

技術番号	BR030019						
技術名	低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術	開発者名	能美防災株式会社				
試験日	令和2年 1 月 23 日	天候	—	気温	25 °C	風速	— m/s
試験場所	開発者関連実験施設内						
カタログ分類	計測・モニタリング技術	カタログ	検出項目	加速度	試験区分	標準試験	

試験で確認する カタログ項目	検出感度
-------------------	------

対象構造物の概要

- 振動試験機の概要
 - ・メーカー:IMV株式会社
 - ・型名:m120S/MA1
 - ・加振力:1200N(正弦波)
 - ・振動範囲:5~150Hz
 - ・最大加速度:69.3m/s²
- 加速度ピックアップの概要
 - ・メーカー:IMV株式会社
 - ・型名:VP-32
- 計測試験の概要
 - ・制御加速度:0.1G
 - ・振動数:5、7、10、12、15、20Hz
 - ・振動時間:10分程度

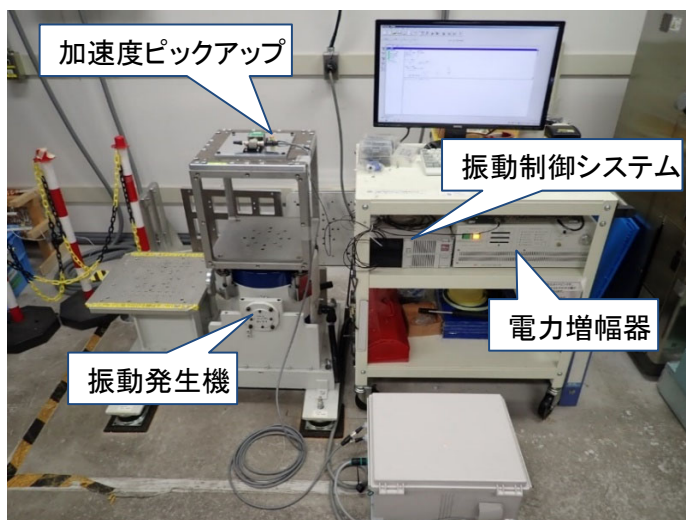


写真-1 振動試験機

試験方法(手順)

- ① 開発者の加速度センサ、振動試験機制御用ピックアップを所定の位置に設置(写真-1)
- ② 初期値として振動試験機を0.1G、5Hzに設定し、加振する。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 振動数を順次7、10、12、15、20Hzに変えて、上記②~④を行う。

機器の構成と設置

取付位置は、写真-2を参照。計測器の構成は写真-3を参照

- ①加速度センサ
- ②中継処理装置

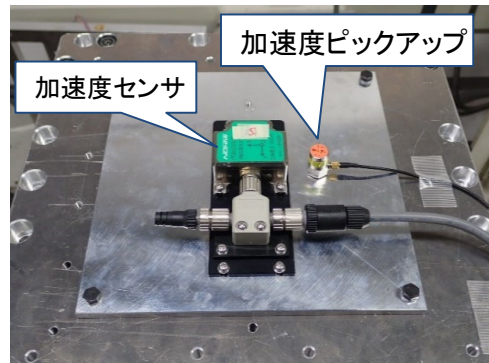


写真-2 取付位置

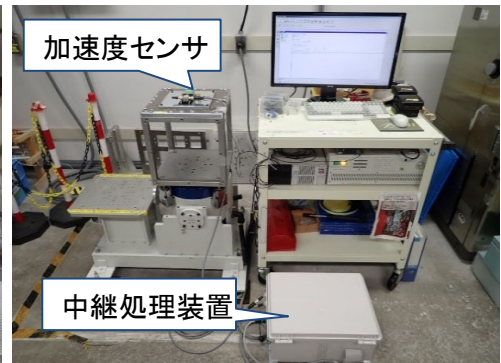


写真-3 測定機器

計測結果の比較

振動試験機による検出感度の計測結果

開発者の加速度センサによって計測された各周波数における加速度値を示す。(表-1)
 この結果から、開発者が計測した検出感度とメーカー保証値の検出感度(減衰特性)が一致していることを確認した。(図-1)

表-1 計測された加速度値と検出感

周波数 [Hz]	加速度 [G]	検出感度 [dB]
5	0.090	-0.89
7	0.086	-1.33
10	0.079	-2.03
12	0.067	-3.54
15	0.053	-5.59
20	0.030	-10.47

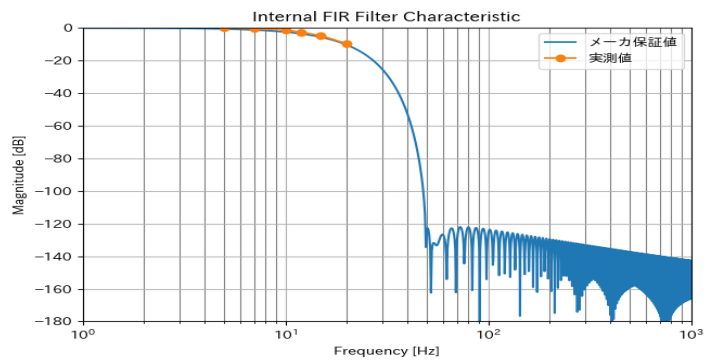


図-1 検出感度(減衰特性)

技術番号	BR030019
------	----------

技術名	低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術	開発者名	能美防災株式会社
-----	---------------------------	------	----------

試験日	平成29年 10 月 31 日	天候	—	気温	- °C	風速	- m/s
-----	-----------------	----	---	----	------	----	-------

試験場所	開発者関連実験施設内
------	------------

カタログ分類	計測・モニタリング技術 カatalog	検出項目	加速度	試験区分	-
--------	---------------------	------	-----	------	---

試験で確認する カタログ項目	S/N比
-------------------	------

対象構造物の概要

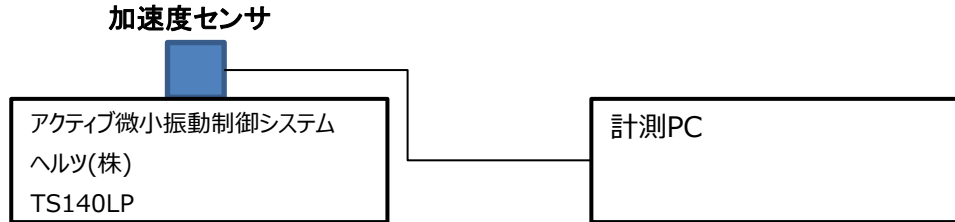
<ul style="list-style-type: none">・防振台(アクティブ微小振動制御システム)の概要(写真無し)・製品名: TS140LP・メーカー: ヘルツ(株)・機器搭載盤面積: 500×600mm・システム寸法(約): 500×600×84mm

試験方法(手順)

- | |
|--|
| ① 開発者の加速度センサを、防振台上の所定の位置に設置(図-1)する。 |
| ② 防振台を起動させ、計測を行う。 |
| ③ 2017/10/31~2018/1/18の間で、開発者の加速度センサ185個について、同様に計測を実施。 |

機器の構成と設置

図-1を参照



※加速度センサのXおよびY軸方向は水平(0G)、Z軸方向は垂直(1G)の状態

図-1 計測ブロック図

計測結果

加速度センサのノイズ密度の算出結果

防振台上に設置した、開発者の加速度センサ185個による各計測値から、ノイズ密度を算出した。

算出したノイズ密度について、横軸にノイズ密度、縦軸に度数をとったヒストグラムを図-2(0.5~6Hz)、図-3(0.5~100Hz)に示す。

図-2から、0.5~6Hz間でのノイズ密度平均はX軸0.270、Y軸0.277、Z軸0.098[$\mu\text{Grms}/\text{VHz}$]、最大値は、約1.4[$\mu\text{Grms}/\text{VHz}$](Z軸)であり、メーカー保証値である平均0.5、最大2.0[$\mu\text{Grms}/\text{VHz}$]以内に収まっていることを確認した。

図-3から、0.5~100Hz間でのノイズ密度最大値は、約29[$\mu\text{Grms}/\text{VHz}$](Y軸)であり、メーカー保証値60[$\mu\text{Grms}/\text{VHz}$]以内に収まっていることを確認した。

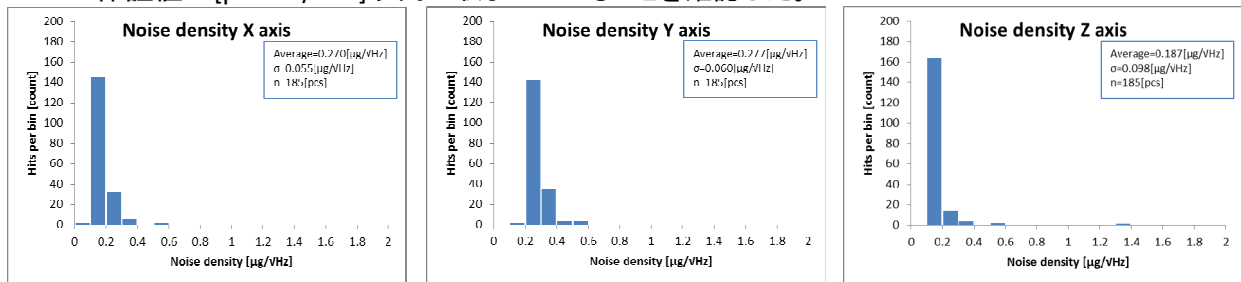


図-2 加速度センサのノイズ密度(0.5Hz to 6Hz)

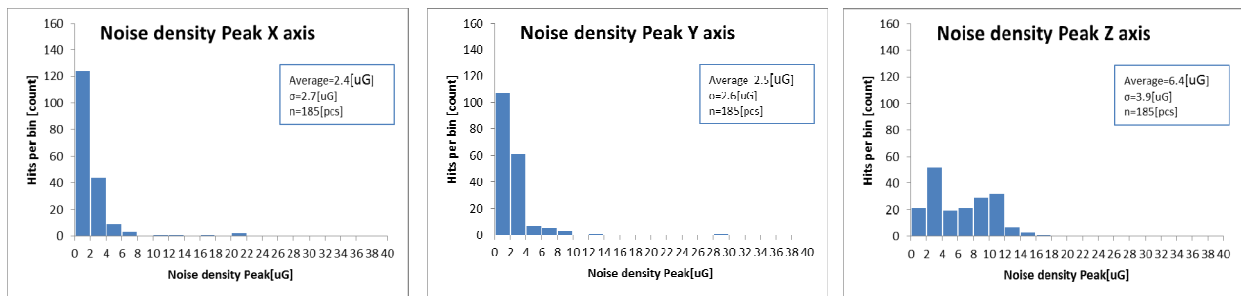


図-3 加速度センサのノイズ密度(0.5Hz to 100Hz)

技術番号	BR030019
------	----------

技術名	低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術	開発者名	能美防災株式会社
-----	---------------------------	------	----------

試験日	平成30年 3 月 20 日	天候	—	気温	— °C	風速	— m/s
-----	----------------	----	---	----	------	----	-------

試験場所	開発者関連実験施設内
------	------------

カタログ分類	計測・モニタリング技術 カタログ	検出項目	加速度	試験区分	—
--------	------------------	------	-----	------	---

試験で確認する カタログ項目	計測精度(直線性)
-------------------	-----------

対象構造物の概要

<p>1. 振動試験機の概要(写真無し)</p> <ul style="list-style-type: none">・製品名: 512-D/A/Z04・メーカー: EMIC・入力加振力: 約-5~+5[G] <p>2. 基準加速度計の概要</p> <ul style="list-style-type: none">・製品名: Model 45A19・メーカー: MEGGITT・軸数: 3軸

試験方法(手順)	振動試験機による振動
----------	------------

- | | |
|---|-------------------------------------|
| ① | 振動試験機上に、基準加速度計と、開発者の加速度センサを設置(図-1)。 |
| ② | 振動試験機を加振させる。 |
| ③ | 加振力を、-5~+5G]の範囲で変化させる。 |
| ④ | 計測者は、加速度値および加振力が正しく記録されていることを確認する。 |

機器の構成と設置

図-1を参照

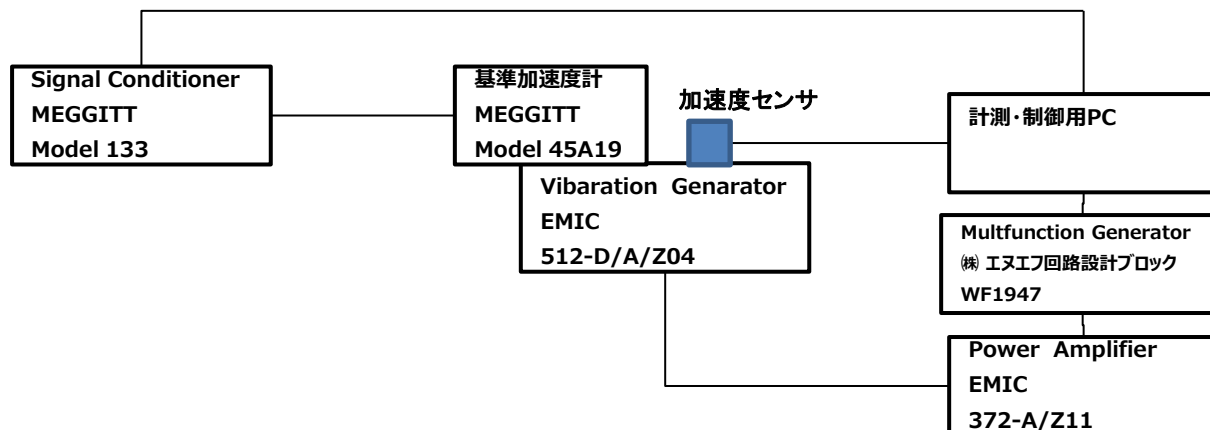


図-1 計測ブロック図

計測結果

加速度センサの直線性の算出結果

基準加速度計の計測値に対する、開発者の加速度センサによる計測値の比較結果から算出した、直線性誤差を図-2に示す。

この試験結果では、直線性は±約0.01% of F.S.であり、メーカー保証値である0.03%FS以内に収まっていることを認した。

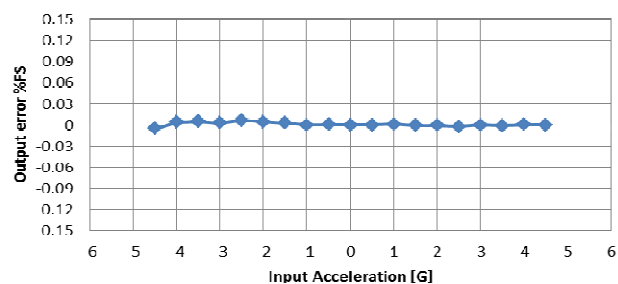


図-2 加速度センサの直線性誤差

技術番号 BR030019

技術名 低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術 開発者名 能美防災株式会社

試験日 平成28年 10 月 1 日 天気 — 気温 16.2 (平均) °C 風速 - m/s

試験場所 某橋梁(福島県)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 加速度 試験区分 -

試験で確認する
カタログ項目 計測精度(傾き温度誤差)

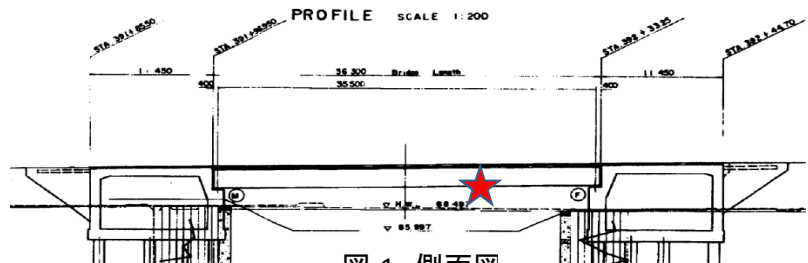
対象構造物の概要

1. 橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鈹桁橋
- ・橋 長: 36.30m
- ・支 間: 35.50m
- ・有効幅員: 10.75m
- ・桁 高: 2.00m
- ・主桁間隔: 3.50m(4主桁)

2. 計測試験の概要

- ・常時計測環境下による傾きの推移の計測
- ・測定期間: 1年強



試験方法(手順)

- ① 開発者の加速度センサを、所定の位置に設置(図-1の星印)。
- ② 常時計測を開始する。
- ③ 所定期間を計測する。(2016年10月～2018年2月末)

機器の構成と設置

写真-1,2を参照

- ①加速度センサ
- ②中継処理装置



写真-1 センサ設置



写真-2 中継処理装置

計測結果の比較

加速度値による傾きの算出結果

開発者の加速度センサによる計測結果例を示す。(図-2)

3軸加速度の瞬時値から、橋軸方向の傾きを算出し、
直流成分(超低周波成分)を抽出しプロットした結果を図-3に示す。

この結果から、年間を通した傾きの変動幅(温度変化約0~38°Cによる誤差)が
±約0.02[deg.]であり、メーカー保証値である±0.229[deg.]以内に収まっていることを確認した。

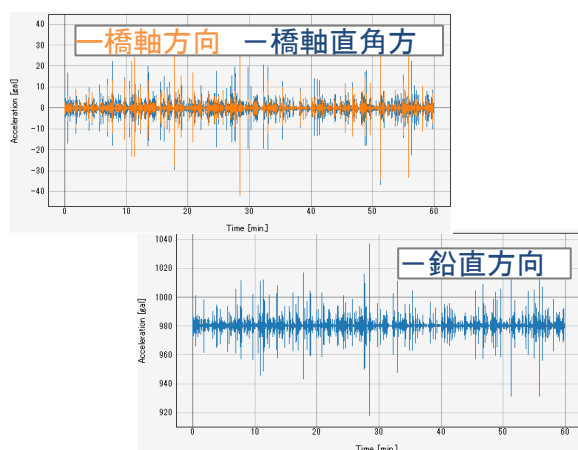


図-2 計測された加速度値(1時間分)

