

技術番号	BR020008
------	----------

技術名	コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE DOCTOR」	開発者名	株式会社オンガエンジニアリング
-----	---------------------------------	------	-----------------

試験日	令和1年 10 月 17 日	天候	晴れ	気温	17 °C	風速	0 m/s
-----	----------------	----	----	----	-------	----	-------

試験場所	某橋梁(福岡県)
------	----------

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	計測精度
-------------------	------

対象構造物の概要

※検証試験体

試験方法(手順)

①	30, 50, 80mm深さの変状を模した供試体を準備。(写真-1)
②	各深度ごとに打撃・反射波計測が出来るようにコースを準備。(写真-2)
③	評価用移動装置に設置、各測定点に移動させて測定(写真-3)
④	



写真-1



写真-2

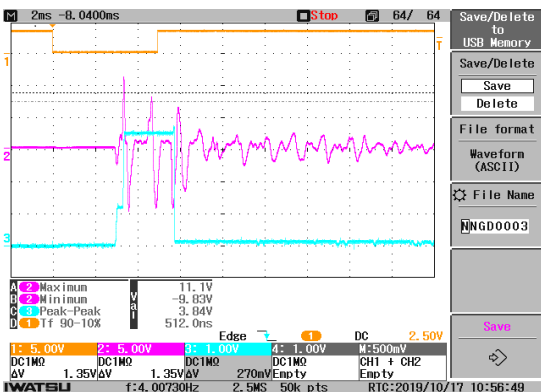


写真-3

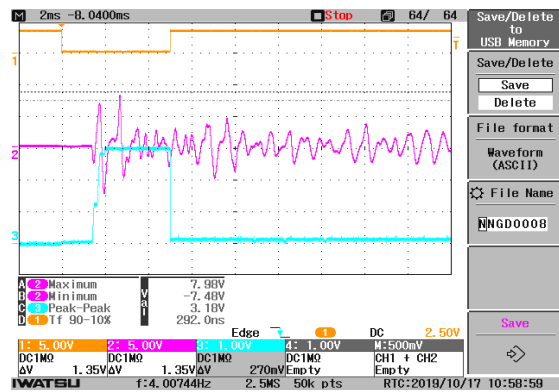
計測結果の比較

30, 50, 80mmの模擬変状部および300mmの一般部で打撃および反射波の受信を行った。この時の波形を観察することにより、各深度での検出性能を確認した。

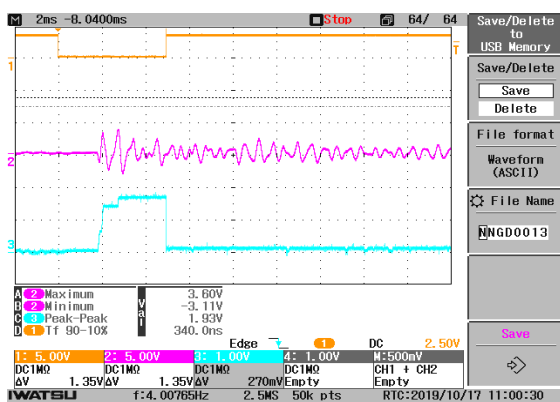
30mm



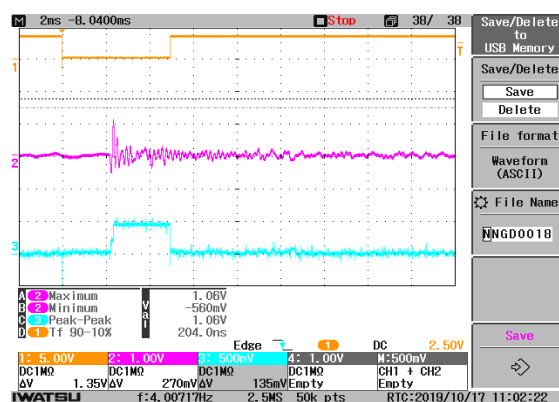
50mm



80mm



300mm



電圧レンジを倍にして表示

各深度において、明確な反射信号強度の違いが確認でき、30, 50, 80mm深さの変状部を検出できることを確認した。



技術番号 BR020008

技術名 コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE DOCTOR」 開発者名 株式会社オンガエンジニアリング

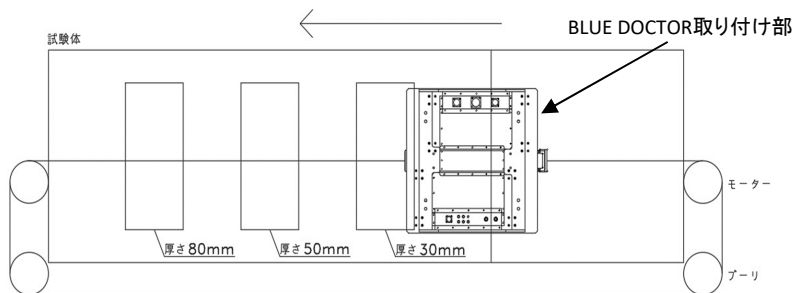
試験日 令和1年 10 月 17 日 天候 晴れ 気温 17 °C 風速 0 m/s

試験場所 福岡県

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 計測精度

対象構造物の概要



- |   |   |
|---|---|
| ① | 30, 50, 80mm深さの変状を模した供試体を準備。(写真-1)        |
| ② | 各深度ごとに打撃・反射波計測ができるようにコースを準備。(写真-2)        |
| ③ | 評価用移動装置に設置、各測定点に移動させて静止状態および移動状態で測定(写真-3) |

## 開発者による計測機器の設置状況



写真-1



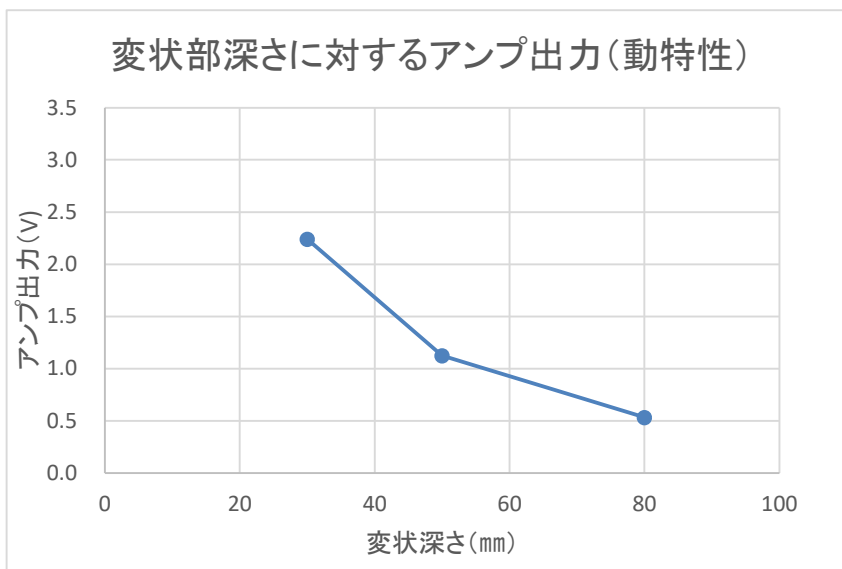
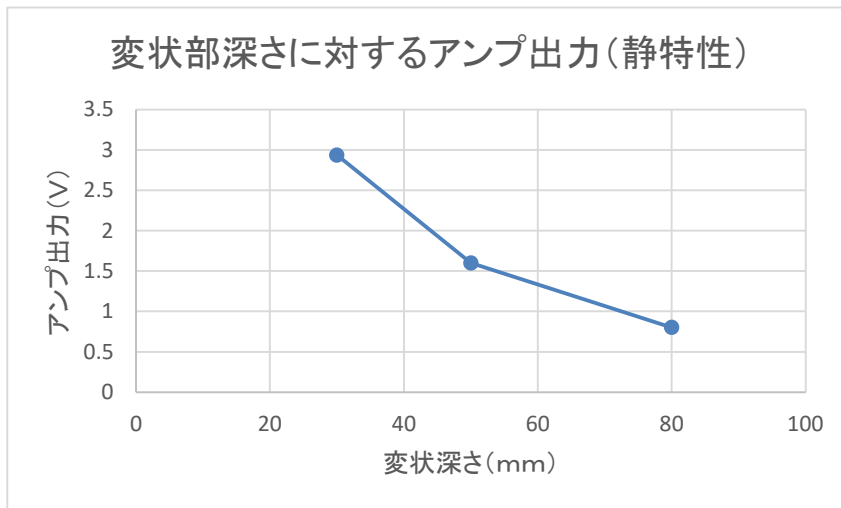
写真-2



写真-3

30, 50, 80mmの模擬変状部で打撃および反射波の受信を行った。計測を静止状態と移動状態の二つの状態で行い、それぞれの状態で各深度での検出性能を確認した。

#### 当該技術の結果



静止状態、移動状態共に、各深度において明確な反射信号強度の違いが確認でき、30, 50, 80mm深さの変状部を検出できることを確認した。

技術番号 BR020008

技術名 コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE DOCTOR」 開発者名 株式会社オンガエンジニアリング

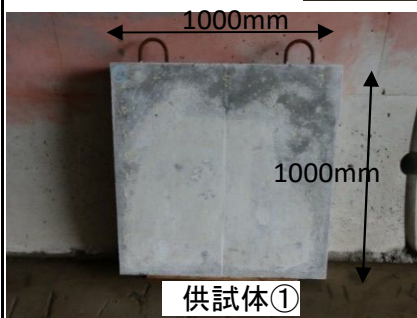
試験日 令和2年 2 月 5 日 天候 晴れ 気温 14 °C 風速 0 m/s

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 カタログ 検出項目 うき 試験区分 標準試験

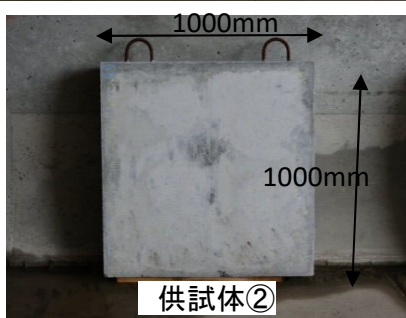
試験で確認する  
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



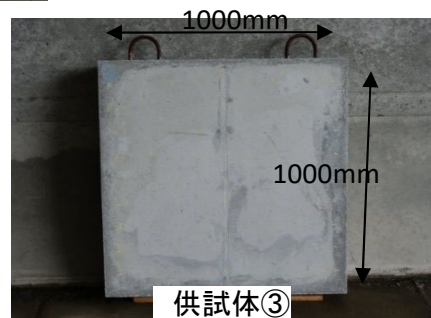
供試体①

最小かぶり30mm



供試体②

最小かぶり50mm



供試体③

最小かぶり70mm

- ① キャリブレーションを行い、計測の準備を行う。(写真-1)
- ② 打音装置をの車輪すべてが対象箇所押しつけ、車輪方向にむけて移動、検査。(写真-2)
- ③ 記録者が所持しているコントローラのLEDの点灯を把握する。(写真-3)
- ⑤ コントローラのLEDが2個以上点灯した箇所にチョーキングを行う。(写真-4)

## 開発者による計測機器の設置状況



写真-1



写真-2

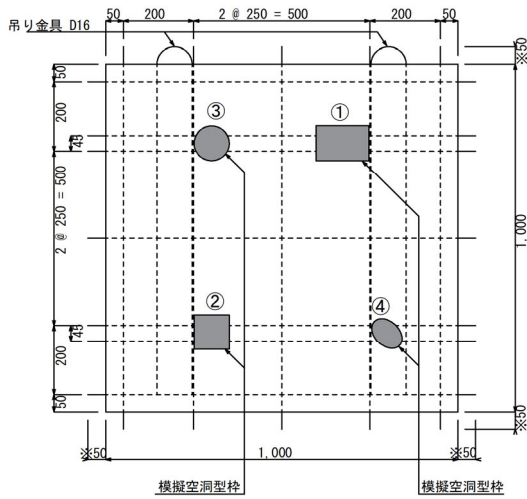


写真-3

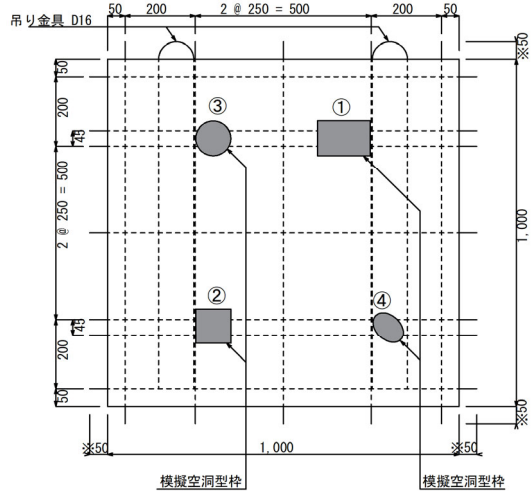


写真-4

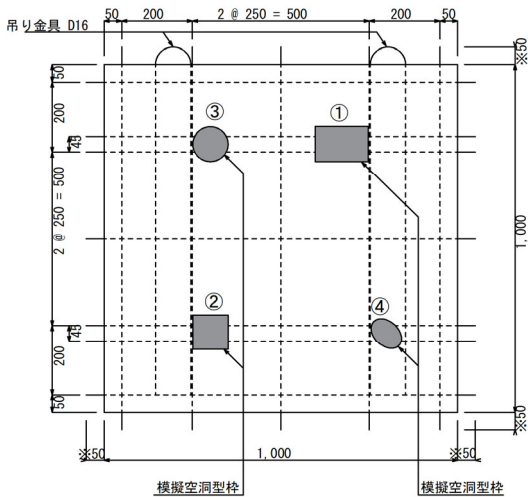
計測精度



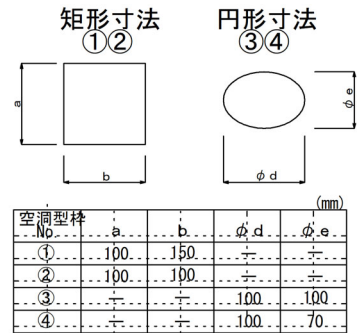
供試体①



供試体②



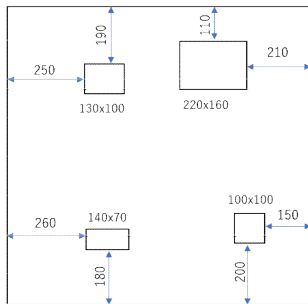
供試体③



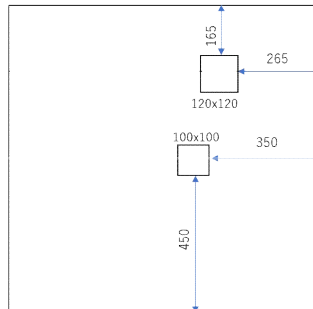
うきの総個所数 12箇所



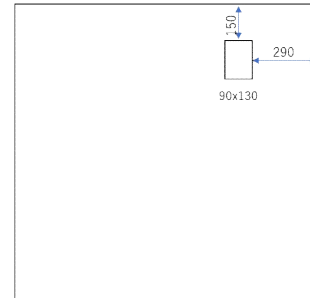
## 当該技術の結果



供試体①

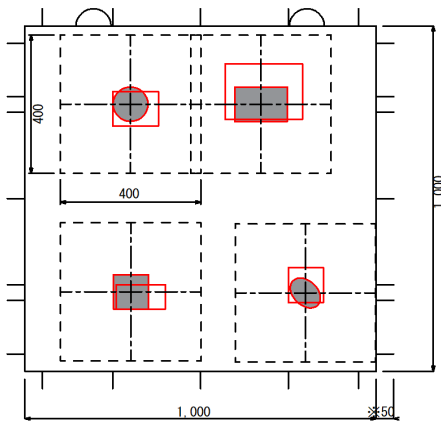


供試体②

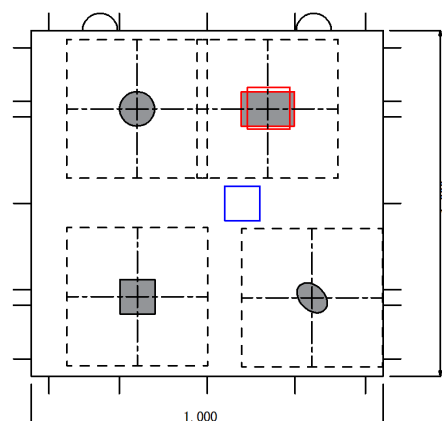


供試体③

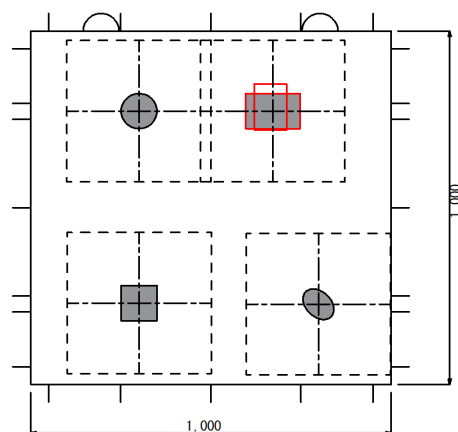
## 計画結果の比較



供試体①




供試体②




供試体③

検出率=6箇所／12箇所=0.50

的中率=6箇所／7箇所=0.86

 供試体のうきと当該技術が検出したうきが同様の箇所

 当該技術のみが検出したうきの箇所



- ① キャリブレーションを行い、計測の準備を行う。
- ② 打音装置をの車輪すべてが対象箇所に押しつけ、車輪方向にむけて移動、検査。(写真-2、3)
- ③ 記録者が所持しているコントローラのLEDの点灯を把握する。
- ⑤ コントローラのLEDが2個以上点灯した箇所にチョーキングを行う。

開発者による計測機器の設置状況



写真-1



写真-2

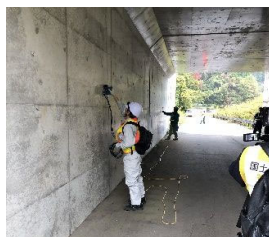


写真-3

計測結果の比較

当該技術の結果

4. 計測性能:計測装置:計測精度

実施県	実施道路	点検日	検出率(%)	ヒット率(%)	検査面積㎡
石川県	一般国道8号 不明	2018/11/6	5/5=100	5/11=45	129.19
石川県	一般国道8号 10号道路BOX 下	2018/11/7	1/1=100	1/2=50	177.66
2現場合計	—	—	6/6=100	6/13=40	306.85

技術番号 BR020008

技術名 コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE DOCTOR」 開発者名 (株)オンガエンジニアリング

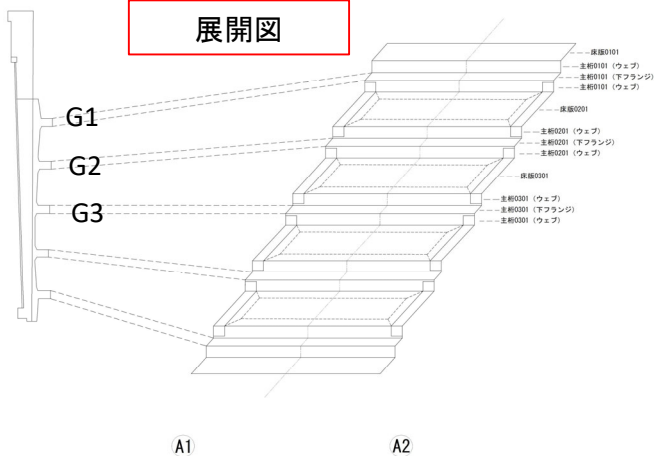
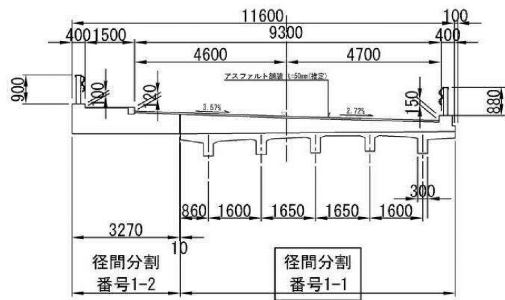
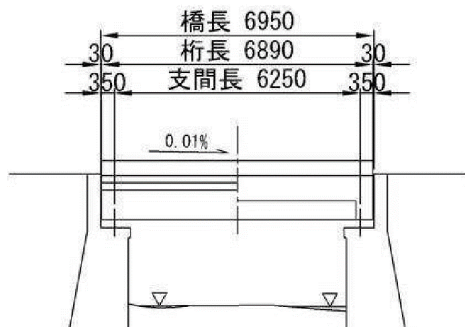
試験日 令和2年 1 月 31 日 天候 晴れ 気温 7.2 °C 風速 1 m/s

試験場所 実橋

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 現場試験

試験で確認する  
カタログ項目 動作確認  
(精度以外)

対象構造物の概要



計測対象部材

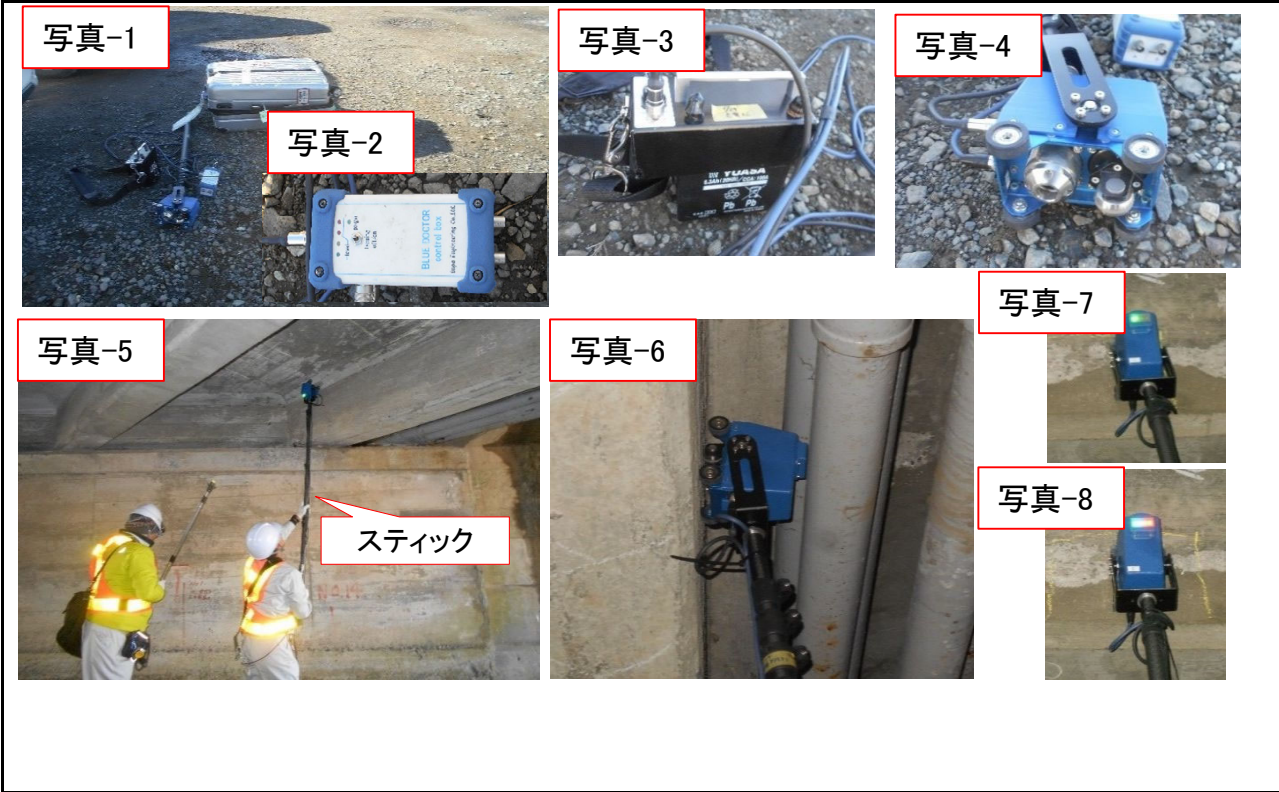
主桁: G1、G2、G3

横桁: 端横桁 (G1-2間、G2-3間)

床版: G1-G2間

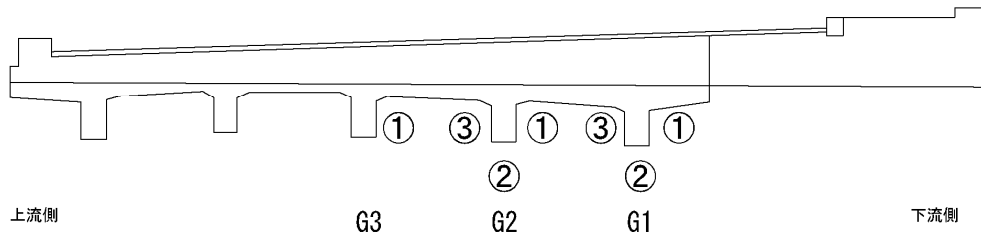
試験方法(手順)	技術番号	BR020008
① 機材搬入(写真-1)(写真-2:コントローラー、写真-3:電源、写真-4:ハンマー・センサー 等)		
② 計測作業(床版部)(写真-5)		
③ 計測作業(主桁ウェブ部 狭隘部)(写真-6)		
④ 計測結果(写真-7:LED点灯1箇 うきなし、写真-8:LED点灯2個以上 うき有り)		
⑤ 計測でうきの箇所をチョーキングし、写真撮影やスケッチし、後日、損傷図を作成する。		

開発者による計測機器の設置状況



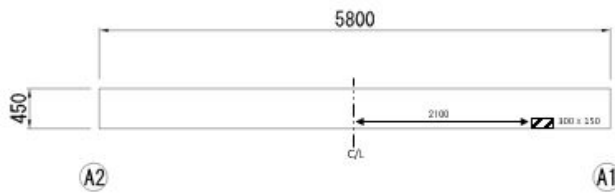
■計測結果

断面図

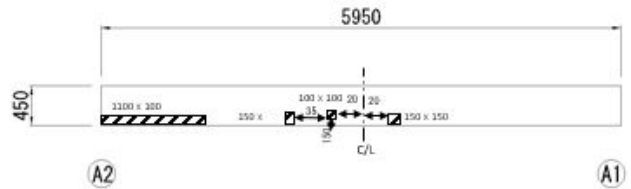


主桁

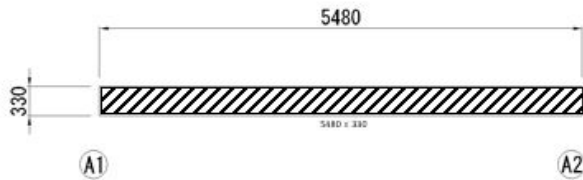
G1-① (ウェブ下流側)



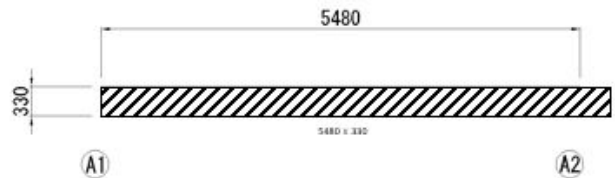
G2-① (ウェブ下流側)



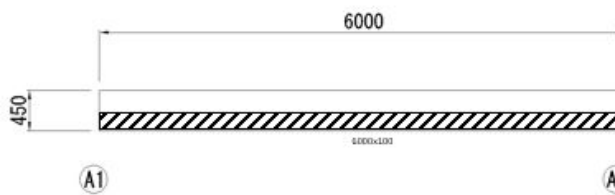
G1-② (主桁下面)



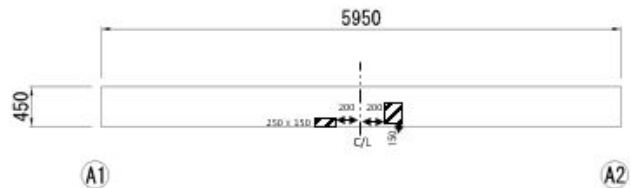
G2-② (主桁下面)



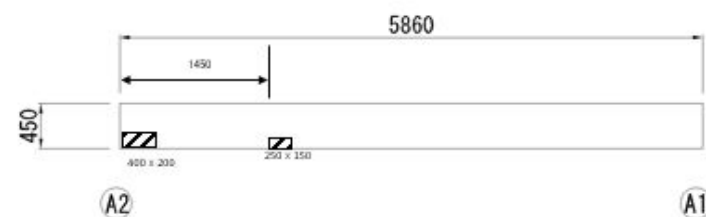
G1-③ (ウェブ上流側)



G2-③ (ウェブ上流側)

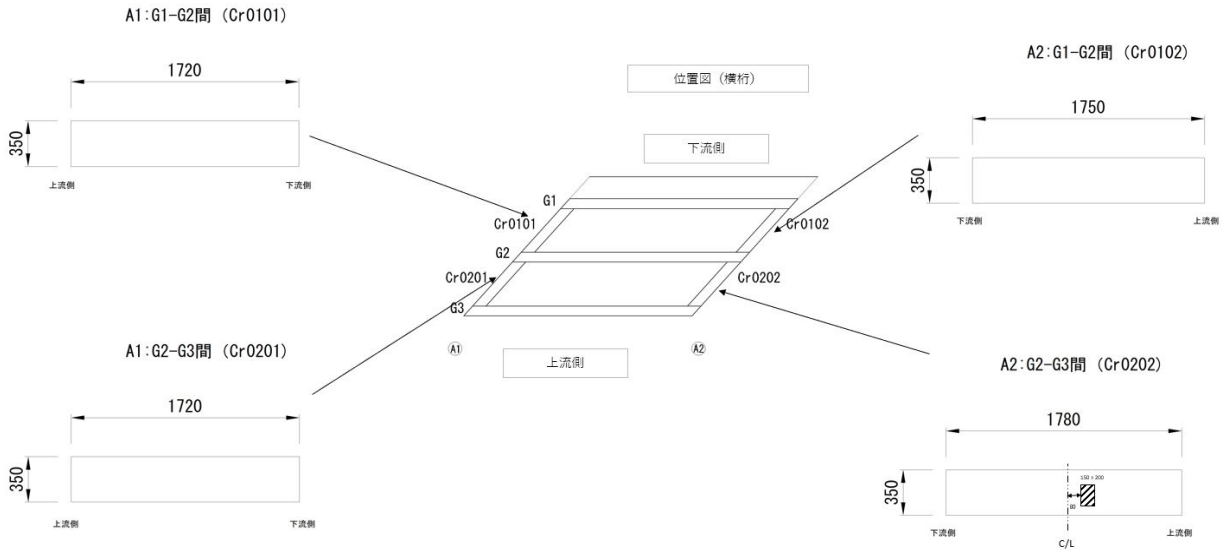


G3-① (ウェブ下流側)

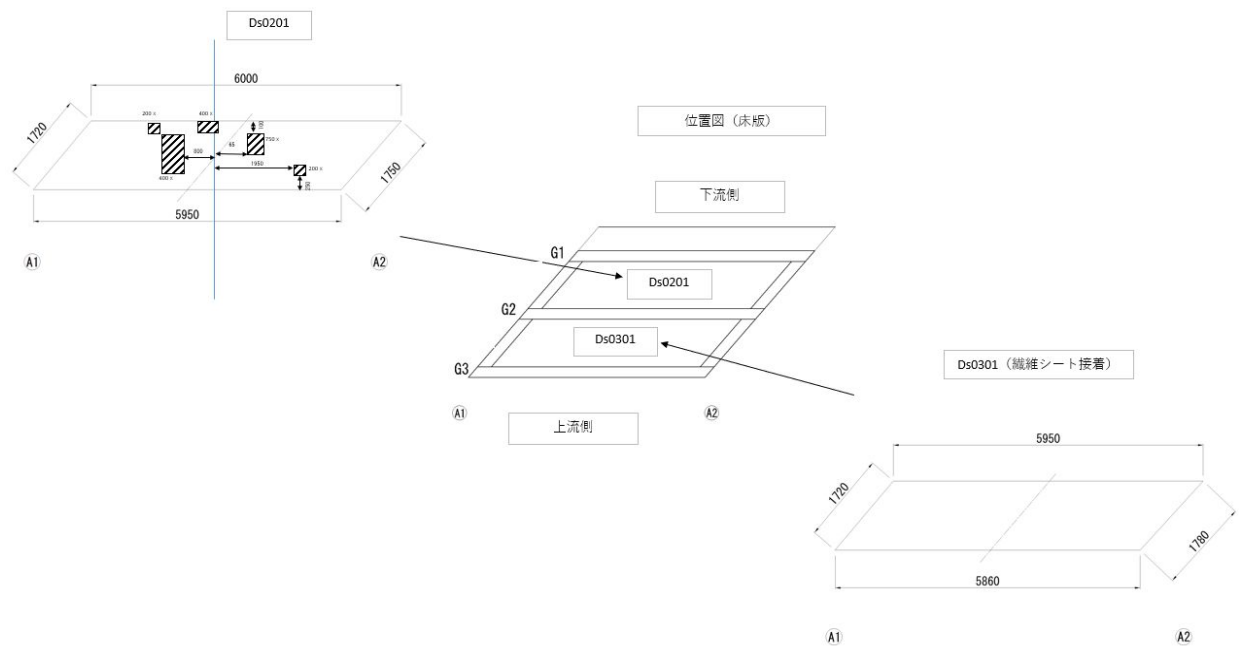




横桁



床版



技術番号 BR020008

技術名 コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE DOCTOR」

開発者名 株式会社オンガエンジニアリング

試験日 令和3年 3 月 25 日 天候 晴れ 気温 18.5 °C 風速 3.5 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

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

※検証試験体

全体一般図

A2橋台背面

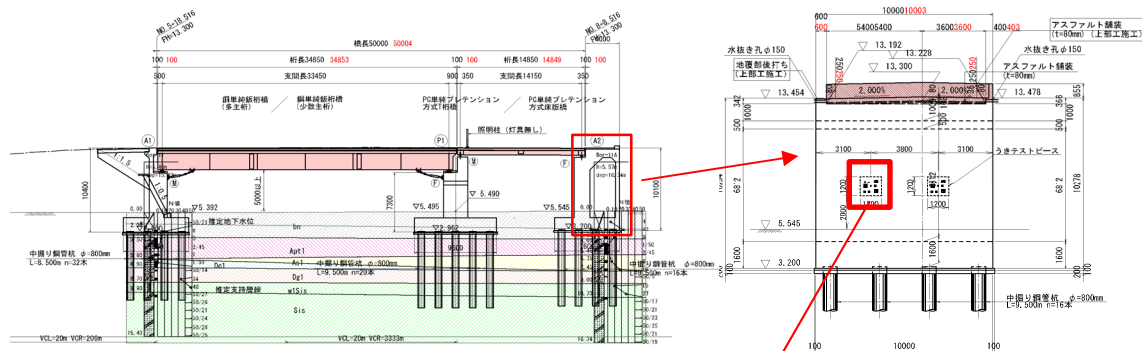


写真-1 A2橋台背面

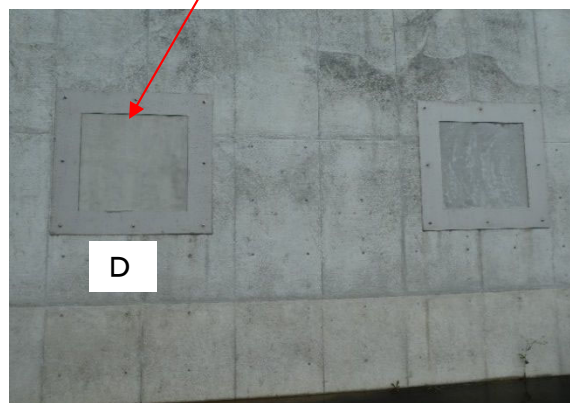


写真-2 検証試験体

※検証試験体

D1: かぶり30mm、寸法1050×1050mm

- ① 機器の搬入(写真-3)
- ② キャリブレーションを行い、計測の準備をする。(写真-4)
- ③ 打音装置の車輪を模擬供試体表面に押し付け、計測する。(写真-5)
- ④ コントローラのLEDが2コ以上点灯した箇所にチョーキングする。(写真-5、6)
- ⑤ 後日、取得したデータよりうきの箇所を検出する。

