方向}) = 234\text{m}^2$

■点検時間(フレームの移動に要する時間を含まない場合) : 24秒/ライン

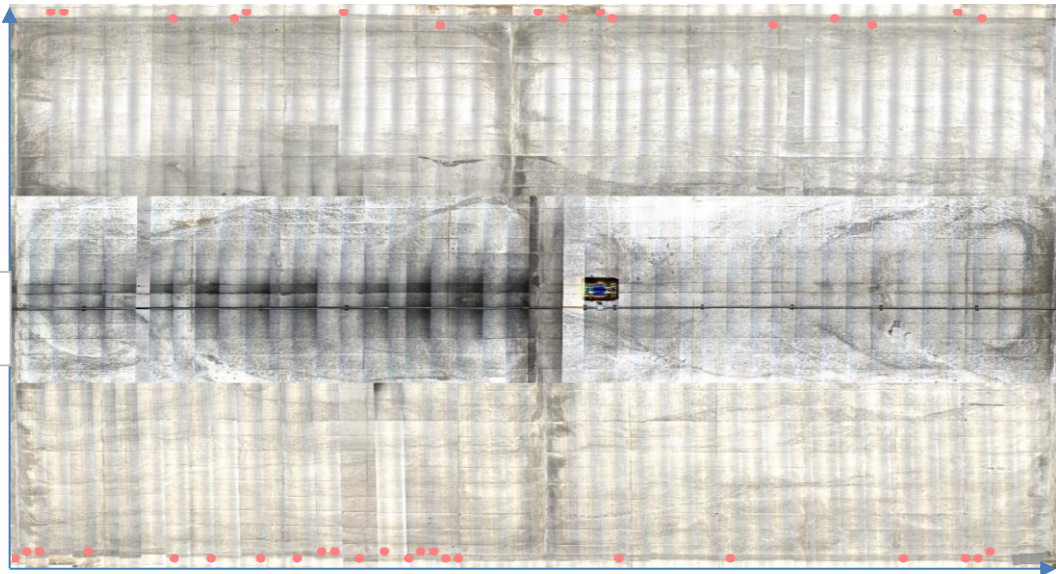
計測速度(計測装置単体) = 点検実施面積 / 点検時間 = $234\text{m}^2 / (24\text{秒} \times 90\text{ライン}) = 6.5 \text{m}^2/\text{分}$

■点検時間(フレーム移動等を含む場合) : 83秒/ライン

計測速度(計測装置単体) = 点検実施面積 / 点検時間 = $234\text{m}^2 / (83\text{秒} \times 90\text{ライン}) = 1.9 \text{m}^2/\text{分}$

点検実施面積: 234m²

周方向:
13.0m



延長方向: 18m (18mにつき90測線)

技術番号 TN020005-V0323

技術名 トンネル点検・診断システム iTOREL(アイトーレル) 開発者名 東急建設(株)

試験日 平成31年 1 月 28 日 天候 晴れ 気温 5 °C 風速 — m/s

試験場所 長崎県内(鉄道トンネル)

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、表面空洞 試験区分 社内試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測速度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

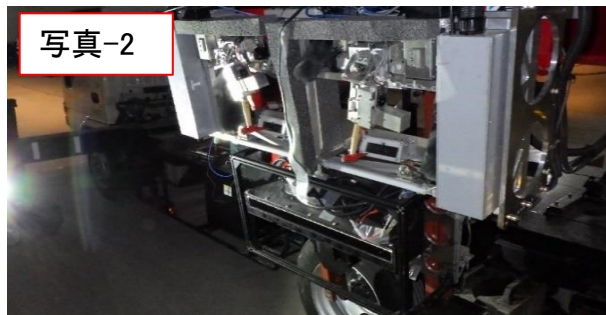
- ① 高所作業車の作業床に組み付けたレールに打音検査ユニットを取り付け、ユニットを地上モニタに接続する。なお、レールには2台の打音点検ユニットを取り付けた。
- ② ユニートを動作し、打音データが正常に取得されるかを確認する。また取得されたデータ(振動の波形)を確認し、適切な打音エネルギーとなるように、ハンマーとコンクリート壁面の離隔を調整する。
- ③ 操作員は、点検ユニットをトンネル周方向に沿ってレール上を移動させる。このとき、レール上の移動量をエンコーダで計測しながら100～250mm間隔でハンマーを駆動させ、打音を発生させる。
- ④ 操作員は、打音と同時に取得される波形データを見て、データが正常に取得されているかを確認する。
- ⑤ 操作員は高所作業車をトンネル延長方向に移動させ、再度レール上に沿って打音データを取得する。トンネル延長方向に1.8mを点検したときの計測時間を、点検面積で除することで計測速度を算出した。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

点検時間の計測と記録を実施

計測結果の比較

○計測速度

・当該技術による計測結果

2台のユニットをフレームに搭載し計測した結果

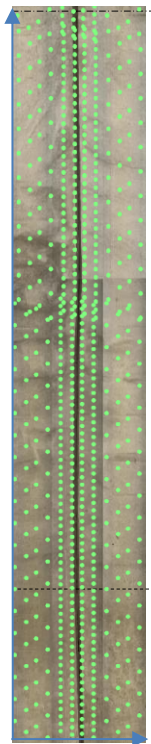
点検実施面積(6測線合計) : $1.8\text{m(延長方向)} \times 10.0\text{m(周方向)} = 18\text{m}^2$

■点検時間(フレーム移動等を含む場合) : 840秒/1箇所

計測速度(計測装置単体) = 点検実施面積 / 点検時間 = $18\text{m}^2 / 840\text{秒} = 1.3\text{ m}^2/\text{分}$

※打撃間隔を継ぎ目周辺を100mmピッチ、それ以外を250mmピッチで打撃した際の時間

周方向:10.0m



延長方向:1.8m

点検実施エリア(緑:装置による打撃位置)

【点検条件】

- ・打撃装置はハンマーを左右に揺動させながら2つの測線を同時に打撃
- ・打撃間隔は継ぎ目周辺は50mm、継ぎ目周辺以外は125mm間隔に設定(揺動させるため、各測線での打撃間隔は継ぎ目周辺は100mm、継ぎ目周辺以外は250mm)

技術番号 TN020005-V0323

技術名 トンネル点検・診断システム iTOREL(アイトーレル) 開発者名 東急建設(株)

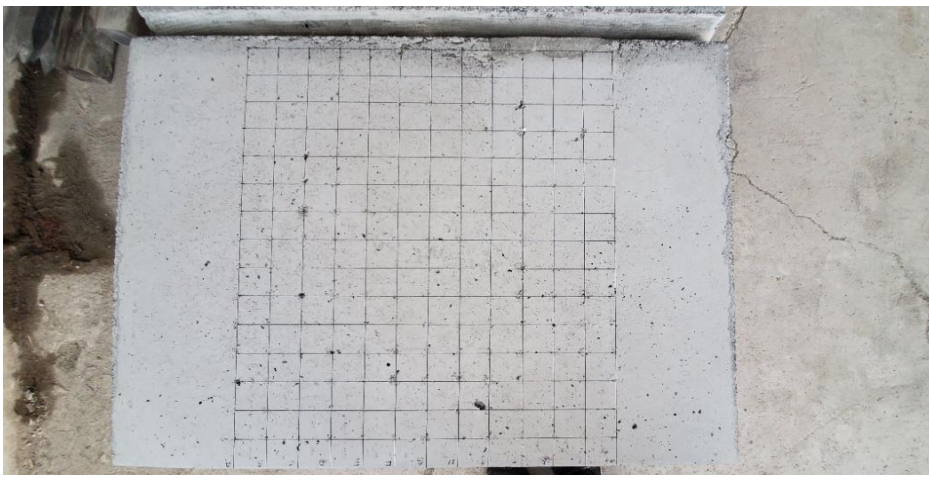
試験日 令和2年 1 月 14 日 天候 晴れ 気温 9 °C 風速 — m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、表面空洞 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(表面空洞)

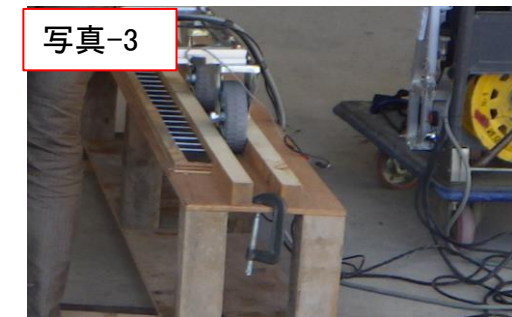
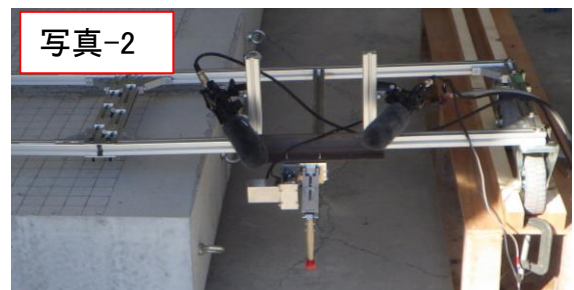
対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 試験体の幅に合うようにレールを設置し、打音検査ユニットの打撃装置とマイク(集音装置)が取り付けられた実験用フレームをレールにセットする。打撃装置とマイクを判定用PC(自動変状抽出システム)とケーブルで接続、判定用PCと操作用タブレットPCをLANケーブルで接続する。(写真-1)
- ② ハンマで打撃し、正常な打音データ(スペクトルデータ)が取得できるようアンプを調整する。打撃装置の高さを調整して適切な打撃角度でハンマをコンクリート表面に接触させる(通常は自動制御)。(写真-2)
- ③ ハンマを連続的に打撃させた状態で、実験用フレームをレールに沿って移動させる。レールの脇に50mm間隔で反射板を取り付け(写真-3)、センサで検知することでレール方向の打撃位置を計測する。実験用フレーム上の打撃装置とマイクの横方向の位置をずらしながら1試験体につき12測線の計測を行う。両方向の位置を調整しながら1マスにつき1回の打音データが取得できるように計測を行った。
- ④ タブレットPC操作員は、打音と同時に取得される波形データを見て、データが正常に取得されているかを確認する。
- ⑤ 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況



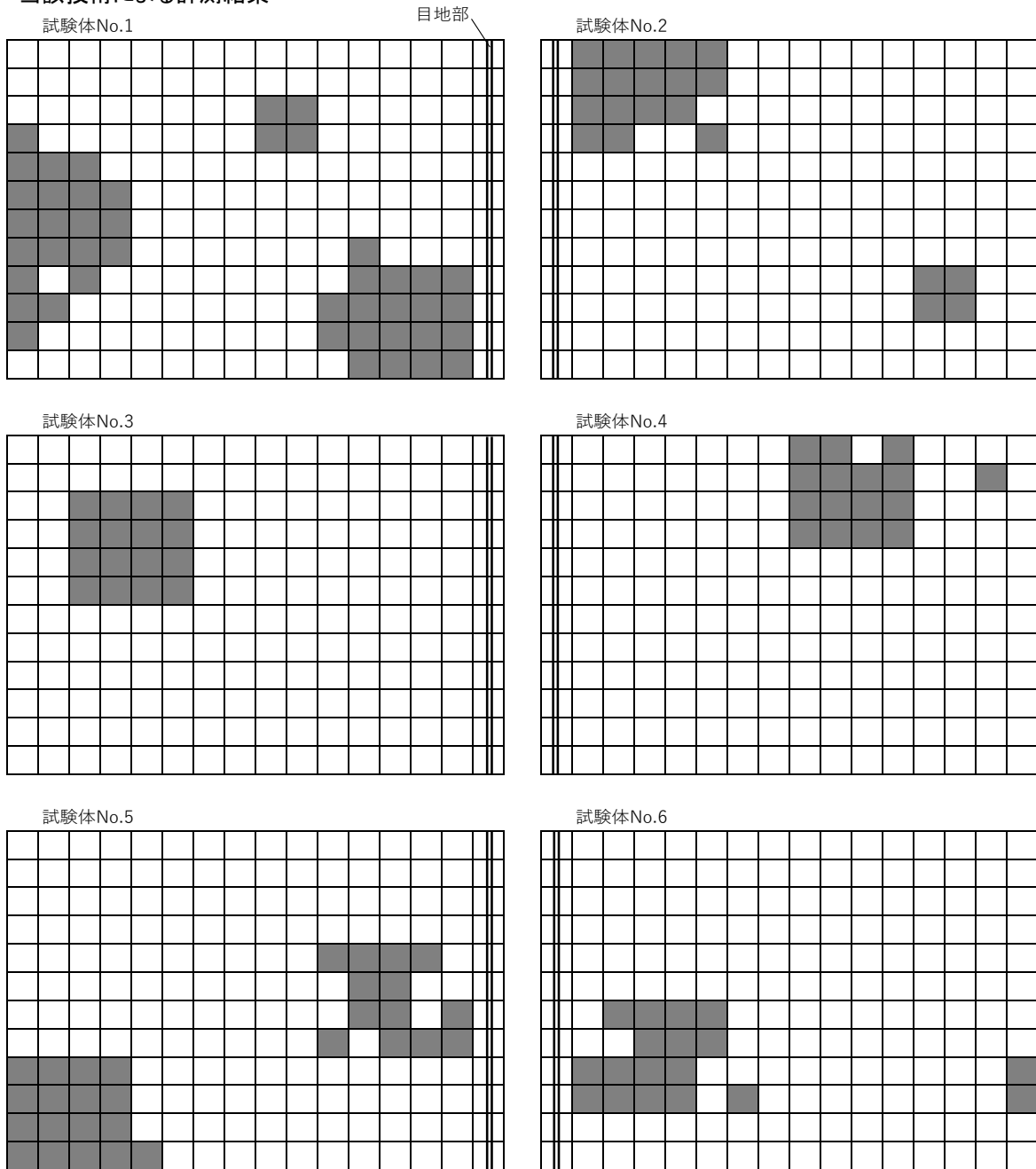
比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※試験用トンネルであり、変状位置が既知であるため未実施

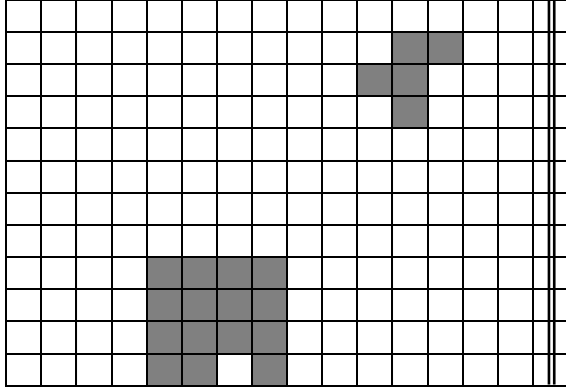
計測結果の比較

○計測精度(表面空洞)

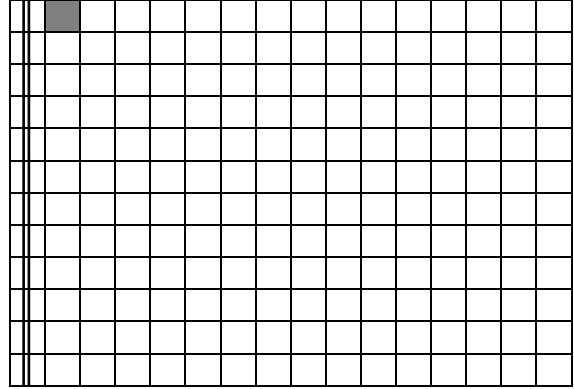
・当該技術による計測結果



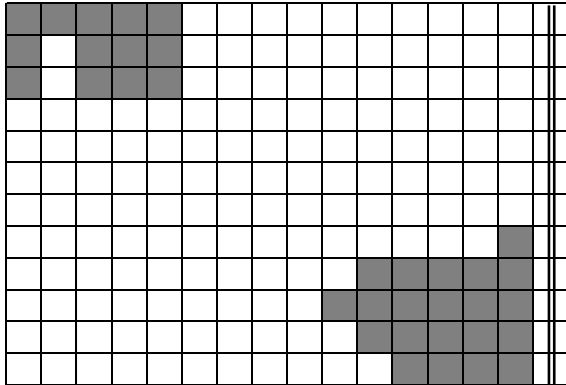
試験体No.7



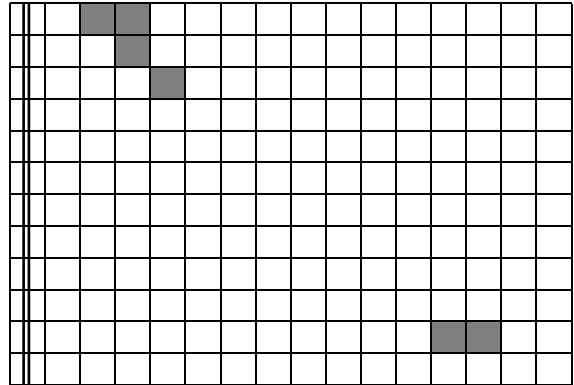
試験体No.8



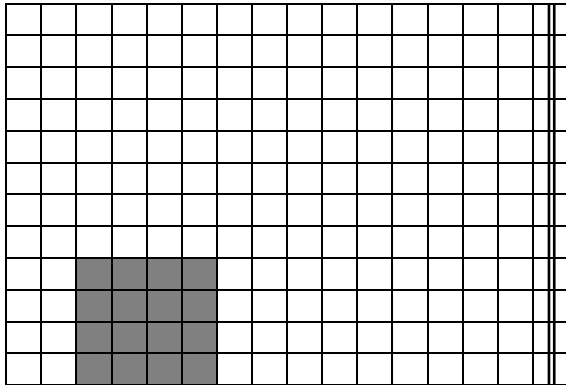
試験体No.9



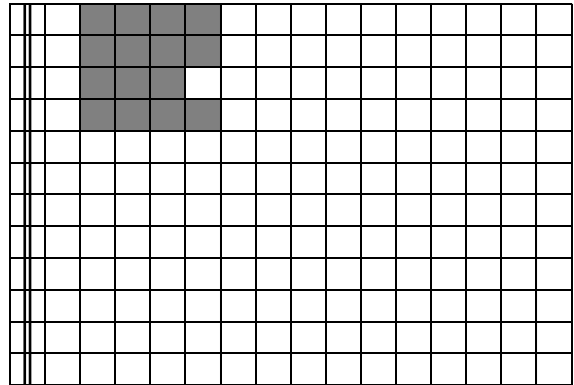
試験体No.10



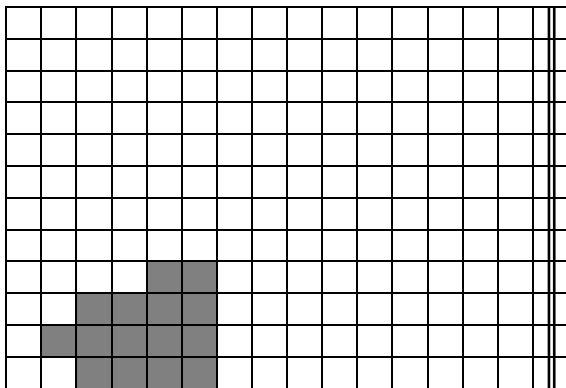
試験体No.11



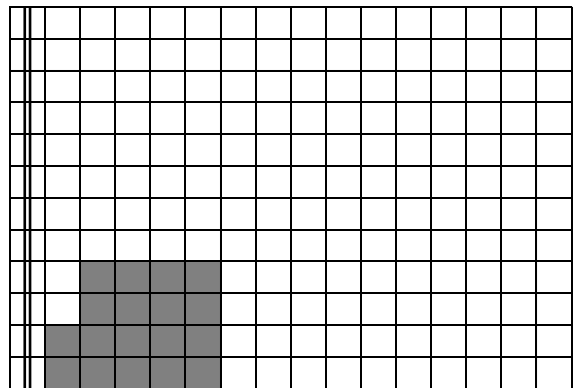
試験体No.12



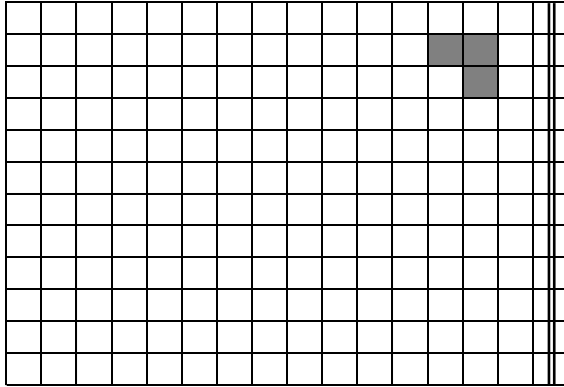
試験体No.13



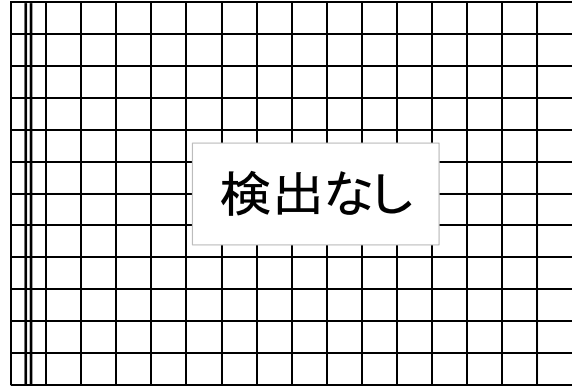
試験体No.14



試験体No.15



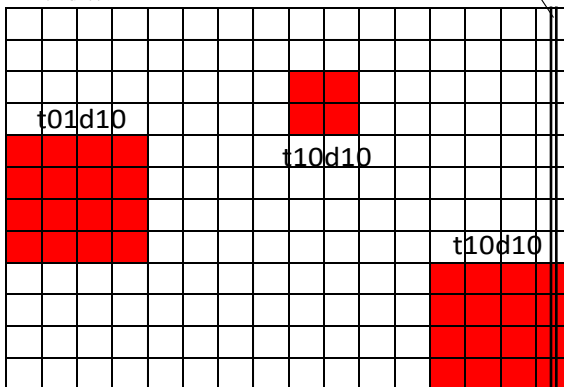
試験体No.16



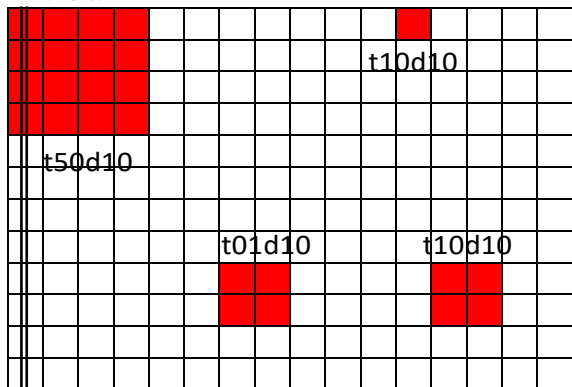
・正解位置

試験体No.1

目地部

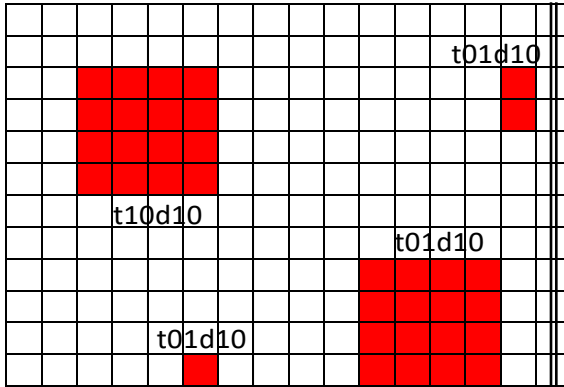


試験体No.2

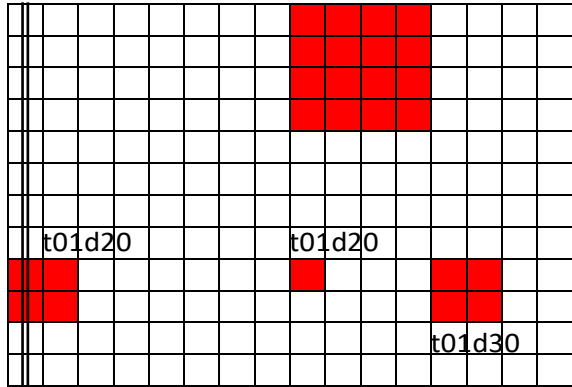


試験体No.3

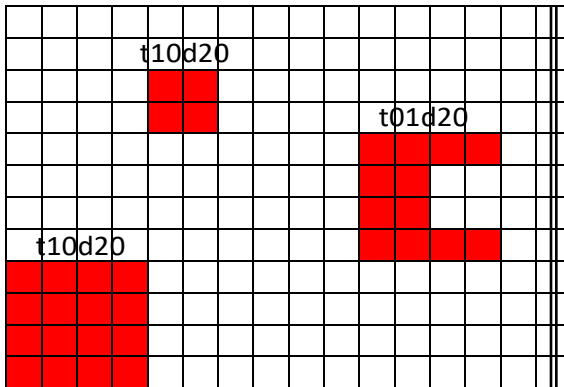
t10d20



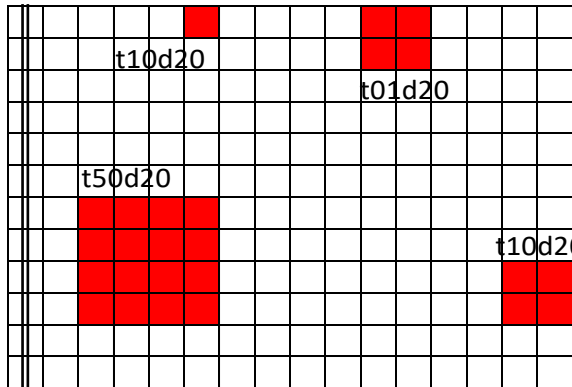
試験体No.4



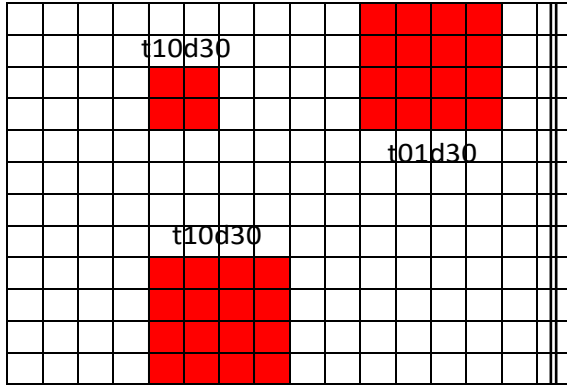
試験体No.5



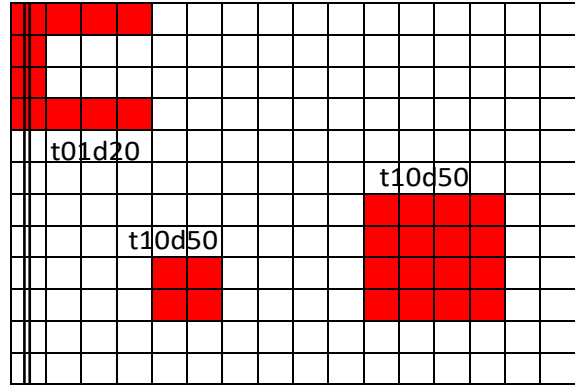
試験体No.6



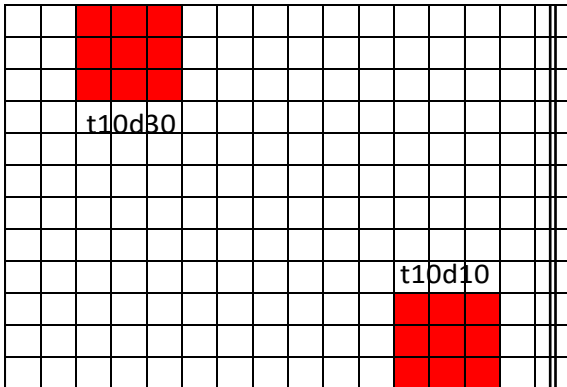
試験体No.7



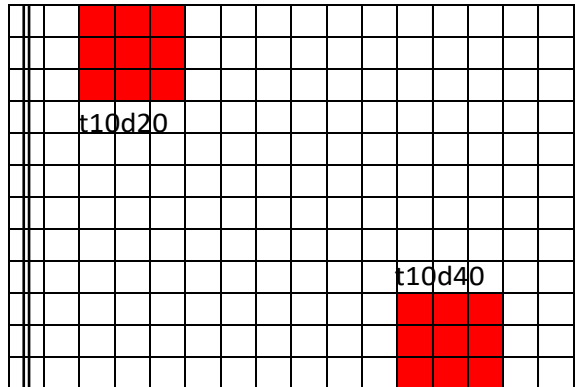
試験体No.8



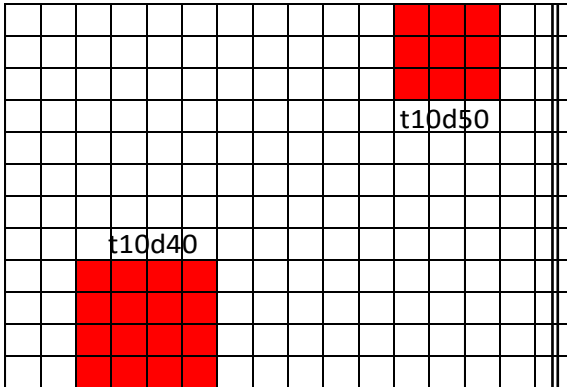
試験体No.9



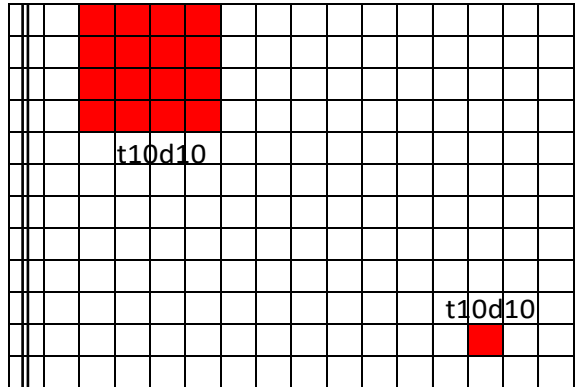
試験体No.10



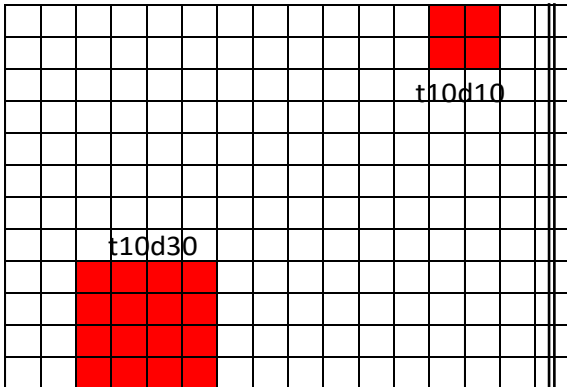
試験体No.11



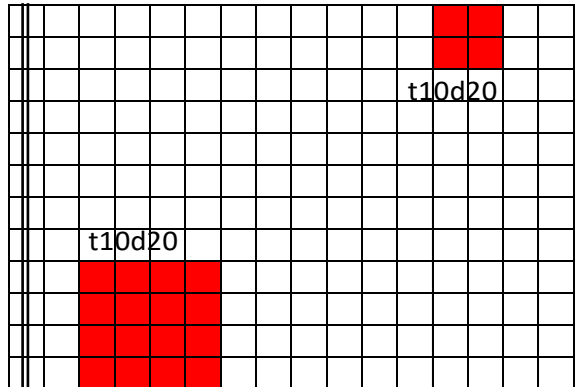
試験体No.12



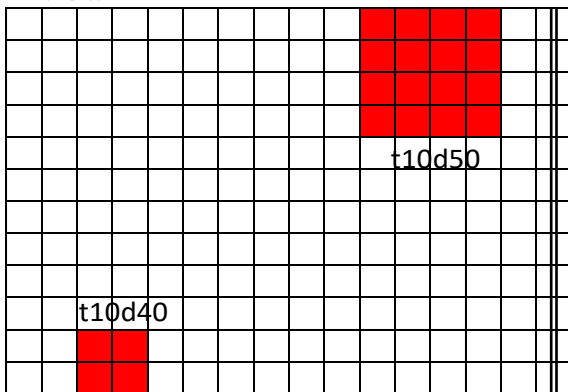
試験体No.13



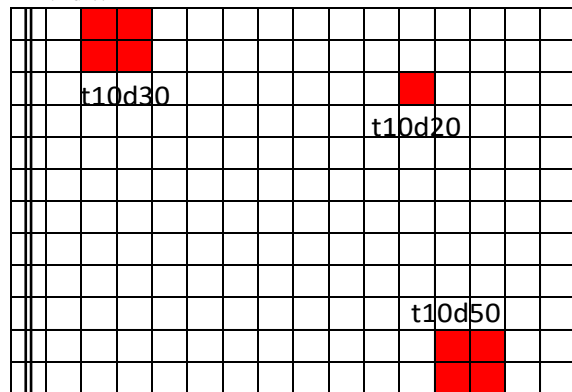
試験体No.14



試験体No.15



試験体No.16

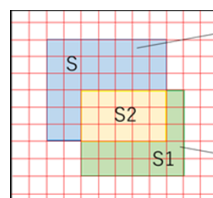


※試験体の計測エリアは、1マス50mm×50mmである。

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
271
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
226
(3)供試体内の空洞箇所数
377

※本技術は、目地部を計測対象としない。

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.599	0.834



供試体内の空洞箇所数

(1)=S1+S2

(2)=S2

当該技術が検出した空洞箇所数

(3)=S+S2

技術番号 TN020005-V0323

技術名 トンネル点検・診断システム iTOREL(アイトーレル) 開発者名 東急建設(株)

試験日 平成29年 12 月 19 日 天候 晴れ 気温 14 °C 風速 — m/s

試験場所 当社模擬トンネル

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、表面空洞 試験区分 社内試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(うき・はく離)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 門型フレームのレールに打音検査ユニットを取り付け、ユニットを地上モニタに接続する。
- ② ユニートを動作し、打音データが正常に取得されるかを確認する。また取得されたデータ(振動の波形)を確認し、適切な打音エネルギーとなるように、ハンマーとコンクリート壁面の離隔を調整する。
- ③ 操作員は、ユニットをトンネル周方向に沿ってレール上を移動させる。このとき、レール上の移動量をエンコーダで計測しながら200mm間隔でハンマーを駆動させ、打音を発生させる。
- ④ 操作員は、打音と同時に取得される波形データを見て、データが正常に取得されているかを確認する。
- ⑤ 操作員は門型フレームをトンネル延長方向に移動させ、再度レール上に沿って打音データを取得する。取得した打音データをクラスタリング解析し、点検員による結果と比較した。

開発者による計測機器の設置状況

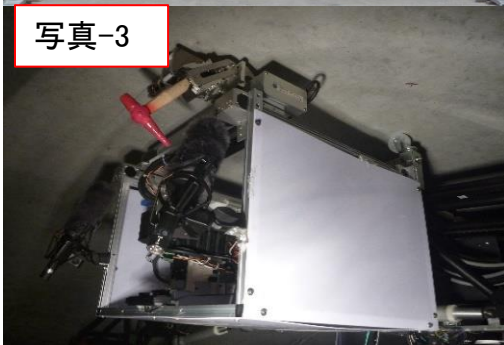
写真-1



写真-2



写真-3



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※点検員による打音検査を実施

写真-4



写真-5

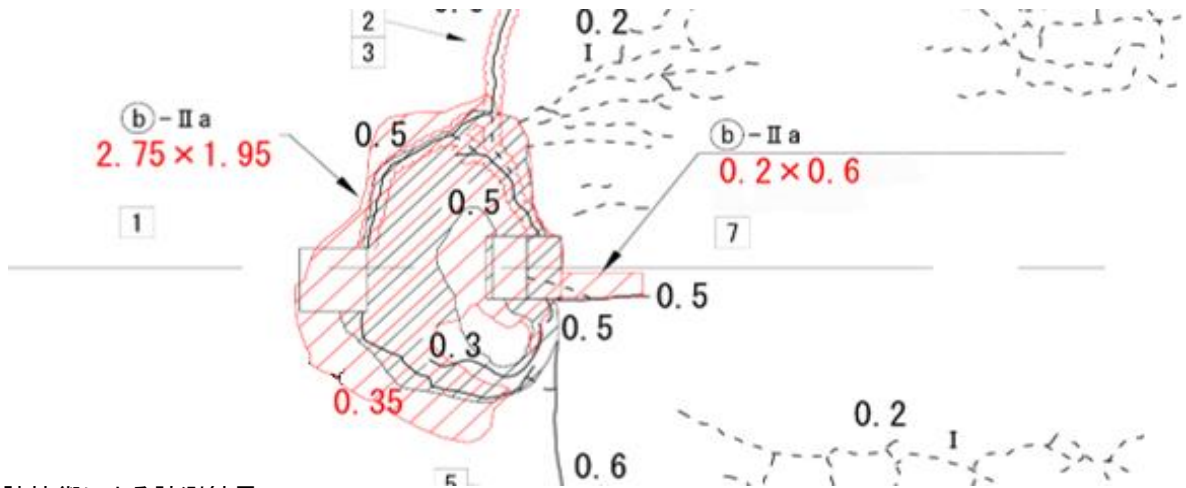


計測結果の比較

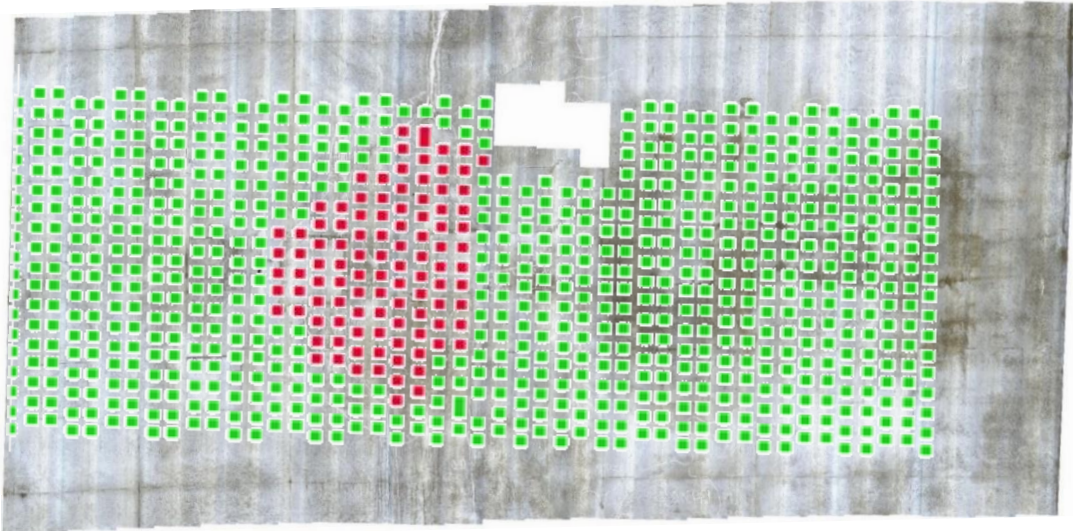
模擬トンネルのコンクリート内部(表面近く)に空洞を作成(2.75m×1.95m)し、点検員と打音点検査ユニットの検出結果を比較

○計測速度

・点検員による点検結果

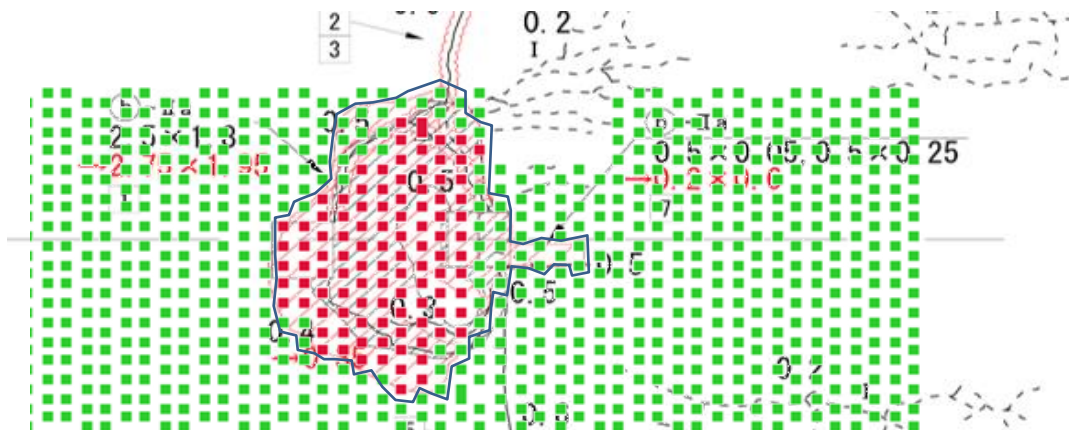


・当該技術による計測結果



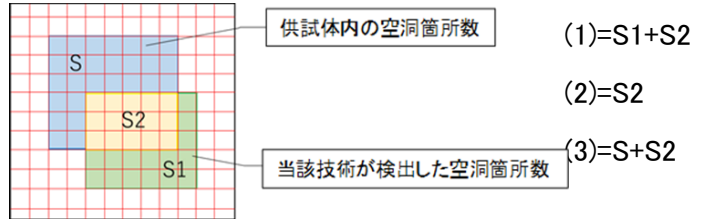
緑:健全 赤:うき

・点検結果の比較(重ね合わせ)



(1)当該技術により検出した空洞箇所数
103
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
103
(3)供試体内の空洞箇所数
149

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.691	1.000



技術番号 TN020005-V0323

技術名 トンネル点検・診断システム iTOREL(アイトーレル)

開発者名 東急建設(株)

試験日 平成29年 12月 19日

天候

晴れ

気温

14 °C

風速

— m/s

試験場所 当社模擬トンネル

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目

うき・はく離、表面空洞

試験区分

社内試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目

位置精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 門型フレームのレールに、撮像ユニットを取り付け、ユニットを地上モニタに接続する。また、覆工コンクリートに残るセトルの点検窓痕の窓間の距離を測定する。
- ② 操作者はモニターに表示されたコンクリート表面画像を見ながら、カメラとコンクリート壁面の離隔を調整する。
- ③ 操作員は、撮像ユニットをトンネル周方向に沿ってレール上を移動させる。このとき、レール上の移動量をエンコーダで計測しながらコンクリート表面画像を取得する。
- ④ 操作員は、撮像した画像を見て、正常に取得されているかを確認する。
- ⑤ 操作員は門型フレームをトンネル延長方向に400mm移動させ、再度レール上に沿って画像データと移動量を取得する。移動量から画像データをならべ、点検窓痕の窓間の距離を算出した。

開発者による計測機器の設置状況

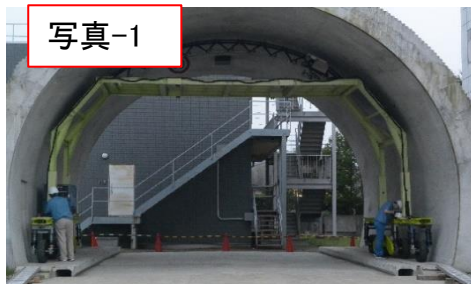


写真-1



写真-2

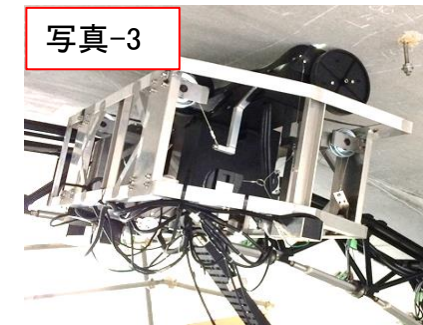
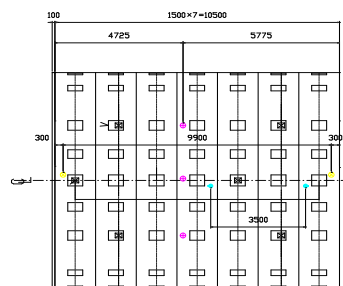
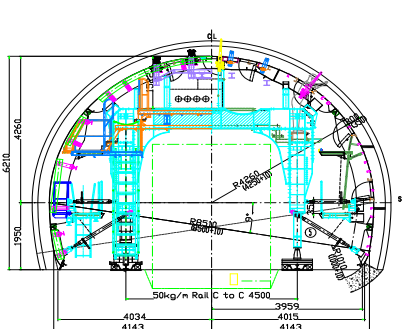


写真-3

※本試験では、写真-3に撮像ユニットを用いて画像を取得した。

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※模擬トンネルの図面とセトル設置状況



計測結果の比較

○位置精度

・真値結果

周方向の点検窓の窓間距離(①) : 1974mm

延長方向の点検窓の窓間距離(②) : 9000mm

・撮像装置による計測結果

周方向の点検窓の窓間距離(③) : 2022.5mm

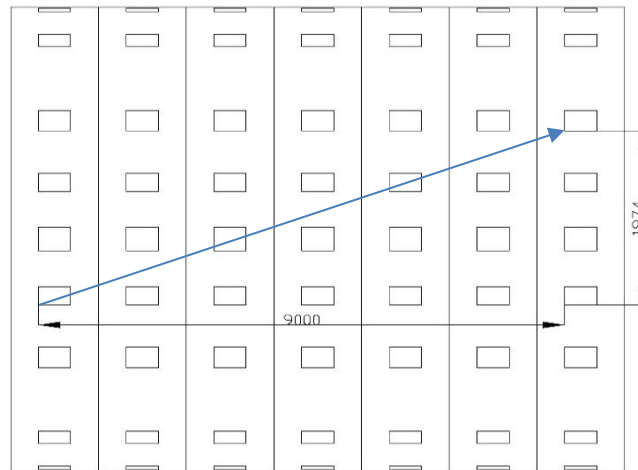
延長方向の点検窓の窓間距離(④) : 8978.5mm

・誤差

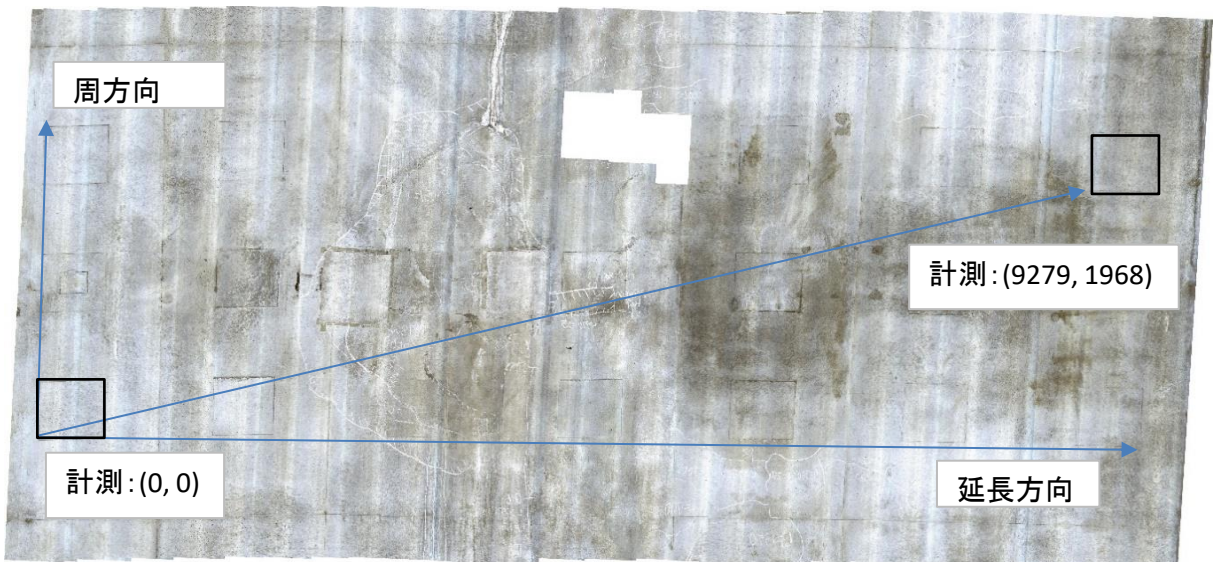
周方向誤差 : $|\text{①} - \text{③}| = |1974\text{mm} - 2022.5\text{mm}| = 48.5\text{mm}$

水平方向誤差 : $|\text{②} - \text{④}| = |9000\text{mm} - 8978.5\text{mm}| = 21.5\text{mm}$

※打音異常箇所は撮像ユニット等により取得した撮影画像上に重ねて表示する。
したがって、打音検査ユニットの位置精度は、撮影画像の位置精度に依存する。



センター検査窓の図面



技術番号 TN020006-V0323

技術名 走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミーム・アール)
-レーダ探査技術-

開発者名 パシフィックコンサルタンツ
株式会社

試験日 令和2年 1 月 28 日 天候 雨 気温 9 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・ほく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験フェーズ 性能試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① MIMM-Rのアンテナをトンネルに合わせて昇降させる
- ② 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-3



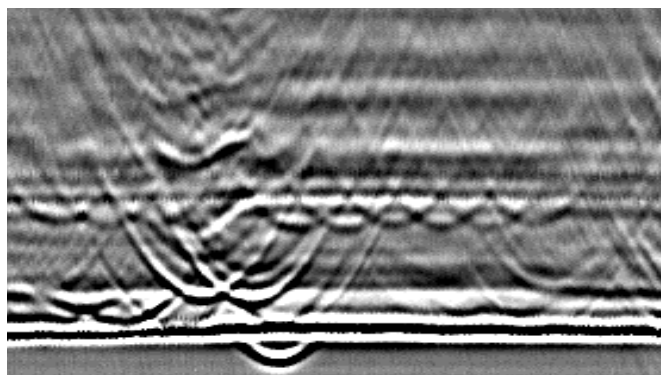
写真-4



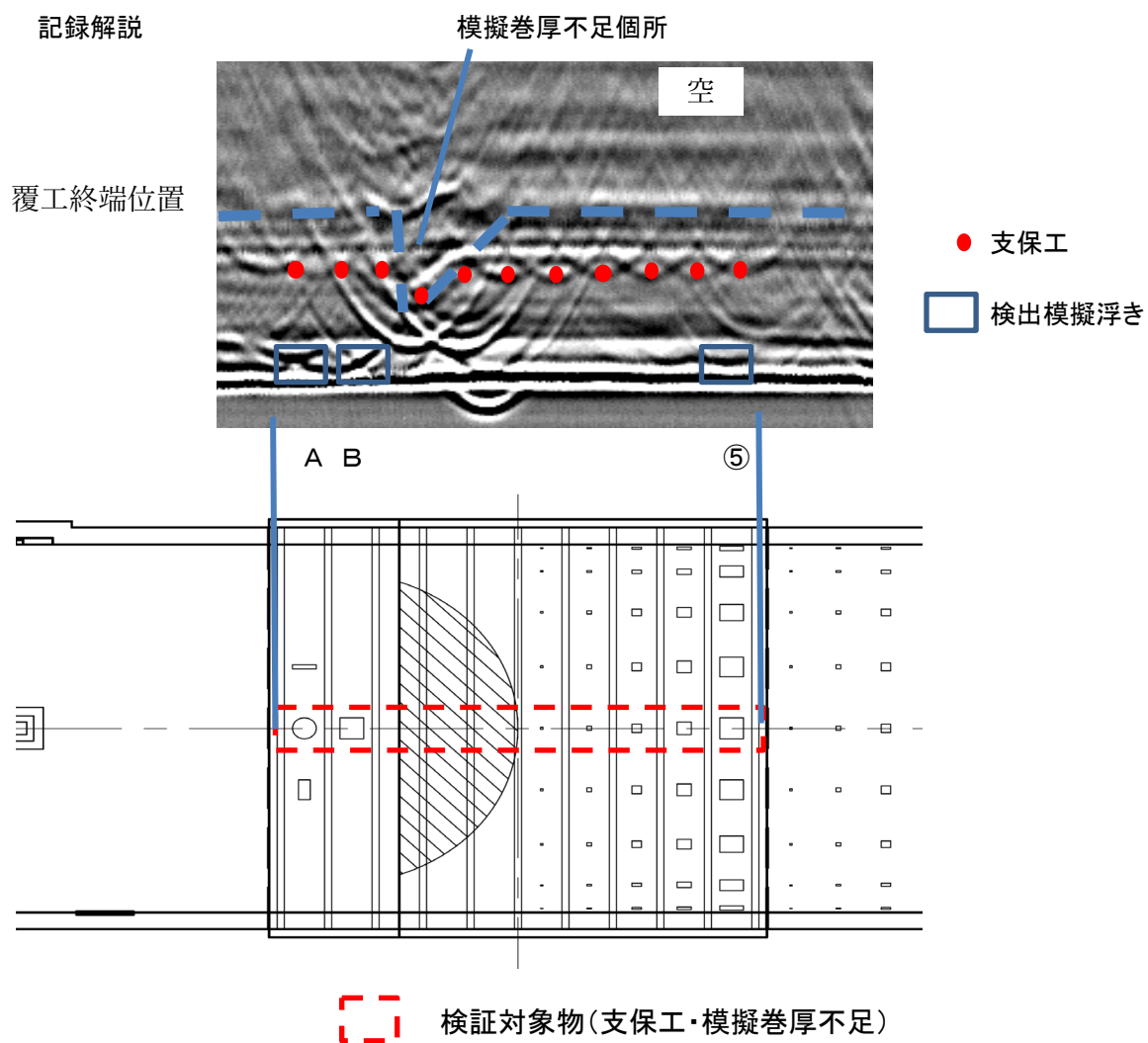
○計測精度(背面空洞)

・当該技術による計測結果 (巻き厚・空洞レーダー)

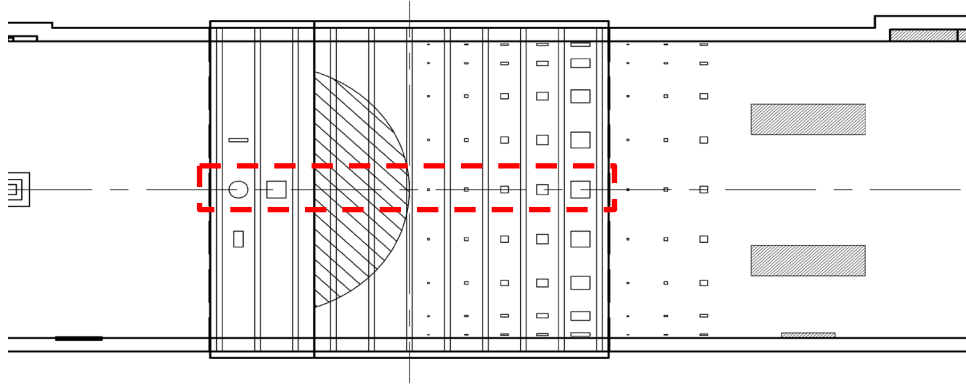
取得記録




記録解説

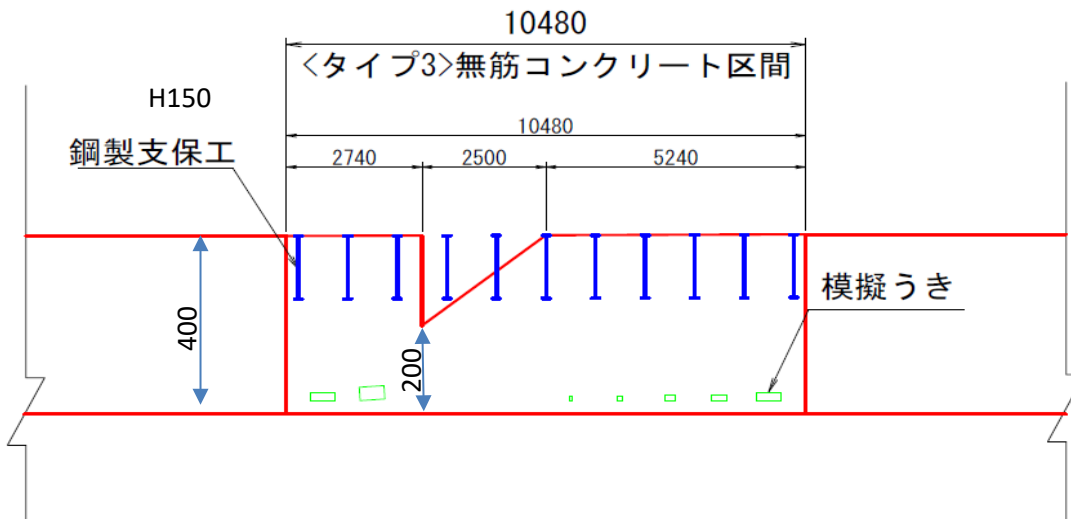


・正解位置



 検証対象物(支保工・模擬巻厚不足)

上記平面図の計測範囲断面



※上図模擬浮き番号対応

模擬うき かぶり30mm 空洞厚10mm	①	②	③	④	⑤
大きさ(mm)	50×50	100×100	200×200	300×300	500×500
検出	-	-	-	-	-

模擬うき	A (円形) かぶり50mm 空洞厚30mm	B (四角) かぶり10~50mm 空洞厚30mm
大きさ(mm)	φ 500	500×500
検出	○	○

規模500×500、被り10~50mm、
空洞厚30mmは検知可能

・計測精度

(1)模擬巻厚不足の検出
100%
(2)鋼製支保工の検出
100%
(3)背面空洞の検出
100%
(4)表面空洞うきの検出
7個所中2個所検出 ※)1

検出率 28%、的中率 100%

※)A: ϕ 50cm、B: 50cm \times 50cmは、巻厚・空洞レーダでも確認できた。

技術番号 TNO20006-V0323

技術名 走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R
レーダ探査技術- 開発者名 パシフィックコンサルタンツ
株式会社

試験日 令和2年 1 月 28 日 天候 雨 気温 9 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足
または減少、表面空
洞等 試験フェーズ 性能試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① MIMM-Rのアンテナをトンネルに合わせて昇降させる
- ② 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-3

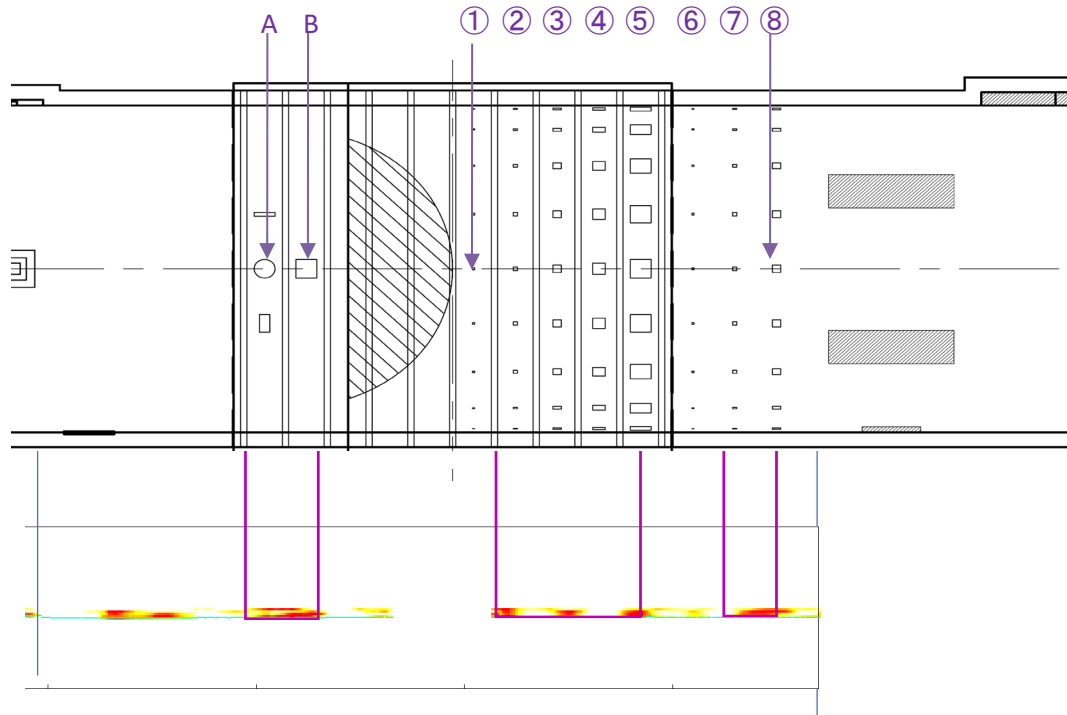


写真-4



○計測精度(表面空洞)

・当該技術による計測結果 (内部欠陥レーダー)



※上図模擬浮き番号対応

模擬うき かぶり30mm 空洞厚10mm	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
大きさ(mm)	50×50	100×100	200×200	300×300	500×500	50×50	100×100	200×200
検出	-	○	○	○	○	-	○	○

模擬うき	A(円形) かぶり50mm 空洞厚30mm	B(四角) かぶり10~50mm 空洞厚30mm
大きさ(mm)	500×500	500×500
検出	○	○

・計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
8
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
8
(3)供試体内の空洞箇所数
10

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.800	1.000

50mm×50mmのうき以外は全て検出された。

・計測速度

フィールド内で計測範囲が短く、安全のため4km/hで計測し、その後40km/h程度で計測速度による計測結果の違いは発生せず、同じ結果が得られた。

技術番号 TN020006-V0323

技術名 走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R
レーダ探査技術- 開発者名 パシフィックコンサルタンツ
株式会社

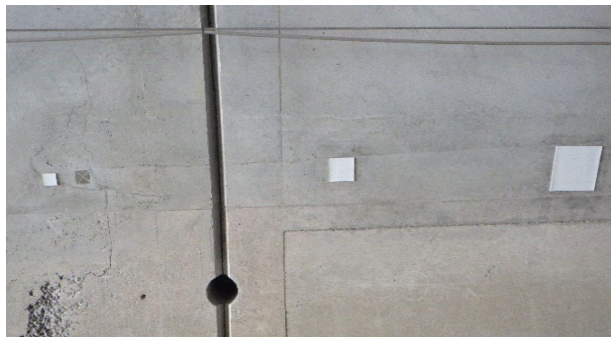
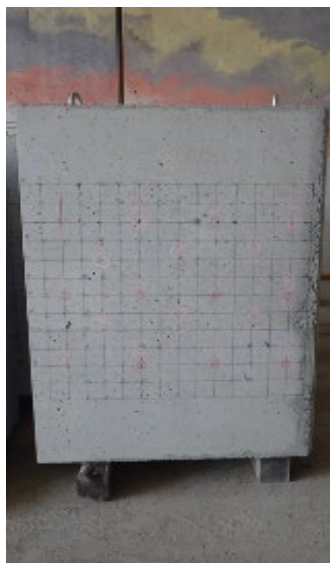
試験日 令和2年 1 月 23 日 天候 雨 気温 7 °C 風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験フェーズ 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 車両にアームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
- ② アンテナ部が試験体上を真っすぐ移動するようにして、試験体1～16までをまとめて計測する。1人が運転、1人がコントローラーを操作し移動させる。
- ③ 移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
- ④ 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-3

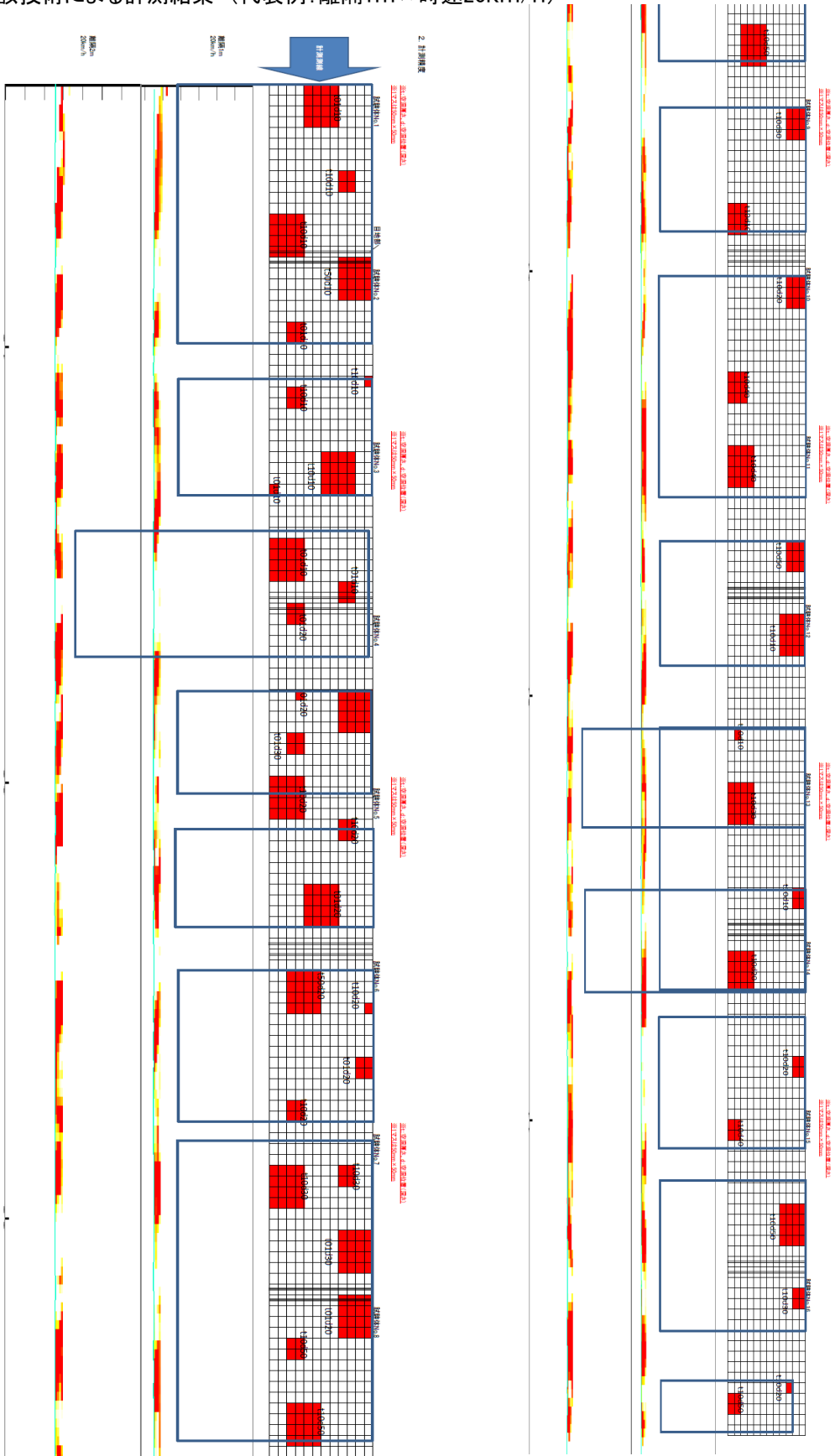


写真-4

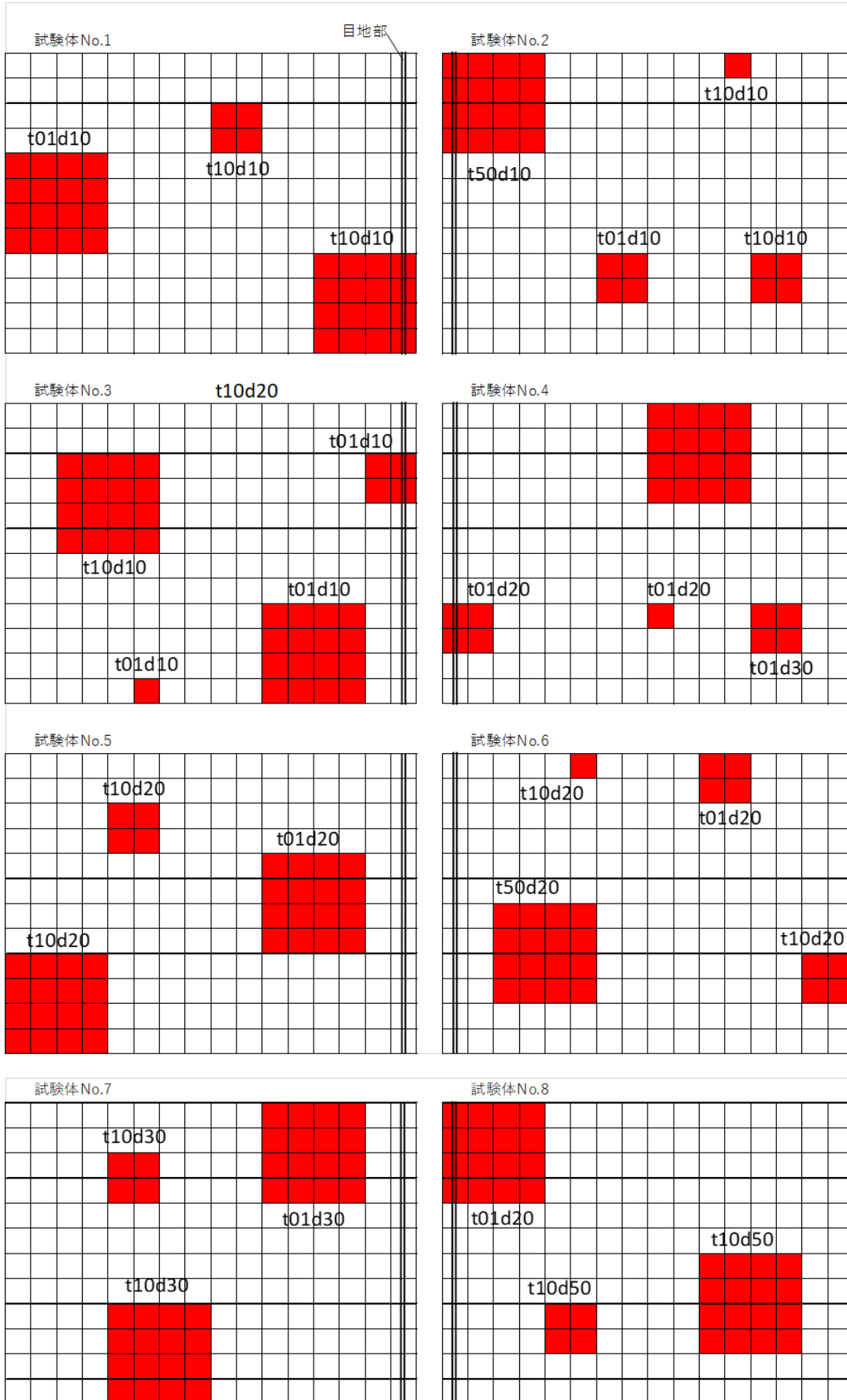


計測結果の比較

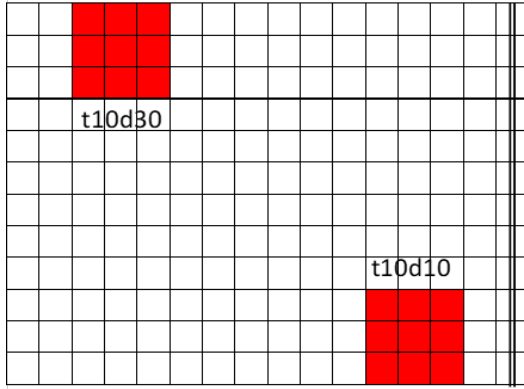
計測は、供試体中央にセンサーが通るようにし、離隔1m、2m×時速20,30,40km/hの6ケースでデータ取得
 ○計測精度(表面空洞)
 ・当該技術による計測結果(代表例:離隔1m×時速20km/h)