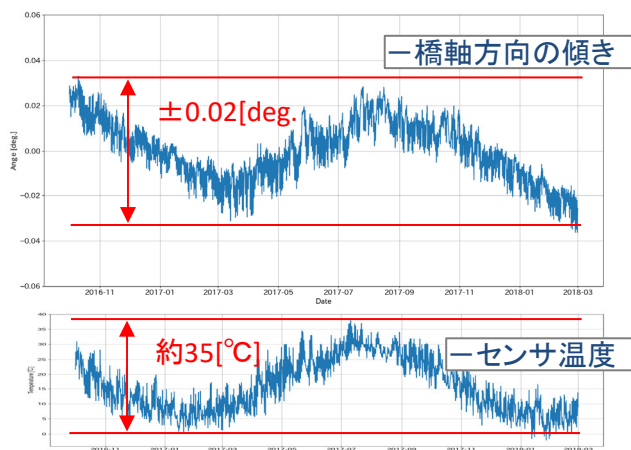


図-3 傾き温度誤差

技術番号	BR030019
------	----------

技術名	低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術	開発者名	能美防災株式会社
-----	---------------------------	------	----------

試験日	平成30年 1 月 11 日	天候	—	気温	- °C	風速	- m/s
-----	----------------	----	---	----	------	----	-------

試験場所	開発者関連実験施設内		
------	------------	--	--

カタログ分類	計測・モニタリング技術 カタログ	検出項目	加速度	試験区分	-
--------	------------------	------	-----	------	---

試験で確認する カタログ項目	計測精度(データ温度特性)
-------------------	---------------

対象構造物の概要

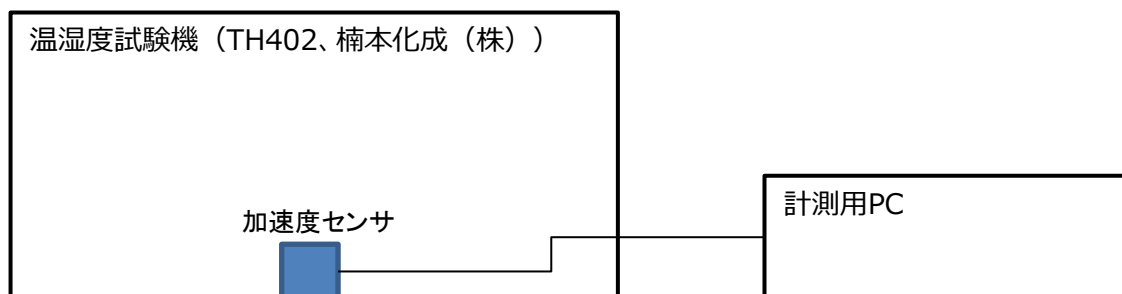
<ul style="list-style-type: none">・温湿度試験機の概要(写真無し)・製品名: TH402・メーカー: 楠本化成(株)

試験方法(手順)

- | |
|--|
| ① 開発者の加速度センサを、温湿度試験機内に設置(図-1)。 |
| ② 試験機内温度を約-20~80°Cで変化させ、各温度設定時の加速度値を計測。 |
| ③ 計測期間内(2018/1/11~2018/1/15)において、加速度センサ48個について同様に計測。 |

機器の構成と設置

図-1を参照



※加速度センサはXおよびY軸方向は水平 (0G)、Z軸方向は垂直 (1G) の状態

図-1 計測ブロック図

計測結果

加速度センサのデータ温度特性の計測結果

開発者の加速度センサ48個の各計測値から、データ温度特性を算出した。各センサのX,Y,Z各軸における25℃設定時の加速度値を基準0[mg]として、加速度の相対値をプロットしたものを図-2に示す。この実証実験では、温度特性(変化量)は、各軸において、X軸方向では、平均0.98[mg]、最大2.1[mg]、Y軸方向では、平均0.62[mg]、最大1.54[mg]、Z軸方向では、平均0.46[mg]、最大0.89[mg]という結果となった。メーカー保証値の温度特性値4[mg]以内に収まっていることを確認した。

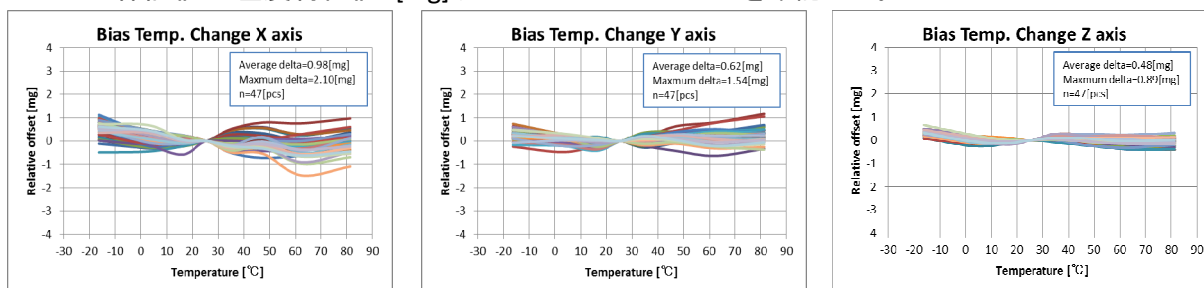


図-2 加速度センサのデータ温度特性

技術番号 BR030019

技術名 低周波3軸加速度センサによる主構造物の振動解析技術 開発者名 能美防災株式会社

試験日 令和2年 1 月 22 日 天候 曇 気温 8.6 °C 風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 加速度 試験区分 標準・現場試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度, 動作確認

対象構造物の概要

1. 土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鉸桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m(4主桁)

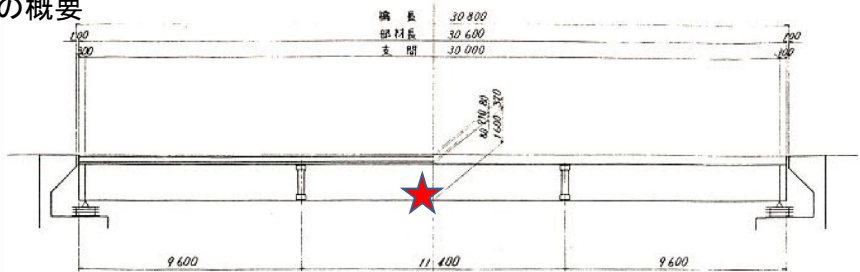


図-1 側面図

2. 載荷試験の概要

①起振機による振動

- ・起振機の加振力: 147N
- ・載荷位置: 主桁支間中央(★位置)
- ・振動数: 7Hz
- ・振動時間: 30分程度

②車両走行試験

- ・車両重量: 20ton, 速度: 20km/h
- ・載荷位置: 床版支間中央(図-3参照)★位置)

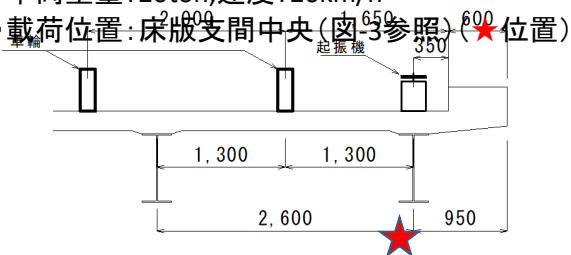


図-3 荷重載荷位置

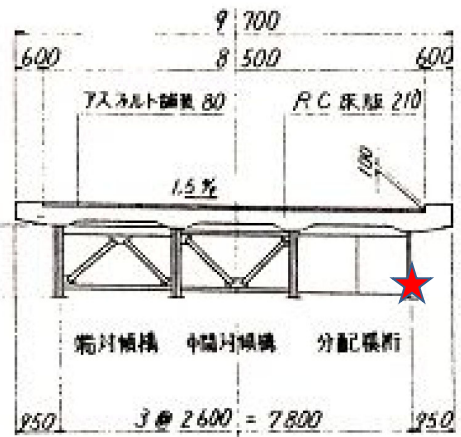


図-2 断面図



※車輪通過位置: 床版支間中央
速度: 20km/h(一定)

写真-1 車両載荷(20t)



※起振機はスパンセンターに設置

※振動数: 7

写真-2 起振機

試験方法(手順)

①起振機による振動

技術番号

BR030019

- ① 開発者側の加速度センサ, リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3~写真-5)
- ② 起振機(写真-2)を設置し、支間中央(図-1)を7Hzで振動させる。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 上記②~④を2回行う。

試験方法(手順)

②車両走行試験

- ① 開発者側の加速度センサ, リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3~写真-5)
- ② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に車輪が通行するように走行(20km/h)させ、橋梁通過後合図する。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、車両通過の合図から常時微動までの間(約5秒)計測する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 上記②~④を5回行う。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置

写真-3を参照

- ①加速度センサ
- ②中継処理装置
- ③ノートPC

写真-3 測定機器



機器の設置

①加速度測定

取付け位置は、図-1～3、写真-4を参照。測定機器の構成は、写真-5を参照



写真-4 加速度計による測定

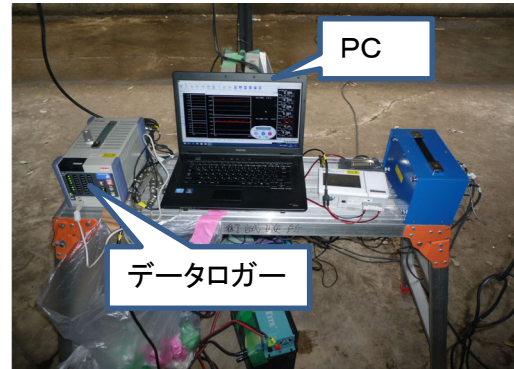


写真-5 測定機器

1. 起振機による振動の計測結果

- ・開発者による加速度計測結果と基準センサによるリファレンスデータとの比較を図-4に示す。2つの固有振動数(3.4Hz、4.95Hz)および加振周波数(6.51Hz)でピークが重なる。
- ・基準センサでは、高周波の振動がサンプリング時の折り返し雑音として表れている。
- ・詳細な比較を行うために、原波形から周波数バンドパスフィルタ処理で抜き出し、周波数成分ごとの波形を比較した結果を図-5に示す。波形の一致が確認された。
- ・実効値の誤差は、表-1に示すように平均1.5%以下、最大5%以下で一致した。
- ・また、表-2に示す、加振実験2回分の加振周波数導出結果に基づき、相対差(基準:リファレンスデータ)は0.0Hz(0.0%)であることが確認された。

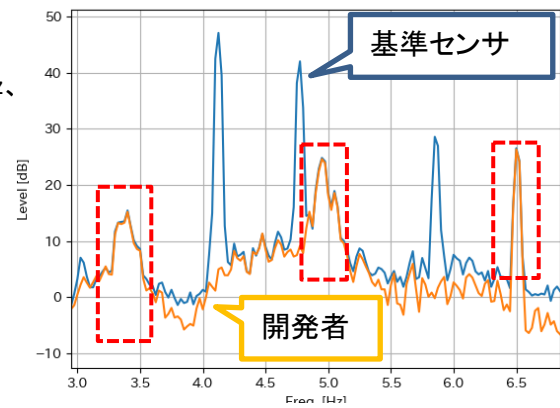


図-4 周波数スペクトルの対比

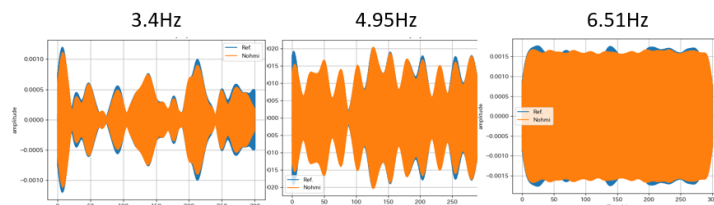


図-5 周波数成分ごとの波形を比較

表-2 FFT解析による加振周波数導出結果(分解能0.004Hz)

	開発者による加速度計測結果	リファレンスデータ
1回目	6.508Hz	6.508Hz
2回目	6.508Hz	6.508Hz

表-1 実効値の誤差

実効値の比較結果	3.4Hz	4.95Hz	6.51Hz
1回目	4.320%	0.192%	0.146%
2回目	1.849%	0.374%	0.954%

2. 車両走行試験

- ・開発者による加速度計測結果と基準センサによるリファレンスデータとの比較を図-6に示す。2つの固有振動数(3.4Hz、4.95Hz)でピークが重なる。
- ・詳細な比較を行うために、原波形から周波数バンドパスフィルタ処理で抜き出し、周波数成分ごとの波形を比較した結果を図-7に示す。波形の一致が確認された。
- ・実効値の誤差は、表-3に示すように、平均4%以下、最大7%以下の誤差で一致した。
- ・また、表-4に示す、車両走行5回分の固有振動数導出結果に基づき、相対差(基準:リファレンスデータ)は0.018Hz(0.53%)であることが確認された。

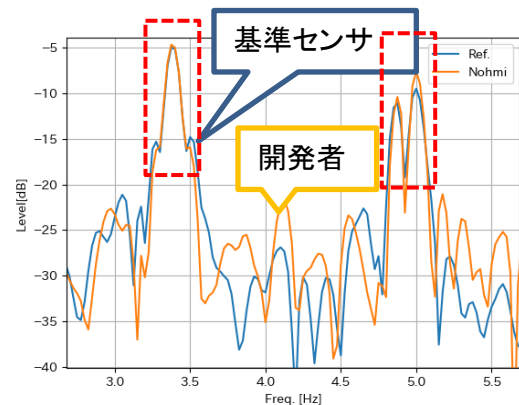


図-6 周波数スペクトルの対比

表-3 実効値の誤差

固有振動数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
3.4Hz	2.347%	3.204%	4.967%	3.856%	3.496%	3.574%
4.95Hz	1.434%	0.505%	3.475%	0.969%	6.884%	2.653%

表-4 FFT解析による固有振動数導出結果(分解能0.04Hz)

固有振動数(1次)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
開発者による加速度計測結果	3.36Hz	3.40Hz	3.36Hz	3.40Hz	3.40Hz	3.383Hz
リファレンスデータ	3.40Hz	3.40Hz	3.36Hz	3.40Hz	3.40Hz	3.392Hz

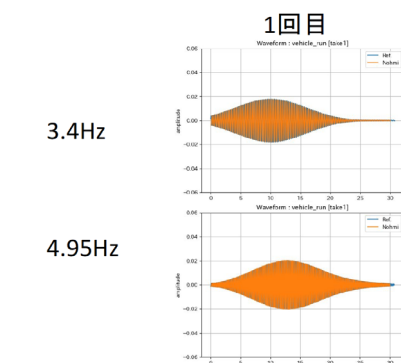


図-7 周波数成分ごとの波形を比較

技術番号 BR030020

技術名 無線センサネットワーク構造モニタリング

開発者名 サンシステムサプライ(株)

試験日 令和2年1月20日PM

天候 晴

気温 11 °C

風速 - m/s

試験場所 土木研究所管内 試験橋梁

カタログ分類 データ収集・通信

検出項目 -

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. 土木研究所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鈹桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m (4主桁)

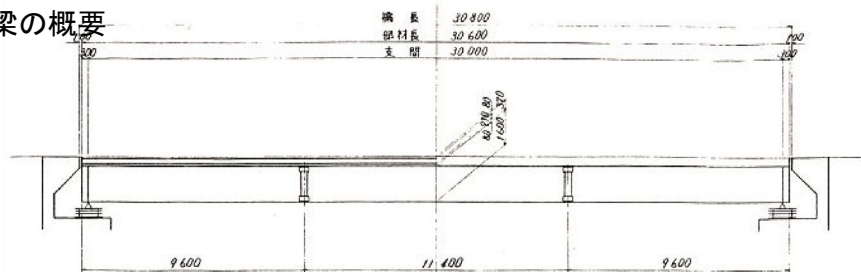


図-1 側面図

2. 载荷試験の概要

① 車両走行試験

- ・車両重量: 20ton, 速度: 20km/h
- ・载荷位置: 床版支間中央 (図-3参照)

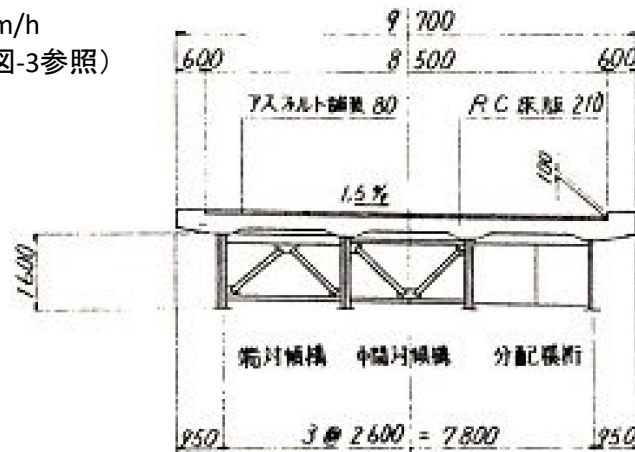


図-2 断面図



※車輪通過位置: 床版支間中央
速度: 20km/h (一定)

写真-1 車両载荷 (20t)

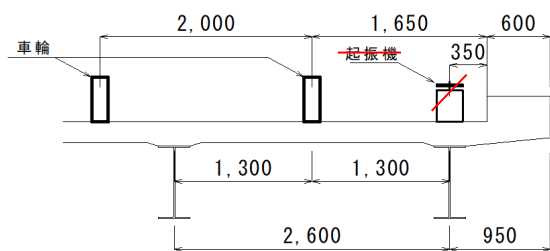


図-3 荷重载荷位置

- ① 無線センサーユニットを支間中央部地覆上面に設置し、少し離れた位置(4m)に無線ルータを設置。
- ② 車両を走行(20km/h)させ、橋梁の加速度のデータを無線センサーユニット内部のメモリに記録する。
- ③ 無線センサーユニットから無線通信にて無線ルータを経由させ外部サーバーへデータを伝送させる。
- ④ データの確認を持参したPCにてモバイルルータを介して閲覧、確認する。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の設置