開発者による計測機器の設置状況

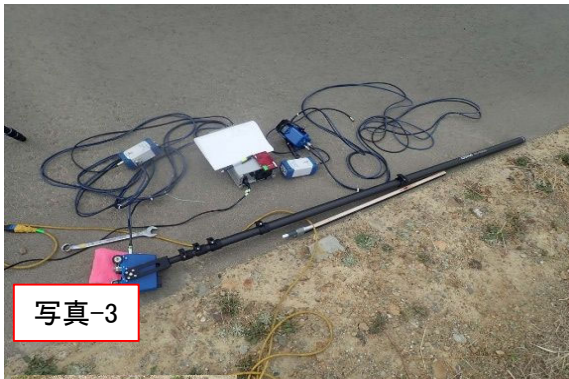


写真-3



写真-4

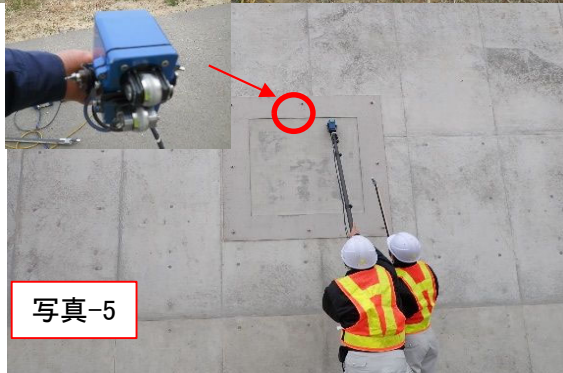


写真-5



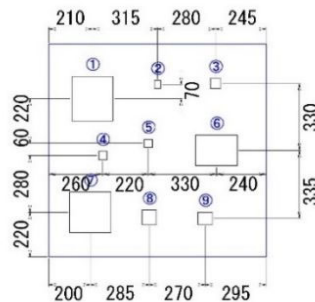
写真-6

比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況

※検証供試体

D1詳細図(被り30mmテストピース)

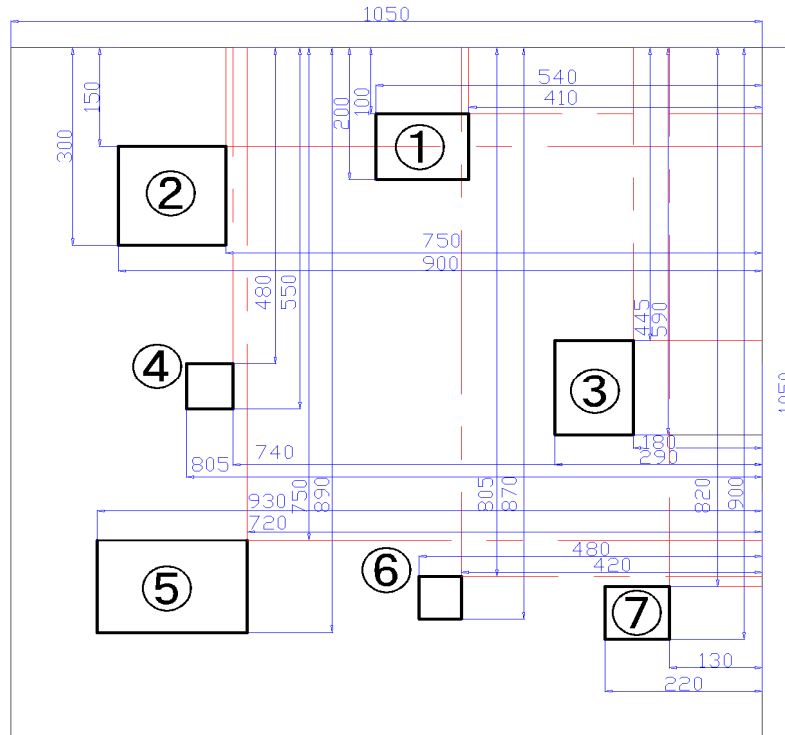
①	200×200	mm
②	30×40	mm
③	50×50	mm
④	40×40	mm
⑤	40×40	mm
⑥	200×150	mm
⑦	200×200	mm
⑧	70×70	mm
⑨	70×60	mm



うきの総箇所数:9箇所

※計測結果

D1

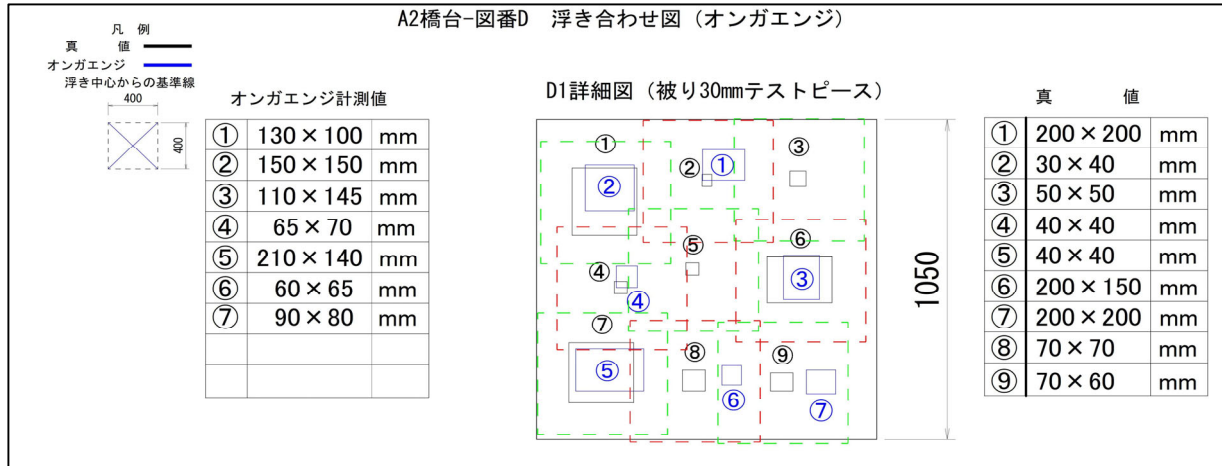
**D1** うきの大きさ (X軸×Y軸)

①	130 × 100	mm
②	150 × 150	mm
③	110 × 145	mm
④	65 × 70	mm
⑤	210 × 140	mm
⑥	60 × 65	mm
⑦	90 × 80	mm

## ※検出率、的中率

検出率 = 正解個数のうち技術で検出できた個数 / 打音異常の正解個数

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



## D1

真値番号	打音の正解個数	計測値番号	検出正解個数	的中正解個数	備考
①	1	②	1	1	
②	1	①	1	1	
③	1	—	0	0	
④	1	④	1	1	
⑤	1	—	0	0	
⑥	1	③	1	1	
⑦	1	⑤	1	1	
⑧	1	⑥	1	1	
⑨	1	⑦	1	1	
計	9		7	7	

検出率 = 7箇所 / 9箇所 = 0.78

的中率 = 7箇所 / 7箇所 = 1.00

技術番号 BR020008

技術名 コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE DOCTOR」

開発者名 株式会社オンガエンジニアリング

試験日 令和3年 3月 25日 天候 晴れ 気温 18.5 °C 風速 3.5 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 現場試験

試験で確認する  
カタログ項目 動作確認(精度以外)

対象構造物の概要

**全体一般図**

**対象: PC単純フレテン床版橋  
支間長: 14.150m**

**写真-1 全体写真**

**第2径間 C3**

**写真-2 主桁**

対象径間: 第2径間      計測対象部材: 主桁下面(上記 赤色内)



- ① 機器の搬入(写真-3)
- ② キャリブレーションを行い、計測の準備をする。(写真-4)
- ③ 打音装置の車輪を模擬供試体表面に押し付け、計測する。(写真-5)
- ④ コントローラのLEDが2コ以上点灯した箇所をチョーキングする。(写真-5、6)
- ⑤ 後日、取得したデータよりうきの箇所を検出する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-3



写真-4



写真-5



写真-6

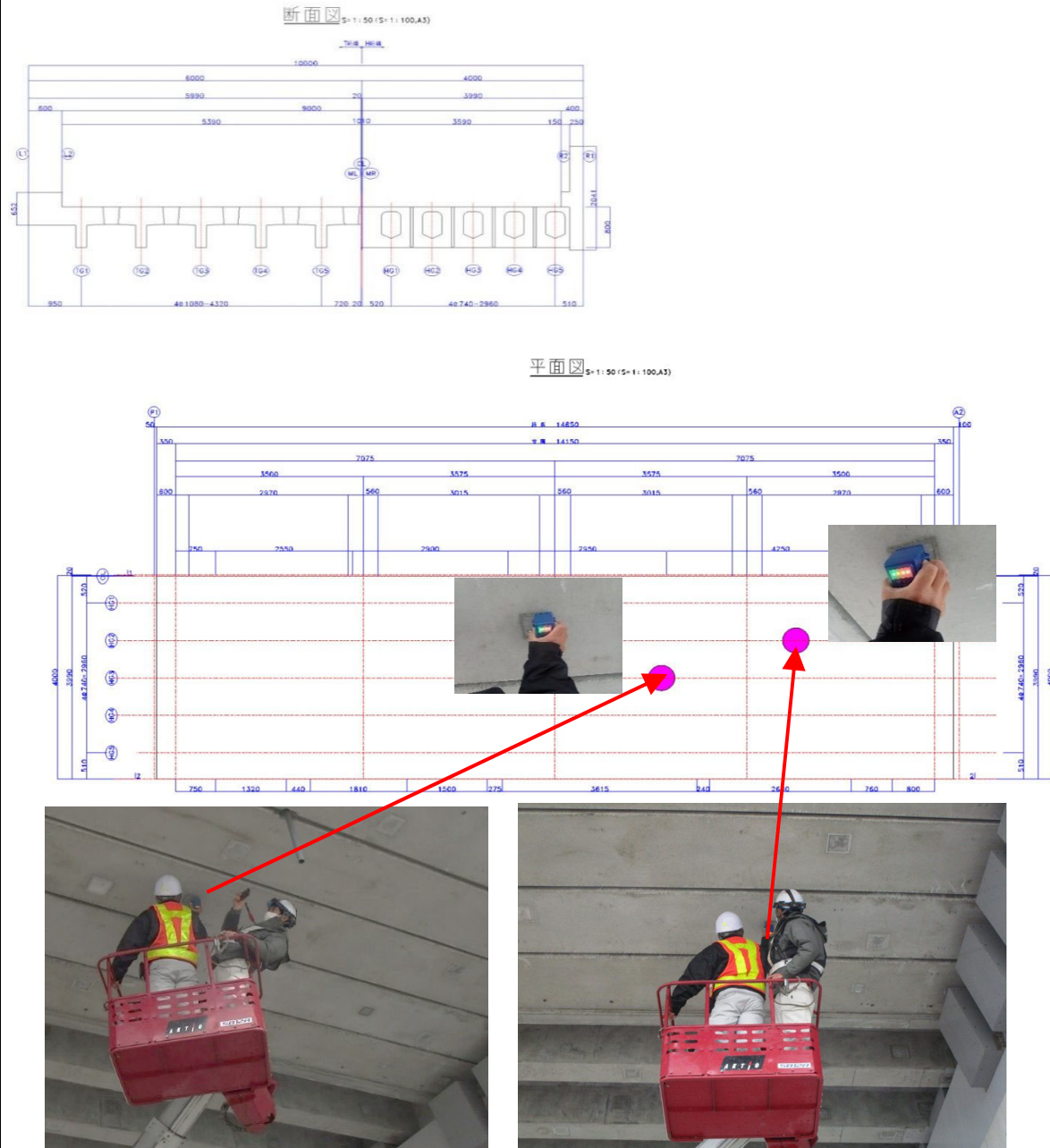
比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況



写真-7

※計測対象部材:主桁下面(写真-7)

## ※計測結果



技術番号 BR020009

技術名 最大6mの距離からプラスチック弾を発射し、反射音の弾性波成分から内部空洞を探知するシステム

開発者名 株式会社アルファプロダクト

試験日 令和2年 3 月 3 日 天候 晴れ 気温 22 °C 風速 0 m/s

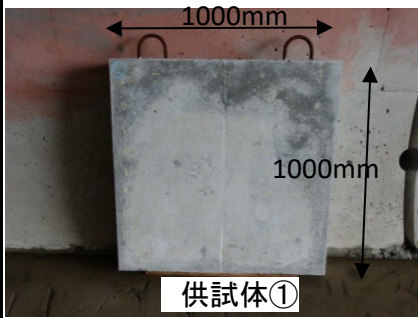
試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 検出項目 うき

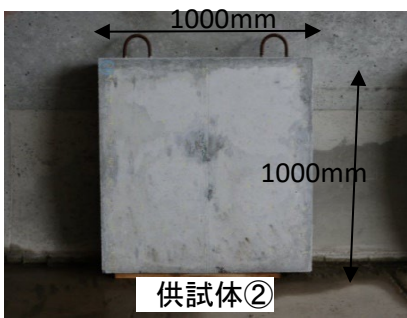
試験区分 標準試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度

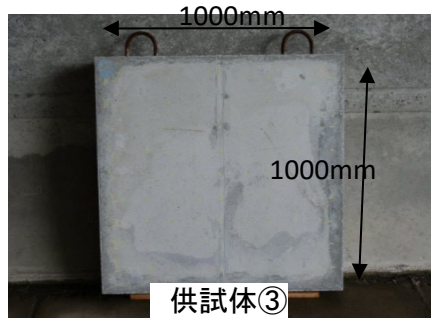
対象構造物の概要



最小かぶり30mm



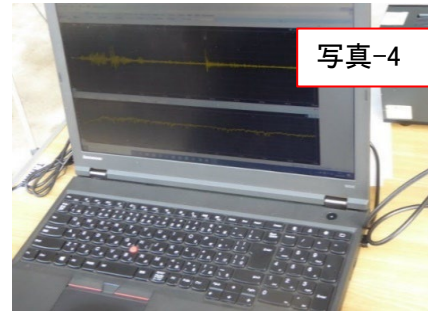
最小かぶり50mm



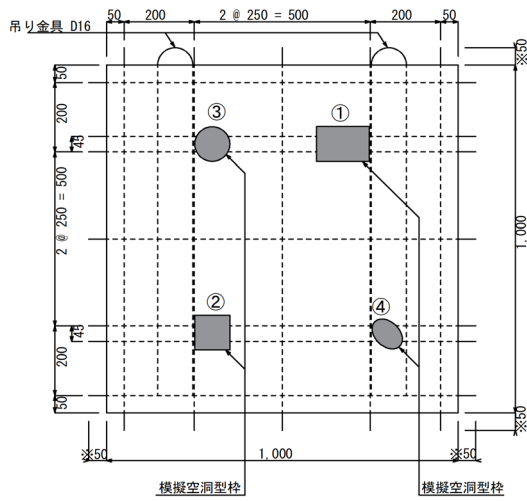
最小かぶり70mm

- ① 計測の準備を行う。(写真-1)
- ② BB弾を補充。(写真-2)
- ③ レーザーでBB弾発射位置を照射し、BB弾を発射。(写真-3) 距離: 4m
- ⑤ PC画面より弾性波データの確認を行う。(写真-4)

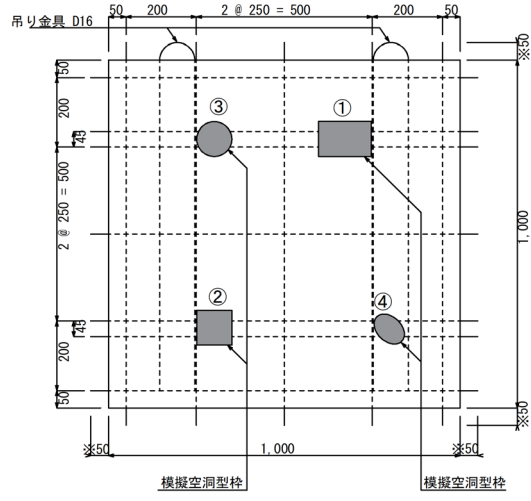
開発者による計測機器の設置状況



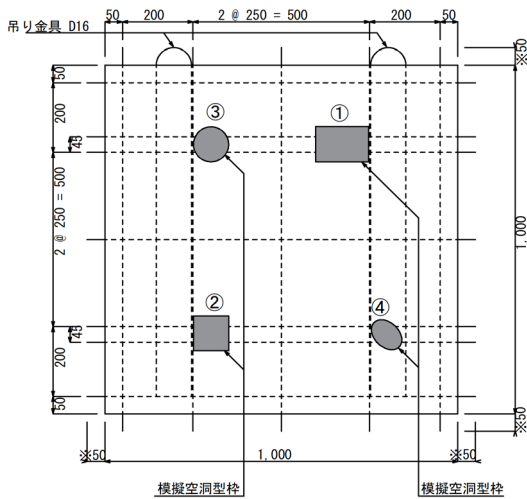
計測精度



供試体①



供試体②



供試体③

矩形寸法 ①②      円形寸法 ③④

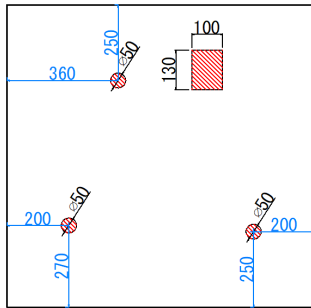
空洞型枠 No.	a	b	φ d	φ e
①	100	150	+	+
②	100	100	+	+
③	+	+	100	100
④	+	+	100	70

(mm)

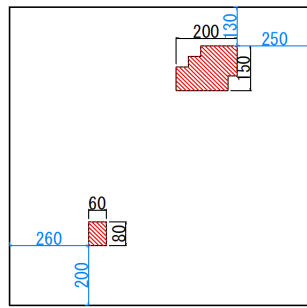
うきの総個所数 12箇所



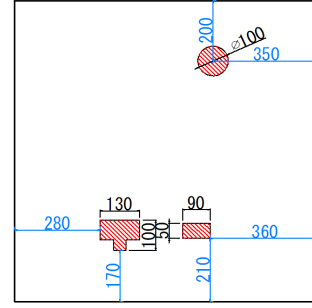
## 当該技術の結果



供試体①

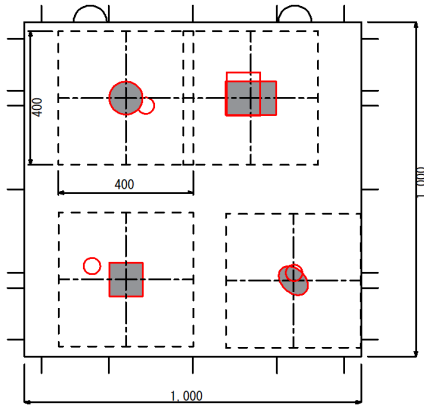


供試体②

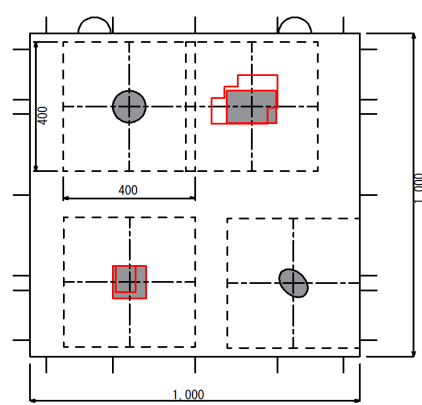


供試体③

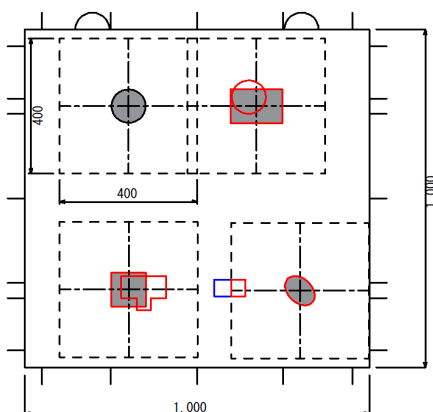
## 計画結果の比較



供試体①



供試体②



供試体③

検出率=9箇所／12箇所=0.75

的中率=9箇所／10箇所=0.90

- 供試体のうきと当該技術が検出したうきが同様の箇所
- 当該技術のみが検出したうきの箇所



技術番号 BR020009

技術名 最大6mの距離からプラスチック弾を発射し、反射音の弾性波成分から内部空洞を探知するシステム

開発者名 株式会社アルファプロダクト

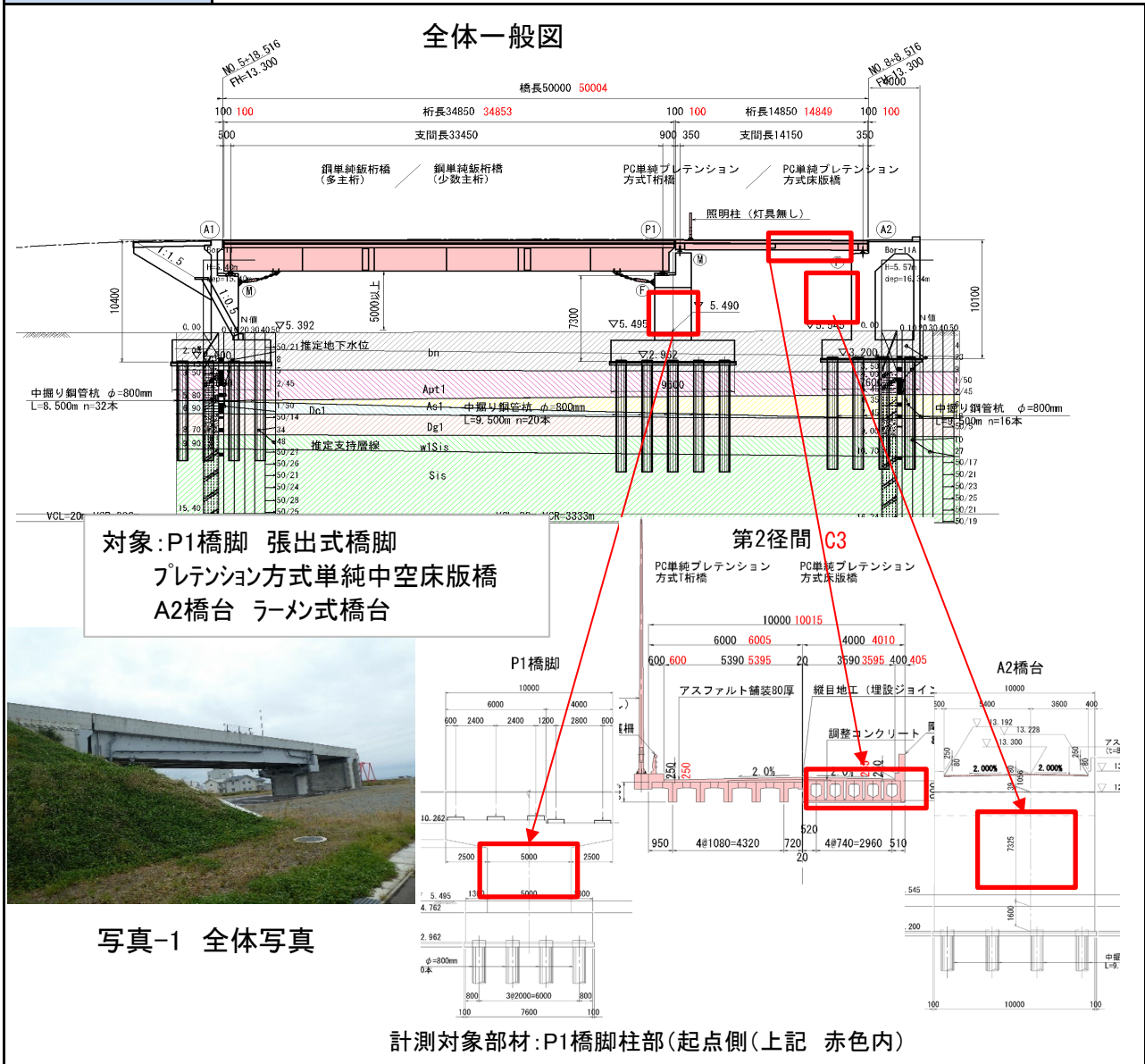
試験日 令和5年 12月 6日 天候 雨 気温 14.6 °C 風速 5.2 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 画像計測技術 検出項目 ひびわれ 試験区分 現場試験

試験で確認するカタログ項目 動作確認(精度以外)

対象構造物の概要



- ① 機器の搬入(ライフル、BB弾、集音機、PC、レーザー、三脚)(写真-2)
- ② 発射状況:A2橋台正面(射程距離:6m、写真-3)
- ③ 発射状況:PCホロー桁橋下面(射程距離:5m、写真-4)
- ④ 発射状況:P1橋脚柱部正面(射程距離:6m、写真-5)
- ⑤ ②~④の発射状況から反射音からうきを検出する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-2



写真-3



写真-4



写真-5

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-6

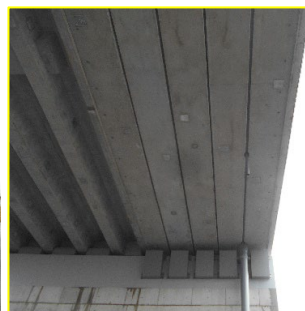


写真-7



写真-8

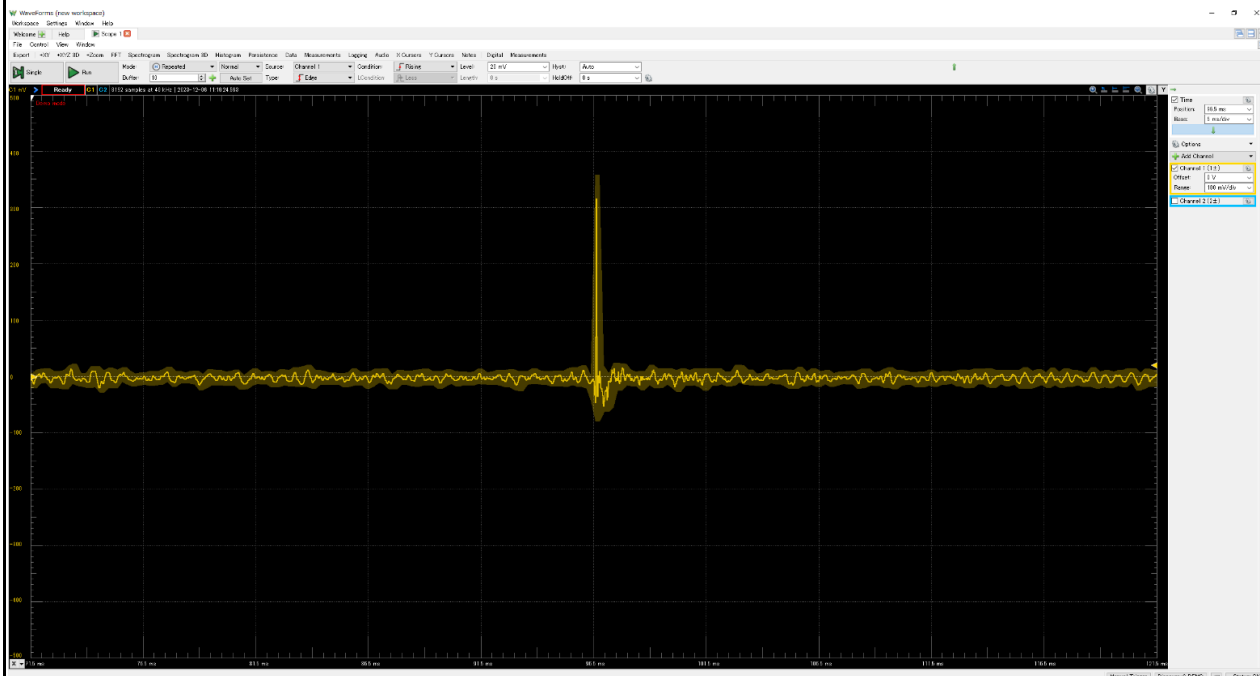
※A2縦壁正面(起点側)(写真-6)、PCホロー桁橋下面(写真-7)、P1橋脚正面(起点側)各箇所のうきを検出する

---

## ※計測結果

## ①A2橋台正面

## 【健全部】



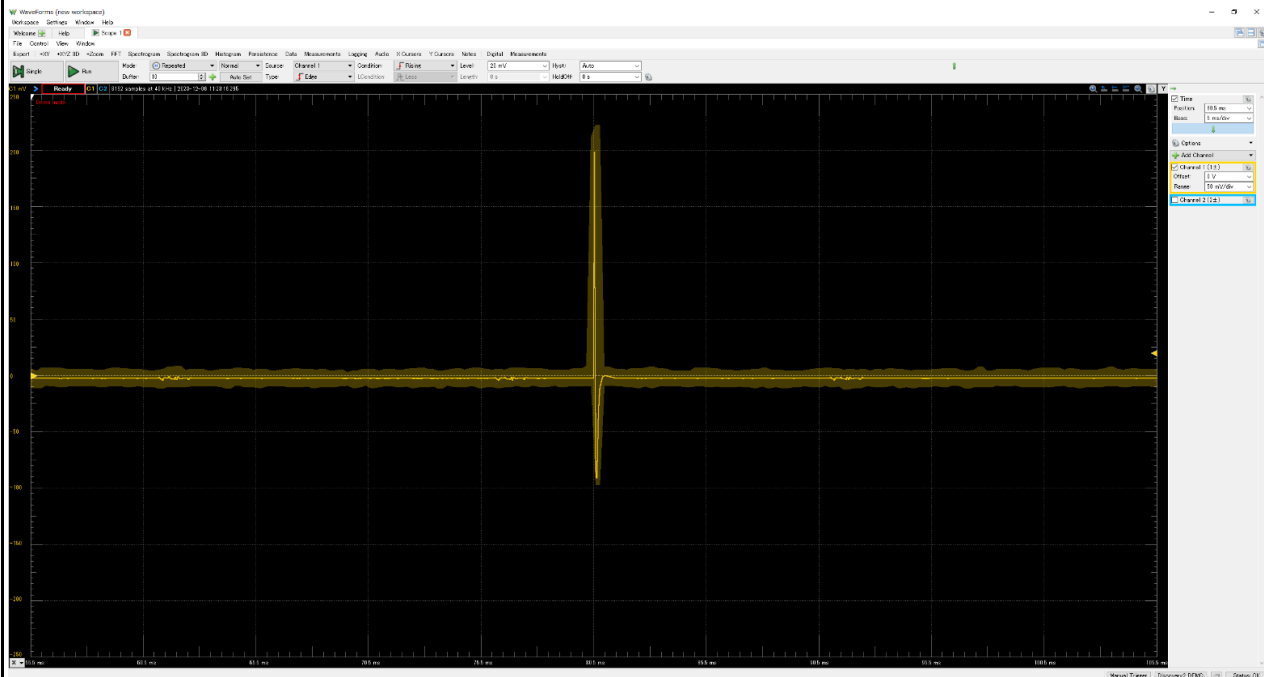
## 【うき部】

無し

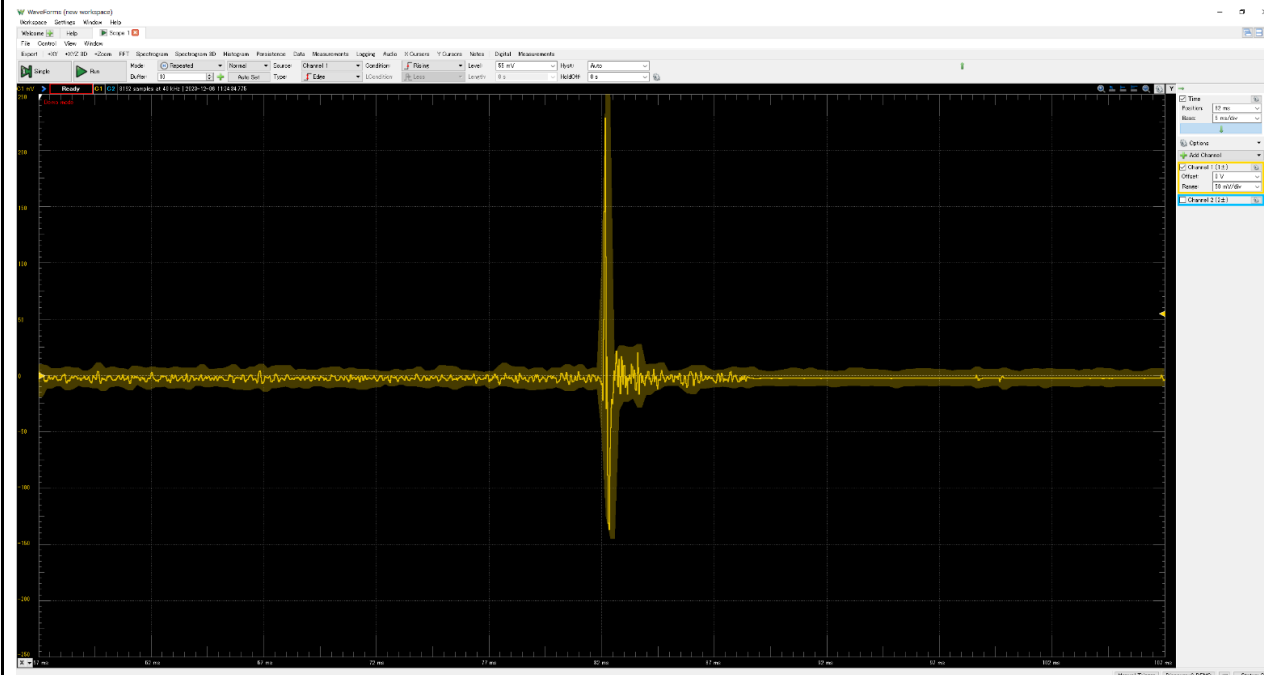
※計測結果

②PCホロ一桁橋下面

【健全部】

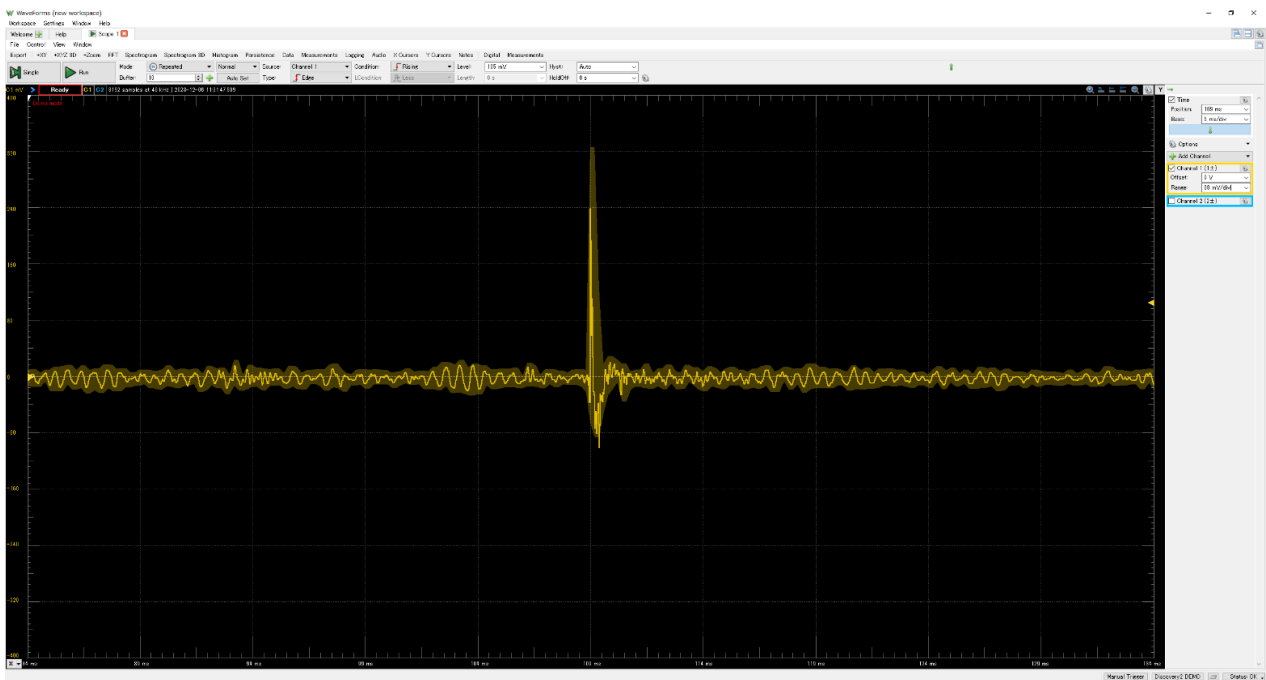


【うき部】

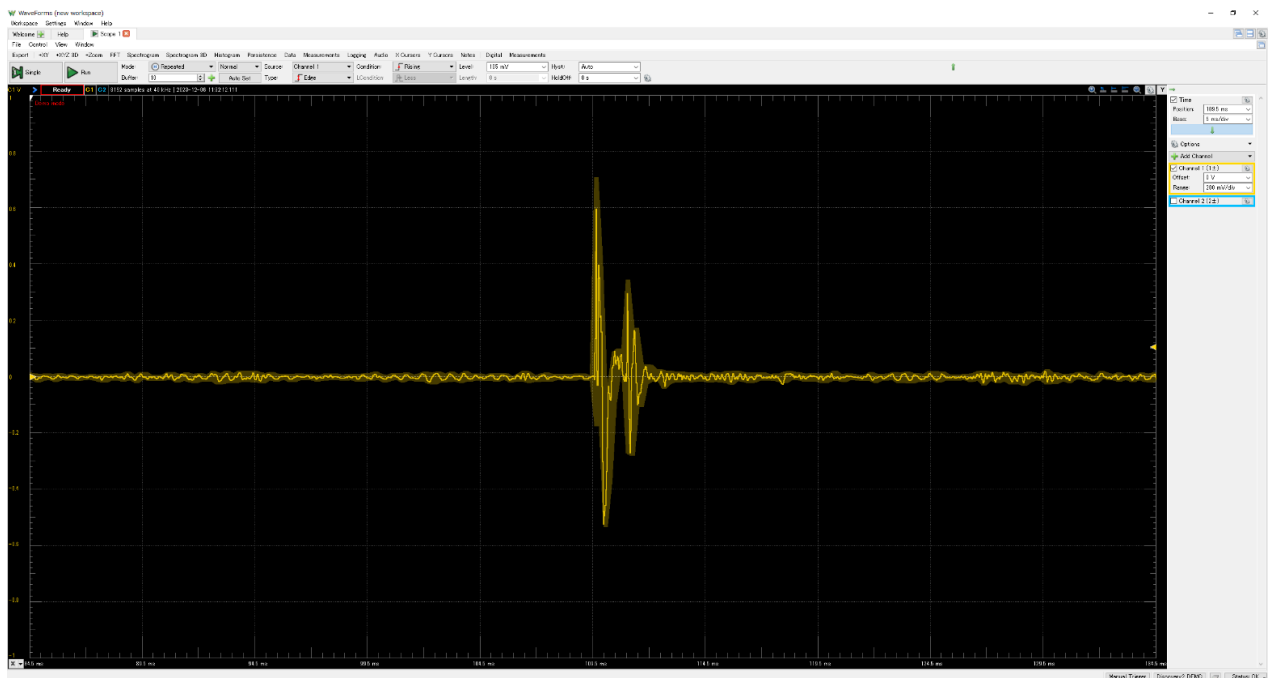


## ※計測結果

## ③P1橋脚正面



## 【うき部】





技術番号	BR020010
------	----------

技術名	床版上面の損傷箇所判定システム	開発者名	ニチレキ株式会社 大日本コンサルタント株式会社
-----	-----------------	------	----------------------------