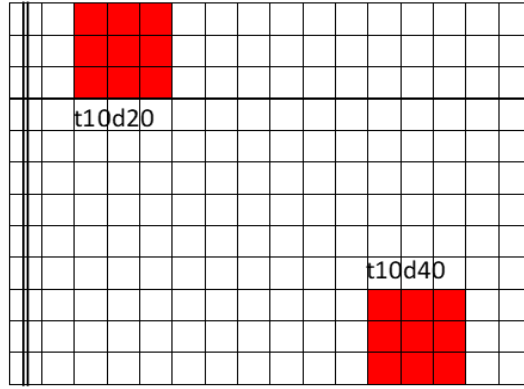
・正解位置



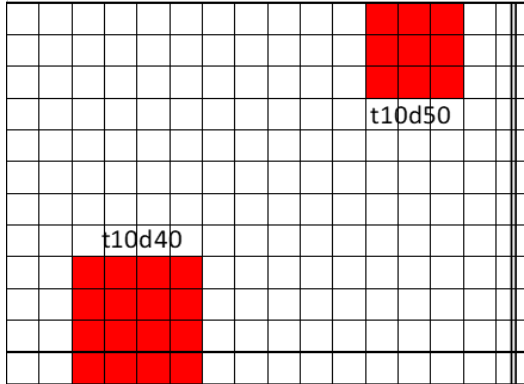
試験体No.9



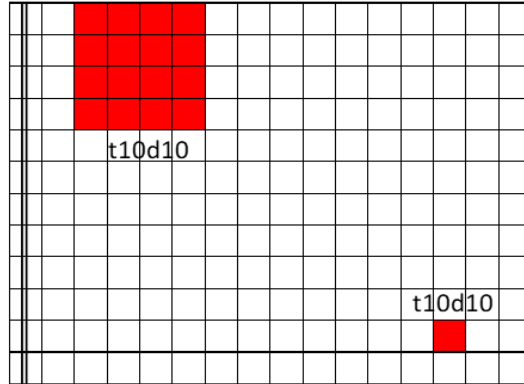
試験体No.10



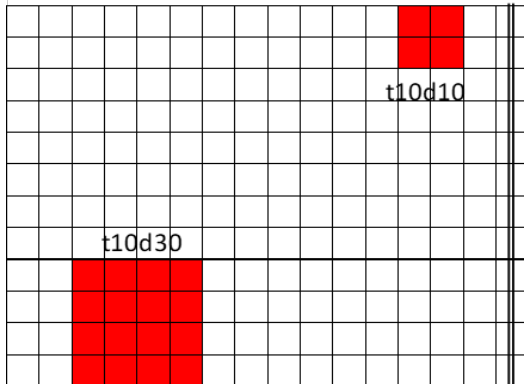
試験体No.11



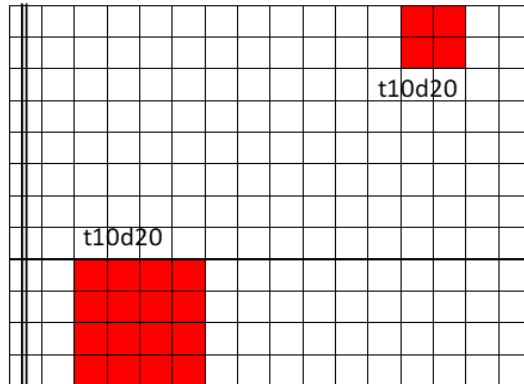
試験体No.12



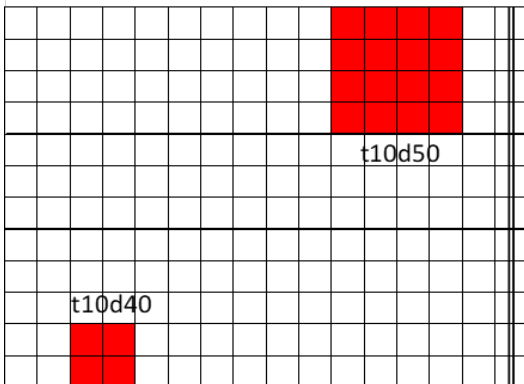
試験体No.13



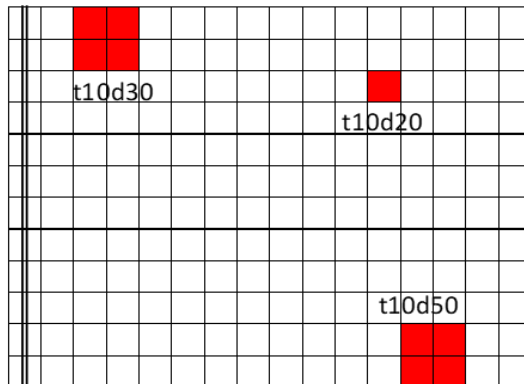
試験体No.14



試験体No.15



試験体No.16



・目地部の変状を検出対象とした場合の計測精度

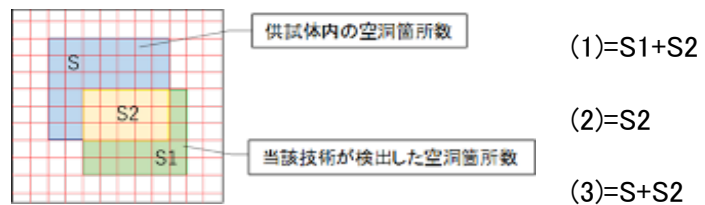
(1)当該技術により検出した空洞箇所数
403
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
403
(3)供試体内の空洞箇所数
403

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
1.000	1.000

・目地部の変状を検出対象としない場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
387
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
387
(3)供試体内の空洞箇所数
387

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
1.000	1.000



・計測速度

20km/h、30km/h、40km/hで計測

速度による計測結果の違いは発生せず、同じ結果が得られた。

技術番号 TN020007-V0223

技術名 トンネル防災車「トンネルマスター」 開発者名 株式会社ウォールナット

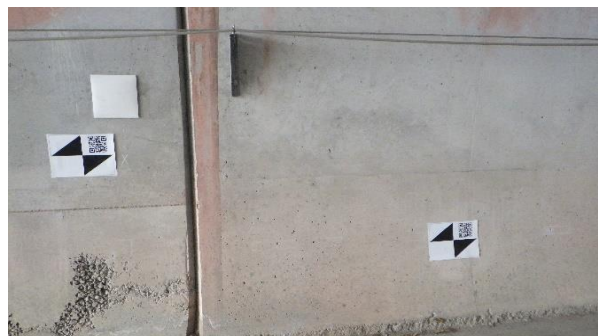
試験日 令和2年 1月15日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 2 m/s
令和3年 4月2日 天候 晴れ 気温 18 °C 風速 2 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)、計測速度

対象構造物の概要 ※既存登録機器とセンサー部分が共通の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112 天秤方式移動型レーダ探査技術



試験方法(手順)	検出精度(表面空洞、うき)
①	台車に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
②	アンテナ部が試験体上を真つすぐ移動するようにして、試験体1～16までをまとめて計測する。1人がアンテナ部、1人が台車部を持ち、同時に移動させる。1度に計測可能な幅が数十センチ程度のため、3測線で計測。
③	移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
④	各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
⑤	※)車両では床に設置されている供試体を計測出来ないため、台車で計測した。機構自体の稼働状況は別途立ち会いの上検証した。

試験方法(手順)	速度検証【非接触型レーダ】
①	道路トンネル防災車「トンネルマスター」の幌を開口しアンテナを上昇させる。
②	スタート(トンネル坑口)より加速開始。
③	40km/hまで加速した後に減速・停止する。
④	
⑤	

試験方法(手順)	速度検証【天秤システム接触型レーダ】
①	道路トンネル防災車「トンネルマスター」に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
②	距離計を作動させて、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
③	アンテナ部をトンネル面に水平に当てて計測を行う。1スパン計測し、計測にかかった速度を算出する。
④	
⑤	

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



写真-3



写真-4



写真-5



2021/4/2

写真-6



写真-7



2021/4/2

写真-8



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

写真-9



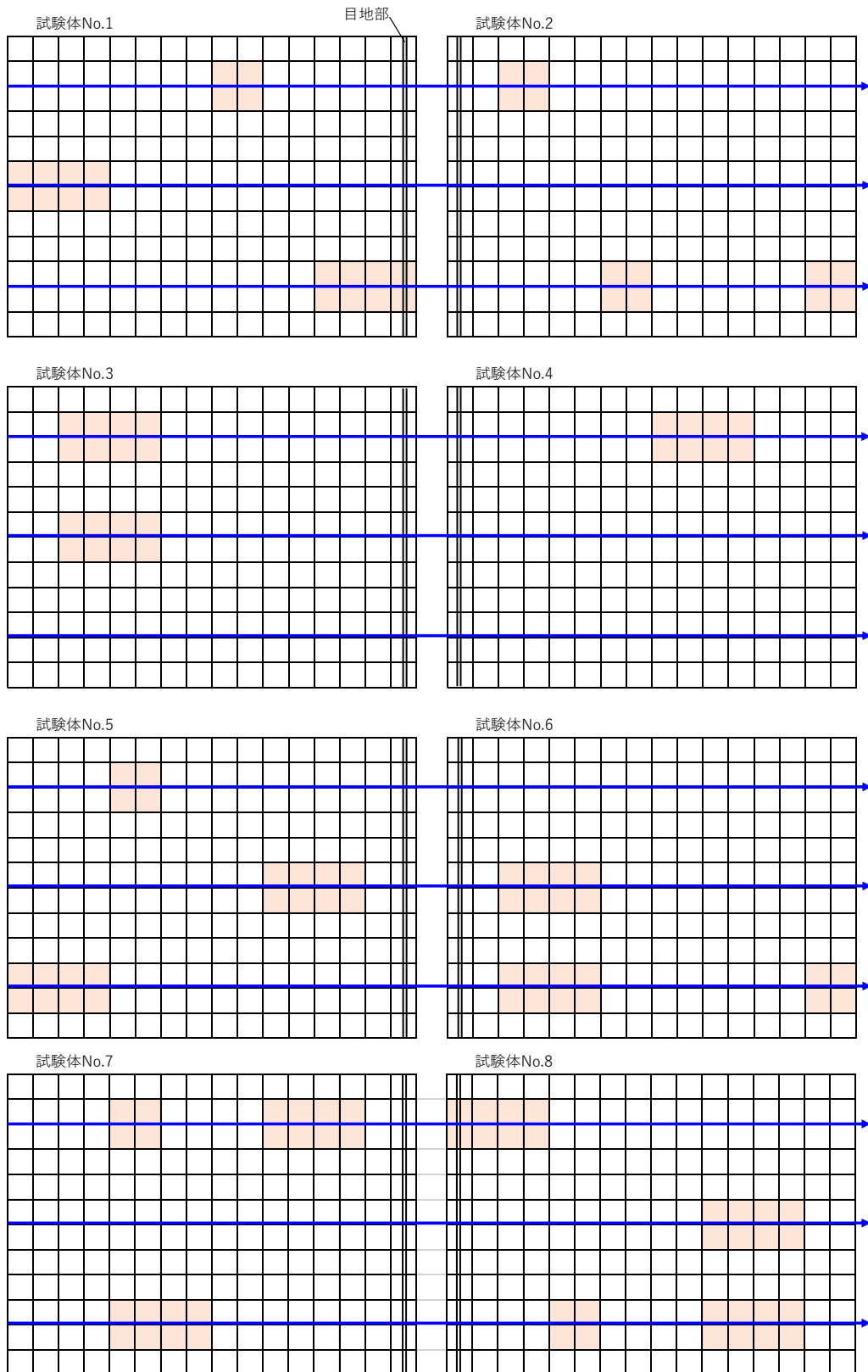
2021/4/2

写真-10

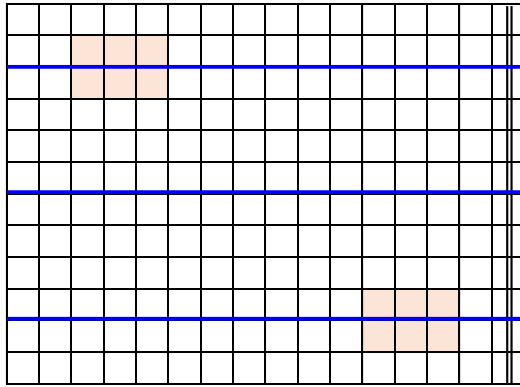


計測結果の比較

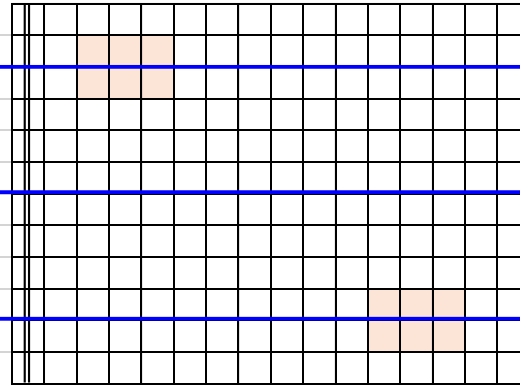
- 計測精度(表面空洞)
- ・当該技術による計測結果



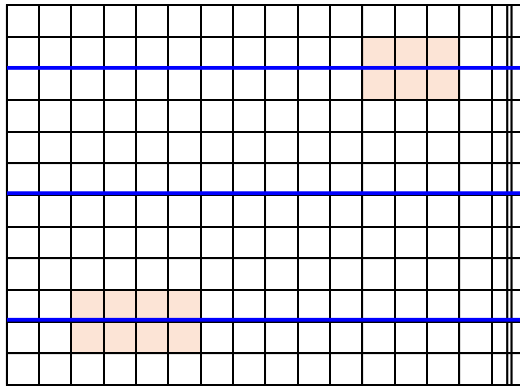
試験体No.9



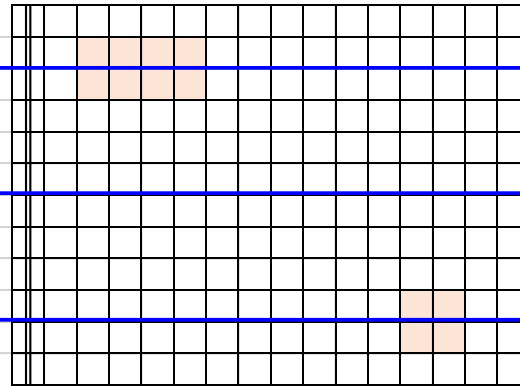
試験体No.10



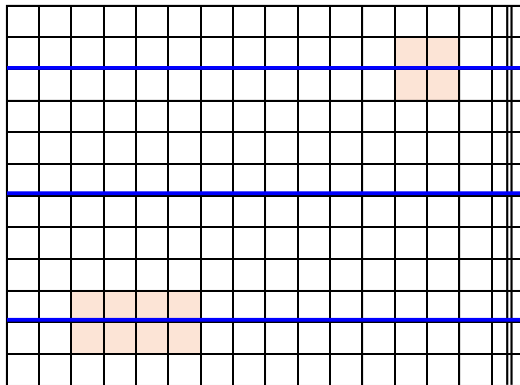
試験体No.11



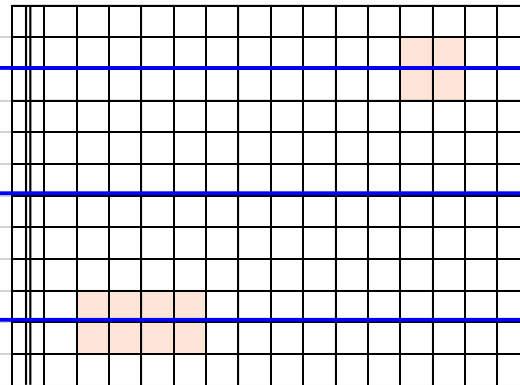
試験体No.12



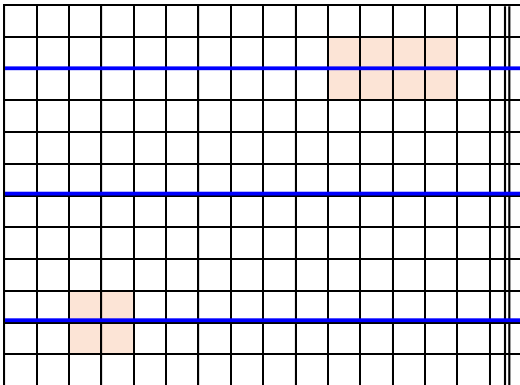
試験体No.13



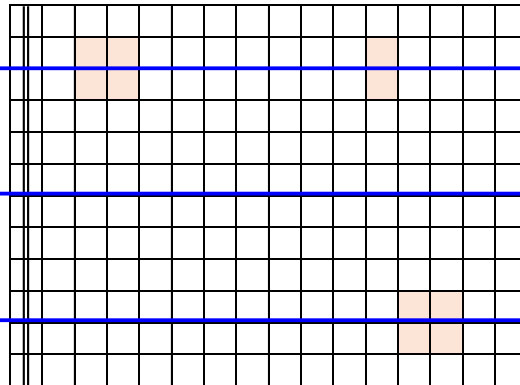
試験体No.14



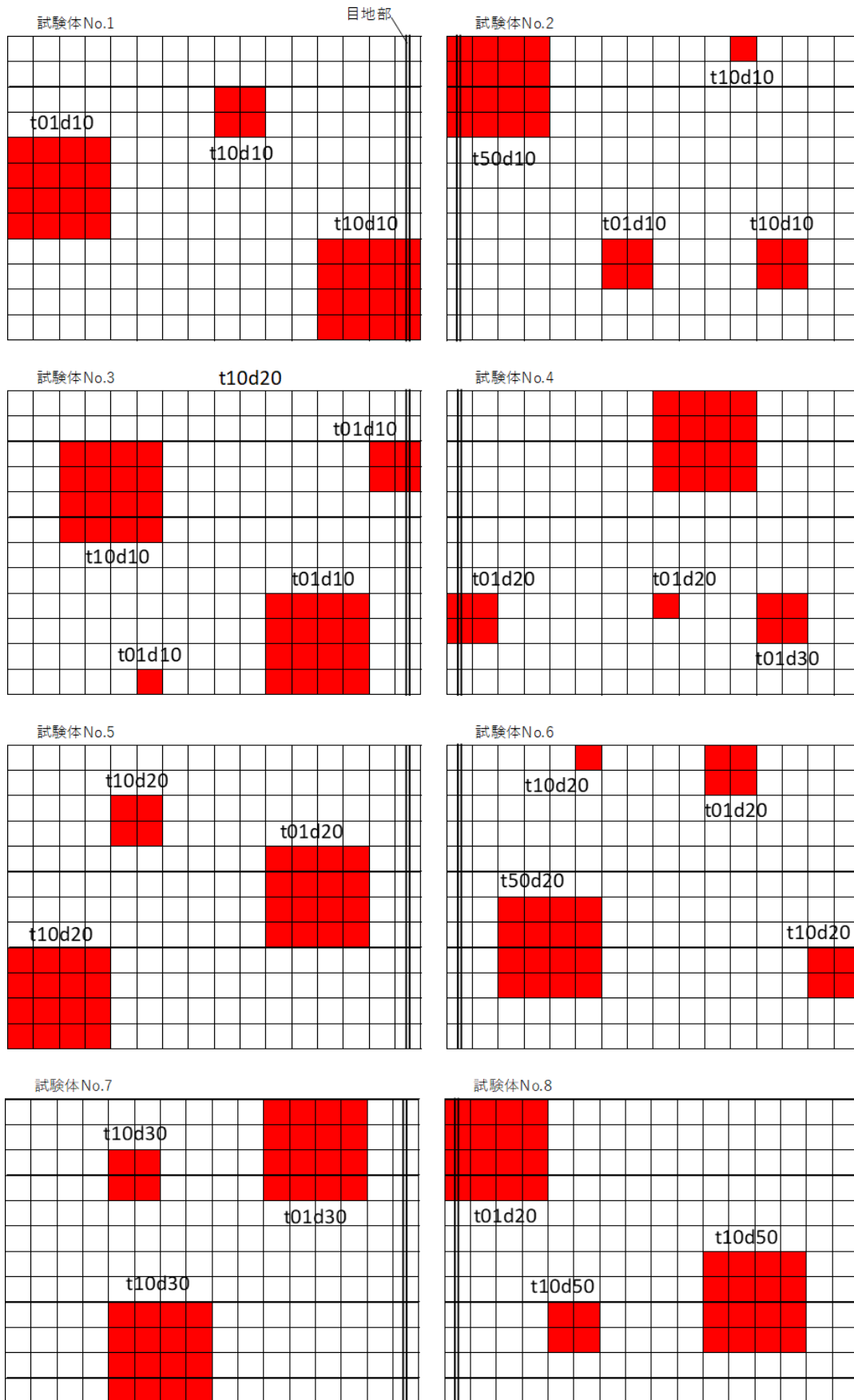
試験体No.15



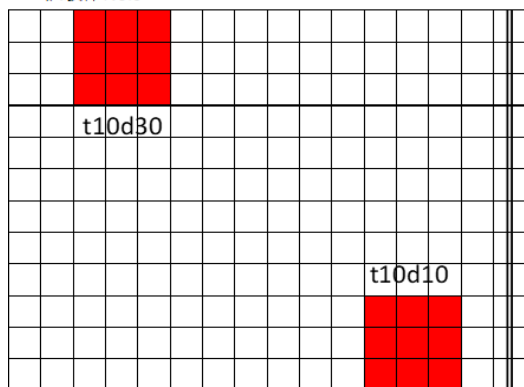
試験体No.16



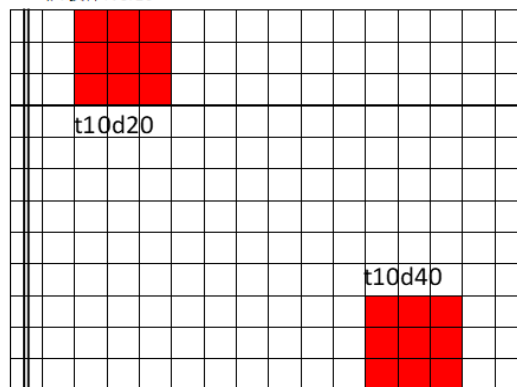
・正解位置



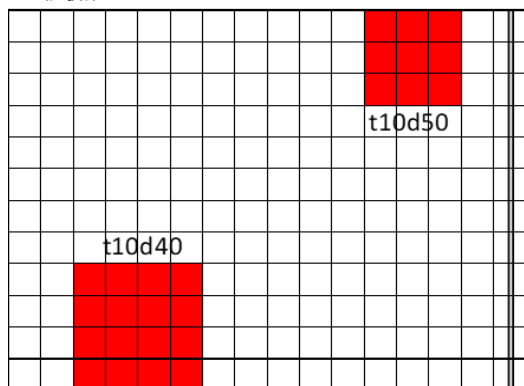
試験体No.9



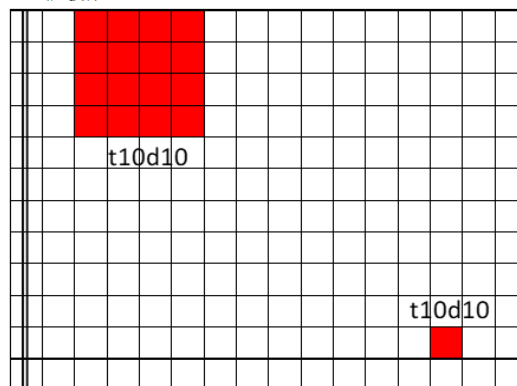
試験体No.10



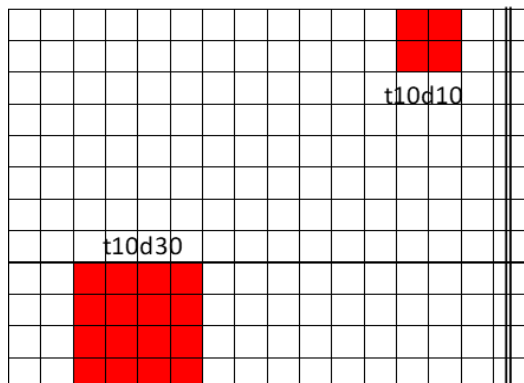
試験体No.11



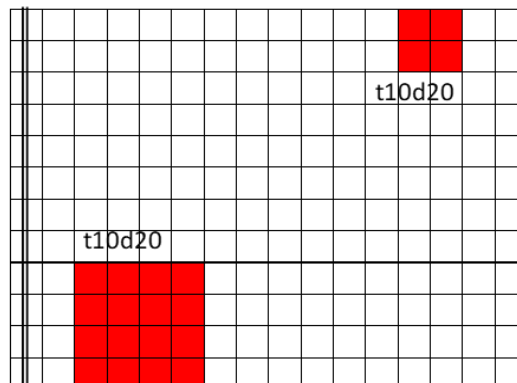
試験体No.12



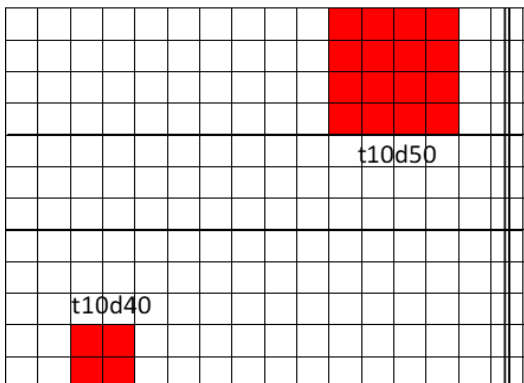
試験体No.13



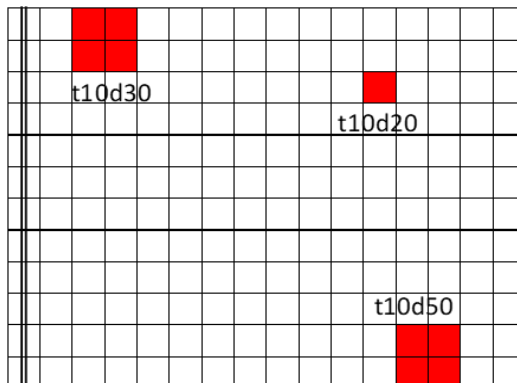
試験体No.14



試験体No.15



試験体No.16



・目地部の変状を検出対象とした場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
240
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
188
(3)供試体内の空洞箇所数
208

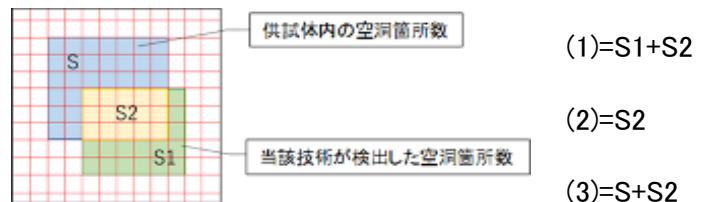
※今回行った3測線で計測可能な範囲での検出率・的中率である。3測線では、試験体全体をカバーすることは出来なかった。

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.903	0.783

・目地部の変状を検出対象としない場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
236
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
184
(3)供試体内の空洞箇所数
192

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.958	0.780



計測結果の比較

○計測速度

・当該技術による計測結果

【非接触型レーダ】

トンネル坑口から40km/hまで加速し計測を行った。



①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 : 特になし

②本試験時の条件 : 特になし

【天秤システム接触型レーダ】

2スパン分の9.5mを通過し、8秒を要した。

(1) 測定長(m)
9.5
(2) 測定時間(秒)
8
(3)時速(km/h) 【(1)÷(2)】
4.275

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 : 特になし

②本試験時の条件 : 特になし

技術番号 TN020007-V0223

技術名 トンネル防災車「トンネルマスター」 開発者名 (株)ウォールナット

試験日 令和2年 1 月 28 日 天候 雨 気温 9 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験区分 性能試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要



試験方法(手順)	※既存登録機器とセンサー部分が共通の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112 天秤方式移動型レーダ探査技術
①	台車に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
②	アンテナ部が試験体上を真っすぐ移動するようにして、模擬浮きをまとめて計測する。1人がアンテナ部、1人が車両を運転し、同時に移動させる。
③	移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
④	各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
⑤	※)防災車に設置する接触レーダは、TN02004-V0121天秤方式移動型レーダ探査技術で使用する接触レーダと同一のため精度検証は天秤システムの値を兼用した。

開発者による計測機器の設置状況

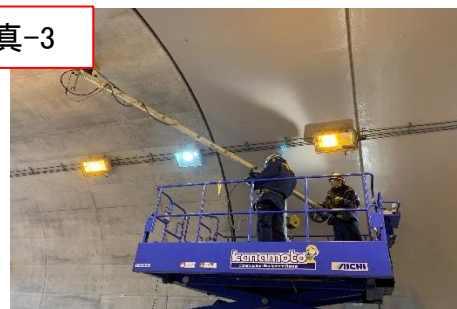
写真-1



写真-2



写真-3



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-4



写真-5

2021/4/2

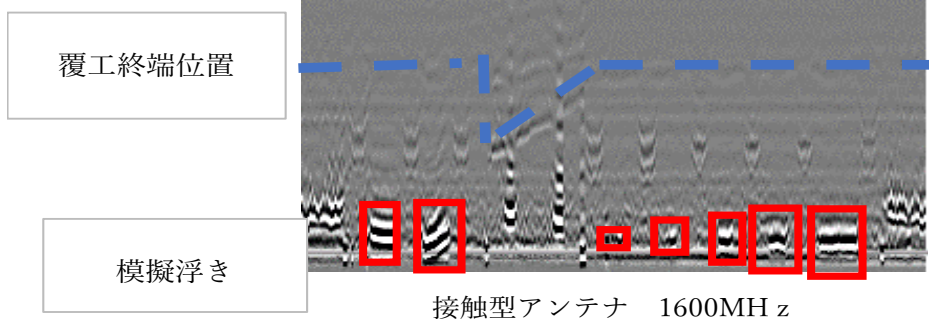


計測結果の比較

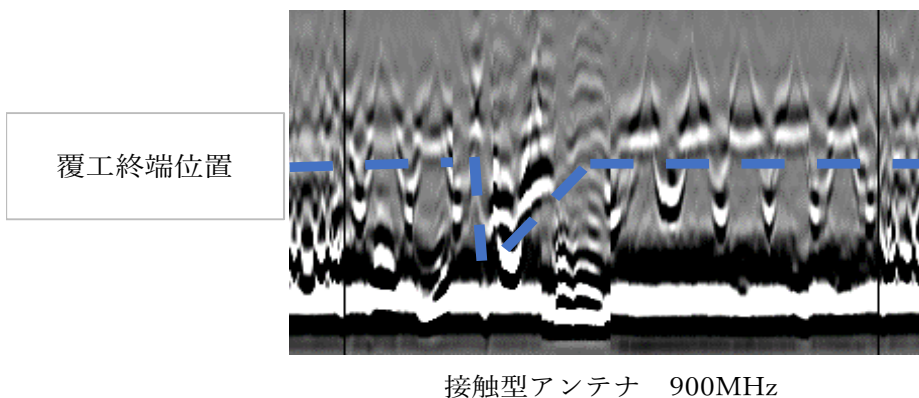
○計測精度(表面空洞)

・当該技術による計測結果 (地中レーダ: 巻き厚・空洞及び模擬浮き)

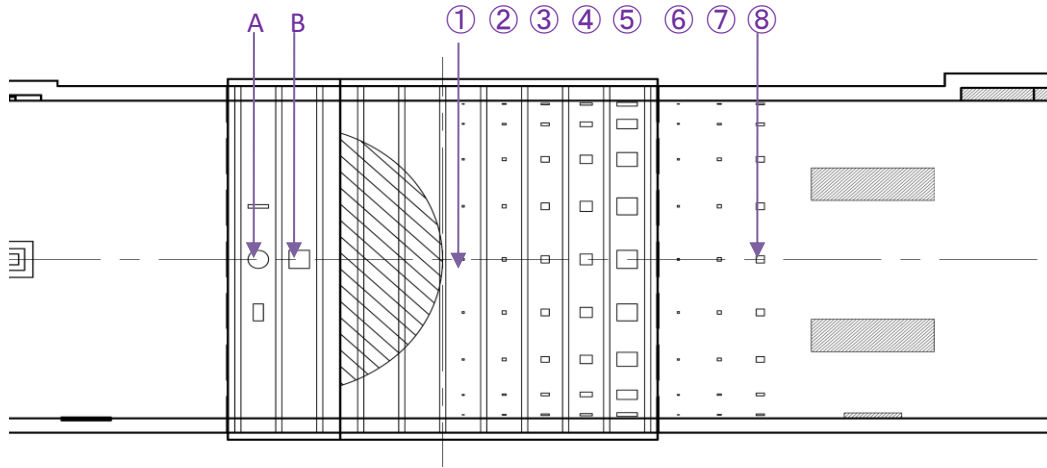
ケース 1 高周波接触アンテナ



ケース 2 中周波接触アンテナ



・正解位置

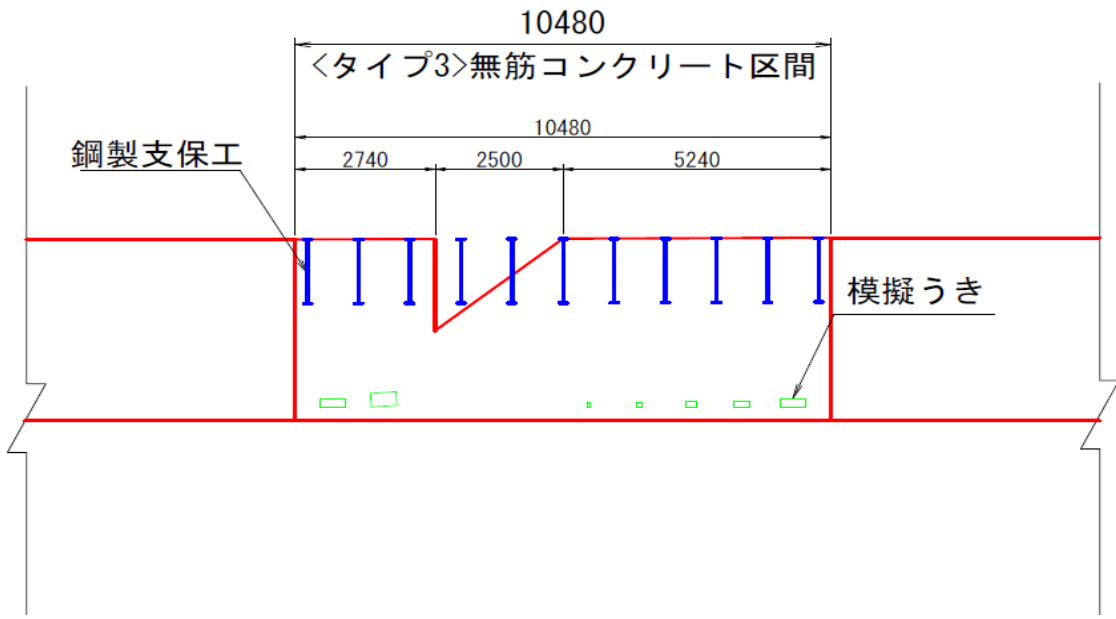


※上図模擬浮き番号対応

模擬うき かぶり30mm 空洞厚10mm	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
大きさ(mm)	50 × 50	100 × 100	200 × 200	300 × 300	500 × 500	50 × 50	100 × 100	200 × 200
検出	○	○	○	○	○	○	○	○

模擬うき	A (円形) かぶり50mm 空洞厚30mm	B (四角) かぶり10~50mm 空洞厚30mm
大きさ(mm)	500 × 500	500 × 500
検出	○	○

平面図を元にした断面図



・計測精度 模擬浮き

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
7
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
7
(3)供試体内の空洞箇所数
7

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
1.000	1.000

・計測精度 背面空洞・巻厚不足

(1)当該技術により検出した背面空洞
1
(2)当該技術で検出した巻き厚減少箇所
1

背面空洞の信号検出

巻き厚減少位置の確認

検出率	的中率
1.000	1.000

技術番号 TN020007-V0223

技術名 トンネル防災車「トンネルマスター」

開発者名 株式会社ウォールナット

試験日 令和2年 1 月 28 日

天候

雨

気温

9

°C

風速

m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目

うき・はく離、巻厚不足
または減少、表面空
洞等

試験区分

性能試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目

検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要

※既存登録機器とセンサー部分が共通の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112 天秤方式移動型レーダ探査技術



試験方法(手順)

- ① MIMM-Rのアンテナをトンネルに合わせて昇降させる
- ② 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
- ③ ※)防災車に設置する非接触レーダは、TN020006-V0121走行型高速3Dトンネル点検システムMIMM-R(ミーム・アール)レーダ探査技術-の非接触レーダと同一のため精度検証はMIMM-Rの値を兼用した。
- ④
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※打音試験体については、変状位置が既知のため未実施

写真-3



写真-4

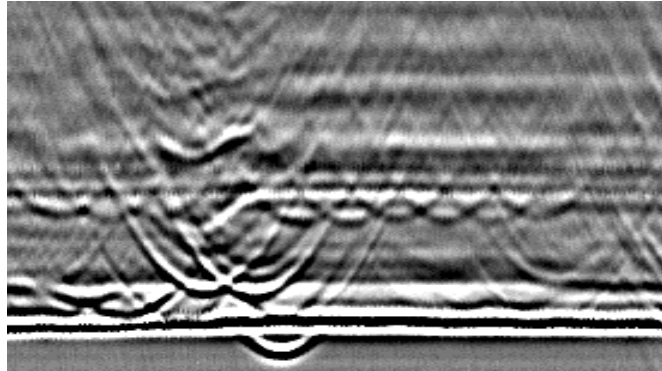
2021/4/2



○計測精度(背面空洞)

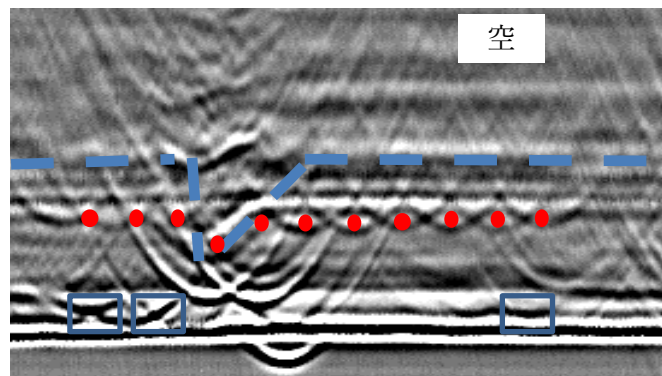
・当該技術による計測結果 (巻き厚・空洞レーダ)

取得記録



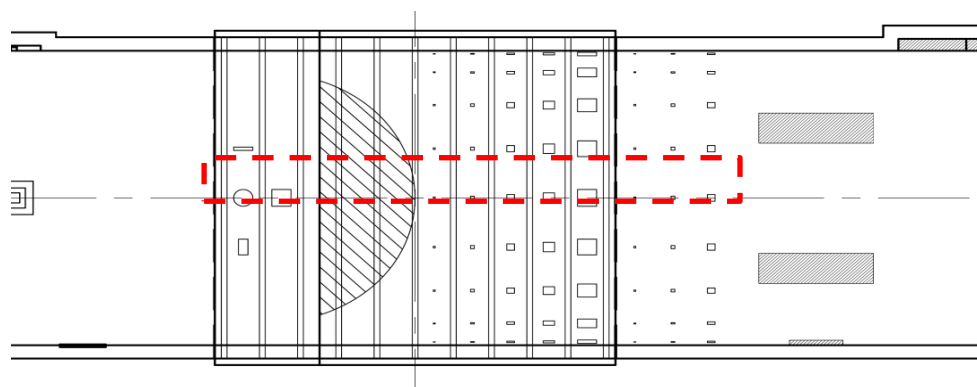
記録解説

覆工終端位置



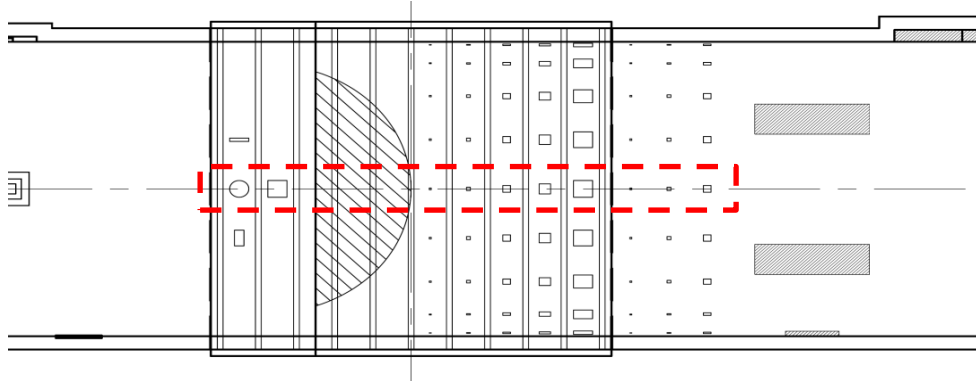
● 支保工


□ 模擬浮き



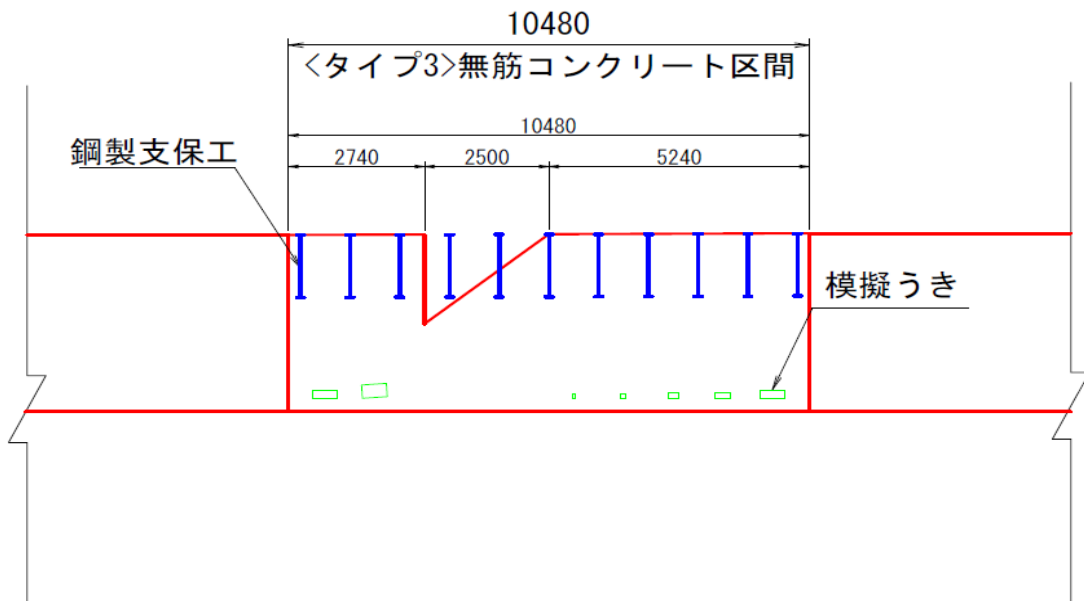
┌─┐ 検証対象物(支保工・模擬巻厚不足)

・正解位置



 検証対象物(支保工・模擬巻厚不足)

上記平面図の計測範囲断面



・計測精度

(1)模擬巻厚不足の検出
100%
(2)鋼製支保工の検出
100%
(3)背面空洞の検出
100%
(4)表面空洞うきの検出
7箇所中2箇所検出 ※)1

※)50cm×50cmもしくは、φ50cmは、巻厚・空洞レーダでも確認できた。

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 開発者名 株式会社ウォールナット

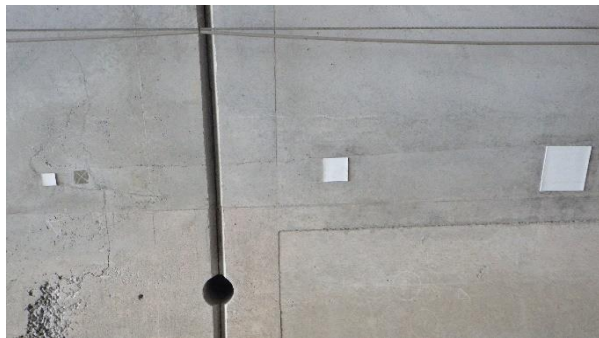
試験日 令和2年 1月15日 天候 晴れ 気温 7℃ 風速 2 m/s
令和3年 4月2日 天候 晴れ 気温 18℃ 風速 2 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)、計測速度

対象構造物の概要 ※既存登録機器とセンサー部分が共通の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112 天秤方式移動型レーダ探査技術



試験方法(手順)	検出精度
①	台車に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
②	アンテナ部が試験体上を真っすぐ移動するようにして、試験体1～16までをまとめて計測する。1人がアンテナ部、1人が台車部を持ち、同時に移動させる。1度に計測可能な幅が数十センチ程度のため、3測線で計測。
③	移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
④	各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
⑤	

試験方法(手順)	計測速度
①	電磁波探査ドローンを準備、組立。Wifiルーターを近くに設置し、タブレット端末との接続を確認する。
②	タブレット端末によるモニタリングの可否を確認後、操縦によってトンネルの天端部に設置するまで飛行する。
③	最大速度まで加速させてから、対象スパン9.5mを荆尾s九。もう1名がタブレット端末にてデータが正常に取得できていることを確認する。
④	対象スパンの計測に要した時間から、計測速度の算出する。
⑤	

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



写真-3



写真-4



写真-5



写真-6



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

写真-7



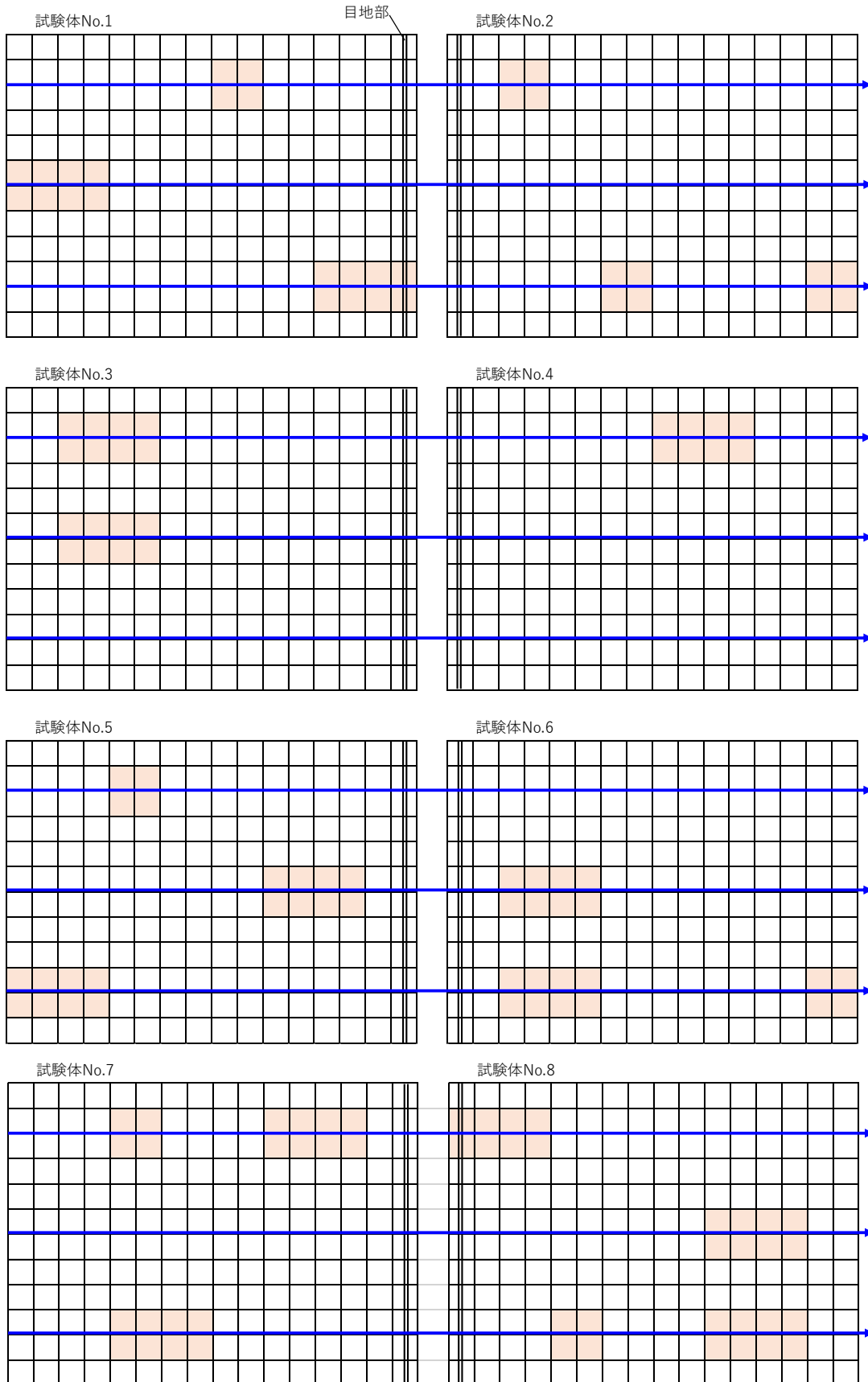
写真-8



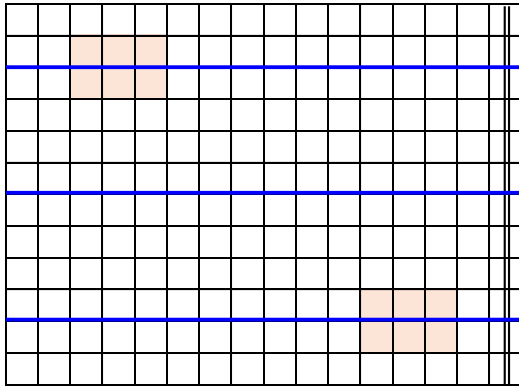
計測結果の比較

○計測精度(表面空洞)

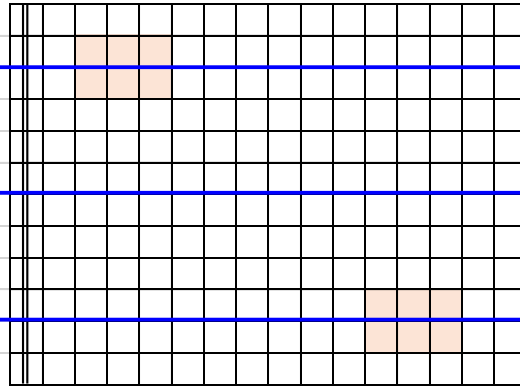
・当該技術による計測結果



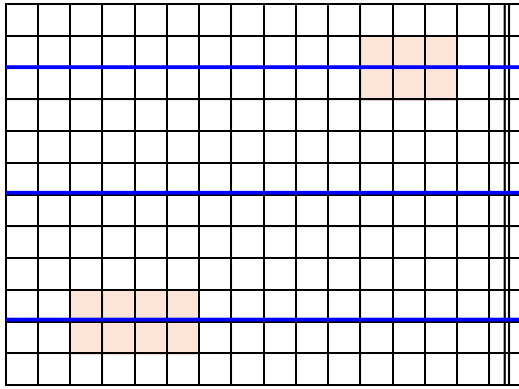
試験体No.9



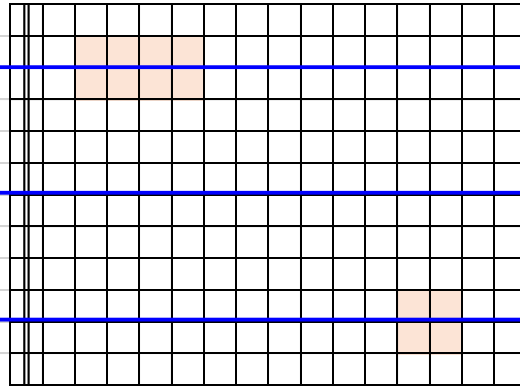
試験体No.10



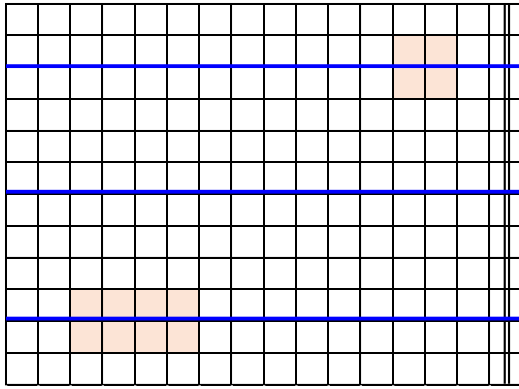
試験体No.11



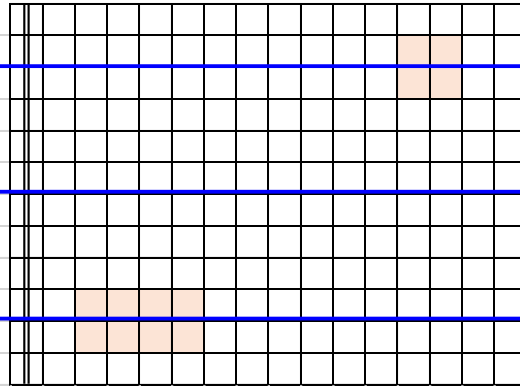
試験体No.12



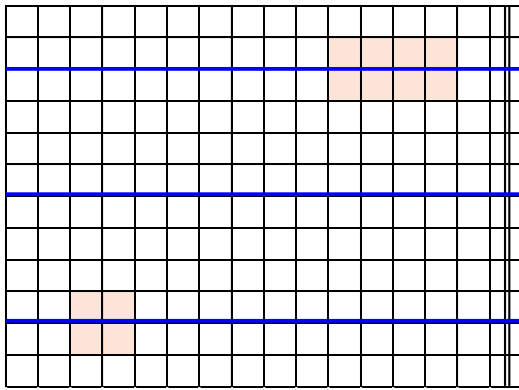
試験体No.13



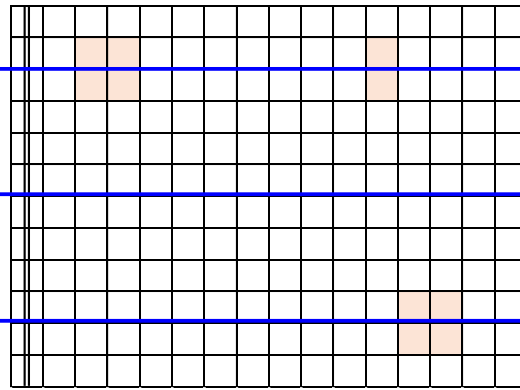
試験体No.14



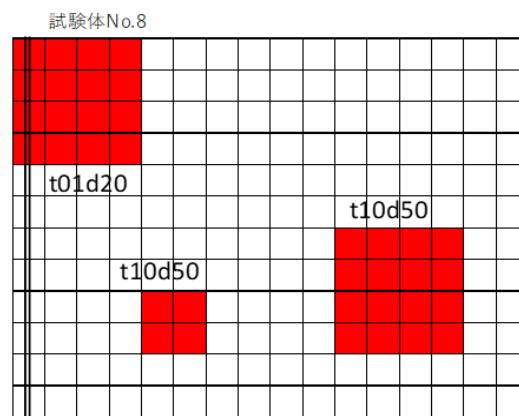
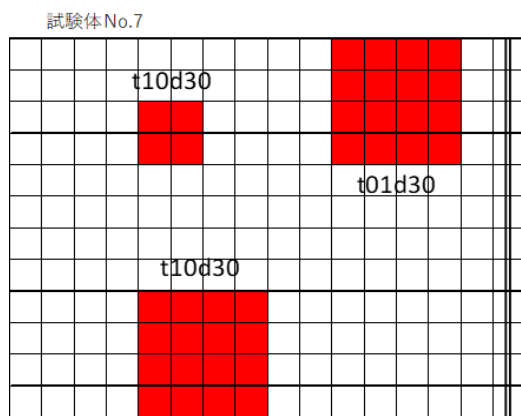
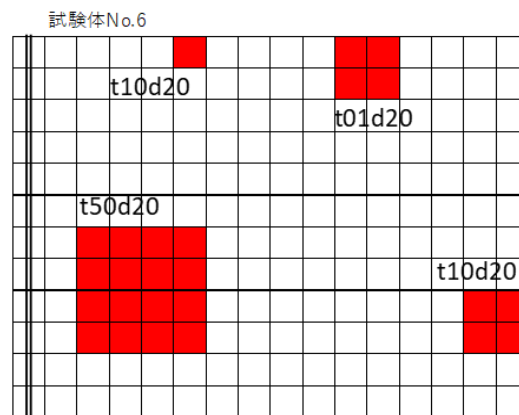
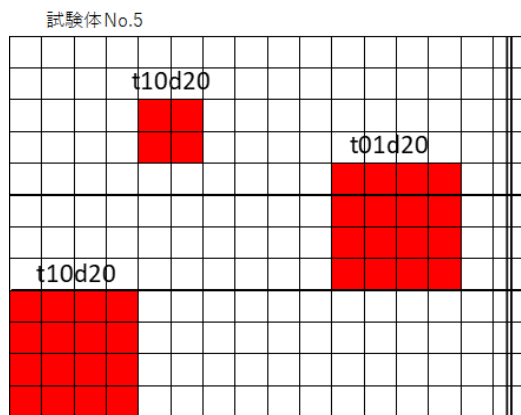
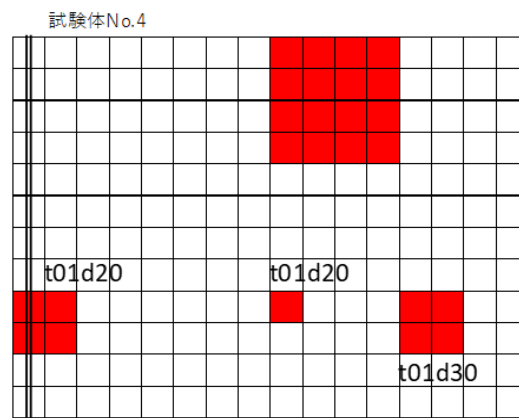
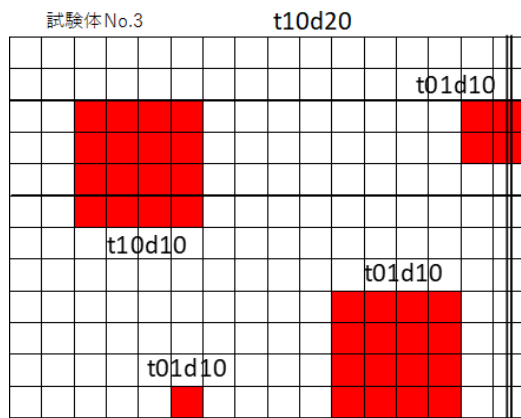
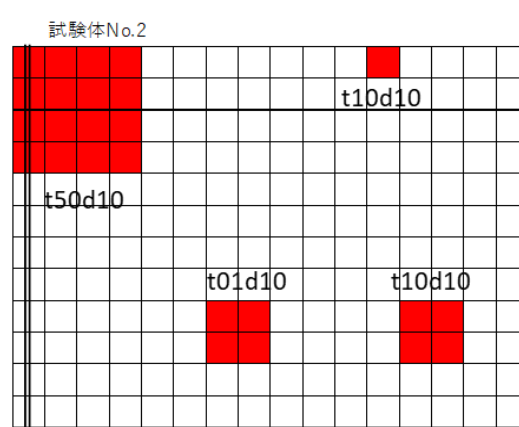
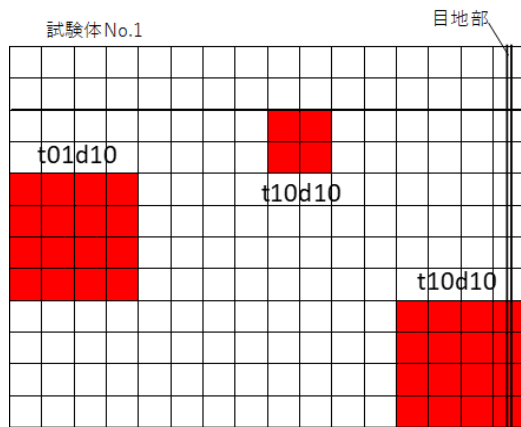
試験体No.15



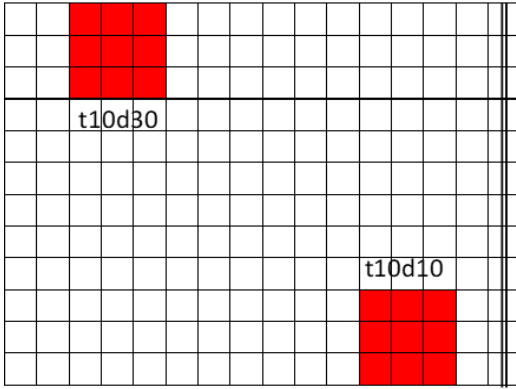
試験体No.16



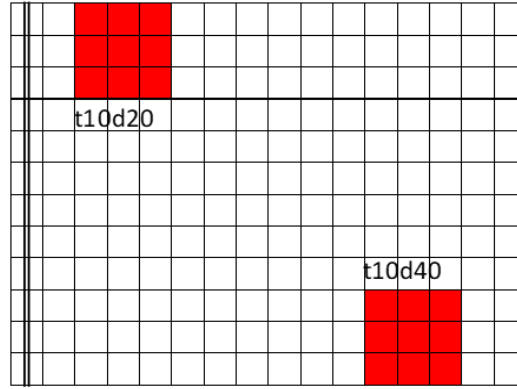
・正解位置



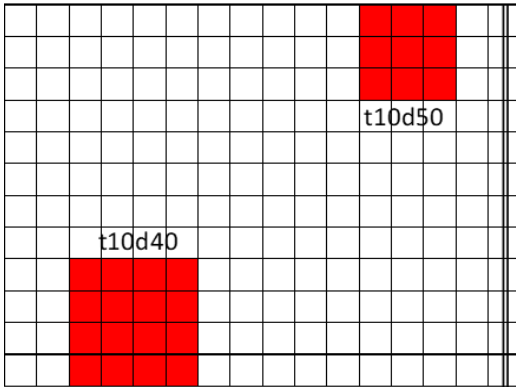
試験体No.9



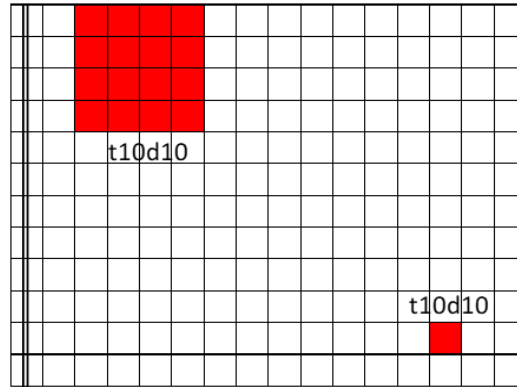
試験体No.10



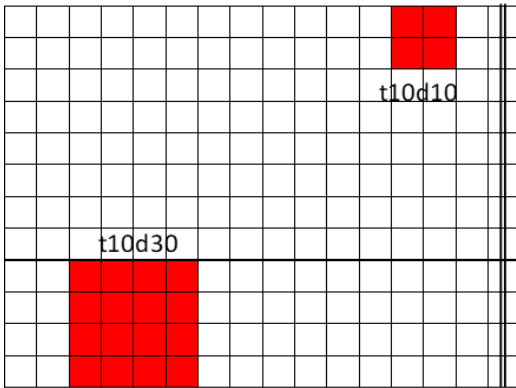
試験体No.11



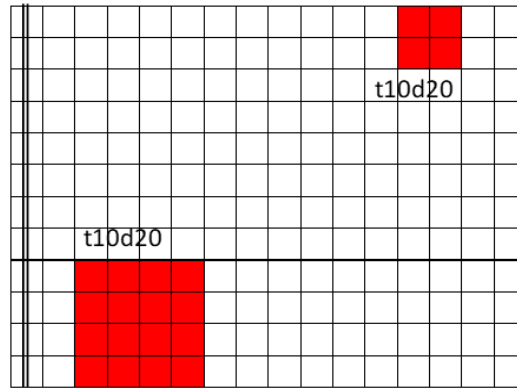
試験体No.12



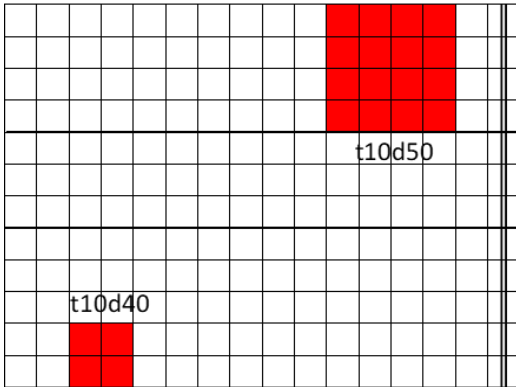
試験体No.13



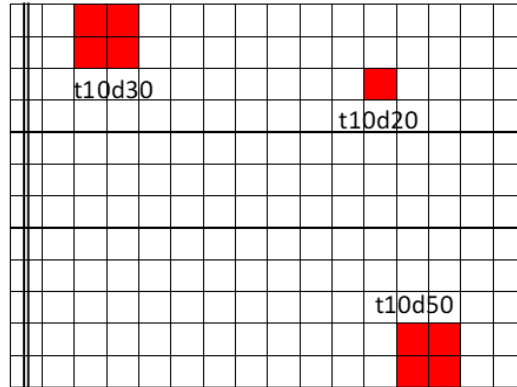
試験体No.14



試験体No.15



試験体No.16



・目地部の変状を検出対象とした場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
240
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
188
(3)供試体内の空洞箇所数
208

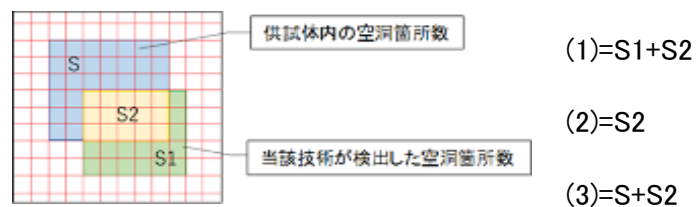
※今回行った3測線で計測可能な範囲での検出率・的中率である。3測線では、試験体全体をカバーすることは出来なかった。

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.903	0.783

・目地部の変状を検出対象としない場合の計測精度

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
236
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
184
(3)供試体内の空洞箇所数
192

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.958	0.780



計測結果の比較

○計測速度

・当該技術による計測結果

2スパン分の9.5mを通過し、12秒を要した。

(1) 測定長(m)
9.5
(2) 測定時間(秒)
12
(3)時速(km/h) 【(1)÷(2)】
2.85

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件 : トンネル内の風速3m/s未満

②本試験時の条件 : 特になし

技術番号 TN020008-V0121

技術名 電磁波探査ドローンによる覆工探査技術 開発者名 株式会社ウォールナット

試験日 令和2年 1 月 28 日 天候 雨 気温 9 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少、表面空洞等 試験区分 性能試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(表面空洞、うき)