- ①無線ルーター
電源は商用電力またはバッテリー
- ②無線センサーユニット(3軸加速度計内蔵)
- ③PC, モバイルルーター
取付け位置は、地覆上面(写真-3), PCは手持ち。

2. 伝送方法

・無線センサーユニットから無線通信(インターネット回線)を行い、無線ルーターを経由し指定のデータ送付先に伝送する。

(図-4)



写真-3 機器の設置



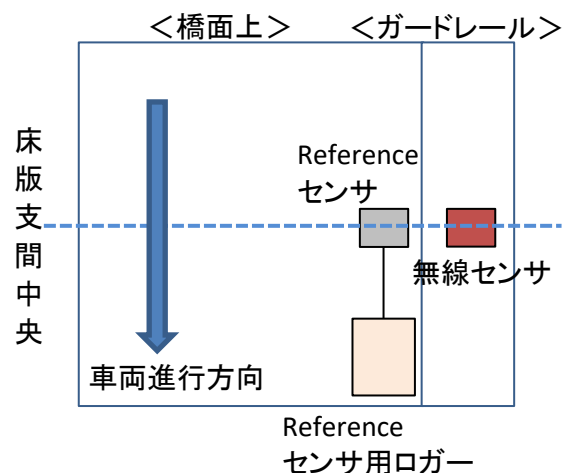
図-4 データ送信方法

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況



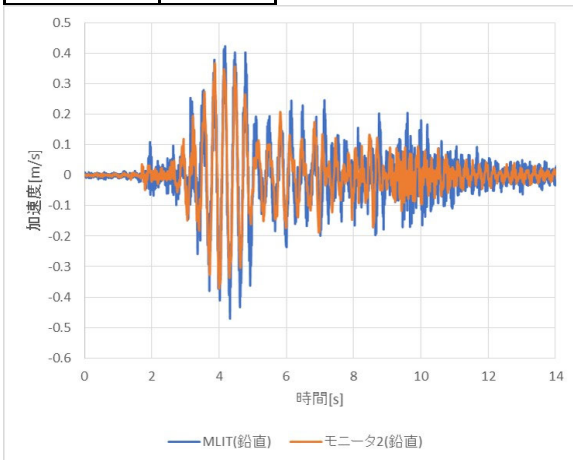
※車輪通過位置: 床版支間中央
速度: 20km/h(一定)

写真-4 車両載荷(20t)

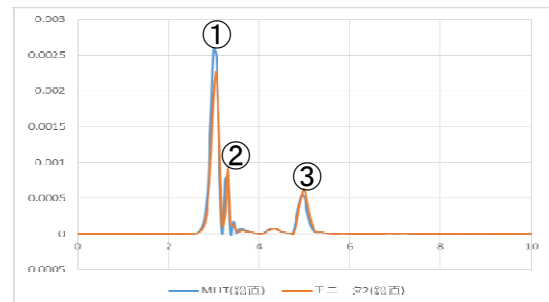


1. 橋梁調査会様にて取得されたデータと弊社のシステムにて収録したデータを比較、確認した。

車両走行時間 15:40:15



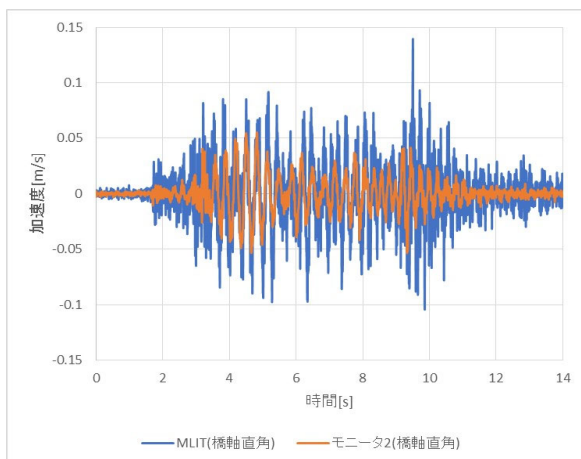
グラフ-1 鉛直方向比較データ(時系列)



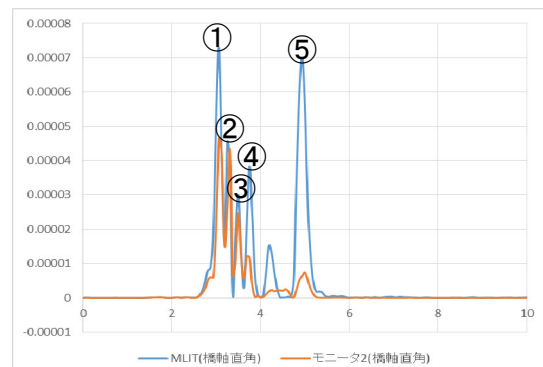
グラフ-2 鉛直方向FFT解析比較データ

#	MLIT (Reference)	モニター(本技術)
①	3Hz	3.0625Hz
②	3.3125Hz	3.3125Hz
③	4.9375Hz	5Hz

表1 鉛直方向FFT卓越周波数



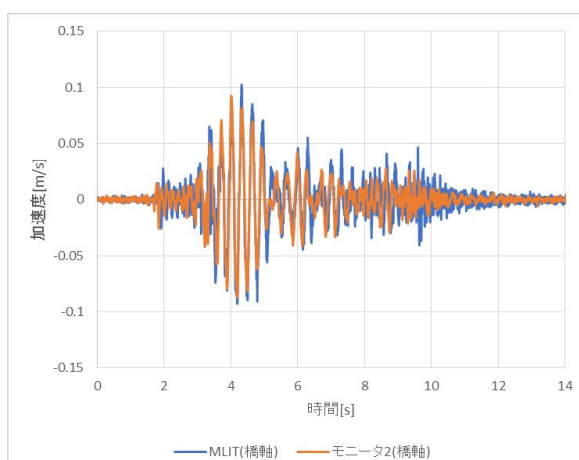
グラフ-3 橋軸直行方向比較データ(時系列)



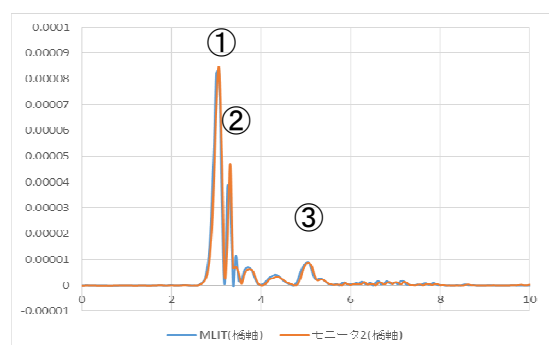
グラフ-4 橋軸直行方向FFT解析比較データ

#	MLIT (Reference)	モニター(本技術)
①	3.0625Hz	3.0625Hz
②	3.25Hz	3.3125Hz
③	3.5Hz	3.5Hz
④	3.75Hz	3.75Hz
⑤	4.9375Hz	5Hz

表2 橋軸直行方向FFT卓越周波数



グラフ-5 橋軸方向比較データ(時系列)



グラフ-6 橋軸方向FFT解析比較データ

#	MLIT (Reference)	モニター(本技術)
①	3.0625Hz	3.0625Hz
②	3.3125Hz	3.3125Hz
③	5.0625Hz	5.0625Hz

表3 橋軸方向FFT卓越周波数

技術番号 BR030022

技術名 塩害補修効果モニタリングシステム 開発者名 日本工営 株式会社

試験日 平成30年 8 月 7 日 天候 (室内) 気温 20.0 °C 風速 - m/s

試験場所 金沢工業大学 やつかほりサーチキャンパス構内 (試験室内)

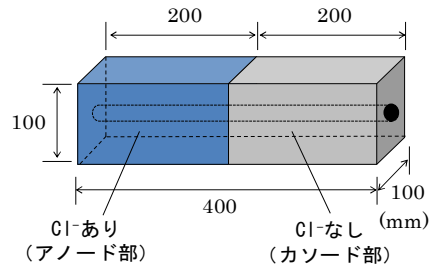
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 電位(電圧) 試験区分 -

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

1. 計測対象の概要

- ・計測対象: 鉄筋コンクリート試験体
- ・寸法: 100×100×400 mm(図-1)
(塩分含有部): 100×100×200mm
(断面修復部): 100×100×200mm
- ・配合: 表-1の通り、母材コンクリート部は塩化物イオン7kg/m³を混練



【未補修部】
コンクリートW/C = 60 %

【補修部】
ポリマーセメントモルタル

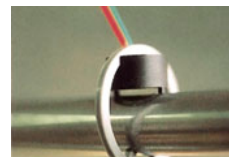
2. 試験の概要

- ①腐食促進試験
 - ・温度40°C, 湿度90%の環境で曝露
- ②計測方法・対象箇所
 - ・鉛式照合電極、小型照合電極を使用
 - ・照合電極を50mm間隔で設置(図-2 a))
 - ・材齢31日まで定期的に計測を実施
- ③精度検証方法
 - ・分割鉄筋による腐食電流値と比較(図-2 b))

図-1 計測対象概要



a) 鉛式照合電極



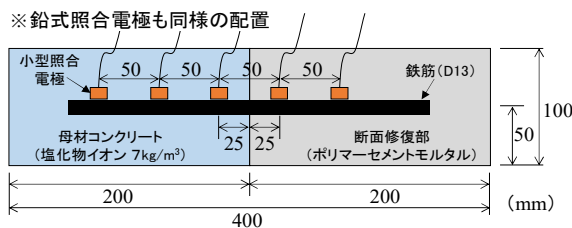
b) 小型照合電極

写真-1 使用した照合電極

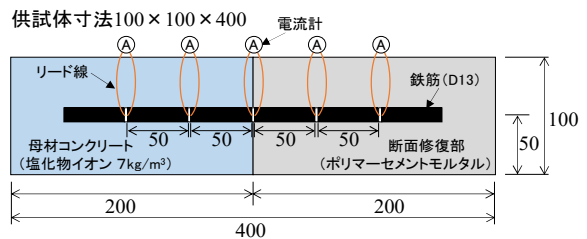
表-1 計測対象配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単分量(kg/m ³)				
			W	C	S	G	Ad
25	60	43	174	290	770	1034	1.45

※塩化物イオンは練り混ぜ水にNaClとして混入



a) 照合電極設置図



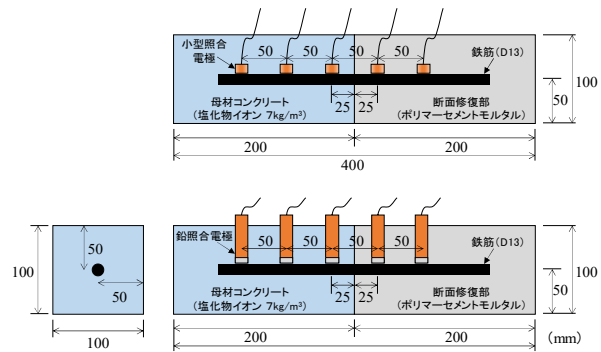
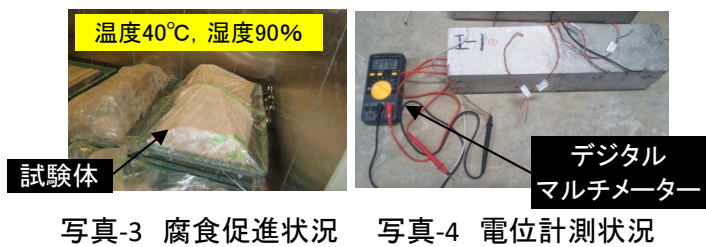
b) 分割鉄筋供試体概要図

図-2 計測対象箇所

- ① 開発者側の照合電極及び分割鉄筋(リファレンス用)を所定の位置に設置し、母材コンクリート・断面修復部の順で打設する。(写真-2)
- ② 恒温恒湿状態で放置しマクロセル腐食を促進させる。(材齢3~31日で腐食促進を実施)
- ③ 定期的に試験体に設置した照合電極の電位及び分割鉄筋の電流の計測を行う。(写真-3、写真-4)
- ④ 照合電極の電位と分割鉄筋の電流を記録し、腐食傾向が一致しているかを確認する。
- ⑤ 上記③~④を数回行う。

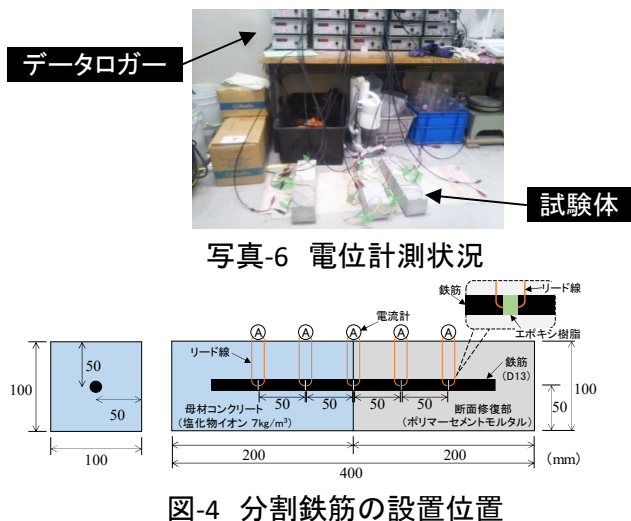
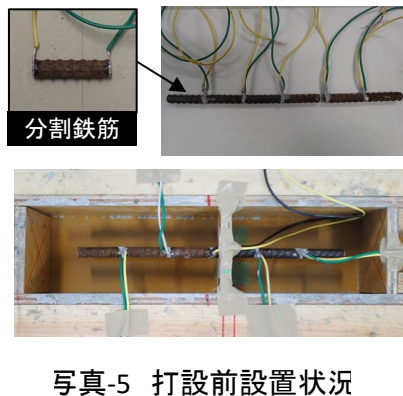
開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置



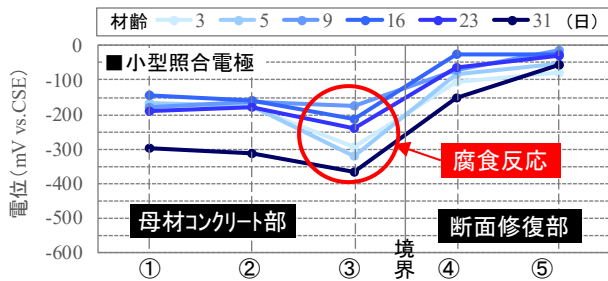
比較対象を得るため、計測機器の設置状況

1. 機器の設置
分割鉄筋の設置

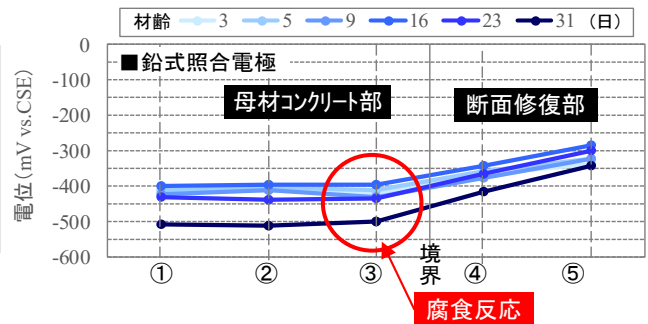


1. 計測結果

- ・小型照合電極、鉛式照合電極で計測した電位の経時変化を図-5に示す。
※電位は飽和硫酸銅電極(CSE)に換算した値
- ・小型照合電極、鉛式照合電極は塩化物イオンを含む母材コンクリート部の断面修復部に近い箇所で電位が低下し、マクロセル腐食の反応を捉えている。



a) 小型照合電極の電位



b) 鉛式照合電極の電位

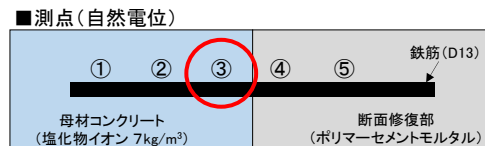
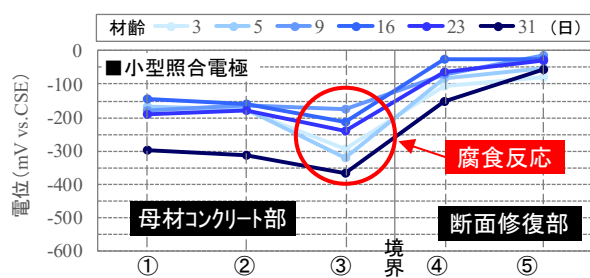


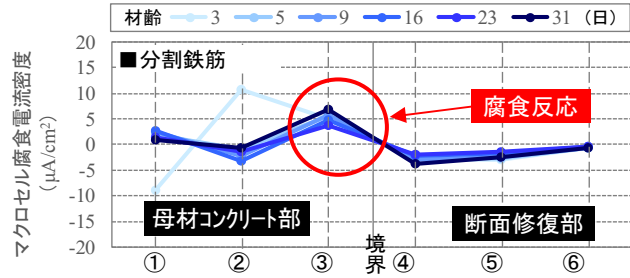
図-5 開発者による照合電極計測結果(左:小型照合電極 右:鉛式照合電極)

2. 検証結果

- ・分割鉄筋で計測した腐食電流密度の計測結果(リファレンスデータ)を図-6に示す。
- ・分割鉄筋の計測で測点③の腐食電流密度が高くなりマクロセル腐食が発生していることが確認できる。これに対し、小型照合電極、鉛式照合電極も同位置での電位低下(腐食反応)を精度良く捉えている。



a) 小型照合電極の電位



b) 分割鉄筋の腐食電流密度

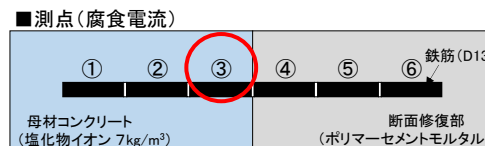


図-6 分割鉄筋による腐食電流密度の計測結果(リファレンスデータ※右図)