試験日	某橋梁 H27.9.15 九州自動車道 R1.9.19	天候	晴れ 晴れ	気温	30.0℃ 23.2℃	風速	2.9m/s 2.9m/s
-----	--------------------------------	----	----------	----	----------------	----	------------------

試験場所	某橋梁(新潟県)、九州自動車道八代IC付近						
------	-----------------------	--	--	--	--	--	--

カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	床版上面の土砂化 床版上面の滞水 舗装下面の剥離	試験区分	-
--------	---------	------	------	--------------------------------	------	---

試験で確認する カタログ項目	動作確認
-------------------	------

### 対象構造物の概要

1 はじめに  
本書は、床版上面の損傷箇所判定システムの下記項目についての検証結果を報告するものである。

表 1-1 検証項目

検証項目	内容
計測精度	検出率および的中率。
計測速度	高速自動車道路（制限速度 80km/h）で測定が可能か。

### 2 検証箇所の概要

#### 2-1 明神第3橋

##### (1) 概要

- 1) 橋梁名：明神第3橋
- 2) 橋 長：31.93m
- 3) 形 式：単純合成鉄桁橋
- 4) 供 用：1966年供用開始
- 5) 路線名：一般国道7号
- 6) 場 所：新潟県村上市
- 7) 管理者：羽越河川国道事務所 村上国道維持出張所

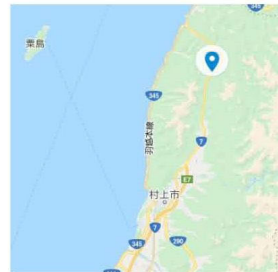


図 2-1 明神第3橋

##### (2) 測定日

2015年9月15日 午前11時

#### 2-2 九州自動車道 八代IC付近

##### (1) 概要

- 1) 橋梁名：九州自動車道 八代IC付近
- 2) 場 所：KP213.3310～KP212.9705=360.5m
- 3) 車 線：上り追越
- 4) その他：制限速度 80km/h



図 2-2 八代IC付近

##### (2) 測定日

2019年9月19日 午後13時

## 3 計測精度の検証

## (1) 対象橋梁

明神第3橋

## (2) 確認内容

床版上面の損傷面積

実際の損傷（アスファルト舗装を剥がした後の目視および打音調査の結果。）を正解としての検出率と的中率を下式で算出し評価を行った。なお、1ピクセルは延長7.5cm×幅7.5cmに相当する。

$$\text{検出率(\%)} = \frac{\text{検出できたピクセル数}}{\text{損傷(または健全)の正解ピクセル数}}$$

$$\text{的中率(\%)} = \frac{\text{検出した損傷(または健全)のうち正解ピクセル数}}{\text{技術で検出したピクセル数(誤検出を含む)}}$$

なお、目視・打音調査の結果は「橋梁の床版非破壊調査の手引きについて 国土交通省北陸技術事務所 平成28年7月」から引用した。

## (3) 検証結果

表 3-1、図 3-1 および図 3-2 に検証結果を示す。

表 3-1 本技術の検出率・的中率

分類	実際の状態	検出ピクセル数	正解ピクセル数	検出率	
健全(グループ1)	異常なし	20,099	28,645	70.2%	70.2%
損傷	グループ2 うき、鉄筋露出、表面の凹	1,204	2,167	55.6%	89.4%
	グループ3 土砂化、土砂化鉄筋露出	1,890	2,437	77.6%	
分類	実際の状態	検出ピクセル数	正解ピクセル数	的中率	
健全(グループ1)	異常なし	20,589	20,099	97.6%	97.6%
損傷	グループ2 うき、鉄筋露出、表面の凹	8,978	1,204	13.4%	32.5%
	グループ3 土砂化、土砂化鉄筋露出	3,682	1,890	51.3%	

※1ピクセルは延長7.5cm×幅7.5cm)

※検証橋梁は1橋、面積は187㎡。

※推定される損傷

グループ2：乾燥状態の浅い土砂化、乾燥状態の舗装下面剥離、上鉄筋配置面の水平ひび割れが進行した乾燥状態の浅い土砂化

グループ3：滞水状態の土砂化、乾燥状態の深い土砂化、滞水状態の舗装下面剥離、滞水状態の水平ひび割れ、上鉄筋配置面の水平ひび割れから浮きへ移行したかぶり部の格子状ひび割れ

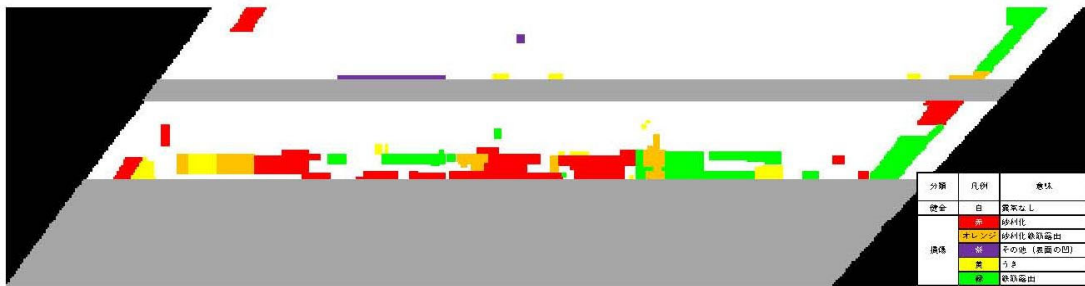


図 3-1 目視・打音調査の結果

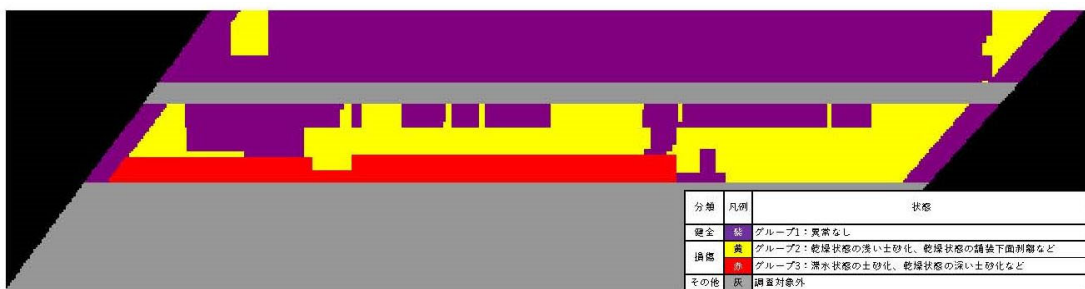


図 3-2 本技術による結果

## 4 計測速度の検証

## (1) 対象橋梁

九州自動車道 八代 IC 付近

## (2) 確認内容

高速道路（制限速度 80km/h）で測定が可能か。性能カタログ値 80 km/h 以内。

## (3) 検証結果

下図の通りコンター画像を取得できたため、**高速道路で測定可能である。**

計測時刻（GPS より）"2019-09-19T13:50:38"～"2019-09-19T13:51:31"

計測時間：53 秒 計測距離：1,050.383 m

計測速度：71km/h(当日の一般車両の交通の流れ)

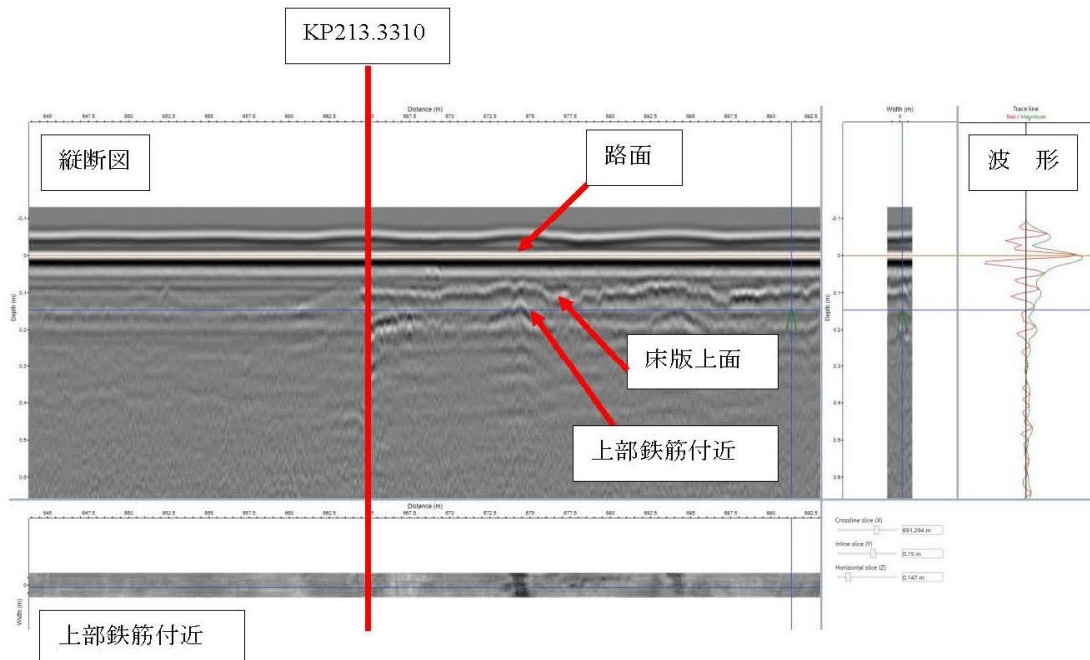


図 4-1 コンター画像(縦断図)

技術番号 BR020010

技術名 床版上面の損傷箇所判定システム 開発者名 ニチレキ株式会社  
大日本コンサルタント株式会社

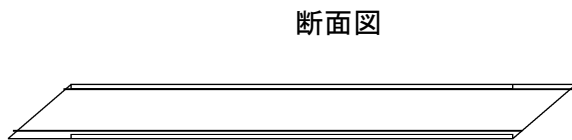
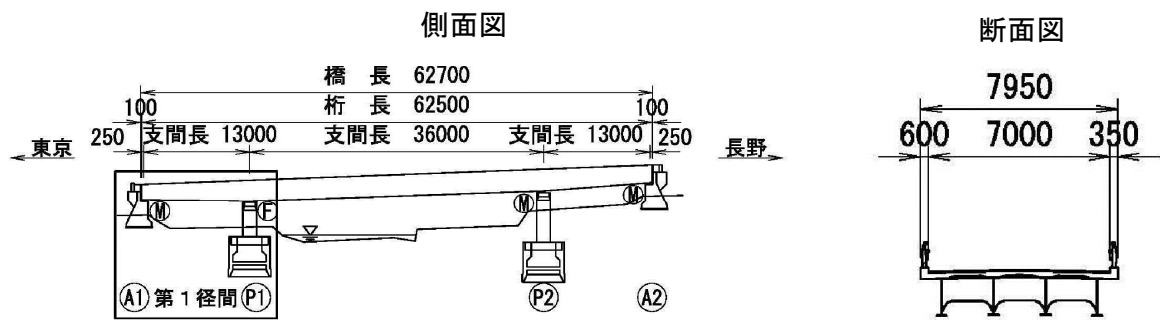
試験日 令和2年 1 月 30 日 天候 晴れ 気温 13.1 °C 風速 5.3 m/s

試験場所 実橋

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 床版上面の土砂化  
床版上面の滞水  
舗装下面の剥離 試験区分 現場試験

試験で確認する  
カタログ項目 動作確認(精度以外)

対象構造物の概要



※舗装は部分補修されている。



※床版は鋼板接着で補修されている。

対象部位: 床版上面の損傷を確認する。



- ① 測定車(電磁波レーダを搭載した車両)を指定の駐車場で作動確認をする。
- ② 電磁波レーダ(写真-1)を横にスライドした状態(写真-2、写真-3)とその確認モニター(写真-4)
- ③ 路面撮影用カメラ(写真-5)
- ④ 測定車の走行状況(写真-6)(橋梁を3往復)
- ⑤ 測定データを計測車内のPCに送信し、後日、データを画像処理等で損傷の有無を確認する。

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





## 1.2. 原理

### 1.2.1. 原理

#### (1) 電磁波の発信と反射信号の受信

橋梁の路面下はアスファルト舗装、コンクリート、鉄筋の3種類の電気的特性の異なる材料から構成され、健全な場合は、それらは密着している。

電磁波レーダから路面に向かって発信した電磁波は、空気とアスファルト舗装の境界、アスファルト舗装とコンクリートの境界、コンクリートと鉄筋の境界において反射し、電磁波レーダに反射信号として受信される。

#### (2) アスファルト舗装、RC床版上面が健全な場合の電磁波の反射信号

アスファルト舗装、RC床版上面が健全（材料レベルでの損傷がなく両者が密着）な場合は、アスファルト舗装とコンクリートに電気的特性に範囲があるものの、それぞれの材料の境界における電磁波の反射が面的に一樣(図-1.2.1)と言え、RC床版上面の損傷を把握する際の基準となる。

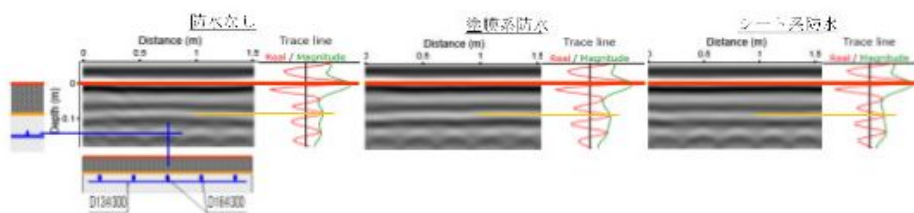


図-1.2.1 健全な場合の反射信号

#### (3) 材料の電気的特性の変化及び新たな物質の付与による、反射信号の強度や透過性の変化

一方、RC床版上面の土砂化や滞水が生じていると、言い換えると材料の電気的特性の変化や新たな物質が加えられ、反射信号の強度や透過性が変化すると、健全な場合と異なる反射信号を受信し、RC床版上面に損傷が生じている可能性がある範囲として検出される。

ただし、使用する電磁波レーダの波長は、想定される損傷の厚さに比較して長く、損傷を直接分解することは困難であるため、受信した電磁波の反射信号と基準となる健全な場合の反射信号を比較して損傷の可能性を評価し、相違点の特徴により損傷の種類を分類する。

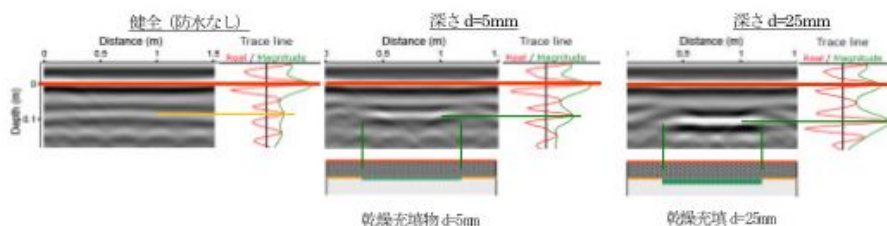


図-1.2.2 コンクリートが土砂化して乾燥（電気的特性の変化）の反射信号

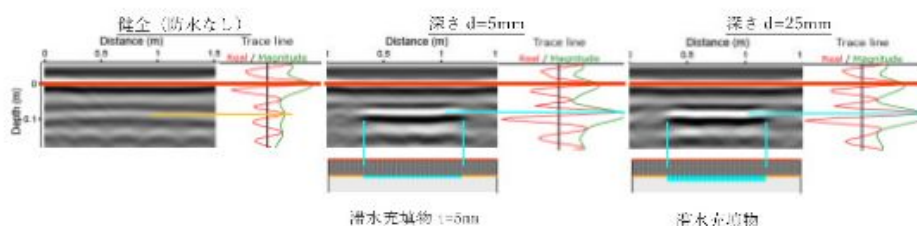


図-1.2.3 RC床版上面の滞水（新たな物質の付与、透過性の変化）の反射信号

## 1 はじめに

本書は、床版上面の損傷箇所判定システムの下記項目について検証結果および本技術によるアウトプットを報告するものである。

表 1-1 検証項目

検証項目	内容
計測レンジ	路面から深さ 1.50m までデータが取得できるか。(比誘電率 5、発信受信の時間間隔 25ns の場合)
検出性能	コンター画像(縦断図)において、路面、鉄筋コンクリート床版上面、鉄筋の反射強度のコンターが検出できるか。
分解能	分解能時間：0.34ns (周波数 3GHz) 深さ方向の反射強度取得ピッチ：1.0cm 延長方向の反射強度取得ピッチ：7.5cm 幅員方向の反射強度取得ピッチ：7.5cm
計測速度	一般道路(制限速度 50km/h)で測定が可能か。
位置精度	延長方向±0.5m 以内、幅員方向±0.5m 以内であること。

## 2 検証箇所の概要

### (1) 概要

- 1) 橋梁名：
- 2) 橋 長：62.7m
- 3) 形 式：3 径間連続鉄桁橋
- 4) 供 用：1965 年供用開始
- 5) 路線名：一般国道 20 号
- 6) 場 所：山梨県北杜市白州町鳥原
- 7) 管理者：甲府河川国道事務所 甲府出張所



図 2-1

### (2) 測定日

2020 年 1 月 30 日 午前 9 時～午前 11 時

### (3) 天候

- (前々日) 2020 年 1 月 28 日は降雪。  
(前 日) 2020 年 1 月 29 日 0:00～ 3:59 5.5mm の降水、  
2020 年 1 月 29 日 4:00～23:59 降水なし  
(当 日) 2020 年 1 月 30 日 0:00～ 9:00 降水なし  
2020 年 1 月 30 日 9:00～11:00 降水なし(降雨から 24 時間経過)、測定時間帯

### 3 計測レンジの検証

#### (1) 確認内容

最大深度：路面からの深さ 1.5m（比誘電率 5、発信受信の時間間隔 25ns）

#### (2) 検証結果

検証結果：路面からの探査深度：1.533（m）であることが確認された。

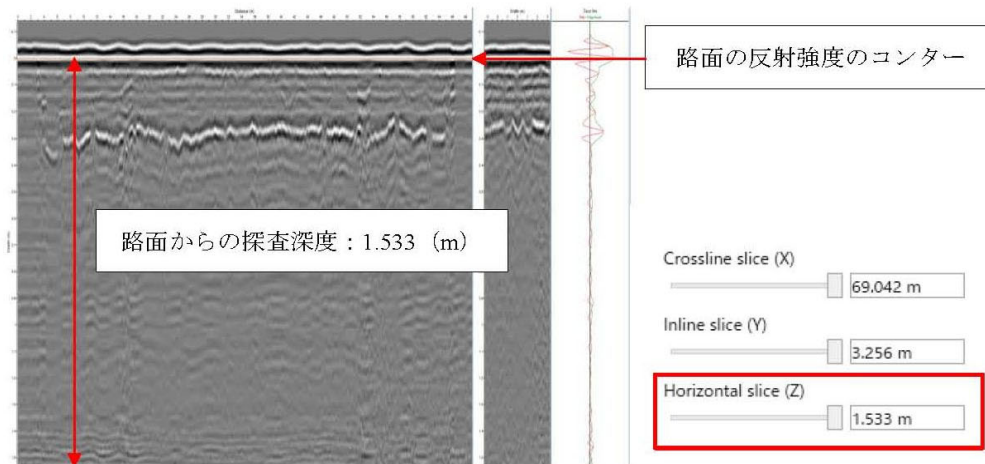


図 3-1 コンター画像(縦断図)の表示画面

### 4 検出性能の検証

#### (1) 確認内容

コンター画像（縦断図）において、路面、鉄筋コンクリート床版上面、鉄筋の反射強度のコンターが検出できるか。

#### (2) 検証結果

コンター画像（縦断図）において、各材質の反射強度のコンターが検出できた。

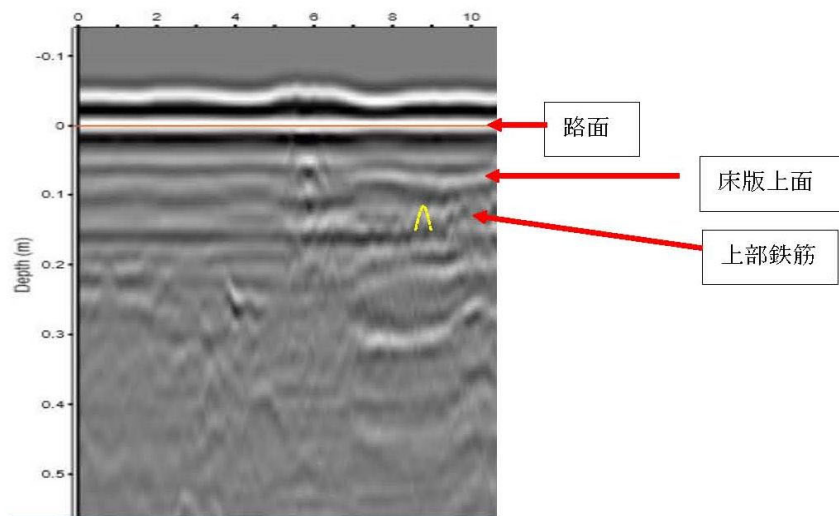


図 4-1 コンター画像(縦断図)の表示画面

5 分解能の検証

5-1 分解能時間の検証

(1) 確認内容

分解能時間 0.34ns (2.9GHz~3.0GHz 程度の電磁波が発信されているかの確認)

分解能時間は、3D-RADAR 社(本技術で使用する電磁波レーダ)社が 0.34ns であると公表している。これは、電磁波の周波数が 2.9GHz~3.0GHz の周期を示している。検証は計測において、電磁波レーダが 2.9GHz~3.0GHz 程度の電磁波を受信していることを確認した。

● 3D-RADARコントローラー【GeoScope Mk IVの仕様】

GeoScope Mk IVは、DXGシリーズアンテナ及びDXシリーズアンテナを制御するコントローラーです。



GeoScope Mk IVの外観

項目	
適合アンテナ	DXシリーズ & DXGシリーズ(3D-RADAR社)
制御可能アンテナ成分数	41成分
アンテナスキャンパターン	リニア、マルチオフセット、CMPパターン構築可能
周波数バンド幅	2900MHz(100-3000MHz)
分解能時間	0.34ns
測定レンジ	250ns(max)任意設定可能
スキャンレート	13,000(Aスキャンデータ/秒)
測定モード	時間送り、サーベイホイール同期、外部トリガー
位置情報	内部GPS、外部GPS(NMEA 0183準拠)
インターフェース	ギガビットイーサネット、RS-232C(GPS)
動作電源	11.5~36Vdc、100W
重量	8Kg
動作温度	0~50°C
推奨コンピュータ	Intel i5 又はi7、8GBメモリ、高速大容量SSD

図 5-1 3D-RADAR 社(ノルウェー)製、型番:エアカップル型 DX アンテナシリーズ

(2) 検証結果

計測時において 3.03GHz の電磁波が受信されている、分解能時間は 0.34ns であることが確認された。

Radar Data	
Domain	Frequency
Minimum Frequency	30.0 MHz
Maximum Frequency	3030.0 MHz
Frequency Step	20.0 MHz
Time Window	25 ns
Dwell Time	1.500 us
Trigger	
Mode	Distance
Primary DMI Unit	Channel A
Original Sampling Interval	74.0 mm
Current Sampling Interval	74.0 mm
Survey	
Start Time	2020/01/30 8:59:51

図 5-2 計測時の周波数表示画面



## 5-2 反射強度の取得ピッチの検証

## (1) 確認内容

反射強度の取得ピッチ

データ取得ピッチは、計測範囲をデータ取得個数で割ることで算出する。なお、比誘電率は5に設定した。

## (2) 検証結果

以下表のとおり、性能カタログ値※を満足する結果となった。

表 5-1 データ取得ピッチ

計測方向	計測範囲 (m)	データ取得数 (個)	反射強度の取得ピッチ (cm)	性能カタログ値 (cm)
深さ方向	1.533	Z方向：229	0.67	1.0cm
延長方向	62.7	X方向：848	7.39	7.5cm
幅員方向	6.512	Y方向：89	7.32	7.5cm

※性能カタログ値は社内基準値になる

## 6 計測速度の検証

## (1) 確認内容

一般道路（制限速度 50km/h）で測定が可能か。性能カタログ値 80 km/h 以内。

## (2) 検証結果

下図の通りコンター画像を取得できたため、一般車両の交通の流れで測定可能である。

計測時刻（GPS より）"2020-01-30T09:24:37"～"2020-01-30T09:24:50"

計測時間：13 秒 計測距離：117.722m

計測速度：33km/h(当日の一般車両の交通の流れ)

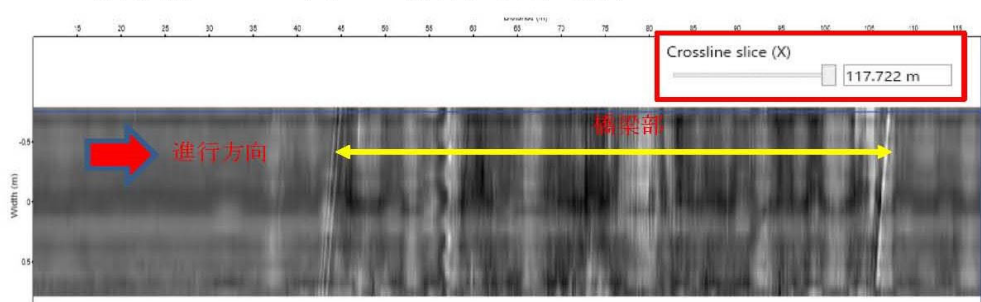


図 6-1 コンター画像(平面図)

7 位置精度の検証

(1) 検証位置

延長方向は A1、P1、P2、A2 の位置を、幅員方向は鋼桁位置を確認対象とした。

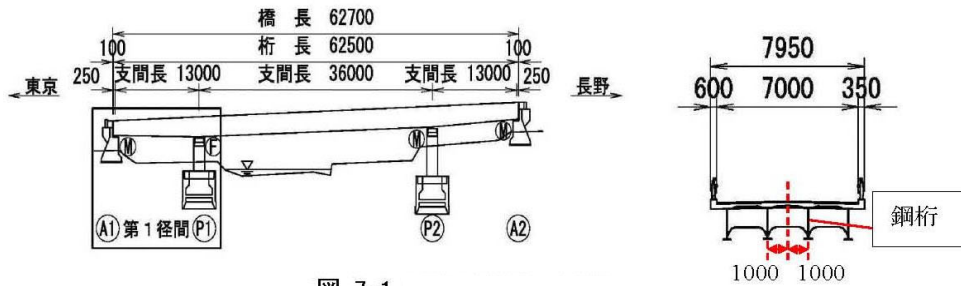


図 7-1

(2) 延長方向の検証

確認内容：測定時に取得した緯度経度から算出した対象位置（追加距離）が実際の位置に対し、±0.5m 以内であるか。

検証結果：以下のとおり、性能カタログ値※を満足する結果となった。

表 7-1 位置精度(延長方向)の検証結果

位置	計測結果			真の位置(m)		性能カタログ値(m)
	緯度	経度	追加距離(m)	追加距離(m)	誤差(m)	
A1	35.8375739710	138.3039560315	0.000	0.000	-	±0.5
P1	35.8376875087	138.3039107264	13.246	13.350	-0.104	
P2	35.8379970417	138.3037872126	49.357	49.350	0.007	
A2	35.8381118479	138.3037414009	62.751	62.700	0.051	

※性能カタログ値は社内基準値になる

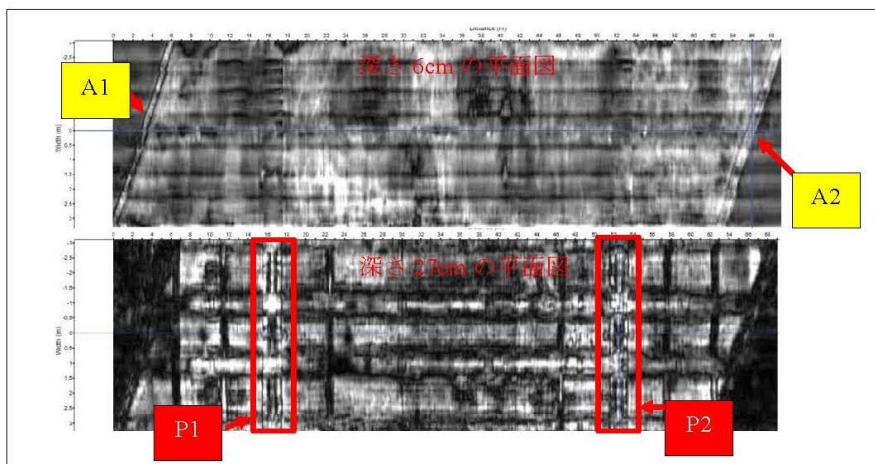


図 7-2 コンター画像(平面図)



(3) 幅員方向の延長

確認内容：コンター画像から得た対象位置が、実際の位置に対し±0.5m以内であるか。  
 検証結果：以下のとおり、性能カタログ値※を満足する結果となった。

表 7-2 位置精度(幅員方向)の検証結果

位置	計測結果		真の位置(m)	誤差(m)	性能カタログ値(m)
	基準	位置(m)			
下り側の鋼桁	センターから	0.888	1.000	-0.112	±0.5
上り側の鋼桁	センターから	1.036	1.000	0.036	