対象構造物の概要 ※既存登録機器とセンサー部分が共通の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112 天秤方式移動型レーダ探査技術



試験方法(手順)

- ① 台車に天秤アームを取り付け、アンテナが試験体表面に接触するようにセットする。また、アンテナと計測用モニタを接続する。
- ② アンテナ部が試験体上を真っすぐ移動するようにして、模擬浮きをまとめて計測する。1人がアンテナ部、1人が車両を運転し、同時に移動させる。
- ③ 移動と同時に、1人がモニタを確認し、データが正常に取得できていることを確認する。
- ④ 各試験体に埋め込まれている変状位置の正解(設計位置)と今回計測によって検出された変状位置から、検出精度の比較を行う。
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



写真-3

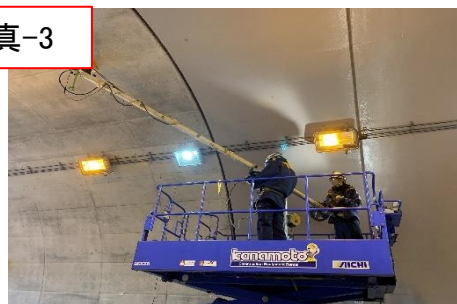
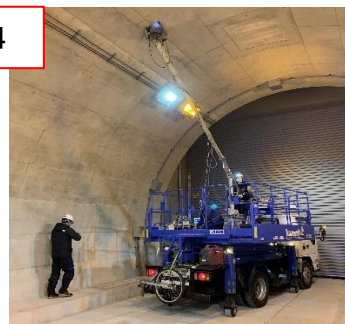


写真-4



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

写真-5



写真-6

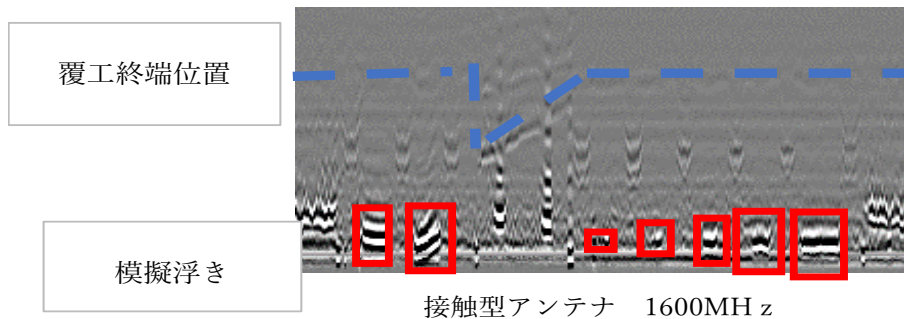


計測結果の比較

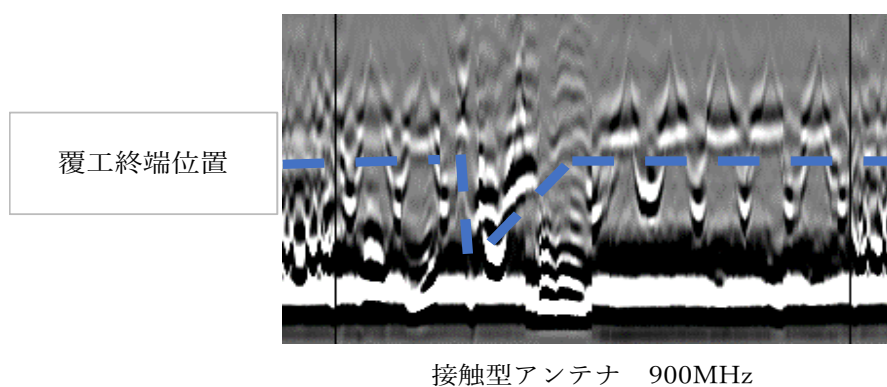
○計測精度(表面空洞)

・当該技術による計測結果 (地中レーダ: 巻き厚・空洞及び模擬浮き)

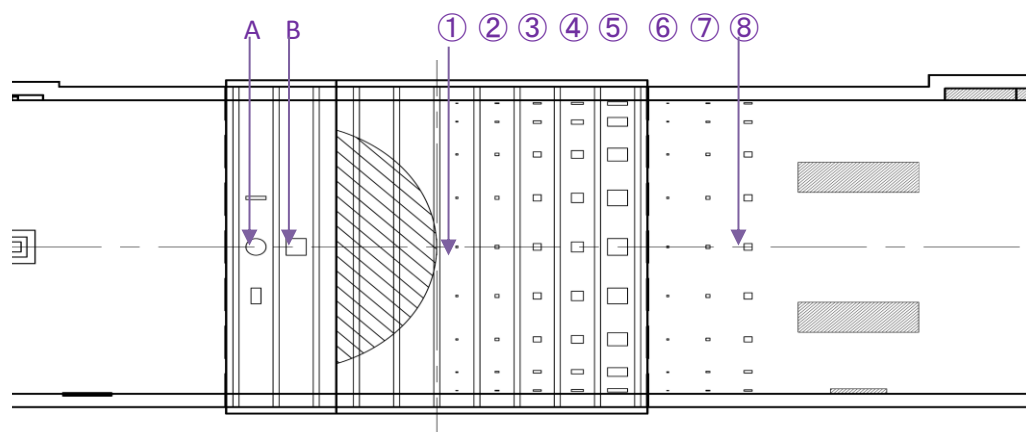
ケース 1 高周波接触アンテナ



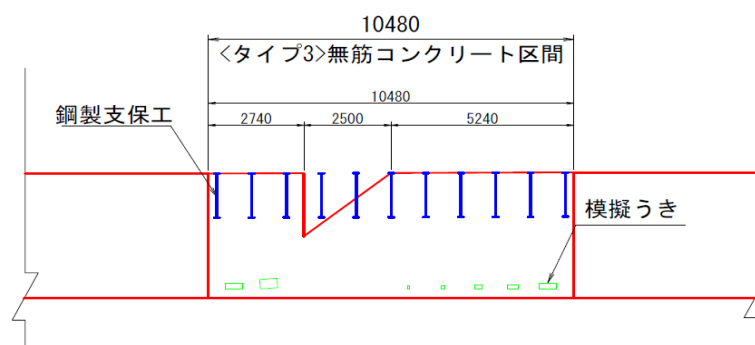
ケース 2 中周波接触アンテナ



・正解位置



(平面図を元にした断面図)



※上図模擬浮き番号対応

模擬うき かぶり30mm 空洞厚10mm	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
大きさ(mm)	50×50	100×100	200×200	300×300	500×500	50×50	100×100	200×200
検出	○	○	○	○	○	○	○	○

模擬うき	A (円形) かぶり50mm 空洞厚30mm	B (四角) かぶり10~50mm 空洞厚30mm
大きさ(mm)	500×500	500×500
検出	○	○

・計測精度 模擬浮き

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
7
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
7
(3)供試体内の空洞箇所数
7

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
1.000	1.000

・計測精度 背面空洞・巻厚不足

(1)当該技術により検出した背面空洞
1
(2)当該技術で検出した巻き厚減少箇所
1

背面空洞の信号検出

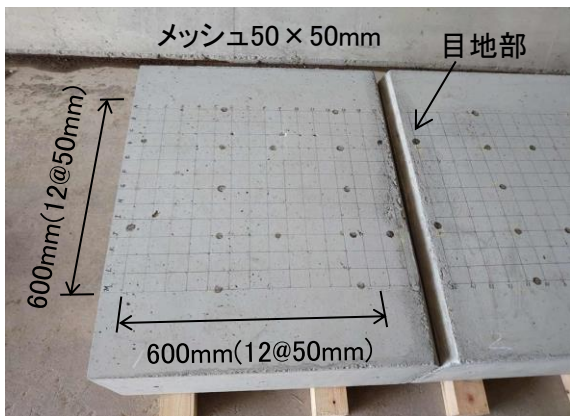
巻き厚減少位置の確認

検出率	的中率
1.000	1.000

技術番号	TN020009-V0122		
技術名	表面波トモグラフィ法	開発者名	一般社団法人 先端インフラメンテナンス研究所 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 インフラ先端技術産学共同講座
試験日	令和3年 4 月 1 日	天候	晴
		気温	17.4 °C
		風速	2.0 m/s
試験場所	施工技術総合研究所		
カタログ分類	非破壊検査技術	検出項目	うき/はく離/劣化/ひび割れ/豆板・ジャンカ/空洞
カタログ		試験区分	標準試験

試験で確認する カタログ項目	計測精度
-------------------	------

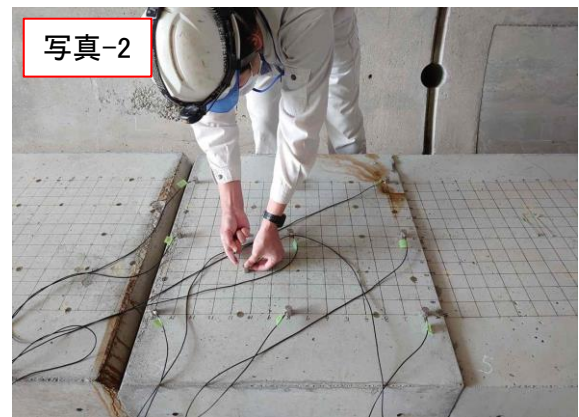
対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 試験前に試験範囲を決定し、使用センサ個数および打撃点数の検討を行う。受信センサと打撃点間の波線から、試験範囲の波線密度が十分であるか確認する。
- ② 受信センサの設置位置と打撃点を現地に罫書き、センサを接着剤もしくはテープで試験体に設置する。センサを波形収録装置と接続し、波形収録機はパソコンへ接続する。
- ③ 鋼球で構造物表面を打撃し、波形収録機およびパソコンにより計測データを収録する。
- ④ 計測データにスタッキング処理を行った後、AICにより伝搬速度を算出する。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。コンター図より計測箇所の形状を判定・評価する。

開発者による計測機器の設置状況



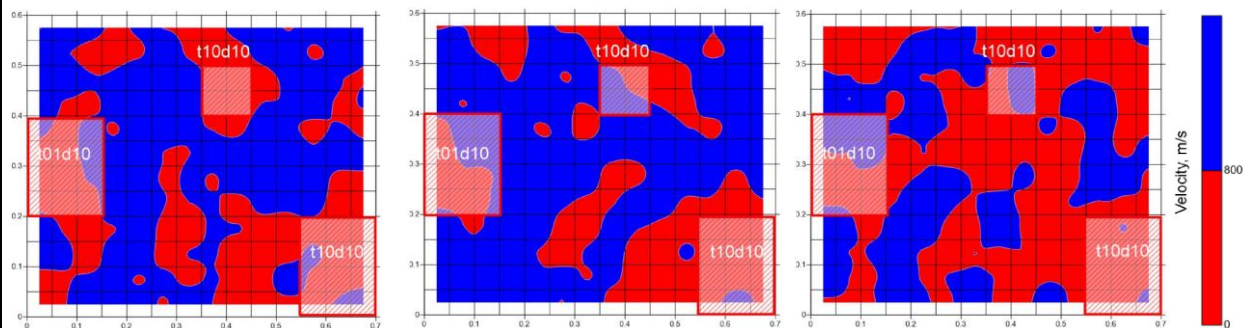
比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

・特になし

計測結果の比較

計測精度

試験体No.1

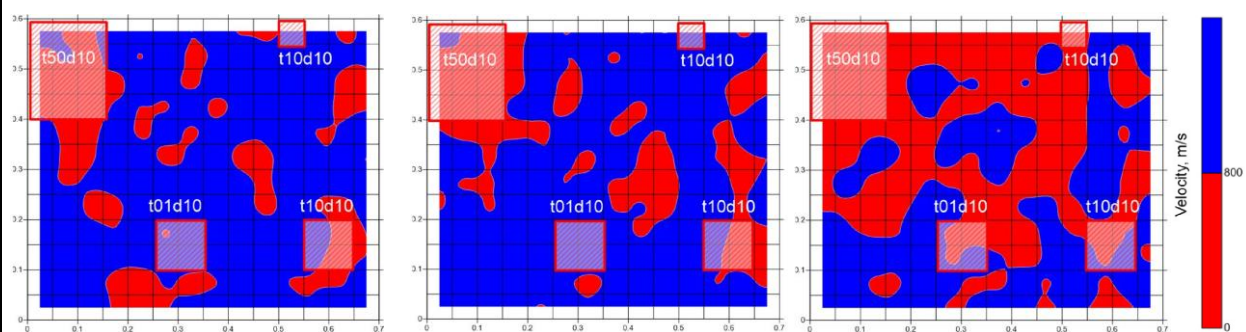


鋼球径3mm

鋼球径5mm

鋼球径10mm

試験体No.2

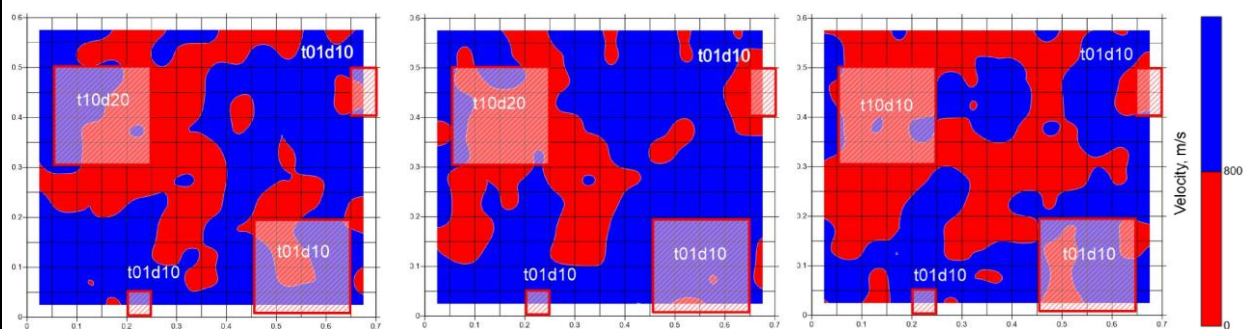


鋼球径3mm

鋼球径5mm

鋼球径10mm

試験体No.3



鋼球径3mm

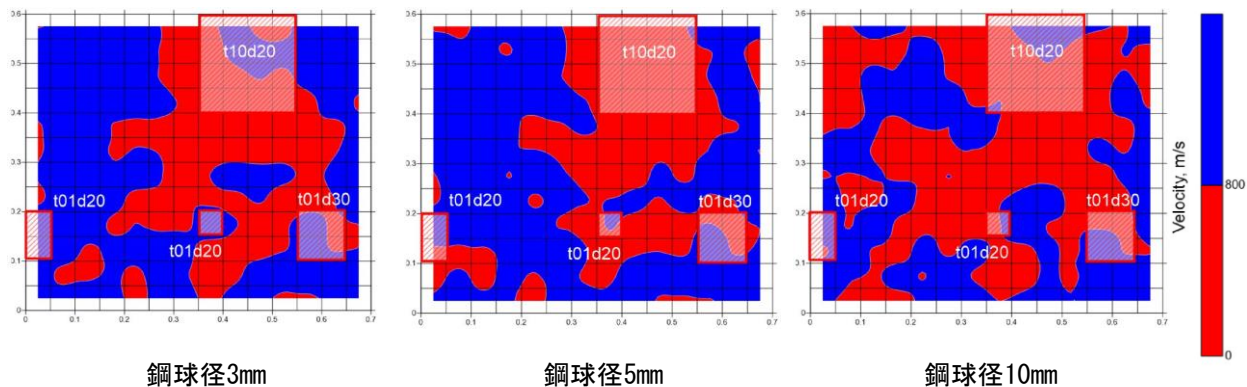
鋼球径5mm

鋼球径10mm

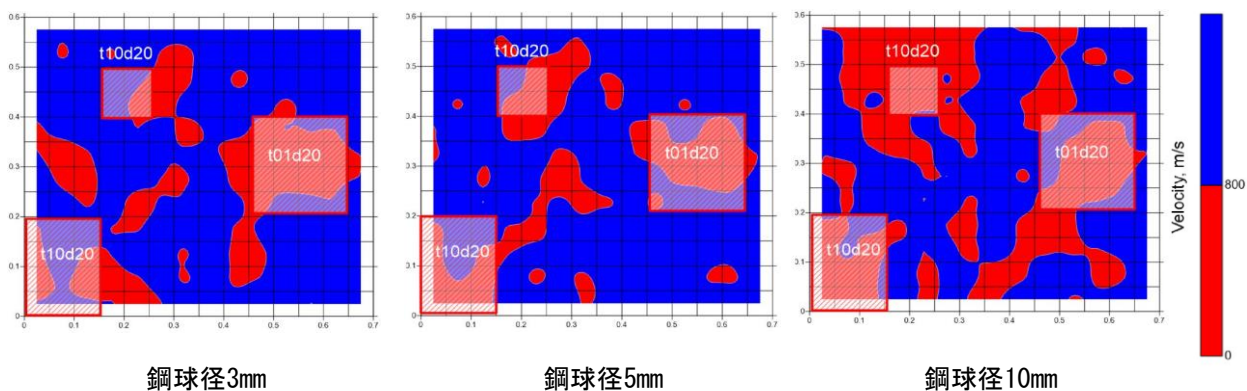
計測結果の比較

計測精度

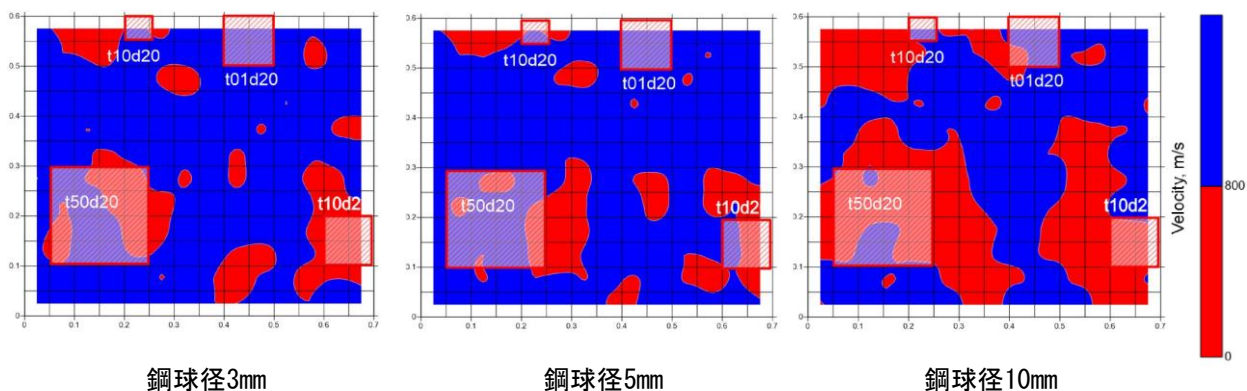
試験体No.4



試験体No.5



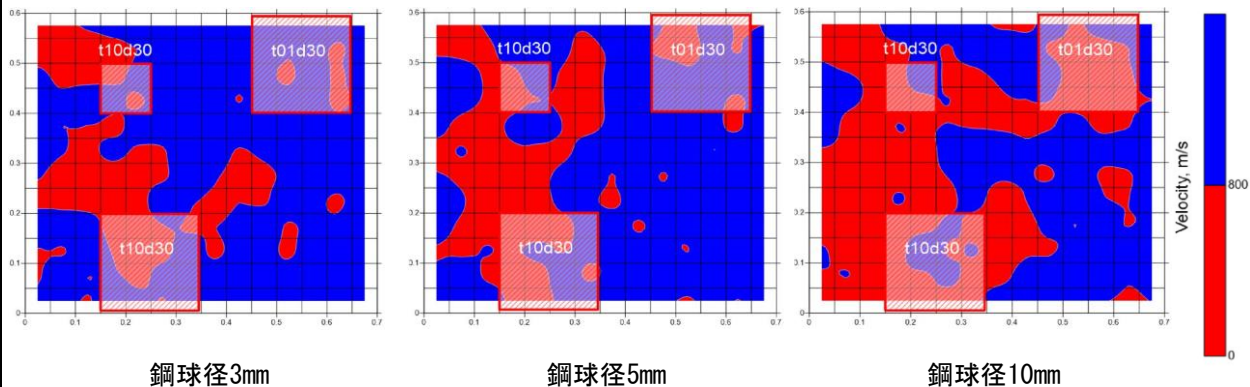
試験体No.6



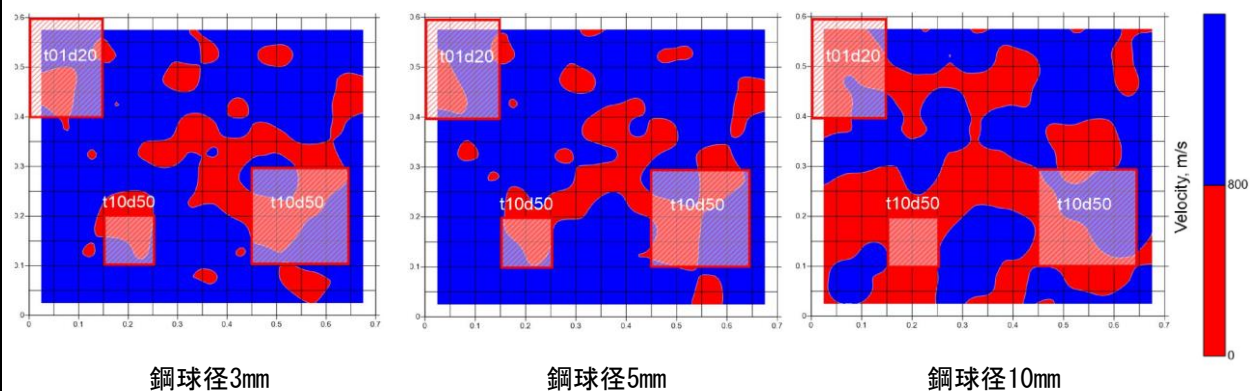
計測結果の比較

計測精度

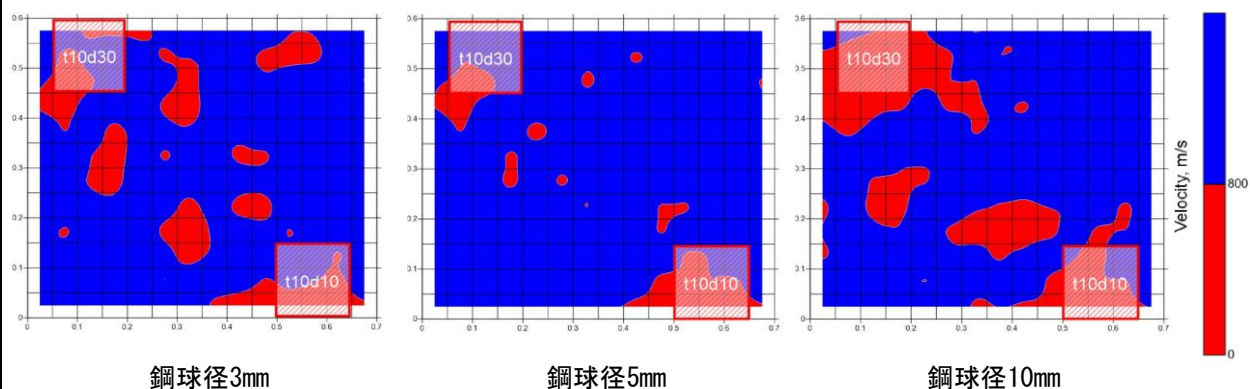
試験体No.7



試験体No.8



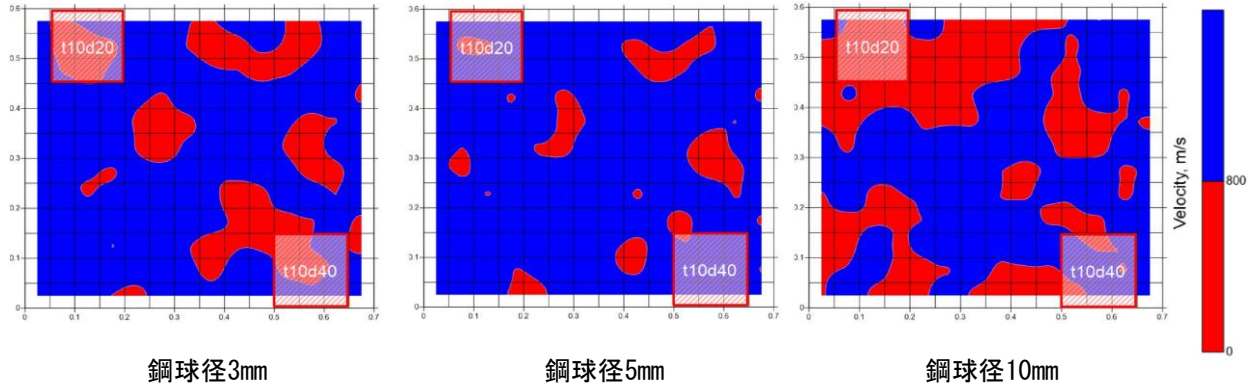
試験体No.9



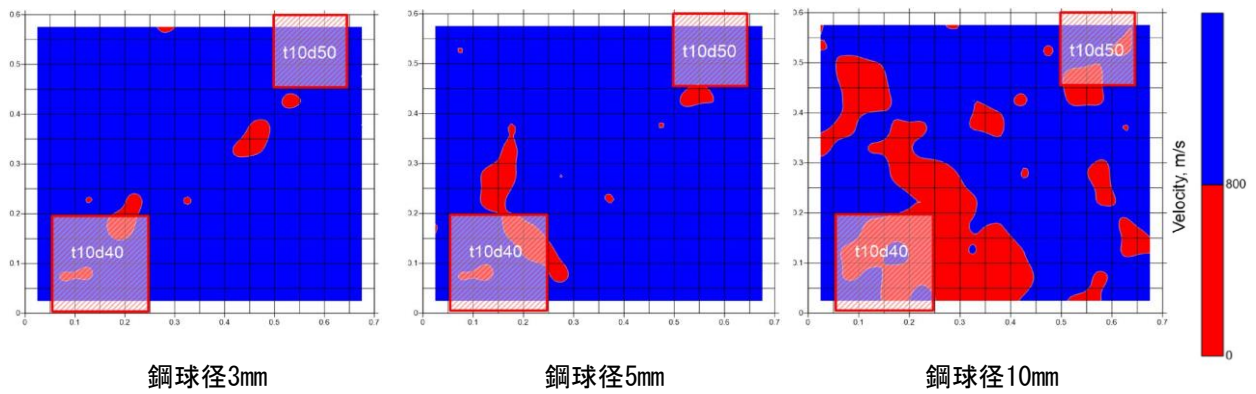
計測結果の比較

計測精度

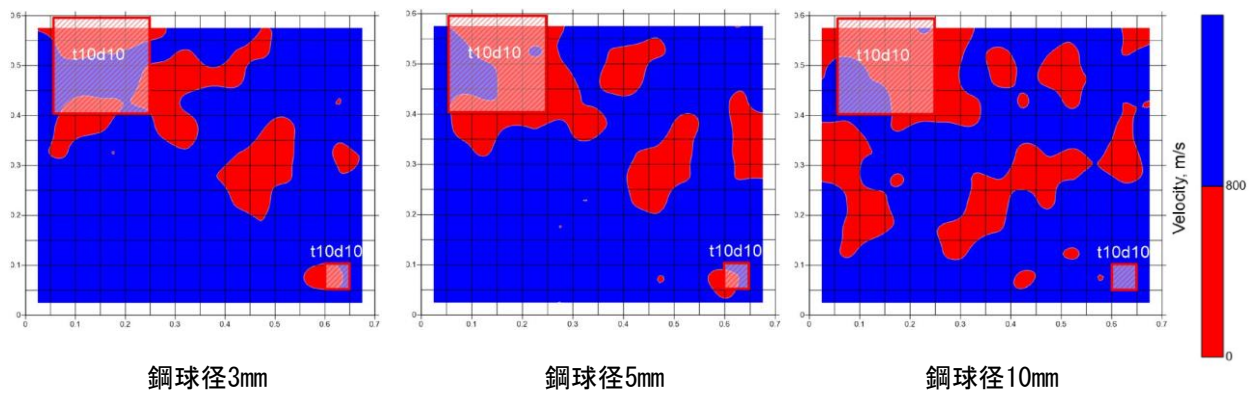
試験体No.10



試験体No.11



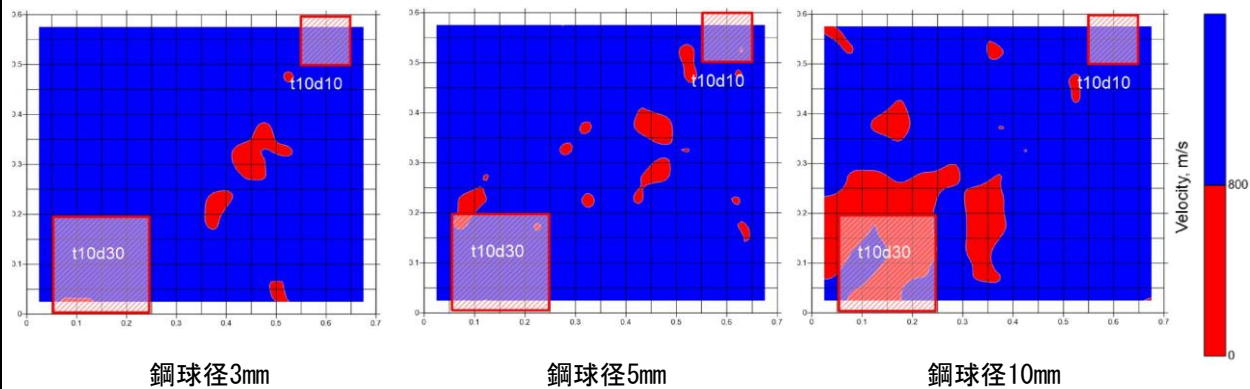
試験体No.12



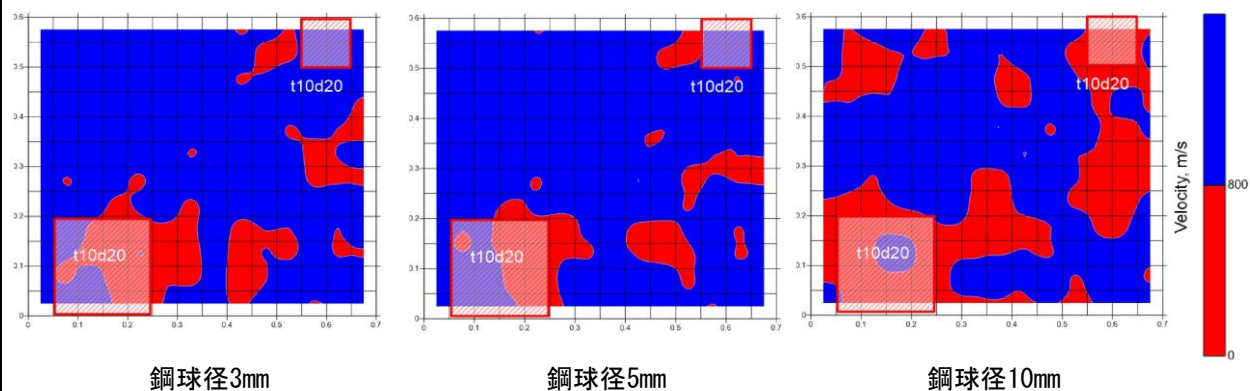
計測結果の比較

計測精度

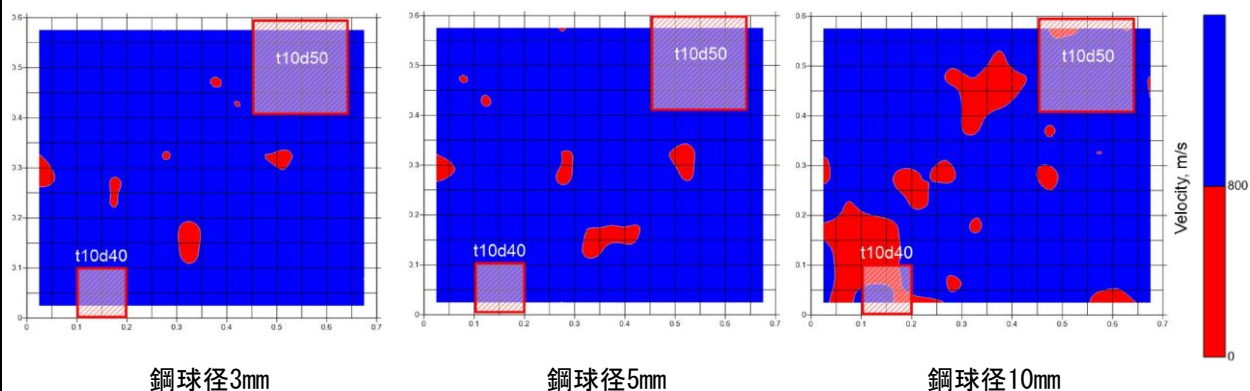
試験体No.13



試験体No.14



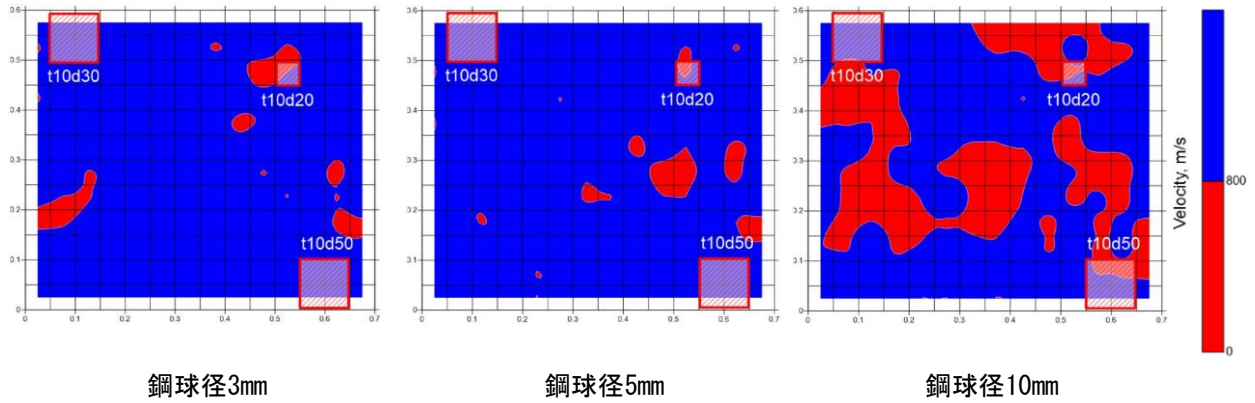
試験体No.15



計測結果の比較

・計測精度

試験体No.16



検出率 (検出率の算出には鋼球径10mmの解析結果コンター図を使用した)

空洞厚	1mm					
深さ	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm	合計
損傷数	35	35	20	-	-	90
検出数	21	23	14	-	-	58
検出率	60%	66%	70%	-	-	64%

空洞厚	10mm					
深さ	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm	合計
損傷数	54	86	52	32	52	276
検出数	34	71	34	16	21	176
検出率	63%	83%	65%	50%	40%	64%

計測結果の比較

・計測精度

空洞厚	50mm					
深さ	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm	合計
損傷数	12	16	-	-	-	28
検出数	12	12	-	-	-	24
検出率	100%	75%	-	-	-	86%

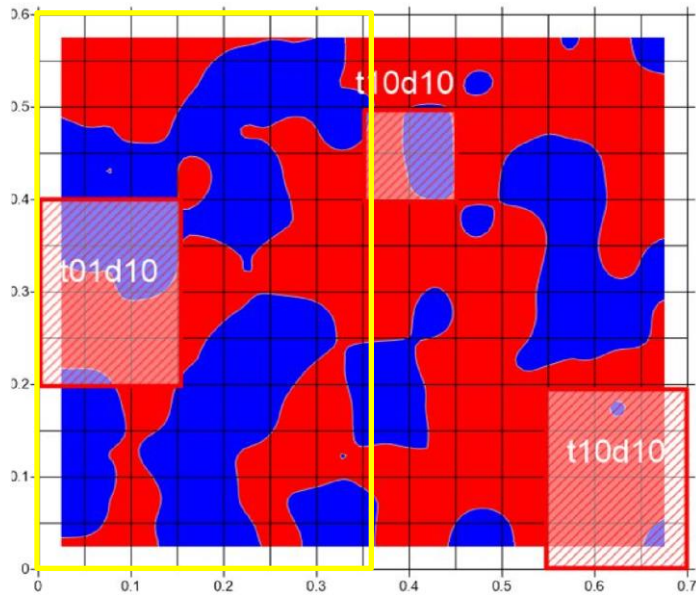
深さ	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm	合計
損傷数	101	137	72	32	52	394
検出数	67	106	48	16	21	258
検出率	66%	77%	67%	50%	40%	65%

計測結果の比較

・位置精度

空洞厚1mm, 深さ10mmの場合

①試験体No.1



t01d10に対して, 黄色範囲の損傷判定と比較

疑似損傷重心位置

$(X, Y) = (0.075, 0.300)$

損傷判定重心位置

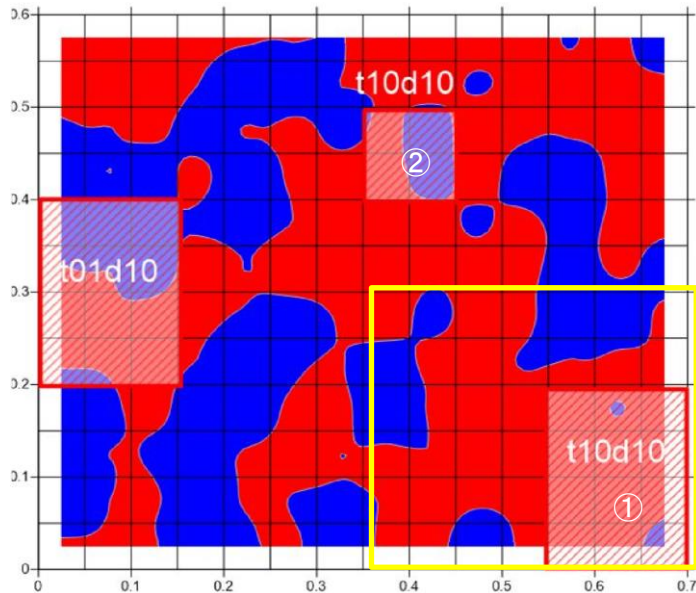
$(X, Y) = (0.175, 0.332)$

水平方向誤差 : 100mm

鉛直方向誤差 : 32mm

空洞厚10mm, 深さ10mmの場合

①試験体No.1



①t10d10に対して, 黄色範囲の損傷判定と比較

疑似損傷重心位置

$(X, Y) = (0.625, 0.100)$

損傷判定重心位置

$(X, Y) = (0.530, 0.139)$

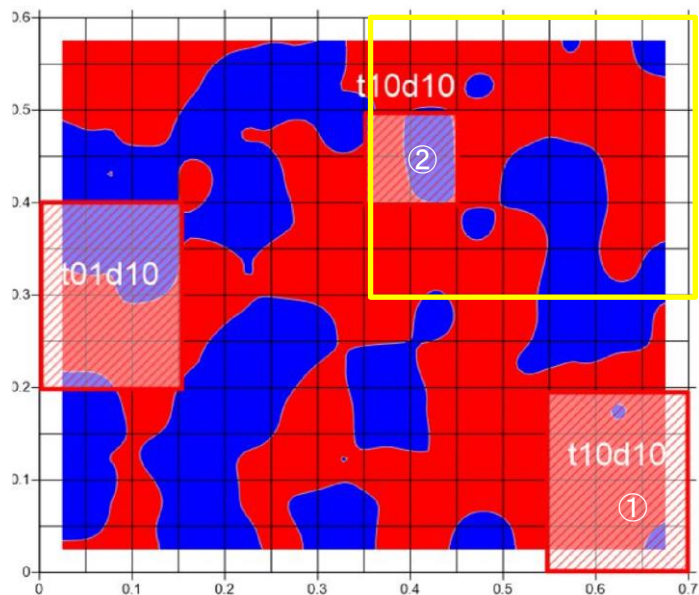
水平方向誤差 : 95mm

鉛直方向誤差 : 39mm

計測結果の比較

・位置精度

②試験体No.1



②t10d10に対して、黄色範囲の損傷判定と比較

疑似損傷重心位置

(X , Y) = (0.400 , 0.450)

損傷判定重心位置

(X , Y) = (0.537 , 0.453)

水平方向誤差 : 137mm

鉛直方向誤差 : 3mm

技術番号	TN020010-V0223	立会者	施工技術総合研究所				
技術名	トンネル覆工内部レーダ探査システム	開発者名	三井E&Sマシナリー				
試験日	2022年 2月 24日	天候	—	気温	— °C	風速	— m/s
試験場所	福島ロボットテストフィールド 試験用トンネル			構造物名	トンネル		
カタログ分類	非破壊計測技術 (トンネル)	カタログ	検出項目	背面空洞	試験フェーズ	標準試験	

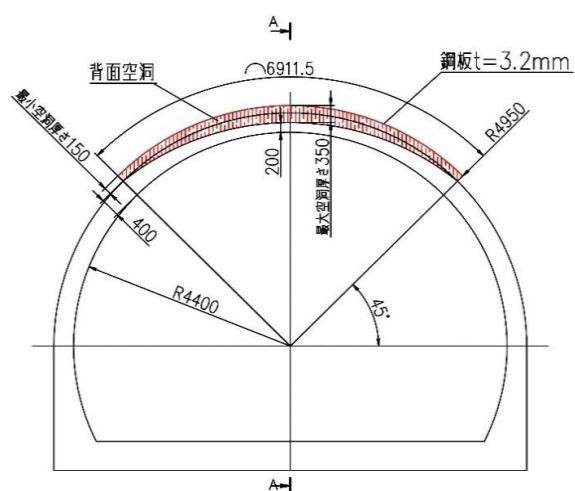
※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること

試験で確認する カタログ項目	計測精度
-------------------	------

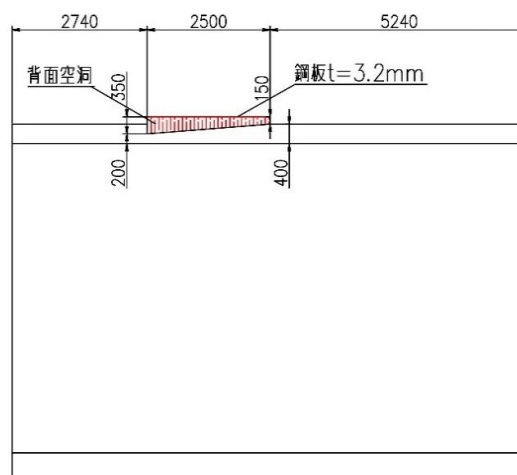
対象構造物の概要

※対象構造物の一般図、全体写真、計測対象となる部位・部材の写真に記載すること

・福島ロボットテストフィールド 試験用トンネル



断面図（背面空洞位置）



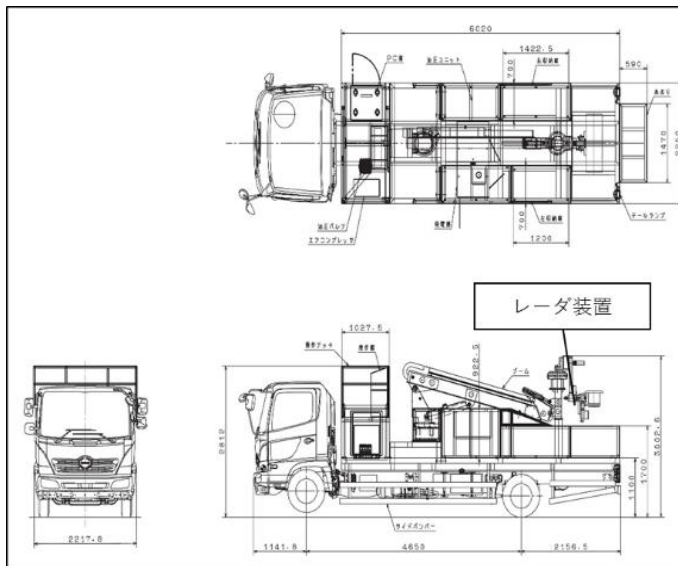
縦断面図（A-A断面）

試験方法(手順)

- ① 試験用トンネルに設置された模擬背面空洞を計測する。
- ② 計測データを解析し、模擬背面空洞の位置・規模を算出する。
- ③ —
- ④ —
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと



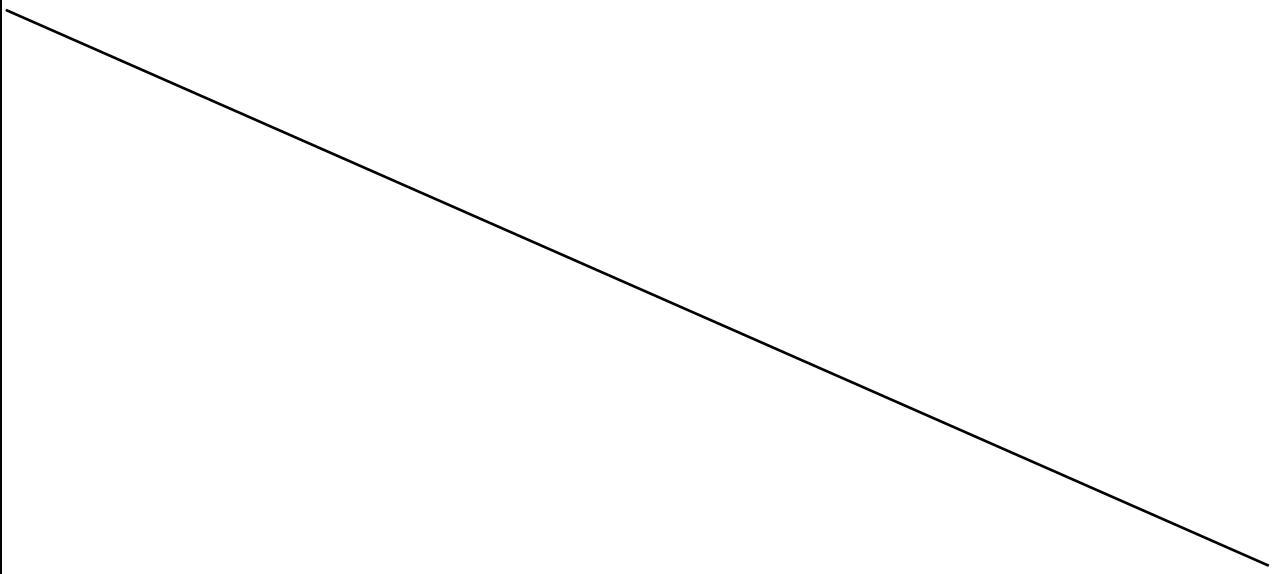
計測状況

計測機器

トンネル覆工内部レーダ探査システム(専用車両一体型)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※計測機器の設置状況が分かるように、写真や図で示すこと



計測結果の比較

※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること

※計測原理に照らし、①性能(精度・信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・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。
- ・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。

②本試験時の条件

- ・トンネル覆工内部レーダ探査システム(専用車両一体型)を使用した。
- ・レーダ装置は探査幅100cmタイプを使用した。
- ・1回の計測は施工目地を基準とした1スパン単位とした。
- ・設計巻厚情報をもとに深さ方向位置の補正を実施した。
- ・トンネル内設備(照明、横断配管)部分は、レーダ装置走査不可のため、計測データなし。

【計測結果】

計測結果と試験対象の位置精度を以下表および図に示す。

	試験対象 [mm]	計測結果 [mm]	誤差 [mm]	備考
トンネル断面方向 サイズ	6911.5	6730	-181.5	
トンネル進行方向 サイズ	2500	—	—	トンネル内設備による計測不可範囲があるため評価不可

	試験対象 [mm]	計測結果 [mm]	誤差 [mm]	備考
空洞始点 (巻厚)	200	210	10	
空洞厚さ	350	393	43	

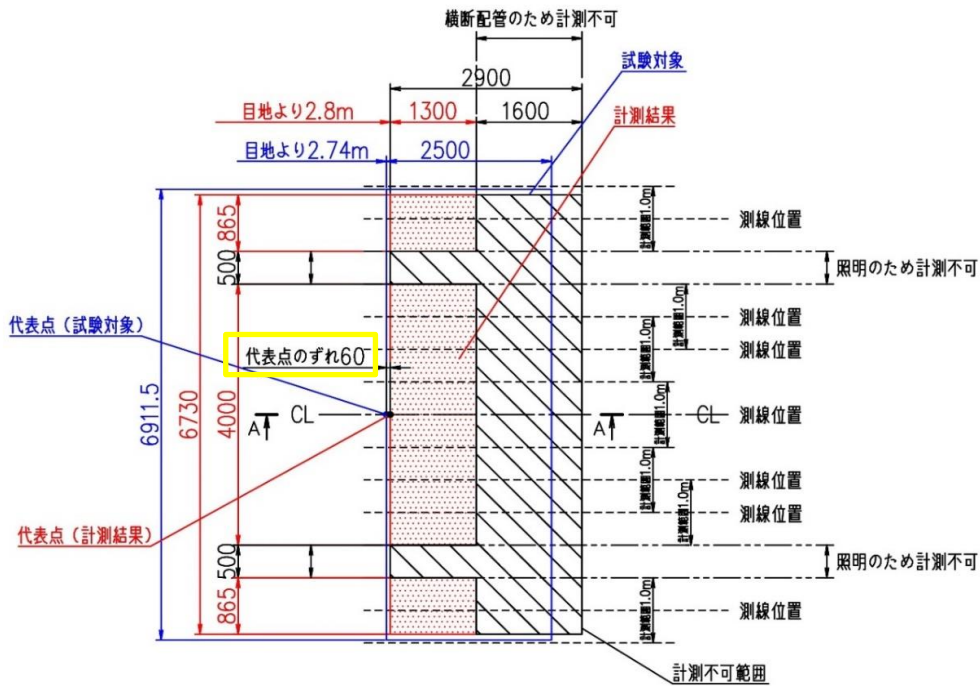
計測結果の比較

※開発者による計測データと立会者による計測データの比較を記載すること

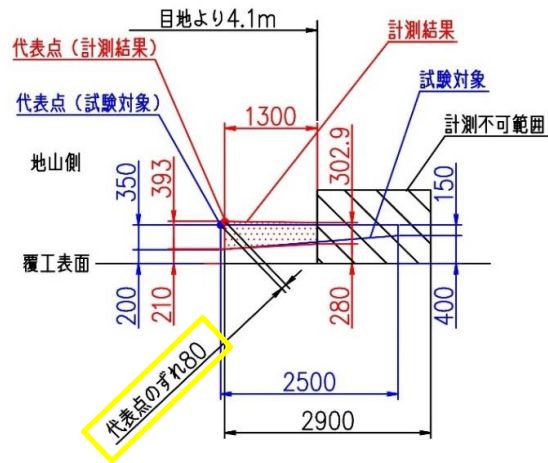
※計測原理に照らし、①性能(精度・信頼性)を確保するための条件、②本試験時の条件を漏れなく記載すること

計測結果と試験対象の位置精度図

※計測不可範囲:トンネル壁面の横断配管、照明等によりレーダ装置が走査できなかった範囲。



平面図 (見下げ)



縦断面図 (A-A断面)

空洞位置

- 1) 進行方向
<タイプ2><タイプ3>の目地位置より<タイプ4>側に
2.8m位置から空洞あり。
- 2) 断面方向
CLを中心として空洞あり。

空洞サイズ

- 1) 平面サイズ: 1300mm×6730mm (進行方向×断面方向)
※計測不可範囲があるため、非破壊検査結果における最大想定空洞規模は2900mm×6730mm
- 2) 深さ方向: 進行方向について
<タイプ4>側に向かって空洞始点深さが深くなっている。
空洞始点深さ 21cm~28cmへ変化 (CL位置)

計測結果と試験対象の位置精度図 (赤: 計測結果 / 青: 試験対象)

技術番号 TN020010-V0223

技術名 トンネル覆工内部レーダ探査システム 開発者名 三井E&Sマシナリー

試験日 2021年 3月 12日 天候 - 気温 - °C 風速 - m/s

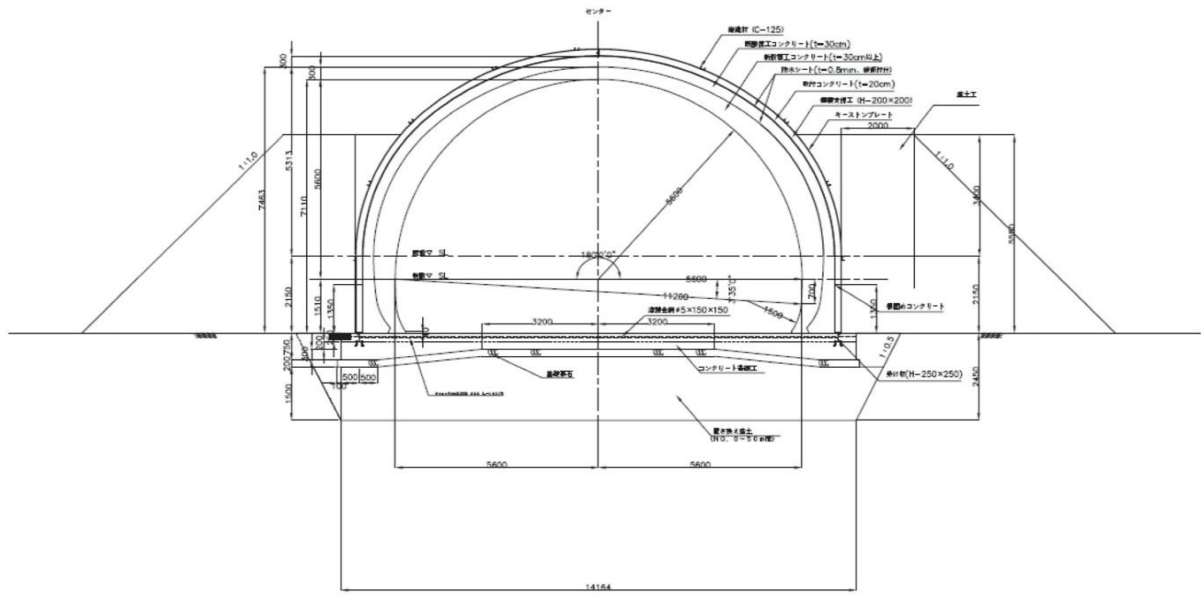
試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊計測技術 (トンネル) カタログ 検出項目 覆工内部変状 試験区分 性能試験 現場試験

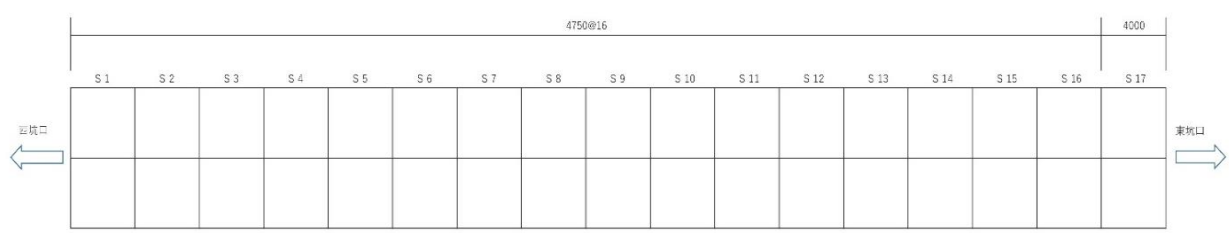
試験で確認する
カタログ項目 位置精度

対象構造物の概要

・施工技術総合研究所 模擬トンネル



模擬トンネル 断面図

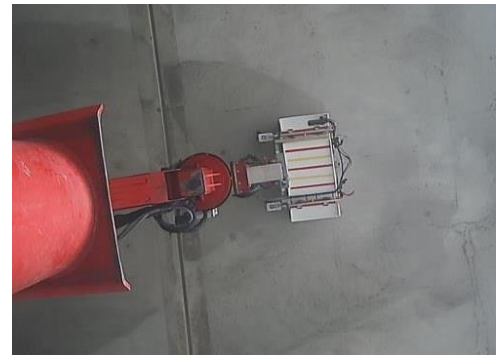
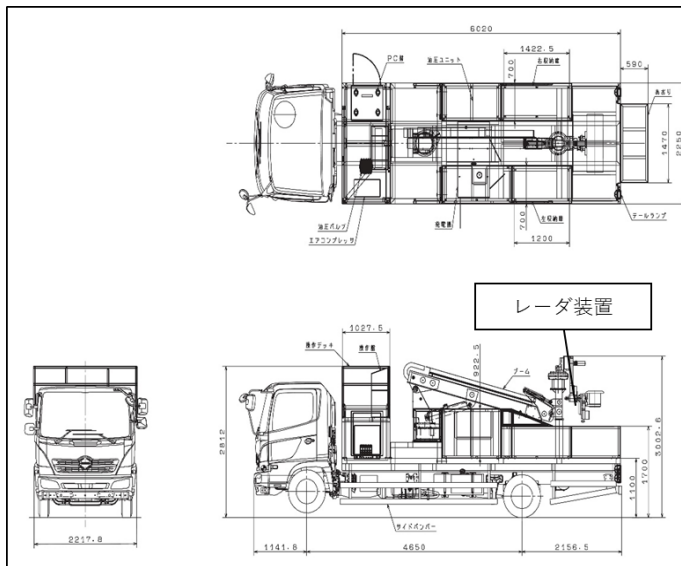


模擬トンネル スパン長

試験方法(手順)

- ① 模擬トンネル内の14スパン(SP02-15/1スパン4.75m 計66.5m)について、計測を実施する。
- ② 計測データより目地位置を特定し、各スパン長を算出する。
- ③ 計測データから算出したスパン長と、実測したスパン長を比較し、位置精度を算出した。
- ④ —
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況

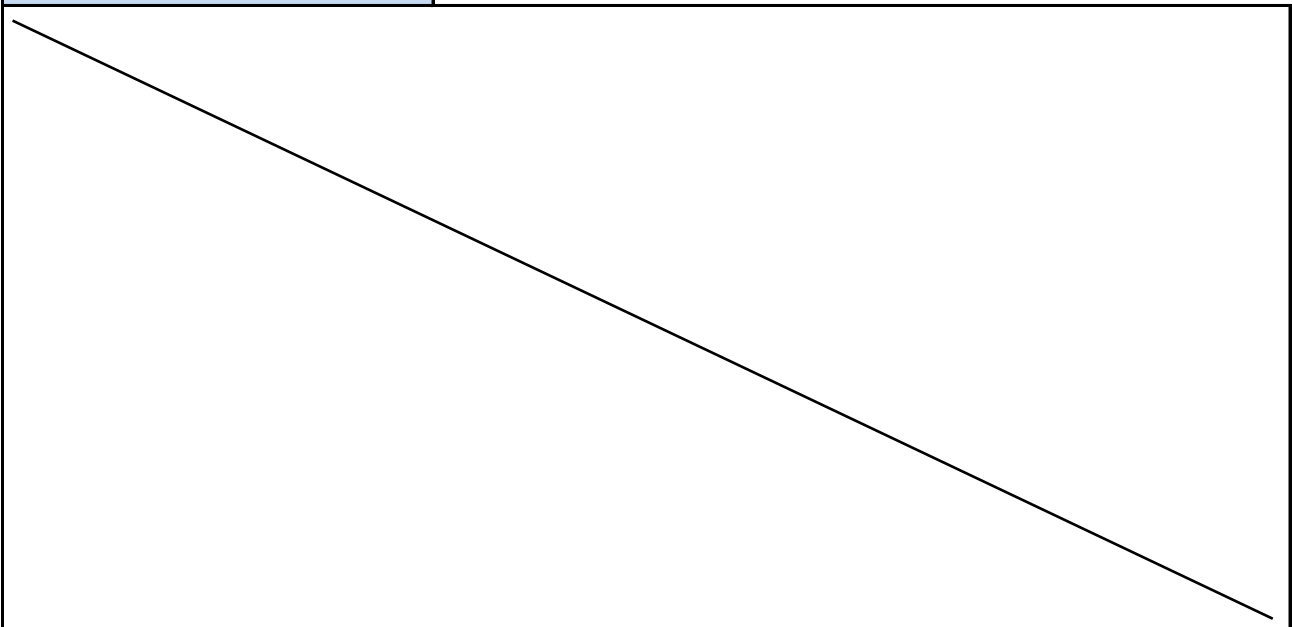


計測状況

計測機器

トンネル覆工内部レーダ探査システム(専用車両一体型)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・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)が無く、目地間を連続的に計測が可能であること。
- ・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。

②本試験時の条件

- ・トンネル覆工内部レーダ探査システム(専用車両一体型)を使用した。
- ・レーダ装置は探査幅100cmタイプを使用した。
- ・1回の計測は2スパン単位とする。

【検証結果】

- ・検証結果を以下表に示す。
- ・以下結果より、平均誤差率は0.7%であることがわかる。

位置精度 検証結果

スパンNo	スパン長 実測値 [m]	スパン長 計測値 [m]	絶対誤差率 [%]	備考
2	4.75	4.70	1.1%	
3	4.75	4.73	0.5%	
4	4.75	4.74	0.3%	
5	4.75	4.80	1.0%	
6	4.75	4.81	1.3%	
7	4.75	4.83	1.7%	
8	4.75	4.73	0.5%	
9	4.75	4.77	0.4%	
10	4.75	4.71	0.9%	
11	4.75	4.79	0.8%	
12	4.75	4.72	0.7%	
13	4.75	4.76	0.1%	
14	4.75	4.77	0.4%	
15	4.75	4.73	0.5%	
平均誤差率			0.7%	

技術番号 TN020010-V0223

技術名 トンネル覆工内部レーダ探査システム 開発者名 三井E&Sマシナリー

試験日 2021年 3月 29日 天候 - 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 株式会社三井E&Sマシナリー テストコース

カタログ分類 非破壊計測技術 (トンネル) カタログ 検出項目 覆工内部変状 試験フェーズ 社内試験

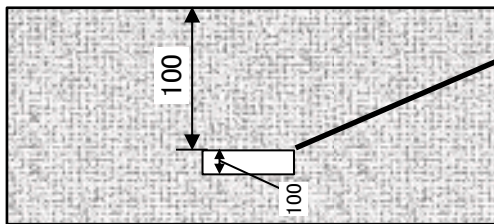
試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

・株式会社三井E&Sマシナリー テストコース



空洞テストコース



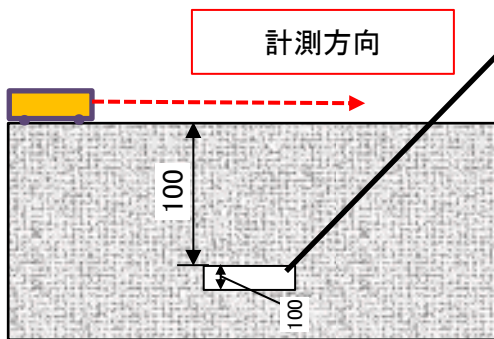
模擬空洞 (t100×500×500 [mm])
(発砲ステロール)

テストコース 模擬空洞敷設図

試験方法(手順)

- ① 模擬空洞は敷設されたテストコースをMPLALレーダ背面空洞用レーダ装置で計測する。
- ② —
- ③ —
- ④ —
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況



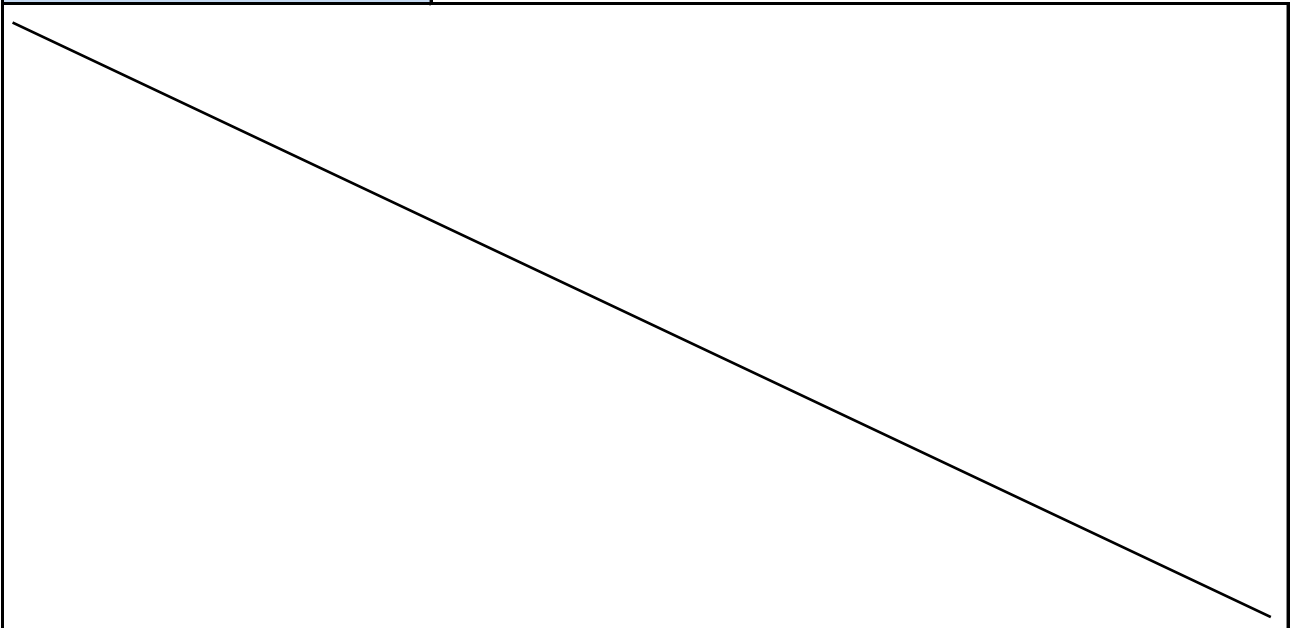
計測状況図

模擬空洞 (t100×500×500 [mm])
(発砲スチロール)



使用計測機器
MPLALレーダ背面空洞用レーダ装置
(探査幅60cmタイプ)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

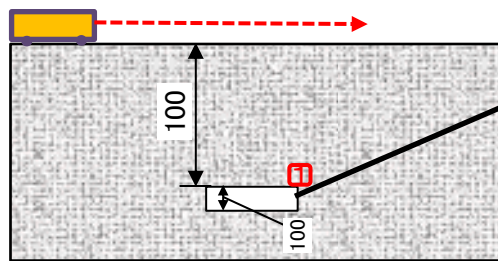
- ・ 計測面にレーダ装置の走査を阻害する突起物(3cm以上)が無いこと。
- ・ テストコースに水濡れ、水たまり等なきこと。

②本試験時の条件

- ・ トンネル覆工内部レーダ探査システムのMPLAレーダ背面空洞用レーダ装置(探査幅60cmタイプ)による計測。

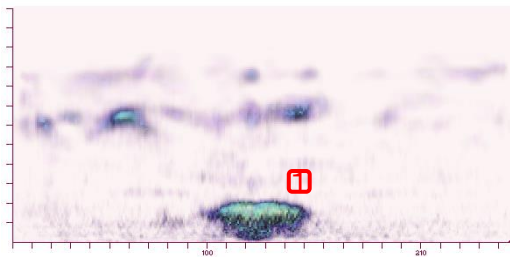
【検証結果】

- ・ 計測画像を以下に示す。
- ・ MPLAレーダ背面空洞用レーダ装置では最大深さ1000mmに埋設されたサイズ $t100 \times 500 \times 500$ [mm]の空洞を検知可能である。

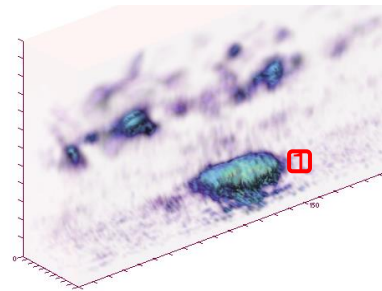


模擬空洞 ($t100 \times 500 \times 500$ [mm])
(発砲ステロール)