技術番号 BR030022

技術名 塩害補修効果モニタリングシステム 開発者名 日本工営 株式会社

試験日 平成29年 11 月 7 日 天候 晴 気温 20.0 °C 風速 - m/s

試験場所 某橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 電位(電圧) 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. 橋梁の概要

・構造形式:PCI桁(1985年竣工) (写真-1)

2. 試験の概要

計測方法・対象箇所

- ・鉛式照合電極を使用(図-1)
- ・断面修復箇所(2箇所)に設置(写真-2)
- ・桁端部の劣化(凍結防止剤による塩害)に対して実施した断面修復の補修効果確認を実施



写真-1 M橋全景(PCI桁橋)



a) 設置位置①



b) 設置位置②

写真-2 設置位置の補修前状況

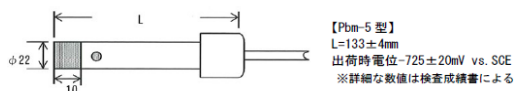


図-1 使用した照合電極

- ① 断面修復境界部の母材コンクリート側に約5cm間隔で照合電極埋設用の削孔を行う。
- ② 削孔箇所に鉛式照合電極を固定し、充填材で照合電極と母材コンクリートを一体化させる。(写真-3)
- ③ 照合電極の配線をシリコンシーリング材等で保護し、雨水の浸入を予防する。(写真-4)
- ④ 定期的に照合電極の電位を計測し、腐食可能性の有無を確認する。
- ⑤ —

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置

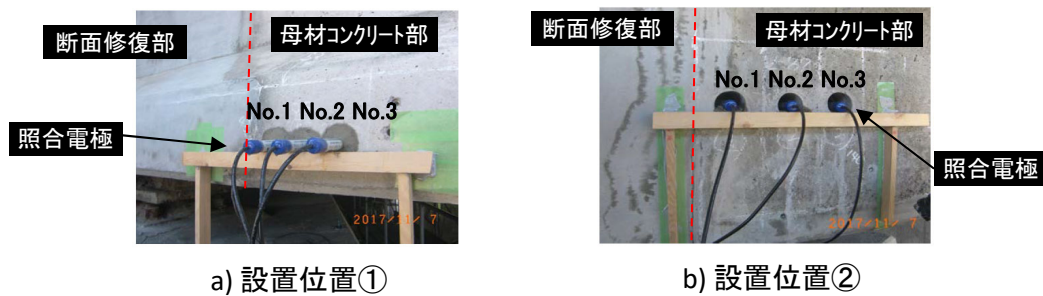


写真-3 鉛式照合電極の設置状況



写真-4 鉛式照合電極の養生状況

1. 計測結果

・鉛式照合電極で計測した電位の経時変化を図-2に示す。

※電位は飽和硫酸銅電極(CSE)に換算した値

・設置位置①、設置位置②のいずれもASTM C 876で腐食可能性90%とされる-350mV以下には至っていない。

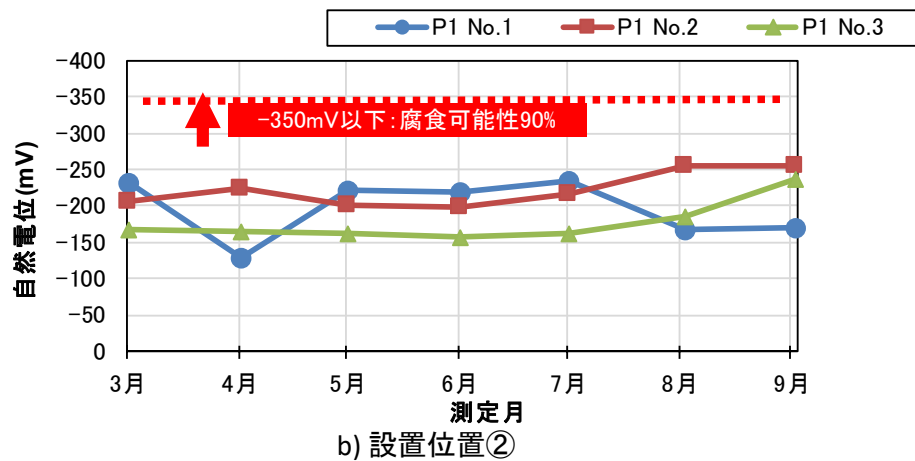
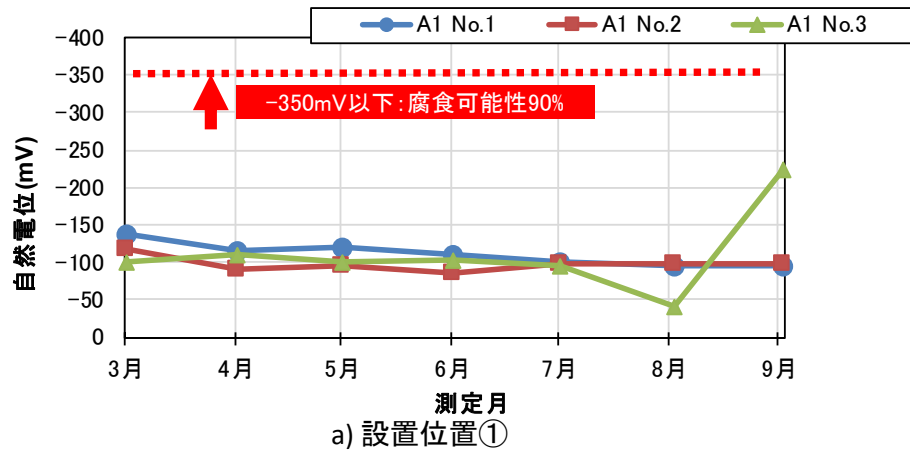


図-2 鉛式照合電極の計測結果(2020年3月現在継続中)

2. 検証結果

・鉛式照合電極の計測結果により、断面修復部付近に腐食が生じていないことが確認できた。

・本計測は、2020年3月現在も計測を実施しており、引き続き補修効果のモニタリングを実施していく。

技術番号 BR030023

技術名 広帯域超音波による橋梁基礎の洗掘の計測技術

開発者名 株式会社アルファプロダクト

試験日 令和2年 1 月 24 日

天候 曇り

気温 12.2 °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 計測・モニタリング技術 カタログ

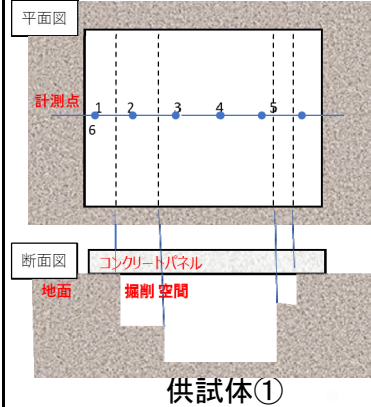
検出項目 3次元座標(洗掘)

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

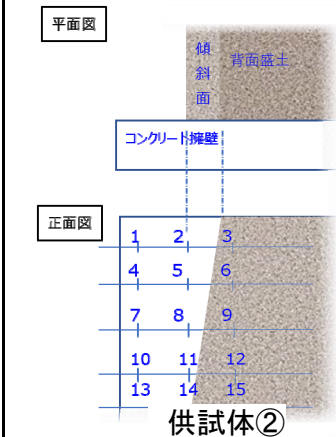
※検証試験体



供試体①
コンクリートパネル設置前



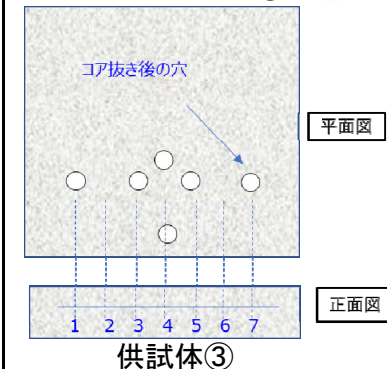
供試体①
コンクリートパネル設置後



供試体② 側面



供試体② 正面図



供試体③ 空洞箇所

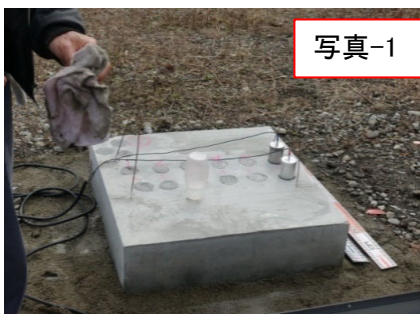


供試体③ 側面

- ① ゼリー状の接触媒質を対象物に塗布する。(写真-1)
- ② 接触触媒を塗布した箇所を探触子を押し当て、超音波を流す。(写真-2)
- ③ PC画面上に表示される波形データより損傷の有り無しを把握する。(写真-3)
- ⑤ 接触触媒を塗布した箇所を探触子を押し当て、超音波を流す。(写真-4)

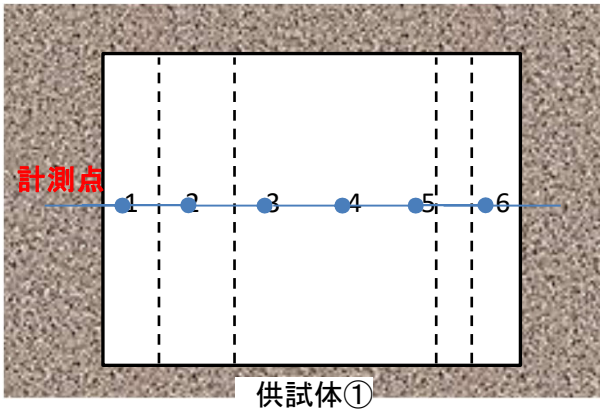
開発者による計測機器の設置状況

※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

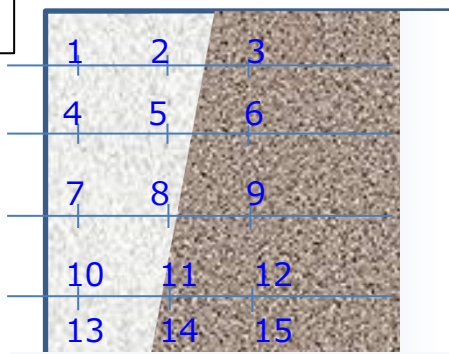
計測精度



番号	①-1	①-2	①-3
真値	○	×	×
番号	①-4	①-5	①-6
真値	×	×	○

× 空洞あり
○ 空洞なし

正面図

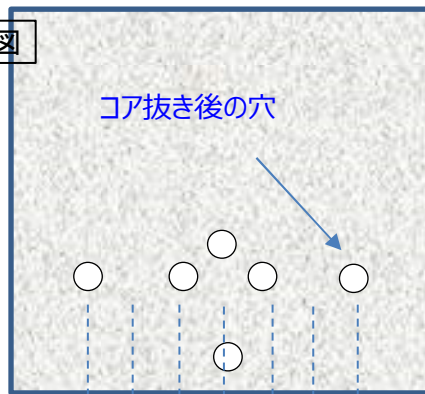


供試体②

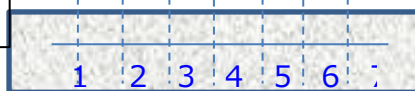
番号	②-1	②-2	②-3
真値	×	×	×
番号	②-4	②-5	②-6
真値	×	×	○
番号	②-7	②-8	②-9
真値	×	○	○
番号	②-10	②-11	②-12
真値	○	○	○
番号	②-13	②-14	②-15
真値	○	○	○

× 空洞あり
○ 空洞なし

平面図



正面図



供試体③

番号	③-1	③-2	③-3
真値	×	○	×
番号	③-4	③-5	③-6
真値	×	○	○
番号	③-7		
真値	×		

× 空洞あり
○ 空洞なし

番号	①- 1	①- 2	①- 3
真値	○	×	×
計測値	○	△	×
番号	①- 4	①- 5	①- 6
真値	×	×	○
計測値	×	△	○

番号	②- 1	②- 2	②- 3
真値	×	×	×
計測値	×	×	△
番号	②- 4	②- 5	②- 6
真値	×	×	○
計測値	×	△	○
番号	②- 7	②- 8	②- 9
真値	×	○	○
計測値	×	△	○
番号	②- 10	②- 11	②- 12
真値	○	○	○
計測値	△	△	○
番号	②- 13	②- 14	②- 15
真値	○	○	○
計測値	△	○	○

番号	③- 1	③- 2	③- 3
真値	×	○	×
計測値	×	△	×
番号	③- 4	③- 5	③- 6
真値	×	○	○
計測値	△	×	△
番号	③- 7		
真値	×		
計測値	×		

× 空洞あり
○ 空洞なし

技術番号 BR030023

技術名 広帯域超音波による橋梁基礎の洗掘の計測技術 開発者名 株式会社アルファ・プロダクト

試験日 令和2年 1 月 29 日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 某水力発電所(岡山県)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標(洗掘) 試験区分 -

試験で確認する
カタログ項目 動作確認
(精度以外)

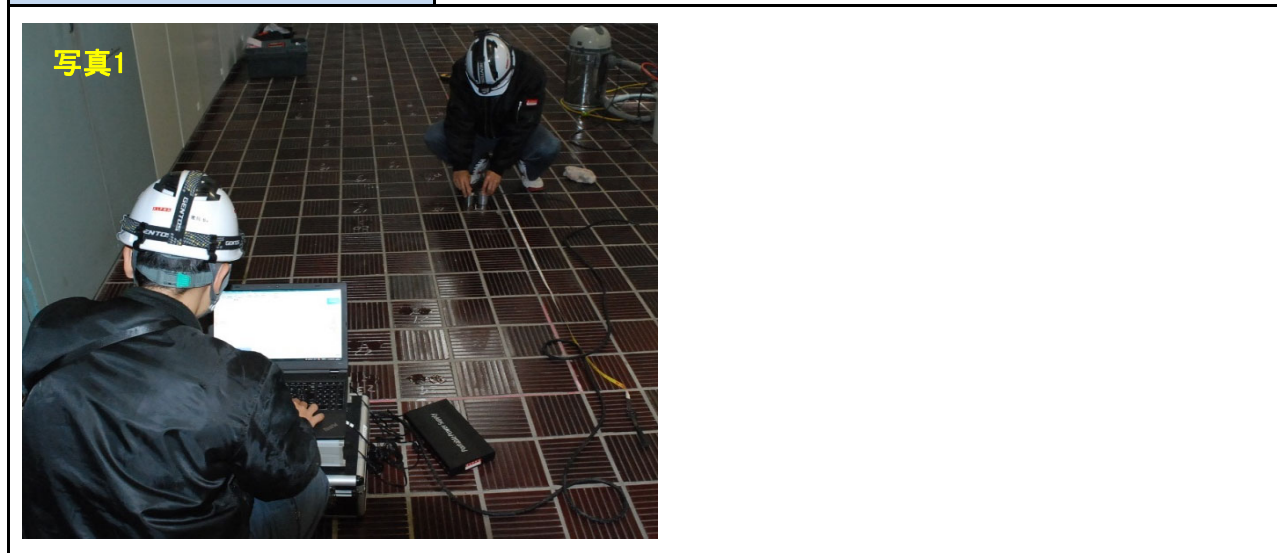
対象構造物の概要

・水力発電所地下1階スラブ下空洞。空洞までの距離:2~2.2m。(古い図面からのスケールアップ。詳細不明)

試験方法(手順)

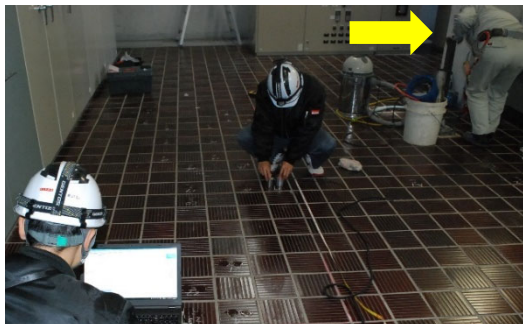
- ① 機器搬入(探査機、探触子、PC等)(写真-1)
- ② コンクリートの音速測定
- ③ 計測(写真-1)
- ④ 計測値(超音波の波形)をPCモニターで確認(写真-1)
- ⑤ 後日、計測データからブロックの形状やブロック下面の空洞を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



音速測定(スラブ柱)

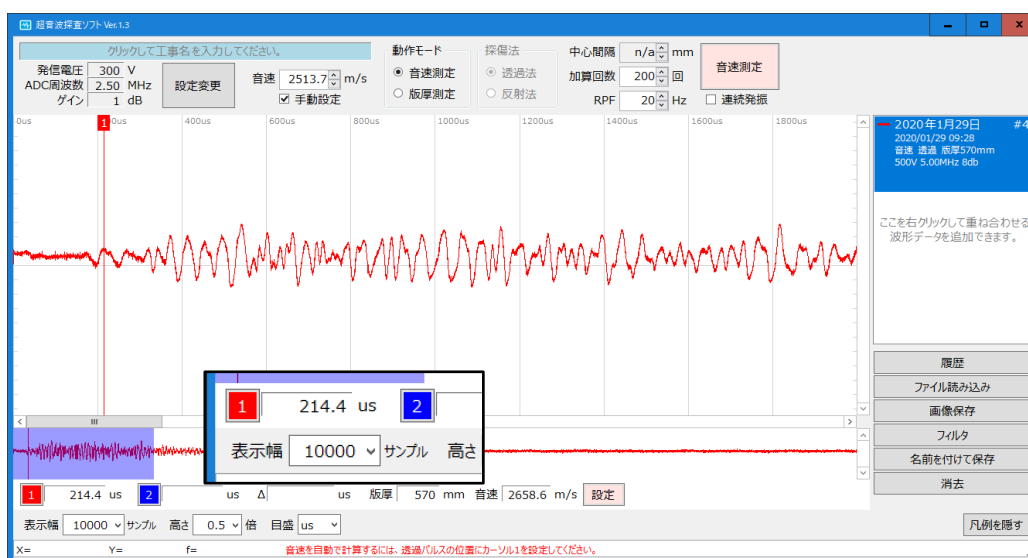
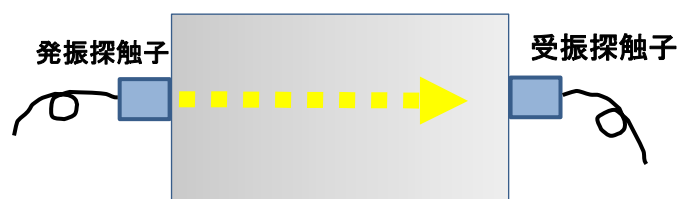
スラブで露出した箇所がないので、同時打設と思われる柱(写真矢印)で測定した。