※性能カタログ値は社内基準値になる

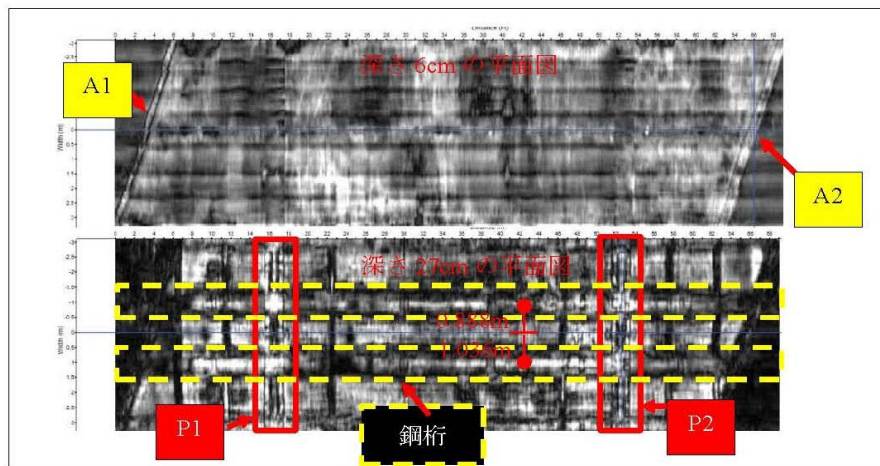
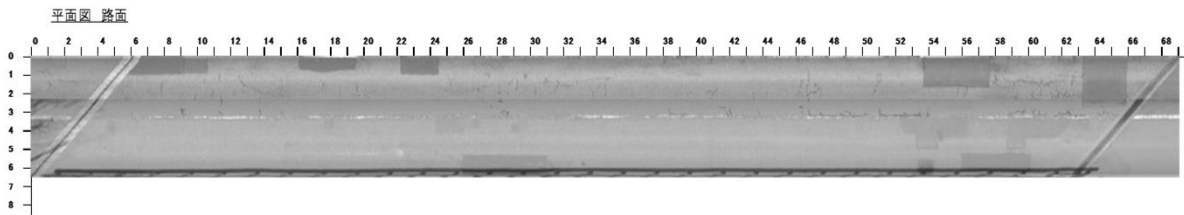


図 7-3 コンター画像(平面図)

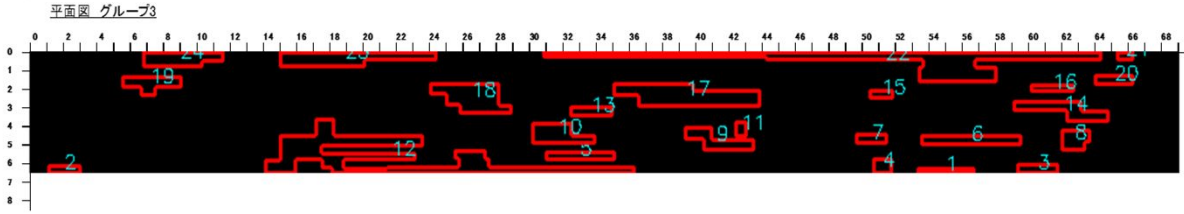
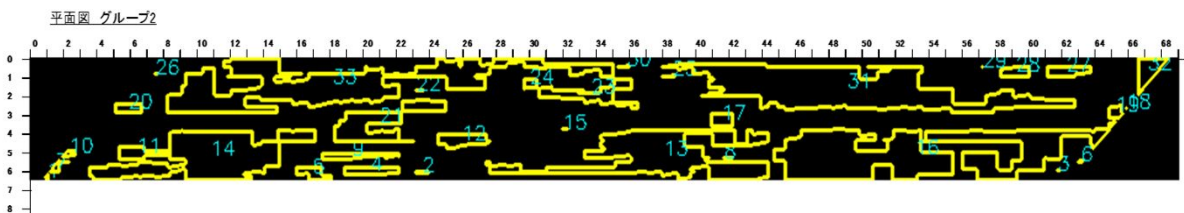
8 アウトプット

床版上面の損傷箇所を検出結果を示したデータシートを示す。

床版上面の損傷箇所の判定結果(新流川橋)



凡例	推定要因
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:purple;"></span>	グループ1: 健全
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:yellow;"></span>	グループ2: 乾燥状態の浅い土砂化、乾燥状態の舗装下面剥離など
<span style="display:inline-block; width:15px; height:10px; background-color:red;"></span>	グループ3: 滞水状態の土砂化、乾燥状態の深い土砂化など



損傷面積集計表

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	グループ2 合計面積(m <sup>2</sup> )
面積(m <sup>2</sup> )	0.05	0.12	0.02	1.42	1.09	0.04	0.27	0.04	1.32	0.22	1.57	1.98	21.98	20.21	0.03	35.81	0.99	0.01	0.54	0.84	7.12	0.04	3.70	0.43	0.08	171.08

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	グループ3 合計面積(m <sup>2</sup> )
面積(m <sup>2</sup> )	1.01	0.85	1.26	0.90	1.84	3.10	0.96	1.76	2.88	3.25	0.54	20.10	1.30	3.60	0.62	0.96	8.72	5.72	2.50	1.19	0.43	17.87	6.06	3.54	90.98

解析速報(web配信)

Shoban web

※新流川橋

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

地図表示

地図 航空写真

20

+

-

2020/1/30 新流川橋の測定が完了しました。

評価

対象外

No. 001	No. 002	No. 003	No. 004	No. 005	No. 006	No. 007	No. 008	No. 009

評価区分 評価結果

- 75%以上～100%
- 50%以上～75%
- 25%以上～50%
- 10%以上～25%
- 10%未満
- 測定不可

技術番号 BR020010

技術名 床版上面の損傷箇所判定システム

開発者名 ニチレキ株式会社  
大日本ダイヤコンサルタント株式会社

試験日 令和7年 1 月 15 日 天候 晴れ 気温 6.4 °C 風速 - m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所 部材保管用施設

カタログ分類 非破壊検査技術 検出項目 床版劣化 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

※検証試験体

損傷大: 400mm × 400mm

床版厚: 20cm

全体一般図

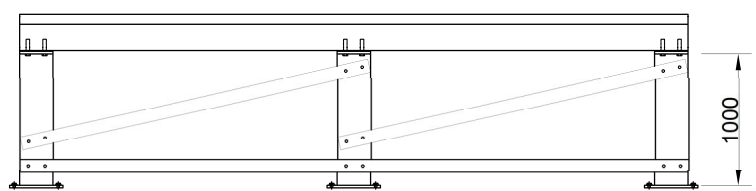
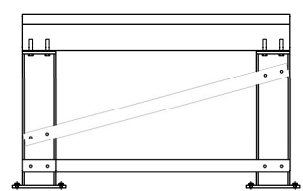
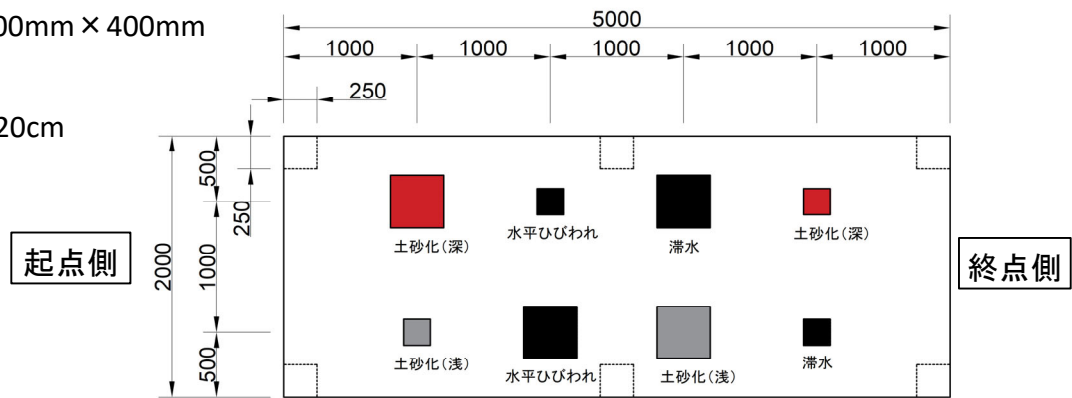


写真-1 検証試験体(架台上)



写真-2 検証試験体(床上)



- ① 機器の搬入(電磁波レーダー、PC)(写真-3、4)
- ② 電磁波レーダー搭載の移動台車を起点側と終点側を往復して測定(4分割:写真-5)
- ③ PCに保存されたデータの確認(写真-6)
- ④ データ分析による損傷図作成

開発者による計測機器の設置状況

本来は車載型の電磁波レーダーを、標準試験用に台車に移設して計測を実施

安全のため、舗装面側から計測する技術については、検証試験体を床に置いて試験を実施



写真-3



写真-4



写真-5

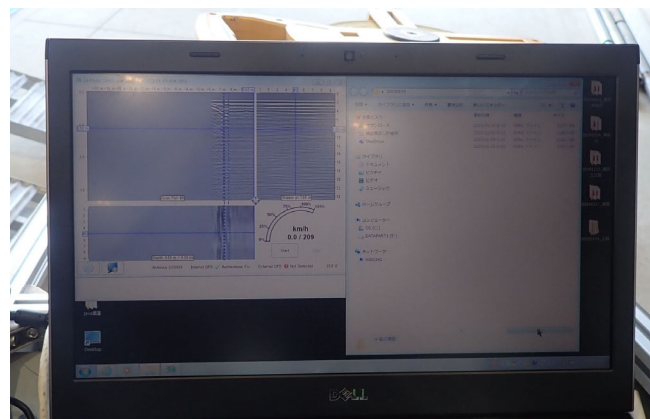


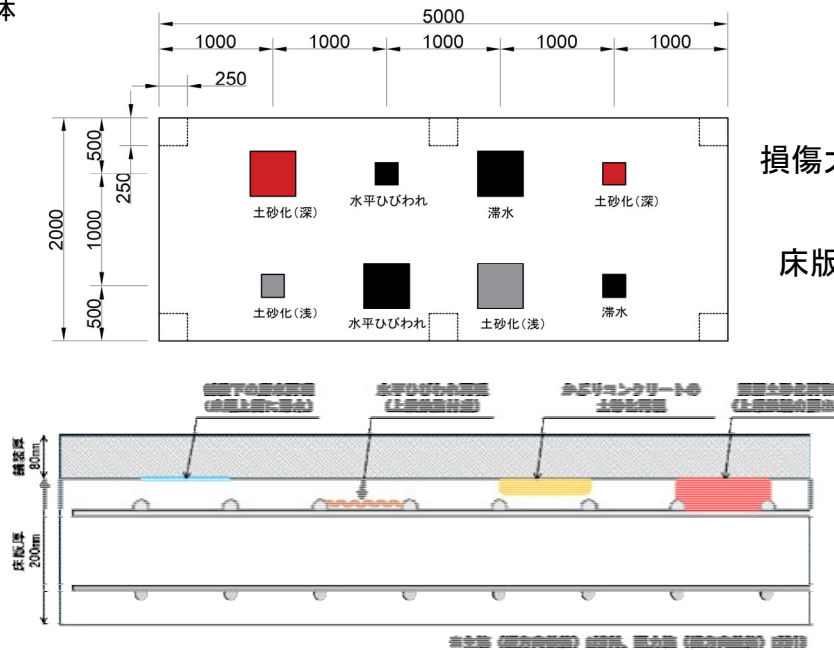
写真-6

比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況

技術番号

BR020010

※検証供試体



損傷大: 400mm × 400mm

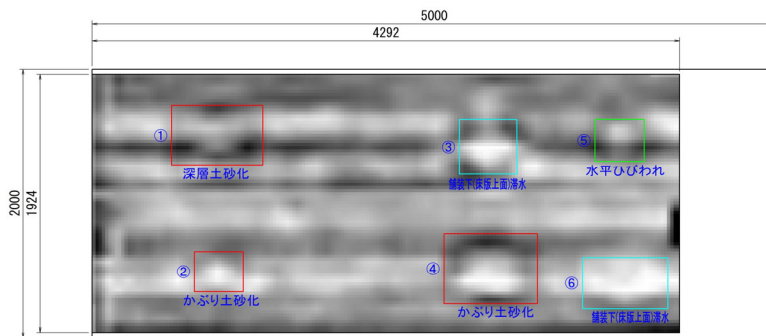
床版厚: 20cm

計測結果の比較

※計測結果

■データ取得手段(移動手段): 台車、徒歩 ■移動距離: 台車5m、徒歩5m(4分割で計測)

床版調査結果



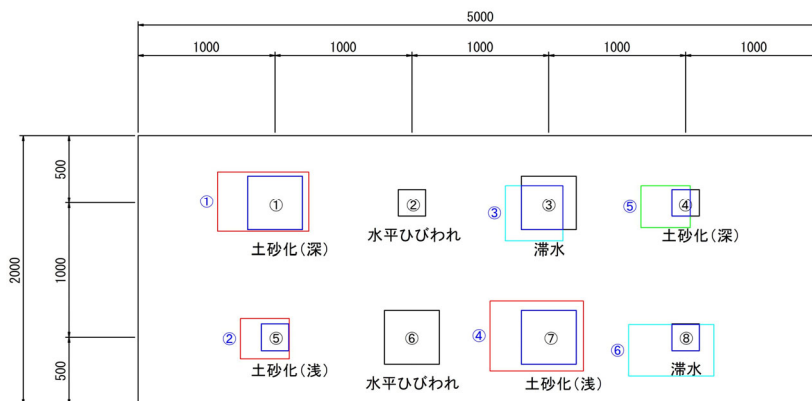
計測値 (誤検出含む)

	面積 (㎡)	損傷区分
①	0.296	深層土砂化
②	0.107	かぶり土砂化
③	0.173	床版下(床版上面) 滞水
④	0.358	かぶり土砂化
⑤	0.113	水平ひびわれ
⑥	0.236	床版下(床版上面) 滞水
Σ	1.285	(C)

正解損傷面積

	面積 (㎡)	損傷区分
①	0.160	土砂化(深)
②	0.000	水平ひびわれ
③	0.100	滞水
④	0.027	土砂化(深)
⑤	0.040	土砂化(浅)
⑥	0.000	水平ひびわれ
⑦	0.160	土砂化(浅)
⑧	0.039	滞水
Σ	0.526	(A)

真値との比較合わせ図



真値(正解値)

	面積 (㎡)	損傷区分
①	0.160	土砂化(深)
②	0.040	水平ひびわれ
③	0.160	滞水
④	0.040	土砂化(深)
⑤	0.040	土砂化(浅)
⑥	0.160	水平ひびわれ
⑦	0.160	土砂化(浅)
⑧	0.040	滞水
Σ	0.800	(B)

検出率=66%(当該技術で検出した正解損傷面積:A/正解損傷面積:B)

的中率=41%(当該技術で検出した正解損傷面積:A/当該技術で検出した損傷面積(誤検出含む):C)



## ※計測結果

## 損傷区分別

## ・土砂化(深)

検出率=80%(当該技術で検出した正解損傷面積/正解損傷面積)

的中率=54%(当該技術で検出した正解損傷面積/当該技術で検出した損傷面積(誤検出含む))

## ・土砂化(浅)

検出率=100%

的中率=43%

## ・滞水

検出率=70%

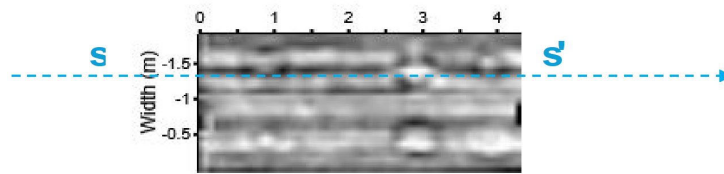
的中率=34%

## ・水平ひびわれ

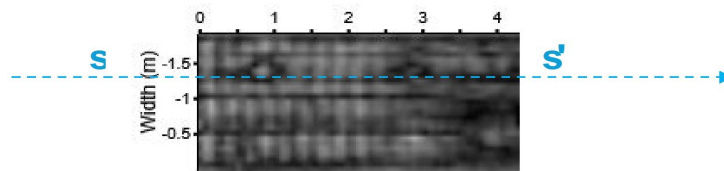
検出率=0%

的中率=0%

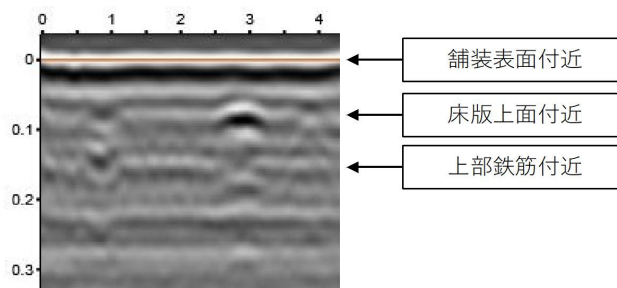
床版上面付近の電磁波平面画像



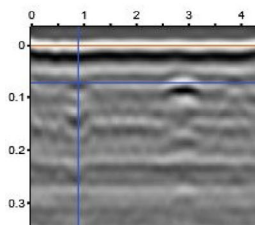
上部鉄筋付近の電磁波平面画像



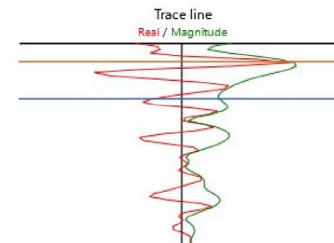
s-s'ラインの電磁波縦断画像



s1の電磁波縦断画像 (s-s')



s1の電磁波波形

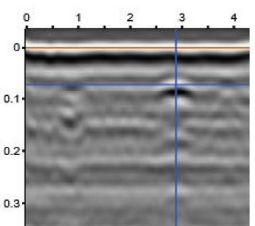


○s1の推定について

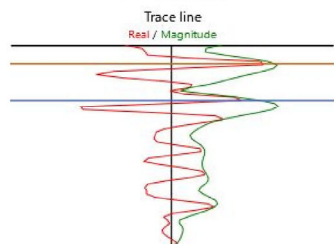
推定結果：D（深層土砂化）

理由：健全部の上部鉄筋の電磁波波形と比較して、s1の上部鉄筋の電磁波波形が消失している。また、s1の床版上面の電磁波波形も一様ではない。

s2の電磁波縦断画像 (s-s')



s2の電磁波波形

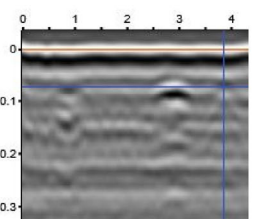


○s2の推定について

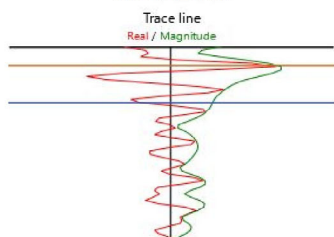
推定結果：A（舗装下（床版上面）滞水）

理由：健全部の上部鉄筋の電磁波波形と比較して、s2の上部鉄筋の電磁波波形が消失している。また、s2の床版上面の電磁波波形の反射強度が相対的に高い。

s3の電磁波縦断画像 (s-s')



s3の電磁波波形



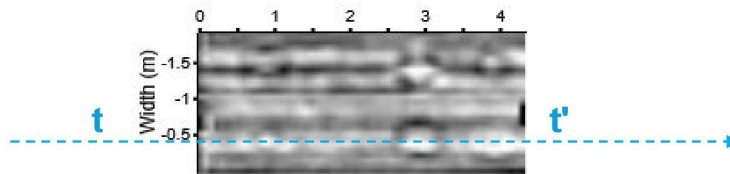
○s3の推定について

推定結果：B（水平ひびわれ）

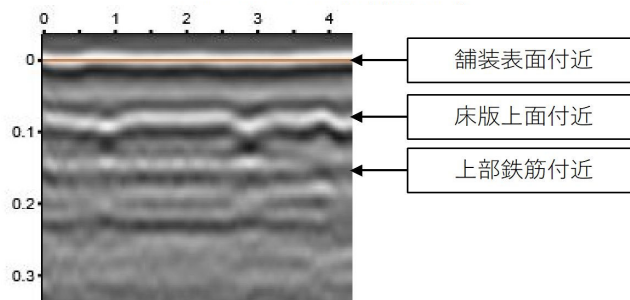
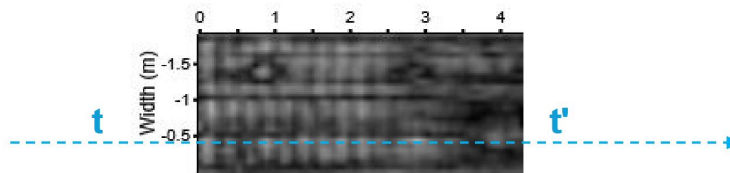
理由：健全部の上部鉄筋の電磁波波形と比較して、s3の上部鉄筋の電磁波波形が相対的に不明瞭である。また、床版上面の反射強度が相対的に低い。

## ※計測結果

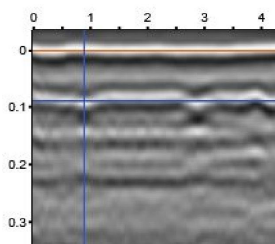
床版上面付近の電磁波平面画像



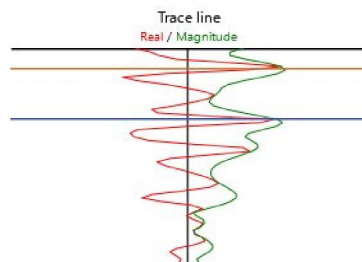
上部鉄筋付近の電磁波平面画像



t1の電磁波縦断画像 (t-t')



t1の電磁波波形

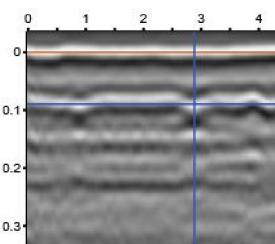


○t1の推定について

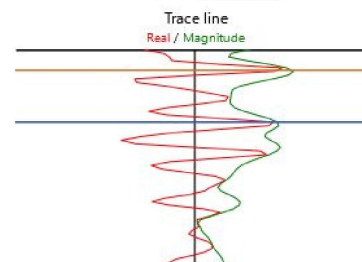
推定結果：C (かぶり土砂化)

理由：健全部の上部鉄筋の電磁波波形と比較して、t1の上部鉄筋の電磁波波形が相対的に不明瞭である。

t2の電磁波縦断画像 (t-t')



t2の電磁波波形

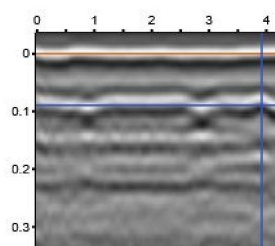


○t2の推定について

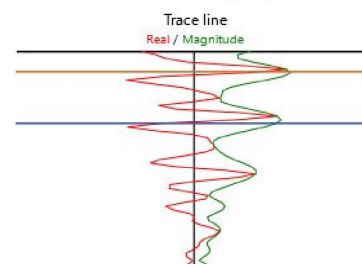
推定結果：C (かぶり土砂化)

理由：健全部の上部鉄筋の電磁波波形と比較して、t2の上部鉄筋の電磁波波形が相対的に不明瞭である。

t3の電磁波縦断画像 (t-t')



t3の電磁波波形



○t3の推定について

推定結果：A (舗装下 (床版上面) 滞水)

理由：健全部の上部鉄筋の電磁波波形と比較して、t3の上部鉄筋の電磁波波形が消失している。また、t3の床版上面の電磁波波形の反射強度が相対的に高い。

技術番号 BR020012

技術名 電磁パルス法を用いた非破壊によるコンクリート中の鉄筋腐食評価

開発者名 株式会社 アミック

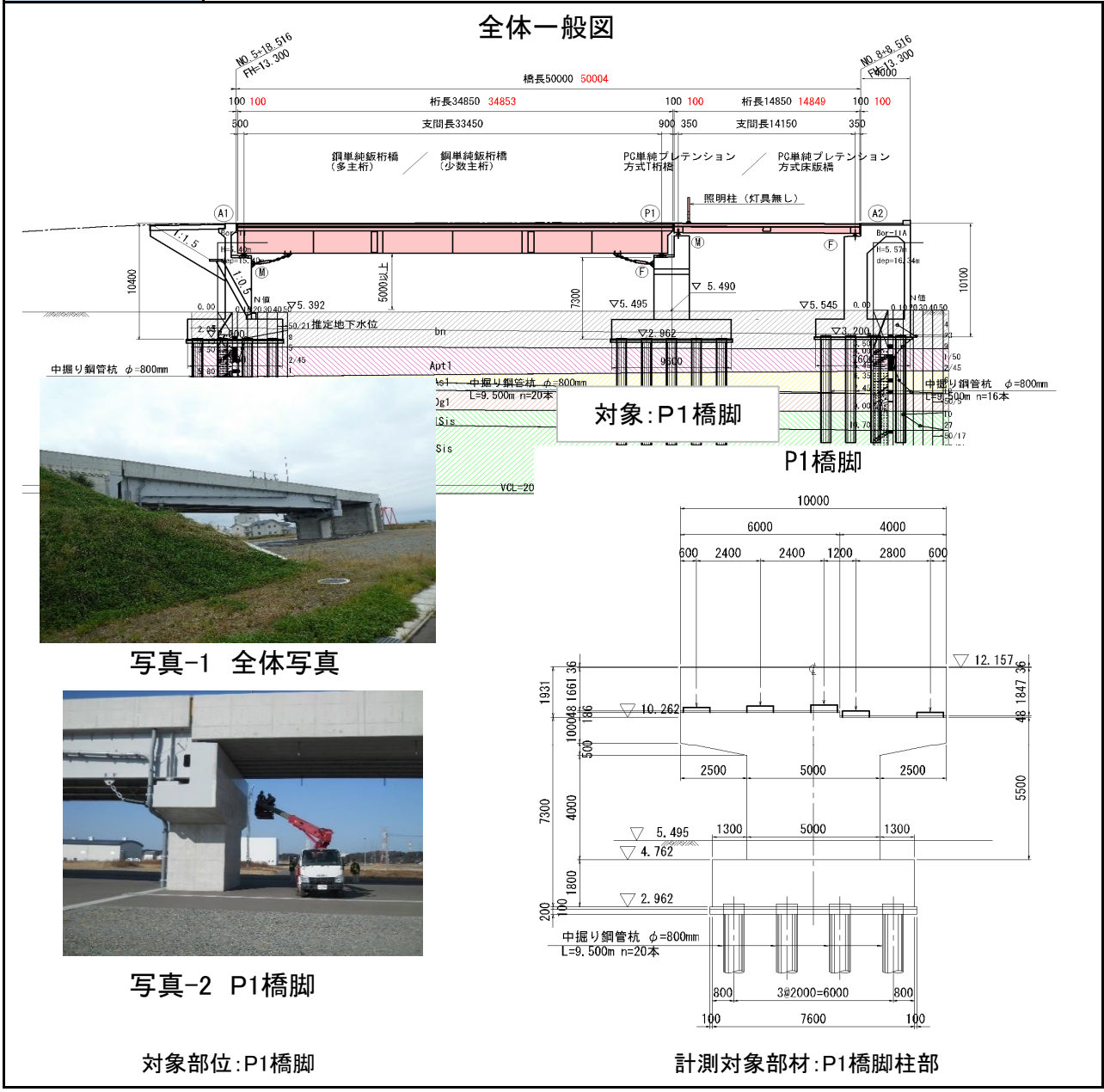
試験日 令和3年 3月 24日 天候 晴れ 気温 20.0 °C 風速 8.6 m/s

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 検出項目 腐食 試験区分 現場試験

試験で確認する  
カタログ項目 動作確認(精度以外)

対象構造物の概要



試験方法(手順)	技術番号	BR020012
①	計測器の搬入(写真-3:RCLレーダー、コイルユニット等)	
②	測定箇所のマーキング及びRCLレーザーを用いて鉄筋探査で配筋位置を確認(写真-4)	
③	計測状況(写真-5)	
④	計測結果をPCのモニターで確認する。(写真-6)	
⑤	後日、測定結果から鉄筋の腐食状態を評価する。	

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



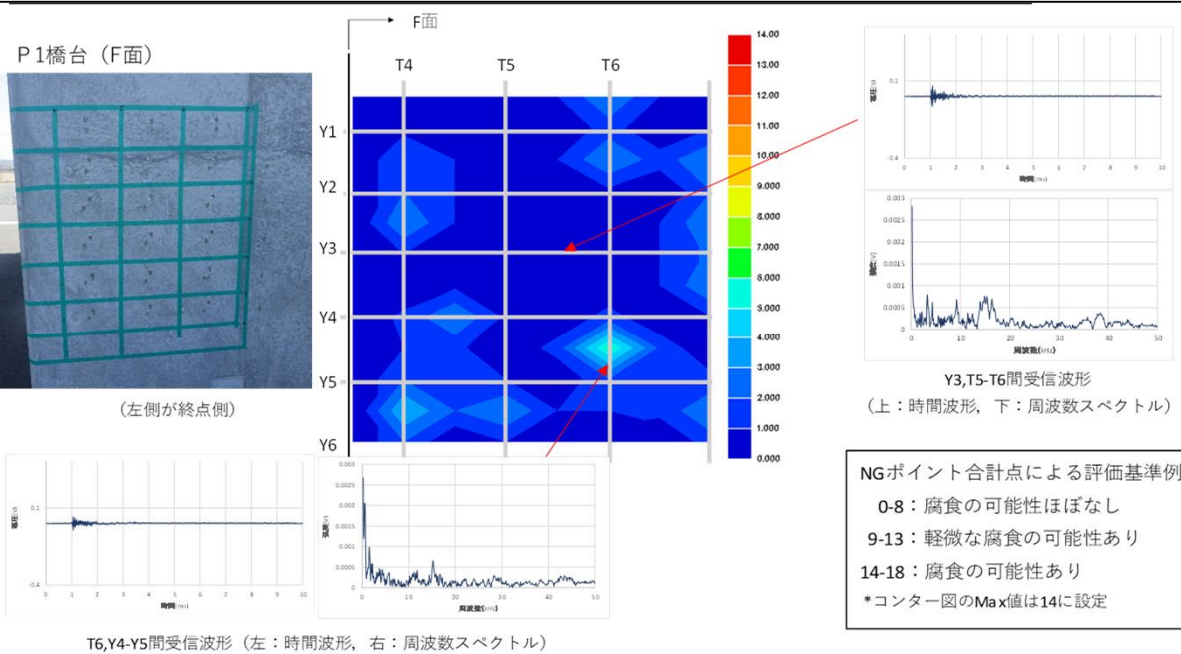
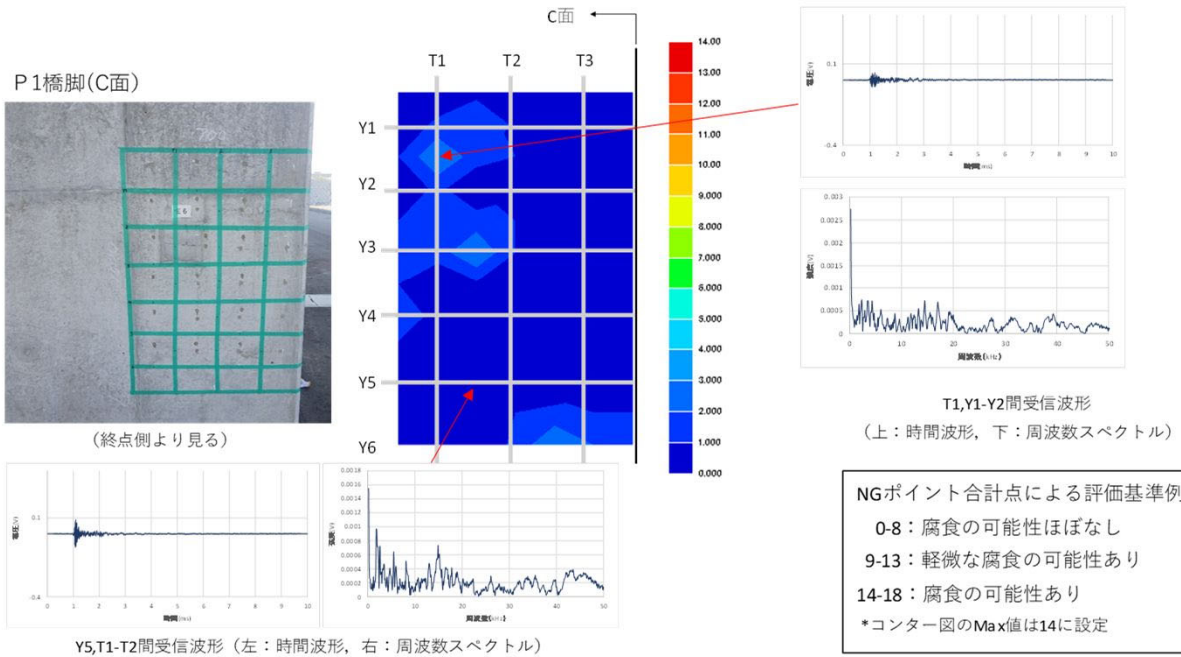


検証日：3月24日（水）

検証現場：福島RFT

径間：第1径間

P1橋脚柱部



※上記のコンター図で示したNGポイント評価は鉄筋からの受信波形と仮定して評価したものである。この場合腐食の可能性はほぼない。

技術番号 BR020012

技術名 電磁パルス法を用いた非破壊によるコンクリート中の鉄筋腐食評価 開発者名 株式会社 アミック

試験日 平成30年3月7日 天候 曇り 気温 8.0 °C 風速 - m/s

試験場所 東京都内某隧道、掘割部擁壁

カタログ分類 非破壊検査技術 検出項目 腐食 試験区分 -

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

全体一般図

調査対象の概要  
 名称: 某隧道  
 対象物: 掘割部擁壁

写真-1 全体写真

試験方法(手順)	技術番号	BR020012
① 計測器の搬入(RCLレーダー、コイルユニット等)		
② 測定箇所のマーキング及びRCLレーダーを用いて配筋位置を確認(写真-2)		
③ 測定状況(写真-3)		
④ 測定結果をPCのモニターで確認する(写真-4)		
⑤ 後日、測定結果から鉄筋の腐食状況を評価する。		

開発者による計測機器の設置状況

写真-2 配筋位置の確認

写真-3 測定状況

写真-4 測定状況(結果表示部)

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 測定部はつり調査状況

写真-6 擁壁①はつり後状況

写真-7 擁壁②はつり後状況

写真-8 擁壁③はつり後状況

写真-9 擁壁④はつり後状況

写真-10 擁壁⑤はつり後状況

※測定部をはつり出した後の鉄筋状況を目視検査し結果を正解とし比較する

※1.電磁パルス法による腐食程度の測定結果と各測定箇所のはつり後鉄筋腐食状況結果とを比較する。

## 1. 電磁パルス法による腐食程度の測定結果

### 1.1 測定方法

全頁、「試験方法(手順)」に従って各測定箇所の電磁パルス法による波形データを採取する。装置構成図を図-1に各測定箇所のデータ採取位置を図-2に示す。

性能を確保するための条件

- ・計測前にあらかじめコンクリート内部の鉄筋の配筋状況、かぶり厚さを測定しておく。測定範囲内を電磁波レーダー法等により配筋状況をマーキングし、電磁誘導法にて測定箇所の鉄筋かぶり厚さを測定する。
- ・かぶり厚さが60mm以下の場合適用可能である。
- ・センサはコンクリート中に伝搬する弾性波を受信するためにコンクリートとセンサ間にカップリング材(グリセリンペースト)を塗布しコンクリートと密着させる必要がある。また、コンクリートの凹凸による影響を受けないよう対策する必要がある。
- ・鉄筋に同じ衝撃を与え弾性波を発生させるため、電磁パルス装置の出力が一定になるよう確認し鉄筋にパルス磁場を印加する。
- ・適切な弾性波を受信できるようにA/D変換装置の分解能、測定レンジを適切に設定する必要がある。

本試験の条件

- ・かぶり60mm以下の鉄筋に対して適用
- ・センサ接触部を砥石にて平滑に研削しグリセリンペーストを塗布
- ・電磁パルス装置の励磁コイル印加モニターの電圧値が $30V \pm 1V$ の範囲内にあることを確認
- ・AD変換装置分解能10MHz/s、測定レンジ10ms