模擬空洞 敷設図



計測結果 レーダ断面画像

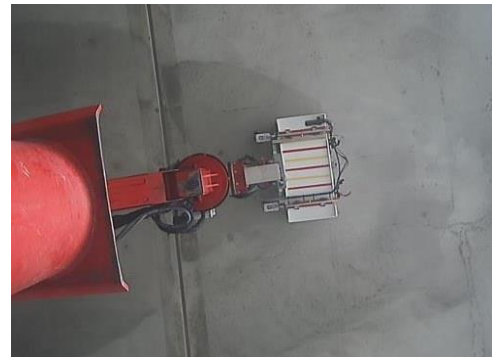
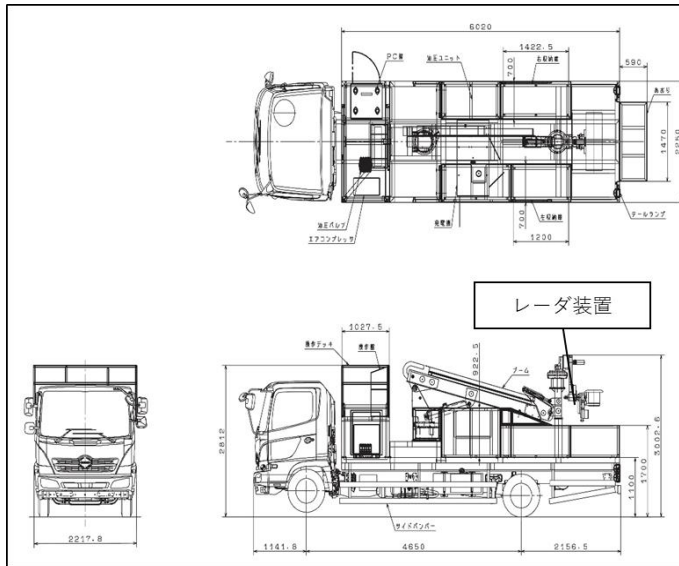


計測結果 レーダ断面画像

試験方法(手順)

- ① 模擬トンネル内の14スパン(SP02-15/1スパン4.75m 計66.5m)について、計測を実施する。
- ② 計測に要する時間を計測する。
- ③ —
- ④ —
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況

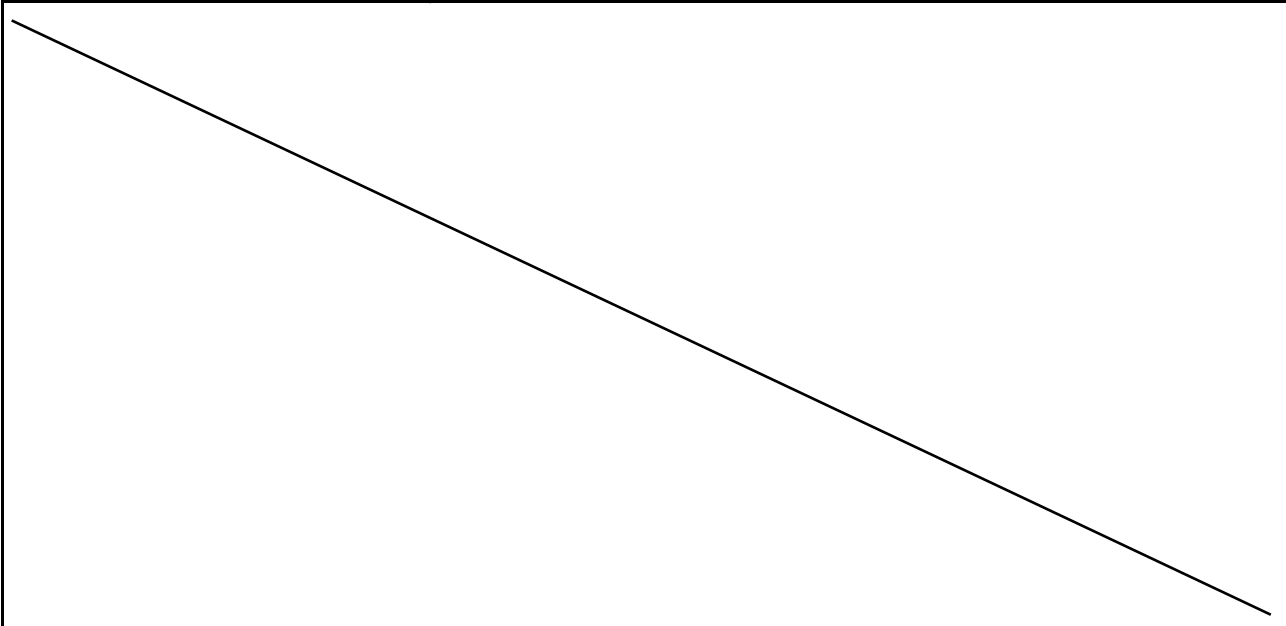


計測状況

計測機器

トンネル覆工内部レーダ探査システム(専用車両一体型)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・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。

②本試験時の条件

- ・トンネル覆工内部レーダ探査システム(専用車両一体型)を使用した。
- ・レーダ装置は探査幅100cmタイプを使用した。
- ・1回の計測は2スパン単位とする。
- ・作業時間は車両を計測位置に停車してから、作業終了し計測装置を収納するまでとした。

【検証結果】

- ・検証結果を以下表に示す。
- ・66.5m³の計測に582秒要した。よって平均計測速度は 6.8 [m³/min] であった。

計測速度 検証結果

作業内容	計測数量 [m ³]	作業時間 [S]	備考
準備	0	145	
計測 (SP02-03)	9.5	40	4.75m×2スパン
準備	0	25	
計測 (SP04-05)	9.5	40	4.75m×2スパン
準備	0	17	
計測 (SP06-07)	9.5	39	4.75m×2スパン
準備	0	16	
計測 (SP08-09)	9.5	41	4.75m×2スパン
準備	0	13	
計測 (SP10-11)	9.5	40	4.75m×2スパン
準備	0	15	
計測 (SP12-13)	9.5	38	4.75m×2スパン
準備	0	13	
計測 (SP14-15)	9.5	38	4.75m×2スパン
撤収	0	62	
合計	66.5	582	

技術番号 TN020010-V0223

技術名 トンネル覆工内部レーダ探査システム(覆工表面近傍空洞)

開発者名 三井E&Sマシナリー

試験日 2021年 3月 12日 天候 - 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊計測技術
(トンネル)

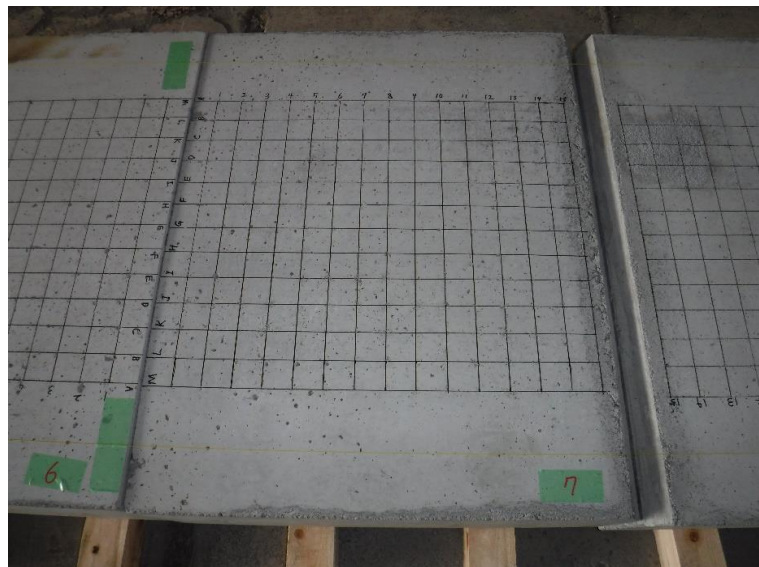
カタログ

検出項目 覆工内部変状

試験フェーズ 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



打音検査用模擬供試体

試験方法(手順)

- ① 施工技術総合研究所 打音検査用模擬供試体をMPLALレーダ高周波型レーダ装置で計測する。
- ② 計測結果から反射が見られる箇所を抽出し、打音異常箇所結果と比較して評価した。
- ③ —
- ④ —
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況

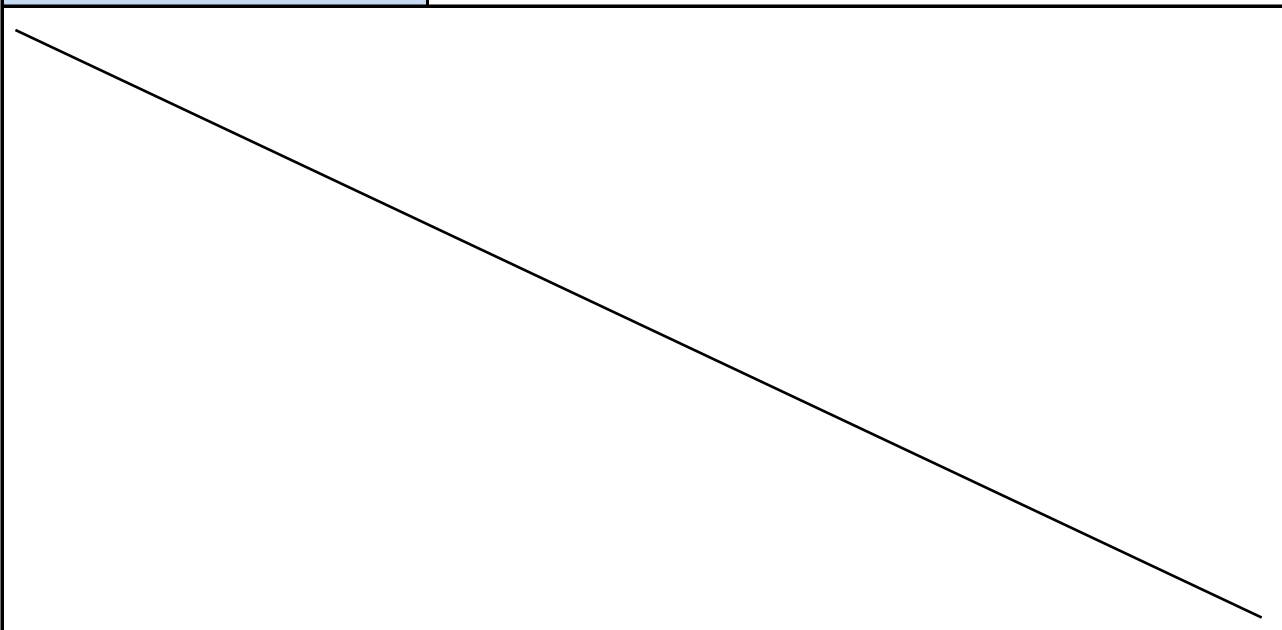


MPLALレーダ高周波型レーダ装置

計測方向

計測状況

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・ 計測面にレーダ装置の走査を阻害する突起物(1cm以上)が無いこと。

②本試験時の条件

- ・ MPLAレーダ高周波型レーダ装置を使用した。
- ・ レーダ計測結果より空洞反射が見られる箇所を抽出し、打音異常箇所を比較を実施した。比較結果は「検出率」「的中率」の2つの数値にて評価を実施した。それぞれの算出方法を下記に示す。

$$\text{検出率} = \frac{\text{正解個数のうち技術で検出できた個数}}{\text{打音異常の正解個数}}$$

$$\text{的中率} = \frac{\text{当該技術で検出した打音異常のうち正解個数}}{\text{技術で検出した個数(誤検出数含む)}}$$

【検証結果1】

- ・ 検証結果を以下表に示す。また検出率、的中率は以下となった。

検出率: 74.7%

的中率: 97.4%

計測精度 検証結果(1)

試験体No	打音検査異常範囲	レーダ検査結果		検出率	的中率
		検出数	内正解数		
1	36	22	20	55.6%	90.9%
2	25	21	21	84.0%	100.0%
3	37	20	16	43.2%	80.0%
4	25	16	16	64.0%	100.0%
5	36	20	20	55.6%	100.0%
6	25	23	21	84.0%	91.3%
7	36	20	20	55.6%	100.0%
8	36	20	20	55.6%	100.0%
9	18	18	18	100.0%	100.0%
10	18	18	18	100.0%	100.0%
11	25	25	25	100.0%	100.0%
12	17	17	17	100.0%	100.0%
13	20	20	20	100.0%	100.0%
14	20	20	20	100.0%	100.0%
15	20	20	20	100.0%	100.0%
16	9	9	9	100.0%	100.0%
全体	403	309	301	74.7%	97.4%

計測結果の比較

【検証結果2】

- ・計測結果を対象物の厚さごとに分類した表を以下に示す。
- ・表より、空洞さ厚10mm以上の場合、深さ50cm以内、サイズ50mm×50mm以上であれば検出可能であるといえる。

計測精度 検証結果(2)

対象物厚さ	打音検査 異常範囲	レーダ検査結果		検出率	的中率
		検出数	内正解数		
1mm	102	0	0	0.0%	—
10mm	269	277	269	100.0%	97.1%
50mm	32	32	32	100.0%	100.0%

(各試験体の計測結果)

試験体No.1

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

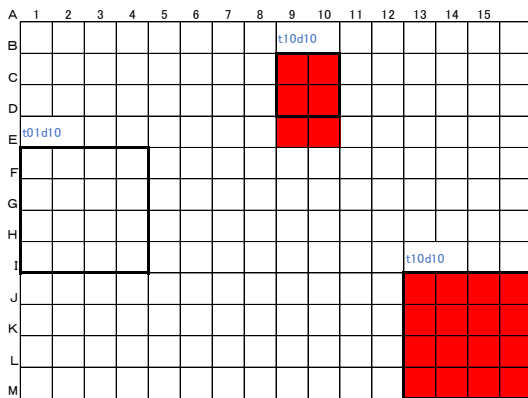


図1-1.試験体No.1の空洞範囲と検出結果

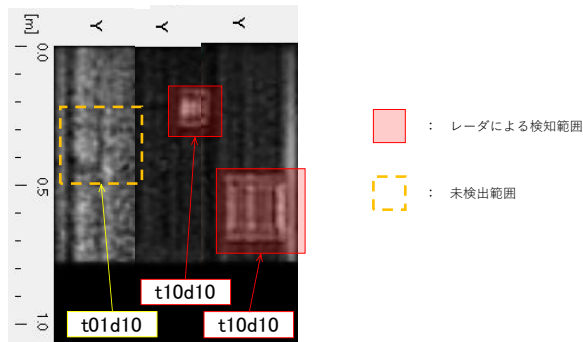


図1-2.試験体No.1の検出画像

表1-1.試験体No.1 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t01d10	16	0	0
t10d10	4	6	4
t10d10	16	16	16
総合	36	22	20

試験体No.2

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

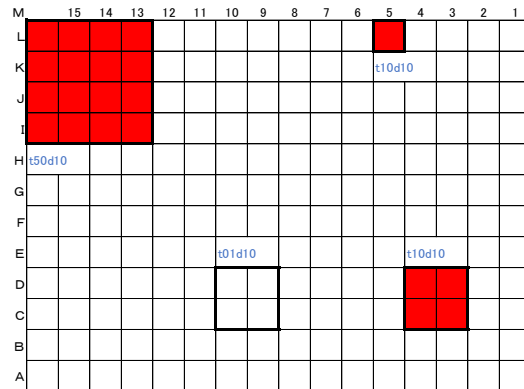


図2-1.試験体No.2の空洞範囲と検出結果

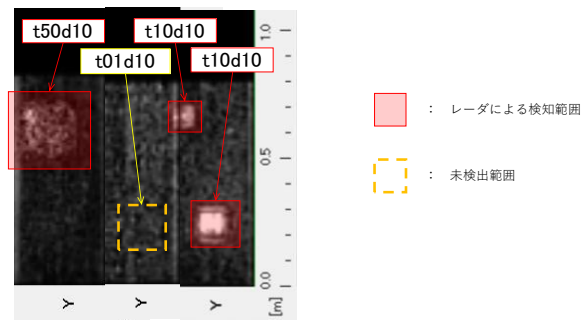


図2-2.試験体No.2の検出画像

表2-1.試験体No.2 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t50d10	16	16	16
t01d10	4	0	0
t10d10	1	1	1
t10d10	4	4	4
総合	25	21	21

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.3

※太線:空洞範囲、赤塗:レーダによる検知範囲

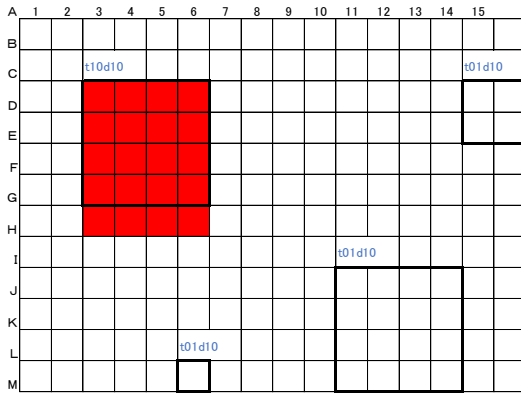


図3-1.試験体No.3の空洞範囲と検出結果

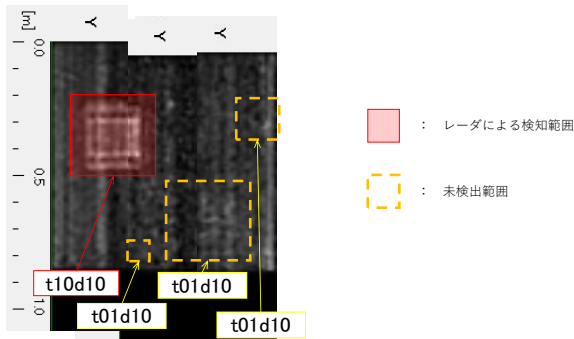


図3-2.試験体No.3の検出画像

表3-1.試験体No.3 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d10	16	20	16
t01d10	1	0	0
t01d10	16	0	0
t01d10	4	0	0
総合	37	20	16

試験体No.4

※太線:空洞範囲、赤塗:レーダによる検知範囲

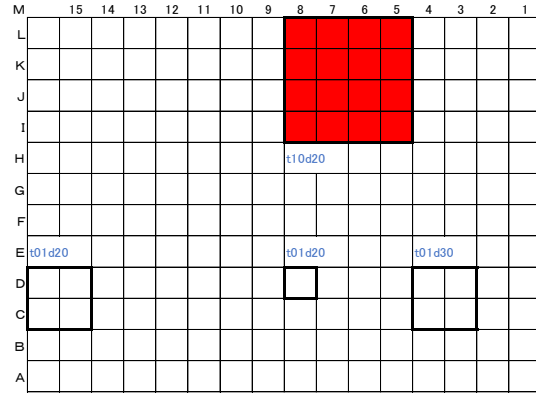


図4-1.試験体No.4の空洞範囲と検出結果

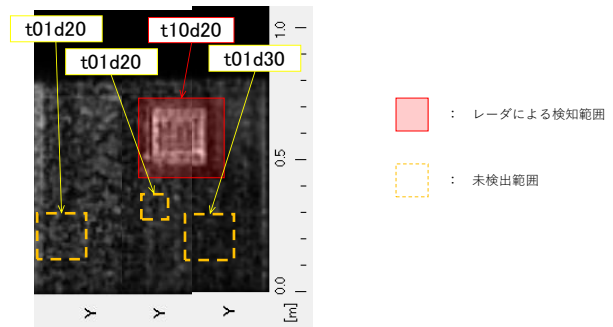


図4-2.試験体No.4の検出画像

表4-1.試験体No.4 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t01d20	4	0	0
t01d20	1	0	0
t10d20	16	16	16
t01d30	4	0	0
総合	25	16	16

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.5

※太線:空洞範囲、赤塗:レーダによる検知範囲

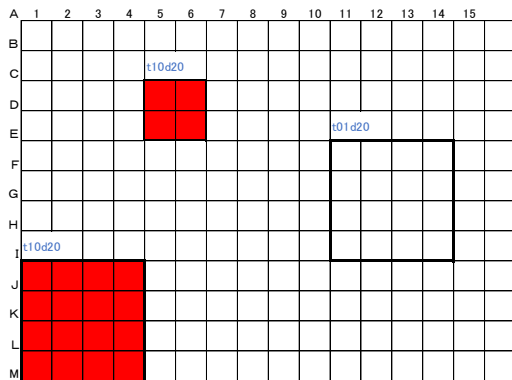


図5-1 試験体No.5の空洞範囲と検出結果

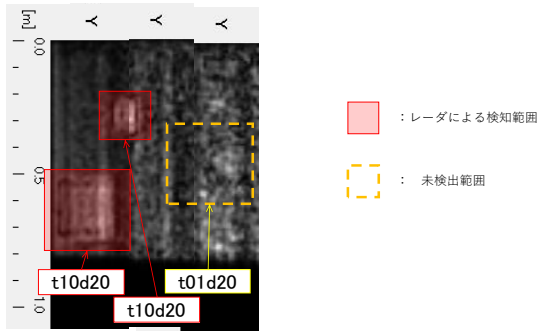


図5-2 試験体No.5の検出画像

表5-1 試験体No.5 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d20	16	16	16
t10d20	4	4	4
t01d20	16	0	0
総合	36	20	20

試験体No.6

※太線:空洞範囲、赤塗:レーダによる検知範囲

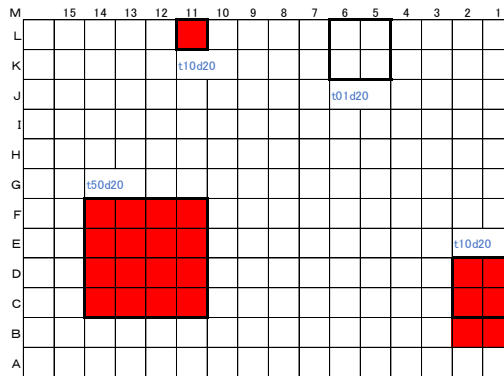


図6-1 試験体No.6の空洞範囲と検出結果

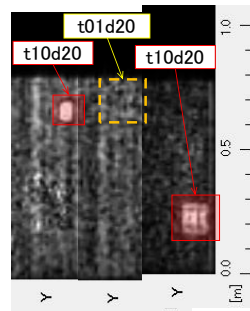


図6-2 試験体No.6の低層部検出画像

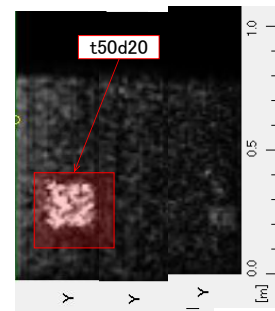


図6-3 試験体No.6の深層部検出画像

表6-1 試験体No.6 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d20	1	1	1
t01d20	4	0	0
t10d20	4	6	4
t50d20	16	16	16
総合	25	23	21

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.7

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

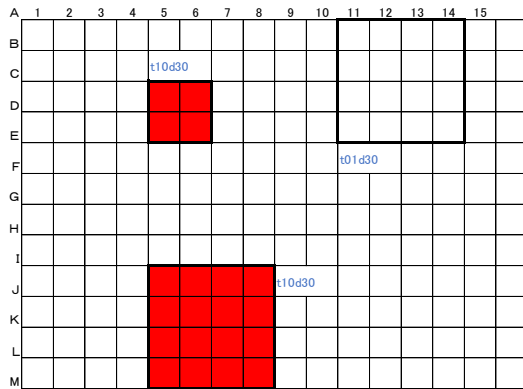


図7-1. 試験体No.7の空洞範囲と検出結果

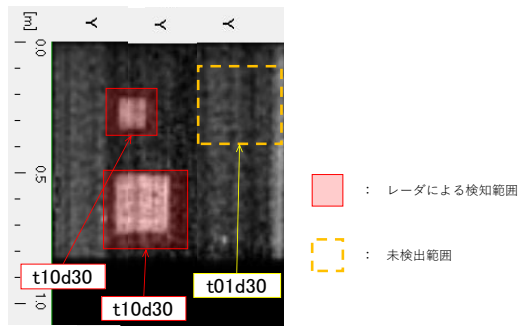


図7-2. 試験体No.7の検出画像

表7-1. 試験体No.7 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d30	4	4	4
t10d30	16	16	16
t01d30	16	0	0
総合	36	20	20

試験体No.8

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

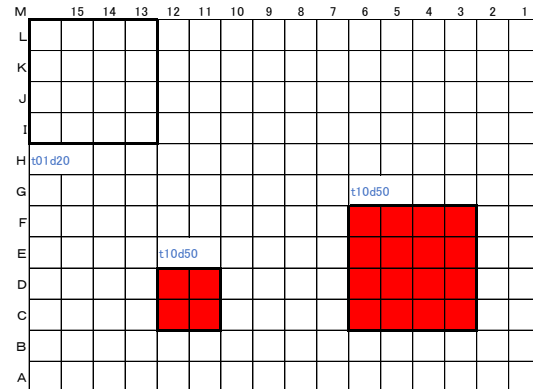


図8-1. 試験体No.8の空洞範囲と検出結果

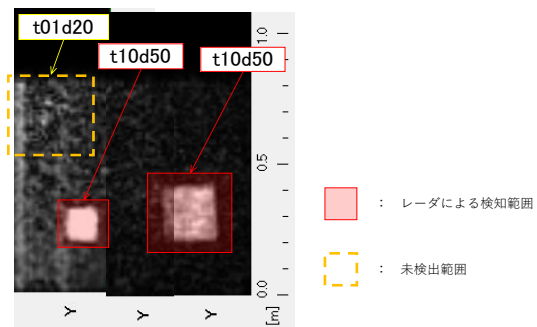


図8-2. 試験体No.8の検出画像

表8-1. 試験体No.8 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t01d20	16	0	0
t10d50	4	4	4
t10d50	16	16	16
総合	36	20	20

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.9

※太線:空洞範囲、赤塗:レーダによる検知範囲

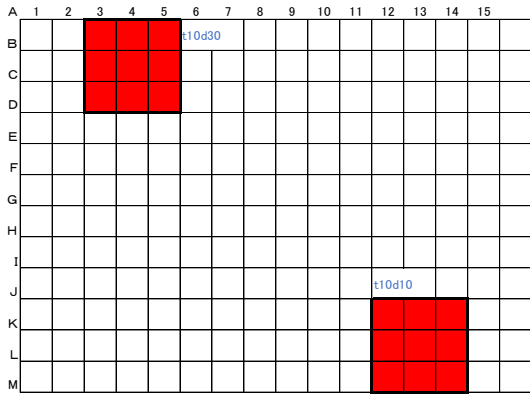


図9-1.試験体No.9の空洞範囲と検出結果

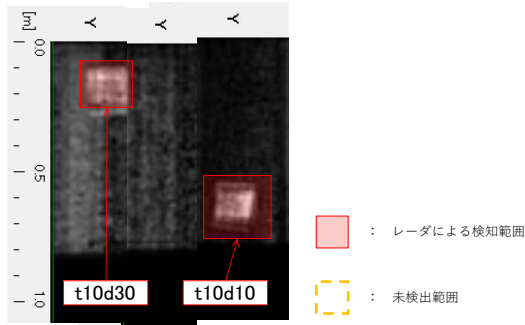


図9-2.試験体No.9の検出画像

表9-1.試験体No.9 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダ検知	
		検出数	的中数
t10d30	9	9	9
t10d10	9	9	9
総合	18	18	18

試験体No.10

※太線:空洞範囲、赤塗:レーダによる検知範囲

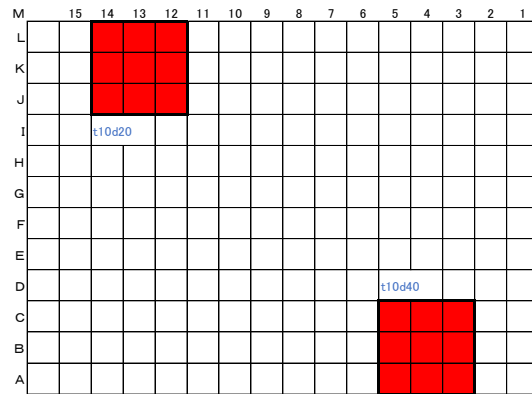


図10-1.試験体No.10の空洞範囲と検出結果

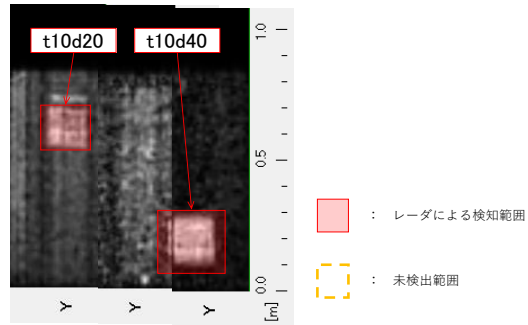


図10-2.試験体No.10の検出画像

表10-1.試験体No.10 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダ検知	
		検出数	的中数
t01d20	9	9	9
t10d40	9	9	9
総合	18	18	18

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.11

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

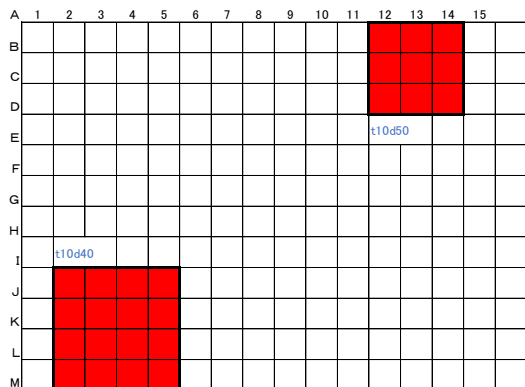


図11-1.試験体No.11の空洞範囲と検出結果

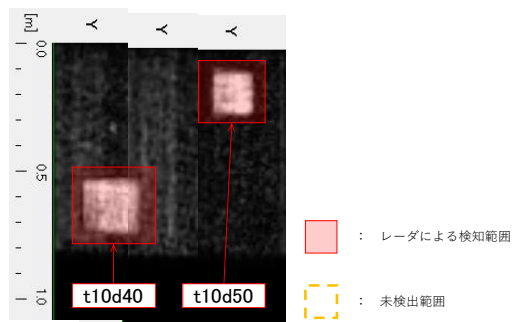


図11-2.試験体No.11の検出画像

表11-1.試験体No.11 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d40	16	16	16
t10d50	9	9	9
総合	25	25	25

試験体No.12

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

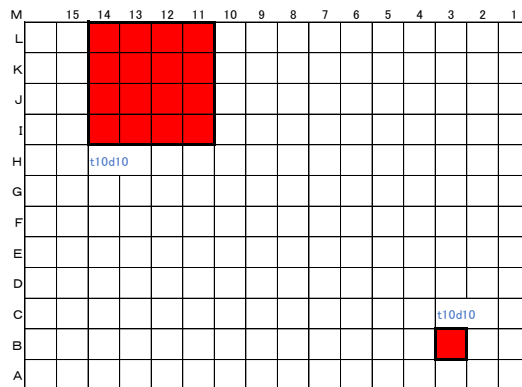


図12-1.試験体No.12の空洞範囲と検出結果

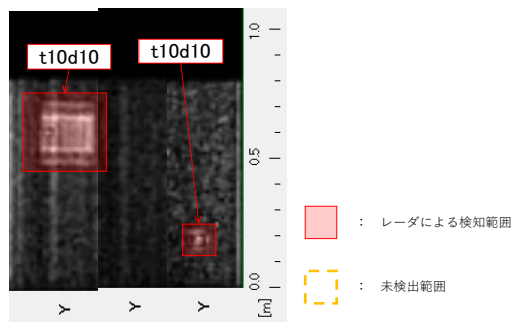


図12-2.試験体No.12の検出画像

表12-1.試験体No.12 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d10	16	16	16
t10d10	1	1	1
総合	17	17	17

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.13

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

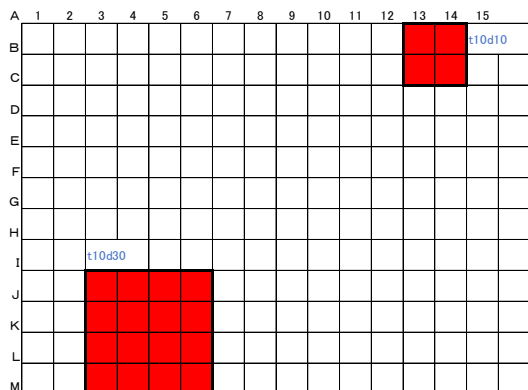


図13-1 試験体No.13の空洞範囲と検出結果

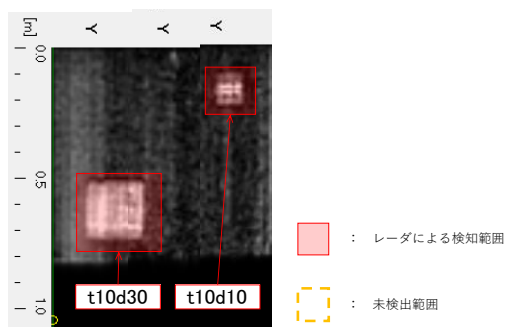


図13-2 試験体No.13の検出画像

表13-1 試験体No.13 検出結果

空洞No.	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d30	16	16	16
t10d10	4	4	4
総合	20	20	20

試験体No.14

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

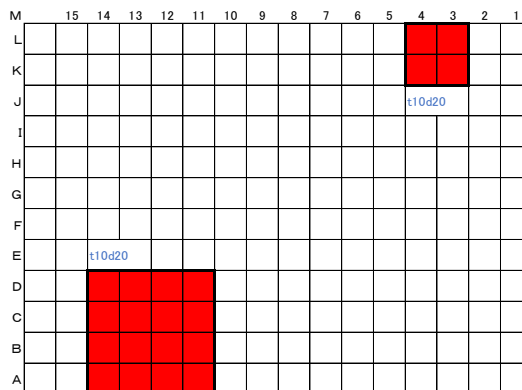


図14-1 試験体No.14の空洞範囲と検出結果

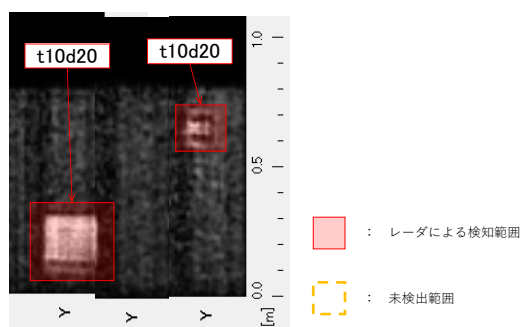


図14-2 試験体No.14の検出画像

表14-1 試験体No.14 検出結果

空洞No.	打音異常正解個数	レーダー検知	
		検出数	的中数
t10d20	16	16	16
t10d20	4	4	4
総合	20	20	20

計測結果の比較

(各試験体の計測結果)

試験体No.15

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

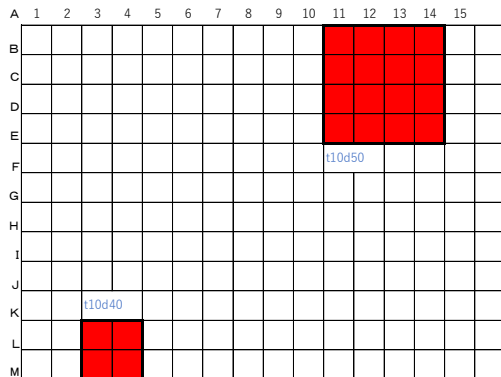


図15-1 試験体No.15の空洞範囲と検出結果

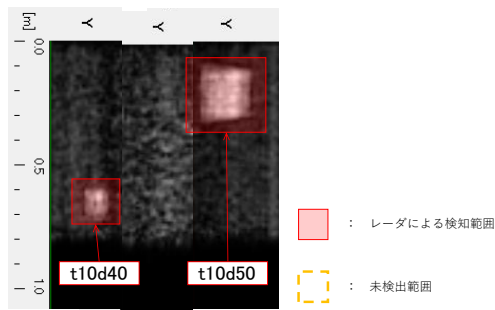


図15-2 試験体No.15の検出画像

表15-1.試験体No.15 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダ検知	
		検出数	的中数
t10d40	4	4	4
t10d50	16	16	16
総合	20	20	20

試験体No.16

※太線: 空洞範囲、赤塗: レーダによる検知範囲

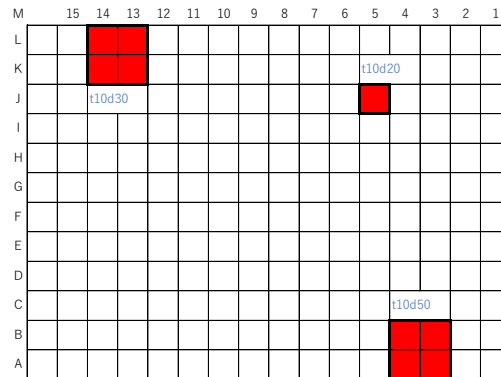


図16-1 試験体No.16の空洞範囲と検出結果

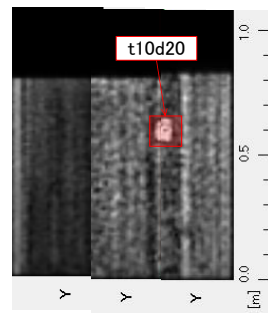


図16-2 試験体No.16の低層部検出画像

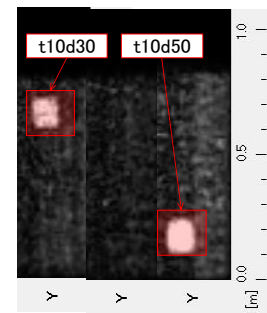


図16-3 試験体No.16の深層部検出画像

表16-1.試験体No.16 検出結果

空洞No	打音異常正解個数	レーダ検知	
		検出数	的中数
t10d20	4	4	4
t10d30	1	1	1
t10d50	4	4	4
総合	9	9	9

■ : レーダによる検知範囲
 : 未検出範囲

技術番号 TN020010-V0223

技術名 トンネル覆工内部レーダ探査システム(覆工表面近傍空洞) 開発者名 三井E&Sマシナリー

試験日 2021年 3月 29日 天候 - 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 株式会社三井E&Sマシナリー 試験供試体

カタログ分類 非破壊計測技術(トンネル) カタログ 検出項目 覆工内部変状 試験フェーズ 社内試験

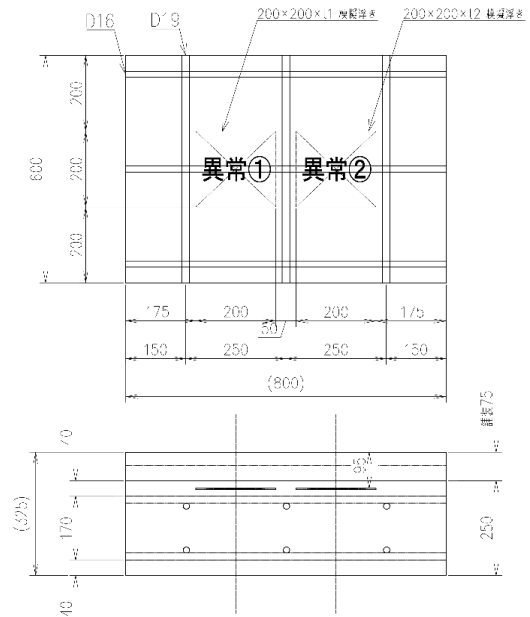
試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

・株式会社三井E&Sマシナリー 試験供試体



試験供試体



試験供試体図面

うきを模擬した厚さ1mm(異常①)、2mm(異常②)のプラスチック板(200×200mm)を供試体の深さ95mm位置に設置した供試体

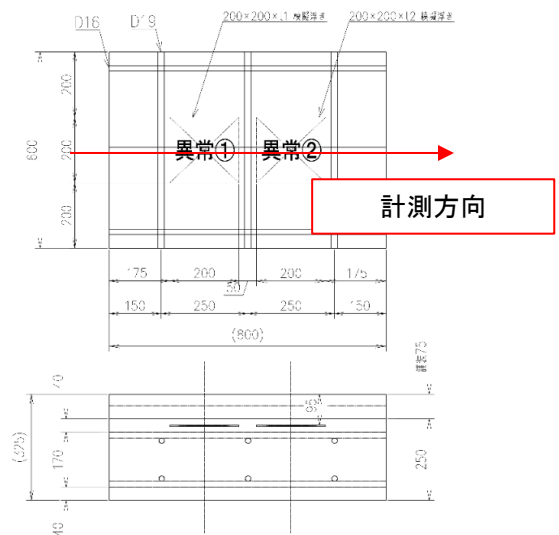
試験方法(手順)

- ① 株式会社三井E&Sマシナリー 試験供試体をMPLAレーダ高周波型レーダ装置で計測する。
- ② 計測結果からレーダ装置の計測精度を検証した。
- ③ —
- ④ —
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況

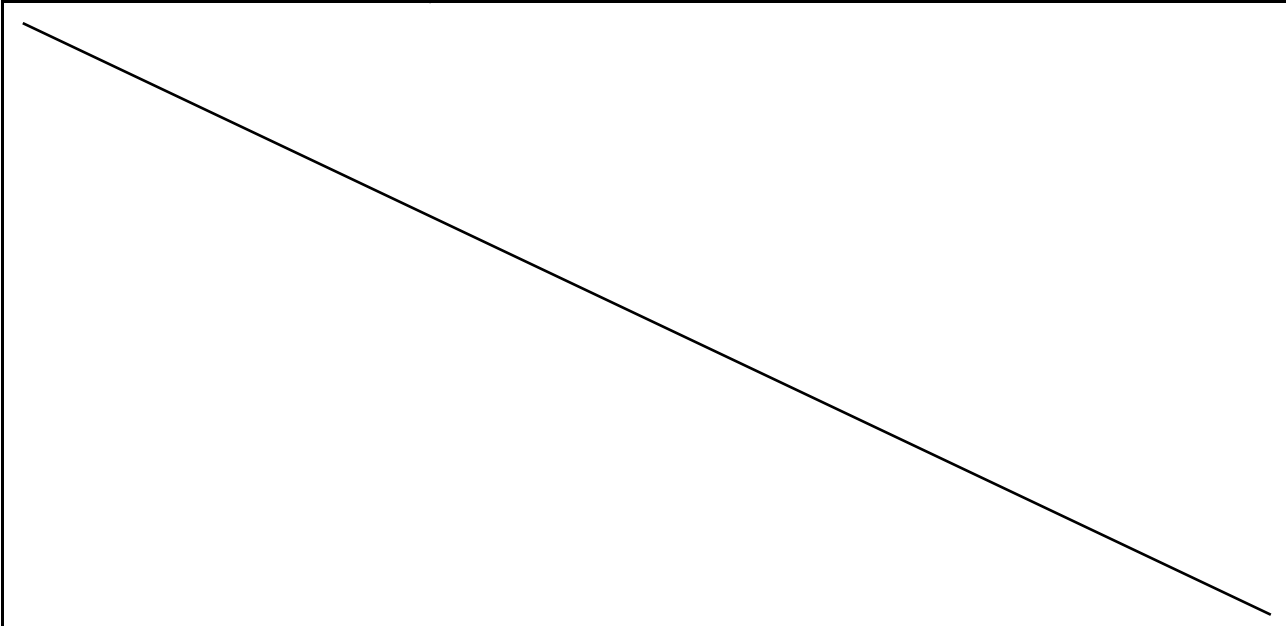


試験供試体 計測状況



試験供試体計測方向

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

①性能(精度・信頼性)を確保するための条件

- ・ 計測面にレーダ装置の走査を阻害する突起物(1cm以上)が無いこと。

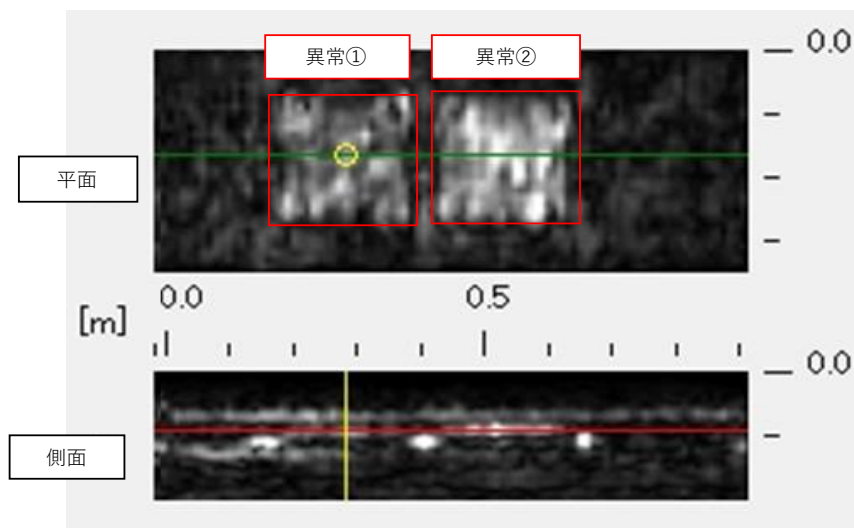
②本試験時の条件

- ・ MPLAレーダ高周波型レーダ装置を使用した。

【検証結果】

- ・ 計測画像を以下に示す。試験供試体の異常①、異常②ともに検知することができた。(下計測画像参照)

- ・ 異常①、②ともに検知できている。表面近傍(95mm以内)の大きさ200mm×200mm以上およびの厚さ1mm、2mmの空洞については検知可能である。



試験供試体 計測画像(平面/側面)

技術番号 TN020011-V0223

技術名 覆工巻厚・背面空洞レーダ探査システム

開発者名 応用地質株式会社
メンテナンス事業部

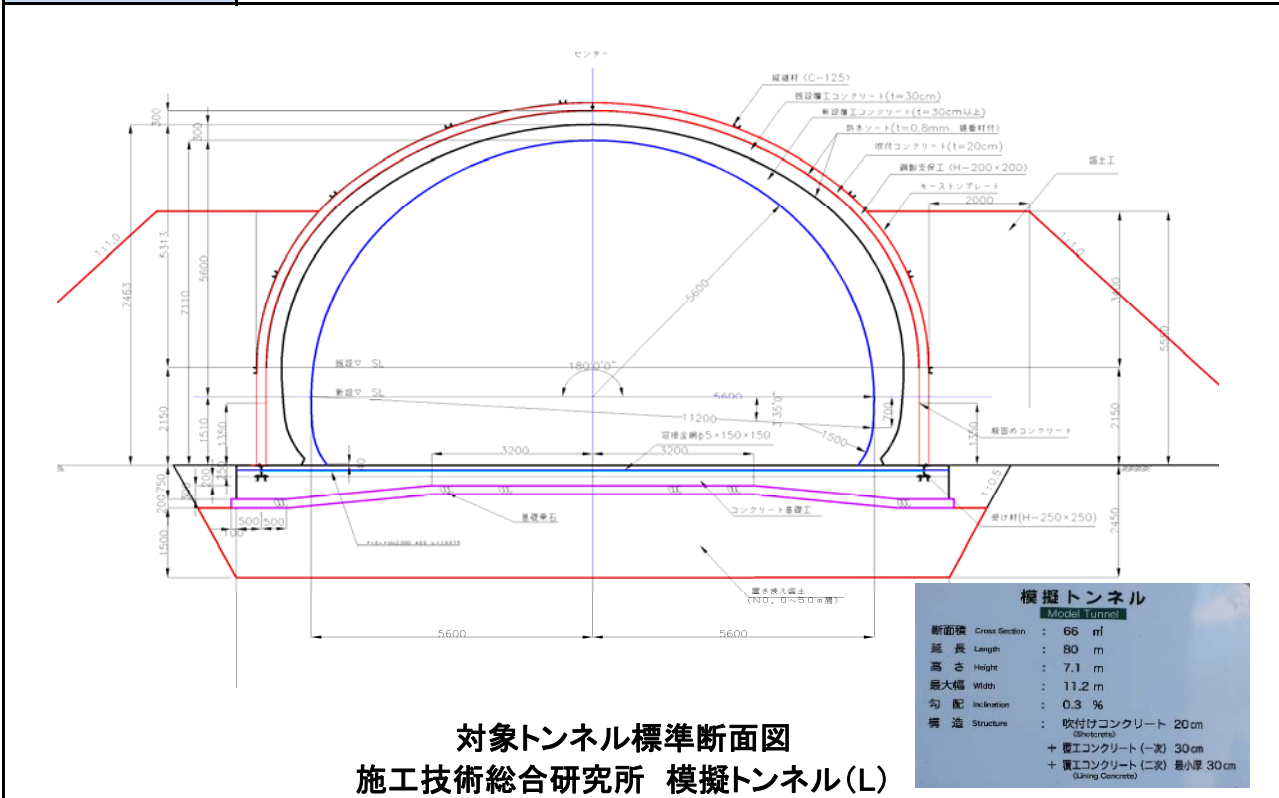
試験日 令和3年 3月 24日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 覆工巻厚、
覆工背面空洞 試験区分 性能試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



対象トンネル標準断面図
施工技術総合研究所 模擬トンネル(L)



トンネル全景写真

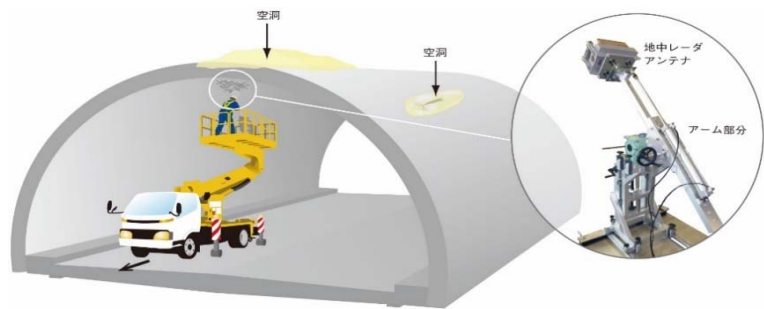
試験方法(手順)

- ① トンネル点検車に測定機器を搭載する。
- ② アンテナを覆工面に押し当て、収録機の信号倍率、記録長などの設定を行う。
- ③ アンテナを覆工面に押し当てた状態でトンネル点検車を移動させながら連続測定を行う。
- ④ 設計覆工巻厚と解析結果の覆工巻厚を比較し、計測精度を算出する。

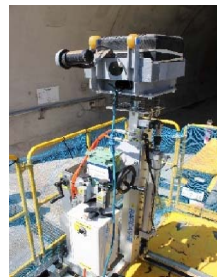
開発者による計測機器の設置状況



トンネル点検車



計測概念図



アンテナおよびブーム



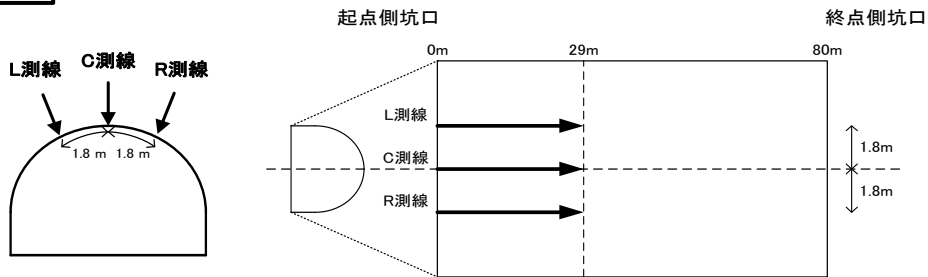
収録機

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

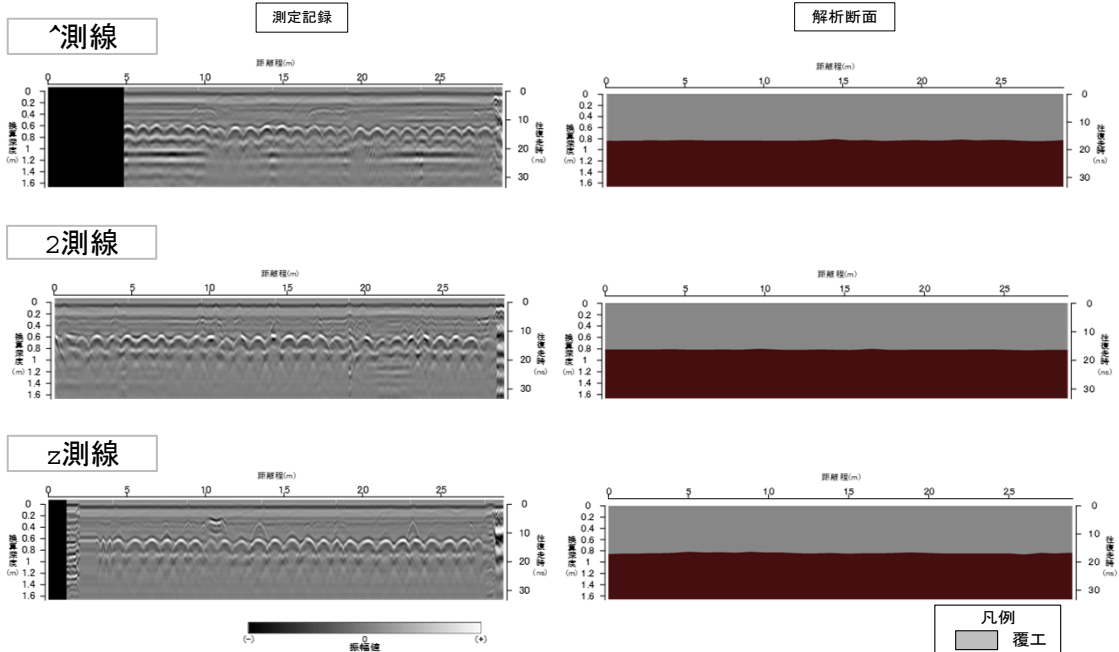
特になし

計測結果の比較

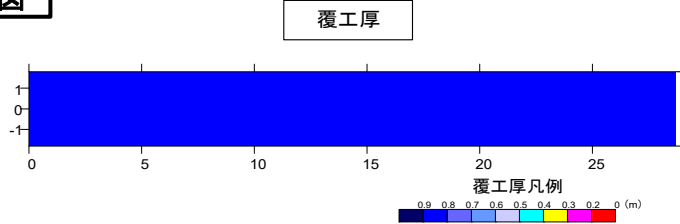
測線配置図



測定記録および解析結果図



覆工厚分布図



【結果概要】

- ・計測速度は2km/hで実施し、良好な記録を取得することができた。
- ・解析の結果、覆工厚は80~86cm（平均値83cm）となり、設計覆工厚80cmと比較すると誤差10%未満であった。また、空洞は無かった。
- ・約100cm間隔で支保工があることを確認した。

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

開発者名 株式会社 アミック

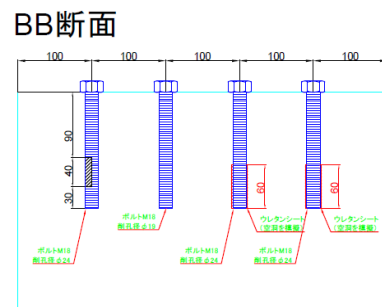
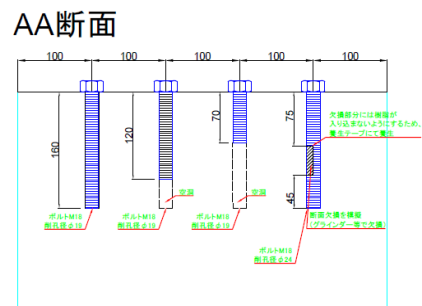
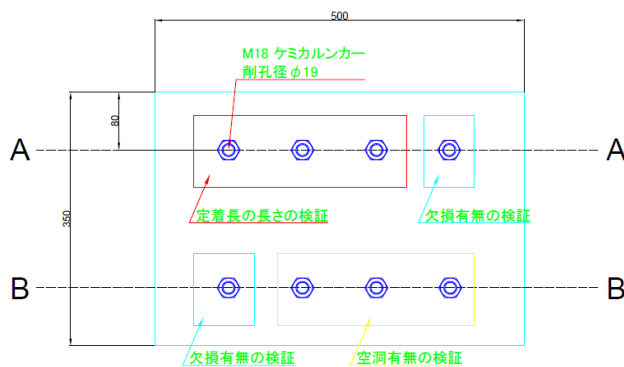
試験日 令和3年 3月29日 4月13日 天候 晴れ 雨 気温 25 °C 16 °C 風速 - m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 アンカー定着部の健全性と定着長 試験フェーズ 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



コンクリートブロック供試体概

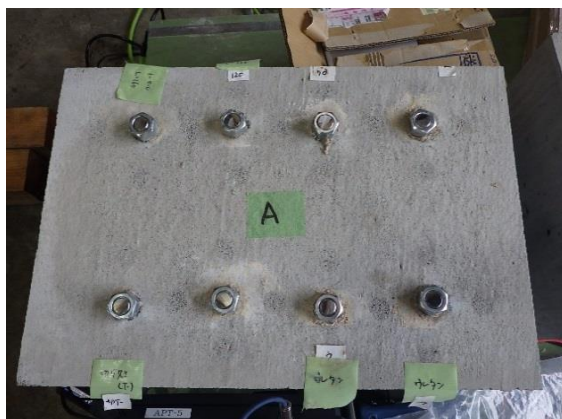


写真-1 供試体A(ナットあり)



写真-2 供試体B(ナットなし)

試験方法(手順)

- ① コンクリート表面測定箇所のマーキング(電磁パルス法)(写真-3)
- ② 電磁パルス法での正規施工アンカー測定による基準データ作成(写真-3)
- ③ 電磁パルス法によるアンカー定着部の健全性評価(写真-3)
- ④ 超音波法によるアンカー長さ測定(写真-4)

開発者による計測機器の設置状況



写真-3 電磁パルス法による定着部健全性評価の状況



写真-4 超音波法によるアンカー長さ測定の様子

【電磁パルス法による定着部健全評価の手順】

- ① 基準アンカーにおいてアンカー筋頭部とコンクリート表面のデータを採取する
 - ② このデータから判定データを作成する
 - ③ 評価対象アンカーについて①と同じ測定を行う
 - ④ このデータと判定データを比較しNGポイントを付与し健全性を評価する
- ※NGポイントについては技術マニュアルを参照。

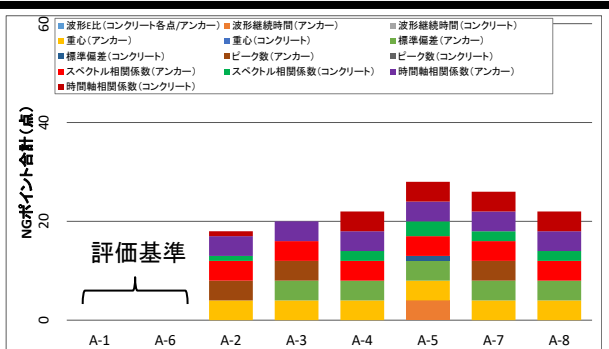
比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

計測結果の比較

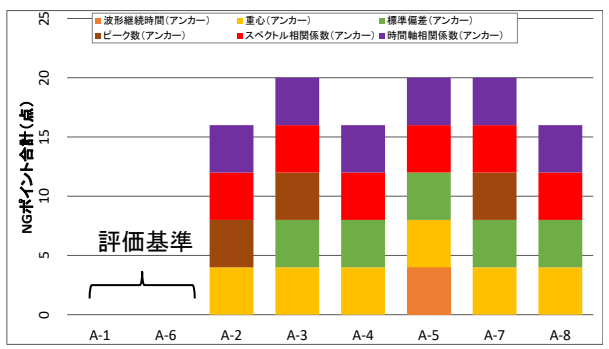
現場で得られたNGポイントを、後日、グラフで示した。
 施工不良にはNGポイントが付くようになっている。詳細は技術マニュアルを参照。

【電磁パルス法による定着部健全性評価】

供試体A(ナットあり)の評価結果の評価結果

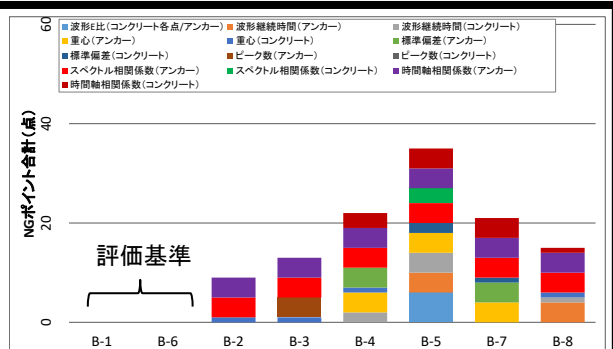


(a)コンクリート表面受信とアンカー筋頭部で評価した場合

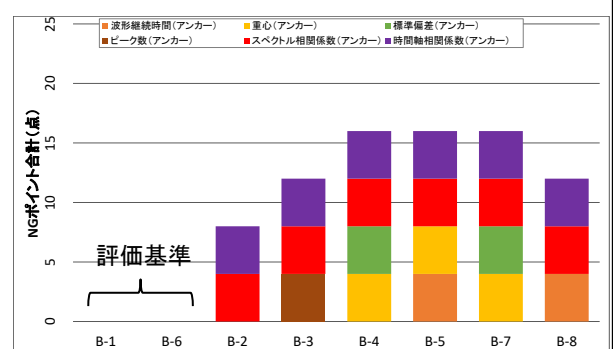


(b)アンカー筋頭部受信のみで評価した場合

供試体B(ナットなし)の評価結果の評価結果



(a)コンクリート表面受信とアンカー筋頭部で評価した場合



(b)アンカー筋頭部受信のみで評価した場合

健全性評価は、アンカー筋頭部とコンクリート表面で採取したデータにより行うが、表面の凹凸が激しくコンクリートでの測定が不可能な場合を想定しアンカー筋頭部のみでの評価も行った

供試体(A)と同様に、アンカー筋頭部受信とコンクリート表面受信で評価した場合と、アンカー筋頭部受信のみで評価した場合で検討した

- (a)コンクリート表面受信とアンカー筋頭部受信で評価した場合
不良施工は全て異常と判定できた
- (b)アンカー筋頭部受信のみで評価した場合
不良施工は全て異常と判定できた

- (a)コンクリート表面とアンカー筋頭部で評価した場合
不良施工は全て異常と判定できた
- (b)アンカー筋頭部のみで評価した場合
不良施工は全て異常と判定できた

【超音波法によるアンカー長さ測定】

No.	A-1	A-2	A-3	A-4
アンカー全長(mm)	177.6	135.7	85.1	174.1
突出長(mm)	14	14	14	14
定着長(mm)	163.6	121.7	71.1	160.1
定着長設計値(mm)	160	120	70	160

No.	B-1	B-2	B-3	B-4
アンカー全長(mm)	176	135.9	85.2	174
突出長(mm)	14	14	14	14
定着長(mm)	162	121.9	71.2	160
定着長設計値(mm)	160	120	70	160

No.	A-5	A-6	A-7	A-8
アンカー全長(mm)	175.3 (105.6)	175.2	174.8	175.6
突出長(mm)	14	14	14	14
定着長(mm)	161.3 (91.6)	161.2	160.8	161.6
定着長設計値(mm)	160	160	160	160

No.	B-5	B-6	B-7	B-8
アンカー全長(mm)	175.5 (105.1)	175.5	175.5	176.1
突出長(mm)	14	14	14	14
定着長(mm)	161.5 (91.1)	161.5	161.5	162.1
定着長設計値(mm)	160	160	160	160

供試体Aの長さ測定結果

定着長120mm、70mmのアンカーを測定できた(長さの短いアンカーを区別できた)

供試体Bの長さ測定結果

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

開発者名 株式会社 アミック

試験日 令和3年 3月29日 4月13日 天候 晴れ 雨 気温 25 °C 16 °C 風速 - m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術

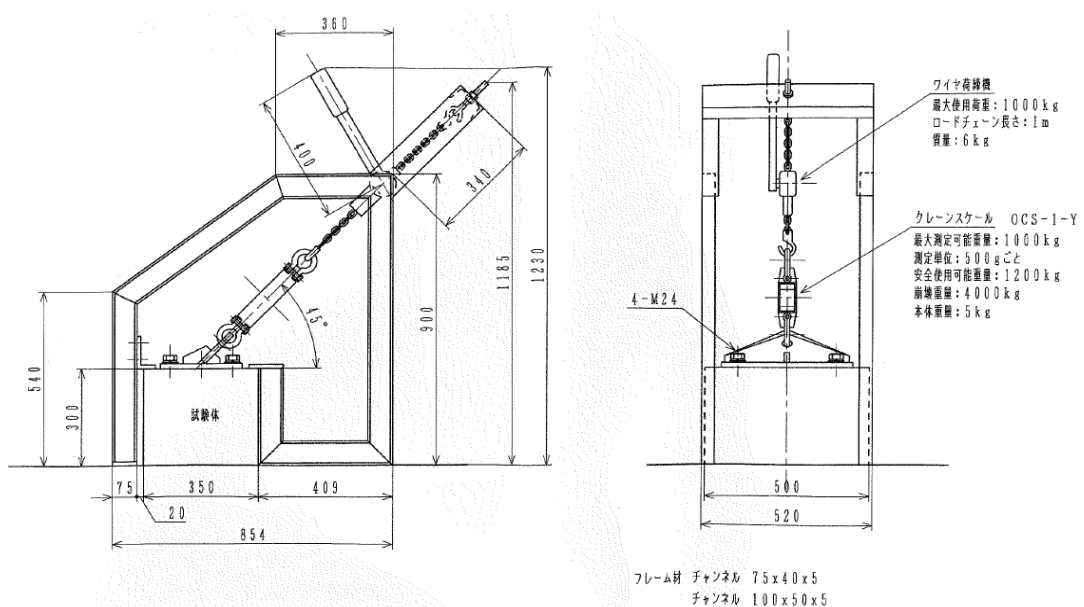
カタログ

検出項目 アンカーのボルト緩み

試験フェーズ 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



ジェットファン取付金具供試体概要

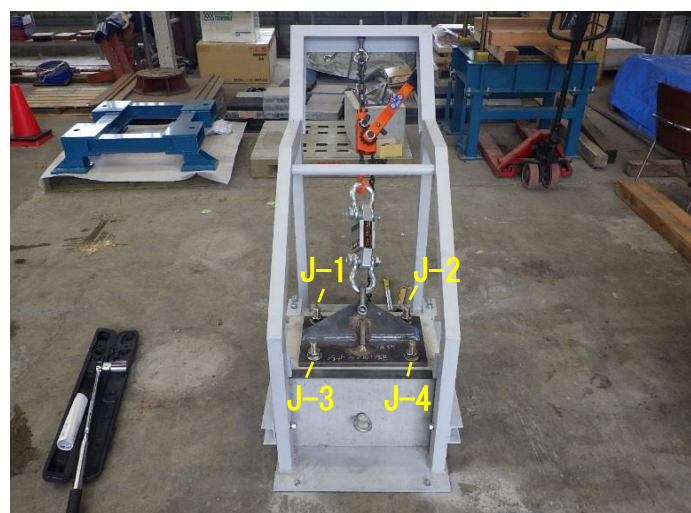


写真-1 ジェットファン取付金具供試体

試験方法(手順)

- ① 電磁パルス法でのコンクリート表面およびプレート表面の測定箇所のマーキング
- ② ナットの締め付けトルクを基準値の200(N・m)にした場合で基準データ作成
- ③ 全てのナットの締め付けトルクを100(N・m)、50(N・m)と緩めていった時の各ボルト測定による緩みの検出性確認
- ④ 1つのナット(J-3ボルト)の締め付けトルクを100(N・m)、50(N・m)と緩めていった時の各ボルト測定による緩みの検出性確認

開発者による計測機器の設置状況



写真-2 電磁パルス法によるボルト緩みの検出の状況

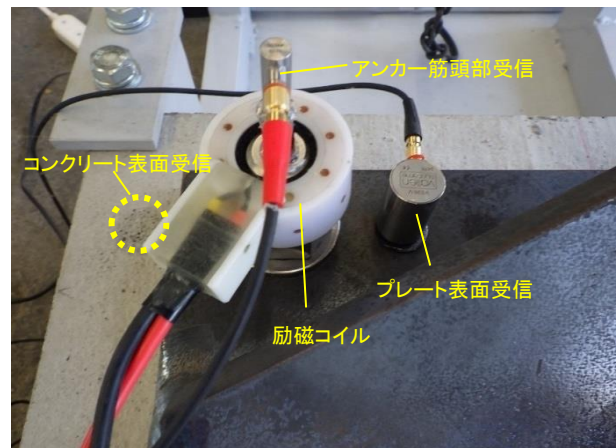


写真-3 励磁コイルとAEセンサの設置例

ボルト緩みの検出は、以下の3箇所を受信したデータにより評価した

- (a)アンカー筋頭部
- (b)コンクリート表面
- (c)プレート表面

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況



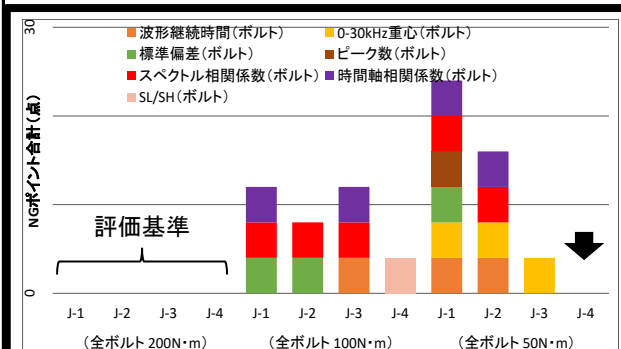
写真-4 ナットの締め付けトルクの調整

計測結果の比較

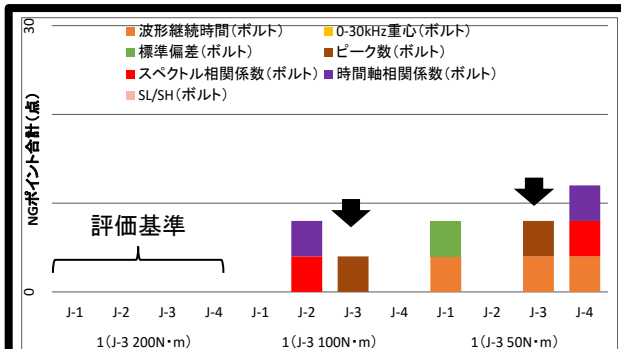
現場で得られたNGポイントを、後日、グラフで示した。
ボルトが緩むとNGポイントが付くようになっている。詳細は技術マニュアルを参照。