音速測定の場合、超音波探査機で測定するのは、反射エコーを受信するまでの時間なので、距離を測定時間で除して音速とする。コンクリートの音速は配合や打設箇所、環境等ですべて異なるので、現地で測定する。

音速測定では、通常の反射法ではなく、2探触子による透過法を使用する。

下図のように、対象を2つの探触子で挟み、超音波を発振すると、対抗する受信探触子がエコーを受信する。波形としては、初めは何も波がなく、対象を透過した波が連続して観測されるが、最初のエコーピークが透過した超音波の最初の信号なので、このピーク値を透過時間とする。

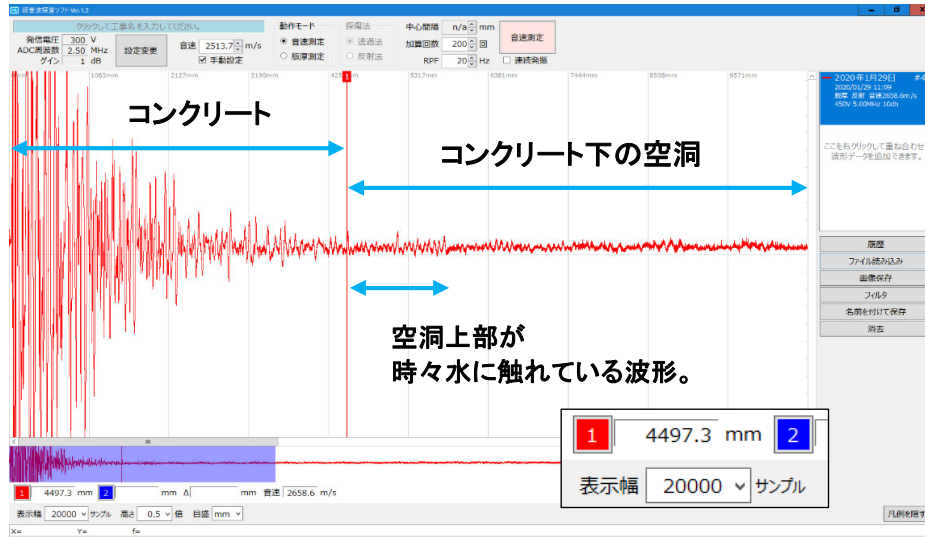


上の写真が透過法で柱の透過時間を測定した波形である。透過時間は214.4 μ s。

この時、下側に出る波形は採用しない。

距離(柱の厚さ570mm)として音速を計算すると、音速は2658.6m/secとなる。

測定波形の例



水のある空洞の探査

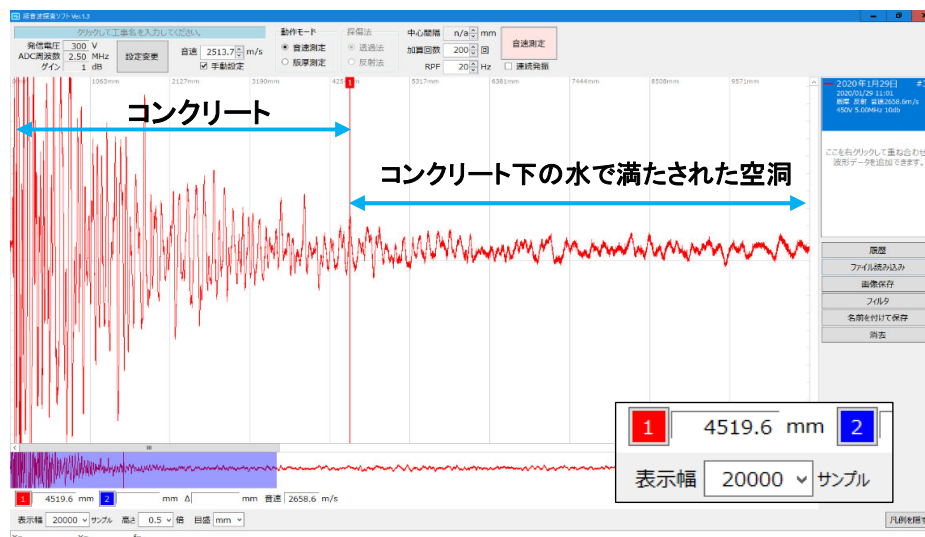
右はある施設の厚さ2-2.2mのスラブ下の空洞を探査した時の波形である。

上の波形はスラブ厚さ2.248m(波形では往復路程表示で4497.3mm)の下が空洞であることを示す波形である。

その下の波形は、上の波形から2m程度離れた地点であるが、厚さ2.26m(波形表示4519.5mm)下が水で満たされていることを示している。

コンクリートから空気中には超音波は伝搬しないが、コンクリートから水には伝搬するので、測定が可能になる。

岩や石、土であっても同様に探査できるが、土や岩の音速が不明なので、正確な距離は判定できない。



音速の測定箇所は測定面と同一ではないので、誤差がある。

通常は5%程度であるが、この場合はスラブにタイルが張り付けてあり、タイル上からの測定なので、誤差はもう少し大きいと考えられる。

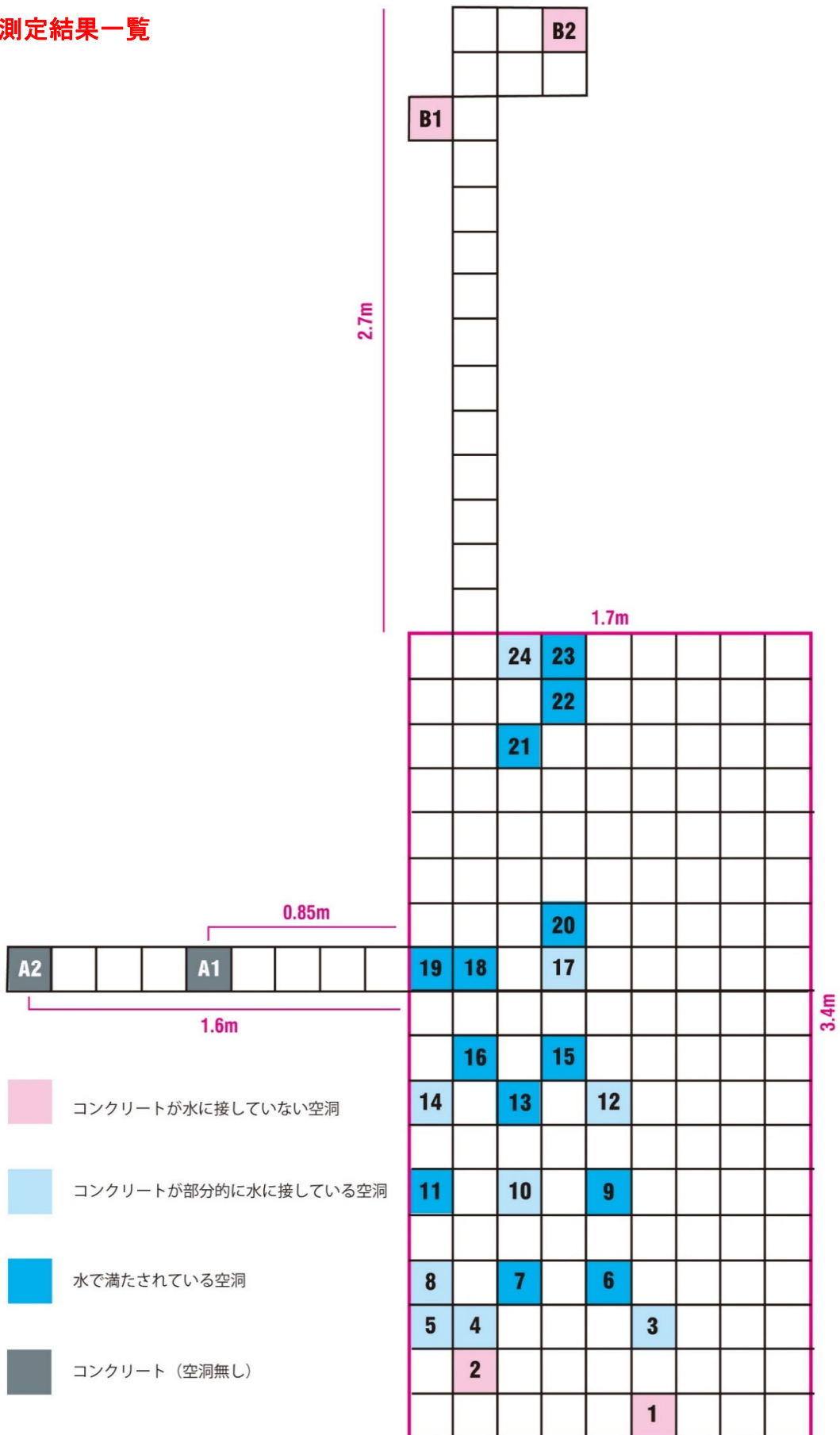
測定結果は往復での表示なので、実際はこの1/2となる。

上(空洞): 測定値2,249mm

下(水で満たされた空洞): 2,259mm

真値は2~2.2m。

測点別測定結果一覧



技術番号 BR030023

技術名 広帯域超音波による橋梁基礎の洗掘の計測技術

開発者名 株式会社アルファ・プロダクト

試験日 令和2年 1 月 31 日

天候 晴れ

気温 18.7 °C

風速 0.1 m/s

試験場所 実橋

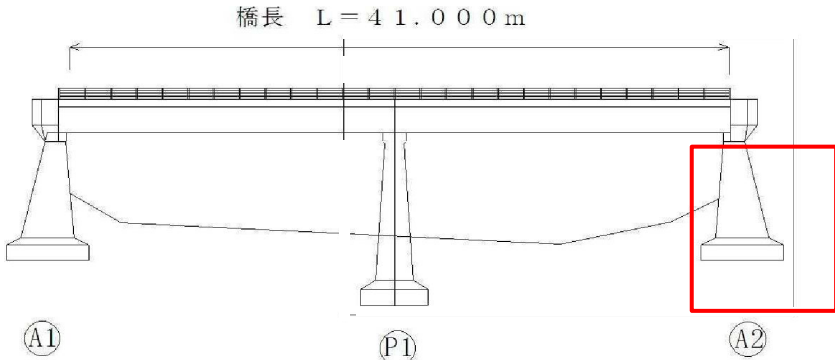
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 3次元座標(洗掘)

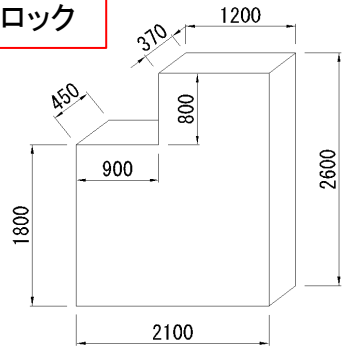
試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 動作確認
(精度以外)

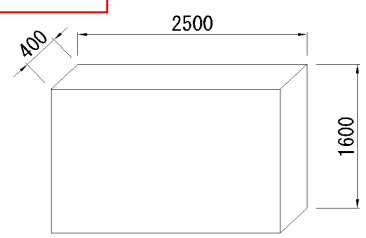
対象構造物の概要



Aブロック



Bブロック



計測対象部材: A2橋台擁壁コンクリート



- ① 機器搬入(探査機、探触子、PC等)(写真-1)
- ② コンクリートの音速(Aブロックの左右に探触子を当てて測定)を測定(写真-2)
- ③ 計測(Bブロックの高さ方向)(写真-3)
- ④ 計測値(超音波の波形)をPCモニターで確認(写真-4)
- ⑤ 後日、計測データからブロックの形状やブロック下面の空洞を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-1



写真-2

Aブロック



写真-3

Bブロッ

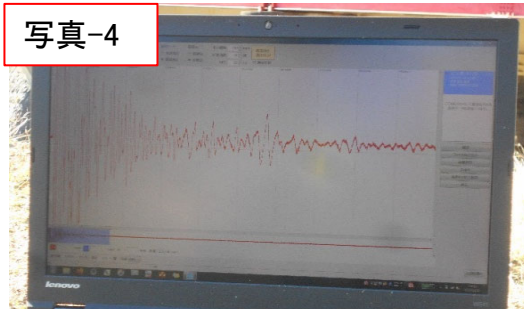


写真-4

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

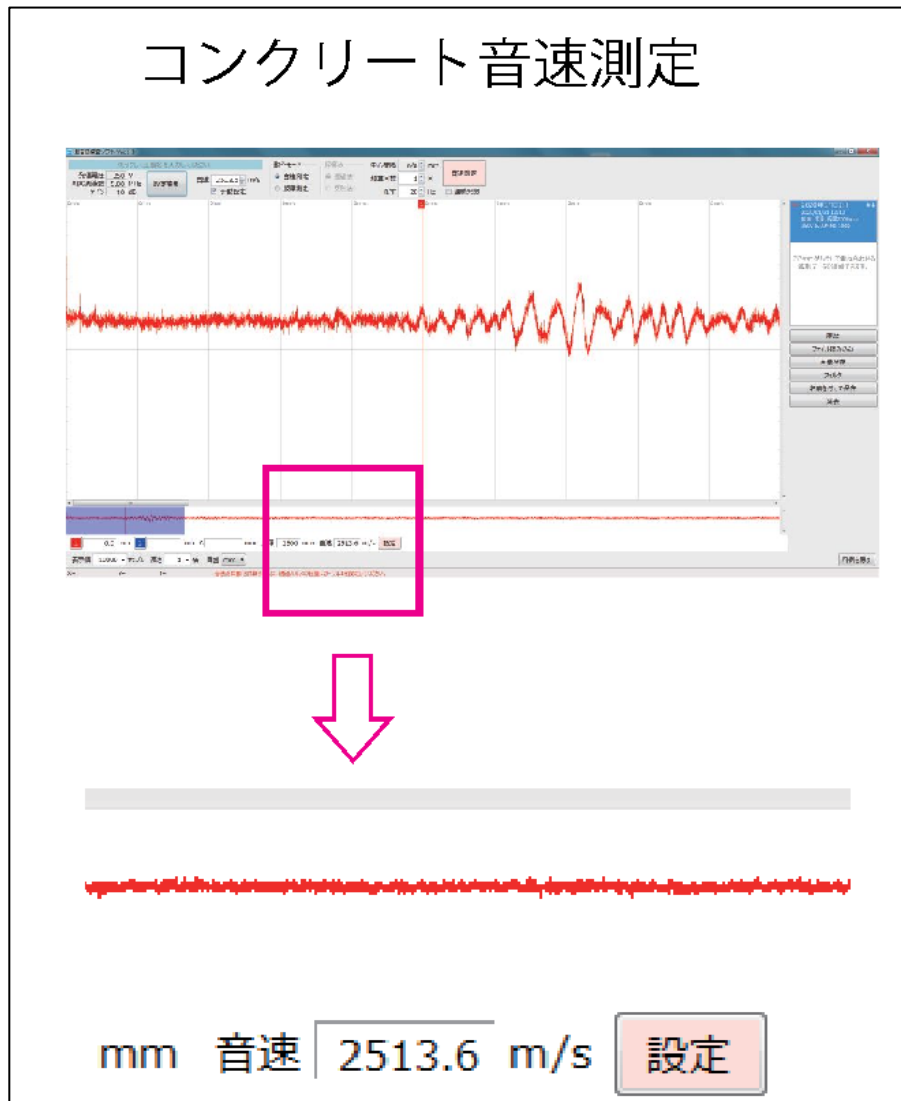


写真-6

※ブロック天端で計測した計測データからブロック形状やブロック下面の空洞を確認する。(写真-5、写真-6)