### 1.2 データ処理及び評価指標の算出

測定から判定までの流れを図-3に示す。

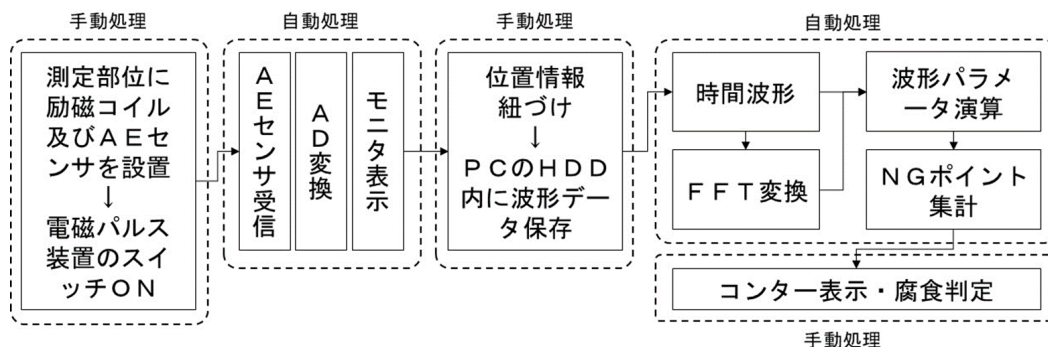


図-3 測定から判定までの流れ

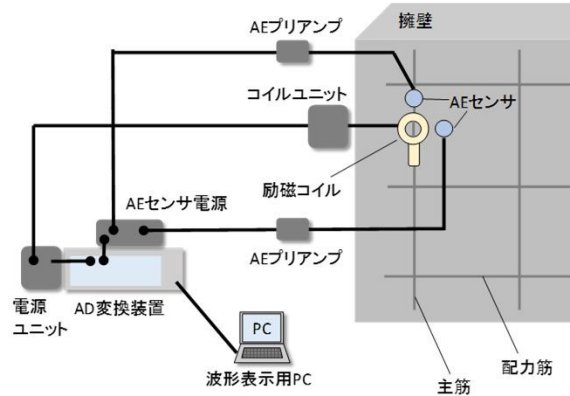


図-1 装置構成

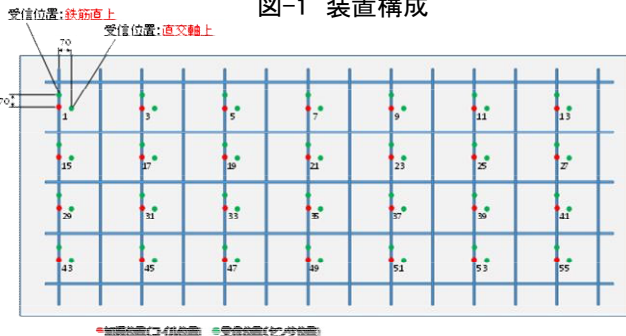


図-2 各測定箇所のデータ採取位置



図-3に示す、波形パラメータ演算部とNGポイントについて以下に説明する。

波形パラメータ演算は以下6つの評価指標値を指し、受信波形(周波数スペクトル含む)の特徴を以下(a)-(f)毎に数値化したものである。

- (a)波形エネルギー: 時間軸波形の二乗和  $\sum y^2$
- (b)波形継続時間: 時間軸波形の最大振幅に対して10%未満に減衰するまでの時間
- (c)第1ピーク周波数: スペクトルのピークレベルTop3の第1ピーク
- (d)SL/SH: 0~5kHzのスペクトル積算/5.1~50kHzのスペクトル積算
- (e)重心周波数: スペクトルの0(kHz)~10(kHz)における重心周波数
- (f)相関係数: 各測定箇所のスペクトル平均値に対する各測定箇所の相関係数

採取した受信波形(周波数スペクトル含む)はその特徴を表す6つの評価指標によって数値化される。各評価指標のばらつきを基に表-1に示す評価境界値を設定する。本試験では(a)(b)(d)(f)の評価指標にて優位な差が認められたため、4つの評価指標に対して評価境界値を設定した。評価境界値とはNGポイントが付与される基準である。

評価境界値を外れればポイントが付与され、大きく外れるほどポイントが高くなるように算出する。このポイントのことをNGポイントという。また、各評価指標のNGポイントを合計したものをNGポイント合計点という。言い換えると、受信波形の形状が測定範囲内の平均値より異なる程、NGポイントが付与される。

NGポイント合計点による腐食判定基準を表-2に示す。判定基準の色分けを基に、各測定箇所毎に腐食評価結果をカウンター図で表す。(図4-8)

この結果と、はつり後の目視による鉄筋腐食状況を比較し計測制度の比較を行った。目視による鉄筋腐食の評価基準を表-3に示す(出典:コンクリート診断技術'18,(公社)日本コンクリート工学会,p190)結果を図-4~図-8に示す。

図中に示す「検出率」は目視で確認された腐食の内、電磁パルス法による評価結果で腐食ありと判定されたものの比率を示し、「正解率」は電磁パルス法による評価結果で腐食ありと判定されたもの内、目視で確認された腐食ありの比率である。また、測定箇所5か所の「検出率」と「正解率」をまとめたものを表-4、表-5に示す。

本試験における、電磁パルス法の「検出率」は14/37(37.8%)、「正解率」は14/20(70%)であった。

表-1 評価境界値

評価指標名称	受信箇所	評価境界値
波形エネルギー	鉄筋直上	10超
	直交軸上	4超
波形継続時間	鉄筋直上	3超
	直交軸上	4超
SL/SH	鉄筋直上	15超
	直交軸上	10超
スペクトル相関係数	鉄筋直上	0.5未満
	直交軸上	0.5未満

表-2 電磁パルス法腐食評価基準

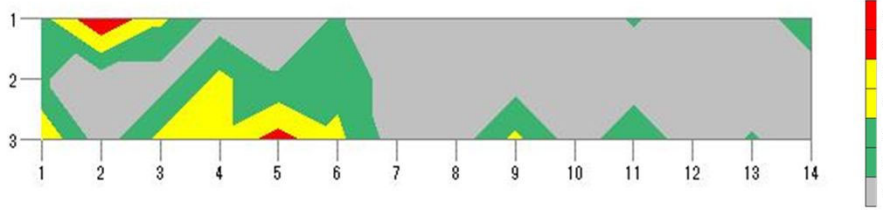
セル色	NGポイント合計点	推定腐食度合い
グレー	0	なし
緑	1-2	小
黄	3-4	中
赤	>5	大

表-3 目視による鉄筋腐食の評価基準

鉄筋腐食度	鉄筋の状態
I	黒皮の状態、または錆は生じていないか全体に薄い綿密な錆であり、コンクリート面に錆が付着していることはない。
II	部分的に浮き錆があるか、小面積の斑点状態である。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の周囲または全長にわたって浮き錆が生じている。
IV	断面欠損を生じている。



電磁パルス法腐食評価結果（コンター図）



非破壊・微破壊検査による鉄筋腐食の評価結果と目視による鉄筋腐食度の比較

測定場所：擁壁  
測定箇所：①

鉄筋腐食度 主筋 分極抵抗  
iCOR 自然電位  
電磁パルス

測定実施→腐食なし  
破線の枠のみ

測定行わず  
枠なし

分類	測定機器	評価内容	小	中	大	検出率	的中率
非破壊	iCOR	腐食速度	○	○	●	1/8	1/2
	電磁パルス	腐食程度	□	⊗	■	7/8	7/10
微破壊	分極抵抗	腐食速度	○	○	●	0/3	0/0
	自然電位 <sup>1)</sup>	腐食程度	□	⊗	■	1/8	1/4
破壊	目視調査	腐食状況	II	III	IV		

注1) 自然電位は-0.5<E≤-0.35を(中)、E≤-0.5Vを(大)とする。

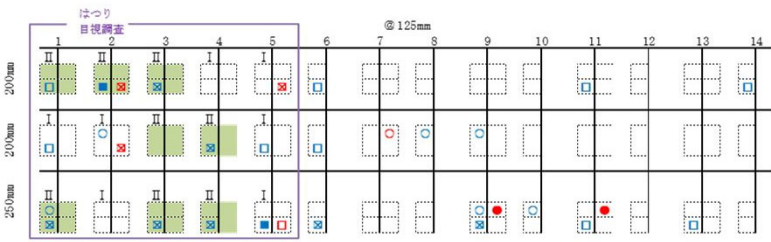
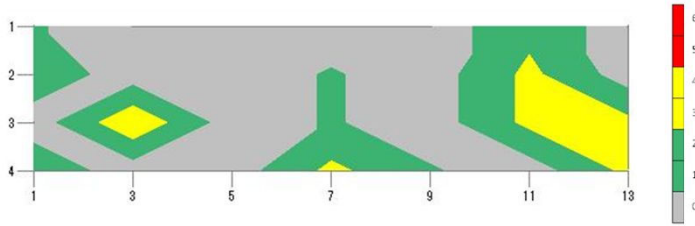


図-4 擁壁①評価結果

電磁パルス法腐食評価結果（コンター図）



非破壊・微破壊検査による鉄筋腐食の評価結果と目視による鉄筋腐食度の比較

測定場所：擁壁  
測定箇所：②

鉄筋腐食度 主筋 分極抵抗  
iCOR 自然電位  
電磁パルス

測定実施→腐食なし  
破線の枠のみ

測定行わず  
枠なし

分類	測定機器	評価内容	小	中	大	検出率	的中率
非破壊	iCOR	腐食速度	○	○	●	1/7	1/2
	電磁パルス	腐食程度	□	⊗	■	1/7	1/1
微破壊	分極抵抗	腐食速度	○	○	●	0/7	0/0
	自然電位 <sup>1)</sup>	腐食程度	□	⊗	■	1/7	1/1
破壊	目視調査	腐食状況	II	III	IV		

注1) 自然電位は-0.5<E≤-0.35を(中)、E≤-0.5Vを(大)とする。

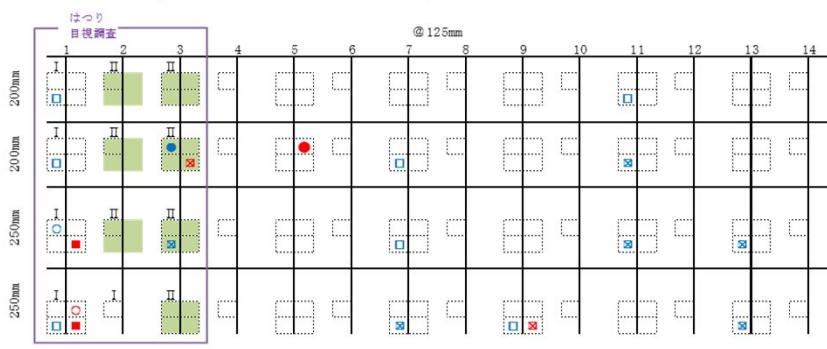
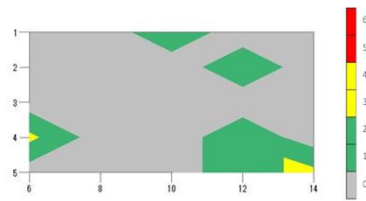


図-5 擁壁②評価結果

電磁パルス法腐食評価結果（コンター図）



非破壊・微破壊検査による鉄筋腐食の評価結果と目視による鉄筋腐食度の比較

測定場所：擁壁  
測定箇所：③

分類	測定機器	評価内容	小	中	大	検出率	的中率
非破壊	ICOR	腐食速度	○	◎	●	2/6	2/2
	電磁パルス	腐食程度	□	◎	■	1/6	1/1
微破壊	分種抵抗	腐食程度	○	◎	●	0/6	0/0
	自然電位 <sup>1)</sup>	腐食程度	□	◎	■	1/6	1/1
従来	目視調査	腐食状況	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ		

注1) 自然電位は-0.5<E<sub>sc</sub>-0.35を(中)、E<sub>sc</sub>-0.5Vを(大)とする。

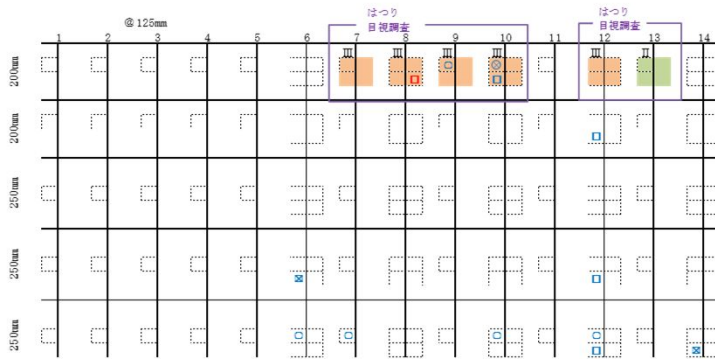
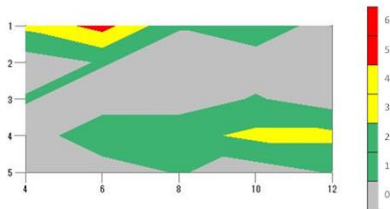


図-6 擁壁③評価結果

電磁パルス法腐食評価結果（コンター図）



非破壊・微破壊検査による鉄筋腐食の評価結果と目視による鉄筋腐食度の比較

測定場所：擁壁  
測定箇所：④

分類	測定機器	評価内容	小	中	大	検出率	的中率
非破壊	ICOR	腐食速度	○	◎	●	0/7	0/0
	電磁パルス	腐食程度	□	◎	■	3/7	3/3
微破壊	分種抵抗	腐食程度	○	◎	●	0/7	0/0
	自然電位 <sup>1)</sup>	腐食程度	□	◎	■	0/7	0/0
従来	目視調査	腐食状況	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ		

注1) 自然電位は-0.5<E<sub>sc</sub>-0.35を(中)、E<sub>sc</sub>-0.5Vを(大)とする。

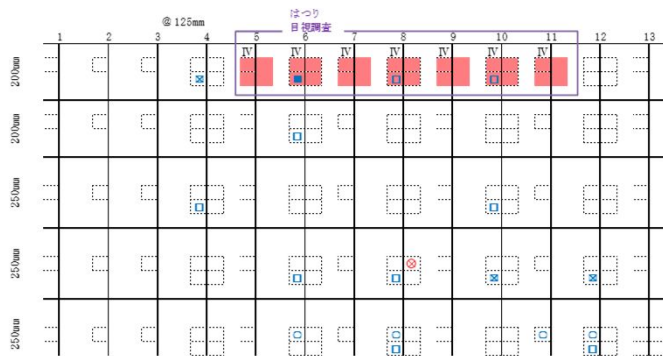
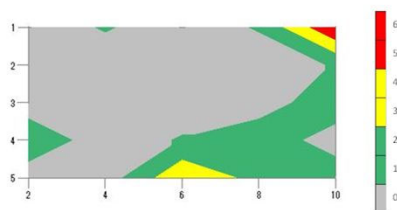


図-7 擁壁④評価結果

電磁パルス法腐食評価結果（コンター図）



非破壊・微破壊検査による鉄筋腐食の評価結果と目視による鉄筋腐食度の比較

測定場所：擁壁		分類	測定機器	評価内容	小	中	大	検出率	的中率
測定箇所：⑤		非破壊	iCOR	腐食速度	○	◎	●	0/9	0/0
		微破壊	電磁パルス	腐食速度	□	◎	●	2/9	2/2
			分極抵抗	腐食速度	□	◎	●	0/9	0/0
			自然電位 <sup>(注)</sup>	腐食速度	□	◎	●	2/9	2/2
		破壊	目視調査	腐食状況	II	III	IV		

注1) 自然電位は $-0.5 < E_{sc} < -0.85$  (中)、 $E_{sc} < -0.91$  (大) とする。

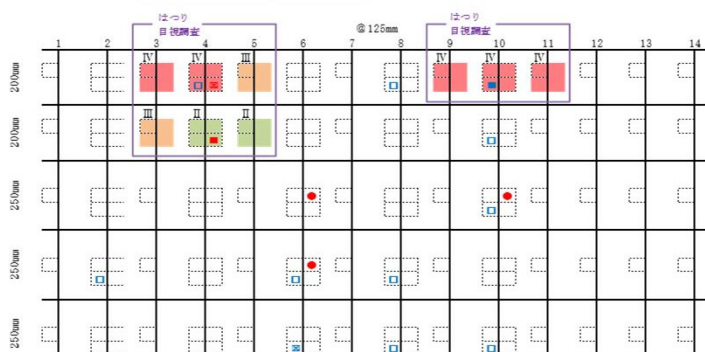


図-8 擁壁⑤評価結果

表-4 電磁パルス法による鉄筋腐食の評価結果と「検出率」の比

判定結果	測定機器	目視による鉄筋腐食度調査結果					検出率
		擁壁①	擁壁②	擁壁③	擁壁④	擁壁⑤	
		腐食有	腐食有	腐食有	腐食有	腐食有	
腐食有	iCOR	1/8	1/7	2/6	0/7	0/9	4/37
	電磁パルス	7/8	1/7	1/6	3/7	2/9	14/37
	分極抵抗	0/8	0/7	0/6	0/7	0/9	0/37
	自然電位	1/8	1/7	1/6	0/7	2/9	5/37

検出率：目視で確認された腐食の内、その手法で腐食と判定されたものの。

表-5 電磁パルス法による鉄筋腐食の評価結果と「的中率」の。

判定結果	測定機器	目視による鉄筋腐食度調査結果					的中率
		擁壁①	擁壁②	擁壁③	擁壁④	擁壁⑤	
		腐食有	腐食有	腐食有	腐食有	腐食有	
腐食有	iCOR	1/2	1/2	2/2	0/0	0/0	4/6
	電磁パルス	7/10	1/4	1/1	3/3	2/2	14/20
	分極抵抗	0/0	0/1	0/0	0/0	0/0	0/1
	自然電位	1/4	1/3	1/1	0/0	2/2	5/10

的中率：その手法で腐食ありと判定されたものの内、目視で確認された腐食あり

技術番号	BR020013
------	----------

技術名	渦流探傷法によるケーブル腐食(亜鉛めっき消耗率)の検査	開発者名	神鋼鋼線工業株式会社
-----	-----------------------------	------	------------

試験日	令和3年 4 月 8 日	天候	晴れ	気温	17.8 °C	風速	2.4 m/s
-----	--------------	----	----	----	---------	----	---------

試験場所	実橋
------	----

カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ		検出項目	腐食	試験区分	-
--------	---------	------	--	------	----	------	---

試験で確認する カタログ項目	狭小進入可能性能 計測速度
-------------------	------------------

対象構造物の概要

橋梁形式: 3径間連続斜張橋(箱桁橋)

橋長: 261m、支間長: 150.3+75.0+34.4m

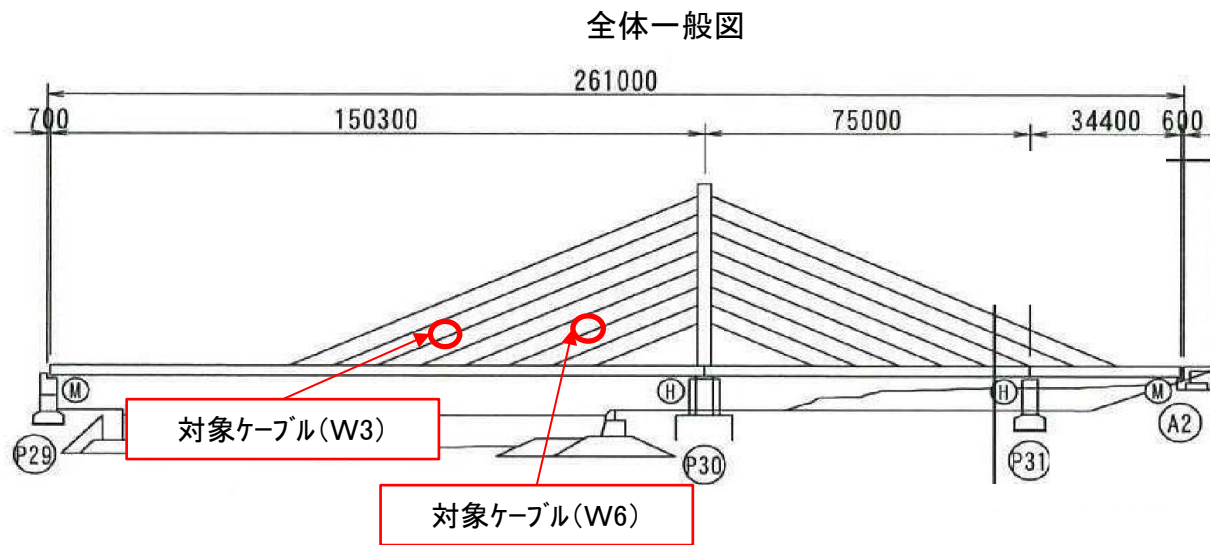


写真-1 全体写真



対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブル(W5, W6)



- ① 計測機器の搬入: 探傷器、制御・記録用ノートPC等(写真-2)
- ② 探傷器、分割開閉機能付き貫通センサーの確認(写真-3)、取付確認(写真-4)
- ③ 計測作業: 計測器をケーブルに沿って自由落下させる。(写真-5)
- ④ 計測状況: 計測器がケーブルに沿って落下しながら計測する。(写真-6)、撤去状況(写真-7)
- ⑤ 後日、計測したデータから腐食の有無等を評価する。

開発者による計測機器の設置状況

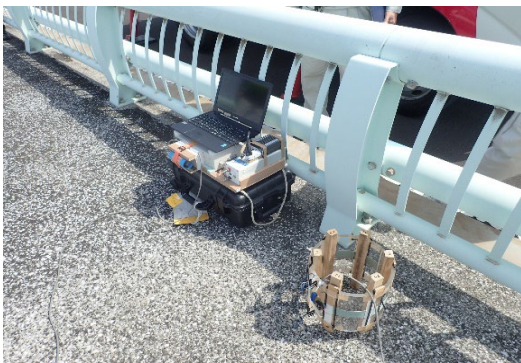


写真-2



写真-3



写真-4



写真-5



写真-6

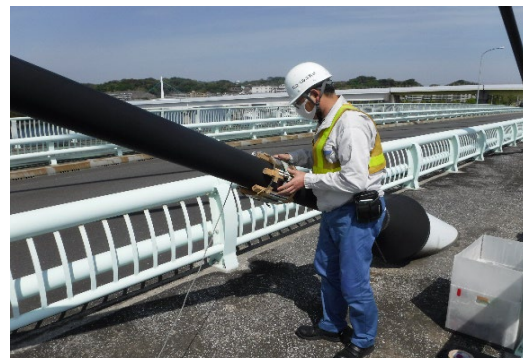
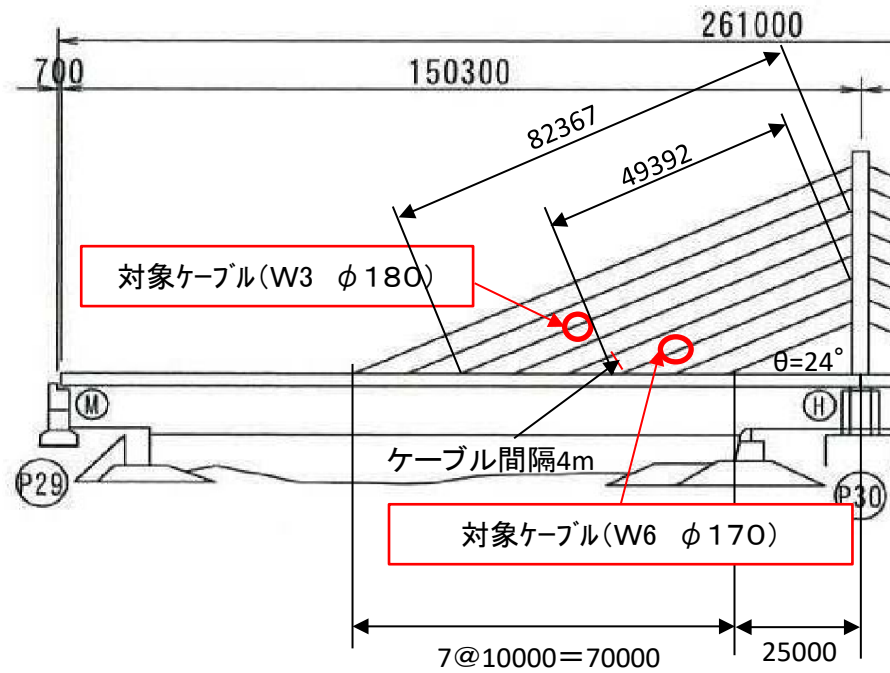


写真-7



※計測結果



狭小進入可能性能  
柴航路橋のケーブル間隔4mにおいて、計測を実施

撮影速度  
対象ケーブル(W6)(ケーブル長35m)を計測するまでの時間(設置位置高さ7.5mの計測時間)

※計測結果(狭小進入可能性能)



ケーブル間隔4mを確認

※計測結果(撮影速度)

W6: ケーブル長(m) / 撮影時間(s) = 35 / 30 = 1.2m/s

技術番号 BR020013

技術名 渦流探傷法によるケーブル腐食(亜鉛めっき消耗率)の検査 開発者名 神鋼鋼線工業株式会社

試験日 令和3年 4 月 22 日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 分析センター

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 腐食 試験区分 -

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

※めっき消耗模擬試験体

No.	めっき線	裸鋼線	一部 50% 減肉線	めっき 消耗率(%)	断面欠損(%)	センサー 直径(mm)
Test 1	19	0	0	0	0 (19 本基準)	80
Test 2	15	4	0	21	0 (19 本基準)	80
Test 3	0	13	0	100	32 (19 本基準)	80
Test 4	0	19	0	100	0 (19 本基準)	80
Test 5	7	0	12	63	32 (19 本基準)	80
Test 6	10	9	0	47	0 (19 本基準)	80
Test 7	37	0	0	0	0 (37 本基準)	80
Test 8	0	37	0	100	0 (37 本基準)	80
Test 9	37	0	0	0	0 (37 本基準)	150
Test 10	0	37	0	100	0 (37 本基準)	150
Test 11	30	7	0	19	0 (37 本基準)	80
Test 12	30	7	0	19	0 (37 本基準)	150

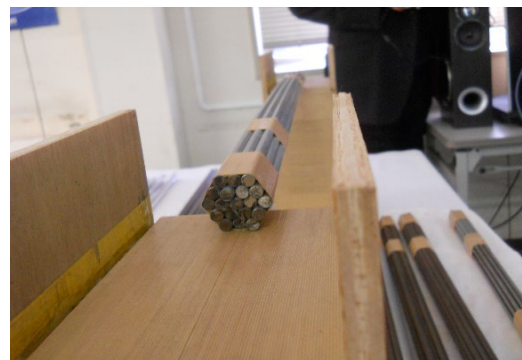


写真-1 模擬試験体

- ① 測定機器の搬入(写真-2)
- ② 模擬試験体の設置(写真-3)
- ③ センサの設置(写真-4)
- ④ 計測状況(写真-5,6,7)
- ⑤ 後日、計測結果から腐食を確認する。

開発者による計測機器の設置状況

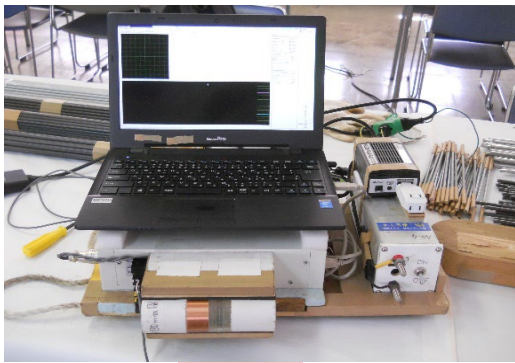


写真-2



写真-3

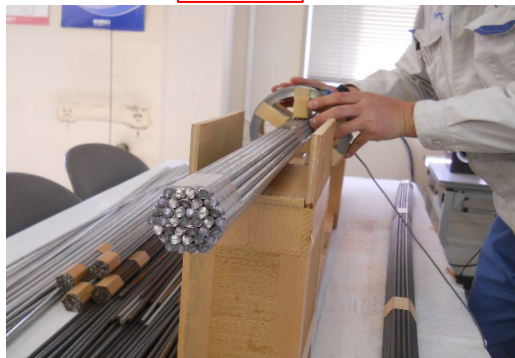


写真-4



写真-5



写真-6



写真-7





写真-8: 模擬試験体

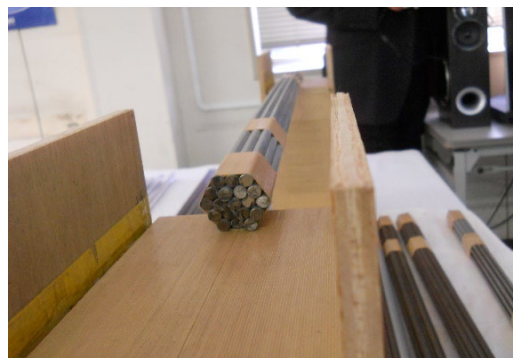


写真-9: 模擬試験体

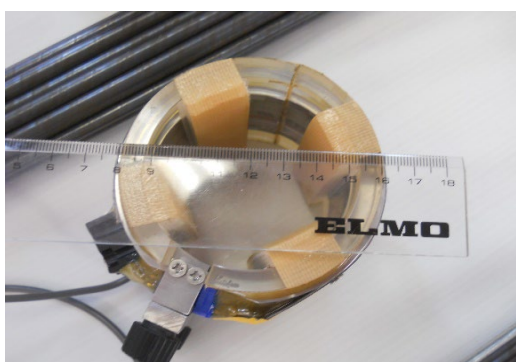


写真-10: センサ(直径80mm)



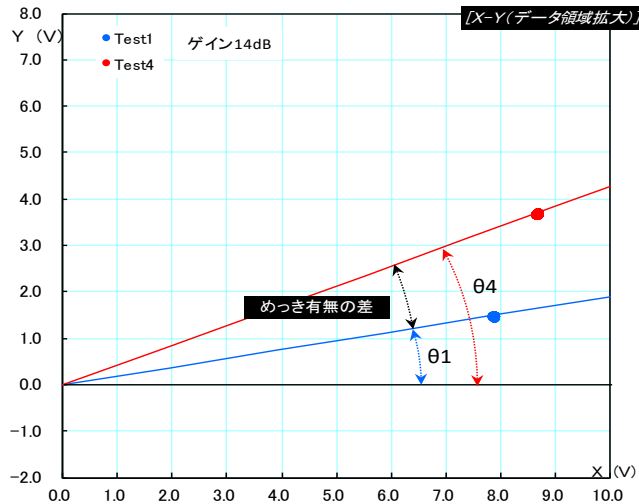
写真-11: センサ(直径150mm)



## ※計測結果

## (1)めっき消耗量(19本試験体)

めっき消耗量が位相角に比例すると仮定し、Test1、Test4の結果を基準として、Test2(真値21%)、Test6(真値47%)のめっき消耗量を評価した結果を示す。消耗量評価はそれぞれ29.9%と54.5%であった。(下図参照)



## めっき量とECT信号の関係

Test1:健全品(めっき消耗0%)の信号

[新品めっき素線19本束]

Test4:裸素線束(めっき消耗100%)の信号

[裸素線19本束]

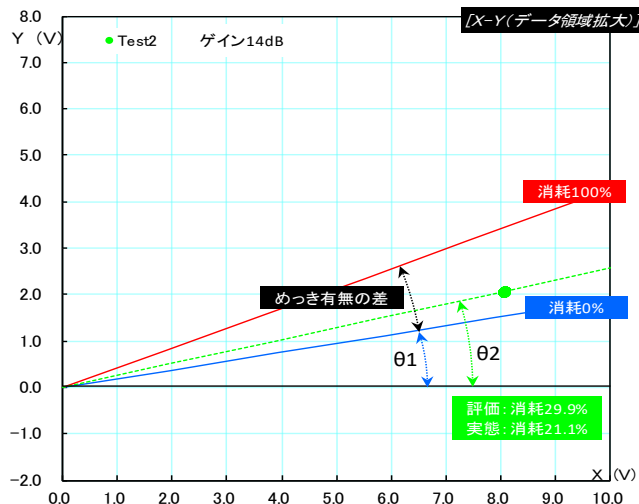
原点(0点)を中心としたときの信号の角度(位相角)により、垂鉛めっきの量を表すことが出来る。

## 事例データ

新品めっき19本束  $\theta_1$  10.719°

裸素線19本束  $\theta_4$  23.110°

差分  $\theta_4 - \theta_1$  12.391°



## めっき消耗度の評価要領(事例①)

Test2:めっき消耗度約21%を再現した

試験体の信号

[新品めっき素線15本+裸素線4本の束、めっき消耗度21.1%に相当]

原点(0点)を中心としたときの信号の角度(位相角)により、垂鉛めっきの量を表すことが出来る。

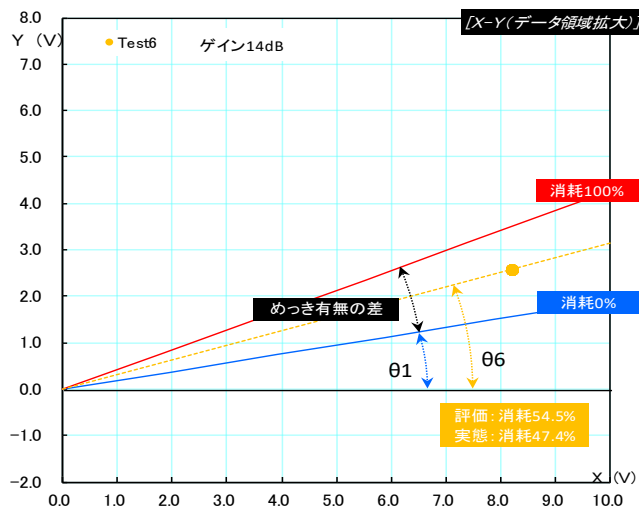
## 事例データ

新品15本+裸4本  $\theta_2$  14.428°

健全品との差  $\theta_2 - \theta_1$  3.709°

めっき消耗度  $3.709 \div 12.391 \times 100 = 29.9\%$

評価値と実態との乖離 +8.8%



## めっき消耗度の評価要領(事例②)

Test6:めっき消耗度約47%を再現した

試験体の信号

[新品めっき素線10本+裸素線9本の束(めっき消耗度47.4%に相当)]

## 事例データ

新品10本+裸9本  $\theta_6$  17.470°

健全品との差  $\theta_6 - \theta_1$  6.751°

めっき消耗度  $6.751 \div 12.391 \times 100 = 54.5\%$

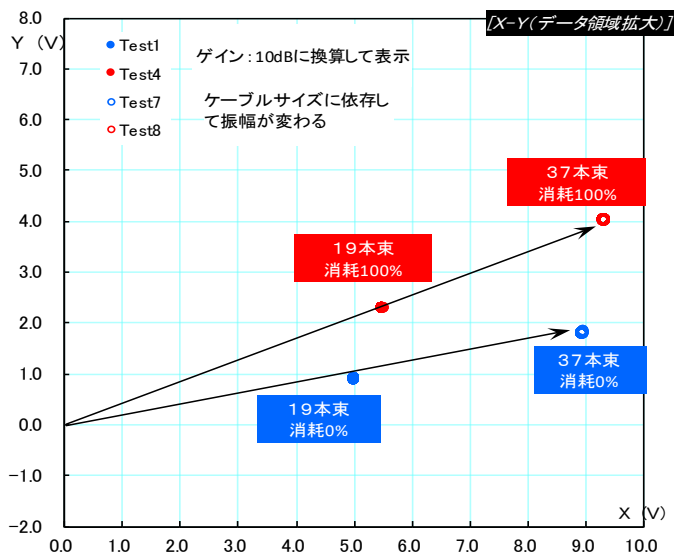
評価値と実態との乖離 +7.1%

## (2) ケーブルサイズの影響

ケーブルサイズ(素線数)を変えた場合の信号を示す。(Test1とTest7の比較、Test4とTest8の比較)