全てのボルトを緩めた場合の評価結果

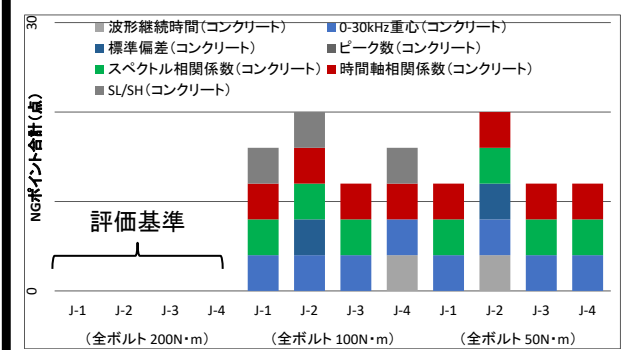
J-3ボルトだけを緩めた場合の評価結果



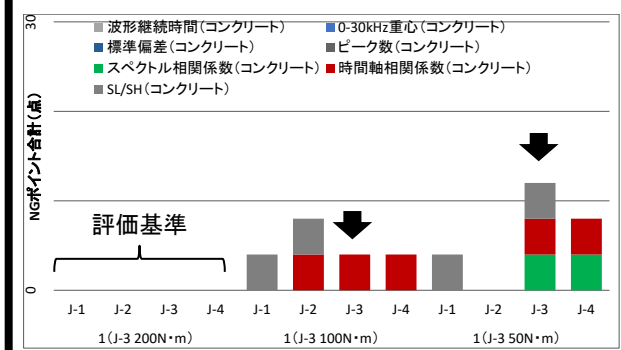
(a)アンカー筋頭部受信で評価した場合



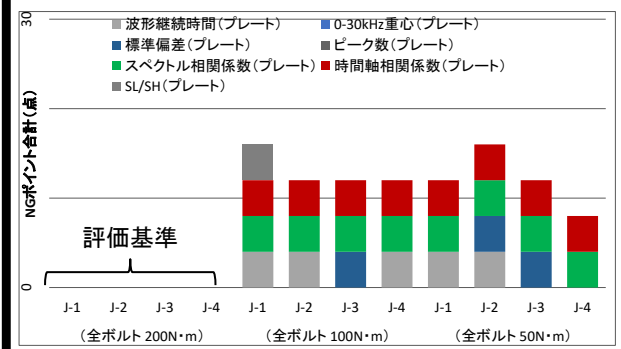
(a)アンカー筋頭部受信で評価した場合



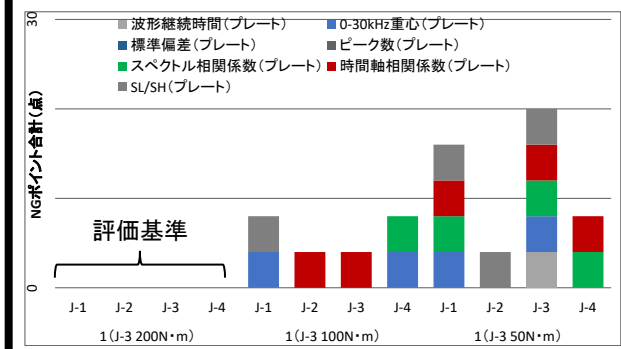
(b)コンクリート表面受信で評価した場合



(b)コンクリート表面受信で評価した場合



(c)プレート表面受信で評価した場合



(c)プレート表面受信で評価した場合

- (a)アンカー筋頭部受信で評価した場合
50N・mはJ-4を除く全てのアンカーで緩みを判定できた。
1000N・mはどのアンカーで評価しても緩みを判定できた
- (b)コンクリート表面受信で評価した場合
どのアンカーで評価しても緩みを判定できた
- (c)プレート表面受信で評価した場合
どのアンカーで評価しても緩みを判定できた

- (a)アンカー筋頭部受信で評価した場合
緩めたJ-3で評価するとその緩みを判定できた
- (b)コンクリート表面受信で評価した場合
緩めたJ-3で評価すればその緩みを検出出来た。50N・mでのJ-2を除きボルトを緩めていないアンカーで評価しても J-3の緩みを判定できた
- (c)プレート表面受信で評価した場合
ボルトを緩めていないアンカーで評価してもJ-3の緩みを判定できた

(c)プレート表面受信で評価した場合が最も良い結果が得られた

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

開発者名 株式会社 アミック

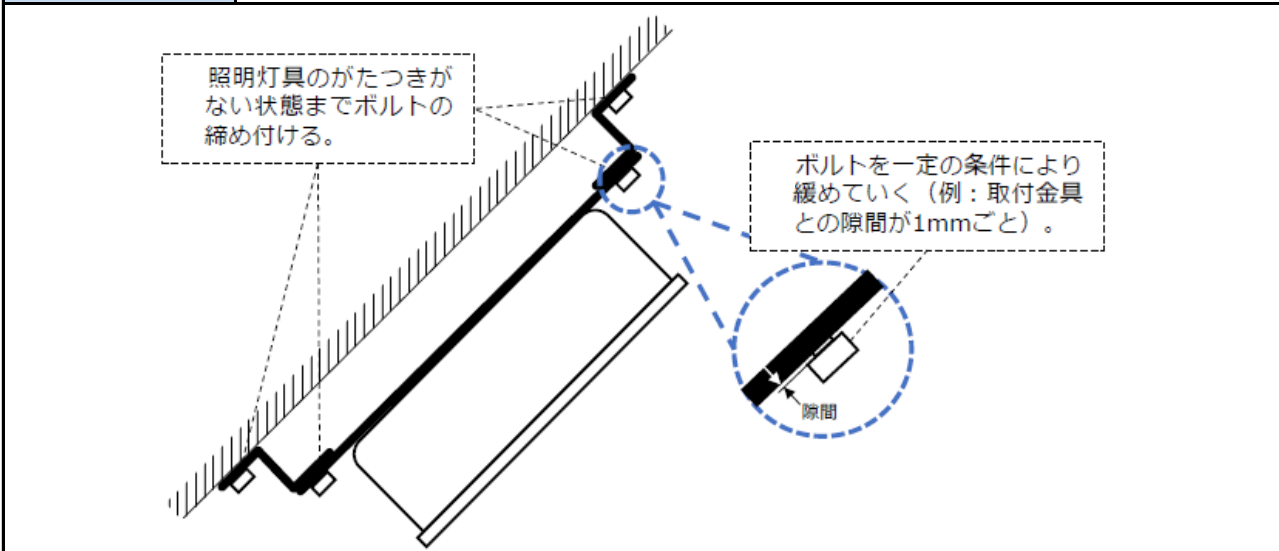
試験日 令和3年 4月20日 天候 晴れ 気温 24 °C 風速 - m/s

試験場所 建設技術研究所研究センター

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 照明灯具のがたつき 試験フェーズ 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 実現場における動作確認

対象構造物の概要



照明灯具模擬供試体の側面図

※図中の数字1～4は受信箇所 No.を示す

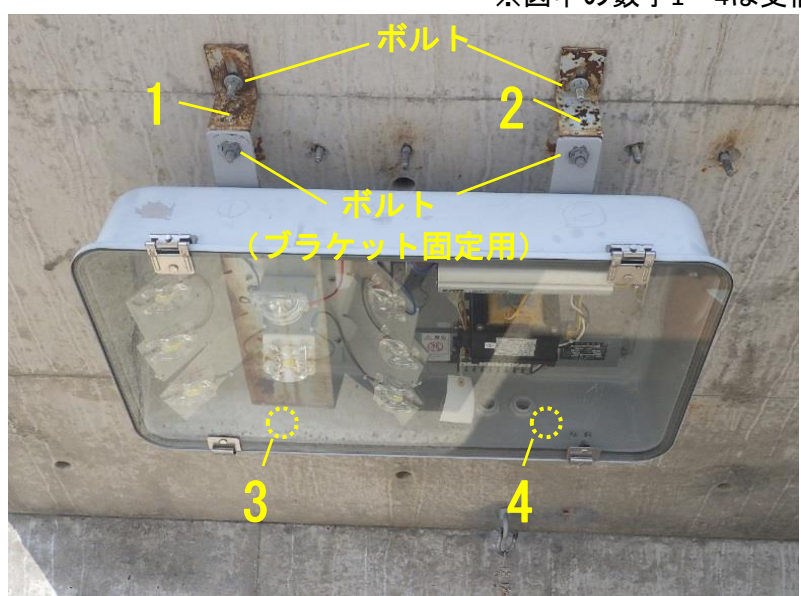


写真-1 照明灯具模擬供試体

試験方法(手順)

- ① プレート表面の測定箇所のマーキング
- ② ナットをレンチ締めしがたつきのない状態で測定して基準データを作成(以下に示す試験条件a)
- ③ ナットを手締めしがたつきを再現した状態で評価(以下に示す試験条件b~f)
- ④ 1つのブラケットナット(No.1)を手締めした状態で評価(以下に示す試験条件g)

開発者による計測機器の設置状況

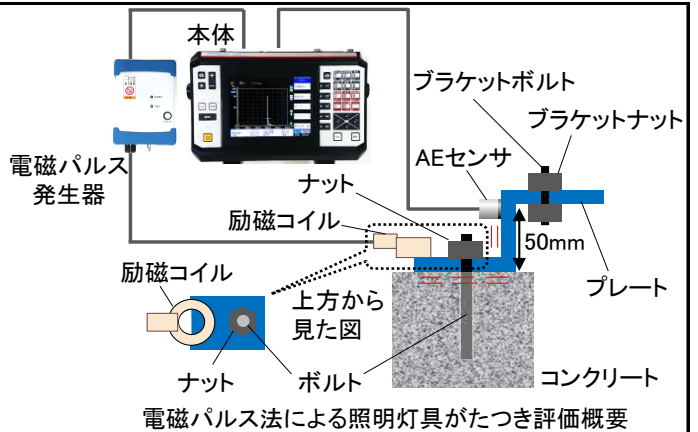


写真-2 電磁パルス法による照明灯具がたつき評価の状況

【電磁パルス法による照明灯具がたつき評価の手順】

- ①がたつきのない状態でプレート表面のデータを採取する
- ②このデータから判定データを作成する
- ③ボルトを緩めた状態で①と同じ測定を行う
- ④このデータと判定データを比較しNGポイントを付与しがたつきを評価する

※NGポイントについては技術マニュアルを参照



電磁パルス法による照明灯具がたつき評価概要

試験条件一覧

試験条件	内容
a	4本全てレンチ締め(全正常)
b	下2本(No. 3, 4)手締め
c	上2本(No. 1, 2)手締め
d	右2本(No. 2, 4)手締め
e	右上左下(No. 2, 3)手締め
f	4本全て全手締め
g	ブラケット固定用1本(No. 1)手締め

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

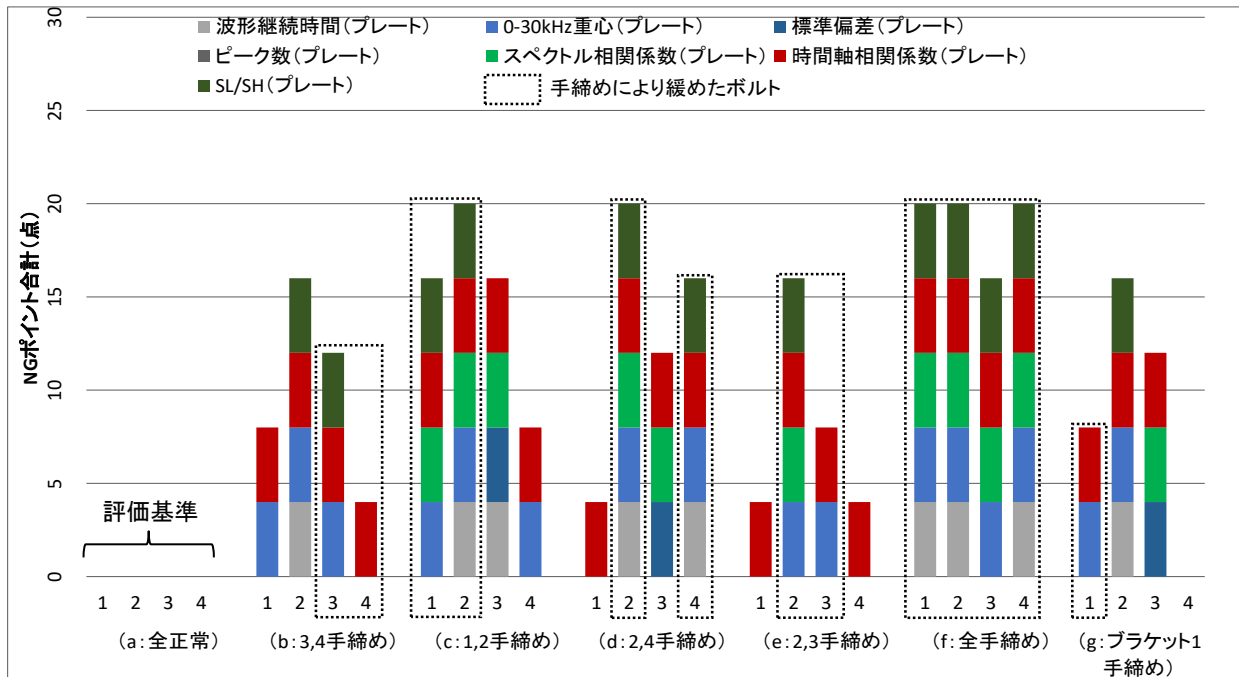
計測結果の比較

現場で得られた受信データから、後日、NGポイントを計算しグラフで示した。

ボルトが緩み照明灯具ががたつくとNGポイントが付くようになっている。

NGポイントは7つの評価指標から算出しており、

- ・0-30kHz重心: 周波数スペクトルの0-30kHzにおける重心位置
- ・SL/SH: 10(kHz)～30(kHz)のスペクトルの積算に対する0(kHz)～9.9(kHz)のスペクトルの積算の比である。その他の評価指標およびNGポイントは、技術マニュアルを参照。



- ・全ての試験条件で照明灯具のがたつきを判定できた
- ・試験条件gのNo.4での評価以外は、緩めていないボルト位置で評価してもがたつきを判定できた
- ・緩めたボルト位置での評価ほど、NGポイントが多くつく傾向があることを確認できた

技術番号 TN020013-V0223

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 開発者名 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

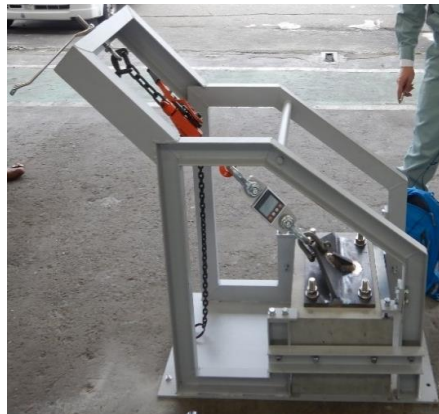
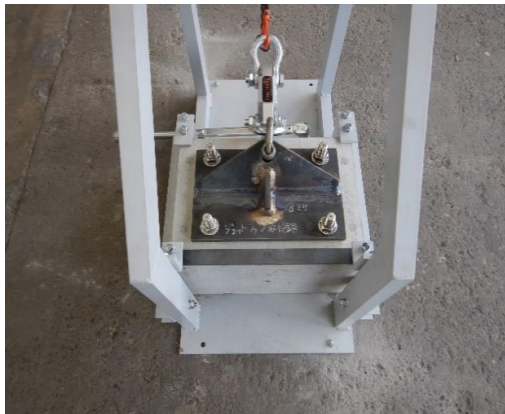
試験日 令和3年 3月 29日 天候 晴れ 気温 °C 風速 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 固有周波数 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(ボルトの施工不
良、ボルトの緩み)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 供試体に対して番号を付番する。また、ボルトの締付(写真-1)や荷重負荷(写真-2)する場合は、その試験条件ごとに、すべてのボルトの振動を取得する。
- ② ボルトにセンサを手で押し当て、点検ハンマでボルトを打撃することで、ボルトの振動を取得する(写真-3)。打撃回数は、3回のデータを取得する。データ取得毎に、記録員が「ボルト〇番」等を声がけし、測定者と記録員で測定対象の間違いないように確認する。
- ③ データ取得毎に、記録員はタブレット上でセンサーから取得されたデータ(波形)を確認し、正常にデータが取得できていることを確認する。
- ④ 各試験体の施工状態や締付状態と測定結果を比較し、計測精度を評価する。

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※ボルトの施工不良や緩みの状態が既知の模擬試験体のため、未実施

計測結果の比較

○計測精度(ボルトの施工不良)

・供試体概要

供試体AとBがあり、それぞれ同一の施工不良模擬ボルトが打設されている。

供試体Aはナット付き、供試体Bはナット無しのボルトとなる。

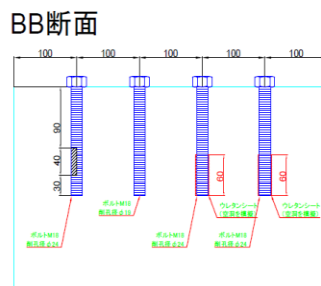
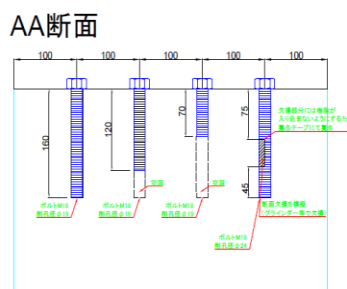
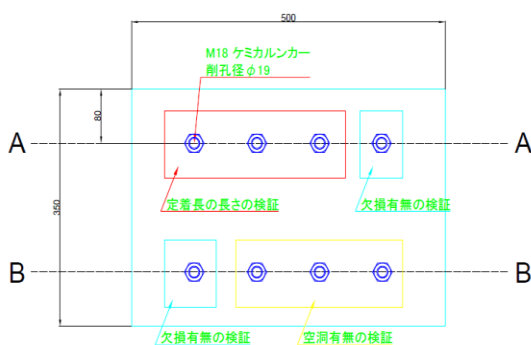
いずれも注入タイプの樹脂で固定されるタイプのボルトであり、

推奨トルクはおおよそM16では100N・m、M20では170N・mとされている。※1

M18のボルト径であれば、おおよそ130 N・m程度と考えられるが、今回は施工不良を模擬しており、

抜けてくる可能性があるため、低めの締め付けトルク100 N・mでナットを締めている。

※1 推奨締め付けトルク参照URL: https://www.sunco.co.jp/street/pdf/the_anchor.pdf



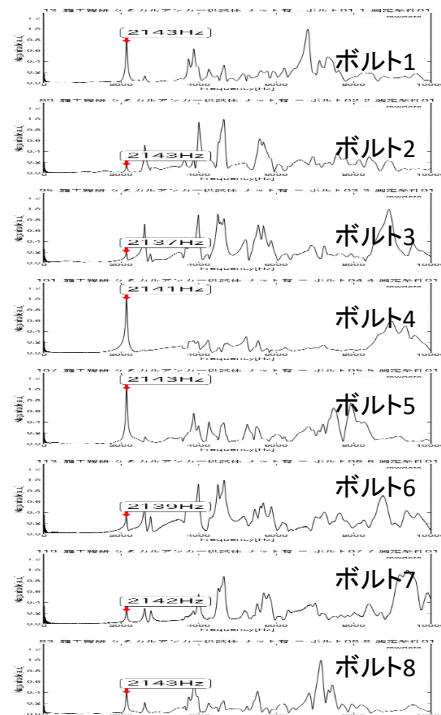
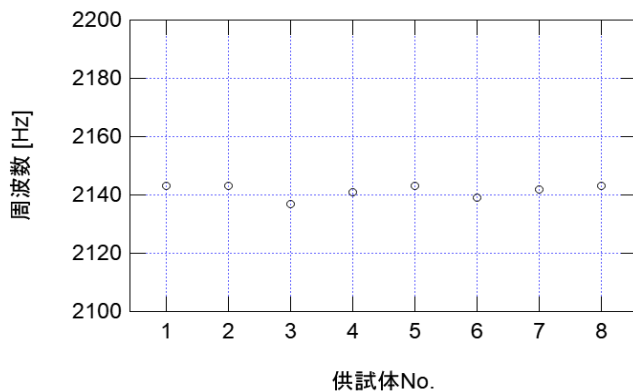
・供試体A(ナット有)の計測結果

ナット付きの場合、周波数は2140Hz±10Hz程度でほぼ同等の周波数が得られた。

供試体Aについては、推奨トルク値(おおよそ130N・m)より低い100 N・mで締め付けているため、

推奨トルク値で得られる周波数を把握していれば、トルク値の低下が検知可能である。

※施工不良、経年劣化は、健全状態の周波数（初期値）からの低下量に基づき判定する。

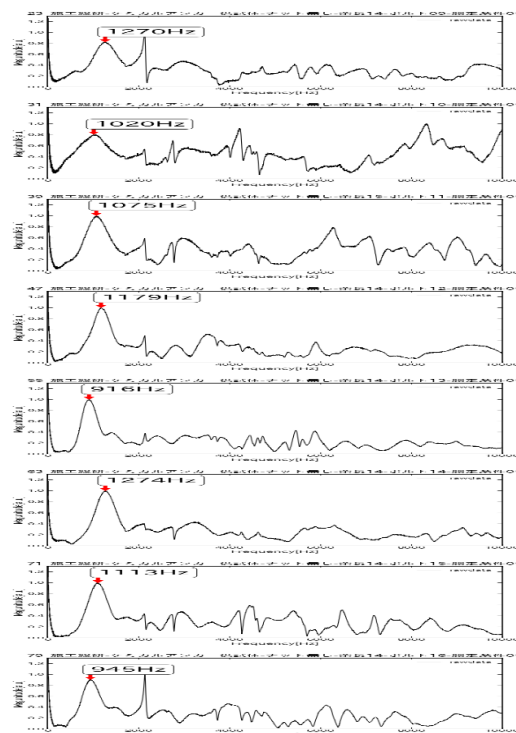
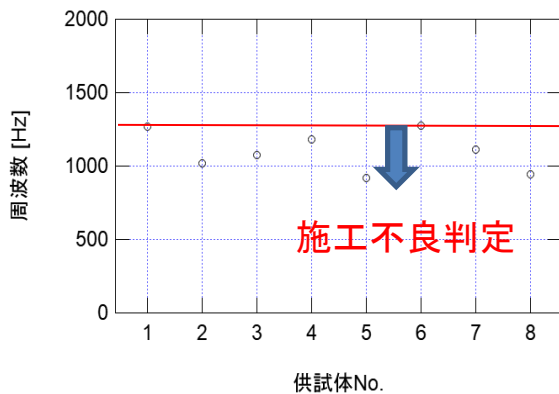


・供試体B(ナットなし)の計測結果

ナット無しの場合、ボルト1及び6(健全)に対して、その他の施工不良を模擬した試験体は概ね低い周波数となる。

施工不良や経年劣化が生じると周波数が低下する傾向にあり、

下図の赤線のように診断基準を設定すると、今回製作した施工不良はすべて判定可能



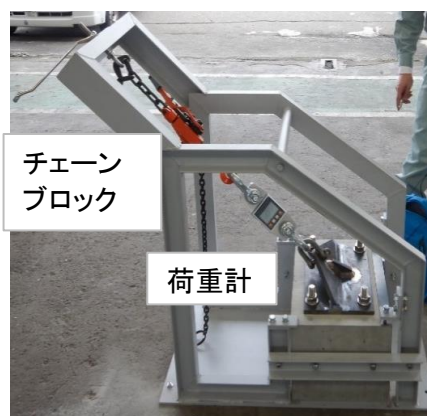
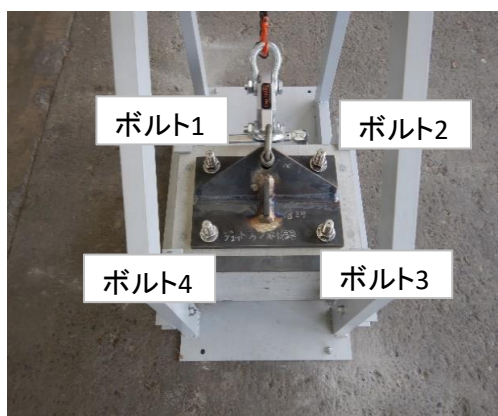
○計測精度(ボルトの緩み)

・供試体概要

供試体には、ジェットファン取付金具がアンカーボルト4本で固定されており

下図のようにチェーンブロックで荷重を負荷可能な構造である。

下表のように、締付トルク及び荷重を段階的に変化させながら振動データを取得した。



試験番号	締付トルク値[N・m]				荷重(kgf)
	ボルト1	ボルト2	ボルト3	ボルト4	
試験1	200	200	200	200	400
試験2	(200)	(200)	(200)	(200)	0
試験3	(200)	(200)	(200)	100	0
試験4	(200)	(200)	(200)	50	0
試験5	(200)	(200)	(200)	50	400
試験6	(200)	(200)	(200)	100	400
試験7	100	100	100	(100)	0
試験8	50	50	50	50	0
試験9	200	200	200	200	400
試験10	100	100	100	100	400
試験11	50	50	50	50	400
試験12	240	240	240	240	400
試験13	(240)	(240)	(240)	(240)	400

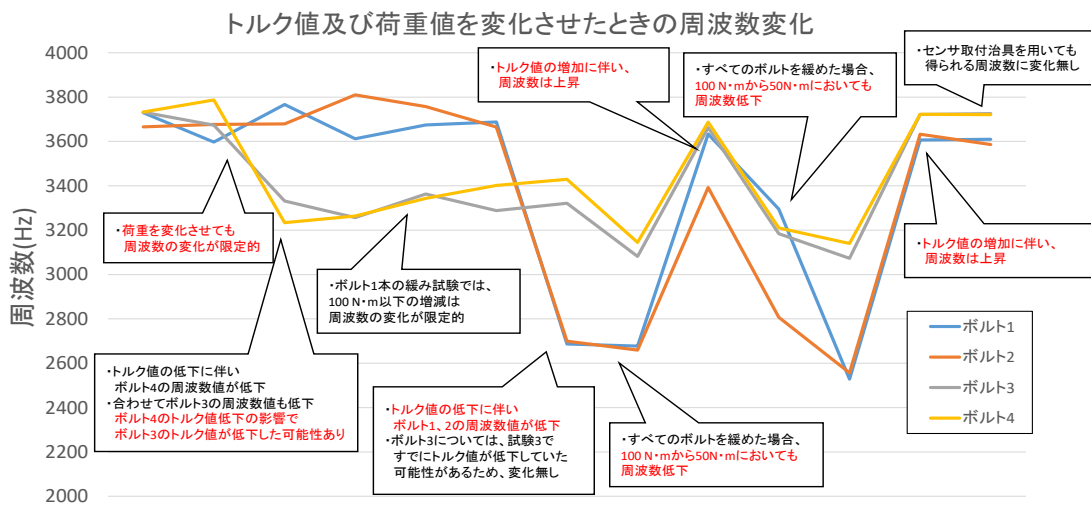
※ ハイライトのトルク値は、測定していないため、ひとつ前の試験条件のトルク値を記載。

・試験結果

以下のグラフは、各試験段階のボルト1～4の周波数変化を記載

トルク値の増加に伴い周波数が上昇、トルク値の低下に伴い周波数は低下する傾向が示された。

一定の基準値を定めることにより、ボルトの緩みを検知可能。



試験番号	試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6	試験7	試験8	試験9	試験10	試験11	試験12	試験13
ボルト1	200	(200)	(200)	(200)	(200)	(200)	100	50	200	100	50	240	(240)
ボルト2	200	(200)	(200)	(200)	(200)	(200)	100	50	200	100	50	240	(240)
ボルト3	200	(200)	(200)	(200)	(200)	(200)	100	50	200	100	50	240	(240)
ボルト4	200	(200)	100	50	50	100	(100)	50	200	100	50	240	(240)
荷重(kgf)	400	0	0	0	400	400	0	0	400	400	400	400	400

・計測精度の算出

下表は、トルクレンチで締付トルク200 N・m以上を確認した試験条件を青色、

200 N・m未満を確認した試験条件を赤色、トルク値を確認していない条件を黄色でハイライトした。

また、本技術で3500 Hz以上を健全(○)、3500 Hz未満を緩み(×)と判定した場合の判定結果も併せて記載した。

本技術による緩み判定の計測精度は以下に示す通りである。

試験番号	締付トルク値[N・m]				荷重(kgf)
	ボルト1	ボルト2	ボルト3	ボルト4	
試験1	200(○)	200(○)	200(○)	200(○)	400
試験2	-	-	-	-	0
試験3	-	-	-	100(×)	0
試験4	-	-	-	50(×)	0
試験5	-	-	-	50(×)	400
試験6	-	-	-	100(×)	400
試験7	100(×)	100(×)	100(×)	-	0
試験8	50(×)	50(×)	50(×)	50(×)	0
試験9	200(○)	200(×)	200(○)	200(○)	400
試験10	100(×)	100(×)	100(×)	100(×)	400
試験11	50(×)	50(×)	50(×)	50(×)	400
試験12	240(○)	240(○)	240(○)	240(○)	400
試験13	-	-	-	-	400

①トルク200N・m以上(健全状態):12条件

・健全と判定(○):11条件

・異常と判定(×):1条件

②トルク100N・m(異常状態):9条件

・健全と判定(○):0条件

・異常と判定(×):9条件

③トルク50N・m(異常状態):10条件

・健全と判定(○):0条件

・異常と判定(×):10条件

技術番号 TN020014-V0123

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 開発者名 日東建設株式会社

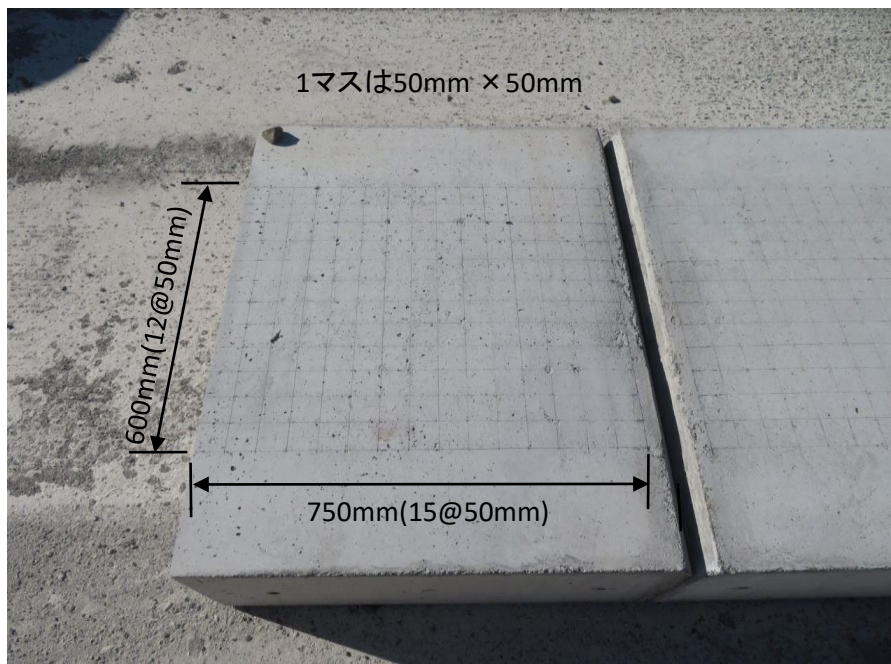
試験日 令和4年 2 月 18 日 天候 晴れ 気温 13 °C 風速 2.6 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 本体内におけるうき／はく離／表面近くの空洞 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



- ・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。

試験方法(手順)

技術番号

TN020014-V0123

- ① 縦横50mmピッチのメッシュを罫書き、各マスの中央を打撃し測定を行う。(縦12マス×横15マス)
本試験では、各マスにつき1回ずつ測定を行った。
- ② 測定したデータをPCに転送し、表計算ソフトにより測定結果の整理を行う。
測定値の相対比較により変状位置を特定する。
- ③ 各試験体の変状位置(設計位置)と測定結果を比較し、検出精度の確認を行う。

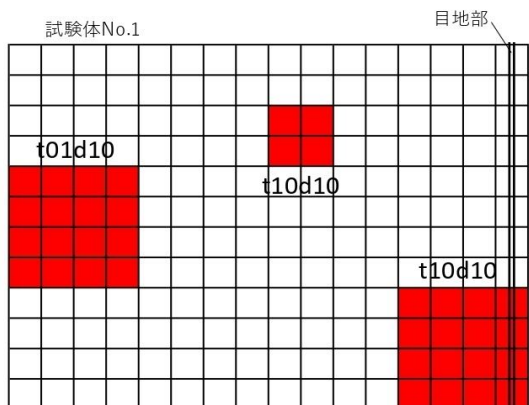
開発者による計測機器の設置状況



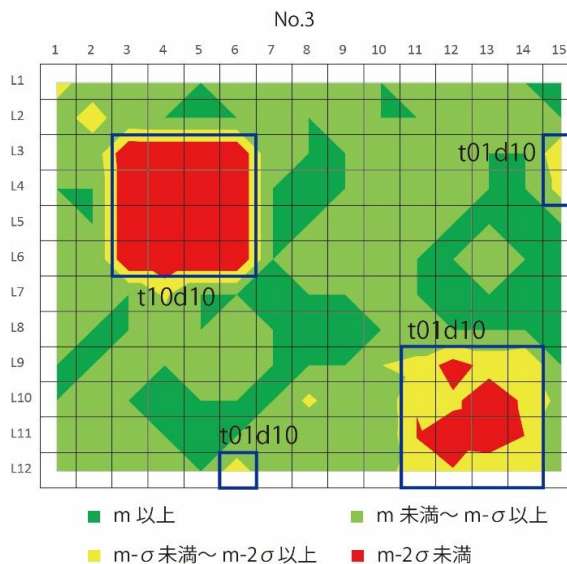
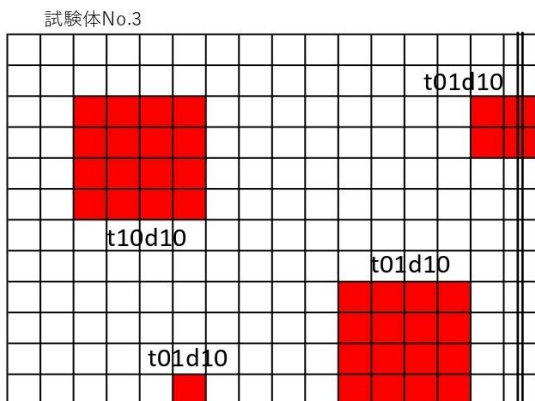
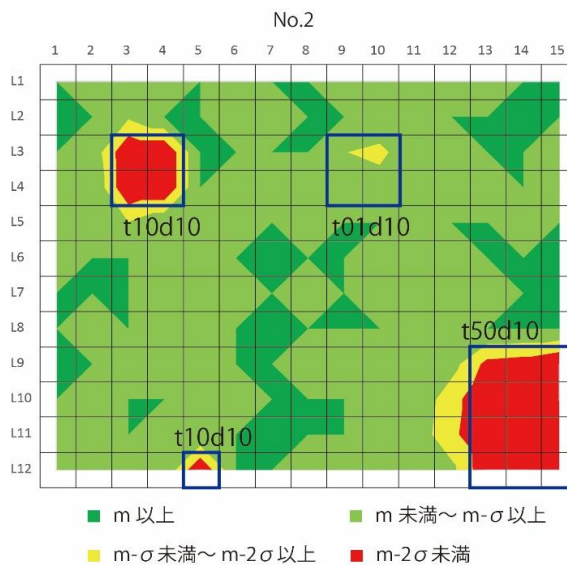
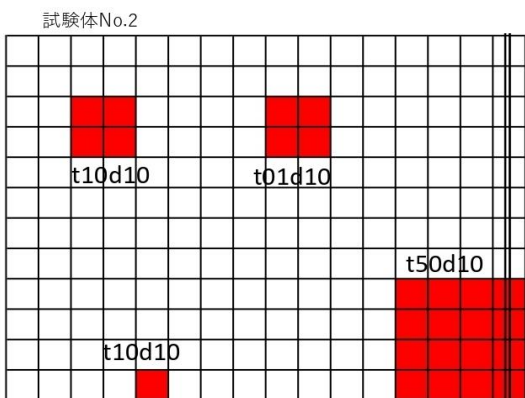
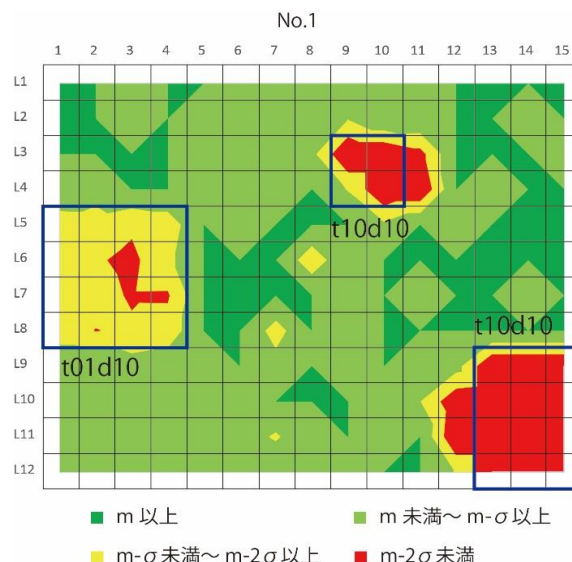
比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

未実施

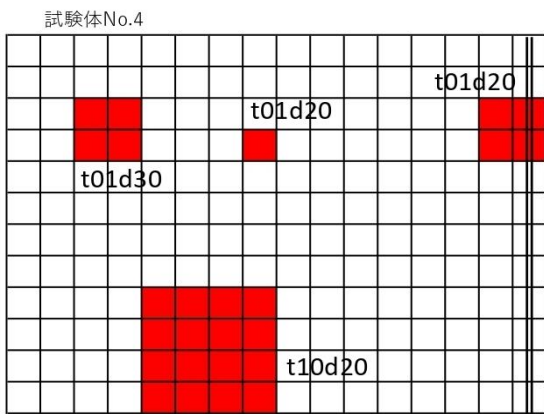
正解位置



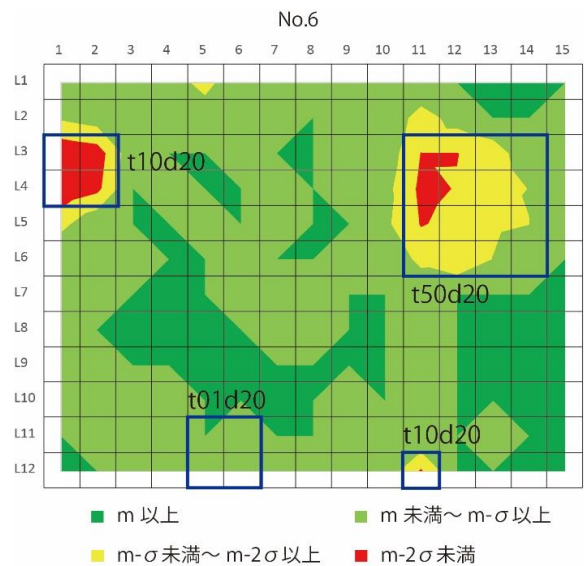
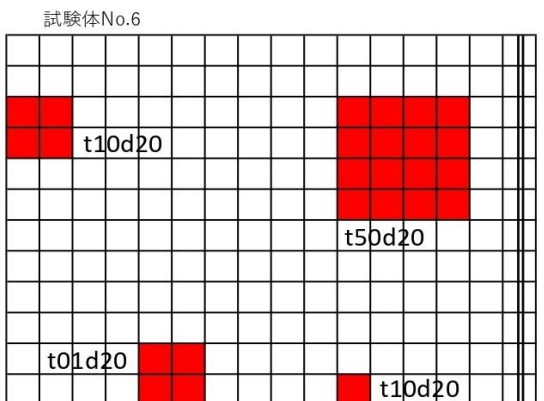
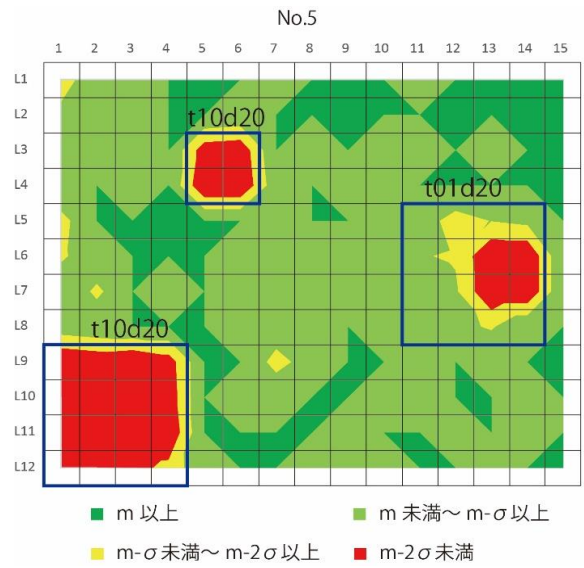
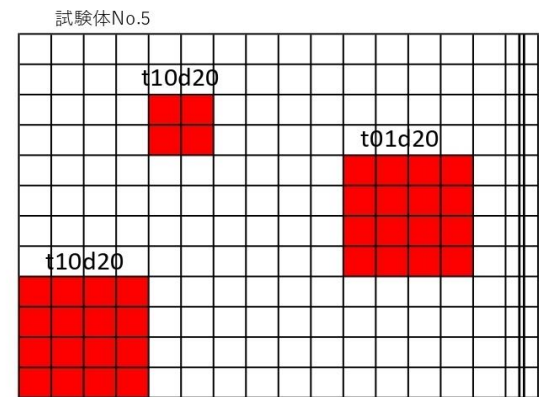
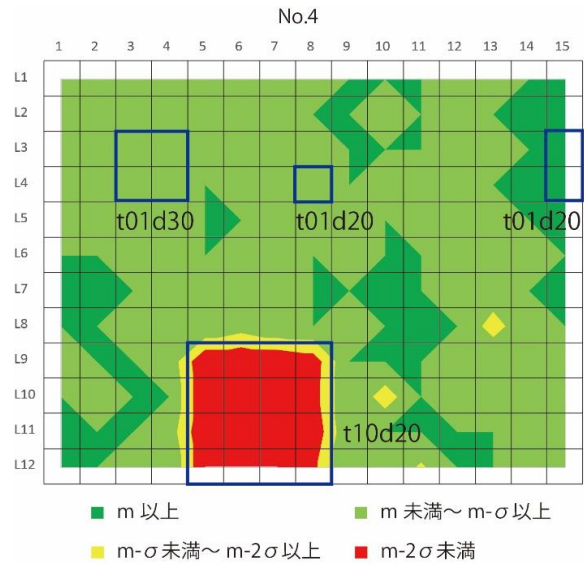
当該技術による計測結果



正解位置

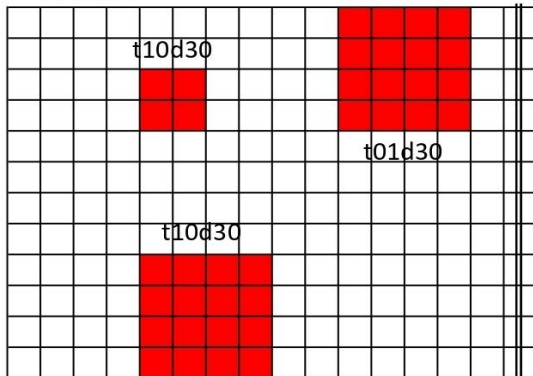


当該技術による計測結果

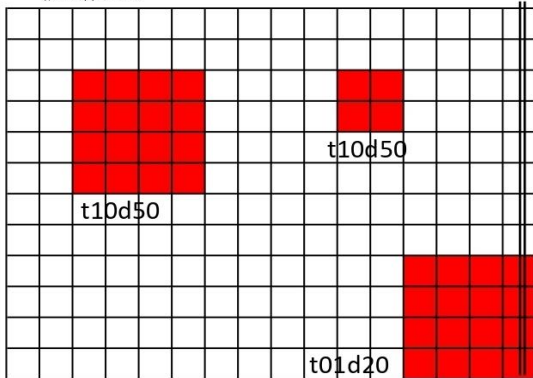


正解位置

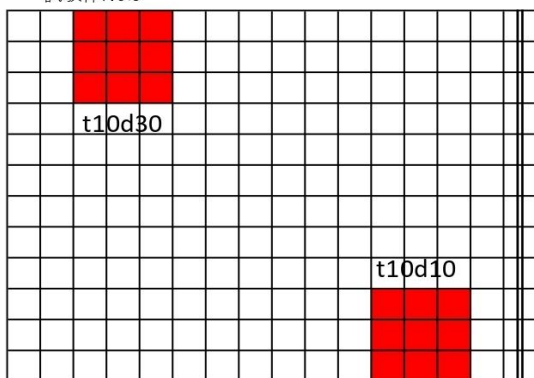
試験体No.7



試験体No.8

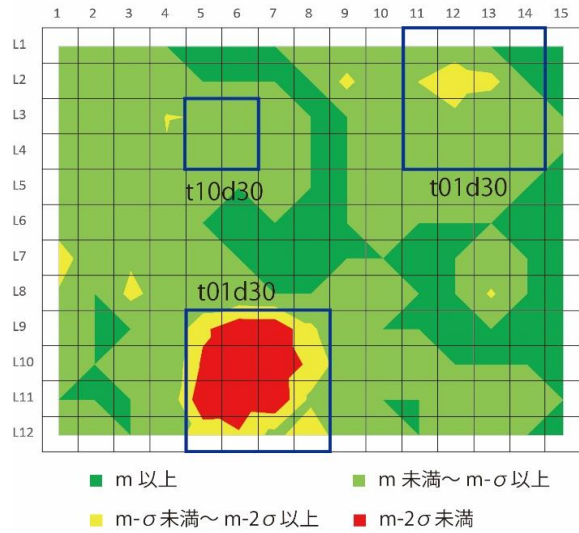


試験体No.9

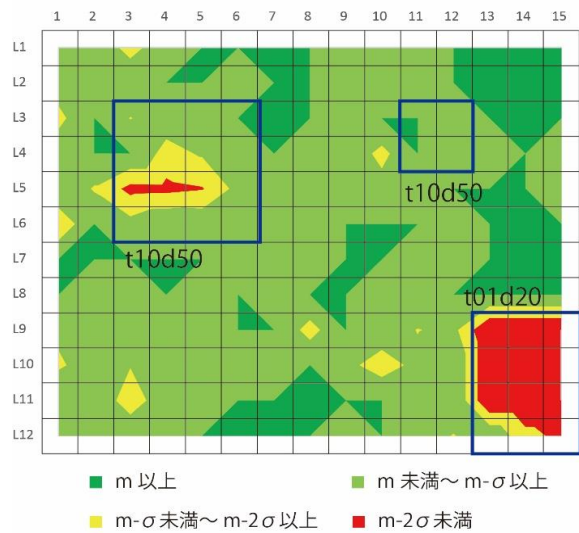


当該技術による計測結果

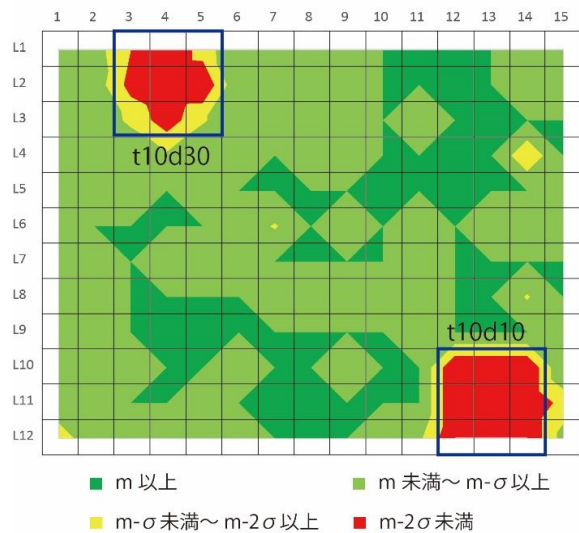
No.7



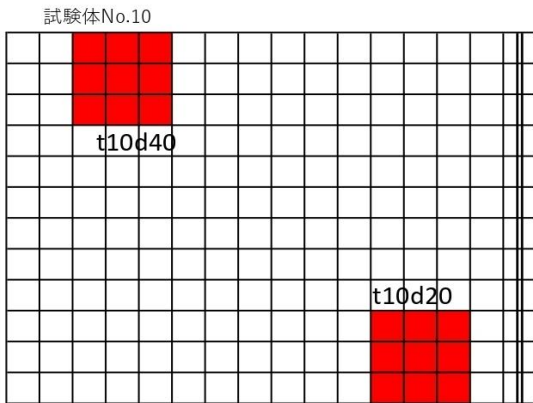
No.8



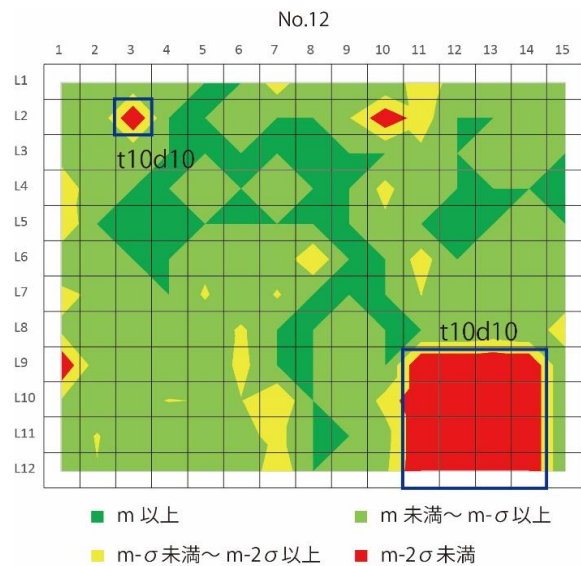
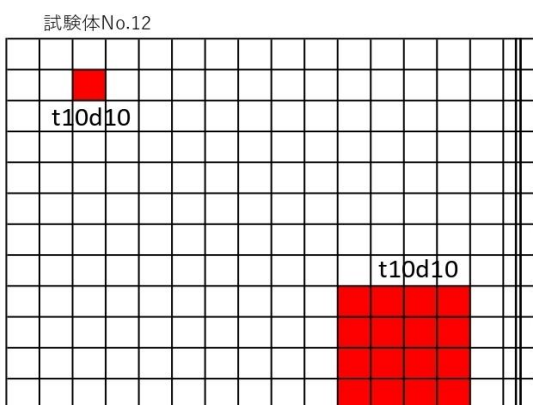
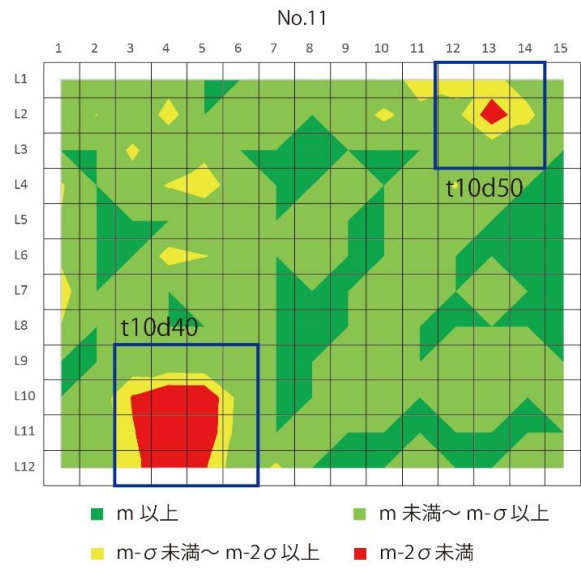
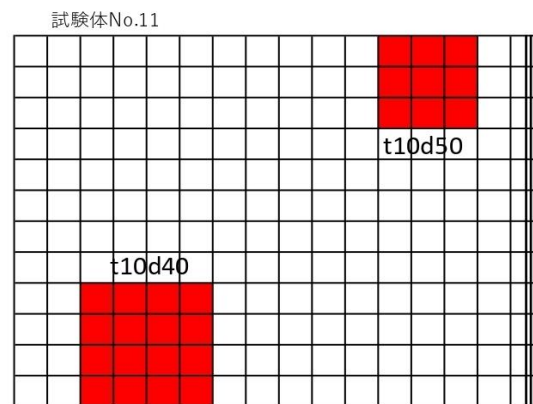
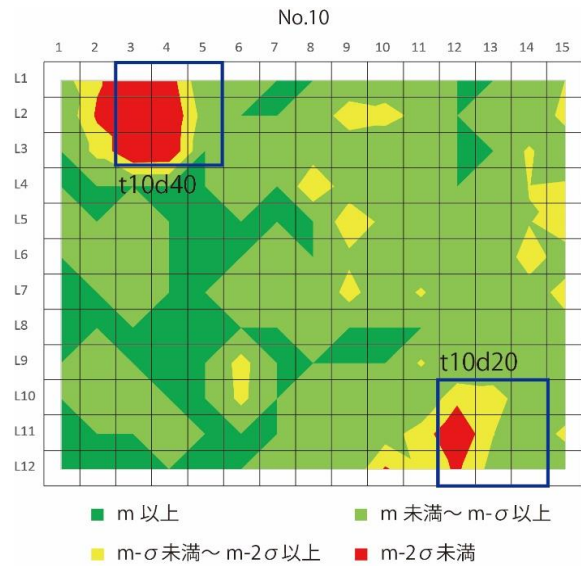
No.9



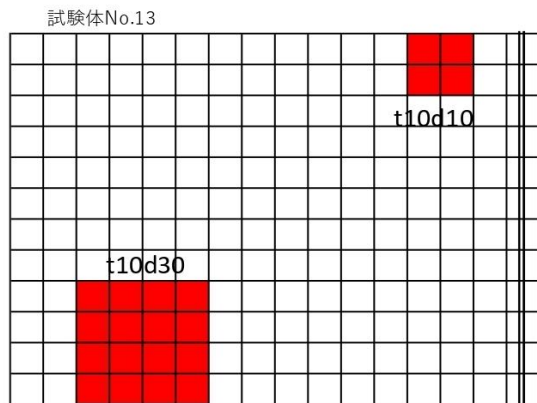
正解位置



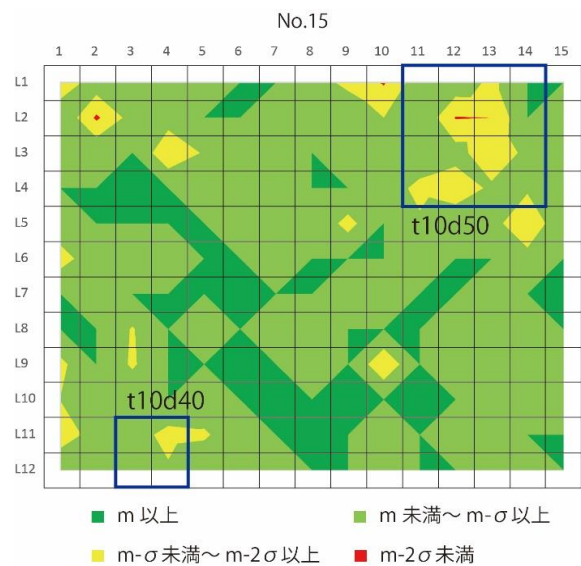
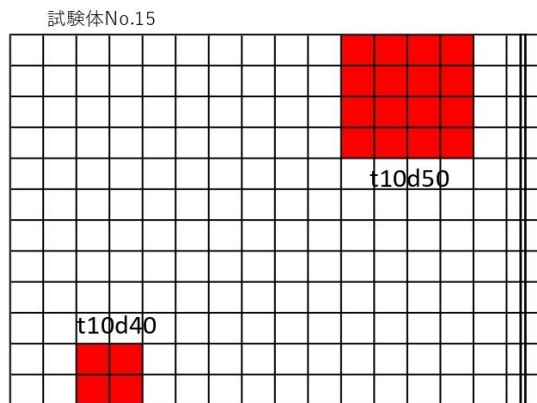
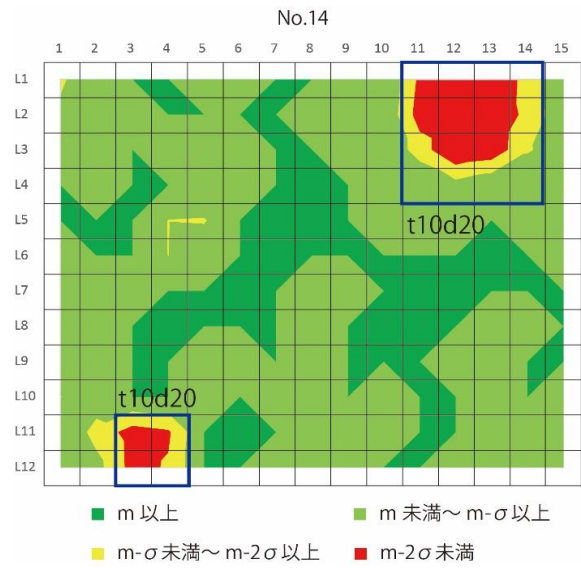
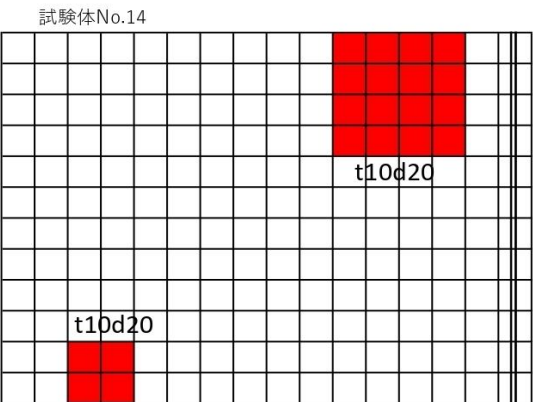
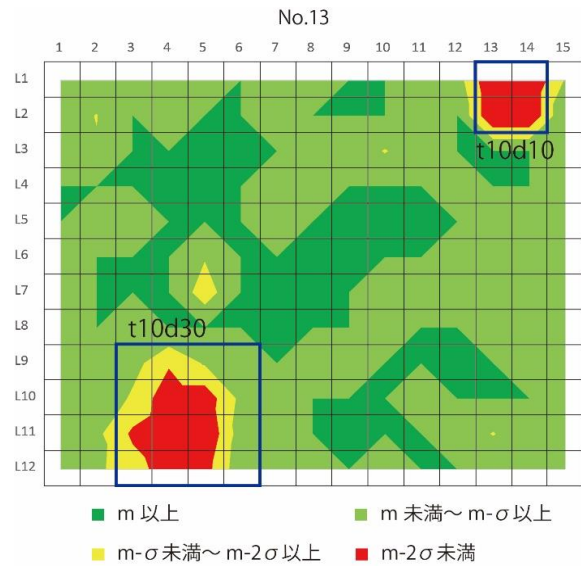
当該技術による計測結果



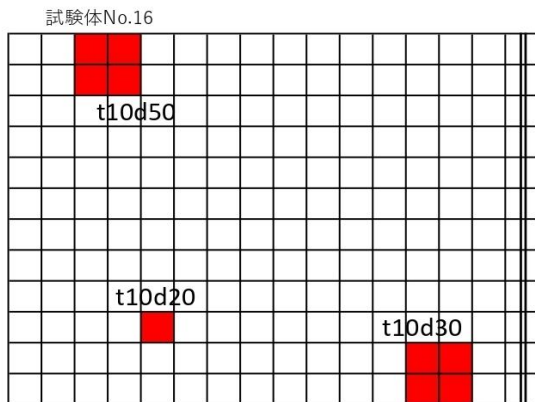
正解位置



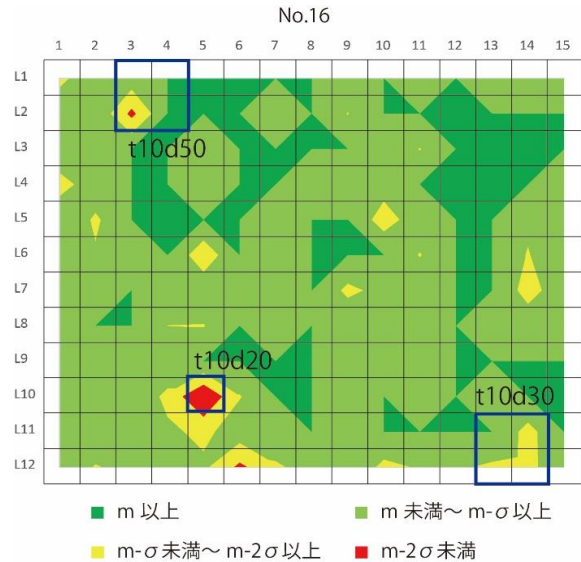
当該技術による計測結果



正解位置



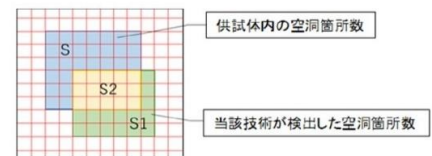
当該技術による計測結果



※本実験では目地部の測定は行わなかった

※空洞箇所数の判定について、各供試体ごとに得られた測定値の20%トリム平均値を求め、その値の2σ未満を空洞部とした。

(1)当該技術により検出した空洞箇所数
210
(2)当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数
198
(3)供試体内の空洞箇所数
387



(1) = S1+S2

(2) = S2

(3) = S+S2

検出率:(2)/(3)	的中率:(2)/(1)
0.512	0.943

- ① 各ボルトに対して軸方向に打撃を行う。
本試験では、各ボルトに対して10回ずつ測定を行った。
- ② 測定したデータをPCに転送し、打撃力波形の整理および各種指標値を計算。
- ③ 打撃力波形および各種指標値の相対比較により異常の有無を判断する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-3 測定状況(供試体A)



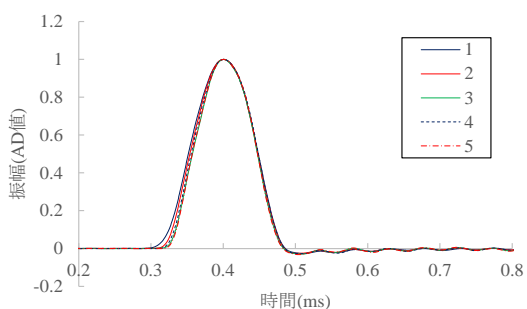
写真-4 測定状況(供試体B)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

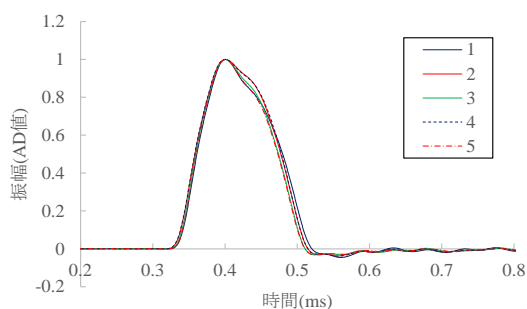
未実施

下図に、各ボルトで測定した打撃力波形の内、5回分の波形を示す。

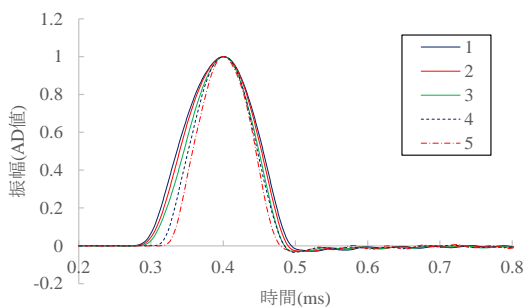
A-5以外では、波形形状は全て類似しており、波形形状のみで判別することは難しい。



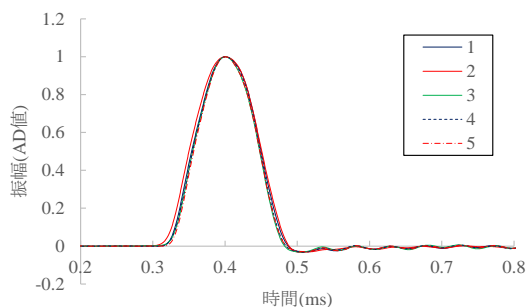
測定波形【A-1】



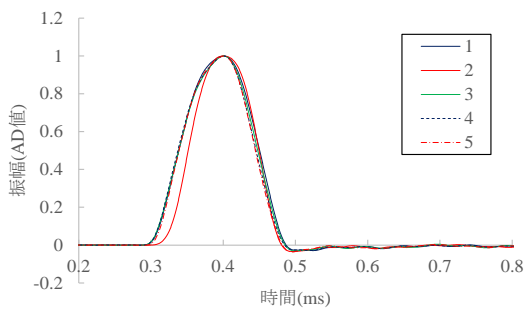
測定波形【A-5】



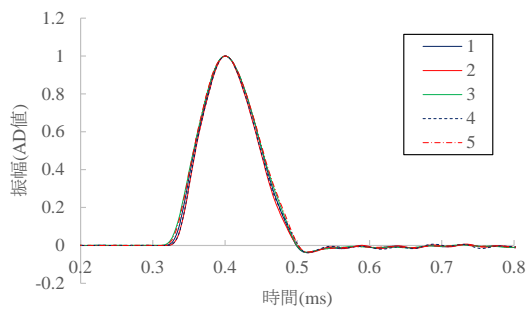
測定波形【A-2】



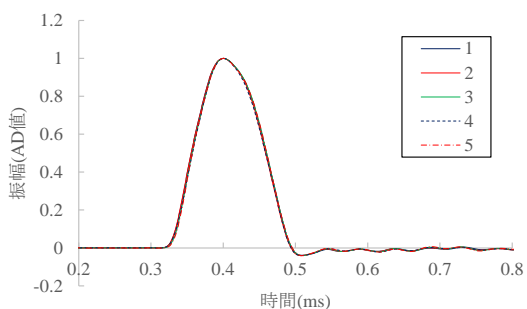
測定波形【A-6】



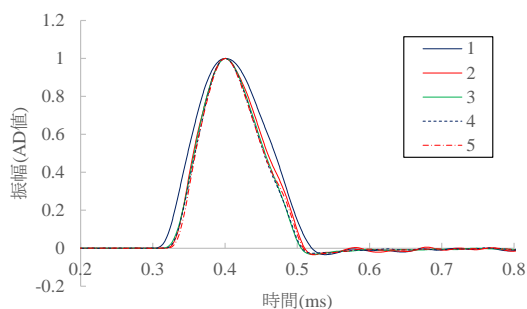
測定波形【A-3】



測定波形【A-7】



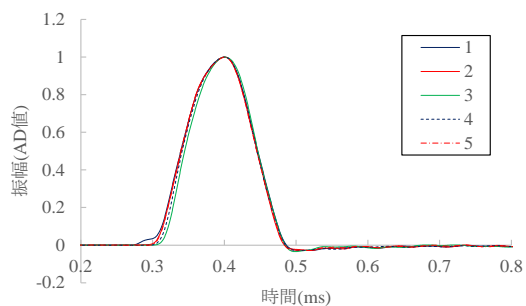
測定波形【A-4】



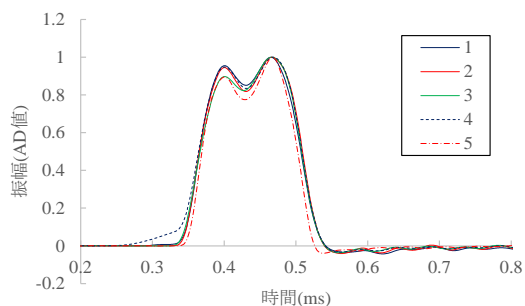
測定波形【A-8】

下図に、各ボルトで測定した打撃力波形の内、5回分の波形を示す。

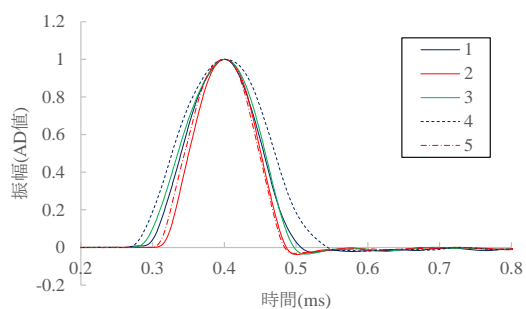
B-4,B-5以外では、波形形状は全て類似しており、波形形状のみで判別することは難しい。