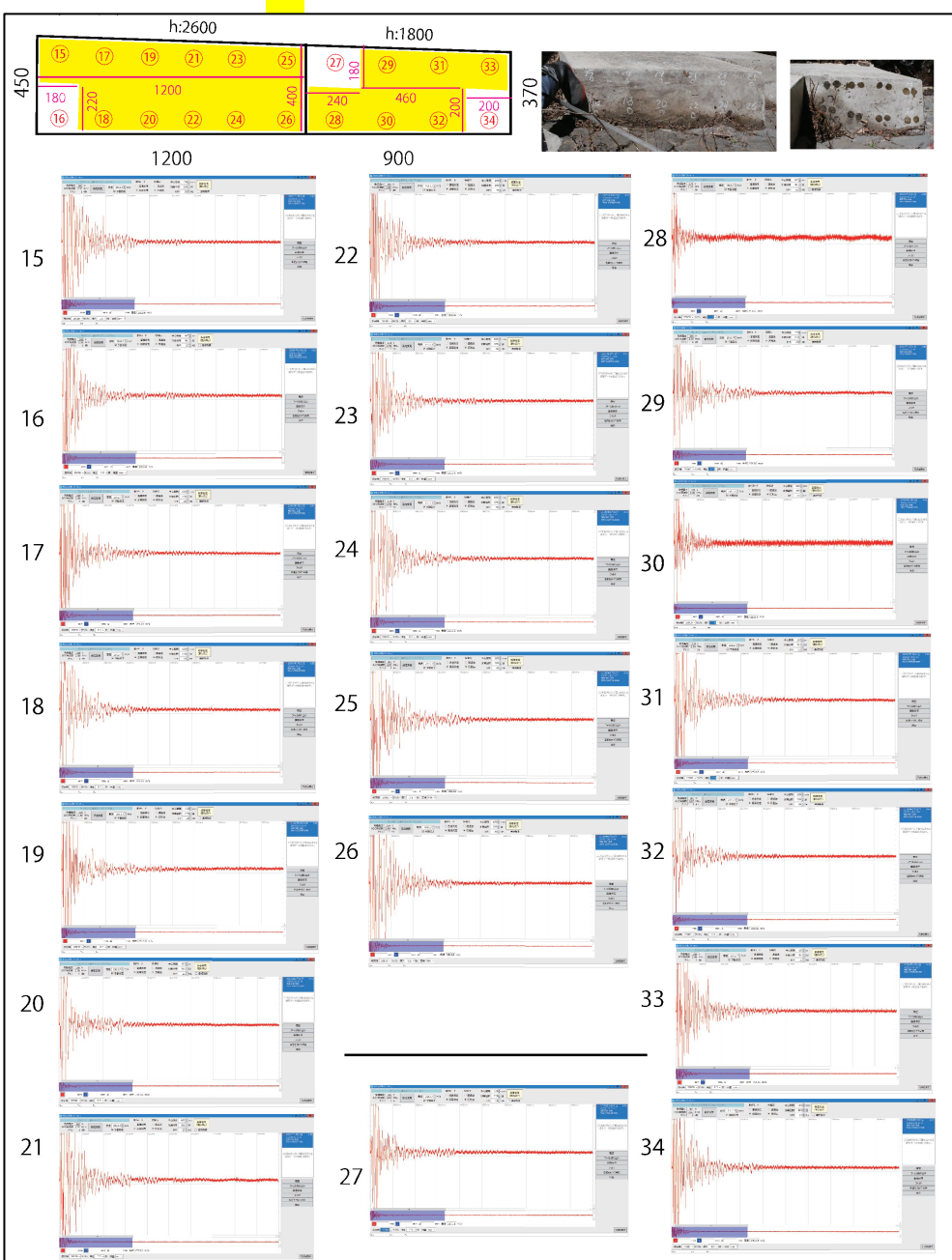
■計測結果

・コンクリート音速測定



・空洞部(Aブロック)

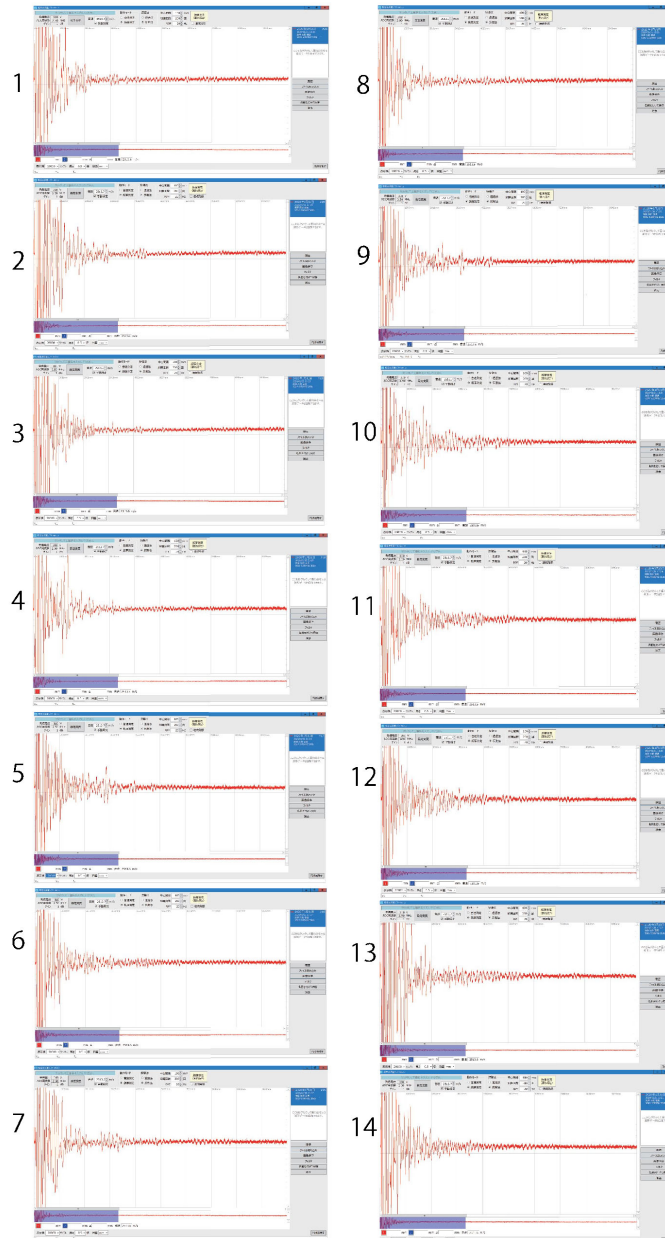
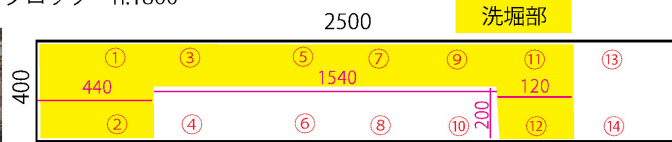
：空洞部



・洗掘部(Bブロック)

洗掘部

Bブロック h:1800



技術番号	BR030024
------	----------

技術名	水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム	開発者名	いであ株式会社
-----	----------------------------	------	---------

試験日	令和6年 12月 12日	天候	晴れ	気温	3.1 °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	計測・モニタリング技術 カタログ	検出項目	洗掘	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

・水槽内の底部に形状を計測するためのコンクリートブロックを設置(図-1,写真-1,2)



写真-1 小水槽(満水時)

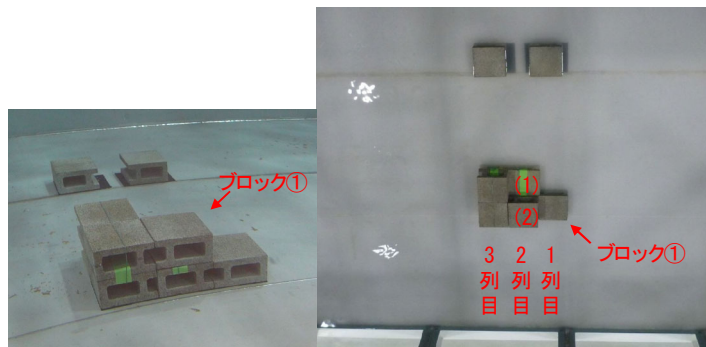


写真-2 コンクリートブロック設置

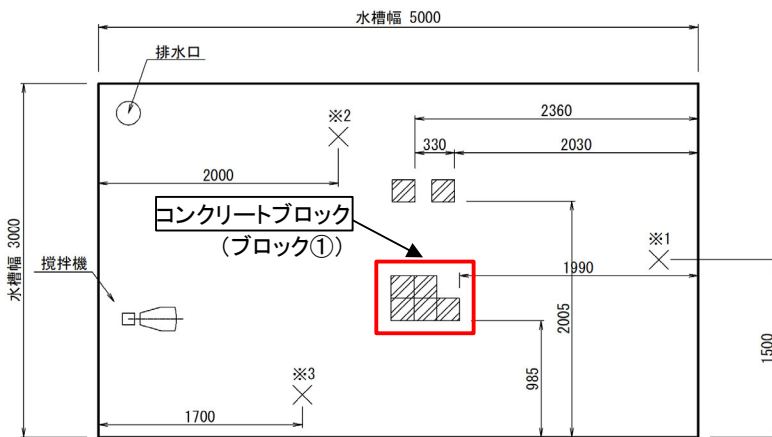


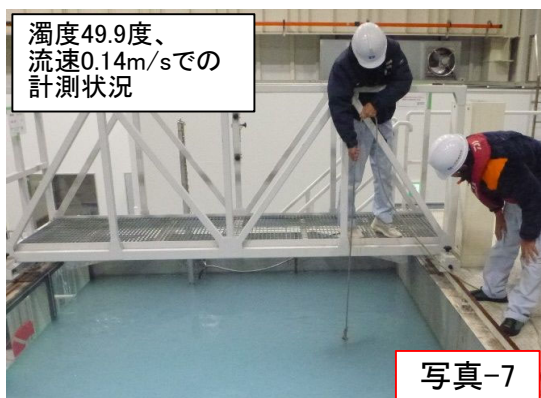
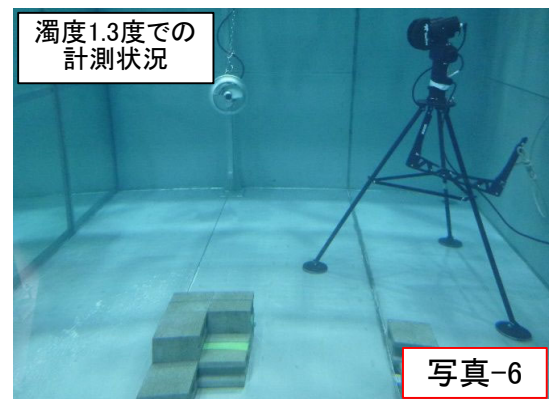
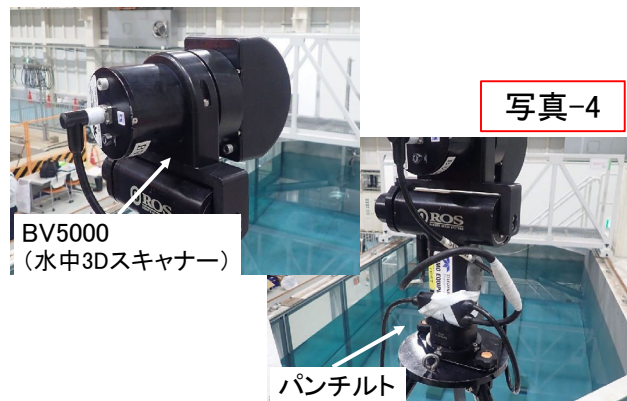
図-1 小水槽平面図

× : 水流と濁度計の計測位置

■ 水流無し、カオリン無し	} 平均1.3NTU
※1 濁度計測 1.26NTU	
※2 濁度計測 2.03NTU	
※3 濁度計測 0.49NTU	} 平均49.9NTU
■ 水流あり、カオリンあり	
※1 濁度計測 50.8NTU 流速計測 0.191m/s	
※2 濁度計測 50.1NTU 流速計測 0.190m/s	} 平均0.14m/s
※3 濁度計測 48.8NTU 流速計測 0.038m/s	

- ① 計測機器(BV5000)の準備を行い、計測機器を水槽内に設置(写真-3,4,5)
- ② 流速なし(流速0m/s)、濁度なし(濁度1.3度)の条件で、水槽底部に設置されたコンクリートブロックの形状を計測(写真-6)
- ③ 流速装置(攪拌機)を使用し流速0.14m/s、濁度あり(濁度49.9度)の条件で、水槽底部に設置されたコンクリートブロックの形状を計測(写真-7)
- ④ 後日、解析結果からブロックの形状を確認

開発者による計測機器の設置状況



※計測精度

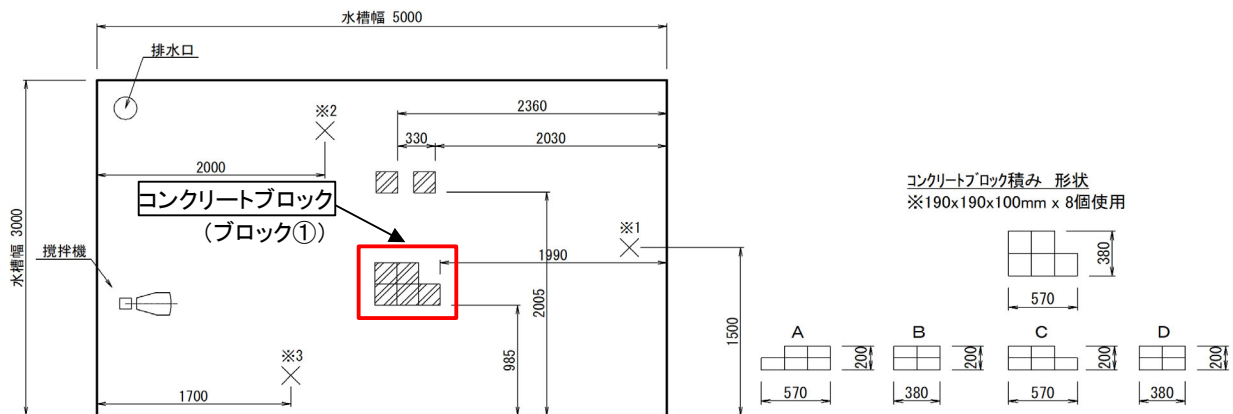


図-2 コンクリートブロック設置位置

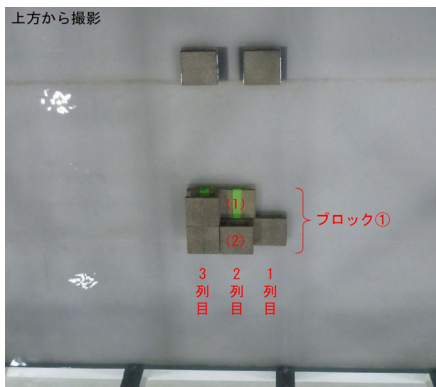
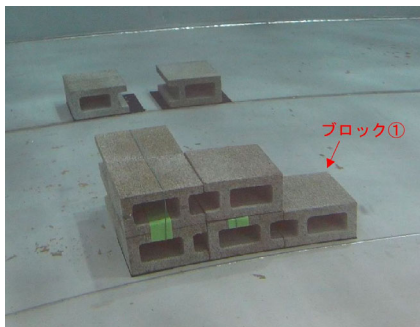
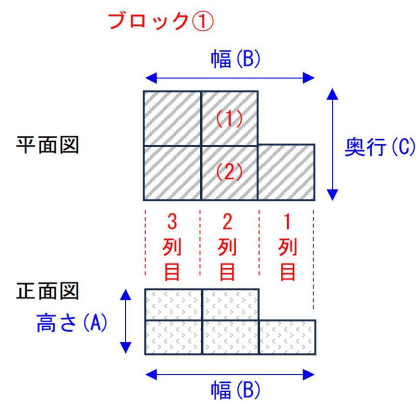


写真-10 コンクリートブロック設



ブロック①	高さ(A)	幅(B)	奥行(C)
1列目	0.10 m	0.19 m	0.19 m
ブロック① 2列目 (1)	0.10 m	0.19 m	0.19 m
ブロック① 2列目 (2)	0.20 m	0.19 m	0.19 m
ブロック① 3列目	0.20 m	0.19 m	0.38 m

図-3 コンクリートブロック寸法(真値)



写真-11 濁度材投入状況



写真-12 流速装置(攪拌機)

計測条件

計測1回目: 流速0m/s, 濁度1.3度

計測2回目: 流速0.14m/s, 濁度49.9度

コンクリートブロックの形状を上記条件で計測し、真値との誤差を計測精度とする。

※計測結果

・計測精度

	リファレンス(m)			当該技術(m)			差分(m)		
	高さ(A)	幅(B)	奥行(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行(C)
ブロック① 1列目									
計測1回目	0.10	0.19	0.19	0.11	0.20	0.21	0.01	0.01	0.02
計測2回目	0.10	0.19	0.19	0.11	0.20	0.21	0.01	0.01	0.02
ブロック① 2列目 (1)									
計測1回目	0.10	0.19	0.19	0.09	0.20	0.19	0.01	0.01	0.00
計測2回目	0.10	0.19	0.19	0.09	0.20	0.19	0.01	0.01	0.00
ブロック① 2列目 (2)									
計測1回目	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.01	0.01	0.01
計測2回目	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.01	0.01	0.01
ブロック① 3列目									
計測1回目	0.20	0.19	0.38	0.20	0.21	0.39	0.00	0.02	0.01
計測2回目	0.20	0.19	0.38	0.20	0.21	0.39	0.00	0.02	0.01
ブロック②									
計測1回目	0.10	0.19	0.19	0.12	0.24	0.22	0.02	0.05	0.03
計測2回目	0.10	0.19	0.19	0.12	0.24	0.22	0.02	0.05	0.03

サンプル数 $n = 12$

$$\text{リファレンスの平均} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n} = \frac{0.100 + 0.190 + 0.180 + \dots + 0.380}{12} = 0.193\text{m}$$

$$\text{計測精度} = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}}$$

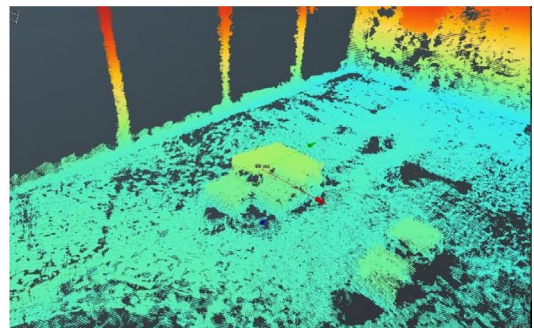
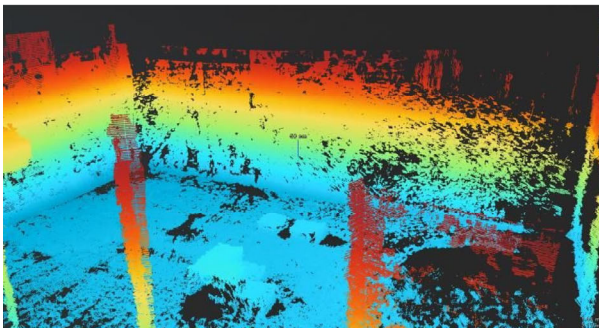
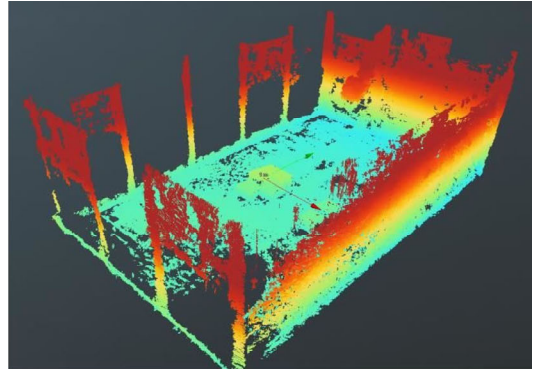
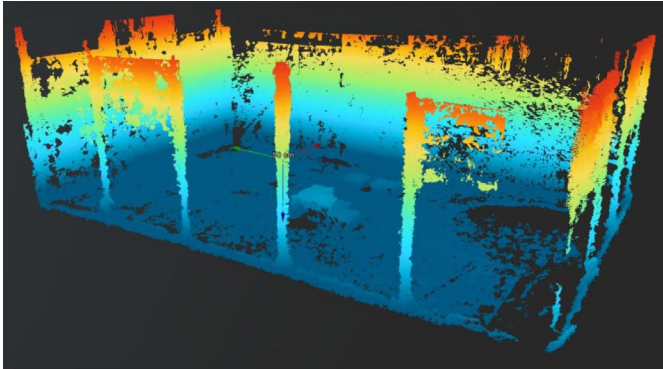
$$\text{相対誤差} = \sqrt{\frac{(x_1 - a_1)^2 + \dots + (x_n - a_n)^2}{n}} \div \left(\frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \right) \times 100$$