原点からの距離(振幅)はケーブルサイズによって大きく変わるので、対象に適した測定条件の調整が必要である。信号が小さいと精度が低下し、測定中の位相角の判定も難しいため、実際の測定の際には、測定値がフルスケール10Vの80~90%程度になるようにゲインを調整する。

位相角は素線19本と素線37本の違いは小さいが、実際のケーブルサイズは外径40mm以下から1000mm以上と26倍以上の違いがあり、ケーブルサイズが大きく変わる場合は、位相角も一定ではない。但し、めっき消耗によって位相角が反時計回りに変化するという関係は変わらないため、各ケーブルサイズのデータベース化によりめっき消耗量の評価は可能である。(下図参照)



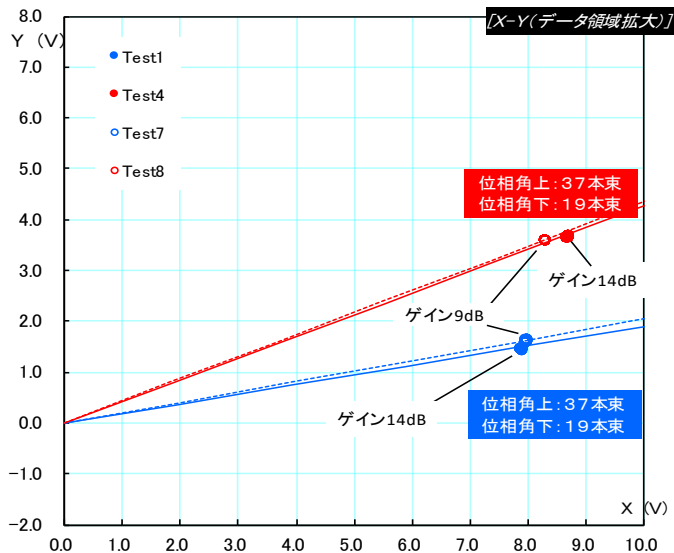
## ケーブルサイズとECT信号(振幅)の関係

Test1: 健全品(めっき素線19本束)の信号  
Test4: 裸素線19束の信号  
Test7: 健全品(めっき素線37本束)の信号  
Test8: 裸素線37束の信号

左図は、ケーブルサイズと原点からの距離(振幅)の関係を確認できるよう測定感度(ゲイン)を同一条件に換算して比較を行ったもの。このように、被測定物のポリウム(素線数)に比例して信号強度が大きく変わる。信号が小さいと精度が低下し、測定中の位相角の判定も難しいため、実際の測定の際には、測定値がフルスケール10Vの80~90%程度になるようにゲインを調整する。(実際の測定中のデータは下図に表示)

## 事例データ

19本束 ゲイン14dBを10dBに換算(-4dB)  
37本束 ゲイン9dBを10dBに換算(+1dB)



## ケーブルサイズとECT信号(位相角)の関係

Test1: 健全品(めっき素線19本束)の信号  
Test4: 裸素線19束の信号  
Test7: 健全品(めっき素線37本束)の信号  
Test8: 裸素線37束の信号

ケーブルサイズの違いは位相角にも表れる。左図データはケーブルサイズの差が2倍弱であるが、実用化されているケーブルは25倍以上のサイズ差があるため、実際には大きく変わることも考慮する必要がある。

ただし、健全品の位相角が低く、裸素線の位相角が高いという関係は変わらないため、各条件毎の信号位置のデータベース化により評価可能。

## 事例データ

(19本束 ゲイン14dB、  
37本束 ゲイン9dBで測定)

Test1: 位相角 10.719°  
Test4: 位相角 23.110°  
Test7: 位相角 11.542°  
Test8: 位相角 23.519°

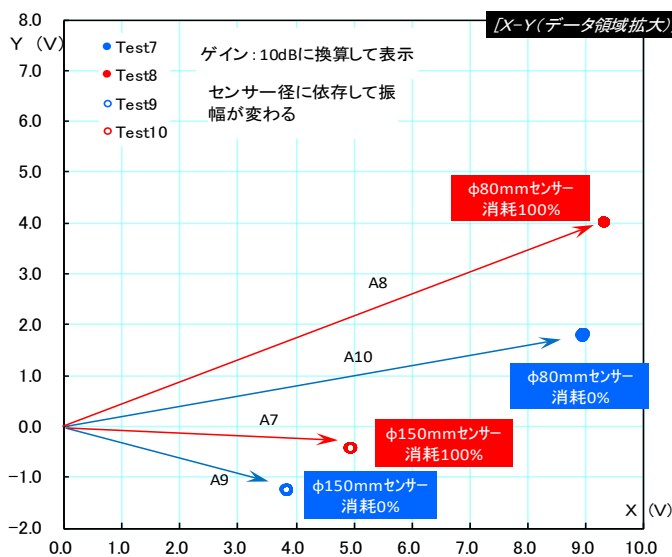
## (3) センサー径の影響

センサー径を変えた場合の信号を示す。

(Test7とTest9の比較、Test9とTest10の比較)

センサー径80mmから150mmに変えると原点からの距離、位相角ともに大きく変化するが、めっき消耗によって位相角が反時計回りに変化するという関係は変わらないため、各センサーのデータベース化によりめっき消耗量の評価は可能である。

(下図参照)



## センサー径とECT信号(振幅)の関係

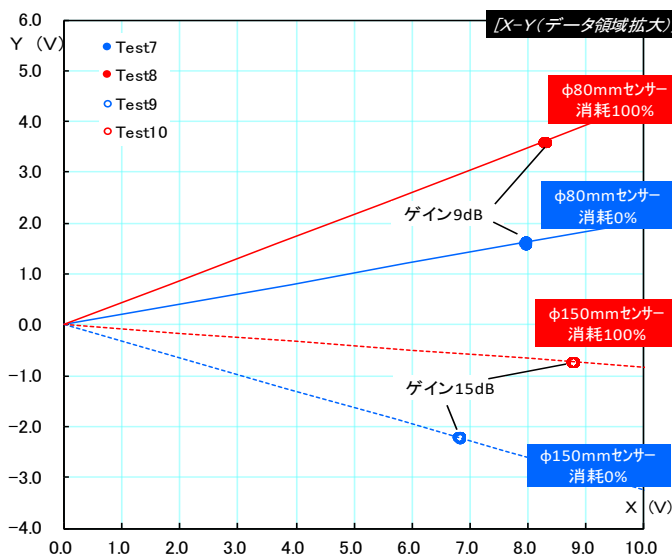
Test7: φ80mmセンサー/健全品の信号  
Test8: φ80mmセンサー/裸素線の信号  
Test9: φ150mmセンサー/健全品の信号  
Test10: φ150mmセンサー/裸素線の信号  
※ 試験体は全て37本束

左図は、同じ条件で比較できるように測定感度(ゲイン)を同一条件に換算して比較を行ったもの。センサーサイズに比例して信号強度が大きく変わる。

信号が小さいと精度が低下し、測定中の位相角の判定も難しいため、実際の測定の際には、測定値がフルスケール10Vの80~90%程度になるようにゲインを調整する。(実際の測定中のデータは下図に表示)

## 事例データ

φ80mmセンサー ゲイン9dBを10dBに換算(+1dB)  
φ150mmセンサー ゲイン15dBを10dBに換算(-5dB)



## センサー径とECT信号(位相角)の関係

Test7: φ80mmセンサー/健全品の信号  
Test8: φ80mmセンサー/裸素線の信号  
Test9: φ150mmセンサー/健全品の信号  
Test10: φ150mmセンサー/裸素線の信号  
※ 試験体は全て37本束

センサーサイズの違いは位相角にも表れる。左図データはセンサーサイズの差が2倍弱であるが、実用化されているセンサーは測定対象に合わせて60mm~300mm/7段階ある。

左図の通りセンサー毎に位相角が大きく変わるものの、健全品の位相角が低く、裸素線の位相角が高いという関係は変わらないため、各条件毎の信号位置のデータベース化により評価可能。

## 事例データ

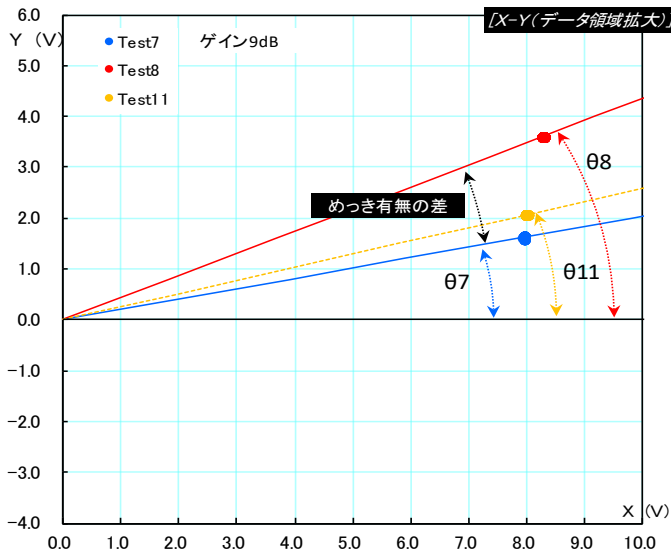
(φ80mmセンサー ゲイン9dB、  
φ150mmセンサー ゲイン15dBで測定)  
Test7: 位相角 11.542°  
Test8: 位相角 23.519°  
Test9: 位相角 -17.989°  
Test10: 位相角 -4.759°

## (4) めっき消耗量(37本試験体、センサー2種類の比較)

Test7、Test8の信号を基準として、Test11(真値19%)のめっき消耗量を評価した結果(φ80mmセンサーによる評価)を示す。

また、Test9、Test10の信号を基準として、Test12(真値19%)のめっき消耗量を評価した結果(φ150mmセンサーによる評価)を示す。

消耗量評価はそれぞれ24.6%と19.0%であった。(下図参照)



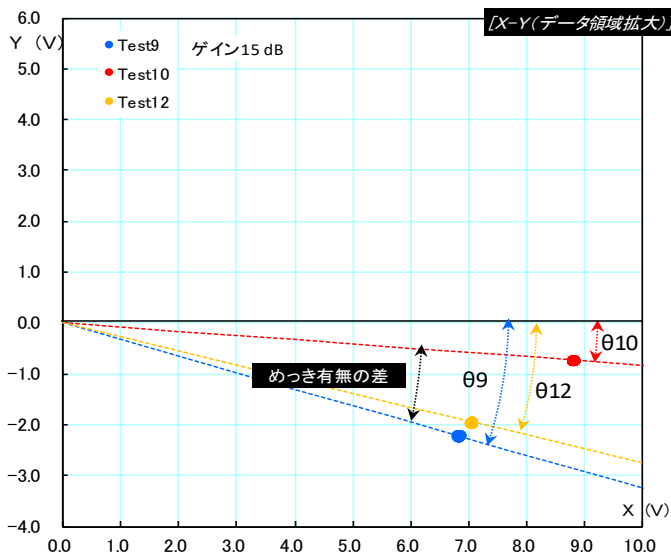
## φ80mmセンサー

Test7: φ80mmセンサー/健全品  
Test8: φ80mmセンサー/めっき消耗100%  
Test11: φ80mmセンサー/めっき消耗約19%再現  
※ 試験体は全て37本束

## 事例データ

健全品位相角 θ7 11.542°  
裸素線位相角 θ8 23.519°  
混合品位相角 θ11 14.495° (Zn18.9%消費)

$\theta8 - \theta7$  [+23.519°] - [+11.542°] = 11.977°  
 $\theta11 - \theta7$  [+14.495°] - [+11.542°] = 2.953°  
めっき消耗度  $2.953^\circ \div 11.977^\circ \times 100$   
= 24.6%  
実際との乖離 +5.7%



## φ150mmセンサー

Test9: φ150mmセンサー/健全品  
Test10: φ150mmセンサー/めっき消耗100%  
Test12: φ150mmセンサー/めっき消耗約19%再現  
※ 試験体は全て37本束

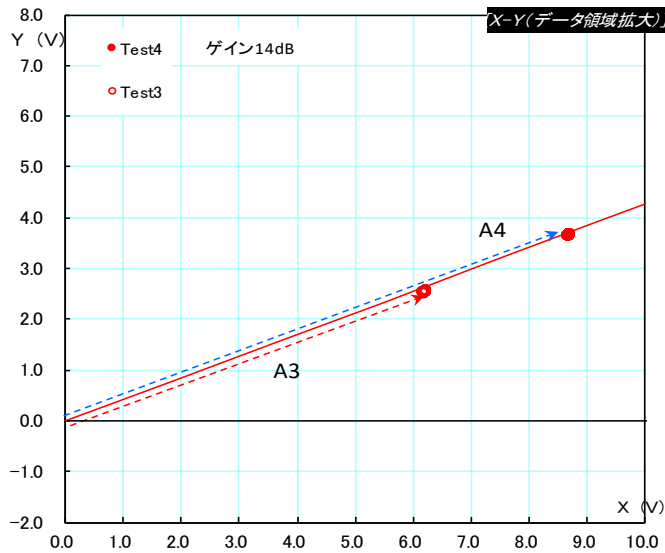
## 事例データ

健全品位相角 θ9 -17.989°  
裸素線位相角 θ10 -4.759°  
混合品位相角 θ12 -15.457° (Zn18.9%消費)

$\theta10 - \theta9$  [-4.759°] - [-17.989°] = 13.230°  
 $\theta12 - \theta9$  [-15.475°] - [-17.989°] = 2.514°  
めっき消耗度  $2.514^\circ \div 13.230^\circ \times 100$   
= 19.0%  
実際との乖離 +0.1%

## (5) 減肉率

Test3の9本基準で32%減肉を模擬した試験体評価結果を示す。  
減肉率評価は28.9%であった。(下図参照)



## 減肉率とECT信号の関係

Test4: 裸素線19本束の信号

Test3: 裸素線13本束の信号 [裸素線19本束基準で31.6%減肉相当]

原点(0点)からの距離(振幅)により、減肉を表すことが出来る。

## 事例データ

裸素線19本束 A4 9.406V

裸素線13本束 A3 6.691V

差 A4-A3 2.716V

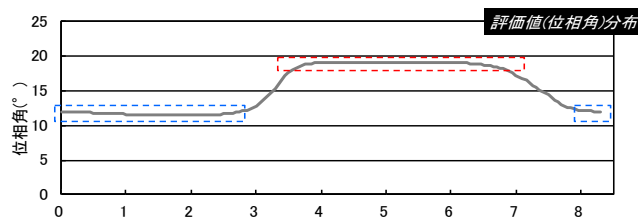
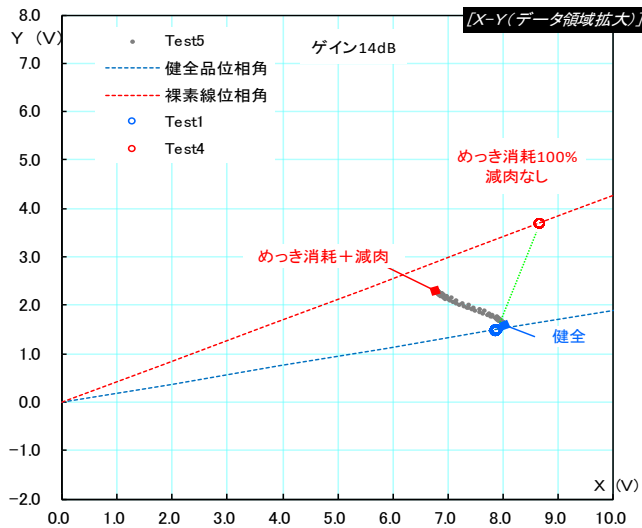
減肉率評価値  $(A4-A3) \div A4$  28.9%

評価値と実態の乖離 -2.7%



## (6) めっき消耗評価以外に有効な使い方

一部に減肉部を設けた素線を混在した試験体(Test6)の信号を示す。混在部は位相角が健全とめっき消耗の中間にあり、めっきが消耗していることがわかる。また、健全品からめっき消耗に至る変化のラインより原点側にあることから、減肉が起きていることもわかる。また、横軸を測定位置(測定時間から推定)、縦軸を位相角として表示することで変化部を特定できる。(下図参照)



## ECT信号の読み方①

Test5 : φ80mmセンサー/人工欠陥付与の信号  
※ 試験体は19本束(詳細下図)

ECTでは、平面座標上に信号が得られることから、ケーブル長さ方向に連続した信号分布を得ることで、劣化度を数値評価する以外にケーブルの状態を把握することが出来る。

## ①複数の状態を検知できる。

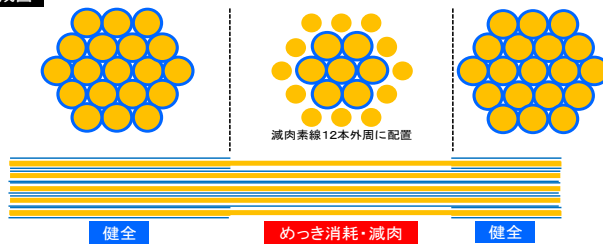
左図の事例では、人工欠陥部がTest1(健全品)とTest4(裸素線)間にあり、人工欠陥部で垂鉛めっきが減少していることが判る。

また、Test1とTest4をつなぐラインより原点(0点)に近い位置に信号が現れていることから、健全品と比べて減肉していることも同時に判る。

## ②変状部の位置が判る。

センサーを動かしながら連続的にデータを取得することにより、左下図の通り人工欠陥部の信号が乖離し、状態が変化している位置を特定できる。

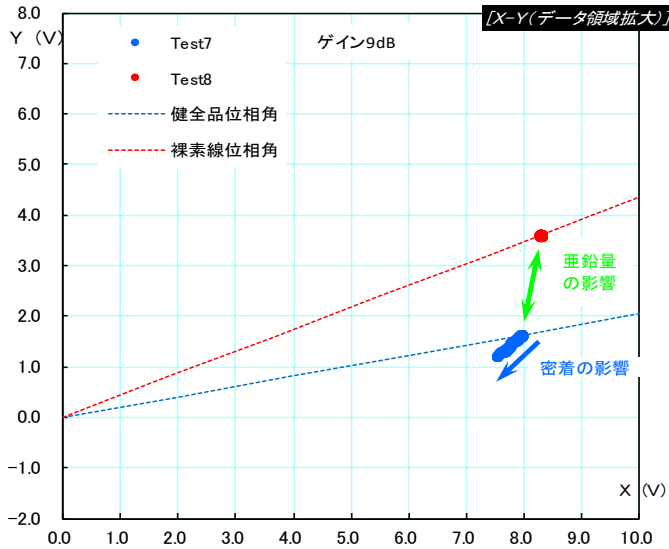
## 試験体構成図



## (7)めっき消耗・減肉以外の影響

めっき素線37本束 (Test7) の両端のテープ締付部を含む信号を示す。

締付部では位相角が時計回り方向 (垂鉛めっきの消耗とは異なる方向) に変化している。これは素線同士の密着による渦電流の影響と考えられる。実際のケーブルの多くは張力が負荷されたより線であることから、この密着の影響がある。垂鉛めっきの消耗とは変化方向が異なることから区別して解析することができる。(下図参照)



## ECT信号の読み方②

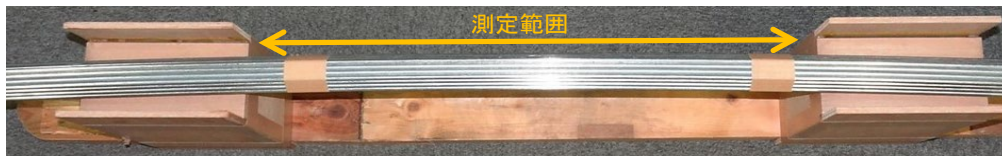
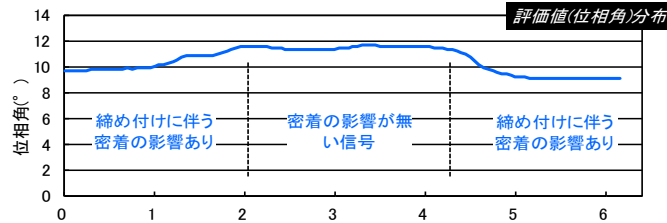
Test7: φ80mmセンサー

健全品(めっき素線37本束)の信号

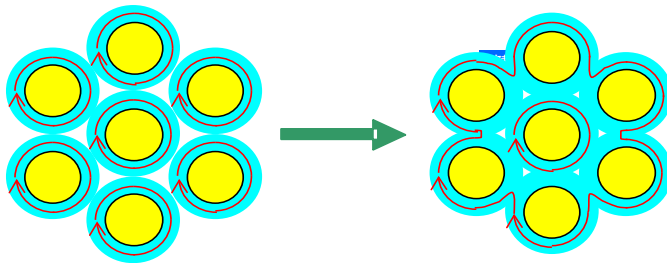
※ 測定両端を含む信号分布

主に斜張橋で使用される螺旋ケーブルや吊り橋ハンガーロープ等にも使用されるより線ロープでは、架設による張力で絞りが生じる。絞りに伴い、垂鉛めっきの密着度が変化することで、渦電流の発生経路も下図のように変化する。ことから、ECT信号にもその影響が現れる。

試験体作成のため両端はテープにより結束(締め付け)しているが、左図はその影響が現れているものであり、密着度合いが増すことにより、信号分布は時計回りの方向(垂鉛めっきの消耗とは逆の方向)に現れる。



## より線ロープに対する張力の影響



無負荷状態では、素線は点接触のため、製造初期に出来た酸化皮膜もあり導通がほとんどない。

このため、測定した信号は、素線個別に測定した信号が合算された状態となる。

張力を加えるとロープは絞られ、垂鉛めっきの密着度が増す。すると、素線間の垂鉛めっきに導通が生じる。

このため、測定時に発生する渦電流の流れ方が変わり、無負荷の場合と異なる信号が得られる。

※ 赤線は測定により発生する渦電流。

技術番号	BR020013
------	----------

技術名	渦流探傷法によるケーブル腐食(亜鉛めっき消耗率)の検査	開発者名	神鋼鋼線工業株式会社
-----	-----------------------------	------	------------

試験日	令和3年 4 月 8 日	天候	晴れ	気温	17.8 °C	風速	2.4 m/s
-----	--------------	----	----	----	---------	----	---------

試験場所	実橋
------	----

カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	腐食	試験区分	現場試験
--------	---------	------	------	----	------	------

試験で確認する カタログ項目	動作確認(精度以外)
-------------------	------------

対象構造物の概要

橋梁形式:3径間連続斜張橋(箱桁橋)

橋長:261m、支間長:150.3+75.0+34.4m

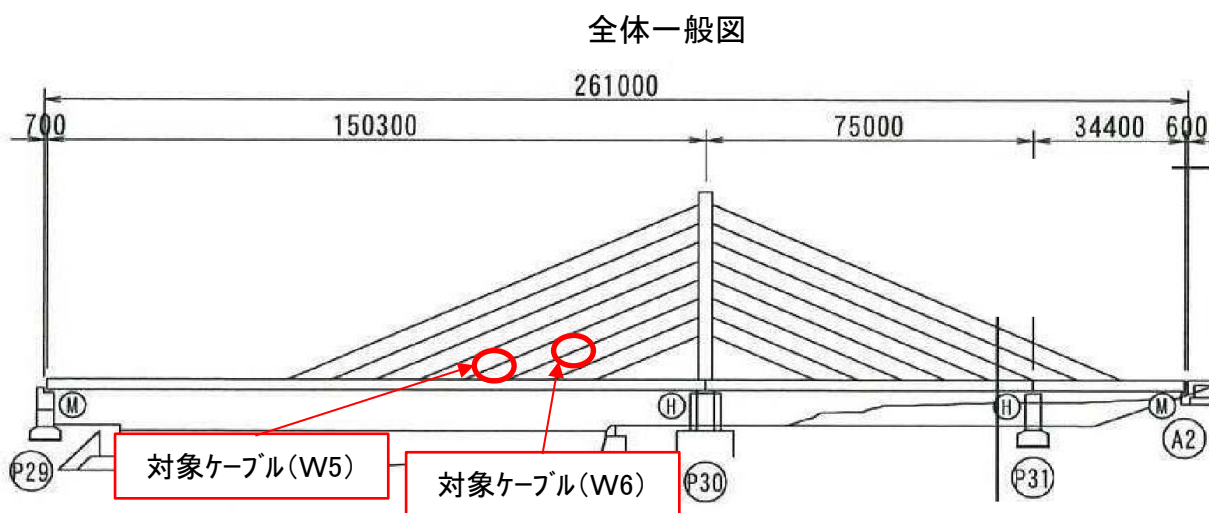
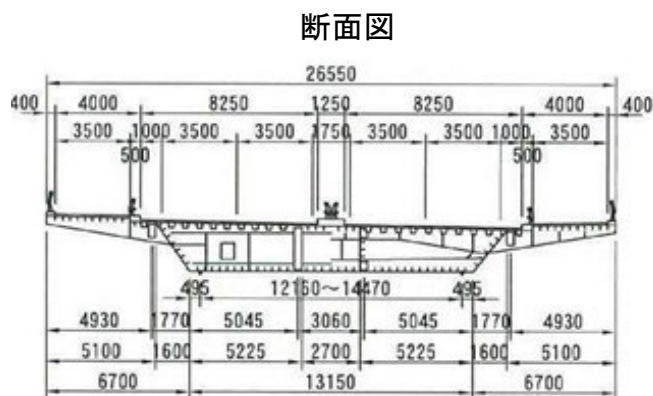


写真-1 全体写真



対象径間:第1径間

計測対象部材:斜材ケーブル(W5, W6)

- ① 計測機器の搬入: 探傷器、制御・記録用ノートPC等(写真-2)
- ② 探傷器、分割開閉機能付き貫通センサーの確認(写真-3)、取付確認(写真-4)
- ③ 計測作業: 計測器をケーブルに沿って自由落下させる。(写真-5)
- ④ 計測状況: 計測器がケーブルに沿って落下しながら計測する。(写真-6)、撤去状況(写真-7)
- ⑤ 後日、計測したデータから腐食の有無等を評価する。

開発者による計測機器の設置状況

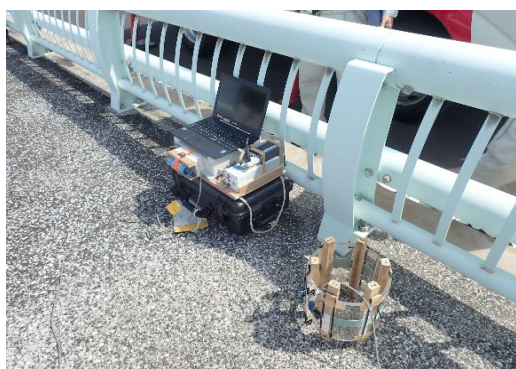


写真-



写真-



写真-



写真-



写真-

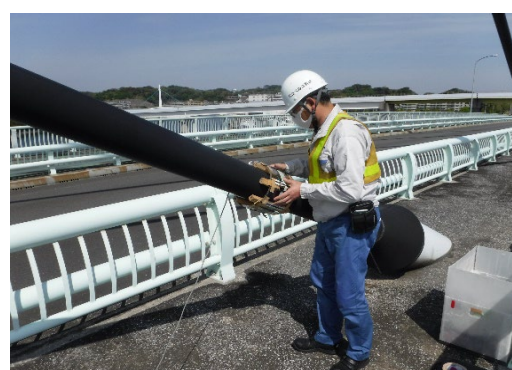


写真-



## ※計測結果

## 渦流探傷試験法(以下、ETC)

ECT 測定データを図 2-1、図 2-2 に示す。測定は各 2 回行った。センサー走査は自重によるため、速度変化の影響を受けた表示位置のずれはあるが、2 回の測定結果はほぼ一致している。

これらの図から、亜鉛消耗の評価を行うには、以下に記す基準データが必要である。

## ECT 測定データの評価基準

めっき消耗量の評価には下記 3 点の基準が必要。

## [A] 原点(0.0)

めっき消耗量は、ゼロ点を中心とした測定信号の角度(位相角)により評価する。

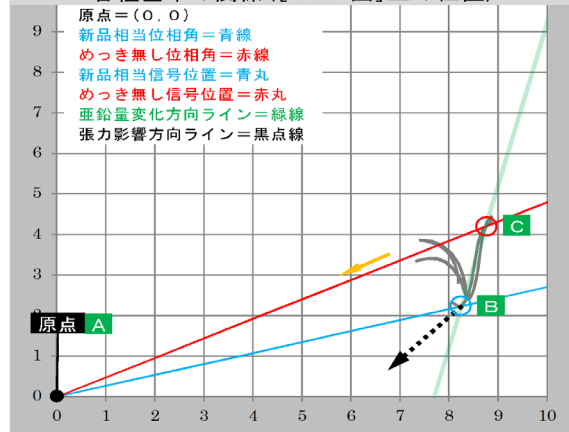
## [B] 新品相当位相角(図中青線)

新品(新品相当状態)の測定信号と原点を結んだ直線を求め、この直線の角度が新品相当位相角。

## [C] めっき無し位相角(図中赤線)

めっきが無く、かつ、鋼線部分の消耗が無い状態を示す点と原点を結んだ直線を求める。この直線の角度がめっき無し位相角。

参考図① 腐食模擬試験体の測定による信号分布と各種基準の関係([X-Y 図]上の位置)



また、ハンガーロープのようなより線ロープは、張力の影響を受けて新品状態でも信号分布が生じるため、下記 2 つの補助線を引き、その交点を求めて張力の影響が無い場合の新品相当信号を基準点としている。

- ◆ 亜鉛量変化方向ライン(図中緑線) めっきの消耗割合により信号が分布する線
- ◆ 張力影響方向ライン(図中点線矢印) めっきの消耗が無く、張力の影響のみで信号が分布する線

上記の各線・矢印の相対関係(赤線は青線より 12° 程度反時計回り側に位置するなど)はセンサーを変えてもほぼ一定であるが、具体的な方向はセンサーによって異なる。

図 2-1、図 2-2 の X-Y 図から、今回測定した 2 本の信号分布はいずれも張力影響による分布のみが認められ、亜鉛めっきの消耗が生じていても軽微なレベルと推定される。



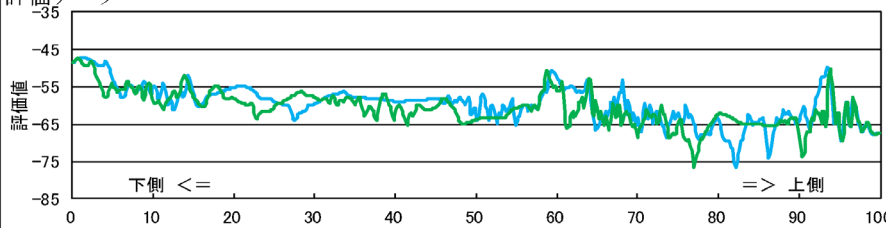
※計測結果

図2-1 橋梁用ケーブル・ロープの渦流探傷試験法(ECT)による検査データ

検査対象	橋梁名	関東地方整備局管内橋梁	使用装置	卓上型(ET-B1/T)
	路線		接続線	36m
	径間	北側	センサー	耐久型
	格点		(管理番号)	(ET-S250-A)

被測定物	繰返し(n)	測定記号	測定日	装置設定			表示設定			補正值	
				F(kHz)	G(dB)	P(°)	F(kHz)	G(dB)	P(°)	G(dB)	P(°)
W5ケーブル	1	W5-1	2021/4/8	10	12	0	10	10	0	-2	0
W5ケーブル	2	W5-2	2021/4/8	10	12	0	10	10	0	-2	0

評価データ

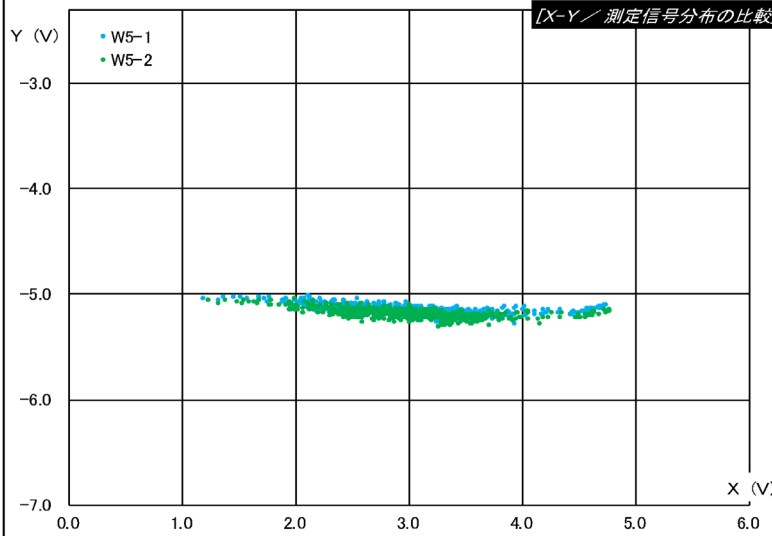


評価値

(位相角/°)

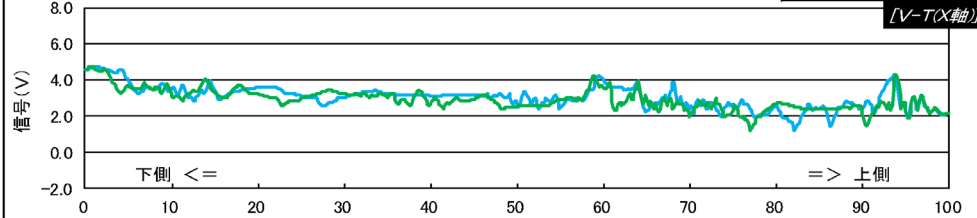
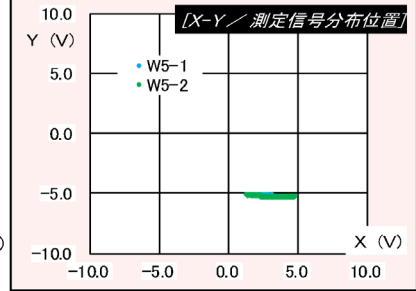
	W5-1	W5-2
最大値	-47.22	-47.23
平均値	-59.59	-60.76
最小値	-76.86	-76.51