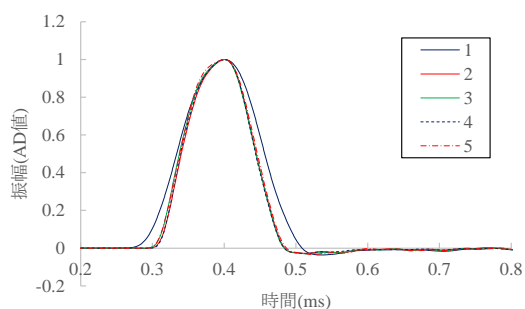
測定波形【B-1】



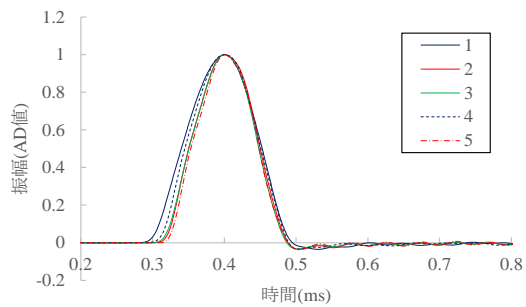
測定波形【B-5】



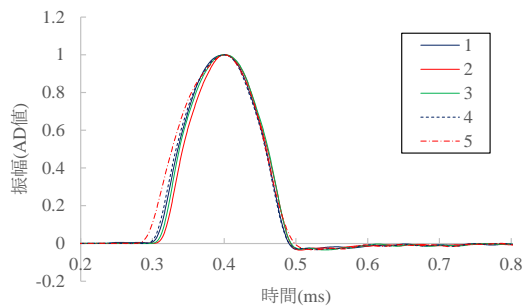
測定波形【B-2】



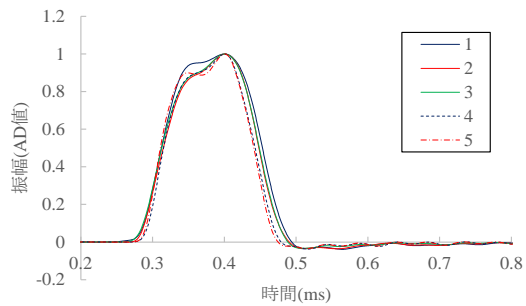
測定波形【B-6】



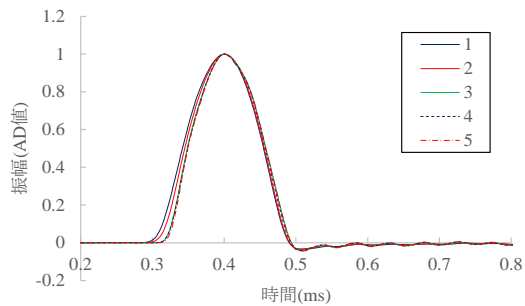
測定波形【B-3】



測定波形【B-7】



測定波形【B-4】



測定波形【B-8】

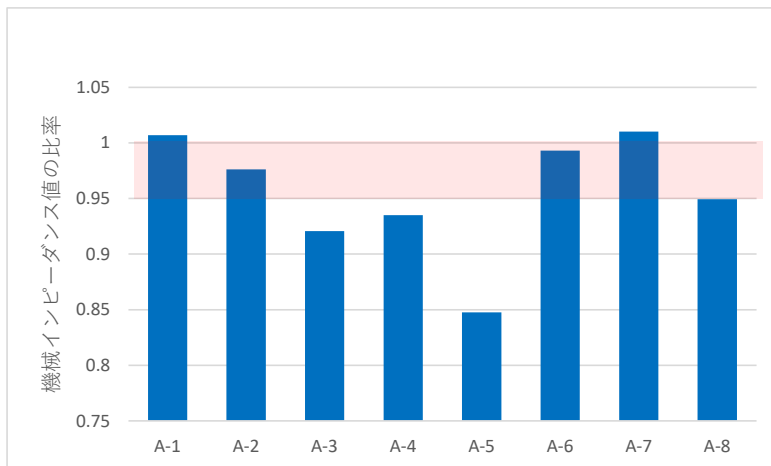


図1 機械インピーダンス値の計算結果(供試体A)

健全なアンカーA-1とA-6の平均を基準として、各ボルトで得られた機械インピーダンス値の比を算出。健全部と比較して機械インピーダンスが明らかに低い箇所(5%以上の低下箇所)を異常部と判定。

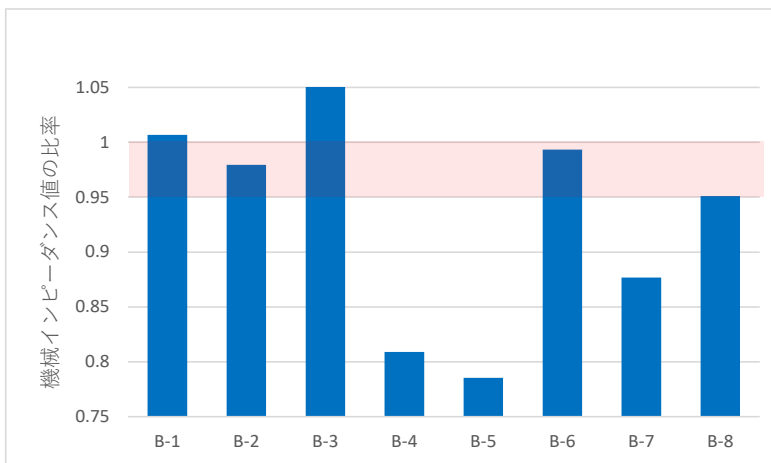


図2 機械インピーダンス値の計算結果(供試体B)

健全なアンカーB-1とB-6の平均を基準として、各ボルトで得られた機械インピーダンス値の比を算出。健全部と比較して機械インピーダンスが明らかに低い箇所(5%以上の低下箇所)を異常部と判定。

ボルト番号	ボルトの状態	供試体番号	
		A	B
1	健全	○	○
2	根入れ長120mm	×	×
3	根入れ長70mm	○	×
4	深さ75mmから40mmの範囲に切り欠き	○	○
5	深さ90mmから40mmの範囲に切り欠き	○	○
6	健全	○	○
7	先端60mm範囲に接着剤無し	×	○
8	先端60mm範囲に接着剤無し	○	○

○: 検出可
×: 検出不可

切り欠きは、波形レベルでひずみが生じているため、健全部との比較等をしなくとも、波形単体で異常の判別が可能。

その他の状態については、機械インピーダンスを算出し、健全部との比較を行う事で評価が可能である。

技術番号 TN020015-V0123

技術名 ボルト・ナットの健全性検査装置BOLT-Tester 開発者名 日東建設株式会社

試験日 令和4年 2 月 18 日 天候 晴れ 気温 13 °C 風速 2.6 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 附属物本体・取付部材等の緩み 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

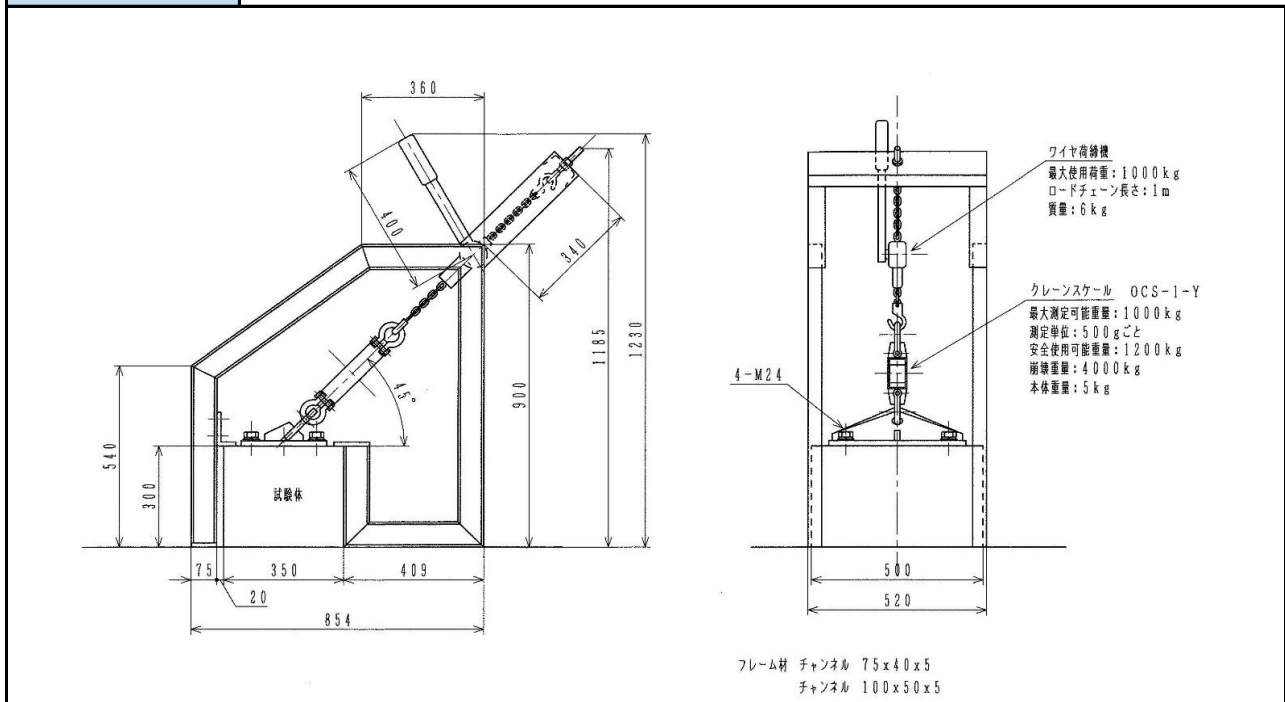


図-1 供試体概要



写真-1 供試体(側面)

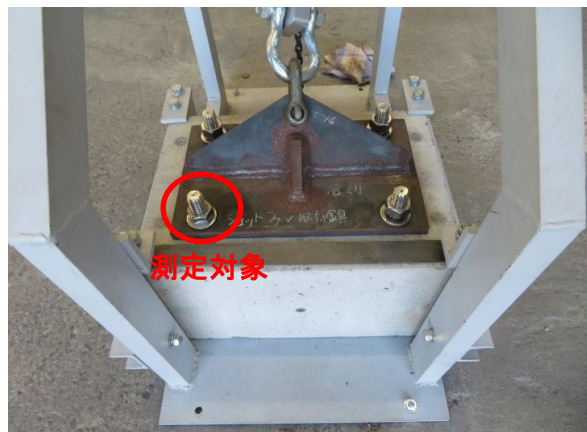


写真-2 供試体(正面)

- ① 測定対象に対し、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行う。本試験では、各条件での打撃回数を10回とした。
- ② 測定対象以外のボルト・ナットのトルク値は200N・mで締結した状態で、測定対象に対する導入トルクを200N・m、100N・m、50N・mと変化させて測定を行う。
- ③ 本試験では機械インピーダンス値の相対比較により判別可否の判断を行う。
- ④

開発者による計測機器の設置状況



写真-3 測定状況(大ハンマ軸方向打撃)

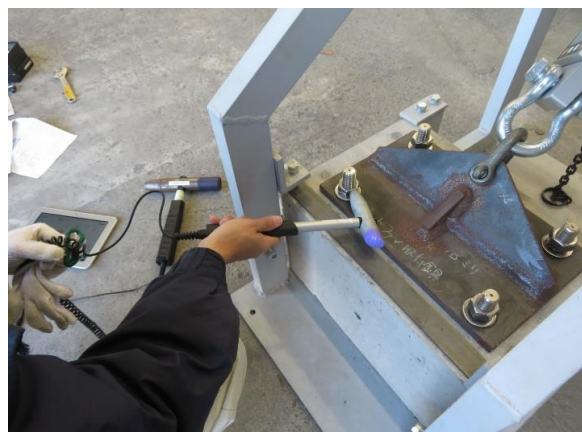


写真-4 測定状況(中ハンマナット側面打撃)

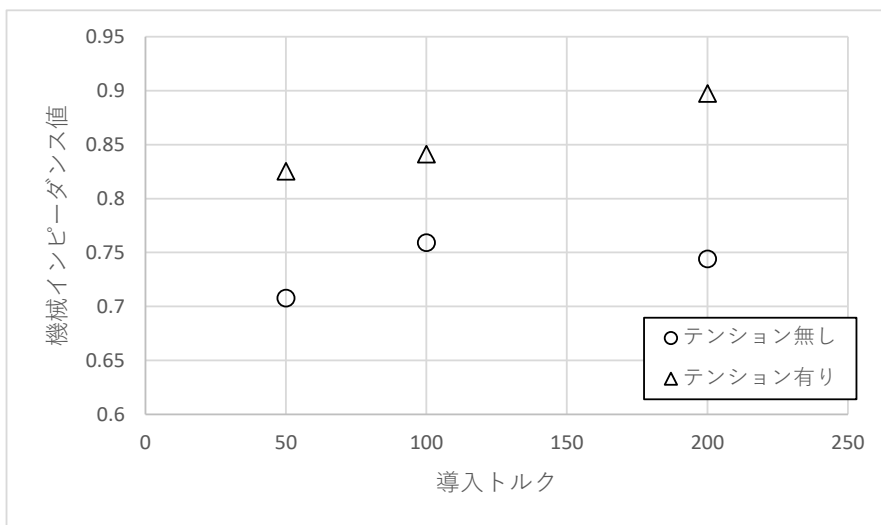
比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

未実施

【中ハンマの測定結果】

ナットを横から打撃して測定

測定対象以外のボルト・ナットは200N・mで締結した状態

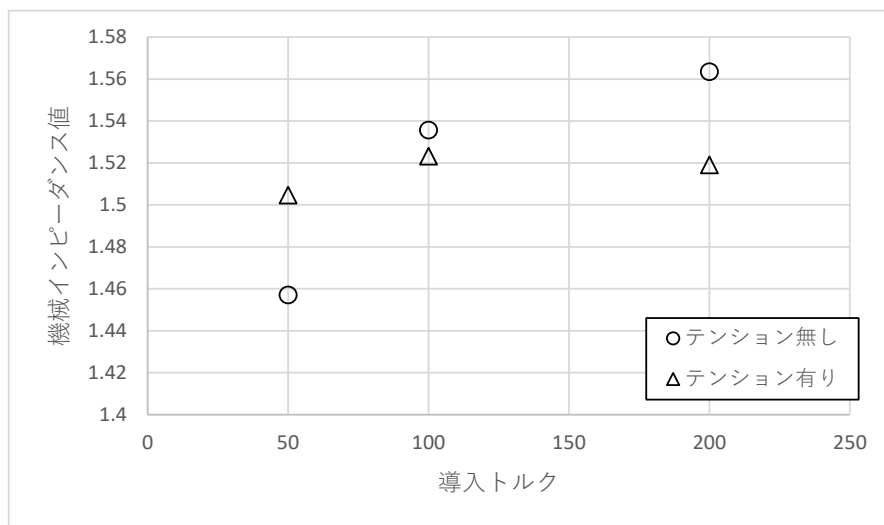


トルク50N・mは、テンションの有無を問わず、判別が可能。

【大ハンマの測定結果】

ボルト頭部を軸方向に打撃して測定

測定対象以外のボルト・ナットは200N・mで締結した状態



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。

技術番号 TN020016-V0123

技術名 AI打音アプリ「ウェイヴ・ブレイナー」(ウェーブレット解析) 開発者名 (株)構研エンジニアリング 国立大学法人北海道大学

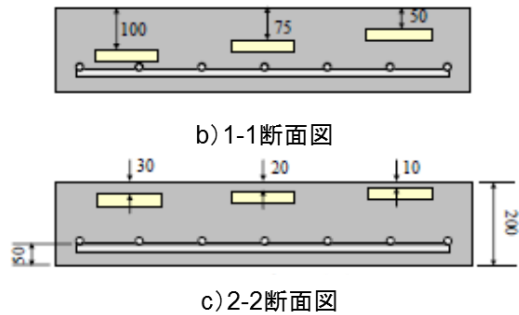
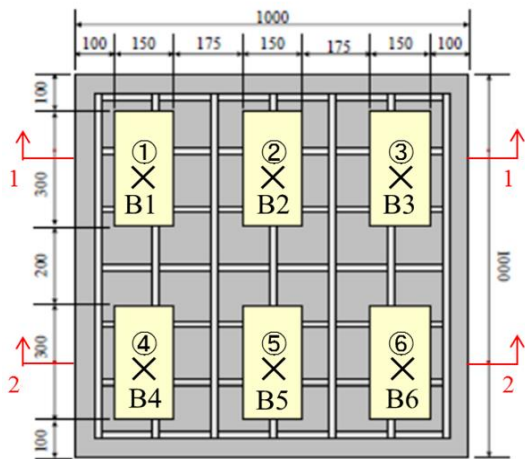
試験日 平成27年 10 月 7 日 天候 くもり 気温 18 °C 風速 1.3 m/s

試験場所 北海道旭川市 供試体A(H27.10.7) 北海道石狩市 Aトンネル(H27.10.15)

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき/はく離 試験区分 現場試験

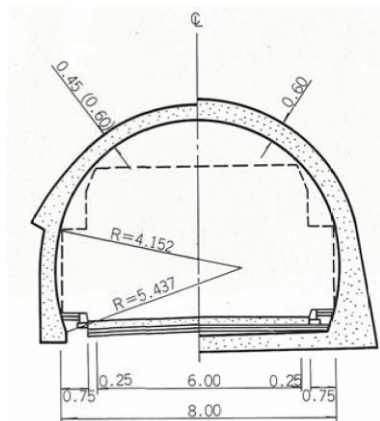
試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



記号	埋設物までの深さ	埋設物	
		種類	寸法
①	100mm	発泡 スチロール	縦: 300mm
②	75mm		横: 150mm
③	50mm		厚さ: 30mm
④	30mm		
⑤	20mm		
⑥	10mm		

供試体A 概要



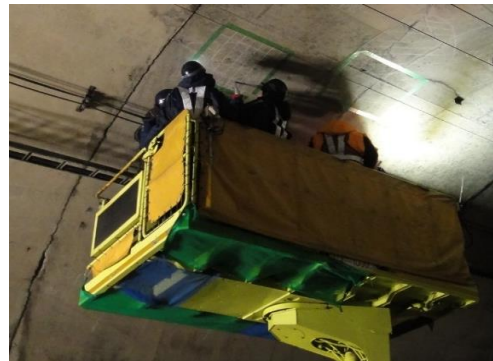
対象トンネル標準断面図(Aトンネル)

- ① 試験前に打音位置を決定
- ② コンクリートテストハンマーを用いて打音し、音響データを取得
- ③ 打音により得られた音響データを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
- ④ 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

開発者による計測機器の設置状況



打音状況(供試体A)



打音状況(Aトンネル)

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

・特になし

1. 計測結果 (判定の仕組み)

時間-周波数スペクトル



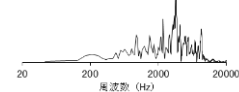
ウェーブレット変換においては、フーリエ変換によって周波数特性を求める際に失われる時間領域の情報を残すことが可能である。



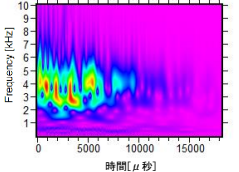
→ 打音波形の分類においては、多様な損傷から得られる波形の認識に有用である。

振幅波形をGabor関数を用いてウェーブレット変換することで、時間-周波数を軸として表される二次元平面上にマッピングされるスカログラムを得た。

スペクトル解析? Δ

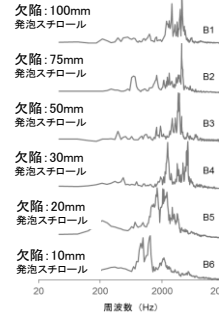


Wavelet変換 \odot

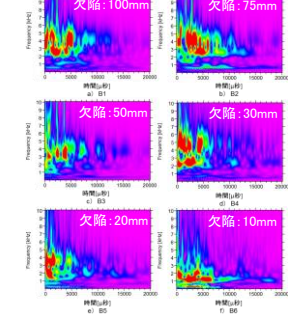


時間-周波数スペクトル

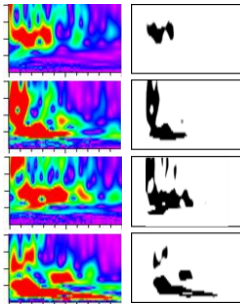
フーリエ変換



Wavelet変換



スペクトル画像の二値化



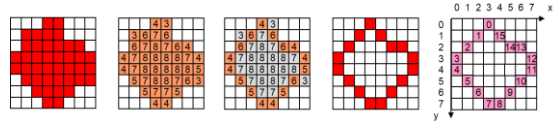
ウェーブレット関数を用いる。フーリエ変換によって周波数特性を求める際に失われる時間領域の情報を、この変換においては残すことが可能である。

Wavelet係数の上位20%を抽出

→ 打音波形の分類においては、多様な損傷から得られる波形の認識に有用である。
→ 二値化画像とすることで、特徴を抽出できる。

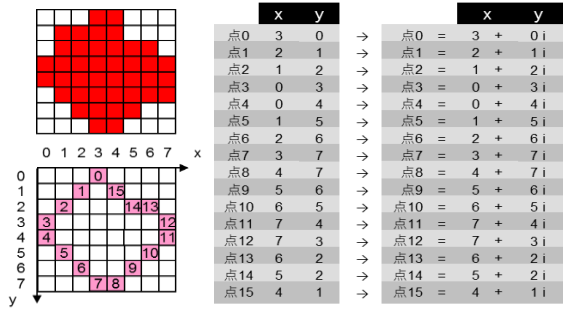
複素PARCOR係数による画像パターン認識

打音波形に対してウェーブレット変換を行い、時間-周波数スペクトルの二値化処理画像に以下の処理を施す。

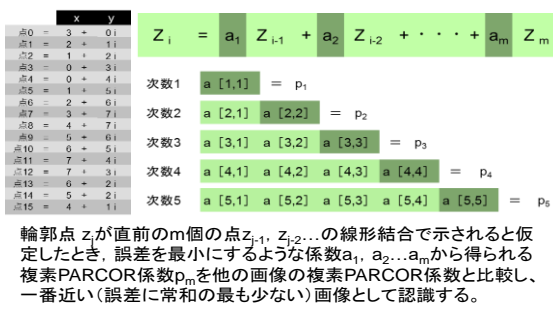


- ① 画像データの白黒(0-1)テキスト画像の黒(=1)の部分について
- ② 隣接する8マスに1(黒)のマスが幾つあるかを数え、このうち
- ③ 4~6のマスを残すことで輪郭を抽出した後に、
- ④ 任意のマスを始点として座標を(この場合、点0~点15まで)取り出す。

複素PARCOR係数による画像パターン認識

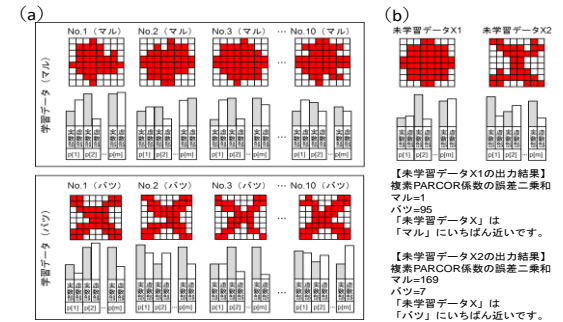


複素PARCOR係数による画像パターン認識

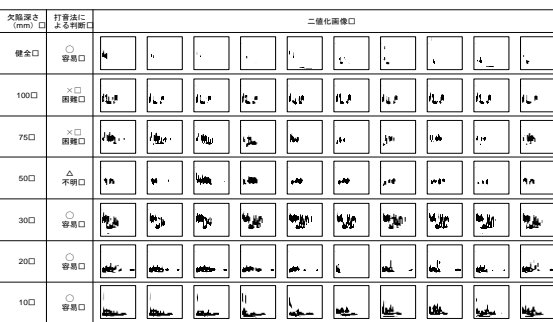


輪郭点 z_i が直前の m 個の点 z_{i-1}, z_{i-2}, \dots の線形結合で示されると仮定したとき、誤差を最小にするような係数 a_1, a_2, \dots, a_m から得られる複素PARCOR係数 p_m を他の画像の複素PARCOR係数と比較し、一番近い(誤差に常和の最も少ない)画像として認識する。

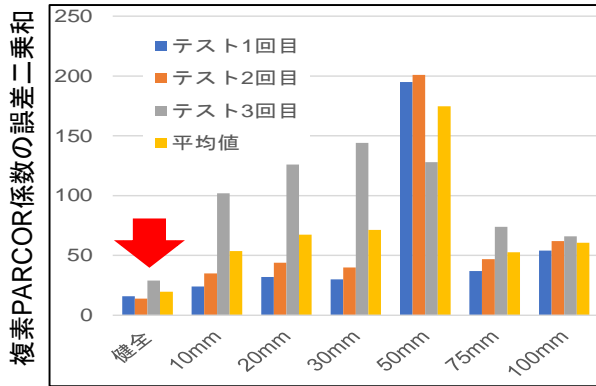
複素PARCOR係数による画像パターン認識



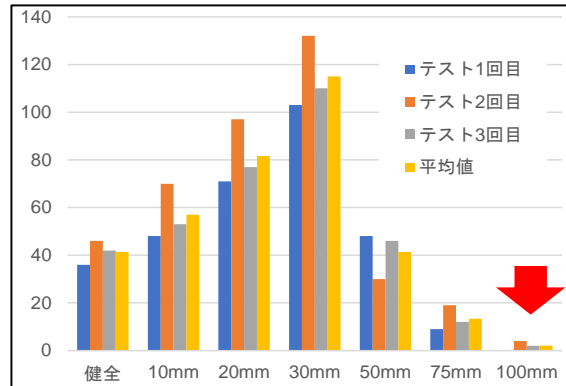
スペクトル画像の二値化



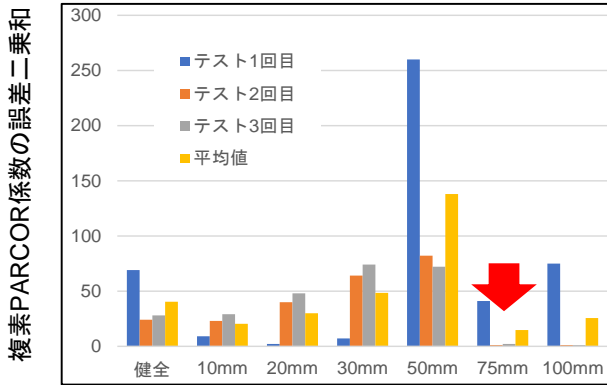
2.計測結果(供試体A)



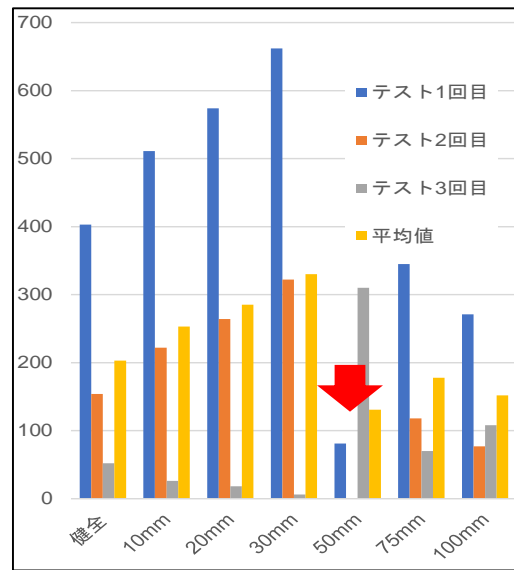
判定結果 (健全)



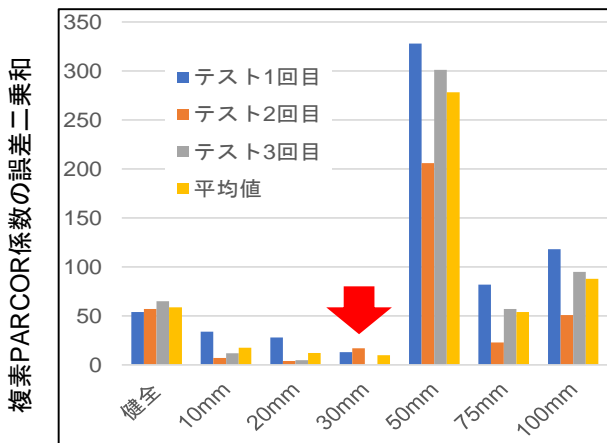
判定結果 (100mm)



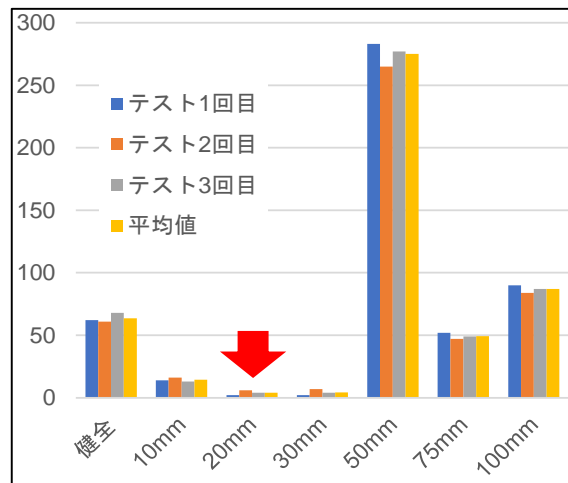
判定結果 (75mm)



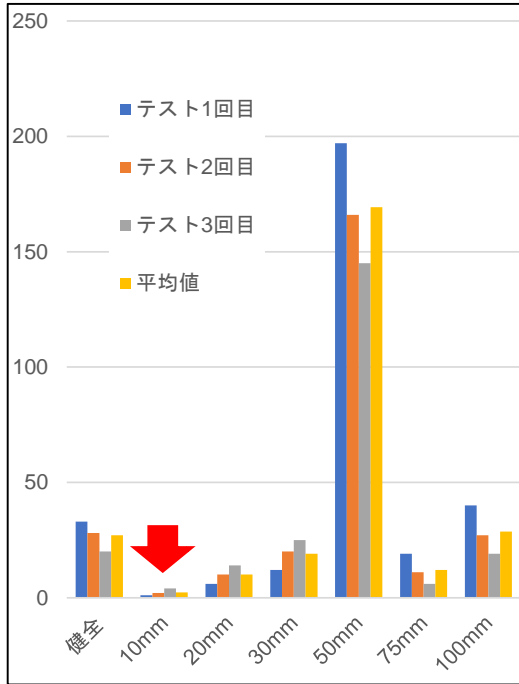
判定結果 (50mm)



判定結果 (30mm)



判定結果 (20mm)



判定結果 (10mm)

計測精度結果一覧 (供試体A)

検出率

項目	100	75	50	30	20	10	合計
うき検出個数	3	3	3	3	3	3	18
打音異常個数	3	3	3	3	3	3	18
							100%

的中率

項目	100	75	50	30	20	10	合計
深さ正解個数	3	1	2	2	3	3	14
深さ方向検出全数	3	3	3	3	3	3	18
							77.8%

判定結果一覧表 (供試体A)

		健全	10mm	20mm	30mm	50mm	75mm	100mm	最小値	うき判定	深さ判定
100mm	テスト1回	36	48	71	103	48	9	0.1	0.1	○	○
	テスト2回	46	70	97	132	30	19	4	4	○	○
	テスト3回	42	53	77	110	46	12	2	2	○	○
	平均値	41.333	57.000	81.667	115.000	41.333	13.333	2.033	2.033		
75mm	テスト1回	69	9	2	7	260	41	75	2	○	×
	テスト2回	24	23	40	64	82	1	1	1	○	○
	テスト3回	28	29	48	74	72	2	1	1	○	×
	平均値	40.333	20.333	30.000	48.333	138.000	14.667	25.667	14.667		
50mm	テスト1回	403	511	574	662	81	345	271	81	○	○
	テスト2回	154	222	264	322	1	118	77	1	○	○
	テスト3回	52	26	18	6	310	70	108	6	○	×
	平均値	203.000	253.000	285.333	330.000	130.667	177.667	152.000	130.667		
30mm	テスト1回	54	34	28	13	328	82	118	13	○	○
	テスト2回	57	7	4	17	206	23	51	4	○	×
	テスト3回	65	12	5	0	301	57	95	0	○	○
	平均値	58.667	17.667	12.333	10.000	278.333	54.000	88.000	10.000		
20mm	テスト1回	62	14	2	2	283	52	90	2	○	○
	テスト2回	61	16	6	7	265	47	84	6	○	○
	テスト3回	68	13	4	4	277	49	87	4	○	○
	平均値	63.667	14.333	4.000	4.333	275.000	49.333	87.000	4.000		
10mm	テスト1回	33	1	6	12	197	19	40	1	○	○
	テスト2回	28	2	10	20	166	11	27	2	○	○
	テスト3回	20	4	14	25	145	6	19	4	○	○
	平均値	27.000	2.333	10.000	19.000	169.333	12.000	28.667	2.333		
Intact 健全	テスト1回	16	24	32	30	195	37	54	16	○	○
	テスト2回	14	35	44	40	201	47	62	14	○	○
	テスト3回	29	102	126	144	128	74	66	29	○	○
	平均値	19.667	53.667	67.333	71.333	174.667	52.667	60.667	52.667		

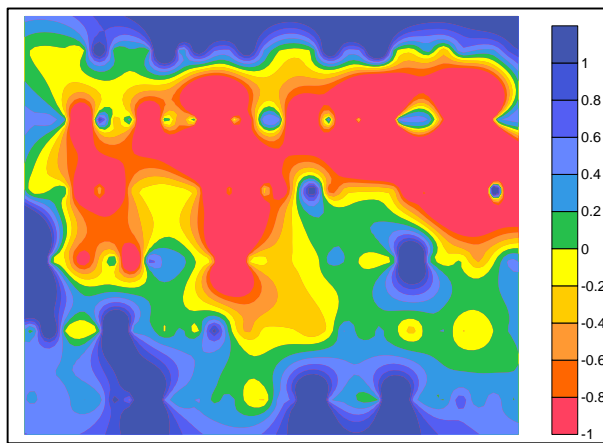
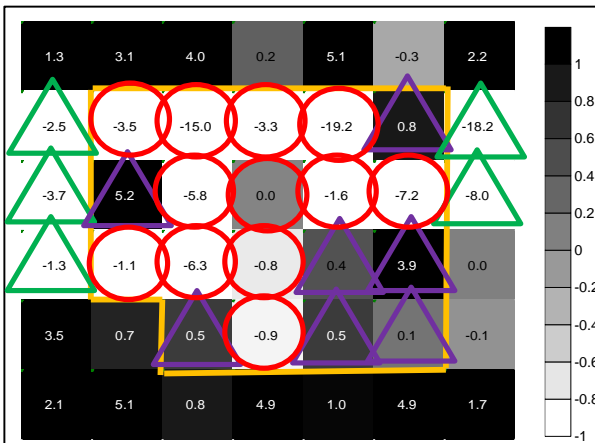
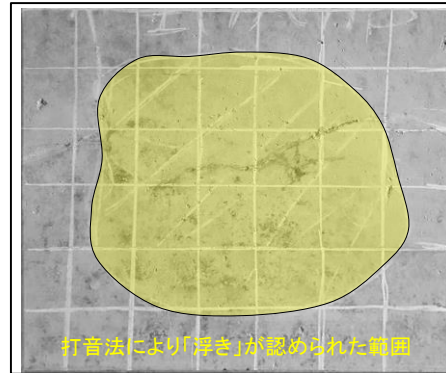
3.計測結果(Aトンネル)

損傷の有無を可視化することを目的して、複素PARCOR係数の誤差二乗和を用いて損傷の有無を定量化した。

損傷有り $C_d < \text{損傷無し} C_i \rightarrow$ 判定: 損傷有り $\rightarrow C_i/C_d - 1$

損傷有り $C_d > \text{損傷無し} C_i \rightarrow$ 判定: 損傷無し $\rightarrow -C_d/C_i + 1$

0(同じ評価結果(誤差))を基準に損傷無しの場合を「正」損傷有りの場合を「負」の値になる。



計測精度結果一覧(Aトンネル)

検出率

項目	Aトンネル	備考
うき検出個数	12	○
打音異常個数	19	○+△
	63.2%	

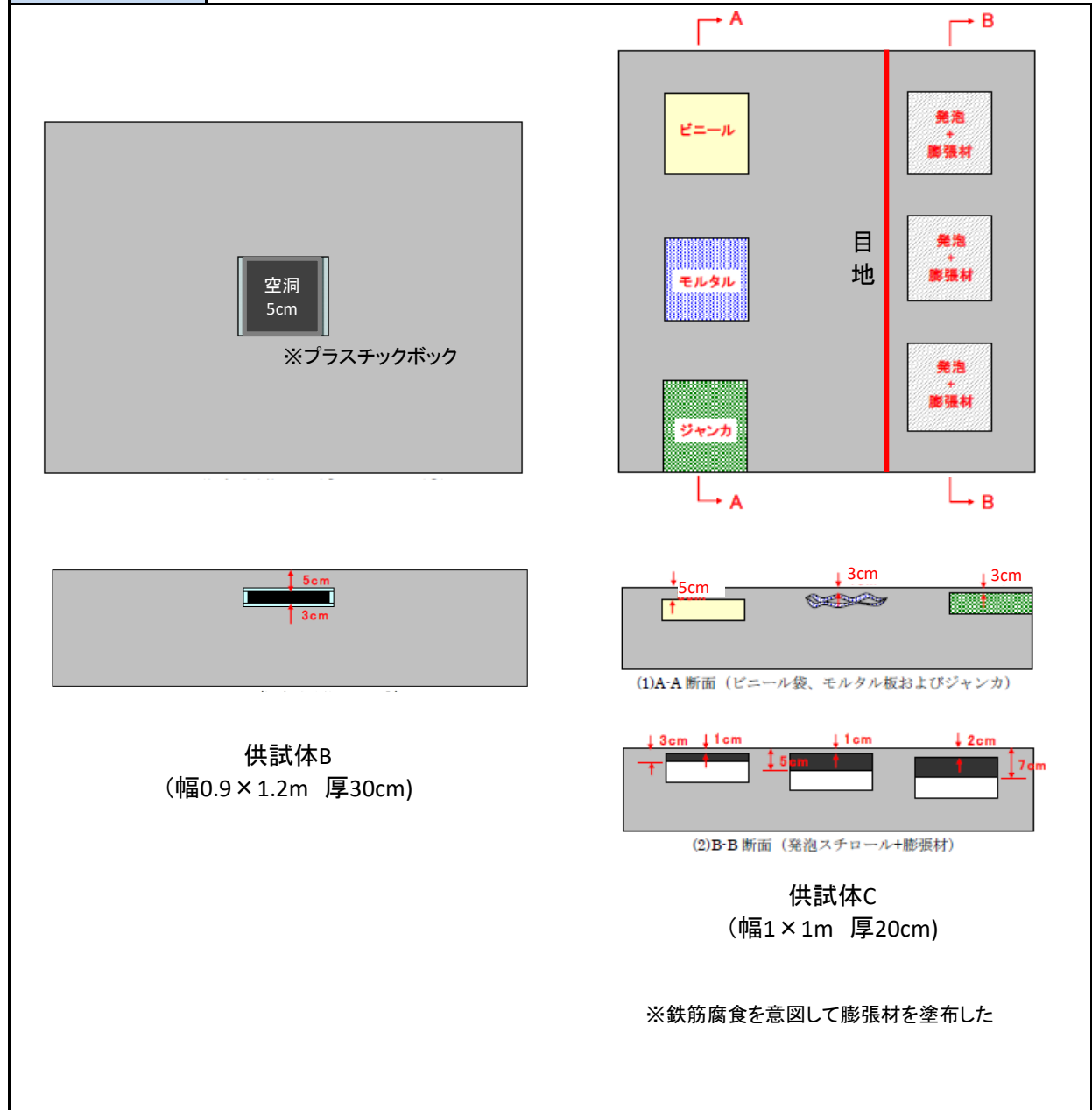
的中率

項目	Aトンネル	備考
うき的中個数	12	○
全検出個数	17	○+△
	70.6%	

技術番号	TN020016-V0123						
技術名	AI打音アプリ「ウェイヴ・ブレイナー」(ウェーブレット解析)				開発者名	(株)構研エンジニアリング 国立大学法人北海道大学	
試験日	令和4年 12 月 21 日	天候	晴れ	気温	14 °C	風速	2.5 m/s
試験場所	千葉県佐倉市 供試体B・C						
カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	うき/はく離	試験区分	現場試験	

試験で確認する カタログ項目	計測精度
-------------------	------

対象構造物の概要



- ① 試験前に打音位置を決定
- ② コンクリートテストハンマーを用いて打音し、音響データを取得
- ③ 打音により得られた音響データを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
- ④ 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

開発者による計測機器の設置状況



打音集音状況



解析状況



供試体B

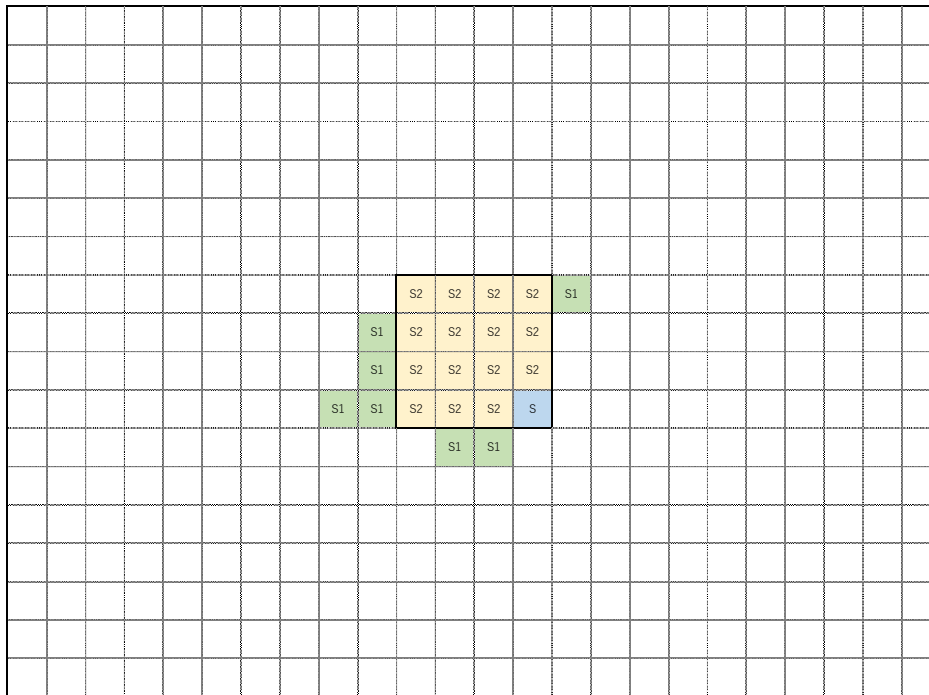


供試体C

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

・特になし

1.計測結果(供試体B)



供試体B の計測結果

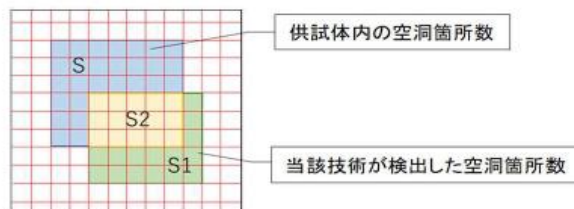
計測精度結果一覧(供試体B)

検出率

項目	供試体B	備考
うき検出個数	15	S2
打音異常個数	16	S+S2
	93.8%	

的中率

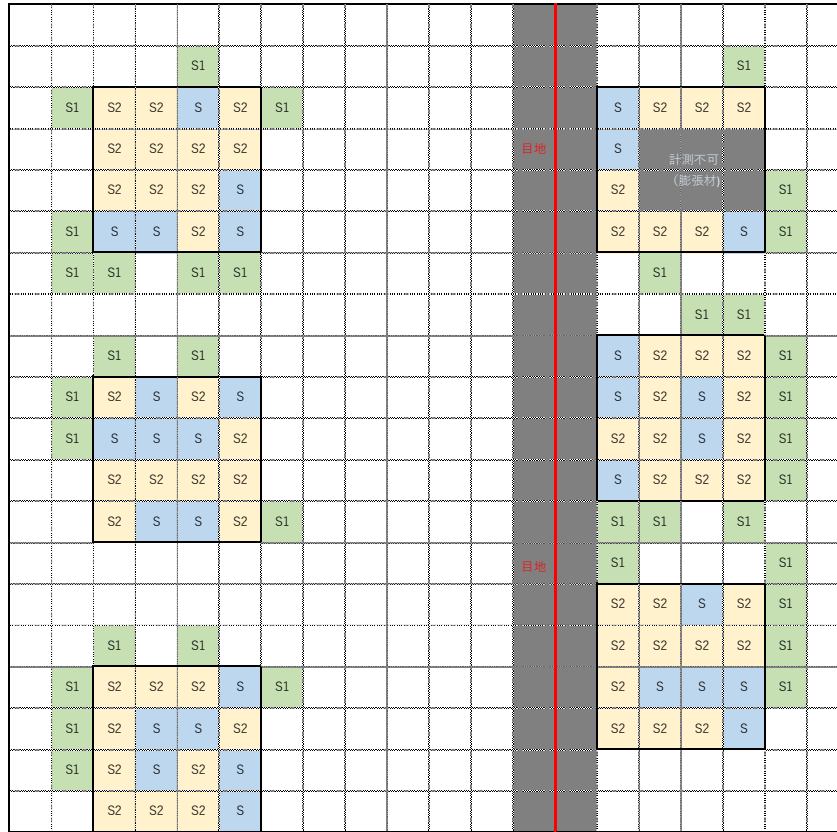
項目	供試体B	備考
うきの中個数	15	S2
全検出個数	22	S1+S2
	68.2%	



検出率 = $\frac{\text{供試体内の空洞箇所数のうち当該技術で検出できた空洞箇所数}(S2)}{\text{供試体内の空洞箇所数}(S+S2)}$

的中率 = $\frac{\text{当該技術で検出できた空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数}(S2)}{\text{当該技術により検出した空洞箇所数}(S1+S2)}$

2.計測結果(供試体C 目地部除く)



供試体C の計測結果(目地部除く)

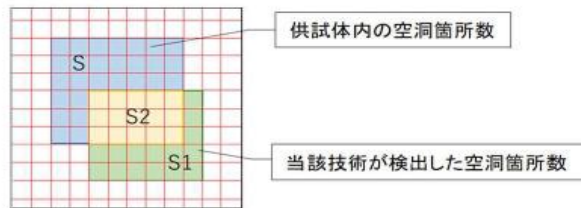
計測精度結果一覧(供試体C 目地部除く)

検出率

項目	供試体C	備考
うき検出個数	59	S2
打音異常個数	90	S+S2
	65.6%	

的中率

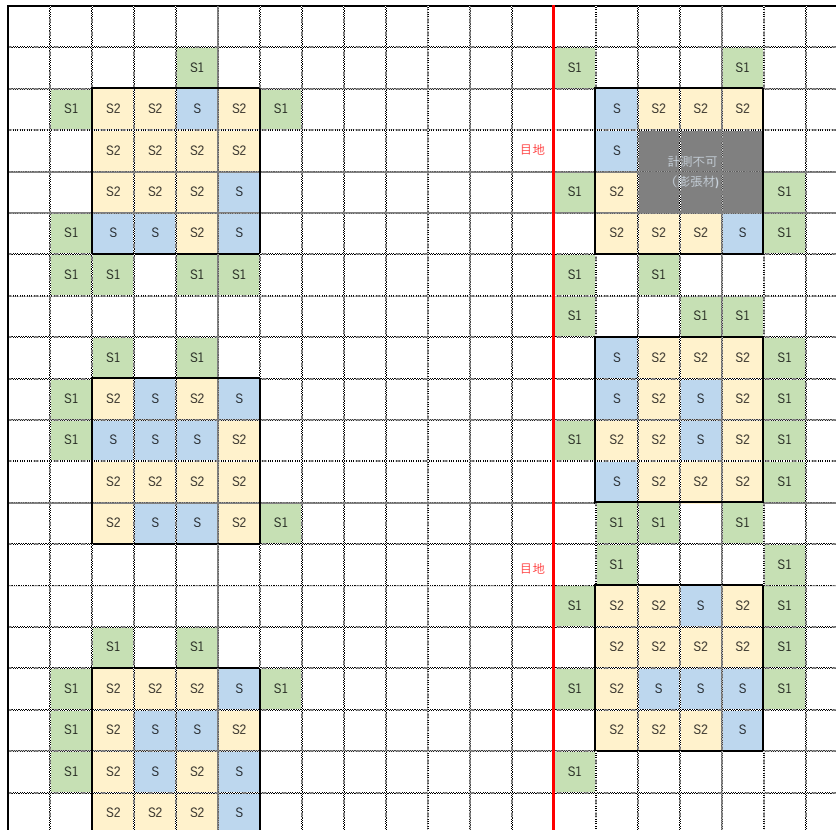
項目	供試体C	備考
うき的中個数	59	S2
全検出個数	96	S1+S2
	61.5%	



検出率 = $\frac{\text{供試体内の空洞箇所数のうち当該技術で検出できた空洞箇所数}(S2)}{\text{供試体内の空洞箇所数}(S+S2)}$

的中率 = $\frac{\text{当該技術で検出できた空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数}(S2)}{\text{当該技術により検出した空洞箇所数}(S1+S2)}$

3.計測結果(供試体C 目地部含む)



供試体C の計測結果(目地部含む)

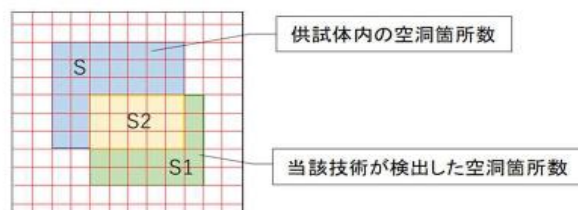
計測精度結果一覧(供試体C 目地部含む)

検出率

項目	供試体C	備考
うき検出個数	59	S2
打音異常個数	90	S+S2
	65.6%	

的中率

項目	供試体C	備考
うきの中个数	59	S2
全検出個数	104	S1+S2
	56.7%	



検出率 = $\frac{\text{供試体内の空洞箇所数のうち当該技術で検出できた空洞箇所数(S2)}}{\text{供試体内の空洞箇所数(S+S2)}}$

的中率 = $\frac{\text{当該技術で検出できた空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数(S2)}}{\text{当該技術により検出した空洞箇所数(S1+S2)}}$

技術番号 TN020017-V0123

技術名 コンクリート打音診断システム

開発者名 株式会社アニモ
(共同開発: 株式会社ブリッジエンジニアリング、都築電気株式会社)

試験日 令和4年 3 月 1 日 天候 晴れのち雨 気温 14 °C 風速 — m/s

試験場所 施工技術総合研究所(静岡県富士市)

カタログ分類 非破壊検査技術 検出項目 うき、はく離、内部空洞 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 4. 計測性能のうち、計測精度(内部空洞)

対象構造物の概要

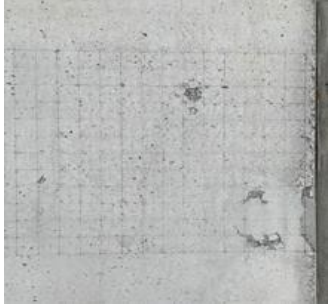
履行コンクリートの表面近くの空洞を模した打音検査用供試体(以下、供試体)。
供試体は、トンネルの目地を模擬した箇所を有する。供試体に50mm×50mmのメッシュを設ける。

供試体 設置状況



試験実施 供試体

No. 1



No. 7



No. 13



- ① 供試体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。
- ② 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。点検対象部分のコンクリート内部に変状がある場合に、その変状を検知する。
- ③ 3マスを1セットとして連続的に槌打、1マスごとに位置を移動させながら供試体の全マスを槌打する。全体12×15マス(目地部を除く)。
- ④ 全供試体18台のうち、3台を無作為に選択し、実際に表面を叩いて内部の変状を検知・記録。(供試体No.1, No.7, No.13)

開発者による計測機器の設置状況

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(供試体)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、コンクリートの内部空洞等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点検作業者に伝える。



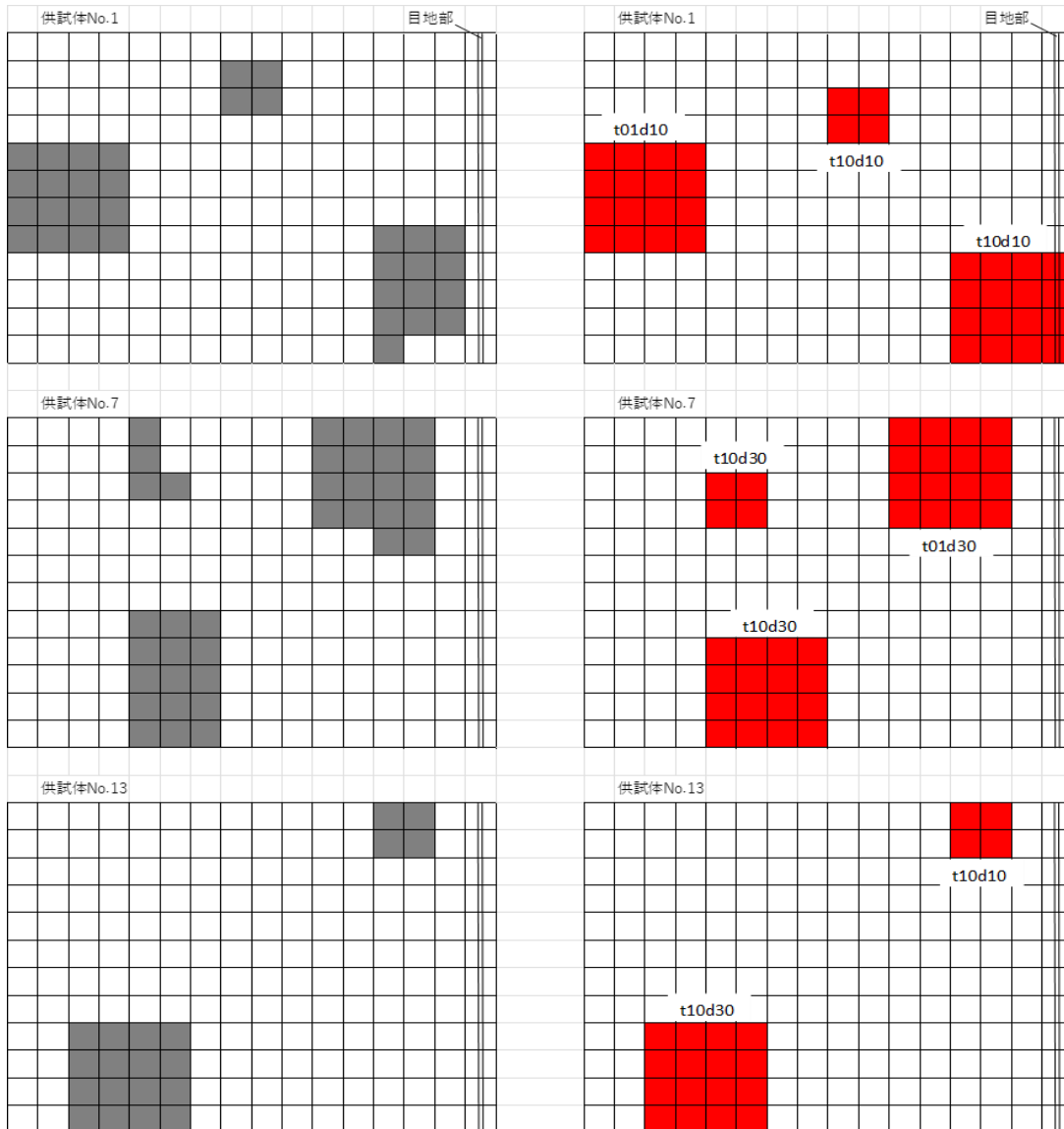
比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

試験用供試体であり、変状位置が既知であるため未実施
(試験開始から終了まで、試験実施中立会い)

○計測精度(内部空洞)

・当該技術による計測結果

・正解位置

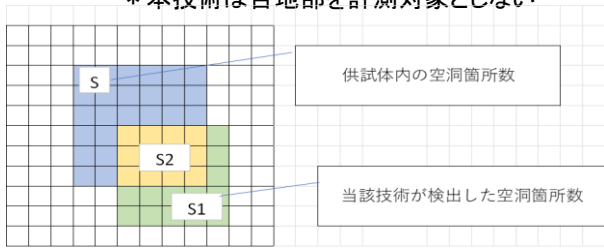


(1) 当該技術により検出した空洞箇所数 (S1+S2)	90
(2) 当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数 (S2)	79
(3) 供試体内の空洞箇所数 (S+S2)	88

検出率:(2)/(3)	0.898
的中率:(2)/(1)	0.878

- (1) = S1+S2
- (2) = S2
- (3) = S+S2

* 本技術は目地部を計測対象としない



項目	性能	性能(精度・信頼性)を確保するための条件
変状検出性能	[1] 劣化、表面近くの空洞 * 計測対象に目地部含まず * 全空洞に対する検出率: 89.8%、的中率: 87.8% [2] うき・はく離 * 供試体内の空洞箇所以外は対象外	
(The main body of the table is currently blank, indicated by a diagonal line.)		

技術番号 TN020018-V0123

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) 開発者名 原子燃料工業株式会社

試験日 令和4年 2月 25日 天候 気温 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 固有周波数 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(背面空洞)

対象構造物の概要



- ① 高所作業車を用いて、トンネル覆工まで近接し(写真-1)、測定する箇所にメジャーを貼り付け、後で識別できるように写真を撮影し、ライン番号をタブレットに記入する。(写真-2)
- ② 測定については、10 cm間隔で行い、コンクリート表面にセンサを手で押し当て、点検ハンマで近傍を打撃することで、覆工コンクリートの振動を取得する(写真-3)。打撃回数は、3回のデータを取得する。データ取得毎に、記録員が「測定箇所〇番」と声掛けし、測定者と記録者で測定対象の間違いないように確認する。
- ③ データ取得毎に、記録員はタブレット上でセンサーから取得されたデータ(波形)を確認し、正常にデータが取得できていることを確認する。
- ④ 各測定位置の覆工厚さと測定結果を比較し、計測精度を評価する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-1



写真-2



写真-3

比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

※ 覆工厚の寸法が既知の試験用トンネルのため、未実施

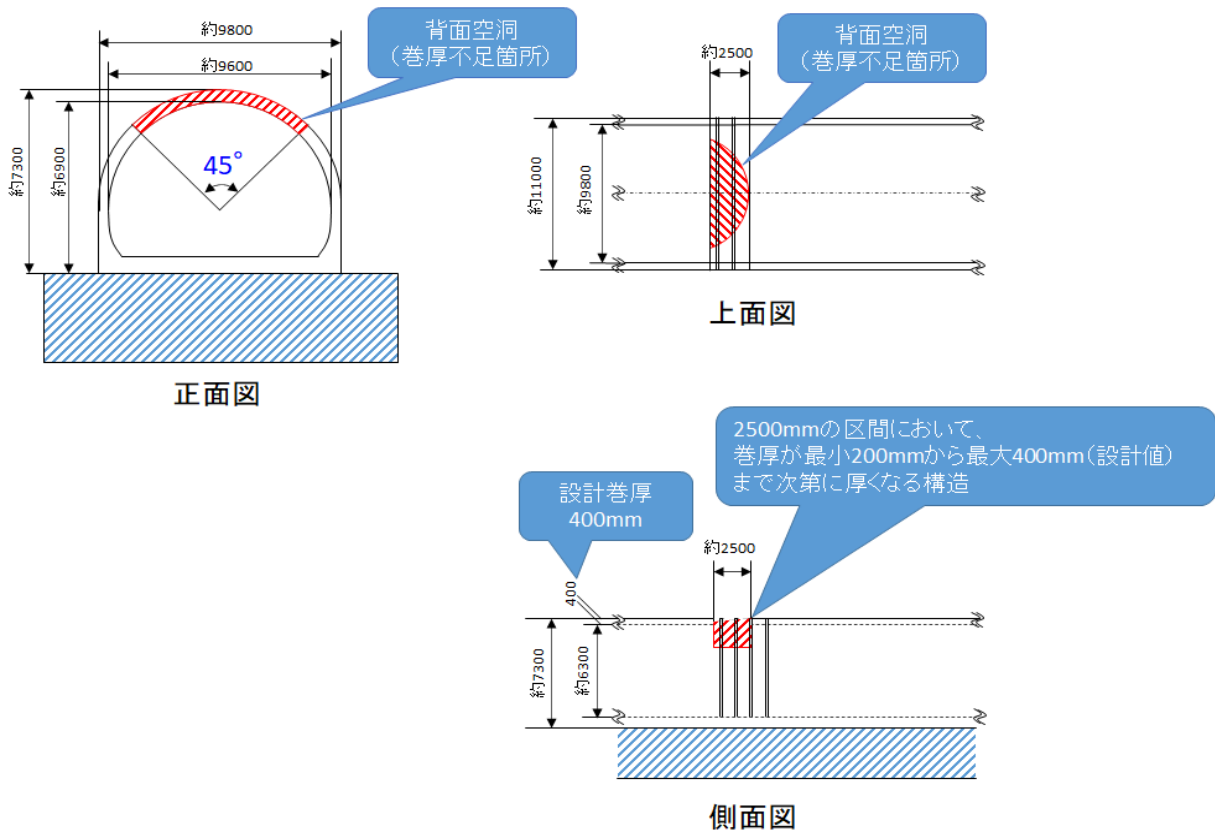
○計測精度(背面空洞)

・試験用トンネルの概要

試験用トンネルの一部分で背面空洞模擬(巻厚不足)の箇所がある。

背面空洞は、トンネル天端部から45°、トンネル軸方向に2500 mmの範囲(図面の赤ハッチング部)。

側面図赤ハッチング部における左側が最小巻厚200 mm程度で最大400 mm(設計値)まで次第に厚くなる設計。



・背面空洞測定結果

トンネル覆工表面の測定範囲を図-1に示す。

図-2及び図-3は巻厚400 mmの箇所と巻厚200mm(背面空洞)で得られた周波数分布の例を示す。

図-2及び図-3のように、トンネル覆工での振動測定では

巻厚に依存する縦波共振の周波数が得られるため、右式を用いることで測定周波数から巻厚を評価することができる。

$$D = \frac{V}{2f}$$

V:コンクリート音速=4000m/s,

f: 測定周波数

表-1は巻厚の評価結果であり、左側が最小巻厚200 mm程度で右側に進むにつれ最大400 mm(設計値)まで変化しており、設計された巻厚と概ね整合する結果が得られた。

※ 表-1の斜め斜線箇所は評価不可の箇所を示し、理由は以下の通り。

※ 目地部から400、500、1400、1500、2400、2500mmは覆工内部に支保工があるため、縦波共振の周波数が得られない

※ 天端部から±2800mm、目地部から2300~2700mmの範囲は照明灯具との干渉により測定不可。

※ 天端部から+400mm、目地部から1900~2100mmの範囲は照明灯具電源箱との干渉により測定不可。

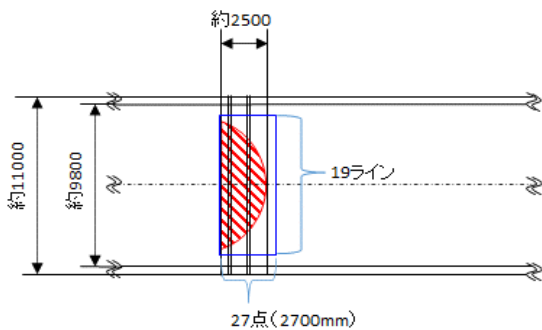


図-1 測定範囲(青色枠)

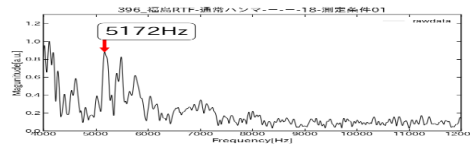


図-2 巻厚健全箇所(400 mm)

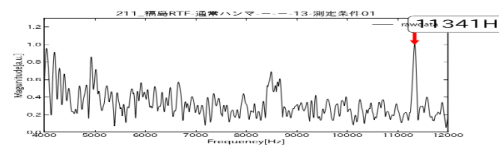


図-3 巻厚不足箇所(200 mm)

表-1 背面空洞評価結果(巻厚評価)

天端部からの 距離の長さ(mm)	目地部からの距離 (mm)																											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	
+3600	384	381	387			386	386	380	377	377	379	369	344			387	388	384	393	379	378	389	333				392	386
+3200	398	343	337			349	388	383	381	394	383	400	400			400	387	387	400	395	390	390	384				399	390
+2800	353	357	358			383	345	393	373	373	367	387	387			399	400	386	386	387	391	392						
+2400	354	307	320			328	314	335	359	368	367	368	368			378	366	373	389	398	387	386	393				386	386
+2000	251	270	299			320	319	333	329	331	350	364	364			399	362	378	378	379	380	369	365				389	395
+1600	200	177	281			257	301	302	292	343	304	321	320			400	357	374	374	398	381	375	395				395	369
+1200	200	193	240			273	319	275	275	280	323	310	309			348	357	340	373	380	385	363	396				377	378
+800	198	199	200			200	309	275	276	288	298	289	295			331	346	346	345	345	363	368	375				374	364
+400	179	175	219			284	270	264	265	288	282	292	299			361	396	338				364	334				367	355
天端部:0	180	191	181			251	278	270	251	278	277	269	315			379	358	381	385	329	355	354	334				354	354
-400	176	176	176			280	268	255	250	262	301	255	333			334	297	394	332	398	349	353	341				359	352
-800	176	200	176			285	248	252	245	271	280	291	313			339	333	330	331	341	353	351	352				398	362
-1200	176	237	254			275	269	272	250	317	287	308	308			321	351	351	351	390	360	360	357				340	362
-1600	176	256	295			282	272	311	298	346	293	308	307			394	389	378	373	398	398	398	400				353	396
-2000	176	285	313			324	291	329	328	359	348	349	339			352	389	389	400	400	400	400	399				400	390
-2400	220	312	303			366	387	338	356	373	373	389	385			383	389	390	391	390	389	388	368				400	400
-2800	229	368	311			357	395	352	391	400	377	378	381			385	398	399	399	400	400	400						
-3200	387	363	368			394	392	392	392	394	384	389	376			389	384	395	395	395	397	398	345				379	388
-3600	388	386	391			377	367	380	379	384	384	371	371			362	347	365	367	388	372	381	398				400	375

技術番号 TN020019-V0123

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) 開発者名 原子燃料工業株式会社

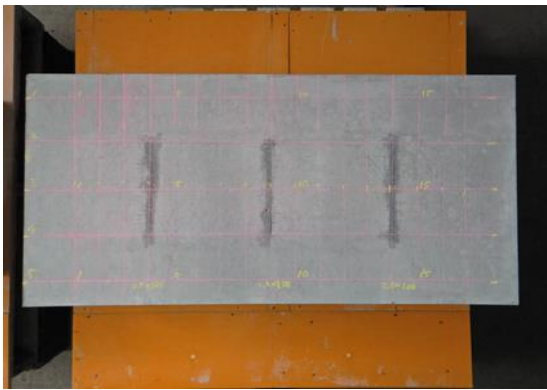
試験日 令和4年 3月9日 天候 気温 °C 風速 m/s

試験場所 一般社団法人 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所

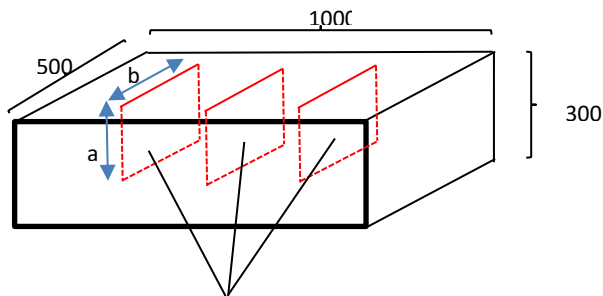
カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 ピークの立ち上がり時刻 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 ひび割れ深さ

対象構造物の概要

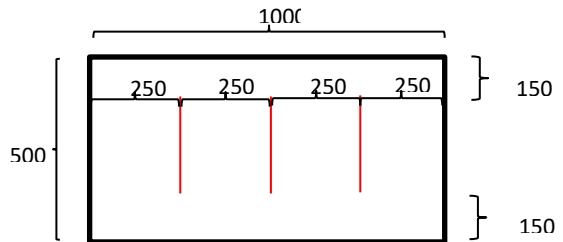


立面図



模擬ひび割れ

平面図



試験体 2				
厚さ(t)	a	b	備考	
mm	mm	mm		
0.5	100	200		
1.0	100	200		
1.5	100	200		

模擬ひび割れは途中までである。

試験方法(手順)

技術番号

TN020019-V0123

- 測定装置は、2つのAEセンサで振動を取得できるタイプの装置を用い、測定者は測定対象とするひび割れと直行する直線状にAEセンサを2箇所設置する。その際、AEセンサからひび割れまでの距離を等間隔にする。
- ① 直行する直線状にAEセンサを2箇所設置する。その際、AEセンサからひび割れまでの距離を等間隔にする。
 - ② 片方のAEセンサ近傍をハンマで打撃し信号を取得する。
 - ③ ①の作業を3回繰り返し、3回分のデータを取得する。
 - ④ データ取得毎に、記録員はタブレット上でセンサーから取得されたデータ(波形)を確認し、正常にデータが取得できていることを確認する。