リファレンスの平均(0.193m)に対する計測精度、相対誤差

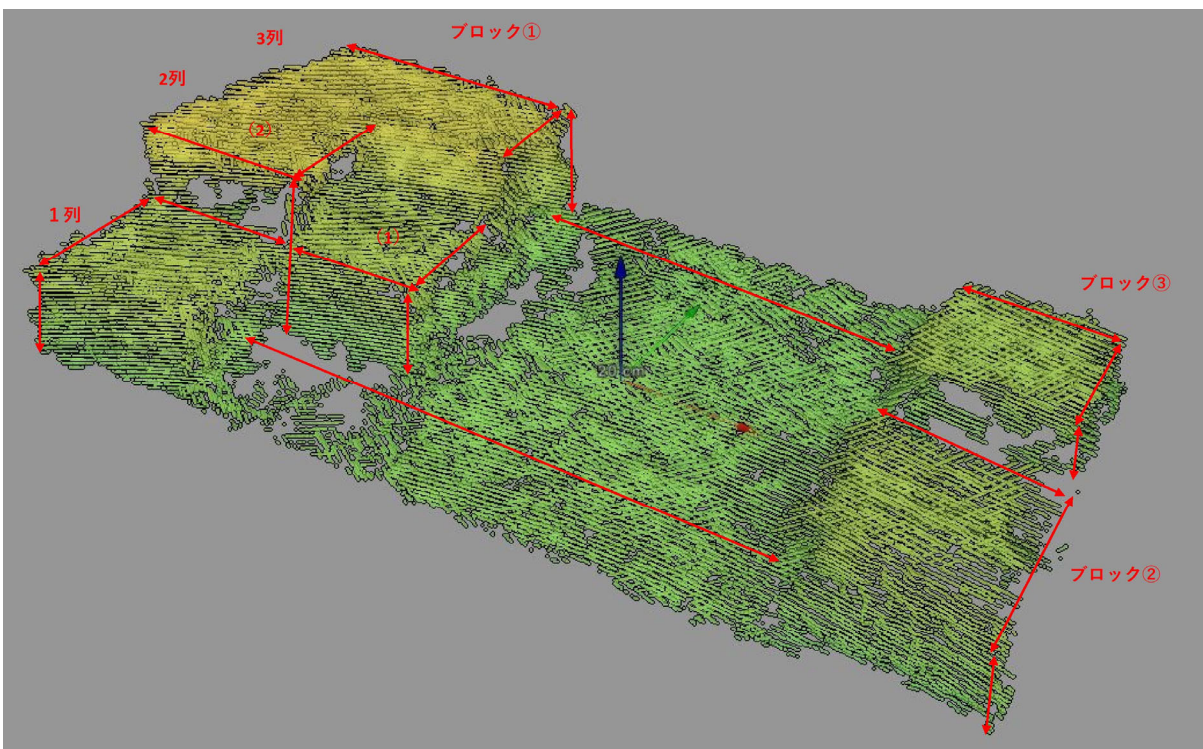
		計測精度 (m)	相対誤差 (%)
計測1回目	流速0m/s,濁度1.3度	0.01	6.03
計測2回目	流速0.14m/s,濁度49.9度	0.01	6.03

計測データ

全体



ブロック部分切り出し



技術番号 BR030024

技術名 水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム 開発者名 いであ株式会社

試験日 平成28年 11 月 4 日 天候 晴れ 気温 18 °C 風速 3 m/s

試験場所 某ドック(神奈川県)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標(洗掘) 試験区分 -

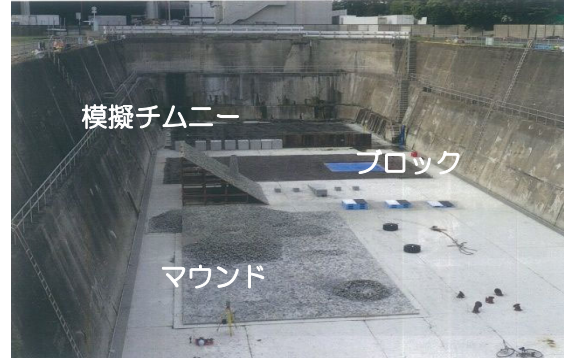
試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

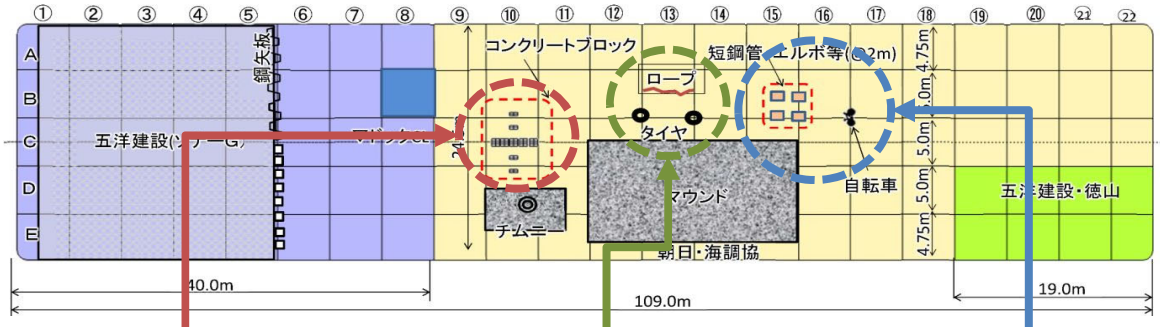
※対象構造物の一般図、計測対象となる部位・部材



神奈川県



模擬チムニー
ブロック
マウンド



ブロック



タイヤ、ロープ



自転車等

- ① 機材搬入(水中3Dスキャナー、三脚、パンチルト雲台、ジャンクションボックス等)
- ② 船上に積み込み、計測機器のセット(写真-1)
- ③ 作業船固定、計測状況(写真-2、写真-3)
- ④ 計測値(スキャナー画像)を船上PCモニターで確認(写真-4)
- ⑤ 後日、計測結果(スキャナー画像)を整理し、計測状況を確認する。

開発者による計測機器の設置状況

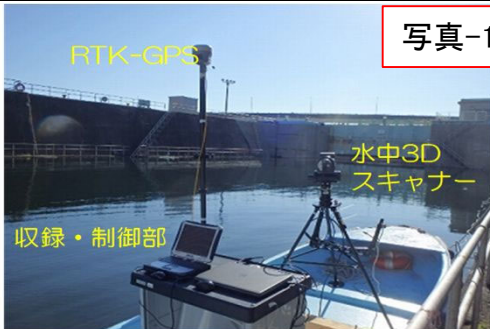


写真-1



写真-2



写真-3

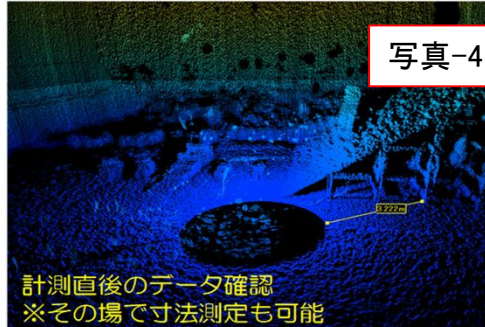
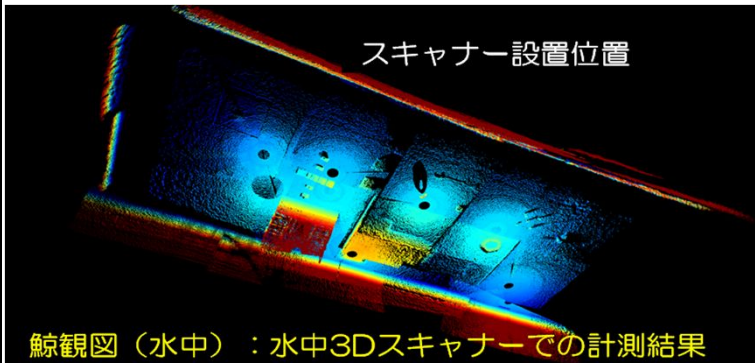
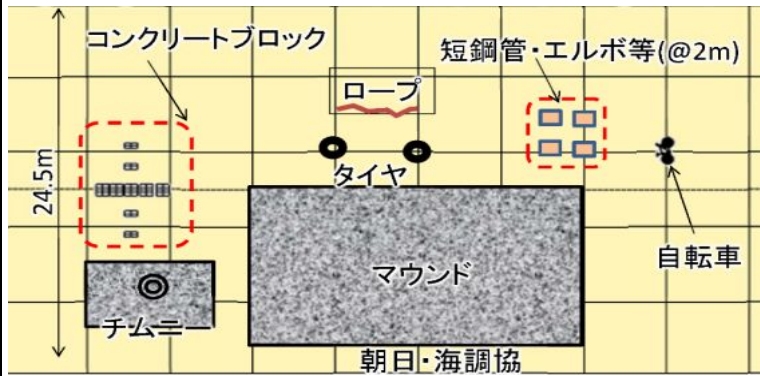


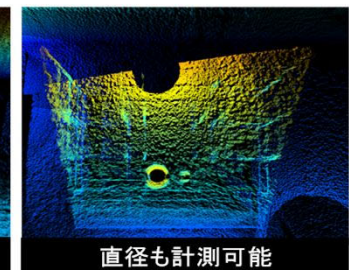
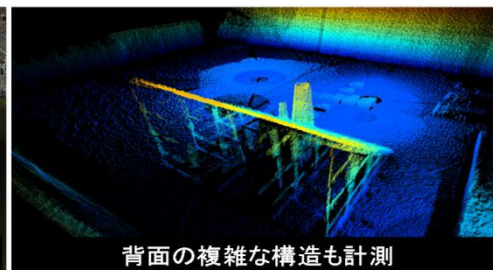
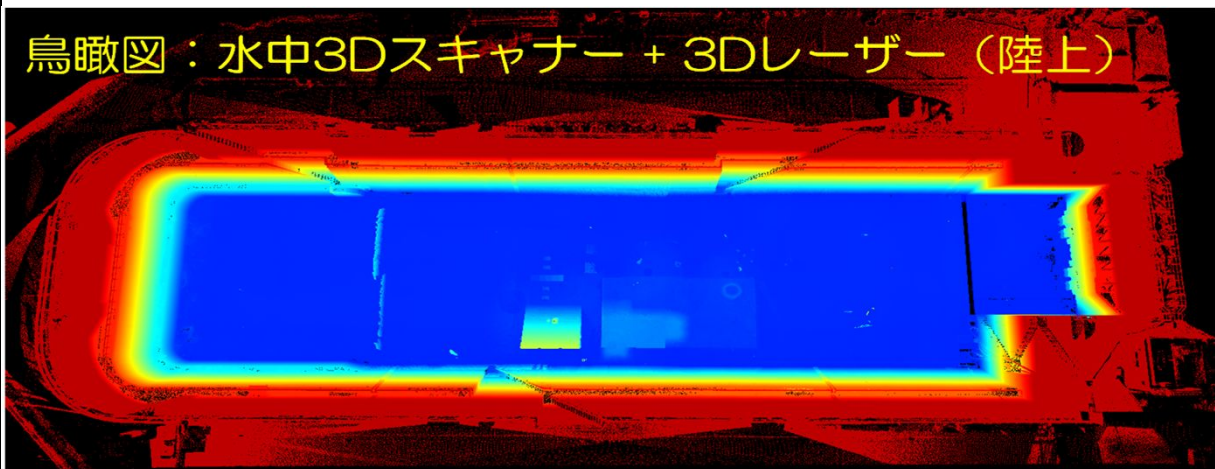
写真-4

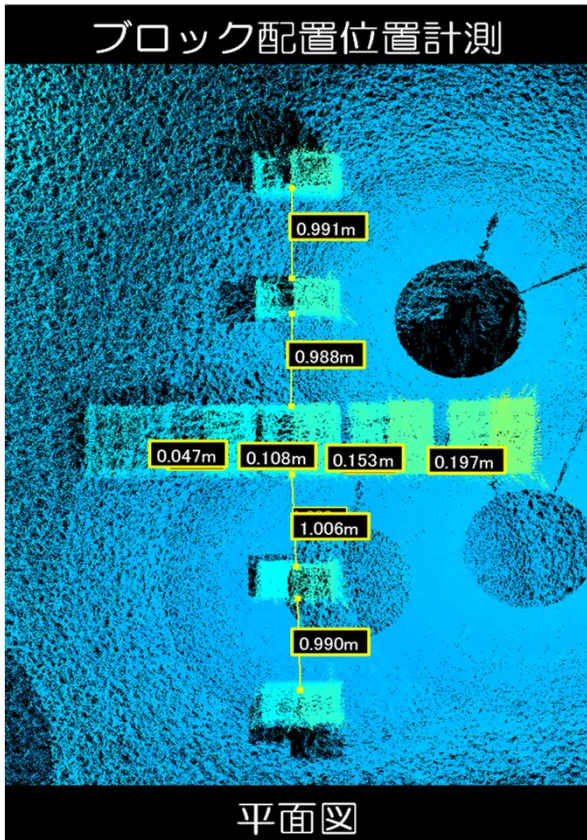
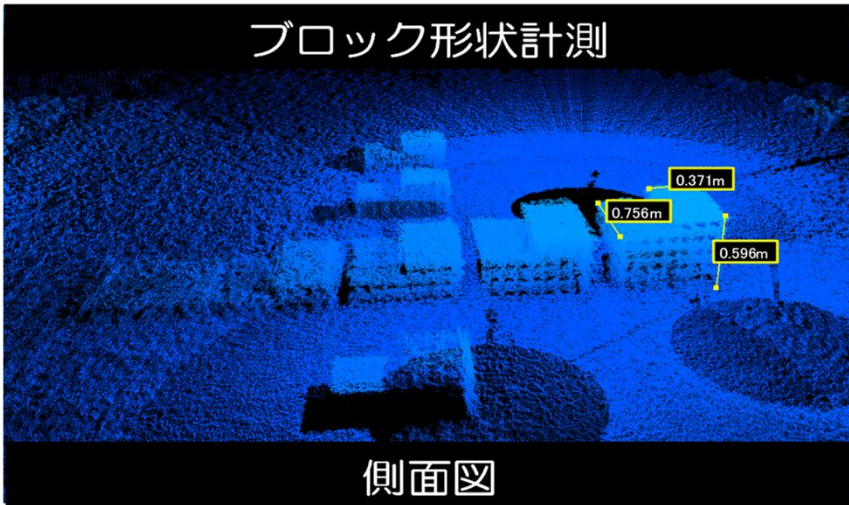
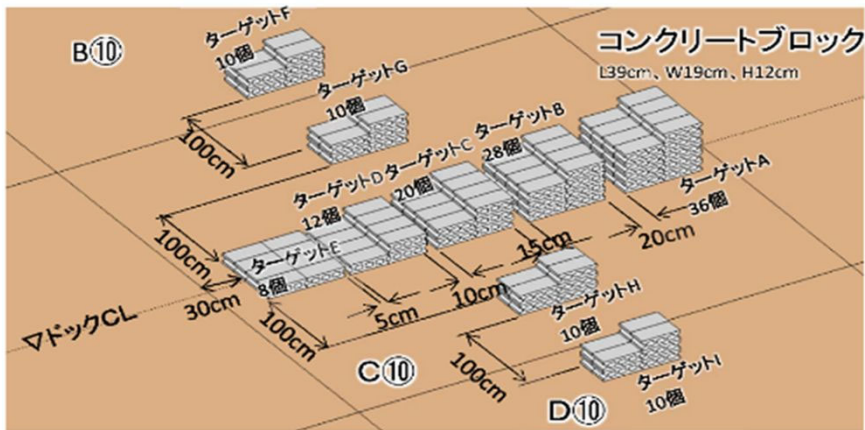
■計測結果(抜粋)



計測ポイント: 13箇所

搬入～撤収まで、3名・6.5時間で実施

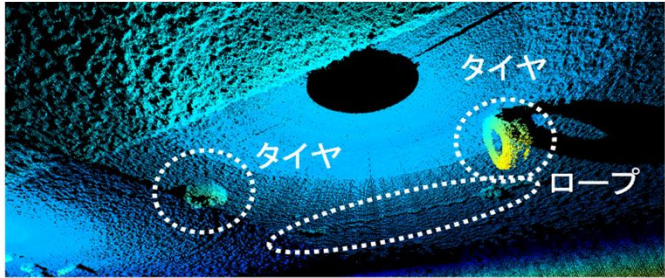
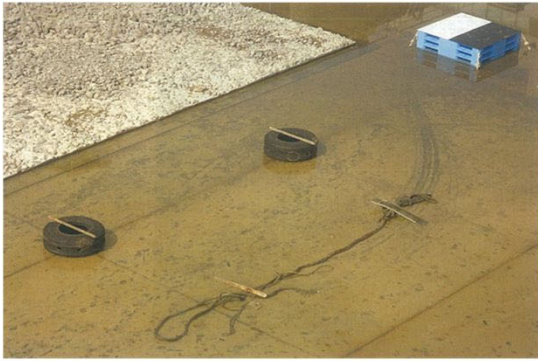