測定データ

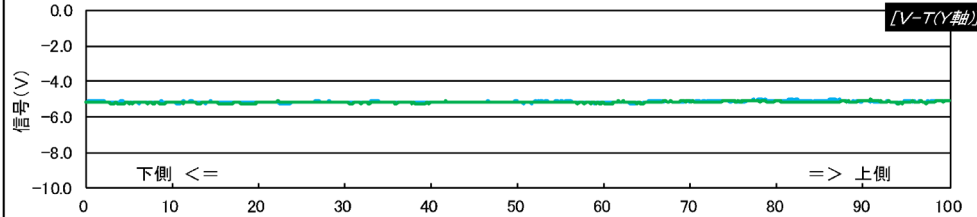


備考

評価データ、V-T図の横軸は、測定最下点からのセンサー移動量を百分率にて表示。  
 図中ラベルは、下側＝路床側、上側＝主塔側。  
 評価データは、参考として位相角値を表示。  
 本データの表示は、ゲインを10dBに補正している。



青線: W5-1  
 緑線: W5-2



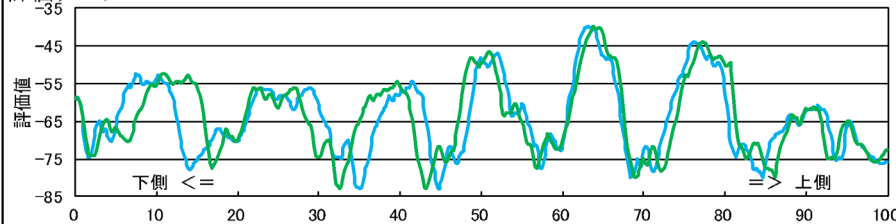
## ※計測結果

図2-2 橋梁用ケーブル・ロープの渦流探傷試験法(ECT)による検査データ

検査対象	橋梁名	関東地方整備局管内橋梁	使用装置	卓上型(ET-B1/T)
	路線		接続線	36m
	径間	北側	センサー	耐久型
	格点		(管理番号)	(ET-S250-A)

被測定物	繰返し(n)	測定記号	測定日	装置設定			表示設定			補正值	
				F(kHz)	G(dB)	P(°)	F(kHz)	G(dB)	P(°)	G(dB)	P(°)
W6ケーブル	1	W6-1	2021/4/8	10	12	0	10	10	0	-2	0
W6ケーブル	2	W6-2	2021/4/8	10	12	0	10	10	0	-2	0

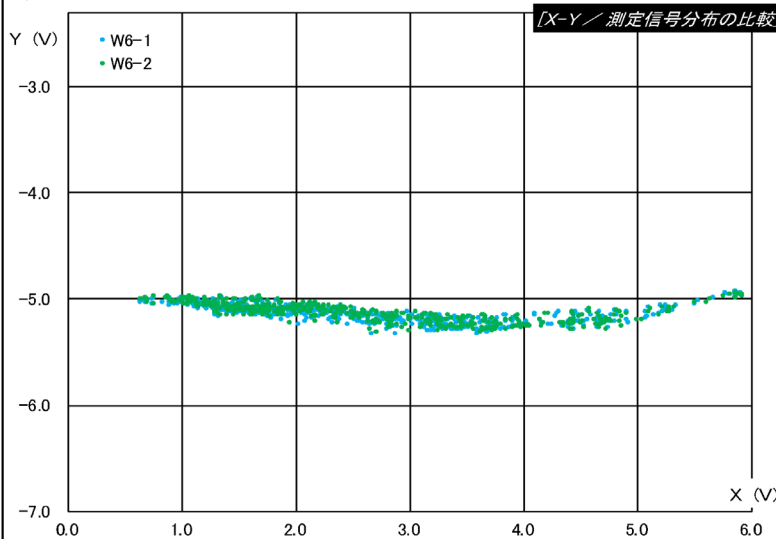
## 評価データ



## 評価値

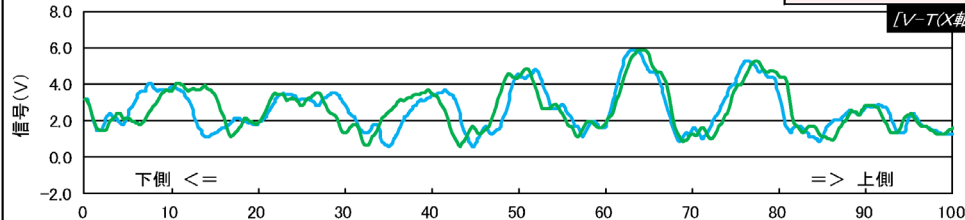
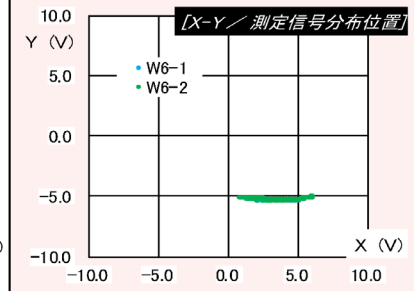
	W6-1	W6-2
最大値	-39.92	-39.90
平均値	-63.99	-63.87
最小値	-83.02	-82.95

## 測定データ

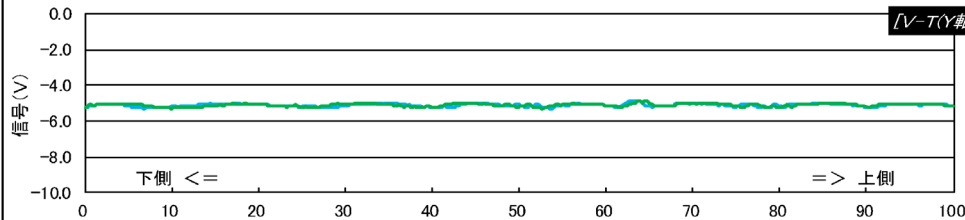


## 備考

評価データ、V-T図の横軸は、測定最下点からのセンサー移動量を百分率にて表示。  
 図中ラベルは、下側＝路床側、上側＝主塔側。  
 評価データは、参考として位相角値を表示。  
 本データの表示は、ゲインを10dBに補正している。



青線: W5-1  
 緑線: W5-2





- ① 地中レーダ装置を搭載した探査車の各計測機器(写真-1~4)を起動する。
- ② 計測機器の起動後動作確認を行う。
- ③ 探査車で走行しデータを取得する。(橋梁を4往復)なお、データ取得時には格納しているレーダを張り出して走査する。(写真-5)
- ④ 取得データを探査車内の収録PCに送信する。
- ⑤ 取得データを基地に持ち帰りデータの画像処理を行い床版の状態把握を行う。

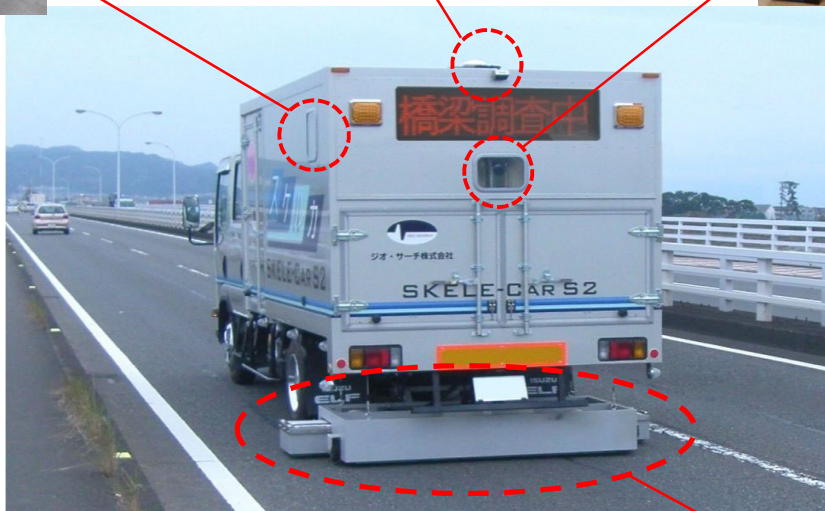
開発者による計測機器の設置状況

(写真-1)  
周辺映像撮影装置  
(3方向/前左右)



(写真-2)  
D-GPS装置

(写真-3)  
ラインスキャンカメラ



(写真-4)  
地中レーダ装置



レーダ格納時



(写真-5)  
レーダ張り出し時

## 1 はじめに

舗装版を剥がさず床版の劣化状況を把握する技術(スケルカビューDX)の  
下記項目についての検証結果を報告する。

表-1.1 検証項目

検証項目	内容
狭小進入可能性能	幅員3.5mでの測定が可能か。
計測レンジ	路面からの深さ0.5mまでデータ取得ができるか。
検出性能	鉄筋コンクリート床版上面、上部鉄筋、下部鉄筋の反射信号が検出できるか。
計測速度	一般道路(制限速度60km/h)での測定が可能か。

## 2 検証箇所の概要

## (1)概要

- 1) 橋梁名: A橋
- 2) 橋長: 39.7m
- 3) 形式: 単純合成鉄桁橋2連
- 4) 路線名: 一般国道230号
- 5) 場所: 札幌市南区定山溪
- 6) 管理者: 札幌開発建設部札幌事務所

## (2)測定日

2020/7/9 午後12時～13時30分



図-2.1 位置図

## 3 狭小進入可能性能

幅員3.5mでの実施を確認

## 4 計測レンジの検証

## (1)確認内容

最大深度: 路面からの深さ0.5m

## (2)検証結果

検証結果: 路面からの探査深度が0.58(m)であることが確認された。

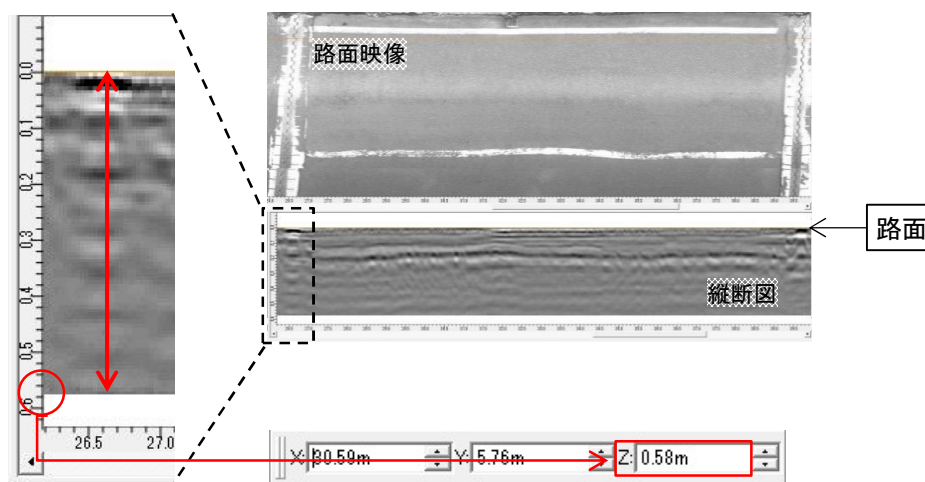


図-4.1 計測レンジ検証結果



## 5 検出性能の検証

## (1) 確認内容

縦断データにおいて、鉄筋コンクリート床版上面、上部鉄筋、下部鉄筋の反射信号が検出できるか。

## (2) 検証結果

各反射信号を検出できた。

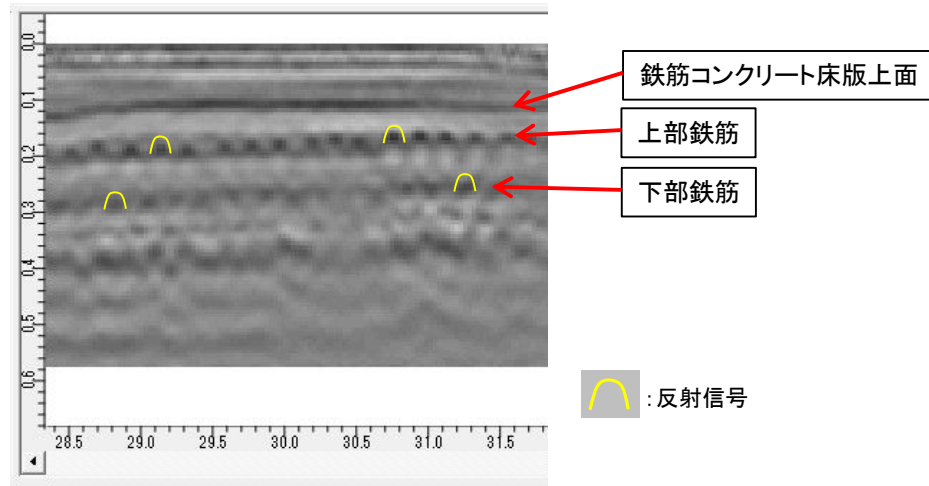


図-5.1 反射信号検出結果

## 6 計測速度の検証

## (1) 確認内容

一般道路(制限速度50km/h)での測定が可能か。

## (2) 検証結果

下図の通り路面映像および床版内部データを取得できたため、一般道路での測定が可能である。

計測時間: 2020.07.09 12:54:42 ~ 2020.07.09 12:54:46 (GPSより取得)

計測時間: 4秒

計測距離: 39.74m

計測速度: 35.7km/h(当日の一般車両の交通の流れ)

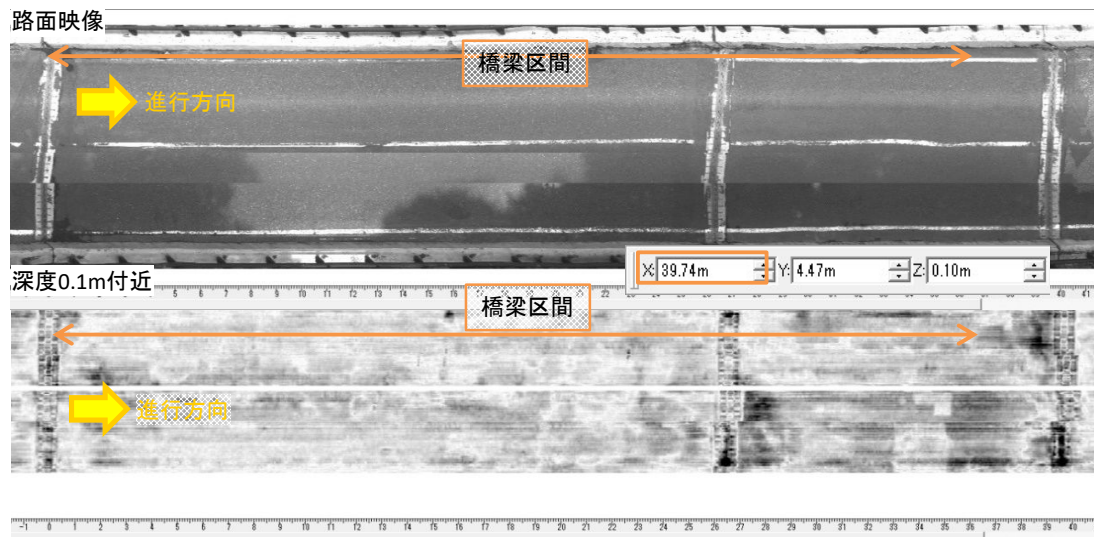


図-6.1 計測速度検証結果



- ① 測定車(地中レーダ装置を搭載した車両)を指定の駐車場で作動確認する。(写真-3、写真-4)
- ② 測定車内のPCで計測データを確認する。(写真-5)
- ③ 計測車の走行状況: 上り線側走行(写真-6)
- ④ 計測車の走行状況: 下り線側走行(写真-7)
- ⑤ 測定データを計測車内のPCに送信し、後日、データを画像処理等で損傷の有無を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-3



センサー



写真-4



写真-5



写真-6



写真-7

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-8: 路面状況(起点より撮影)



写真-9: 路面状況(終点より撮影)





※計測結果

管轄	横浜国道事務所厚木出張所	床版表面異常(浅部鉄筋)	床版表面異常(帯水)	凡例
調査日	2024年4月	主桁、横桁	床版上部劣化判定	
路線名	国道246号線	健全部	床版内部劣化判定	

■路面映像

⑧、⑨は周波数分析実施

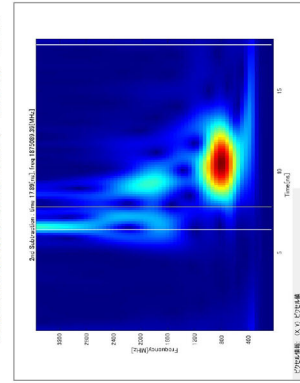
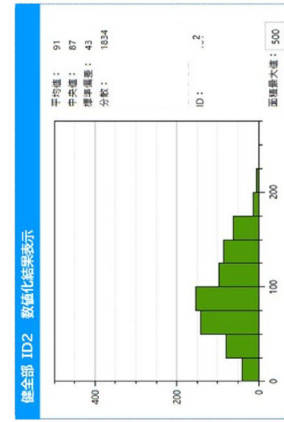
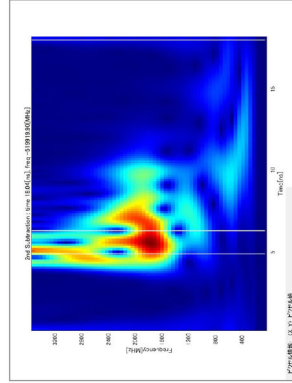
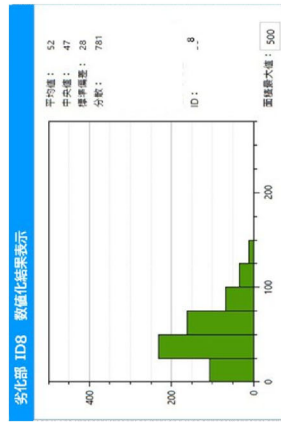
■数値化結果

ID	面積[m <sup>2</sup> ]	反射応答レベル 平均	分散	健全部 対比率(分散)	備考
1	0.79	49	680	0.37	
2	0.29	51	638	0.35	
3	0.29	49	687	0.37	
4	0.26	52	601	0.33	
5	1.80	47	899	0.49	
6	0.82	33	307	0.17	
7	0.23	62	624	0.34	
8	0.55	52	781	0.43	
9	1.32	56	488	0.27	
10	1.37	51	794	0.43	
11	1.75	69	1013	0.55	
12	1.06	50	717	0.39	
13	7.44	67	1174	0.64	
14	2.56	64	728	0.40	
15	0.29	81	712	0.39	
16	0.77	44	435	0.24	
17	0.84	75	768	0.42	
18	3.09	54	775	0.42	
19	0.77	53	469	0.26	

【健全部】

1	0.60	97	1891	—	
2	0.60	91	1834	—	健全部基準値
3	0.60	152	2057	—	

■床版内部数値化分析結果(代表箇所)





技術番号 BR020014

技術名 床版劣化状況把握技術(スケルカビューDX) 開発者名 ジオ・サーチ株式会社

試験日 令和5年 4 月 26 日 天候 曇り 気温 7.6 °C 風速 4.8 m/s

試験場所 某橋梁

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 鉄筋腐食・土砂化・滯水 試験区分 -

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度

### 検証の概要

- 1 はじめに  
舗装版を剥がさず床版の劣化状況を把握する技術(スケルカビューDX)の  
下記項目についての検証結果を報告する。

表-1.1 検証項目

検証項目	内容
計測精度	正解率、劣化 適合率、劣化 再現率、健全 適合率、健全 再現率。

### 2 検証の概要

#### (1)対象

本検証は2橋で実施した。表-2.1に橋梁諸元、次頁図-2.1に橋梁図面を示す。

表-2.1 橋梁諸元

番号	橋梁名	橋種	構造種別	橋長(m)
1	B橋	鋼橋	連続非合成鈹桁	116.5
2	C橋	鋼橋	単純箱桁	52.1

#### (2)測定日

令和5年 4月 26日

#### (3)検証内容

まず対象橋梁に電磁波レーダ調査・解析を実施し、劣化判定領域と健全判定領域を定義した。  
次に、舗装を全面開削し床版を露出させ、打音調査により実際の劣化領域と健全領域を定義した。  
両者の結果を照合し、正解率、適合率、再現率を算出し、評価を行った。

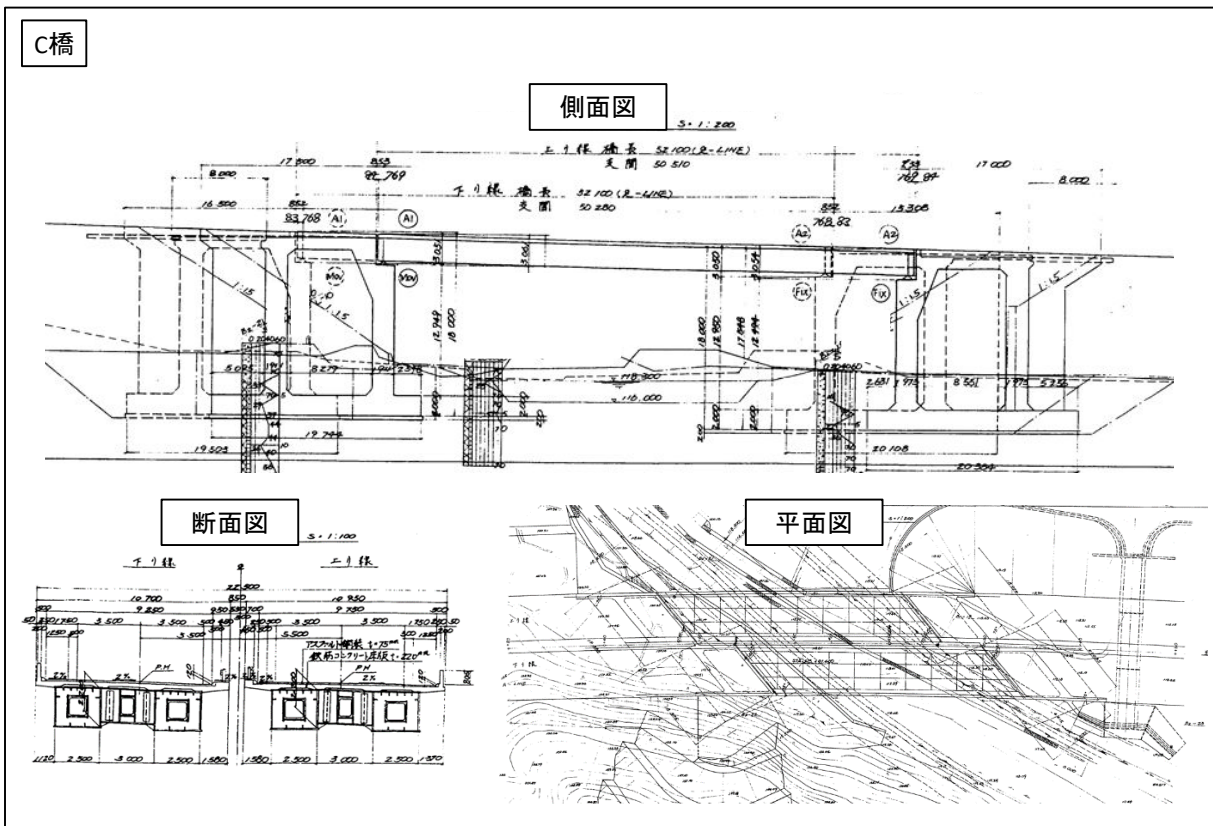
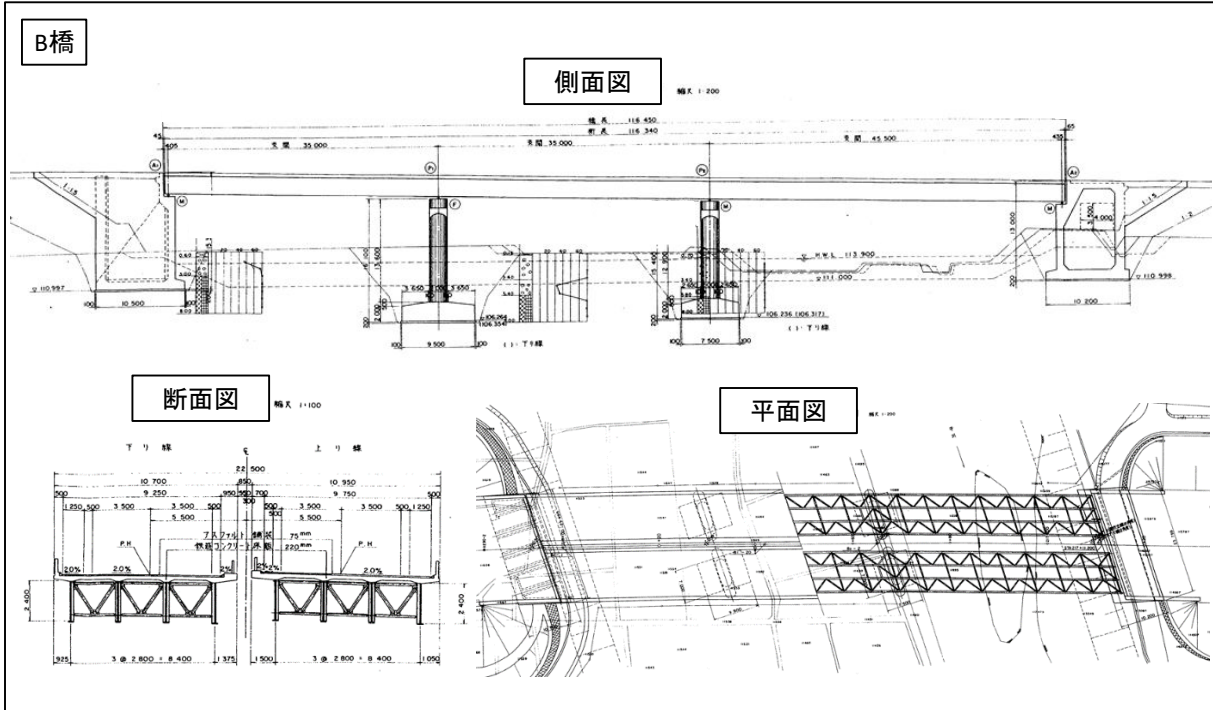


図-2.1 橋梁図面

## 3 計測精度の検証

## (1) 方法

実際の開削結果と照合し正誤の領域分類を行い、分類結果から精度指標の算出を行った。

図-3.1に語句の定義、図-3.2にケース別の精度イメージを示す。

## 【語句の定義】

A: 検証床版領域

B: 実際の劣化領域 (全面開削による打音調査で床版劣化ありと判定した領域)

C: 実際の健全領域 (全面開削による打音調査で健全と判定した領域)

D: 電磁波レーダの劣化判定領域

E: 電磁波レーダの健全判定領域

F: 劣化合致領域 (電磁波レーダの劣化判定箇所と実際の劣化箇所が合致した領域)

G: 健全合致領域 (電磁波レーダの健全判定箇所と実際の健全箇所が合致した領域)

H: 見逃し領域 (電磁波レーダの健全判定箇所と実際の劣化箇所が重なった領域)

I: 空振り領域 (電磁波レーダの劣化判定箇所と実際の健全箇所が重なった領域)

## 【精度指標の算出】

- ① 正解率:  $(F+G) / A \times 100$  (検証領域のうち、正解していた領域の割合)
- ② 劣化適合率:  $F / D \times 100$  (電磁波レーダの劣化判定領域のうち、実際に劣化していた割合)
- ③ 劣化再現率:  $F / B \times 100$  (実際の劣化領域のうち、電磁波レーダで劣化と判定した割合)
- ④ 健全適合率:  $G / E \times 100$  (電磁波レーダの健全判定領域のうち、実際に健全だった割合)
- ⑤ 健全再現率:  $G / C \times 100$  (実際の健全領域のうち、電磁波レーダで健全と判定した割合)

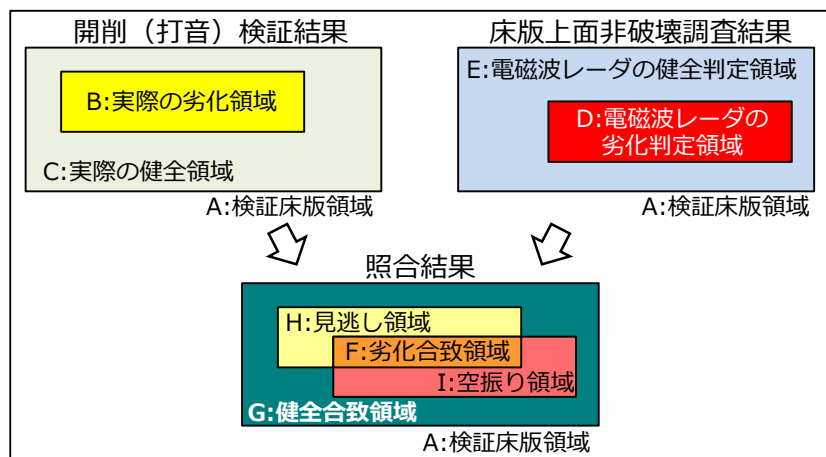


図-3.1 照合結果の分類

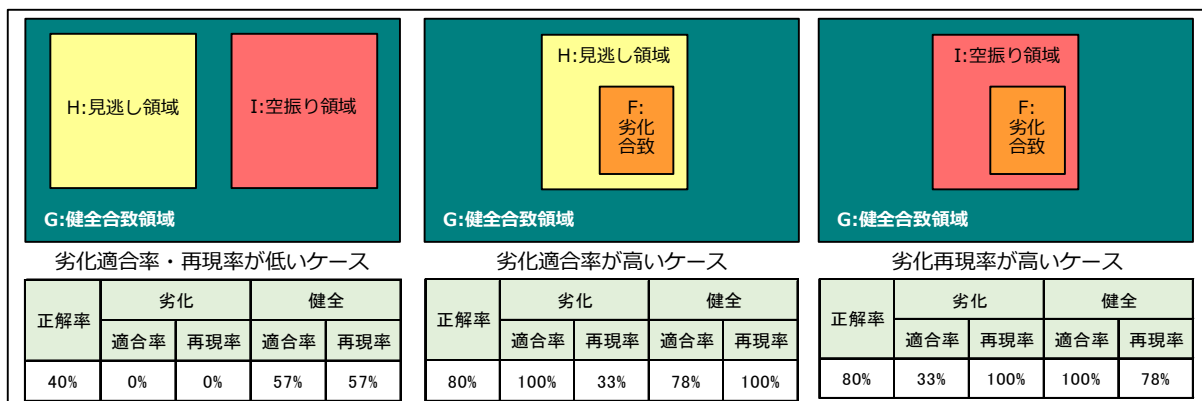


図-3.2 ケース別の精度イメージ

## (2)結果

2橋の各領域を合算した数値を用いて計測精度を算出した。

表-3.1に計測精度検証結果を示す。また、図-3.3,4に1橋毎の検証結果詳細を示す。

表-3.1 計測精度検証結果

正解率	劣化		健全	
	適合率	再現率	適合率	再現率
81%	56%	38%	85%	92%

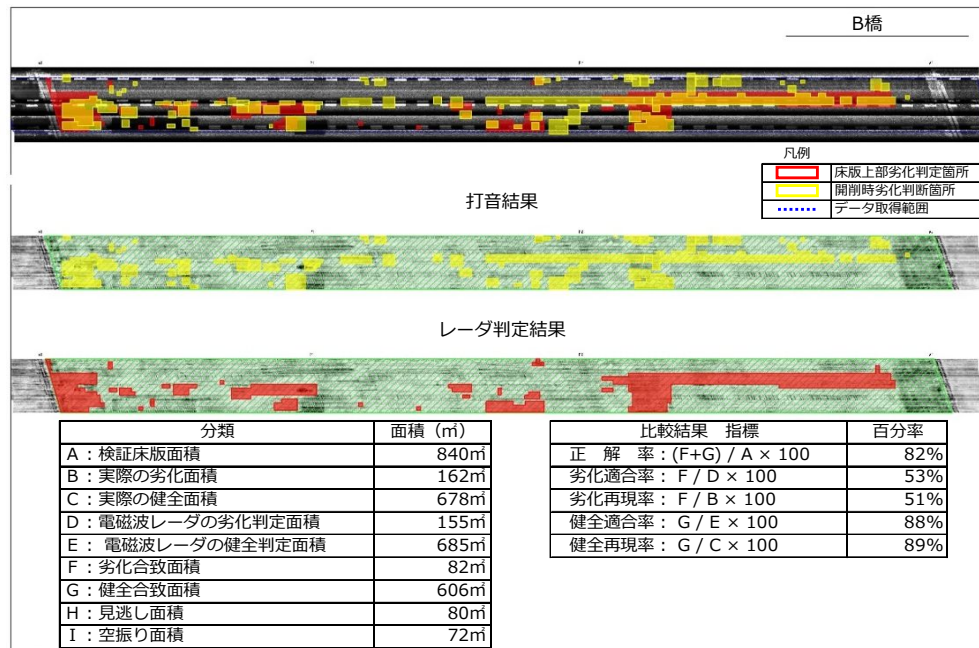


図-3.3 計測精度検証結果詳細(B橋)

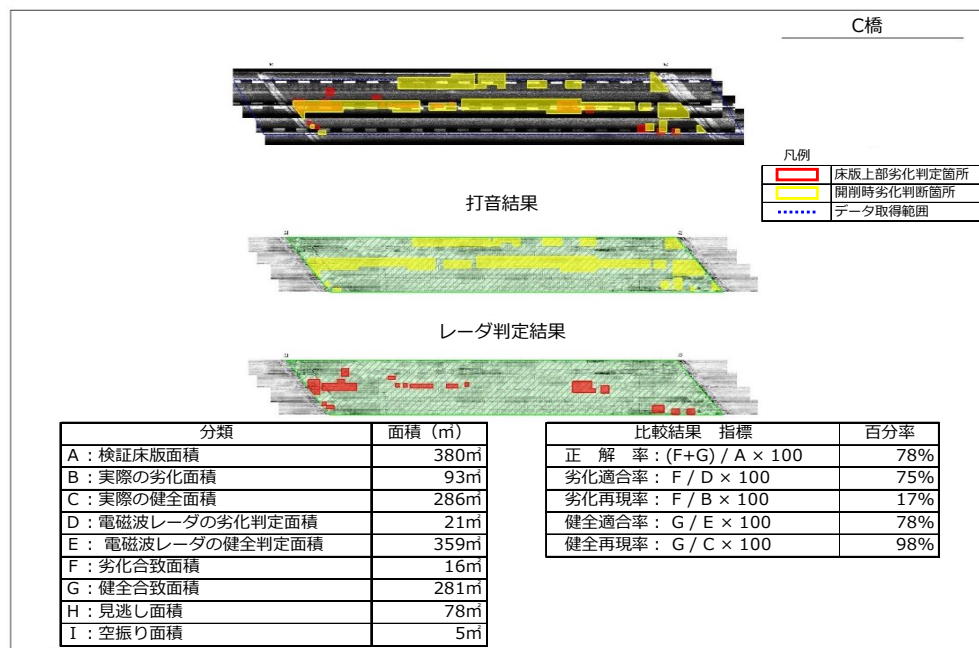


図-3.4 計測精度検証結果詳細(c橋)

技術番号 BR020014

技術名 床版劣化状況把握技術(スケルカビューDX)