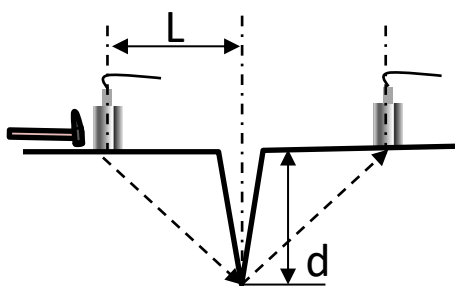
開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

・深さ評価方法(NDIS 2426-2:2014 付属書E参照)

弾性波の入力点及び振動の測定点は、測定対象とするひび割れと直行する直線状に配置し、その距離は、ひび割れ開口から等距離のLにあるものとする。



$$d = \sqrt{\left(\frac{V\Delta T}{2}\right)^2 - L^2}$$

ここで、 ΔT : 入力された弾性波がひび割れ先端を回折して測定点に達するまでの時間(s)
 V : 弾性波伝播速度(m/s)
 L : ひび割れ開口部から入力点及び測定点までの距離(m)

・評価結果

コンクリート中の弾性波伝播速度を4000 m/sと設定し、ひび割れ深さを評価した結果を以下に示す。

測定No	ひび割れ深さ [mm]	ひび割れ幅 [mm]	時間差[s]	評価ひび割れ深さ[mm]
1	100	0.5	4.53E-05	76
2	100	1	4.93E-05	85
3	100	2	5.33E-05	94

技術番号 TN020019-V0123

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) 開発者名 原子燃料工業株式会社

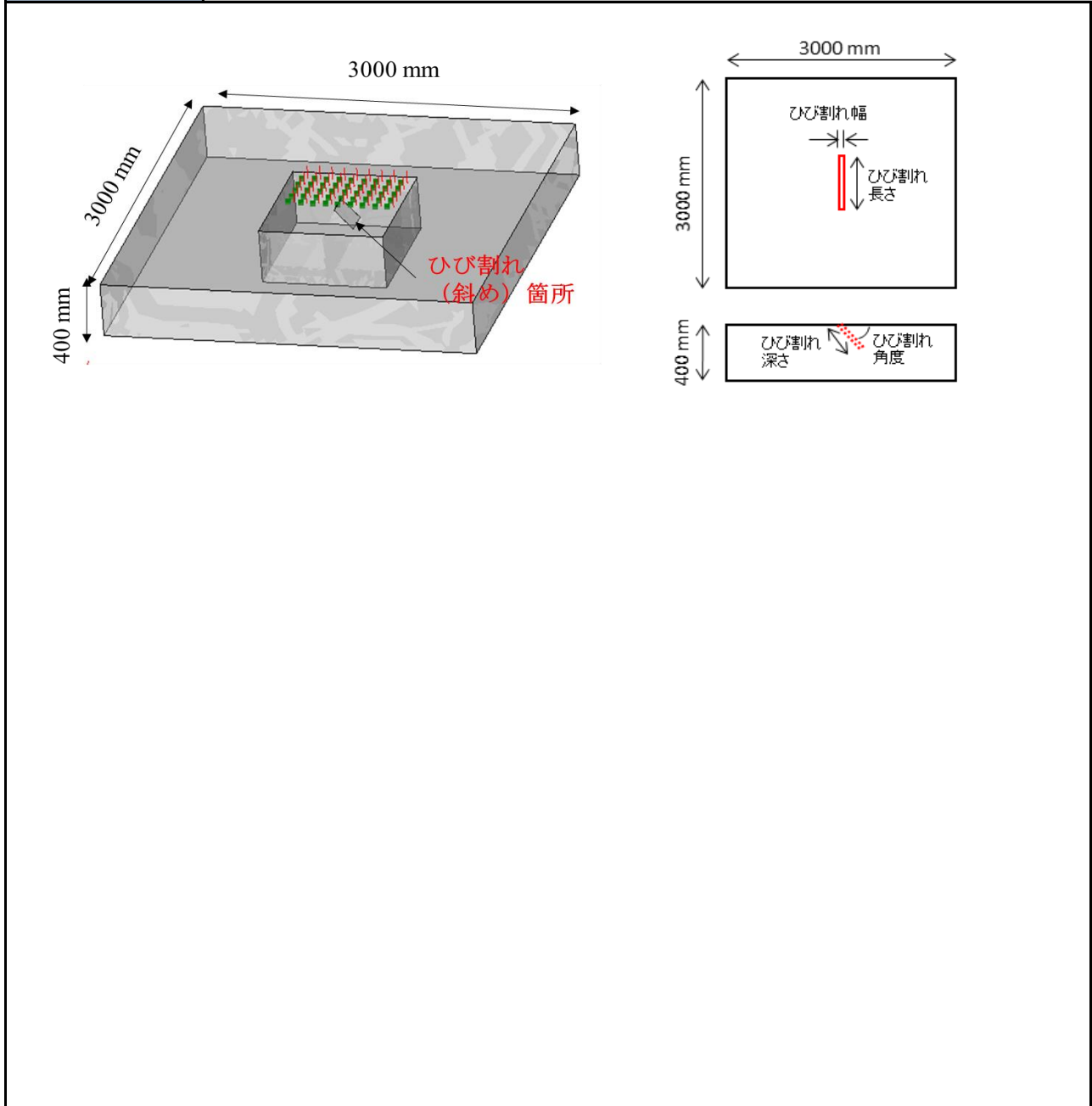
試験日 令和3年 4 月 18 日 天候 気温 °C 風速 m/s

試験場所 原子燃料工業株式会社 事務所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 固有周波数 試験区分 社内試験

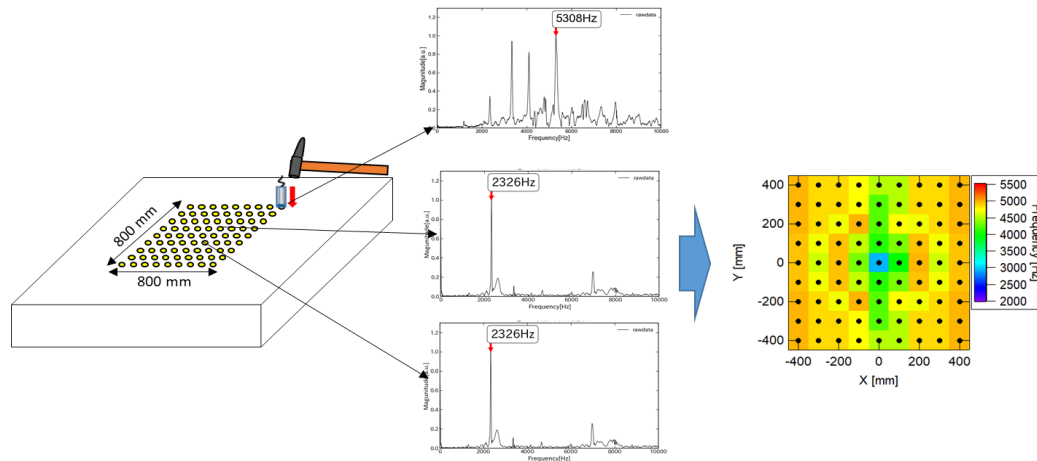
試験で確認する
カタログ項目 ひび割れ深さ

対象構造物の概要



- ① 開口ひび割れ部を中心に800 mm×800 mmの範囲を100 mm格子で打音検査した場合のシミュレーションを実施
- ② 各点で得られる周波数分布から固有周波数を抽出
- ③ 各測定位置と得られた固有周波数の分布図(コンター図)を作成
- ④

開発者による計測機器の設置状況



コンクリート表面を面的にデジタル打音検査
9×9=81箇所を測定

各測定位置において、
縦波共振の固有周波数もしくは
たわみ振動の固有周波数を抽出

各測定位置の周波数値を
コンター図として算出

実験ではなく、デジタル打音検査のシミュレーション(数値計算)で検証

シミュレーションは妥当性確認済みのモデルで実施しており、詳細は以下の論文参照。

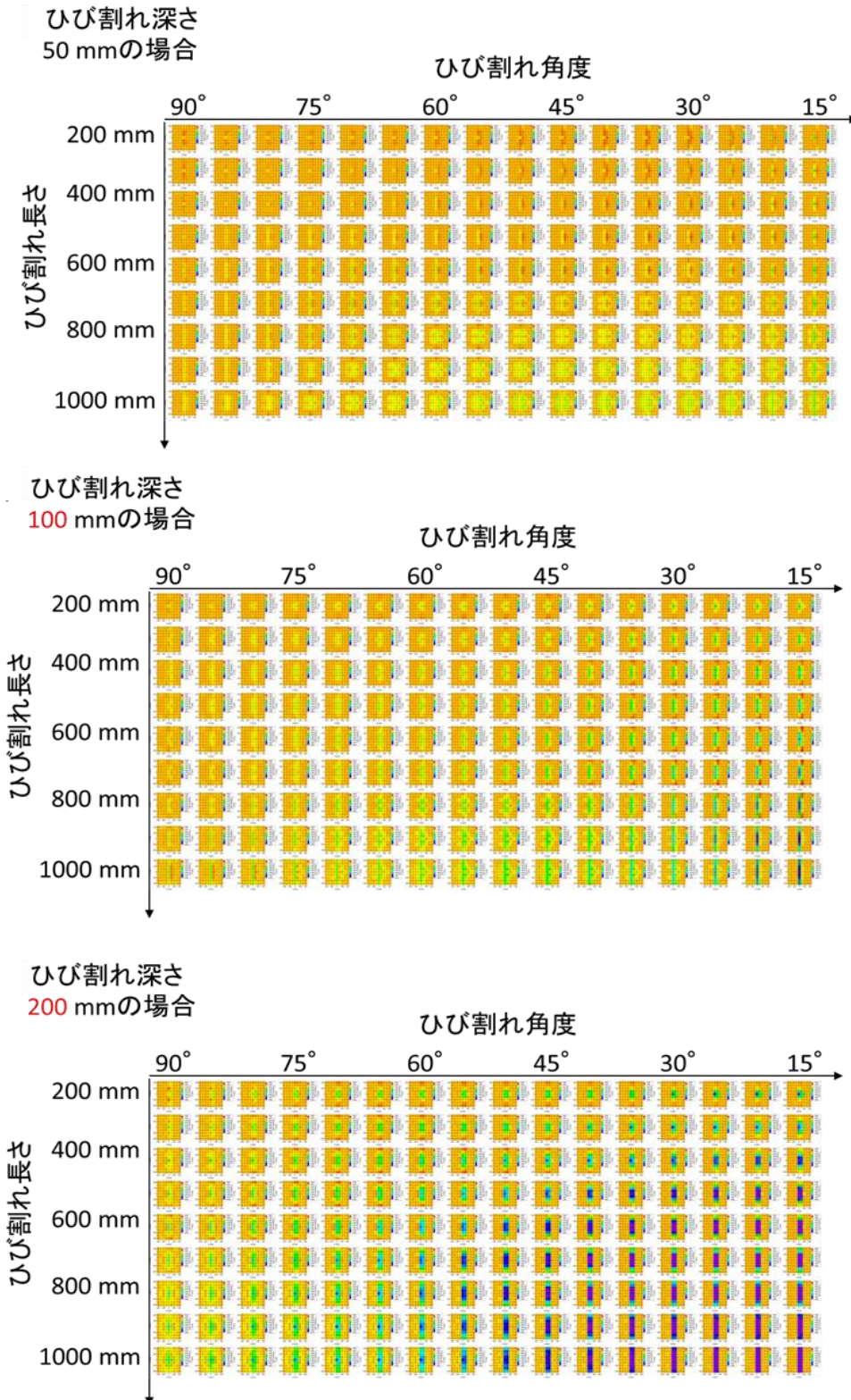
松永嵩, 小川良太, 匂坂充行, 藤吉宏彰, 石井元武, 磯部仁博, 山田知典, 吉村忍, 機械学習のデジタル打音検査高度化への適用,
Transactions of JSCEs, Paper No.20211002 .

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※数値計算のため、不要

以下に、ひび割れ長さ、深さ、角度が異なる場合に得られるコンター図を示す。

このデータベースを参照し、得られたコンター図を比較することで、ひび割れ深さ、角度が評価可能。



技術番号 TN020020-V0023

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

開発者名 エフティーエス株式会社 / IDS GeoRadare

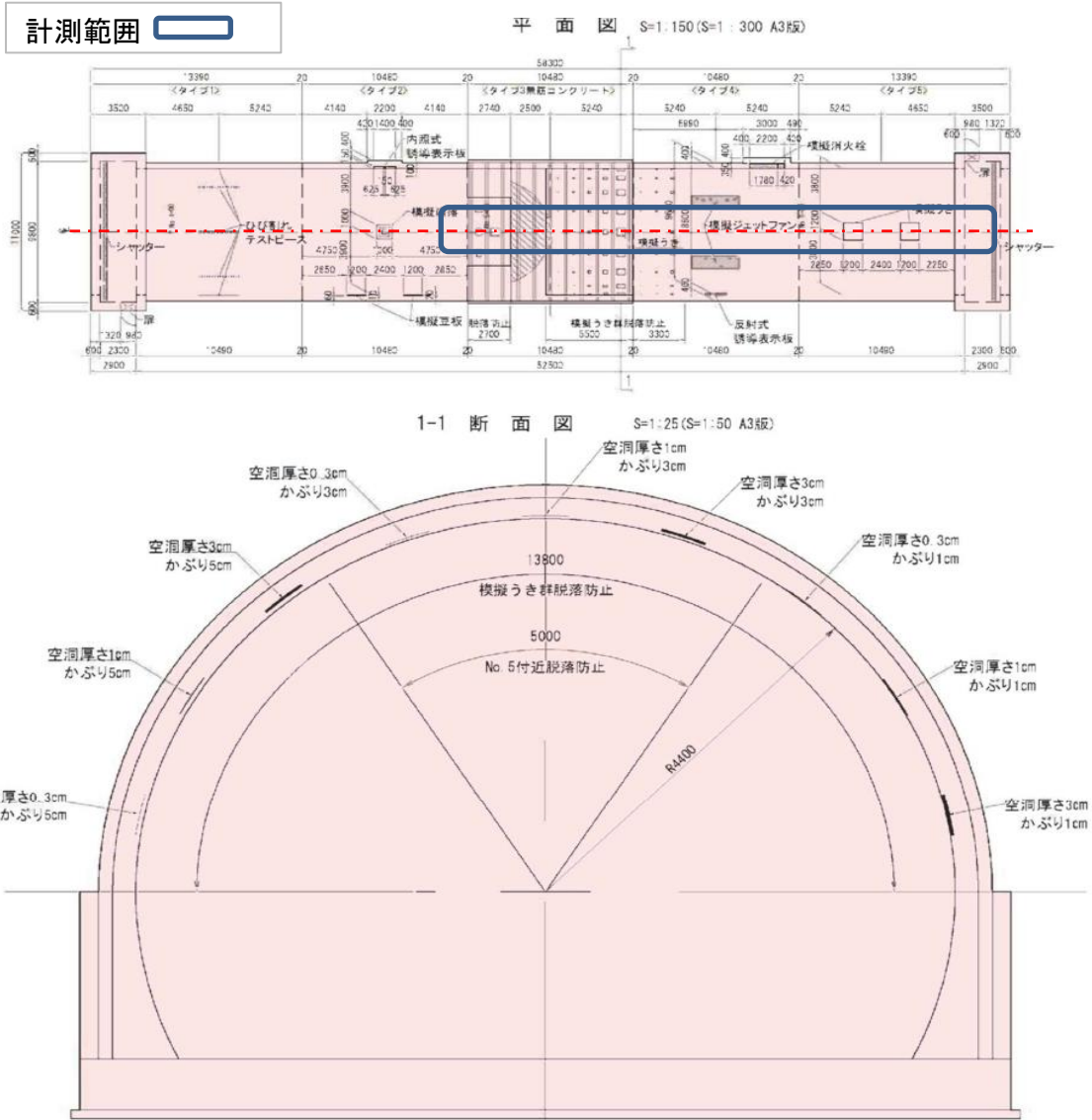
試験日 令和 年 月 日 天候 雨 気温 5 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボティクスフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 空洞/支保工/巻厚不足 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 空洞/支保工/巻厚

対象構造物の概要



- ① 距離計のキャリブレーション
- ② 計測装置(アンテナ装置)を覆工面に設置
- ③ 車体を走行させトンネル天端部を計測
- ④ データ解析し、トモグラフィー表示により変状部をマーキング

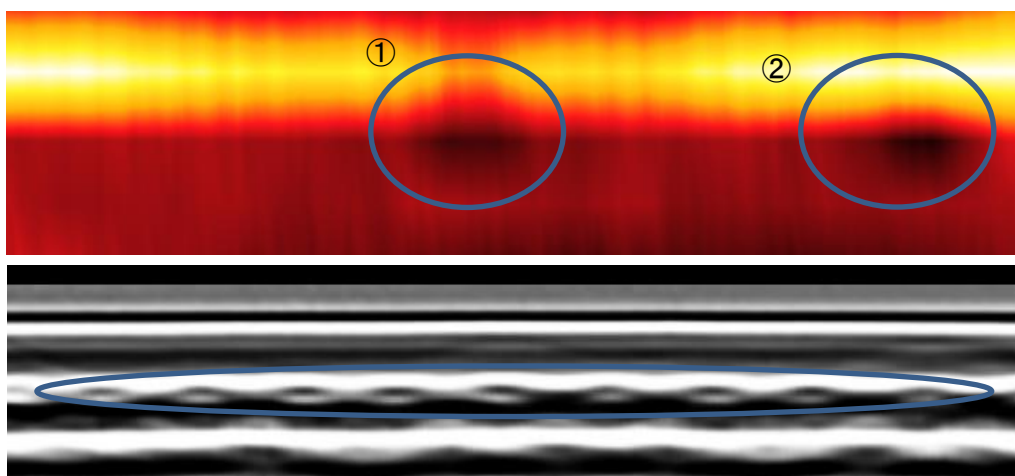
開発者による計測機器の設置状況



立

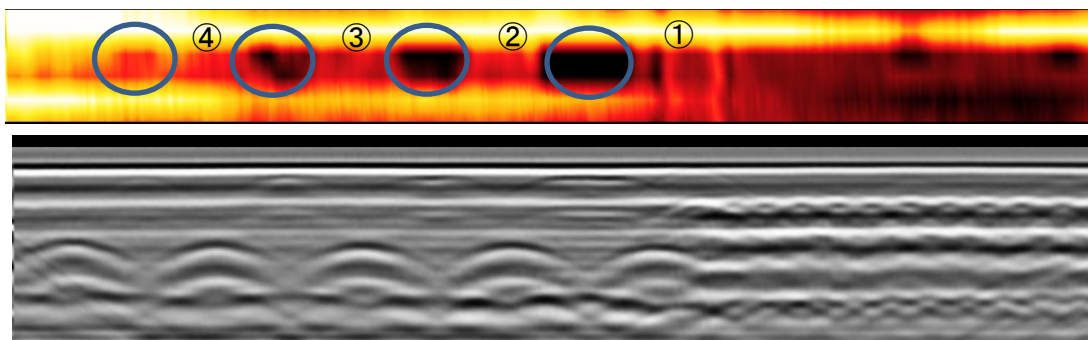
※10km/hで走行計測

1. 覆工内部の有筋部のうき・空洞探査



①有筋部の20×20mm/空洞厚10mm②10×10mm/空洞厚10mm

2. 覆工内部の無筋部の支保工位置/空洞探査

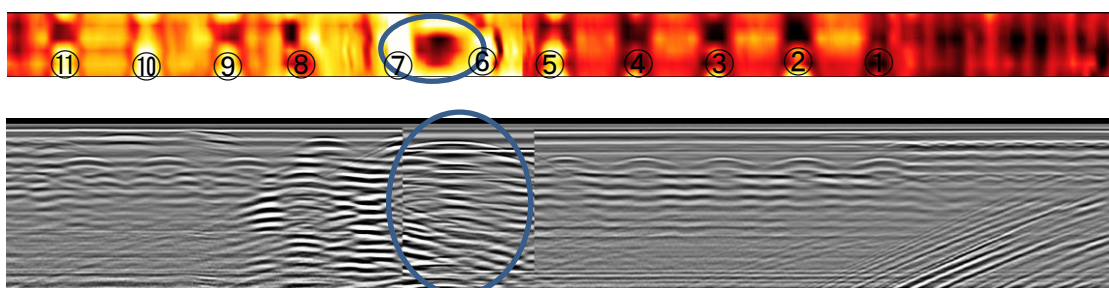


①無筋部の50×50mm/空洞厚10mm②30×30mm/空洞厚10mm③20×20mm/空洞厚10mm
④10×10mm/空洞厚10mm⑤5×5mm/空洞厚10mm

・支保工5基分4mに対して3.979mであり21mmのズレが生じた(支保工の位置ズレ)

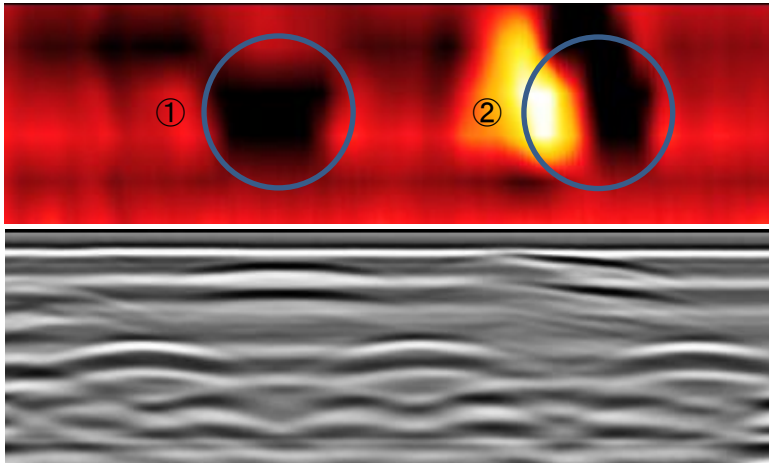
・空洞の最大位置ズレ18mm(空洞の中心間)

3. 支保工の位置および巻厚不足



・支保工11本/⑥基と⑦基に巻厚不足が検出された

4. 支保工⑨基と⑩基間の模擬うき探査



①かぶり10mm/空洞厚30mm②かぶり1～50mm変化/空洞厚30mm

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 開発者名 応用地質株式会社

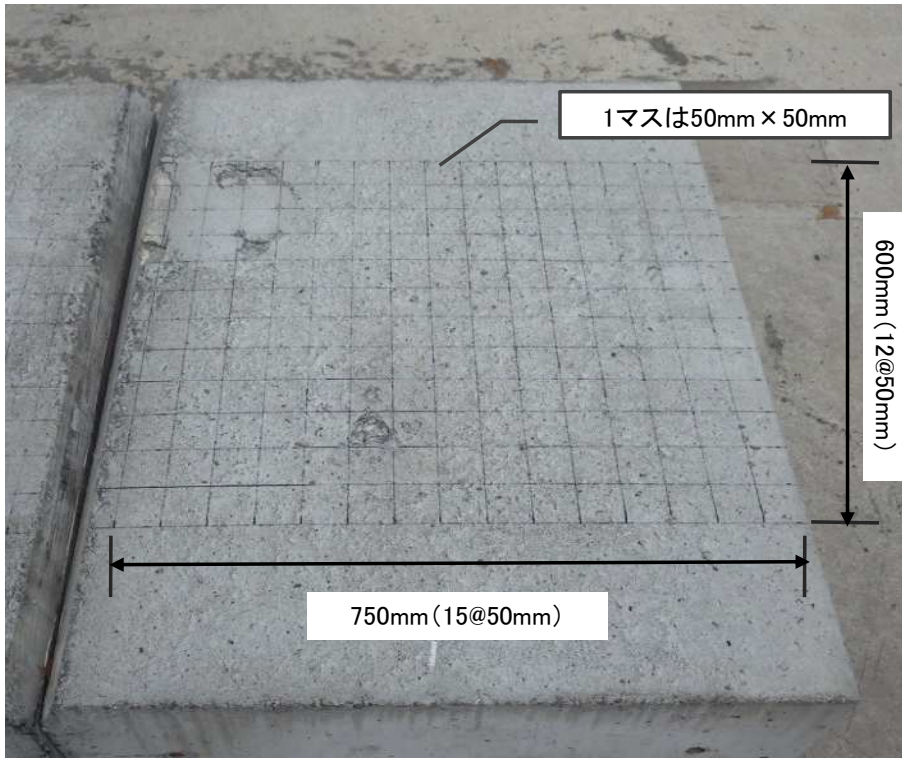
試験日 令和4年 12月 5日 天候 晴れ 気温 11.4 °C 風速 1.9 m/s

試験場所 施工技術総合研究所 テストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 コンクリート表面近くの劣化、空洞 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 劣化、表面近くの空洞

対象構造物の概要



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。

- ① 各供試体の横軸の上部に1マス(縦横50mmピッチのメッシュ)ずつ番号をチョークで記入。
- ② 技術者による打音検査を実施し、その結果(変状のみ)を記録シートに記入。
- ③ AI打音ハンマーにて、各マスの中央付近を2~3回打撃しその結果(変状のみ)を記録シートに記入。
- ④ 各試験体の変状位置と測定結果(技術者、AI打音ハンマー)を比較し、検出精度の確認を実施。

開発者による計測機器の設置状況



写真1. 技術者による打音検査実施状況



写真2. AI打音ハンマーによる測定実施状況

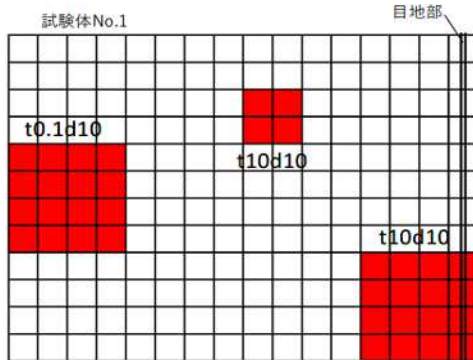


写真3. AI打音ハンマーの記録記入状況

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

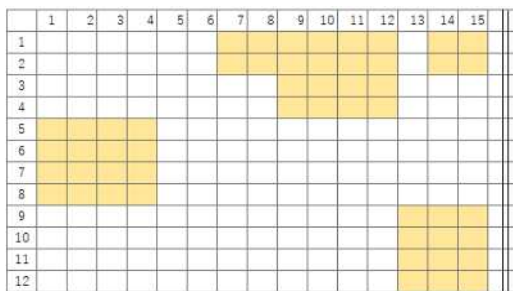
未実施

試験体No.1 正解位置

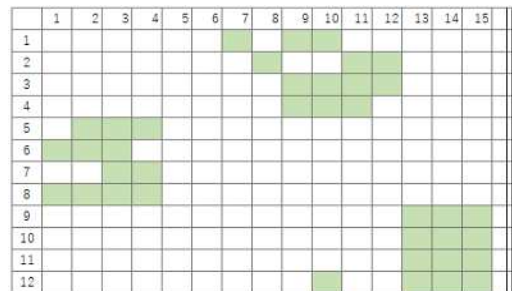


No.1		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	52	38
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	32	28
(3)	供試体内の空洞箇所数	32	
検出率：(2)/(3)		1	0.875
的中率：(2)/(1)		0.61538462	0.73684211

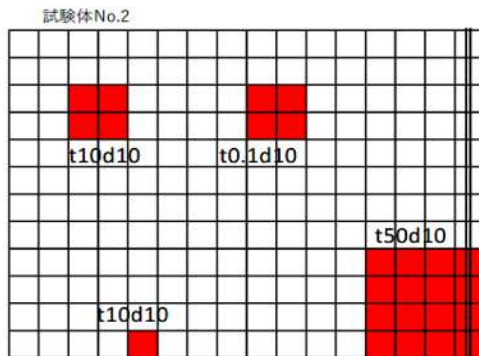
技術者による打音結果



AI打音ハンマーによる判定結果

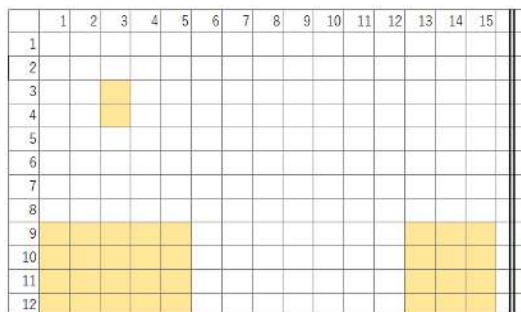


試験体No.2 正解位置

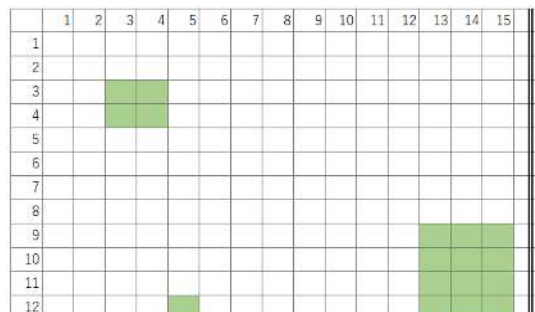


No.2		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	34	17
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	15	17
(3)	供試体内の空洞箇所数	21	
検出率：(2)/(3)		0.71428571	0.80952381
的中率：(2)/(1)		0.44117647	1

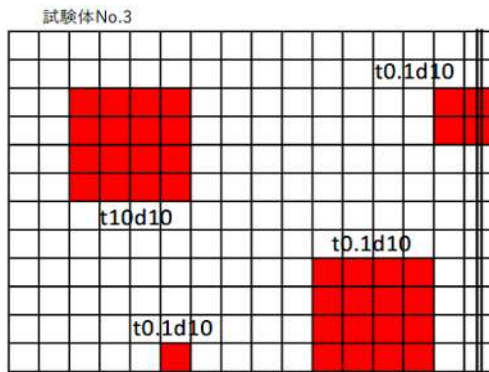
技術者による打音結果



AI打音ハンマーによる判定結果

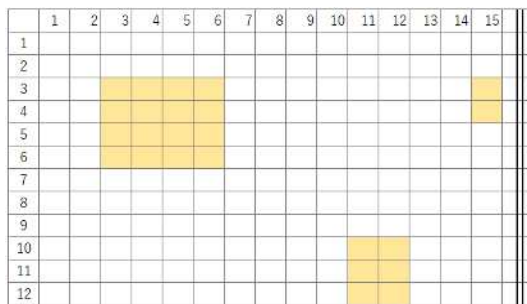


試験体No.3 正解位置

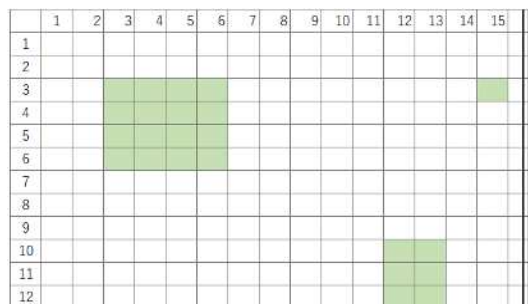


No.3		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	24	23
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	24	23
(3)	供試体内の空洞箇所数	35	
検出率：(2)/(3)		0.68571429	0.65714286
的中率：(2)/(1)		1	1

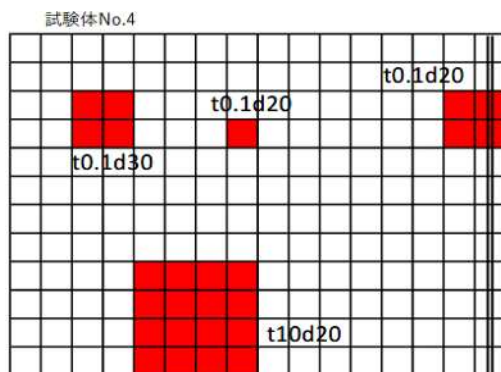
技術者による打音結果



AI打音ハンマーによる判定結果

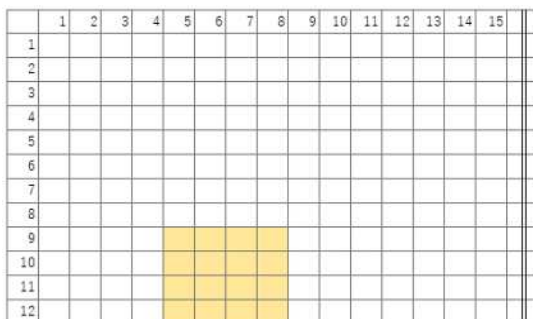


試験体No.4 正解位置

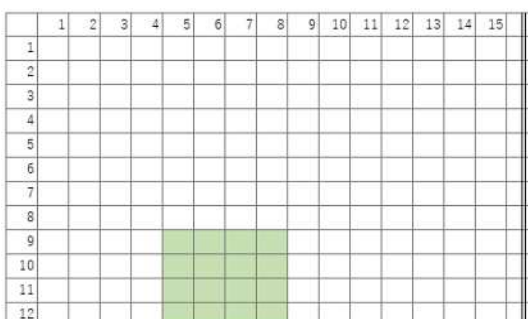


No.4		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	16	16
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	16	16
(3)	供試体内の空洞箇所数	23	
検出率：(2)/(3)		0.69565217	0.69565217
的中率：(2)/(1)		1	1

技術者による打音結果

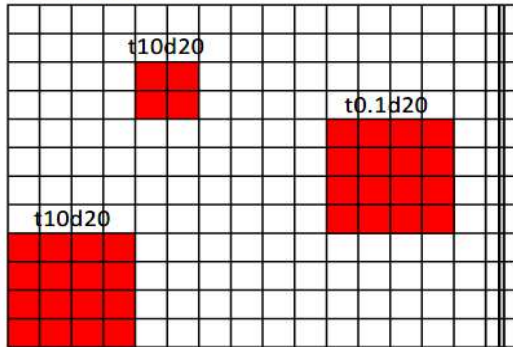


AI打音ハンマーによる判定結果



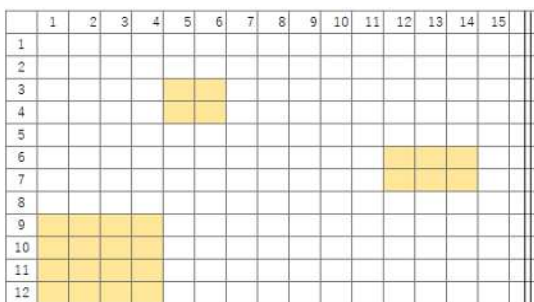
試験体No.5 正解位置

試験体No.5

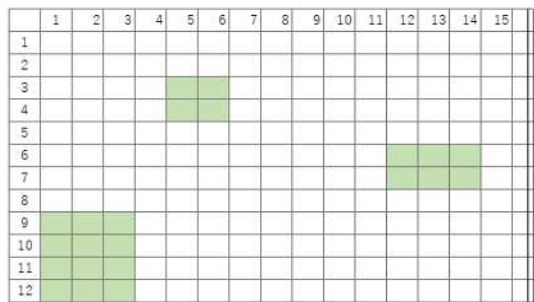


No.5		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	26	22
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	26	22
(3)	供試体内の空洞箇所数	36	
検出率：(2)/(3)		0.72222222	0.61111111
的中率：(2)/(1)		1	1

技術者による打音結果

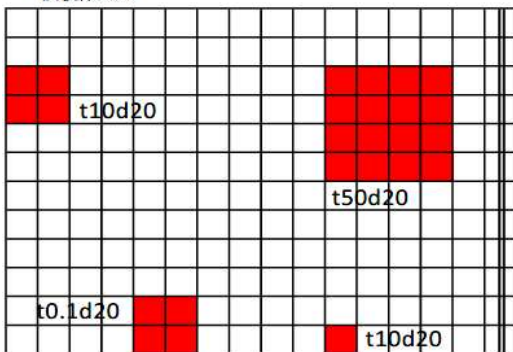


AI打音ハンマーによる判定結果



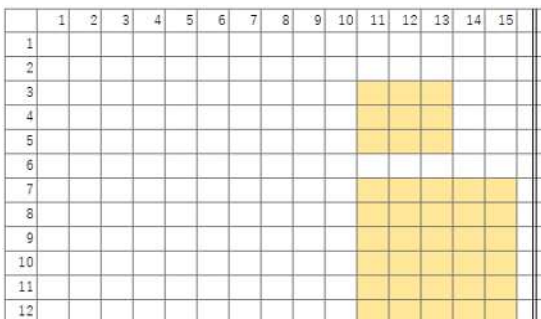
試験体No.6 正解位置

試験体No.6

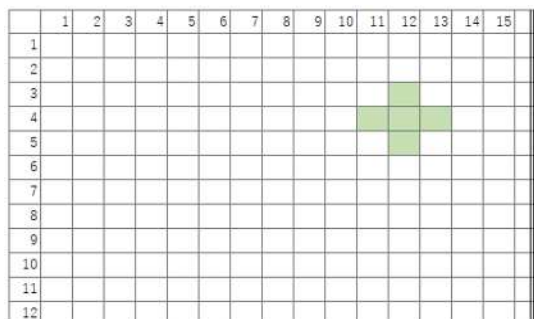


No.6		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	39	5
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	10	5
(3)	供試体内の空洞箇所数	25	
検出率：(2)/(3)		0.4	0.2
的中率：(2)/(1)		0.25641026	1

技術者による打音結果

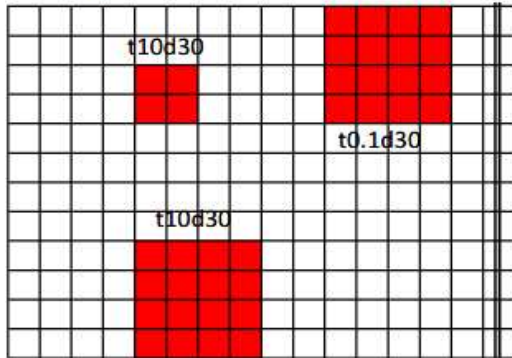


AI打音ハンマーによる判定結果



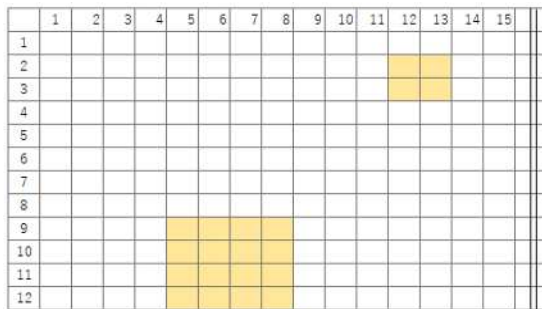
試験体No.7 正解位置

試験体No.7

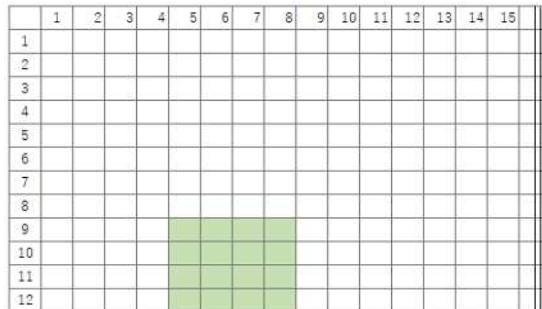


No.7		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	20	16
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	20	16
(3)	供試体内の空洞箇所数	36	
検出率：(2)/(3)		0.56	0.4
的中率：(2)/(1)		1	1

技術者による打音結果

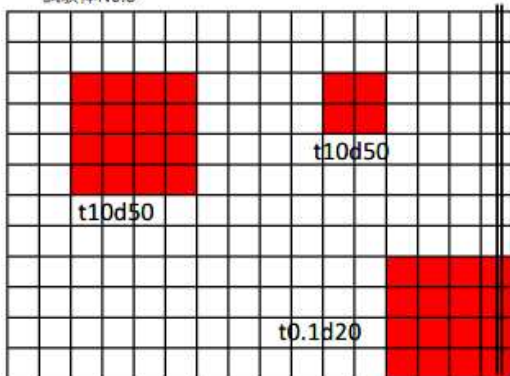


AI打音ハンマーによる判定結果



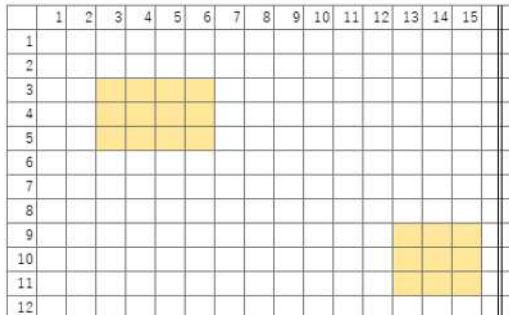
試験体No.8 正解位置

試験体No.8

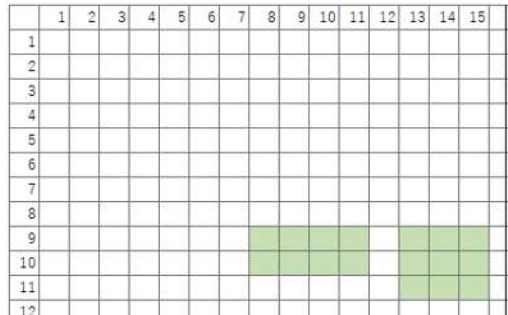


No.8		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	21	17
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	21	9
(3)	供試体内の空洞箇所数	32	
検出率：(2)/(3)		0.65625	0.28125
的中率：(2)/(1)		1	0.52941176

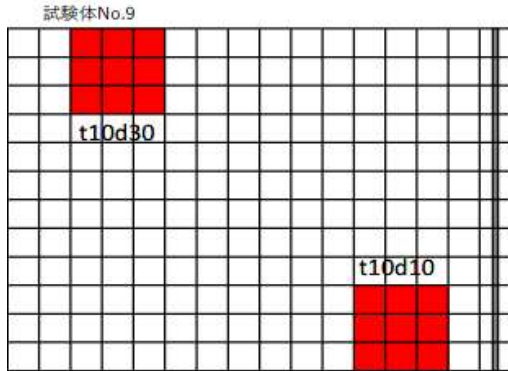
技術者による打音結果



AI打音ハンマーによる判定結果

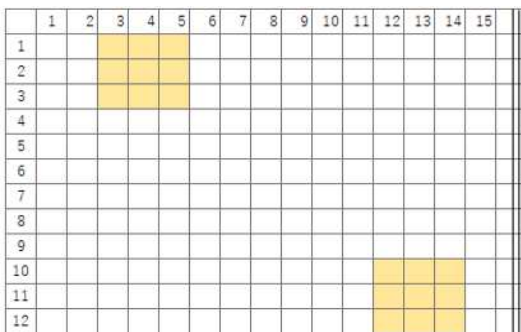


試験体No.9 正解位置

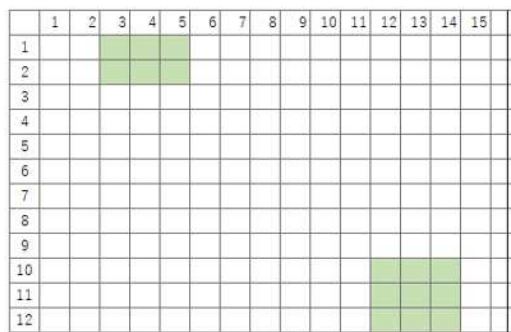


No.9		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	18	15
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	12	12
(3)	供試体内の空洞箇所数	18	
検出率：(2)/(3)		0.66666667	0.66666667
的中率：(2)/(1)		0.66666667	0.8

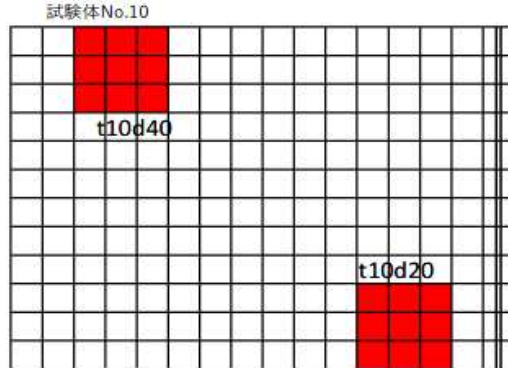
技術者による打音結果



AI打音ハンマーによる判定結果

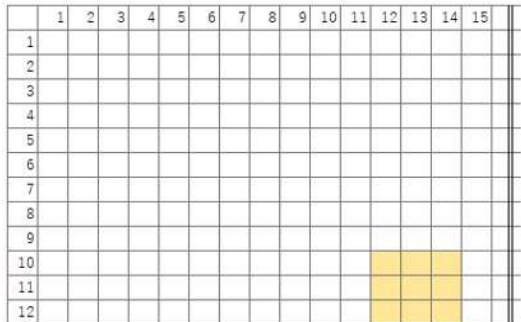


試験体No.10 正解位置

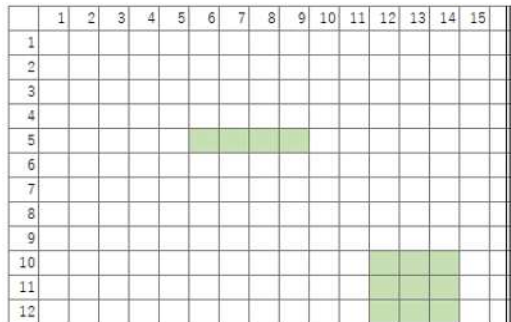


No.10		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	9	13
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	9	9
(3)	供試体内の空洞箇所数	18	
検出率：(2)/(3)		0.5	0.5
的中率：(2)/(1)		1	0.69230769

技術者による打音結果

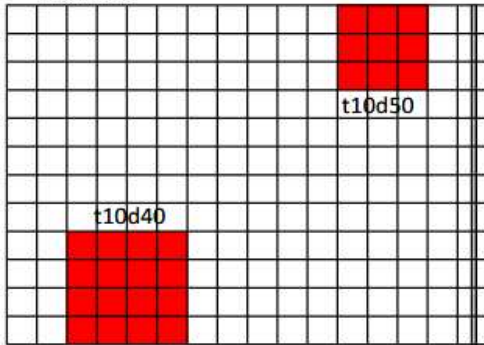


AI打音ハンマーによる判定結果



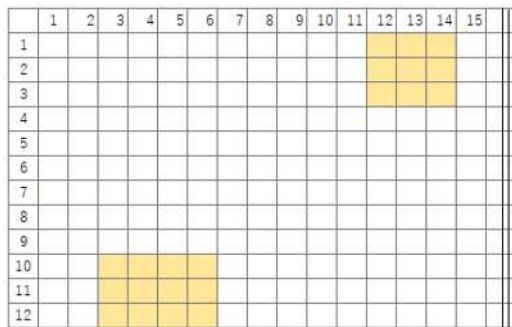
試験体No.11 正解位置

試験体No.11

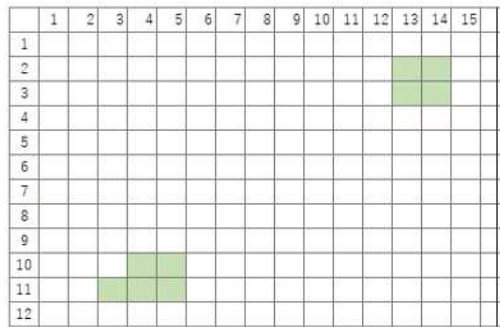


No.11		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	21	9
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	12	7
(3)	供試体内の空洞箇所数	25	
検出率：(2)/(3)		0.48	0.28
的中率：(2)/(1)		0.57142857	0.77777778

技術者による打音結果

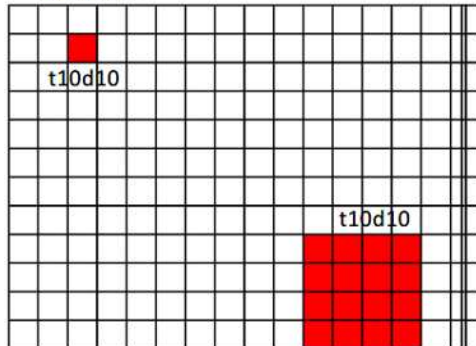


AI打音ハンマーによる判定結果



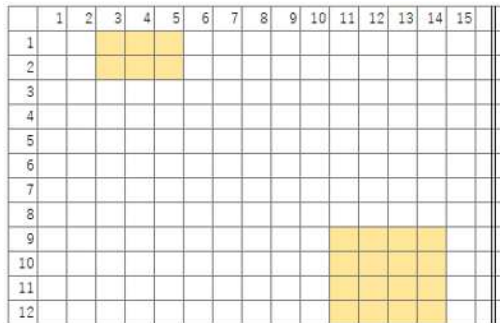
試験体No.12 正解位置

試験体No.12

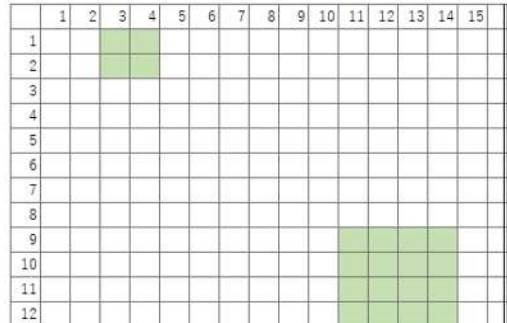


No.12		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	22	20
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	17	17
(3)	供試体内の空洞箇所数	17	
検出率：(2)/(3)		1	1
的中率：(2)/(1)		0.77272727	0.85

技術者による打音結果

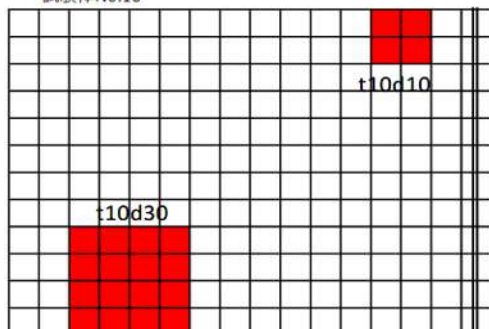


AI打音ハンマーによる判定結果

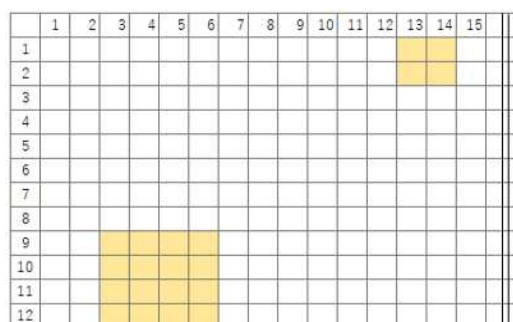


試験体No.13 正解位置

試験体No.13

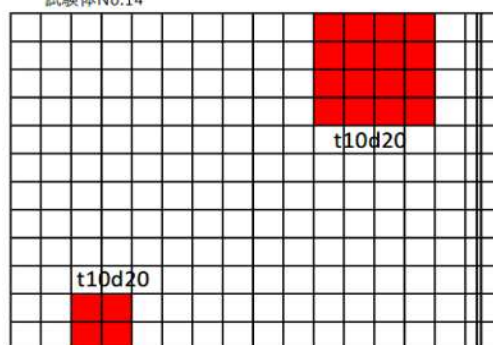


技術者による打音結果

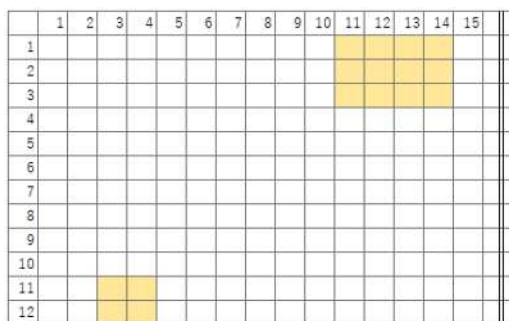


試験体No.14 正解位置

試験体No.14

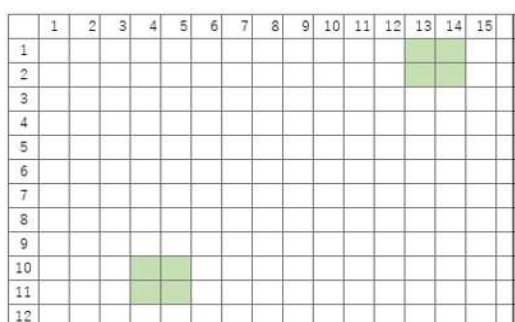


技術者による打音結果



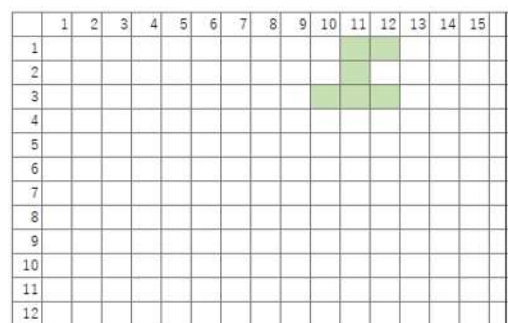
AI打音ハンマーによる判定結果

No.13		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	20	8
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	4	2
(3)	供試体内の空洞箇所数	20	
検出率：(2)/(3)		0.2	0.1
的中率：(2)/(1)		0.2	0.25



No.14		技術者判定	AI判定
(1)	検出した空洞箇所数	16	6
(2)	(1)の内、供試体内の空洞箇所数	16	5
(3)	供試体内の空洞箇所数	20	
検出率：(2)/(3)		0.8	0.25
的中率：(2)/(1)		1	0.83333333

AI打音ハンマーによる判定結果



※本実証実験では、目地部の測定は行わなっていない

■全空洞箇所数における技術者とAI打音ハンマーによる検出数

(1)	全空洞箇所数	358
(2)	技術者による検出数	338
(3)	空洞箇所のうち、技術者による検出数	234
(4)	AI打音ハンマーによる検出数	225
(5)	空洞箇所のうち、AI打音ハンマーによる検出数	188

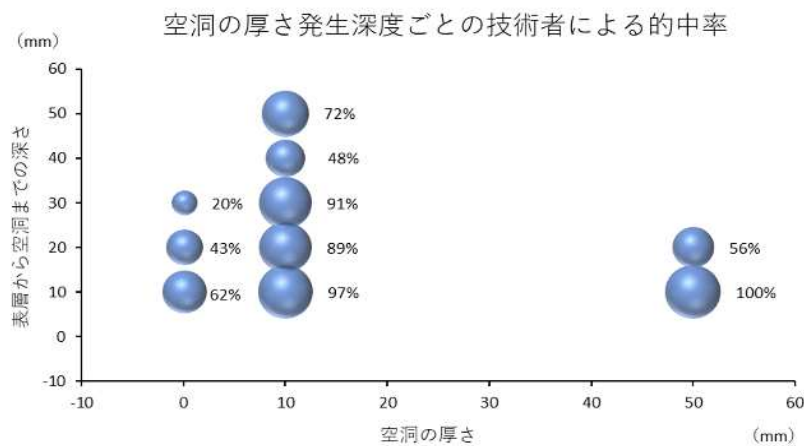
■全空洞箇所数における技術者の検出率と的中率

(2)	技術者による検出数	338
(3)	空洞箇所のうち、技術者による検出数	234
(1)	全空洞箇所数	358
検出率(3)/(1)		0.654
的中率(3)/(2)		0.692

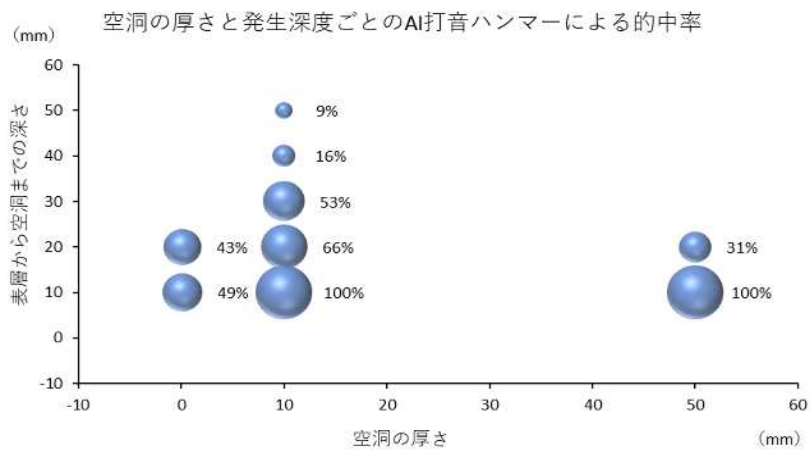
■全空洞箇所数におけるAI打音ハンマーの検出率と的中率

(4)	AI打音ハンマーによる検出数	225
(5)	空洞箇所のうち、AI打音ハンマーによる検出数	188
(1)	全空洞箇所数	358
検出率(5)/(1)		0.525
的中率(5)/(4)		0.836

■空洞の厚さと発生深度ごとに、技術者とAI打音ハンマーにて的中率を算出



■ 空洞の深さと厚さごとの検出率と的中率



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

開発者名 株式会社計測技術サービス

試験日 令和 6年 1 月 16 日

天気 晴れ

気温

°C

風速

m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術

カタログ

検出項目

うき・はく離、覆工の厚さ、背面空洞

試験区分

標準試験

試験で確認する
カタログ項目 検出精度(うき・覆工の巻き厚不足)

対象構造物の概要



試験方法(手順)

技術番号 TN020022-V0024

- ① 高所作業車にて計測箇所へ移動
- ② 探査者がADSPIRE01を変状部に当てて走査
- ③ 得られたデータを保存しコントローラー端末もしくはPCにて解析
- ④ 解析結果を画像化

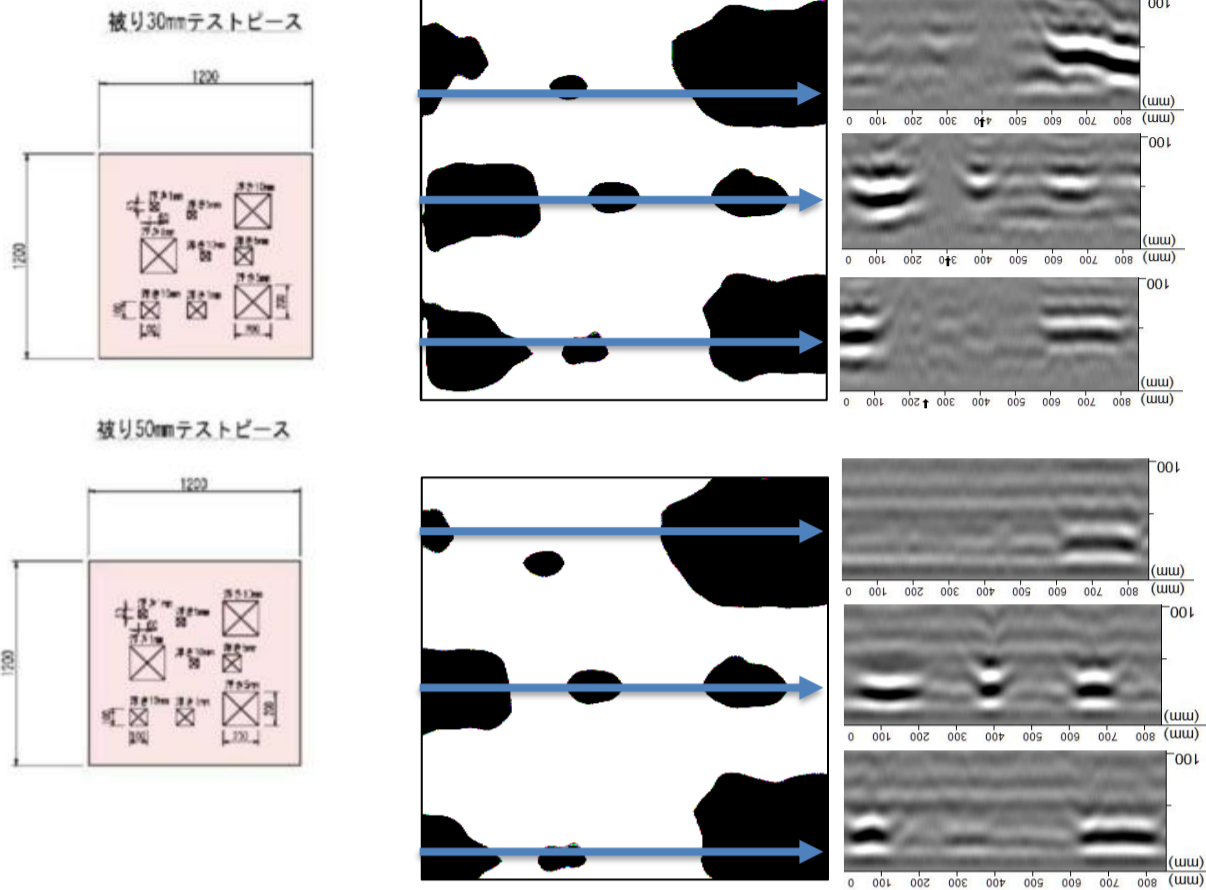
開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

特になし

■ 覆工の浮きの解析結果



■ 検出結果

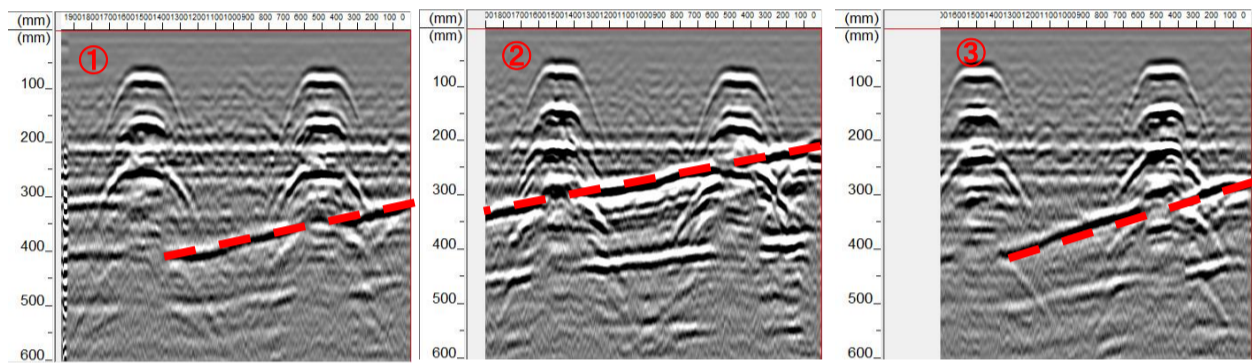
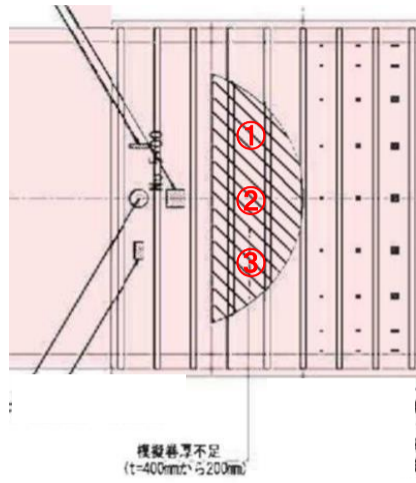
・被り30mmテストピース

No	大きさ(mm)	厚さ(mm)	検出
①	50×50	1	○
②	200×200	1	○
③	100×100	10	○
④	50×50	5	○
⑤	50×50	10	○
⑥	100×100	1	○
⑦	200×200	10	○
⑧	100×100	5	○
⑨	200×200	5	○

・被り50mmテストピース

No	大きさ	厚さ	検出
①	50×50	1	○
②	200×200	1	○
③	100×100	10	○
④	50×50	5	○
⑤	50×50	10	○
⑥	100×100	1	○
⑦	200×200	10	○
⑧	100×100	5	○
⑨	200×200	5	○

■ 覆工の浮きの解析結果



----- 覆工背面の巻き厚

・解析の結果、巻き厚不足の箇所(200mm~400mm)の箇所を検出できた。

技術番号 TN020023-V0024

技術名 AI技術を用いた打音検査器(PDC-200A) 開発者名 株式会社九検
株式会社ポート電子

試験日 令和6年 1 月 24 日 天候 晴れ 気温 7 °C 風速 4 m/s

試験場所 施工技術総合研究所(静岡県富士市)

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離 試験区分 標準試験

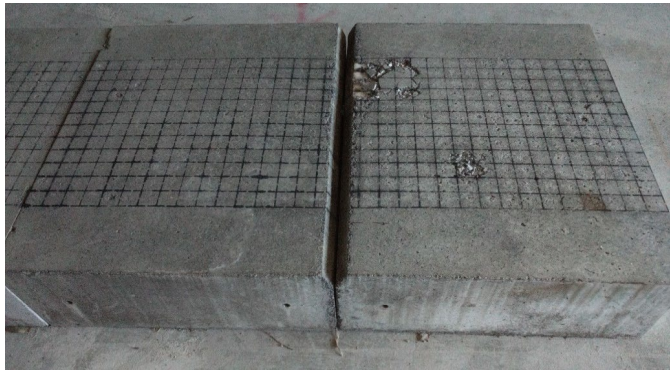
試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

覆工コンクリートの空洞を模した打音検査用供試体16個のうち6個について試験を行った。
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している。
供試体はトンネルの目地を模擬した箇所を有し、50mm×50mmのメッシュが設けられている。



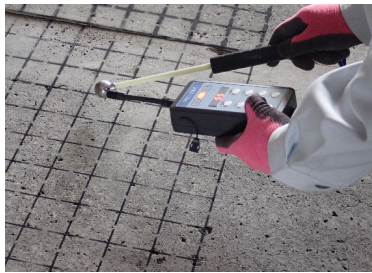
打音検査器一式



供試体状況

- ① 供試体の健全部から教師データを取得する
- ② メッシュの中央部分を打撃し、検査器本体のスコア値表示とパイロットランプよりうき・はく離の有無を判定する。
- ③ 各打撃ポイントのデータを保存する。
- ④ 検査終了後打撃データの解析を行う。

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

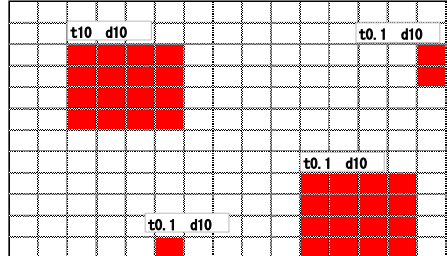
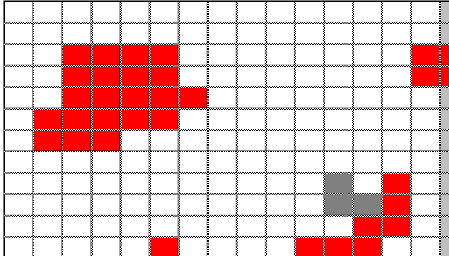


正解データと当該技術で検出したうき・はく離の箇所を赤色で表示した結果を下图に示す。
 なお、一部欠損の為打撃不能な箇所があったため、その箇所を灰色表示としている。

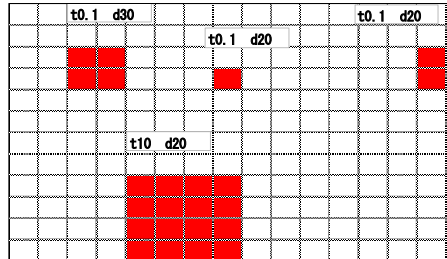
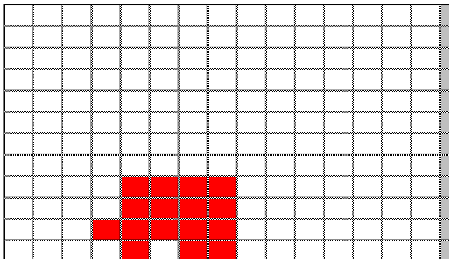
当該技術の測定結果

正解デー

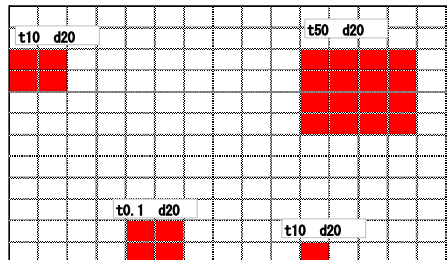
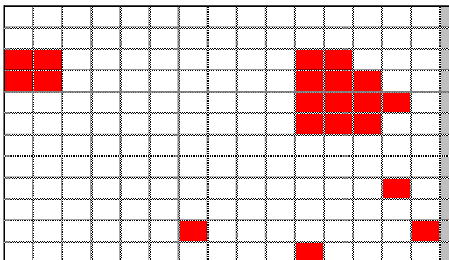
試験体No.3



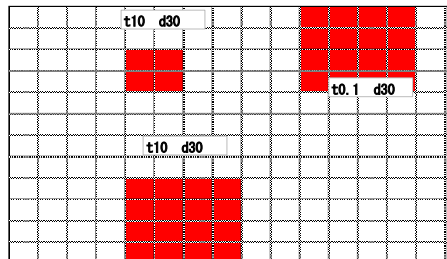
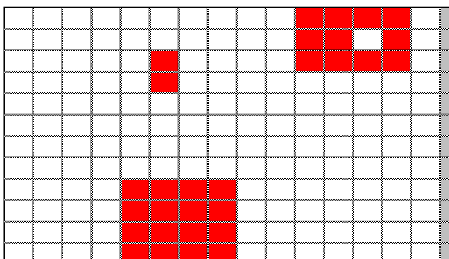
試験体No.4



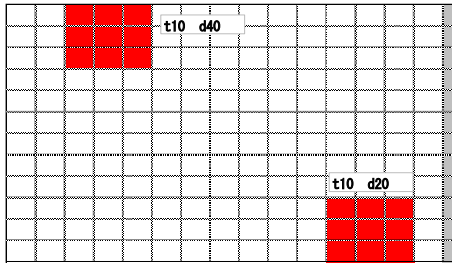
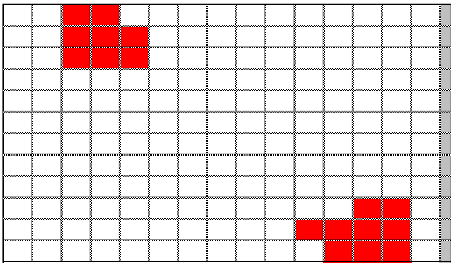
試験体No.6



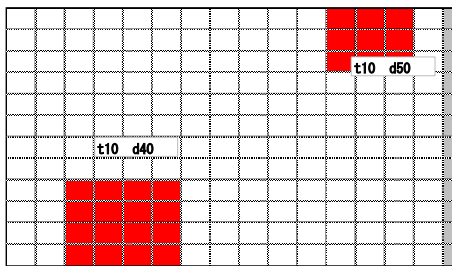
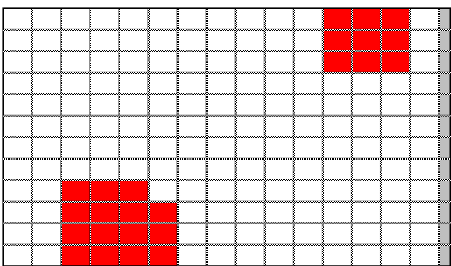
試験体No.7



試験体



試験体



スコア値表示例

試験体No7 (グレー部分が目地を、太枠で囲まれた箇所が損傷部分、赤色が検出した損傷箇所を示す)

1.306	1.414	1.039	1.347	1.201	0.766	0.999	0.803	1.342	1.375	1.915	6.818	5.977	3.213	0.891
1.374	1.139	1.239	1.114	0.721	0.990	1.225	1.055	0.905	0.628	3.660	5.847	1.450	9.198	0.932
1.097	0.902	1.012	0.972	0.946	6.044	0.872	0.960	1.463	1.353	4.433	6.576	3.654	2.275	1.235
0.811	1.033	1.122	0.718	0.727	1.751	0.700	0.771	0.640	0.729	1.153	1.018	0.826	0.931	1.207
1.209	0.989	0.943	0.969	0.802	0.855	1.180	0.703	0.921	0.821	0.824	1.335	1.110	0.933	0.998
0.916	0.934	1.461	1.086	0.756	0.874	0.868	0.844	0.711	0.753	0.979	0.706	0.796	0.796	0.886
0.980	1.151	0.818	1.124	0.906	1.229	1.230	1.461	1.259	0.910	1.395	0.832	0.718	1.135	0.825
0.811	1.037	0.788	1.155	0.983	0.795	0.753	1.157	1.480	0.837	0.762	1.184	1.383	1.110	0.999
0.985	1.069	0.959	0.888	3.236	8.548	9.713	4.799	0.763	1.388	1.139	0.779	0.923	0.730	1.172
1.067	1.090	0.797	0.898	7.456	2.306	8.696	8.050	0.753	0.743	0.880	0.996	1.232	0.817	0.625
0.815	1.490	1.007	1.169	6.043	4.160	1.578	3.381	0.998	0.834	0.728	0.929	0.757	0.649	0.938
0.886	0.916	1.173	1.177	2.070	4.540	2.843	2.690	1.155	0.890	0.704	0.864	0.750	0.893	1.217

試験体別検出率と的中率

試験体No	No3	No4	No6	No7	No10	No11	計
検出率	71.9%	68.2%	68.0%	80.6%	88.9%	85.7%	77.0%
的中率	79.3%	93.8%	85.0%	100.0%	94.1%	100.0%	91.9%

技術番号 TN020024-V0024

技術名 こんこん～連続打音検査装置～ 開発者名 首都高技術株式会社

試験日 令和6年 1 月 18 日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 施工技術総合研究所 模擬トンネル

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 4. 計測性能のうち、計測精度(内部空洞)

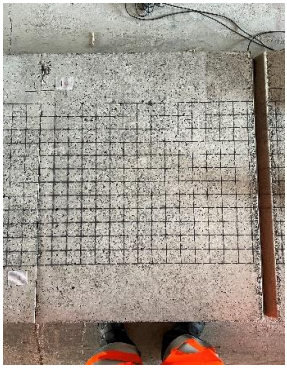
対象構造物の概要

- コンクリート表面下にうきを模した打音検査用試験体
- 試験体には、模擬した目地を有する
- 試験体に50mm×50mmのメッシュを有する
- 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

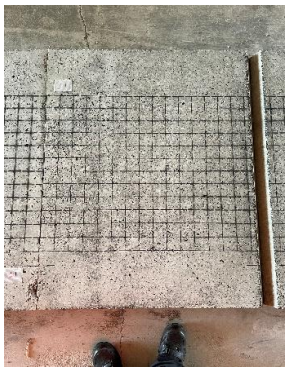
試験実施場所



試験実施 試験体



No.10

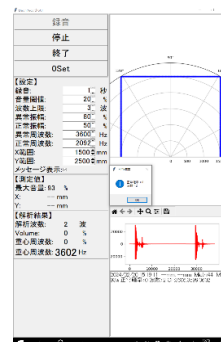


No.11

- ① 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打撃を行う。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 結果を記録シートに記入する。

開発者による計測機器の設置状況

こんこん I 型



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

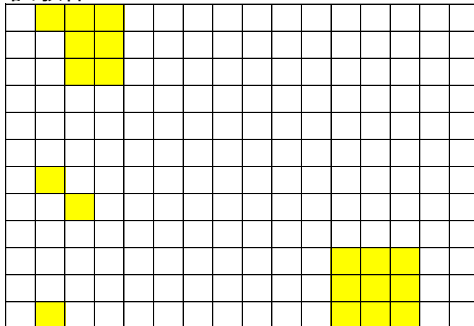
未実施(試験開始から終了まで、試験実施中立会い)

計測精度(こんこん I 型) 試験体No.10、No.11で実施

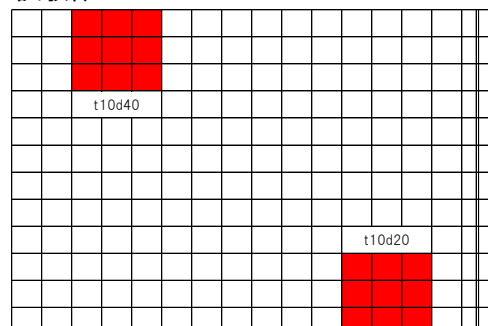
当該技術による計測結果

正解位置

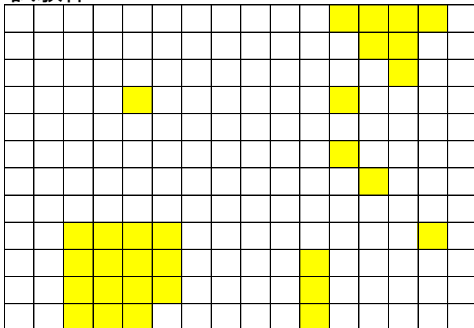
試験体No.10



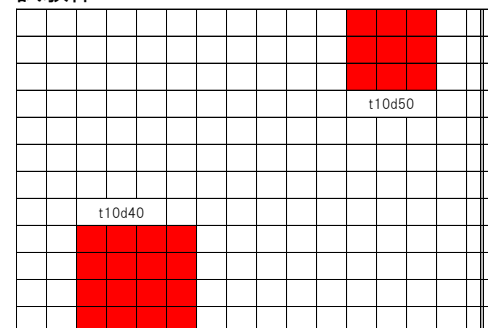
試験体No.10



試験体No.11



試験体No.11



(1) 当該技術により検出した空洞箇所数 (S1+S2)	60
(2) 当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数 (S2)	42
(3) 供試体内の空洞箇所数 (S+S2)	50

検出率:(2)/(3)	0.84
的中率:(2)/(1)	0.70

技術番号 TN020024-V0024

技術名 こんこん～連続打音検査装置～ 開発者名 首都高技術株式会社

試験日 令和6年 1 月 18 日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 施工技術総合研究所 模擬トンネル

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 4. 計測性能のうち、計測
精度(内部空洞)

対象構造物の概要

- コンクリート表面下にうきを模した打音検査用試験体
- 試験体には、模擬した目地を有する
- 試験体に50mm×50mmのメッシュを有する
- 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

試験実施場所



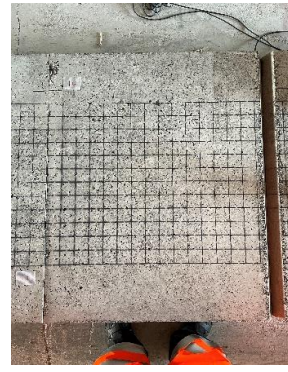
試験実施 試験体



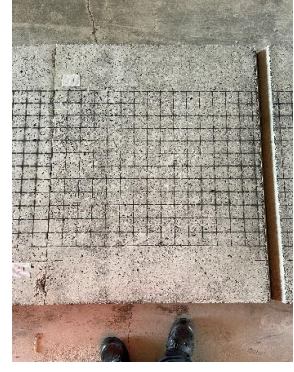
No.1



No.2



No.10



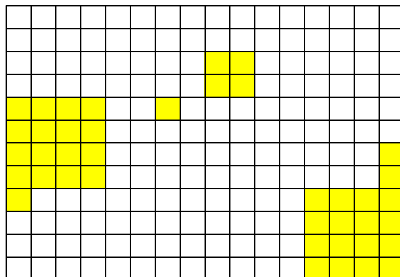
No.11

計測精度(こんこんⅡ型)試験体No.1、No.2、No.10、No.11で実施

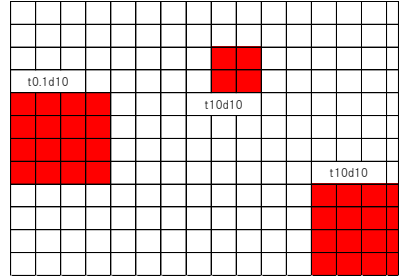
当該技術による計測結果

正解位置

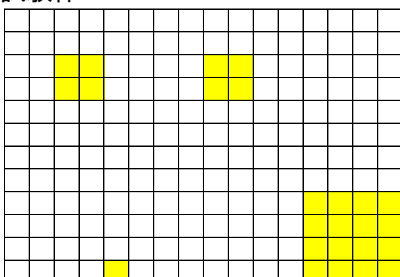
試験体No.1



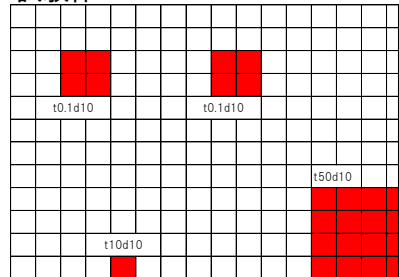
試験体No.1



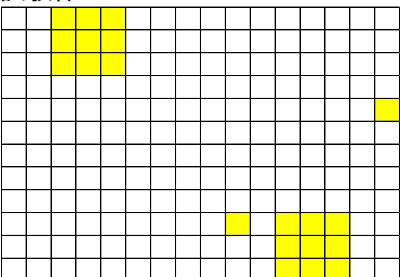
試験体No.2



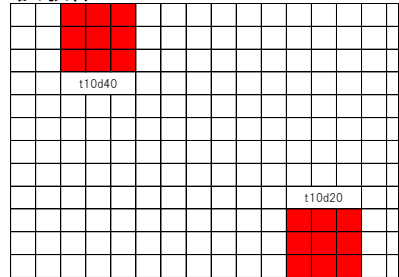
試験体No.2



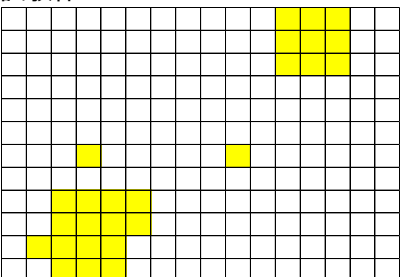
試験体No.10



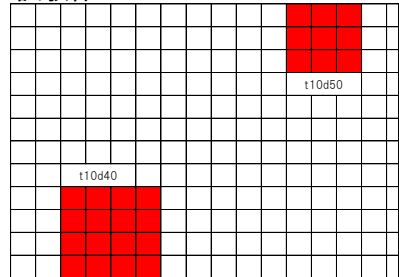
試験体No.10



試験体No.11



試験体No.11



(1) 当該技術により検出した空洞箇所数 (S1+S2)	52
(2) 当該技術で検出した空洞箇所数のうち供試体内の空洞箇所数 (S2)	46
(3) 供試体内の空洞箇所数 (S+S2)	50

検出率:(2)/(3)	0.92
的中率:(2)/(1)	0.88

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） 開発者名 サンコーテクノ株式会社

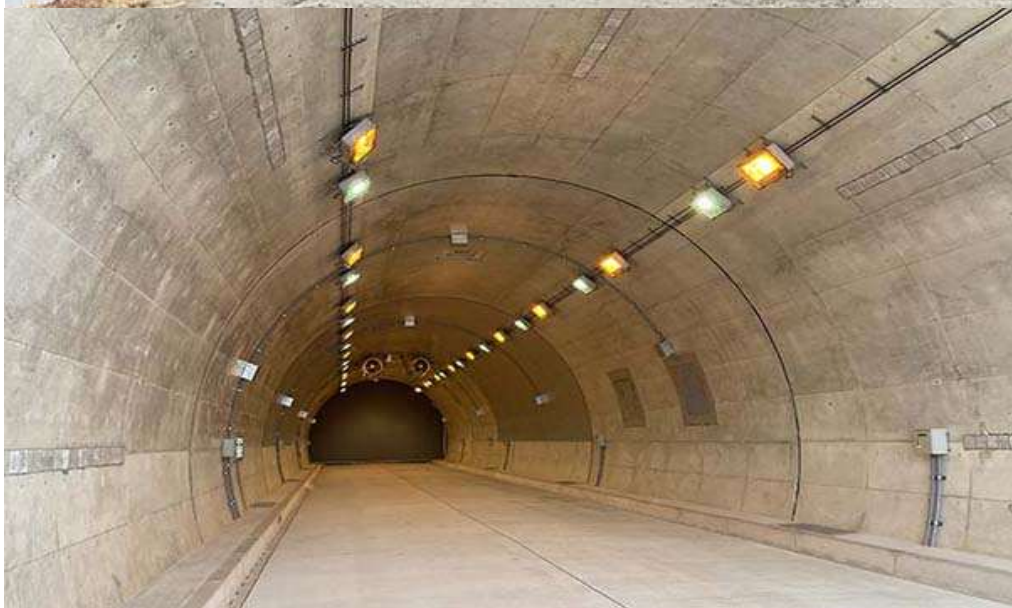
試験日 令和5年 2 月 21 日 天気 雨 気温 3 °C 風速 2 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド インフラ点検・災害対応エリア 模擬トンネル

カタログ分類 非破壊検査技術 トンネル 検出項目 アンカーボルトの引張荷重と変位 試験区分 現場試験

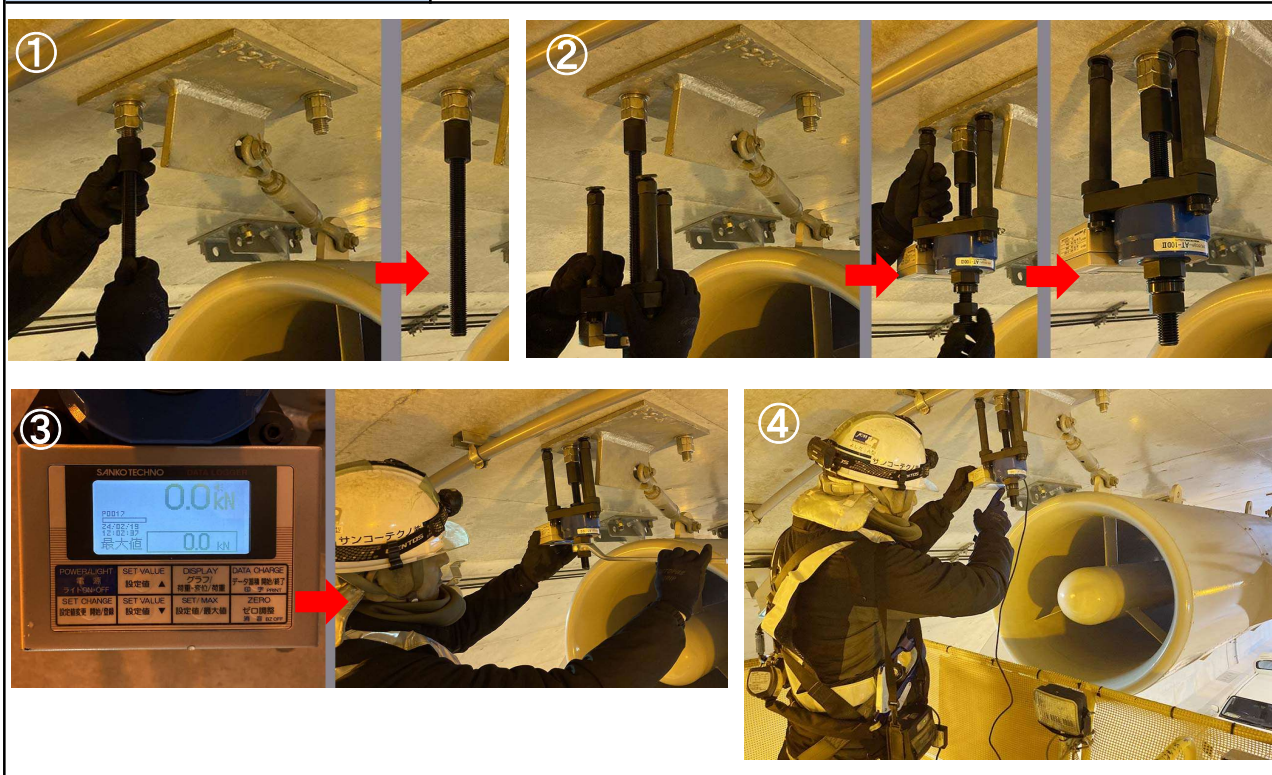
試験で確認する
カタログ項目 実構造物への設置状況確認

対象構造物の概要



- ① 事前調査で、試験機の設置が可能なアンカーボルトヘカップリング、センターシャフトの設置
- ② 本体をセンターシャフトに通し、調整ナットを掛け本体を設置
- ③ 測定部をゼロ調整をしてから試験開始。負荷ナットにメガネレンチかけて回し、確認荷重まで載荷
- ④ 測定結果の確認。必要に応じて測定画面の撮影もしくは専用プリンターでその場で結果の数値を印刷

開発者による計測機器の設置状況

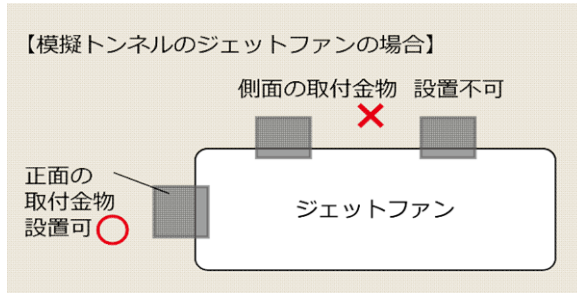


比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

-

ジェットファンを固定しているアンカーボルトの部位によっては、試験機の設置ができない箇所もあった。

その為、当技術を用いて点検を検討する際には、事前に取付金具等の形状確認を含めた調査をしておく必要がある。

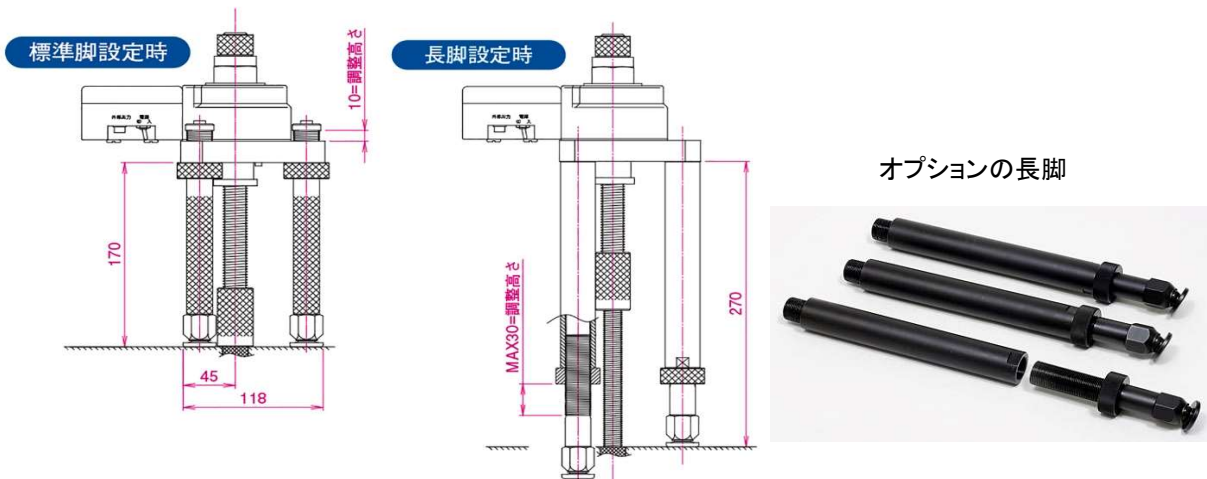


側面の取付金具部への試験機設置状況



3本脚のうち1本が設置面に届かなかった

補足として、下図のように標準脚の場合は調整高さは10mm、オプションの長脚にかえると30mmの高さを調整できる。今回の場合、設置面が30mm以上離れてしまった事、且つ取付金物や付帯物の干渉なども設置が出来なかった要因となった。このように複数の要因により試験機設置不可となる場合もあることが今回の検証の結果で判明した。その為、図面などで事前に試験対象のアンカーボルト周辺の状況を詳細に確認をしておく必要がある。



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 開発者名 KEYTEC株式会社
Geophysical Survey Systems, Inc.

試験日 令和7年 1 月 30 日 天候 晴れ一時雨 気温 °C 風速 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離、巻厚不足または減少 試験区分 標準試験
現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(うき、背面空洞)

対象構造物の概要



- ① 電磁波レーダ(当該技術)で模擬空洞の位置を確認し、模擬空洞上に記録用の測線を設定する。
- ② 設定した測線を電磁波レーダで測定しデータを保存する。
- ③ データ上の表面近くの空洞の波形にマーキングし、図面と比較することで模擬空洞の検出可否を確認する。
- ④ 模擬空洞のない位置を同様に測定し、空洞が検出されないことを確認する。

試験方法(手順) 背面空洞

- ① 天端を進行方向に測定しデータを保存する。
- ② 天端の測定で巻厚の減少が確認された箇所について、横断方向にも測定しデータを保存する。
- ③ 波形から巻厚が減少している箇所を確認し図面と比較する。

開発者による計測機器の設置状況

ストラクチャスキャン FLEX



ストラクチャスキャン SIR-EZ XT/LXT



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

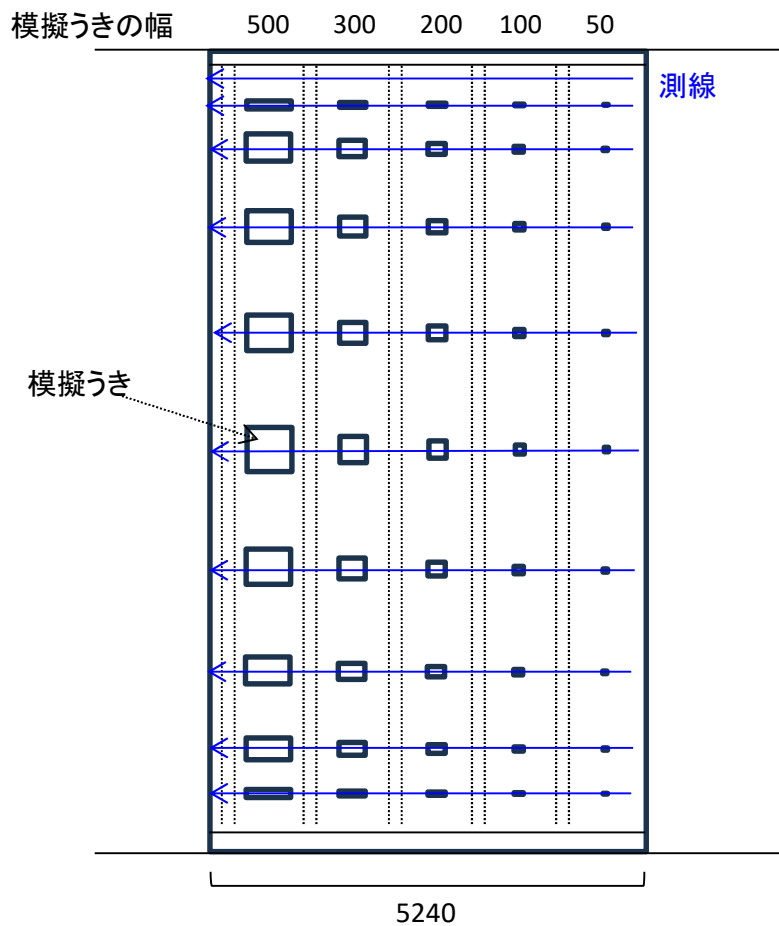
未実施

○計測精度 (劣化、表面近くの空洞)

・当該技術による測定箇所

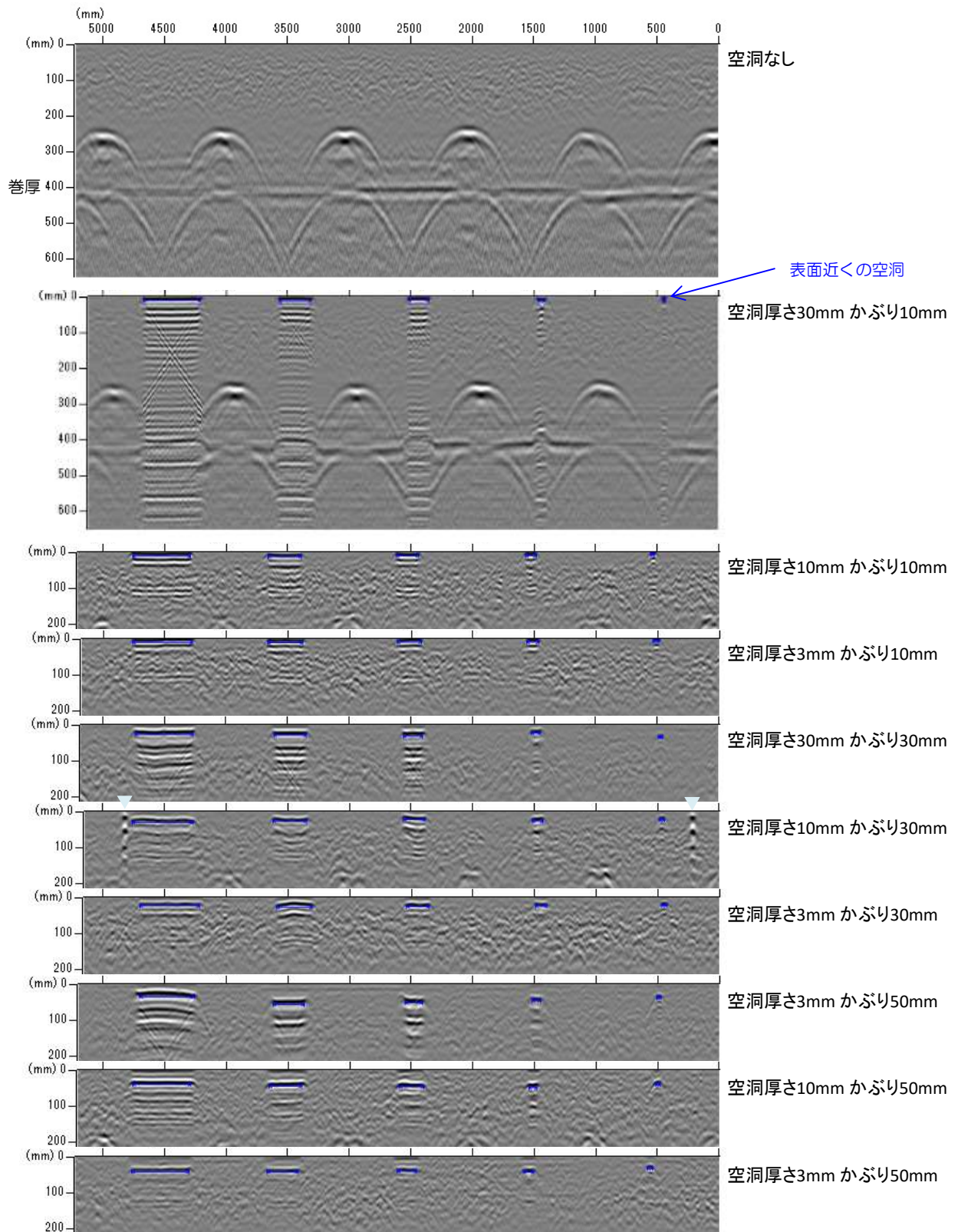
平面図

<タイプ3 無筋コンクリート>



○計測精度 (劣化、表面近くの空洞)

・当該技術による計測結果(ストラクチャスキャン FLEX)



▼ 覆工表面の反射体

検出可否		空洞厚		
幅	かぶり	3mm	10mm	30mm
50mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
100mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
200mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
300mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
500mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可

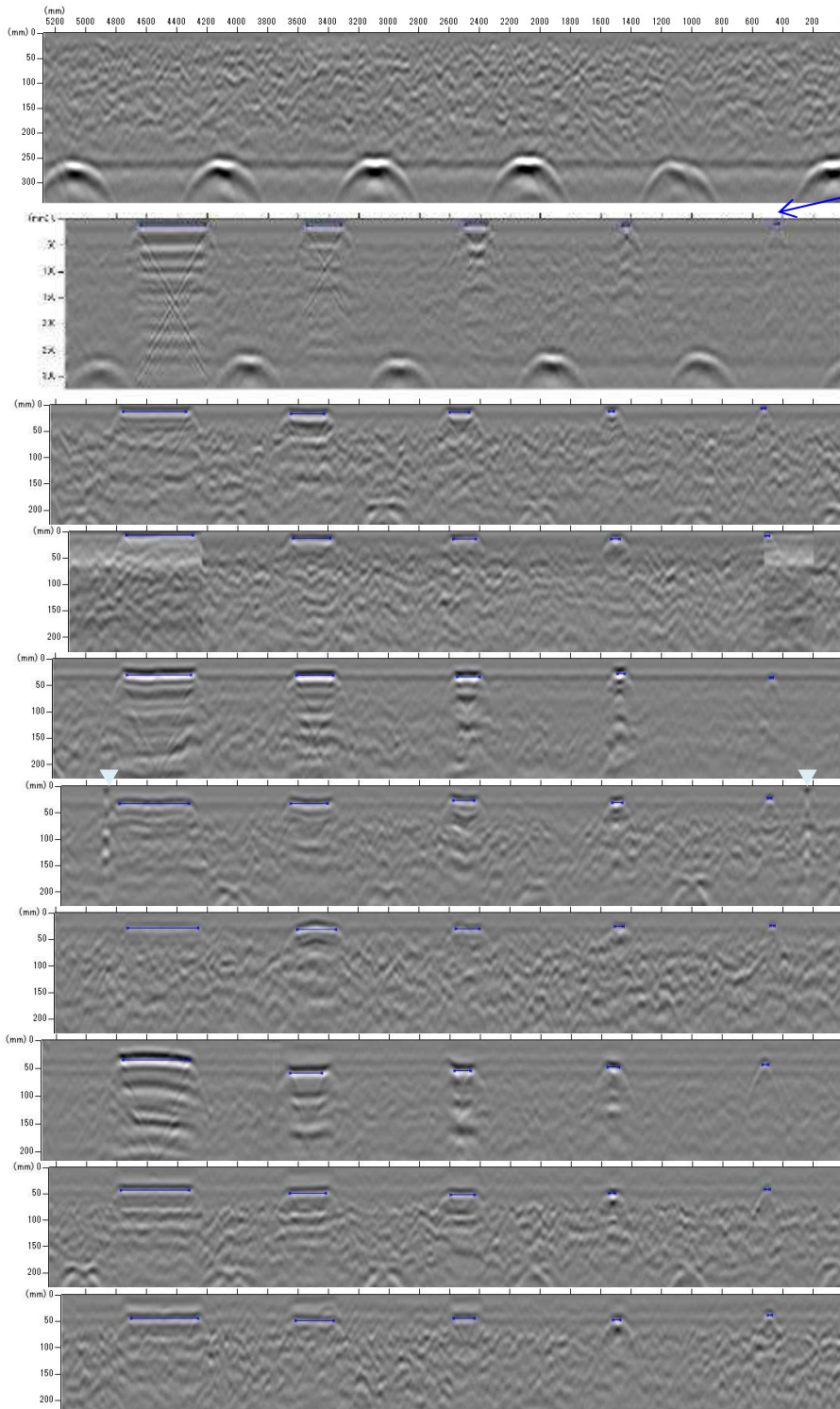
劣化、表面近くの空洞

- ・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

○計測精度 (劣化、表面近くの空洞)

・当該技術による計測結果(ストラクチャスキャン SIR-EZ XT/LXT)



空洞なし

表面近くの空洞

空洞厚さ30mm かぶり10mm

空洞厚さ10mm かぶり10mm

空洞厚さ3mm かぶり10mm

空洞厚さ30mm かぶり30mm

空洞厚さ10mm かぶり30mm

空洞厚さ3mm かぶり30mm

空洞厚さ3mm かぶり50mm

空洞厚さ10mm かぶり50mm

空洞厚さ3mm かぶり50mm

▼ 覆工表面の反射体

検出可否		空洞厚		
幅	かぶり	3mm	10mm	30mm
50mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
100mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
200mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
300mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可
500mm	10mm	可	可	可
	30mm	可	可	可
	50mm	可	可	可

劣化、表面近くの空洞

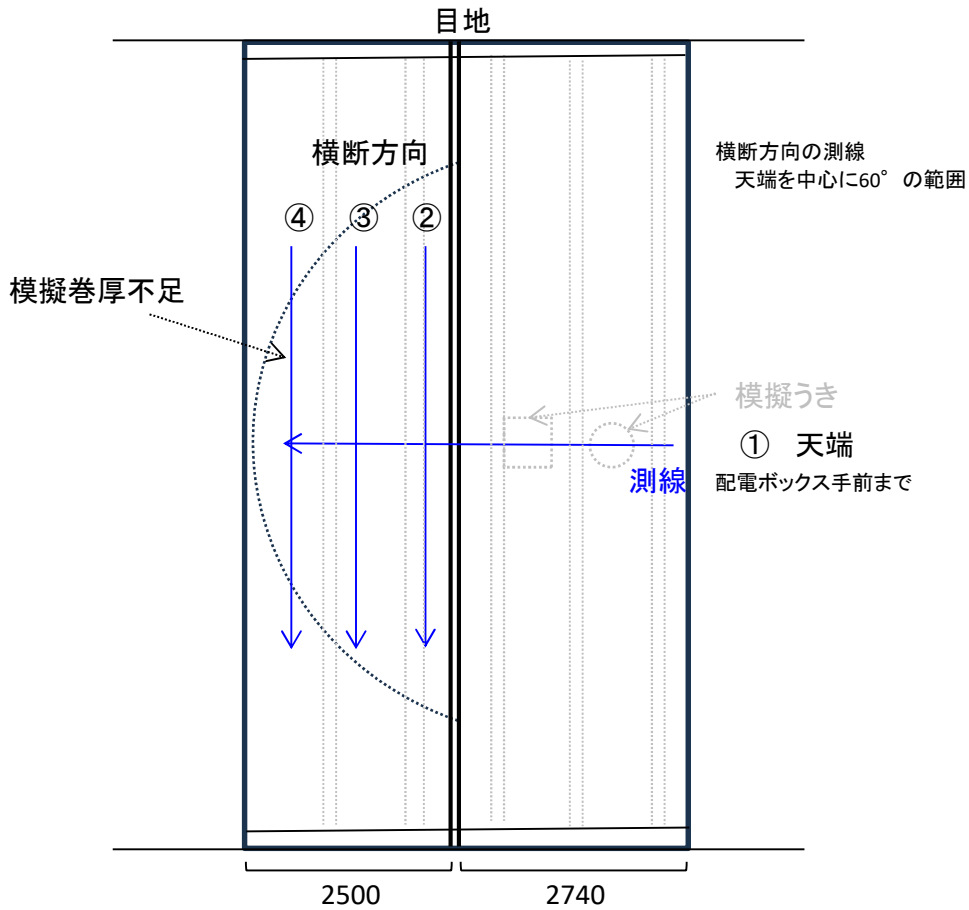
- ・かぶり10mmの場合、空洞厚3mm以上、幅50mm以上検出可
- ・かぶり30mmの場合、空洞厚3mm以上、幅50mm以上検出可
- ・かぶり50mmの場合、空洞厚3mm以上、幅50mm以上検出可

※計測対象に目地部含まず

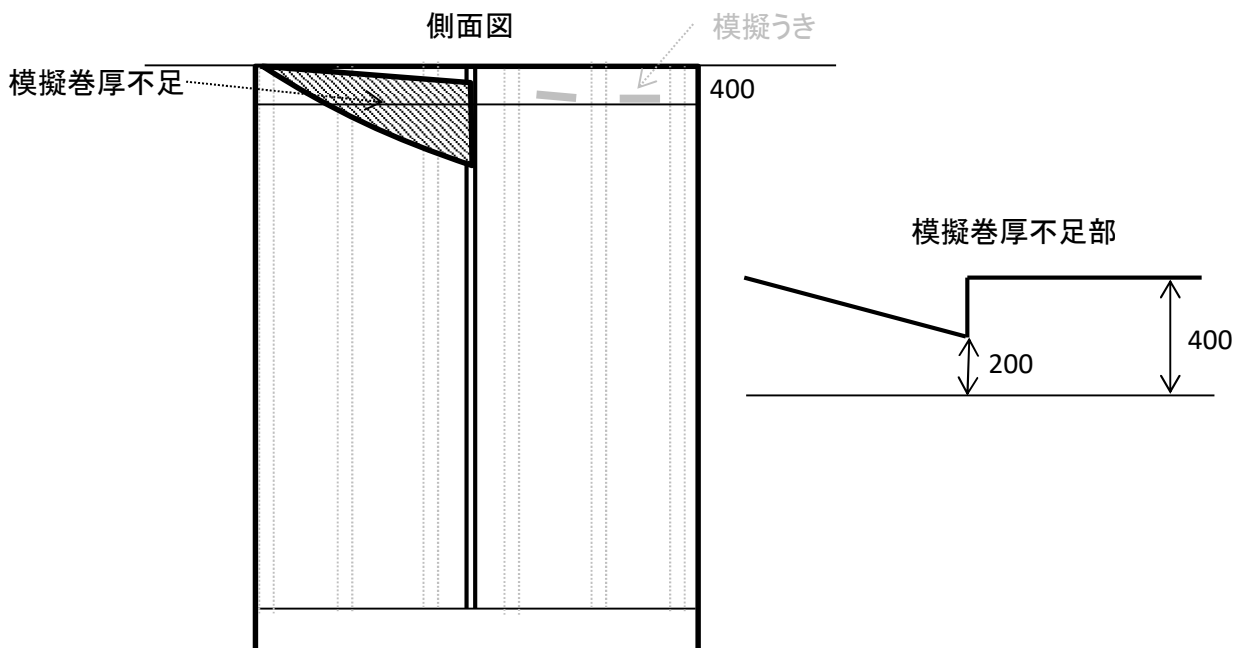
○計測精度(背面空洞)

・当該技術による測定箇所

平面図
 <タイプ3 無筋コンクリート>

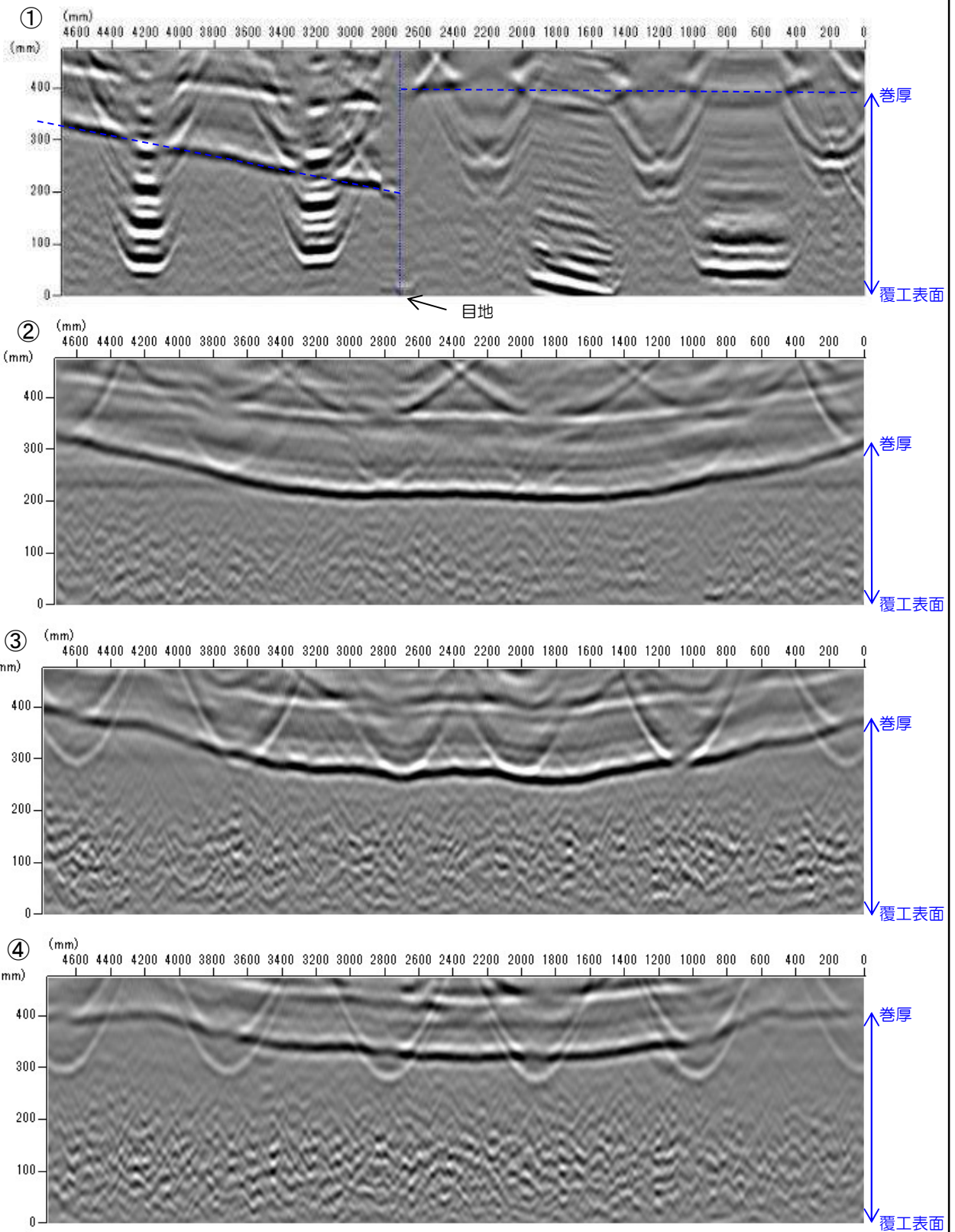


側面図



○計測精度 (背面空洞)

・当該技術による計測結果 (ストラクチャスキャン FLEX)

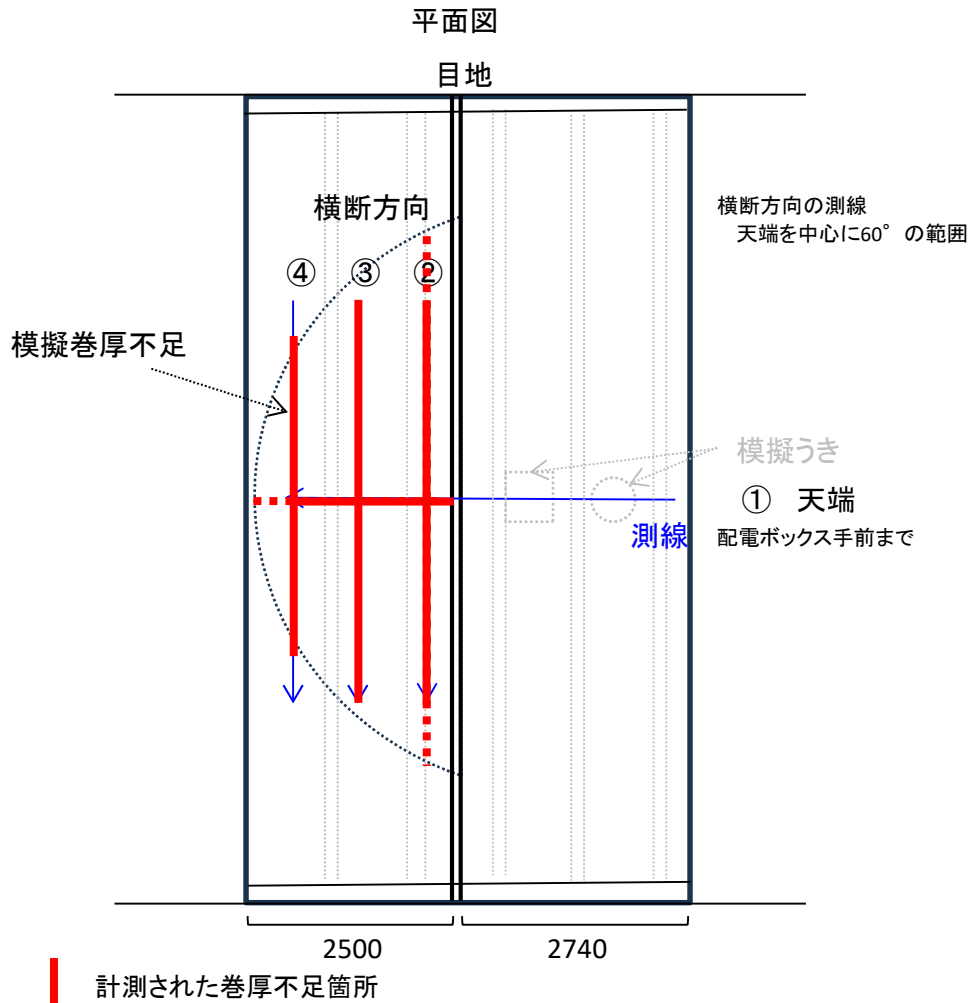


測線①において、巻厚が400mmから200mmに減少する位置を確認した。

測線②において、天端を中心に60度以上の範囲で巻厚の減少を確認した。最薄部巻厚207mm

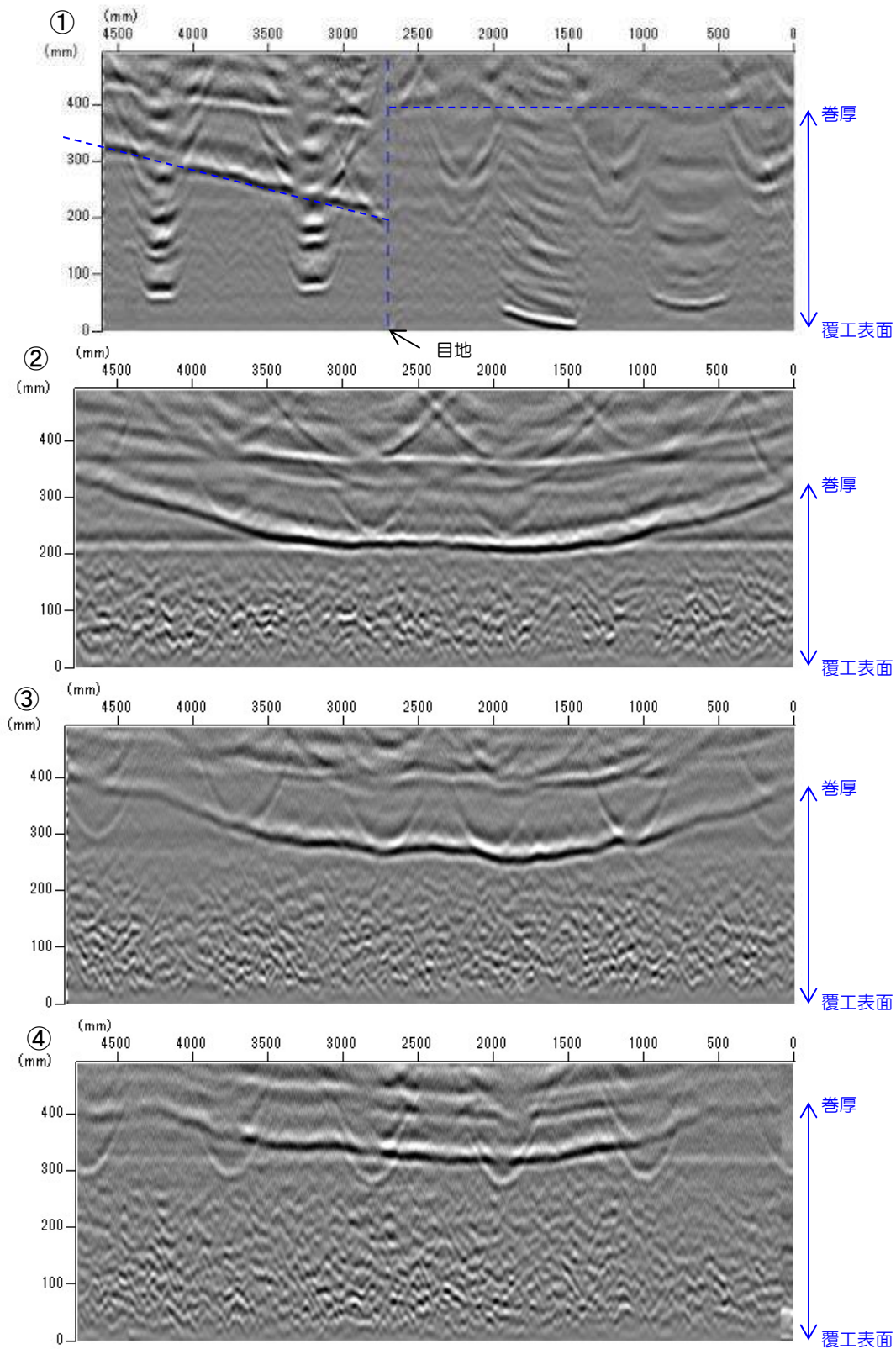
測線③において、天端を中心に60度の範囲で巻厚の減少を確認した。最薄部巻厚258mm

測線④において、天端を中心に47度の範囲で巻厚の減少を確認した。最薄部巻厚319mm



○計測精度 (背面空洞)

・当該技術による計測結果 (ストラクチャスキャンSIR-EZ XT)

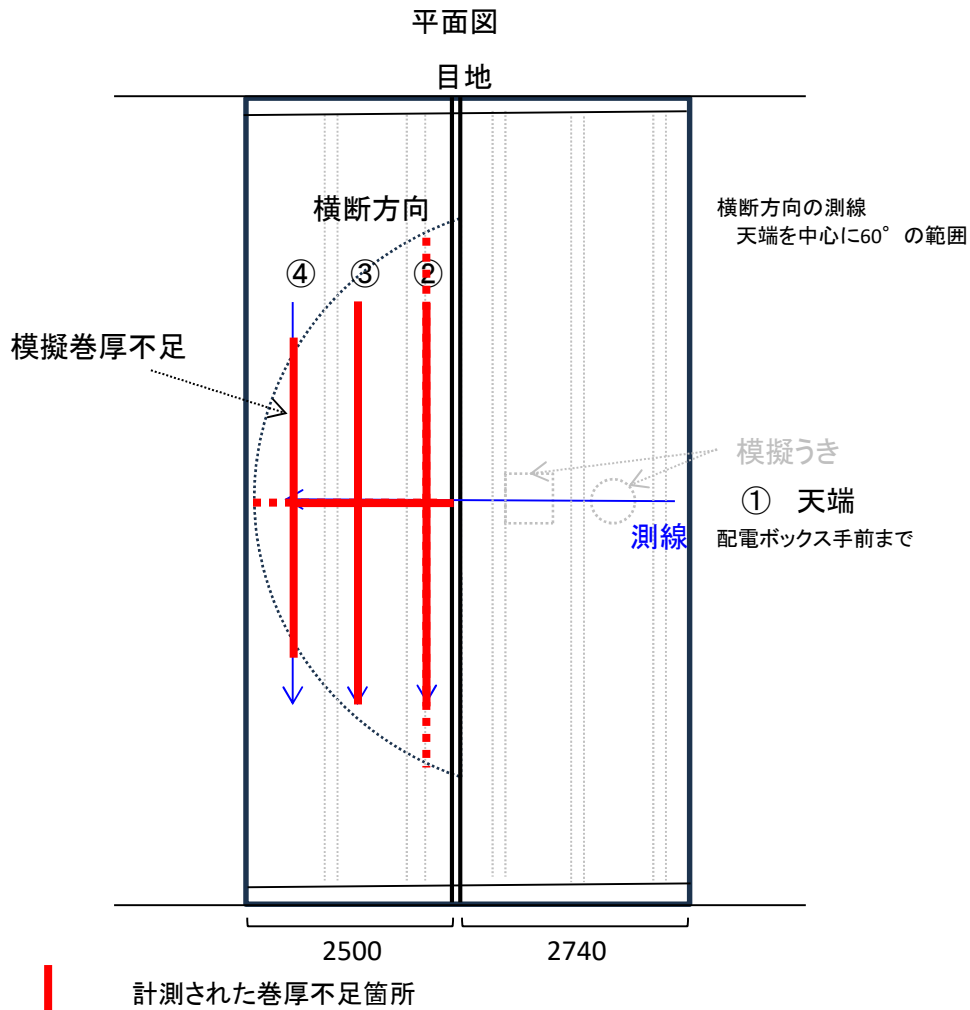


測線①において、巻厚が400mmから200mmに減少する位置を確認した。

測線②において、天端を中心に60度以上の範囲で巻厚の減少を確認した。最薄部巻厚208mm

測線③において、天端を中心に60度の範囲で巻厚の減少を確認した。最薄部巻厚253mm

測線④において、天端を中心に47度の範囲で巻厚の減少を確認した。最薄部巻厚315mm



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 定技術	開発者名	株式会社 テクニカル・シンク 株式会社 フラクタル
試験日	令和7年 2月 3日	天候	晴れ
		気温	5 °C
		風速	- m/s
試験場所	福島ロボットテストフィールド		
カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目
			うき
		試験区分	標準試験 現場試験

試験で確認する
カタログ項目

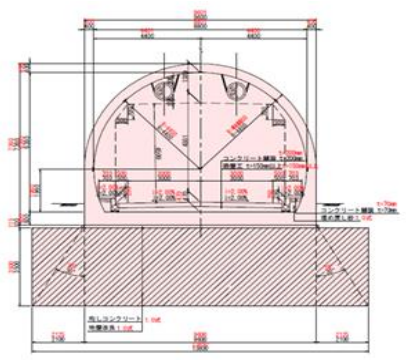
うき、崩落、豆板、補修跡

対象構造物の概要

試験用トンネル内観



断面図



模擬変状(テストピース)

- 模擬うき(レーダー測量用)(有筋スパン)
- 模擬うき(レーダー測量用)(無筋スパン)
- 模擬うき(打音用)
- 模擬うき(空洞)
- 模擬崩落等

- ① 撮影機材の組み立て、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
- ③ 撮影
- ④ 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)

開発者による計測機器の設置状況

台車へのセット



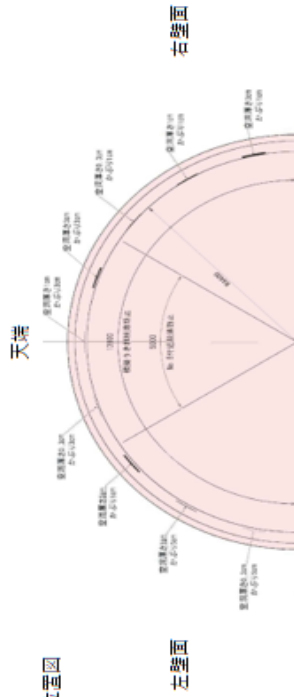
撮影画像の確認



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

模擬うき(レーダー測量身用)(有筋・無筋スパン)①

動画からの抜取画像



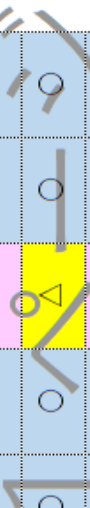
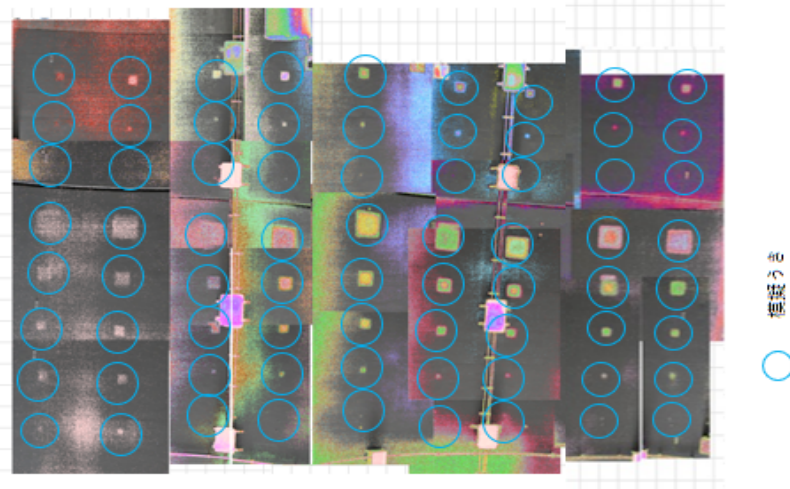
模擬うき(レーダー測量身用) 模擬うき配置図

模擬うき位置図

FLIR冷却型カメラ 動画からの抜取

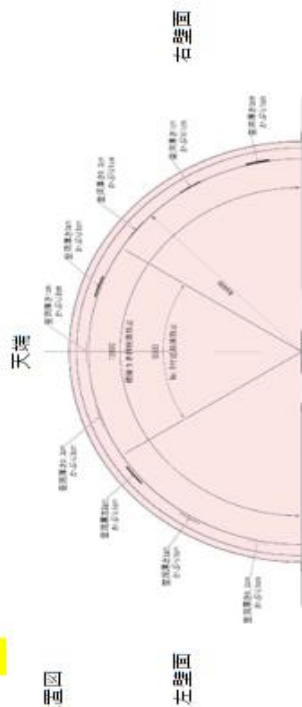
模擬うき種類	有筋				無筋			
	5cm × 5cm	10cm × 10cm	20cm × 20cm	30cm × 30cm	50cm × 50cm	10cm × 10cm	20cm × 20cm	
右 1段目 空胴厚さ3cm	△	△	○	○	○	○	○	
右 2段目 空胴厚さ1cm	×	○	○	○	×	○	○	
右 3段目 空胴厚さ0.3cm	×	○	○	○	△	○	○	
右 4段目 空胴厚さ3cm	×	○	○	○	×	○	○	
天端 空胴厚さ1cm	△	○	○	○	○	○	○	
左 4段目 空胴厚さ0.3cm	△	○	○	○	△	○	○	
左 3段目 空胴厚さ3cm	△	○	○	○	△	○	○	
左 2段目 空胴厚さ1cm	×	○	○	○	×	○	○	
左 1段目 空胴厚さ0.3cm	×	○	○	○	△	○	○	

凡例
 ○ 判別可能
 △ 見落とす可能性あり
 × 判別不可



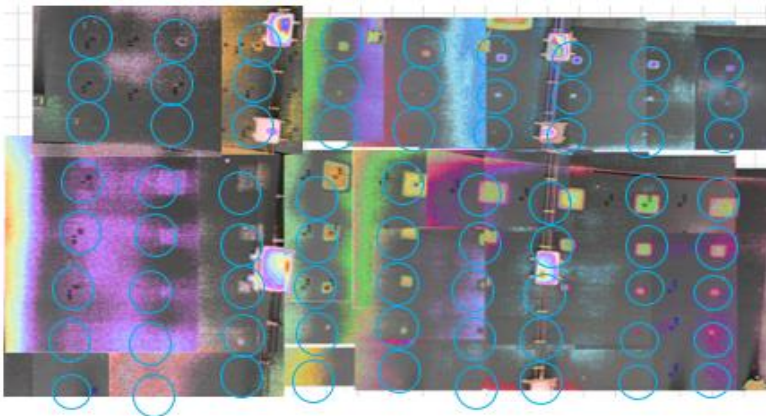
模擬うき(レーダー測量用)(有筋・無筋スパン)②

静止画像



模擬うき(レーダー測量用) 模擬うき 配置図

FLIR熱視型カメラ 静止画



○ 模擬うき

模擬うき種類	有筋				無筋			
	5cm × 5cm	10cm × 10cm	20cm × 20cm	30cm × 30cm	50cm × 50cm	10cm × 10cm	20cm × 20cm	30cm × 30cm
右 1級目 空胴厚さ3cm	×	×	×	×	△	×	×	×
右 2級目 空胴厚さ1cm	×	×	△	△	○	×	△	△
右 3級目 空胴厚さ0.3cm	×	△	○	○	○	×	△	△
右 4級目 空胴厚さ3cm	×	○	○	○	○	×	○	○
天端 空胴厚さ1cm	△	○	○	○	○	△	○	○
左 4級目 空胴厚さ0.3cm	△	○	○	○	○	△	○	○
左 3級目 空胴厚さ3cm	△	○	○	○	○	×	○	○
左 2級目 空胴厚さ1cm	×	○	○	○	○	×	○	○
左 1級目 空胴厚さ0.3cm	△	△	○	○	○	×	△	○

凡例
 ○ 判別可能
 △ 見落とす可能性あり
 × 判別不可

模擬うき(打音用)① 赤外分析結果



模擬うき 配目図

模擬うき(打音用)
最新結果

撮影条件	振り10mm	振り20mm	振り30mm	振り50mm
合球型 カメラ 静止画				
合球型 カメラ 動画採取	無し	無し		
非合球型 カメラ 静止画				

模擬うき(打音用)②

分析結果評価のまとめ

凡例 ○ 判別可能
 △ 見落としの可能性あり
 × 判別不可



模擬うき 配置図

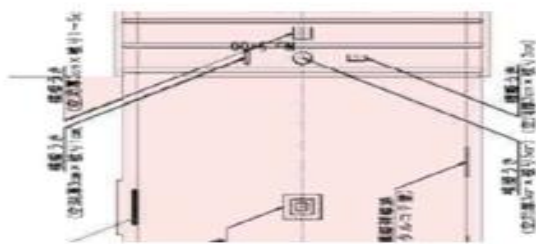
模擬うき(打音用) 評価のレベル

測定条件	測定供試体 設置条件		
	径り10mm	径り20mm	径り30mm
冷却型 カメラ	5cm×5cm 厚さ 1mm	5cm×5cm 厚さ 5mm	5cm×5cm 厚さ 10mm
	20cm×20cm 厚さ 1mm	5cm×5cm 厚さ 10mm	5cm×5cm 厚さ 5mm
	10cm×10cm 厚さ 1mm	10cm×10cm 厚さ 1mm	20cm×20cm 厚さ 5mm
非冷却型 カメラ	5cm×5cm 厚さ 1mm	5cm×5cm 厚さ 5mm	5cm×5cm 厚さ 10mm
	20cm×20cm 厚さ 1mm	5cm×5cm 厚さ 10mm	5cm×5cm 厚さ 5mm
	10cm×10cm 厚さ 1mm	10cm×10cm 厚さ 1mm	20cm×20cm 厚さ 5mm
動画像取	5cm×5cm 厚さ 1mm	5cm×5cm 厚さ 5mm	5cm×5cm 厚さ 10mm
	20cm×20cm 厚さ 1mm	5cm×5cm 厚さ 10mm	5cm×5cm 厚さ 5mm
	10cm×10cm 厚さ 1mm	10cm×10cm 厚さ 1mm	20cm×20cm 厚さ 5mm
写真撮影無し			
写真撮影無し			

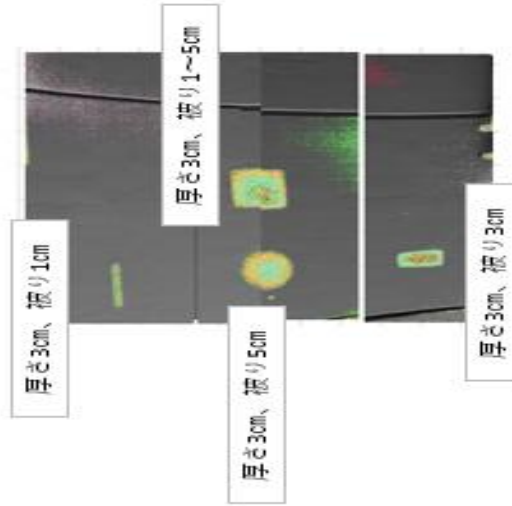
模擬うき(空洞)

図4 (原) 模擬うき

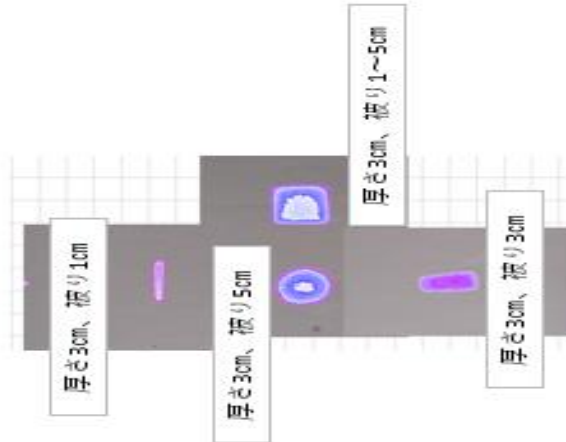
図5 模擬うきの配置図



通常型カメラで撮影



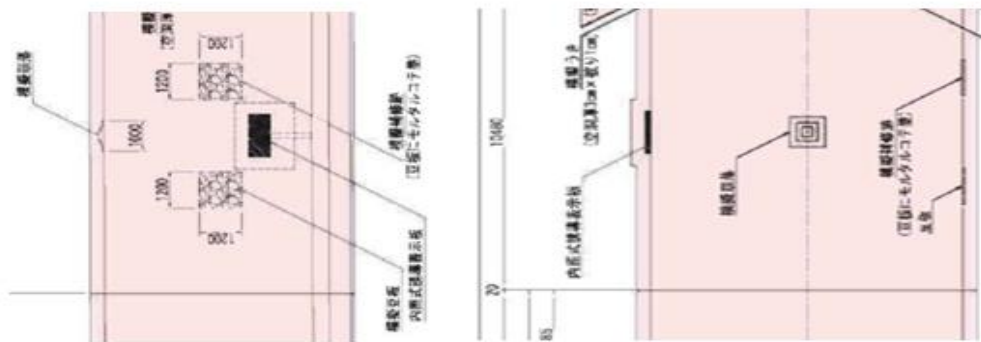
非対称型カメラで撮影


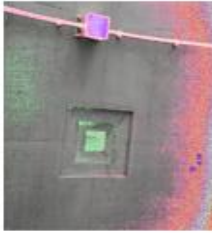

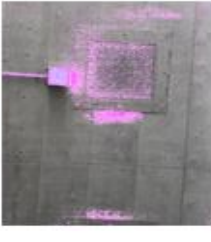



模擬崩落等

図 6 (模擬崩落等)

図 6 図面



	非発熱停止画	発熱停止画	
模擬崩落	<p>コンタマーの乱れや埋込部との温度差が見られることから判定可能</p> 	<p>コンタマーの乱れや埋込部との温度差が見られることから判定可能</p> 	
豆板	<p>音干のコンタマーの乱れや埋込部との温度差は見られるが、損傷の判定は難しい</p> 	<p>音干のコンタマーの乱れや埋込部との温度差は見られるが、損傷の判定は難しい</p> 	
埋込跡	<p>音干のコンタマーの乱れや埋込部との温度差は見られるが、損傷の判定は難しい</p> 	<p>音干のコンタマーの乱れや埋込部との温度差は見られるが、損傷の判定は難しい</p> 