開発者名 ジオ・サーチ株式会社

試験日 令和7年 1 月 15 日

天候 晴れ

気温 11.7 °C

風速 - m/s

試験場所 国土技術政策総合研究所 部材保管用施設

カタログ分類 非破壊検査技術

検出項目 床版劣化

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

※検証試験体

損傷大: 400mm × 400mm

床版厚: 20cm

全体一般図

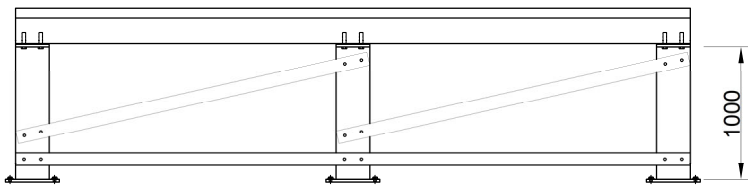
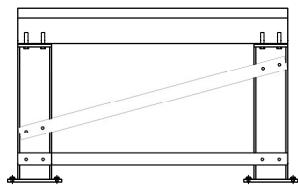
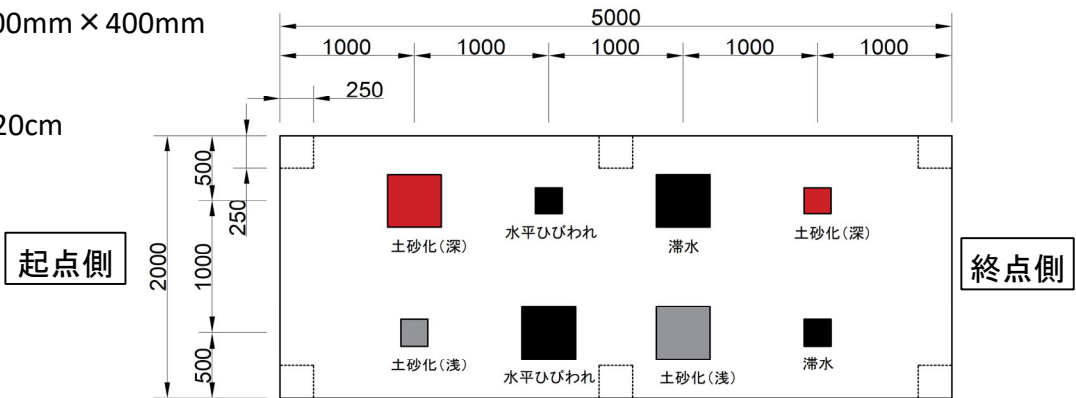


写真-1 検証試験体(架台上)



写真-2 検証試験体(床上)



試験方法(手順)	技術番号	BR020014
① 機器の搬入(電磁波レーダー、PC)(写真-3)		
② 測線の目安とする墨出し(糸張り)(写真-4)		
③ 電磁波レーダー搭載の移動台車を起点側と終点側を往復して測定(5測線で計測:写真-5)		
④ PCに保存されたデータの確認(写真-6)		
⑤ データ分析による損傷図作成		

開発者による計測機器の設置状況

本来は車載型の電磁波レーダーを、標準試験用に台車に移設して計測を実施

安全のため、舗装面側から計測する技術については、検証試験体を床に置いて試験を実施



写真-3



写真-4



写真-5



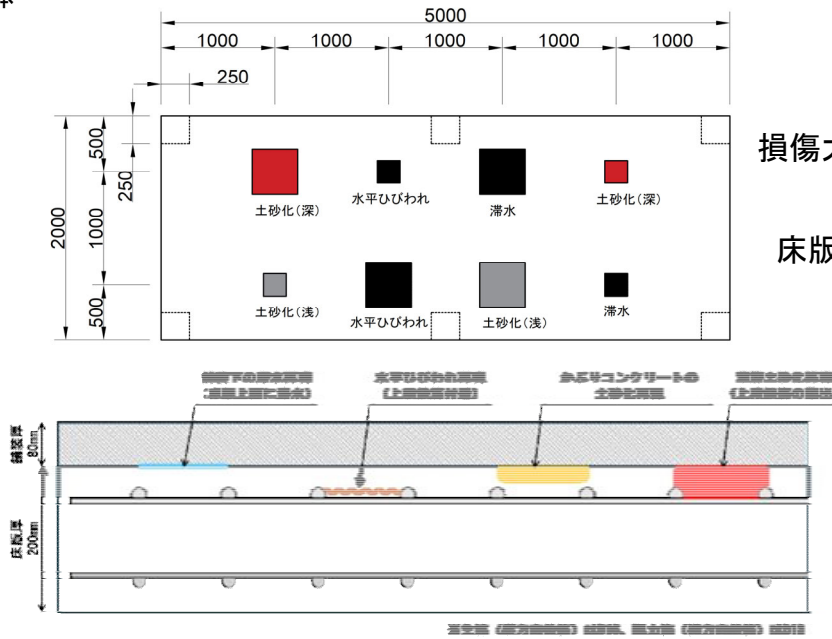
写真-6

比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況

技術番号

BR020014

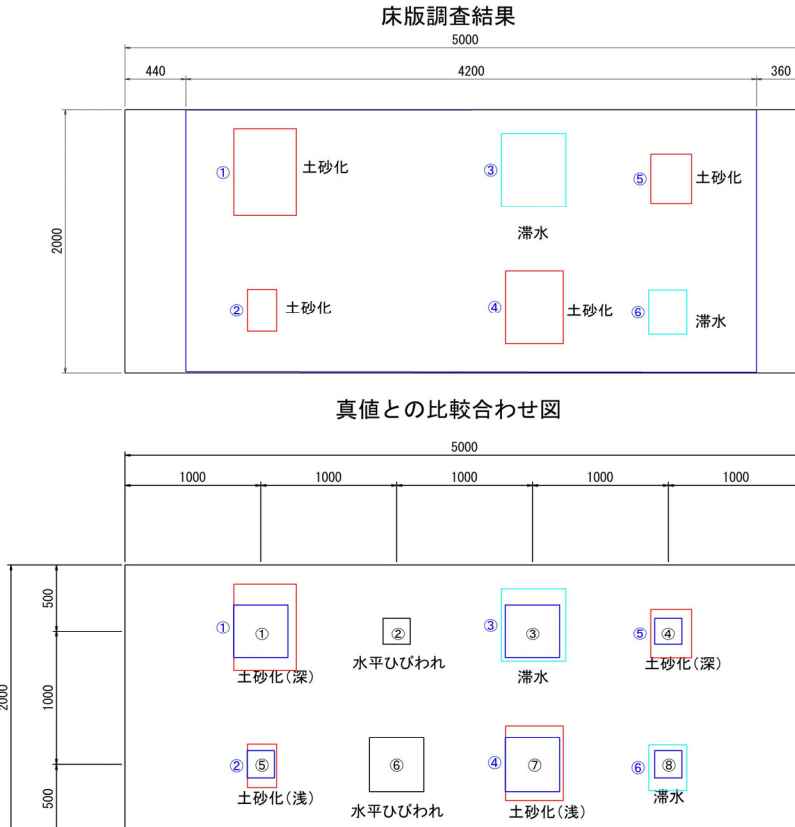
※検証供試体



計測結果の比較

※計測結果

■データ取得手段(移動手段): 台車、徒歩 ■移動距離: 台車5m、徒歩5m(×5測線)



計測値 (誤検出含む)

面積 (㎡)	損傷区分
①	0.301 土砂化
②	0.068 土砂化
③	0.261 滞水
④	0.234 土砂化
⑤	0.111 土砂化
⑥	0.094 滞水
Σ	1.069 (C)

正解損傷面積

面積 (㎡)	損傷区分
①	0.159 土砂化 (深)
②	0.000 水平ひびわれ
③	0.160 滞水
④	0.040 土砂化 (深)
⑤	0.039 土砂化 (浅)
⑥	0.000 水平ひびわれ
⑦	0.159 土砂化 (浅)
⑧	0.040 滞水
Σ	0.597 (A)

真値 (正解値)

面積 (㎡)	損傷区分
①	0.160 土砂化 (深)
②	0.040 水平ひびわれ
③	0.160 滞水
④	0.040 土砂化 (深)
⑤	0.040 土砂化 (浅)
⑥	0.160 水平ひびわれ
⑦	0.160 土砂化 (浅)
⑧	0.040 滞水
Σ	0.800 (B)

検出率 = 75% (当該技術で検出した正解損傷面積 : A / 正解損傷面積 : B)

的中率 = 56% (当該技術で検出した正解損傷面積 : A / 当該技術で検出した損傷面積 (誤検出含む) : C)

## ※計測結果

## 損傷区分別

## ・土砂化(深)

検出率=100%(当該技術で検出した正解損傷面積/正解損傷面積)

的中率=48%(当該技術で検出した正解損傷面積/当該技術で検出した損傷面積(誤検出含む))

## ・土砂化(浅)

検出率=99%

的中率=66%

※土砂化の深浅の程度判定は不可

## ・滞水

検出率=100%

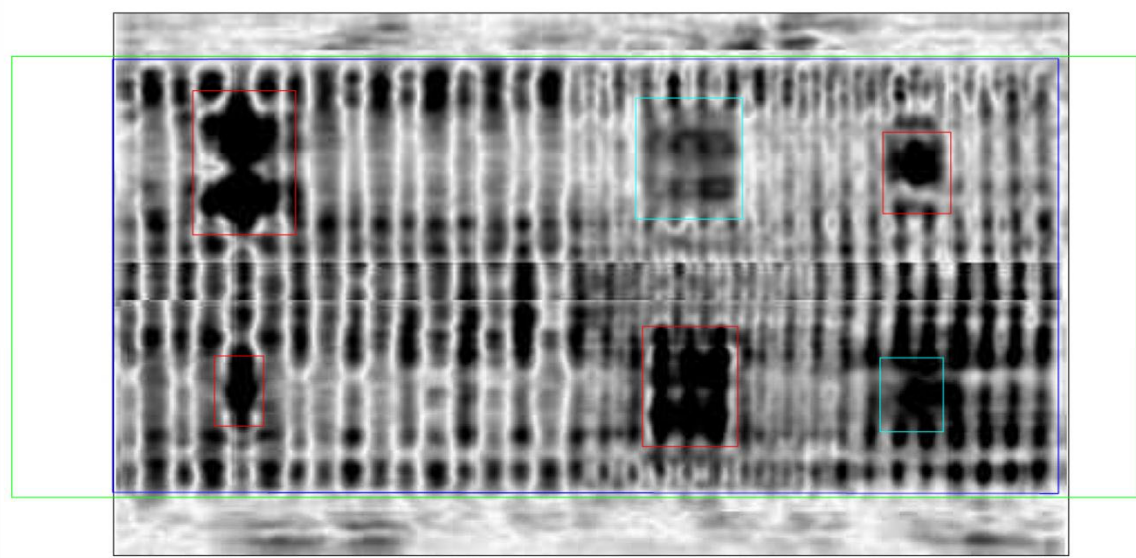
的中率=56%

## ・水平ひびわれ

検出率=0%

的中率=0%

ジオ・サーチ株式会社 供試体計測結果



- 床版上部劣化判定(土砂化)
- 舗装境界滞水判定
- 供試体
- データ計測範囲

技術番号	BR020015
------	----------

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(支承の機能障害)	開発者名	原子燃料工業株式会社
-----	-----------------------------------	------	------------

試験日	令和3年 3 月 30 日	天候	晴れ	気温	18.4 °C	風速	- m/s
-----	---------------	----	----	----	---------	----	-------

試験場所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 部材保管用施設						
------	---------------------------	--	--	--	--	--	--

カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	支承の機能障害 (ボルトのゆるみ)	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

検証試験体



写真-1 RCボックスカルバート(EF-1) ボルト数32箇所



写真-2 RCボックスカルバート(EF-2) ボルト数31箇所  
ボルト数 合計63箇所



- ① 計測装置”AEセンサ、ハンマー”を搬入する。
- ② AEセンサをタブレット端末に接続する。
- ③ アンカーボルトにAEセンサを押し付け、ハンマーで打音する。
- ④ AEセンサから取得したデータを記録者がタブレット端末にて、確認する。
- ⑤ 後日、取得したデータより不健全箇所を検出

## 開発者による計測機器の設置状況

## 1. 機器の設置



写真-4 開発者計測機器



- 評価ピーク周波数はボルト径／頭部長さにより変化することから、同一径、同一頭部長さのグループに分け、事前に示された健全ボルトの評価ピーク周波数を健全基準値として設定し、健全／不健全を判断する。
- なお、健全基準値は通常、複数の健全ボルトにおいて、①のばらつき、②の差異を考慮して設定する。
- ①健全ボルト間の評価ピーク周波数
- ②形状(ボルト径、頭部長さ)

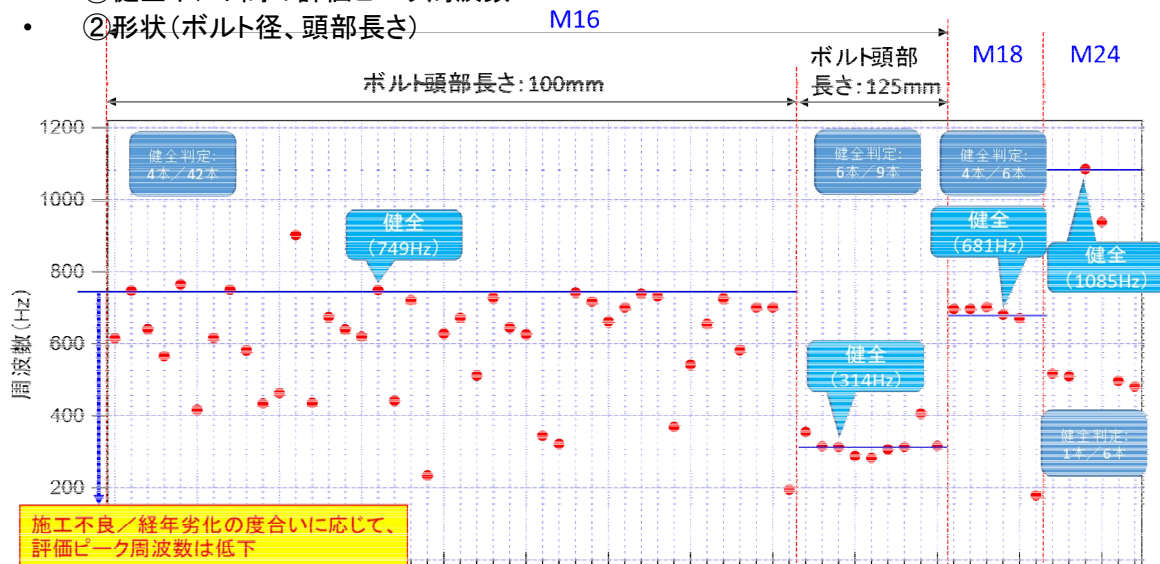


表-1 計測結果の比較

ボルト番号	ボルト径	状態	健全	開発者判定	評価ピーク周波数(Hz)	ボルト番号	ボルト径	状態	健全	開発者判定	評価ピーク周波数(Hz)
ボルト01	M16	C16U100腐全	×	×	717	ボルト33	M24	M24U半施打	×	×	517
ボルト02	M16	R16U100硬化	×	×	640	ボルト34	M16	R16U100健全	○	×	626
ボルト03	M16	R16U025充浅	×	×	620	ボルト35	M16	M16U全施斜	×	×	288
ボルト04	M16	R16U100施斜	×	×	662	ボルト36	M16	C16U100附着	×	×	701
ボルト05	M16	C16U100硬化	×	×	566	ボルト37	M24	M24U全健全	○	-(基準)	1085
ボルト06	M16	C16U100施短	×	○	765	ボルト38	M16	M16U全健全	○	○	317
ボルト07	M16	C16U100健全	○	-(基準)	749	ボルト39	M16	C16U100破断	×	○	750
ボルト08	M16	M16U半施打	×	×	307	ボルト40	M16	R16U050充浅	×	×	581
ボルト09	M16	C16U070施長	×	×	442	ボルト41	M16	C16U100施斜	×	×	434
ボルト10	M16	R16U100附着	×	×	417	ボルト42	M24	M24D全健全	○	×	938
ボルト11	M16	C16D100健全	○	×	721	ボルト43	M16	M16D半施打	×	○	314
ボルト12	M16	C16D050充奥	×	×	234	ボルト44	M16	R16D100附着	×	×	463
ボルト13	M18	R18D100健全	○	-(基準)	681	ボルト45	M16	C16D070施長	×	×	542
ボルト14	M18	R18D025充奥	×	×	671	ボルト46	M16	C16D100施短	×	×	701
ボルト15	M18	R18D050充奥	×	×	179	ボルト47	M16	C16D025充奥	×	×	345
ボルト16	M24	M24D半施打	×	×	497	ボルト48	M16	R16D025充奥	×	○	902
ボルト17	M16	R16D100施斜	×	×	616	ボルト49	M16	C16D100施斜	×	×	322
ボルト18	M16	C16D100硬化	×	×	701	ボルト50	M16	C16D100附着	×	×	747
ボルト19	M16	R16D100硬化	×	×	615	ボルト51	M16	M16D全健全	○	○	406
ボルト20	M16	M16D全施斜	×	○	316	ボルト52	M16	R16D050充奥	×	×	195
ボルト21	M16	R16D100健全	○	×	628	ボルト53	M16	R16S100腐浅	×	×	655
ボルト22	M16	C16S100腐奥	×	×	739	ボルト54	M16	C16S100健全	○	×	742
ボルト23	M16	C16S100硬化	×	×	672	ボルト55	M18	R18S100破断	×	○	697
ボルト24	M16	C16S100施斜	×	×	512	ボルト56	M18	R18S100腐全	×	○	697
ボルト25	M16	C16S100附着	×	×	728	ボルト57	M24	M24S全健全	○	×	510
ボルト26	M16	M16S全健全	○	-(基準)	314	ボルト58	M16	M16S全施斜	×	×	283
ボルト27	M16	R16S100硬化	×	×	645	ボルト59	M16	C16S100腐浅	×	×	726
ボルト28	M18	R18S100健全	○	○	702	ボルト60	M16	R16S100腐奥	×	×	641
ボルト29	M16	M16S半施打	×	○	355	ボルト61	M24	M24S半施打	×	×	481
ボルト30	M16	C16S100施短	×	×	732	ボルト62	M16	R16S100附着	×	×	436
ボルト31	M16	C16S070施長	×	×	369	ボルト63	M16	R16S100施斜	×	×	674
ボルト32	M16	R16S100健全	○	×	582						

検出率＝不健全と判定されてもののうち、正解個所数／真値の不健全箇所)

$$= 41 / 49$$

$$= 0.84$$

的中率＝不健全と判定されてもののうち、正解個所数／真値の不健全箇所)

$$= 41 / 48$$

$$= 0.85$$

技術番号	BR020015
------	----------

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(支承の機能障害)	開発者名	原子燃料工業株式会社
-----	-----------------------------------	------	------------

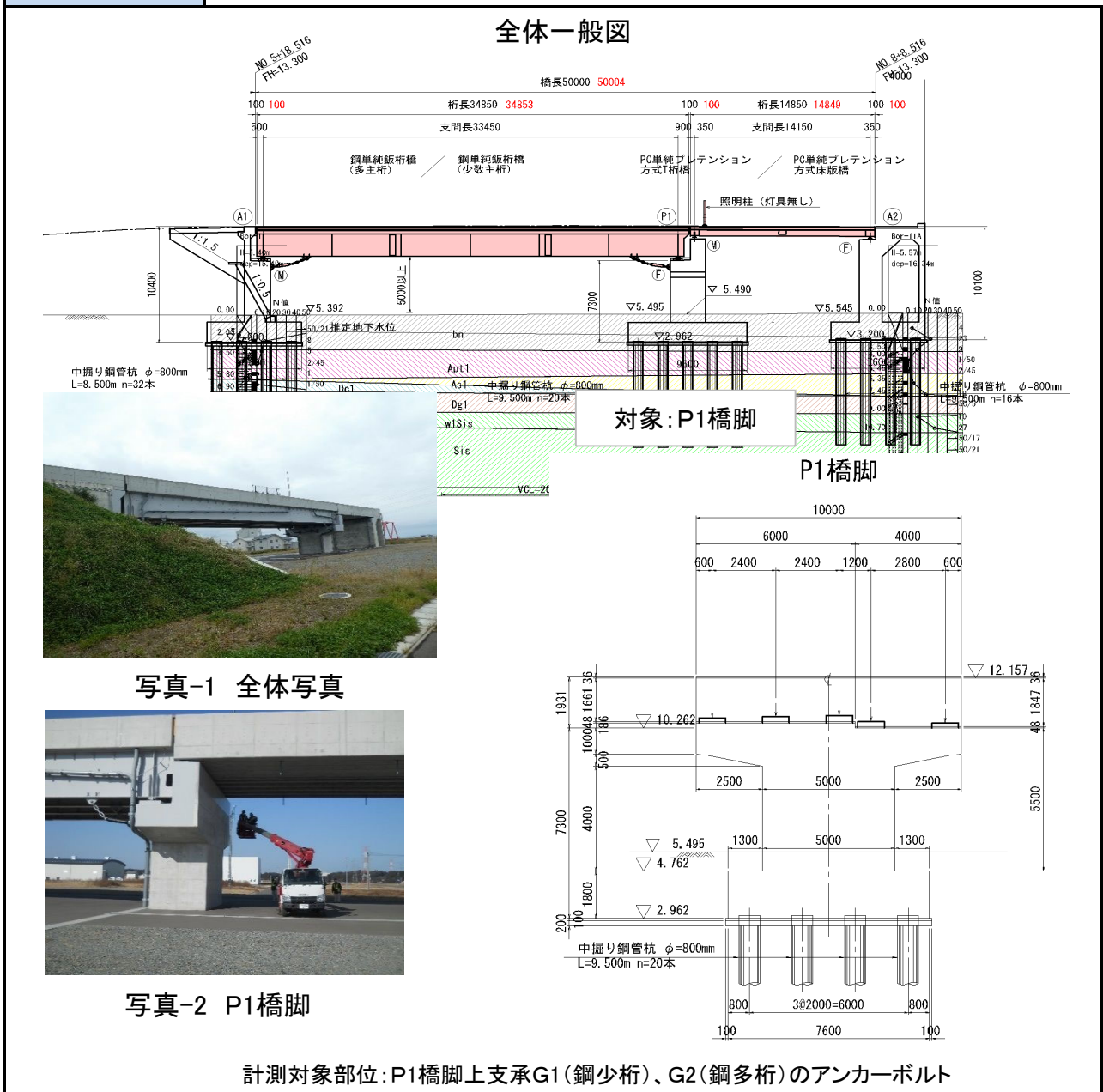
試験日	令和3年 3 月 25 日	天候	晴れ	気温	18.5 °C	風速	0.5 m/s
-----	---------------	----	----	----	---------	----	---------

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	ゆるみ	試験区分	現場試験
--------	---------	------	------	-----	------	------

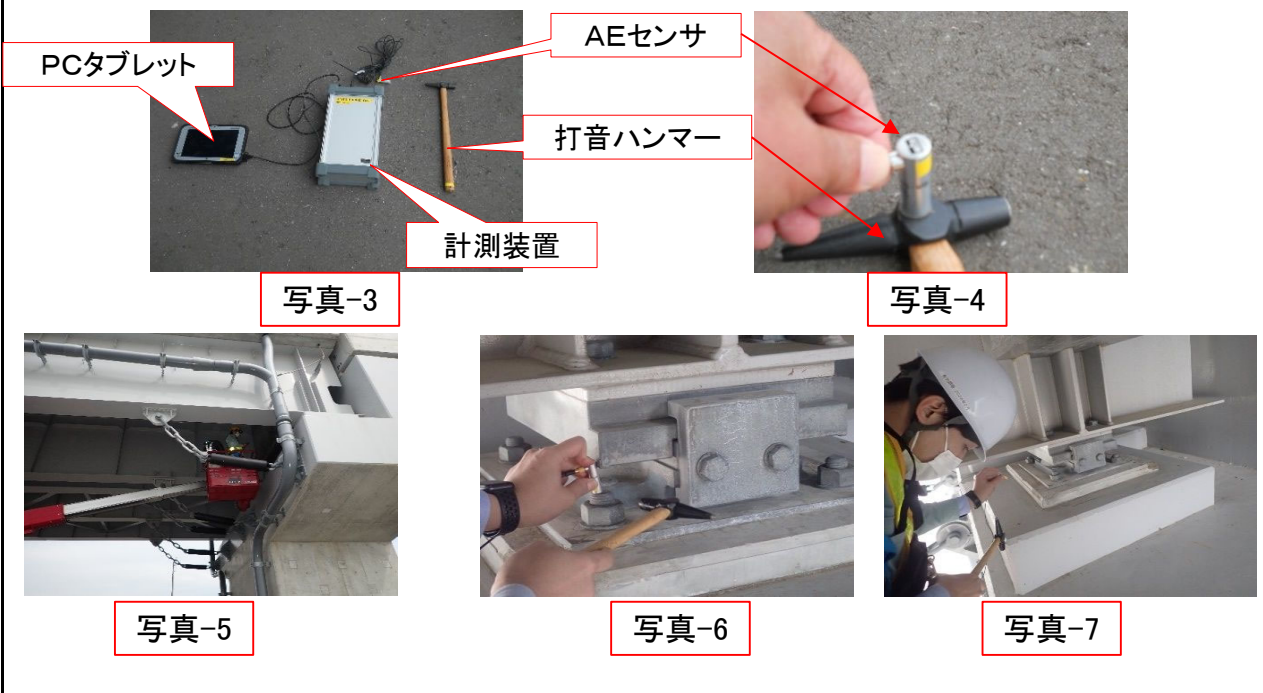
試験で確認する カタログ項目	動作確認(精度以外)
-------------------	------------

対象構造物の概要

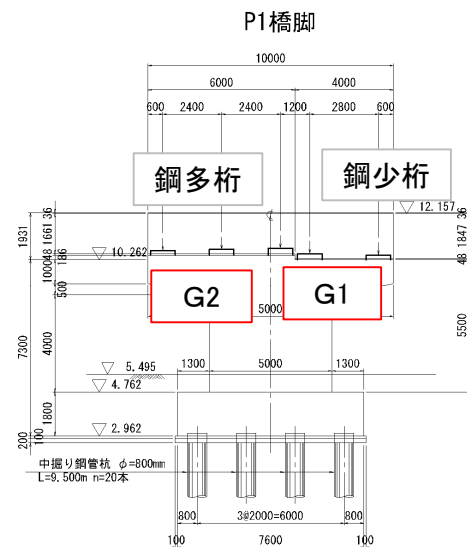
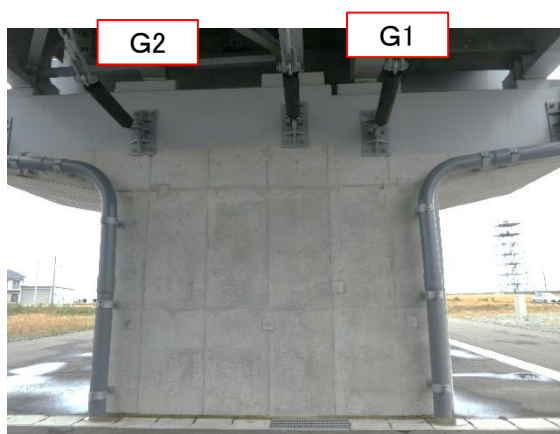


- ① 計測器の搬入(写真-3:AEセンサ、計測装置、PCタブレット、打音ハンマー)
- ② AEセンサと打音ハンマー(写真-4)
- ③ 計測状況:リフト車に同乗し、計測する。(写真-5)
- ④ 計測状況:アンカーボルトの頭部を打音し、AEセンサで計測する。(写真-6)
- ⑤ 計測結果(波形)をPCのモニターで確認する。(写真-7)

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



※P1橋脚上支承G1(鋼少桁)、G2(鋼多桁)のアンカーボルトのゆるみを確認する。(写真-8)

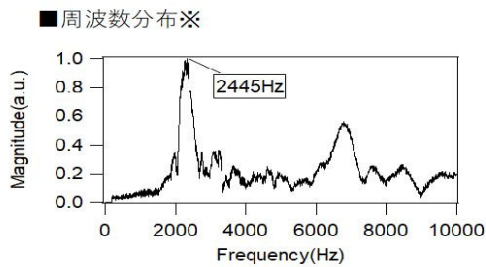
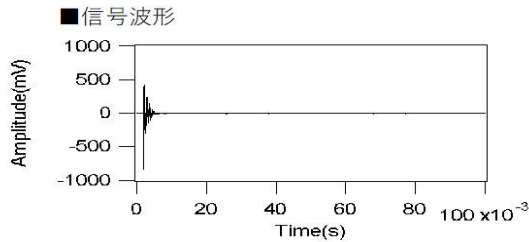




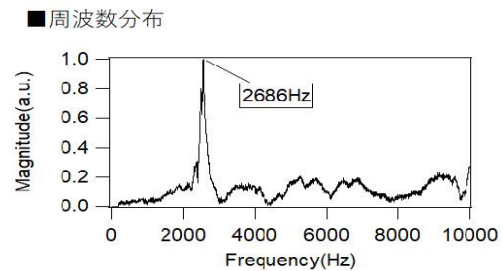
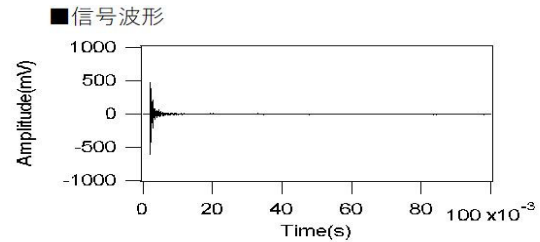
## ○計測結果

## (1) 鋼少数主桁G1支承のアンカーボルト

ボルトNo.1\_ナットあり (ナットの緩みあり)

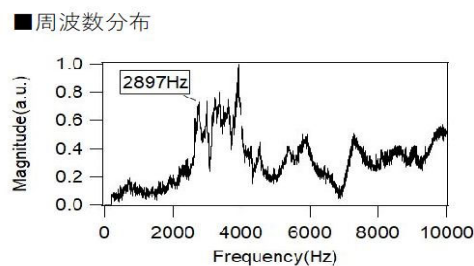
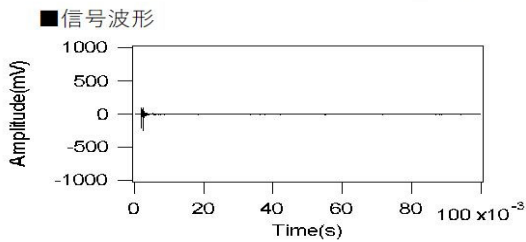


ボルトNo.2\_ナットあり (ナットの緩みあり)

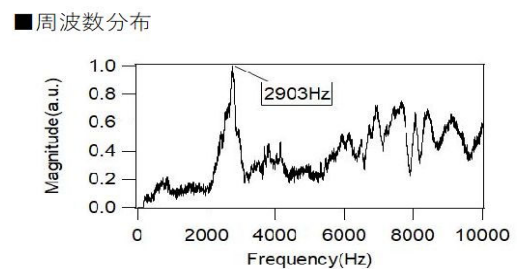
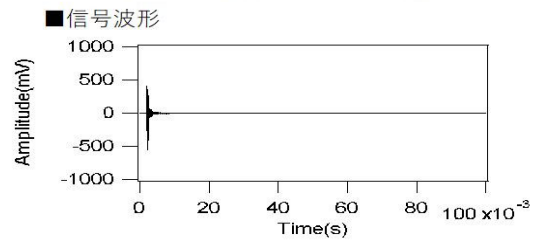


## (2) 鋼多数主桁G2支承のアンカーボルト

ボルトNo.3\_ナットあり (ナットの緩みあり)



ボルトNo.4\_ナットあり (ナットの緩みあり)



## 考察

アンカー頭頂部からナットまでの長さ(頭部長さ)が30 mm以下の場合には、3000 Hz以上が健全、下回れば異常と判定している。(次頁:参考資料参照)。

今回対象のボルト径(ボルトNo.1、2はM30、ボルトNo.3、4はM27、いずれも頭部長さ30mm以下)は、適用対象であることから、健全基準周波数を3000Hzを適用する。

※1 頭部長さが30 mm以上の場合、得られる周波数に対して補正が必要。

※2 本装置でいう異常は、ボルト・ナットのゆるみや、埋め込みコンクリートのひびわれに伴うボルトの定着力低下である。

本現場検証では、実施していないが、異常を検知した後、ナットを締めて測定することで、ナットのゆるみか、埋め込みコンクリートのひびわれに伴うボルトの定着力低下なのかを判別する。



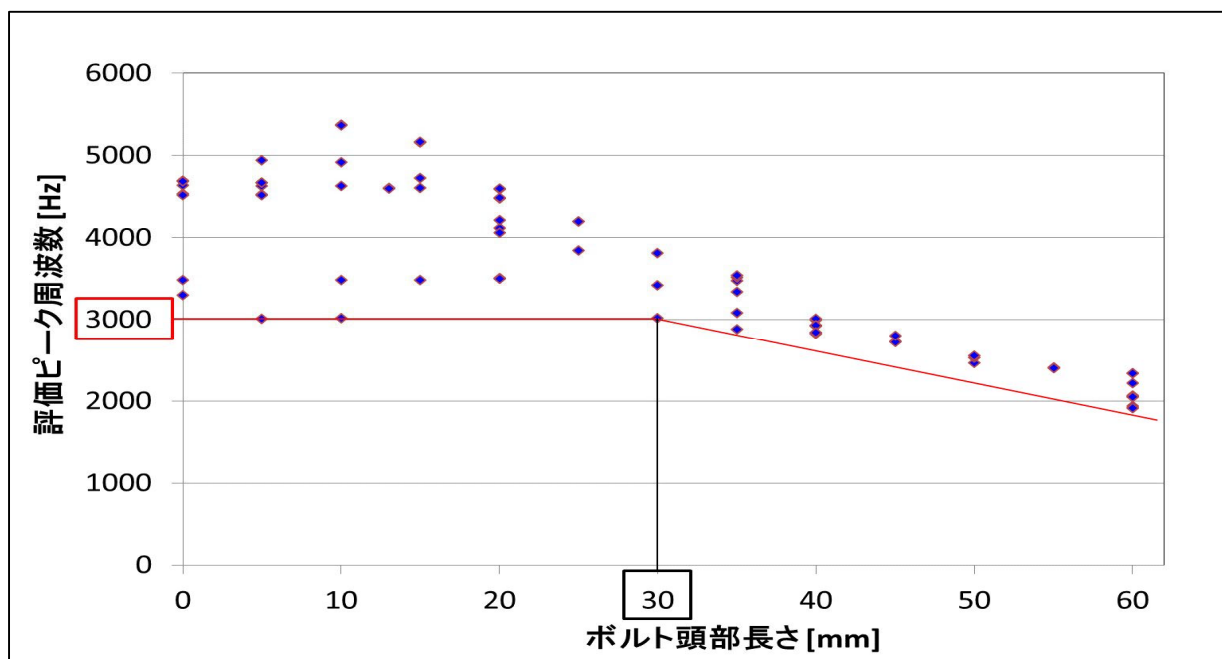
## ※参考資料

## 基準周波数の設定

M24～M36の健全なアンカーボルトのモックアップ試験体の頭部長さと周波数の関係より、アンカー頭頂部からナットまでの長さ(頭部長さ)が30 mm以下の場合には、3000 Hz以上が健全、下回れば異常と判定する。その場合の3000Hzを基準周波数と設定する。



M24～M36アンカーボルトモックアップ試験体



M24～M36アンカーボルトのボルト頭部長さと周波数の関係