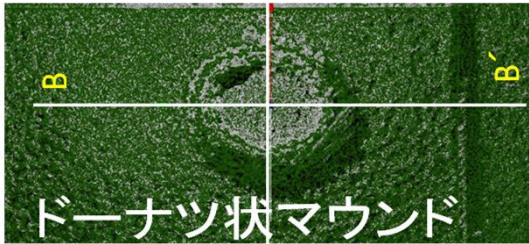
誤差

ブロック形状: 2cm以下

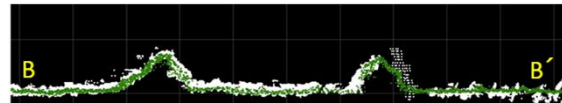
ブロック配置: 2cm以下



ロープ: 形状や長さが確認できた
 タイヤ: 空気により一方が起ち上がっていた



ドーナツ状マウンド



白: 水中3Dスキャナー
 緑: 陸上3Dレーザー

技術番号 BR030024

技術名 水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム 開発者名 いであ株式会社

試験日 平成28年 12 月 15 日 天候 晴れ 気温 15 °C 風速 7 m/s

試験場所 某港(沖縄県)

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標(洗掘) 試験区分 -

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

※対象構造物の一般図、計測対象となる部位・部材



沖縄県糸満港

矢板護岸と鋼管式防波堤を計測

- ① 機材搬入(水中3Dスキャナー、GNSS、動揺センサー、ジャンクションボックス等)(写真-1、写真-2)
- ② 機材搬入後、船舶艤装(写真-3)
- ③ 計測状況(写真-4)
- ④ 計測値(スキャナー画像)を船上PCモニターで確認(写真-5)
- ⑤ 後日、計測結果(スキャナー画像)を整理し、状況を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-1

スキャナーと動揺センサー



写真-2

ジャンクションボックス



写真-3

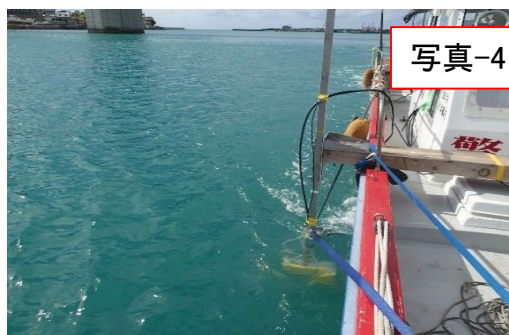


写真-4

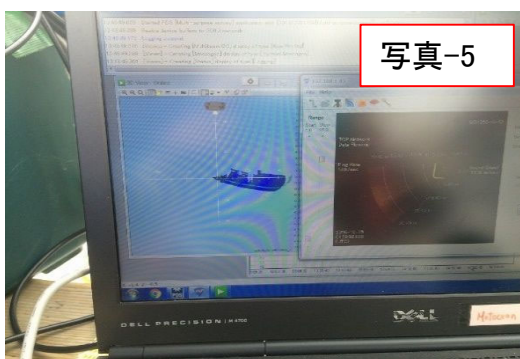
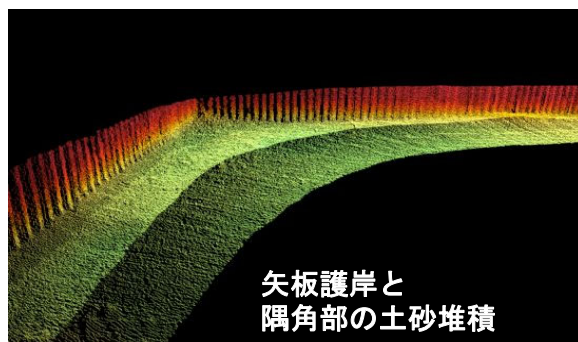
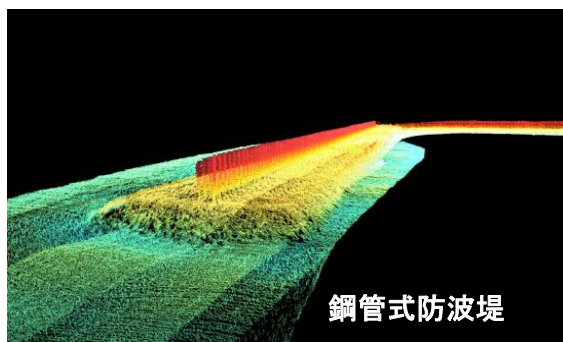


写真-5

船上で計測データ確認

積み込み・艤装～片付け・撤収を08:00～17:00で実施

■ 計測結果(抜粋)



技術番号 BR030024

技術名 水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム 開発者名 いであ株式会社

試験日 令和1年 12月 20日 天候 晴れ 気温 7℃ 風速 5 m/s

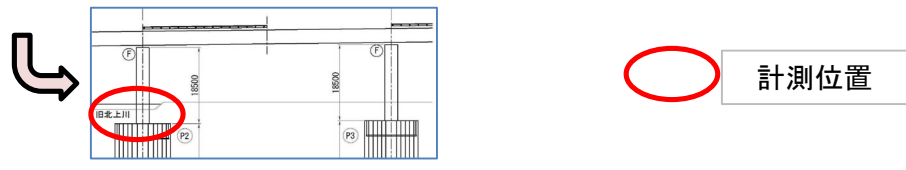
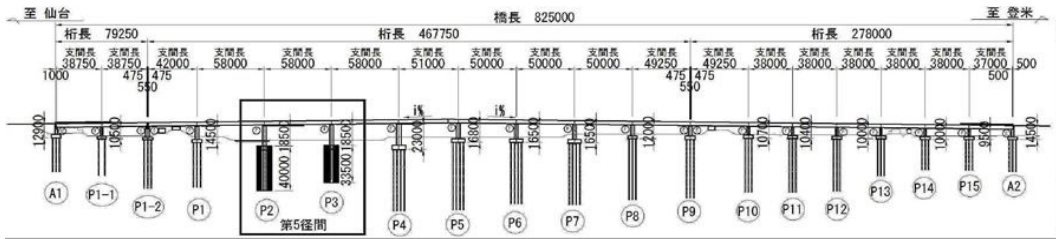
試験場所 実橋

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標(洗掘) 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

※対象構造物の一般図、計測対象となる部位・部材



計測対象部材位:P2橋脚

- ① 機材搬入(水中3Dスキャナー、三脚、パンチルト雲台、ジャンクションボックス等)(写真-1)
- ② 機材搬入後、計測機器のセット、船上に積み込む。(写真-2)
- ③ 計測状況(写真-3)
- ④ 計測値(スキャナー画像)を船上PCモニターで確認(写真-4)
- ⑤ 後日、計測結果(スキャナー画像)を整理し、洗掘を確認する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-1



写真-2



写真-3

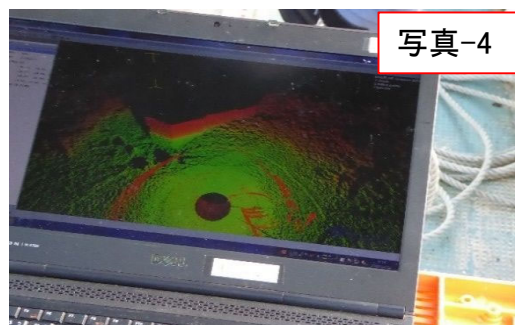
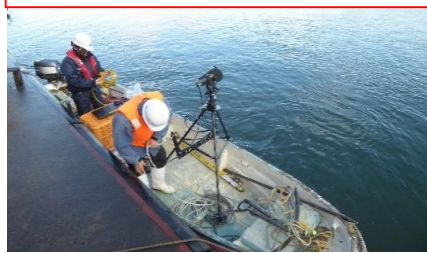
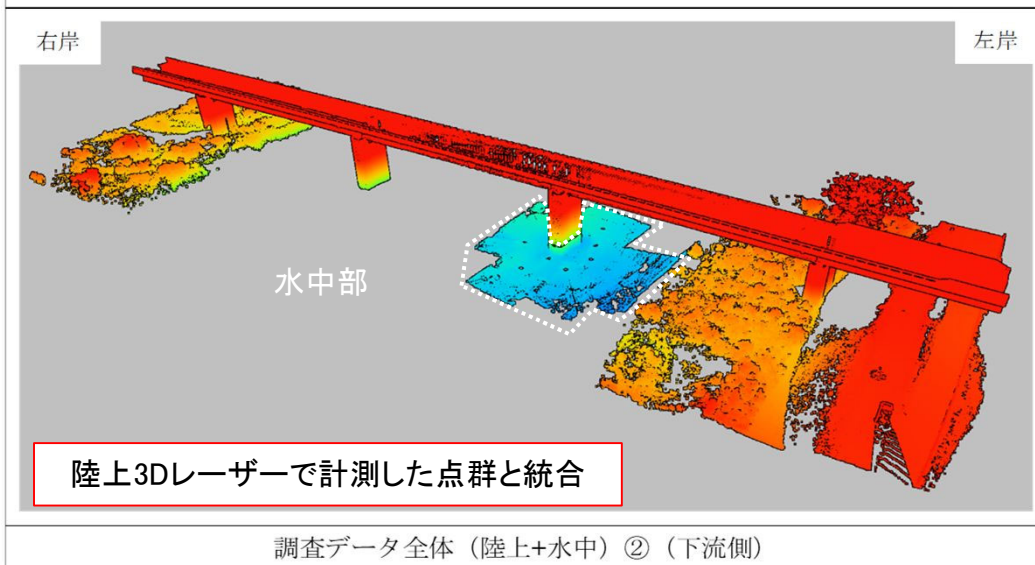
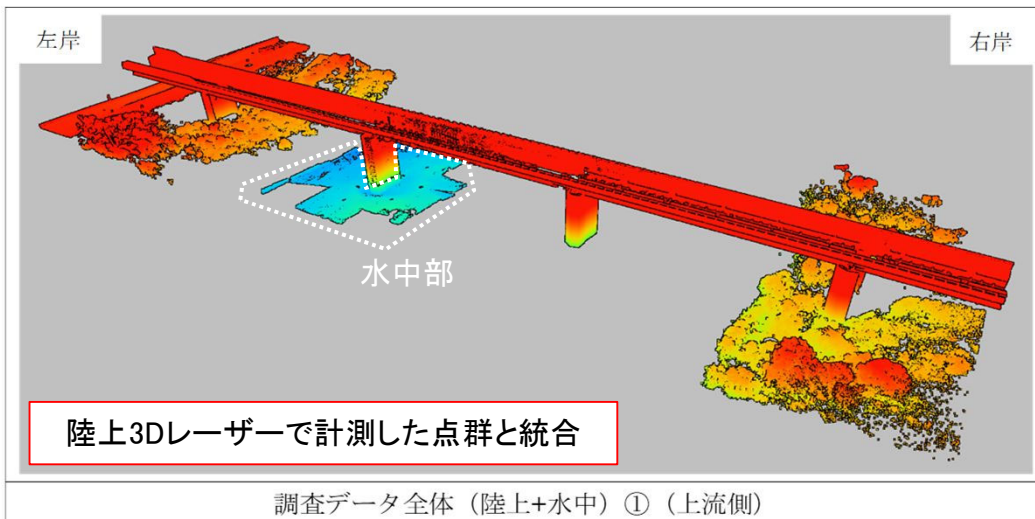
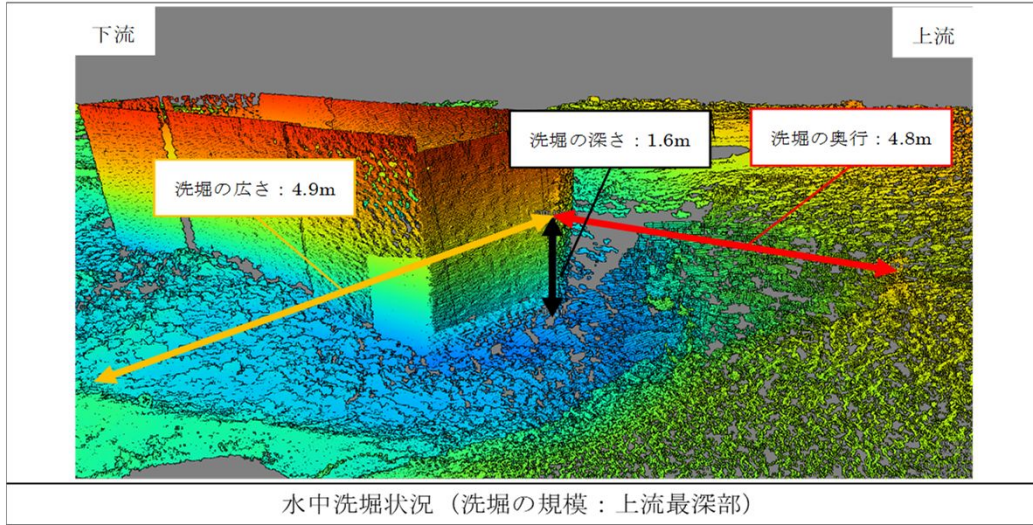


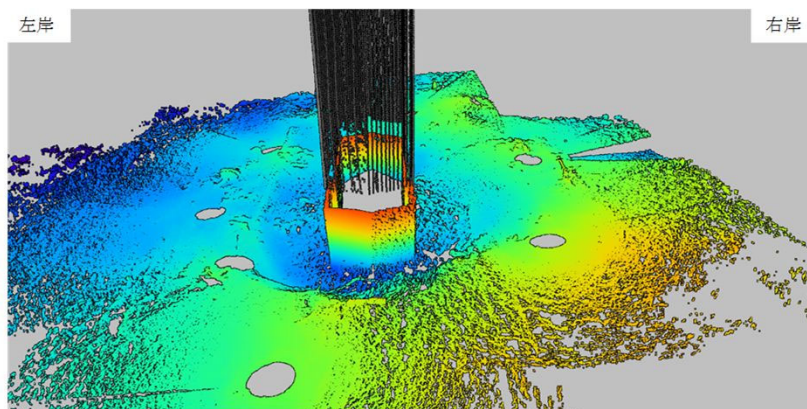
写真-4

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

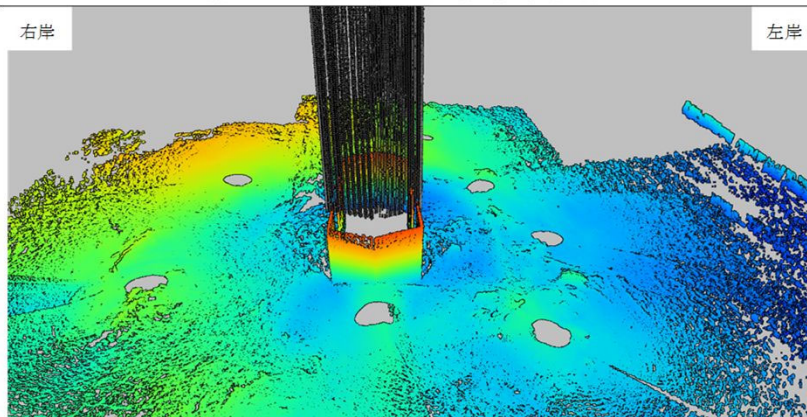


■計測結果(抜粋)

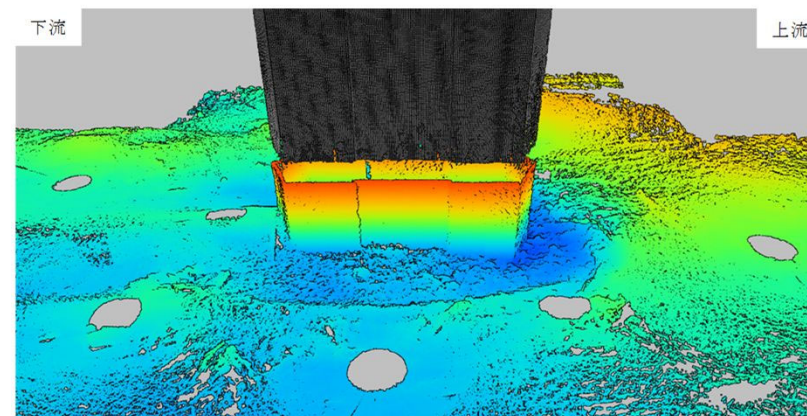




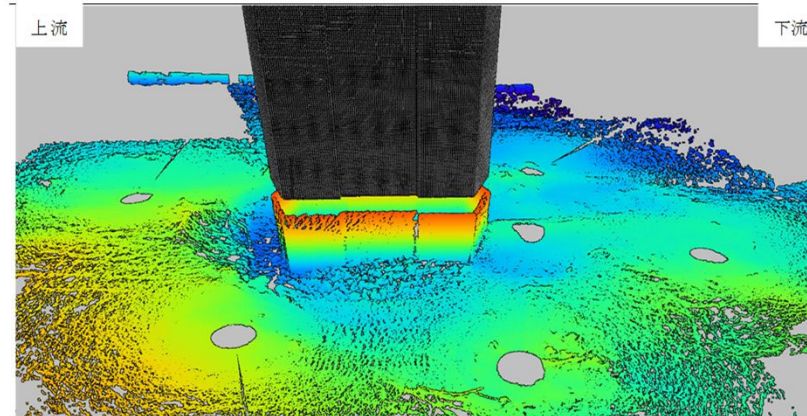
調査データ詳細 (陸上+水中) ① (上流側)



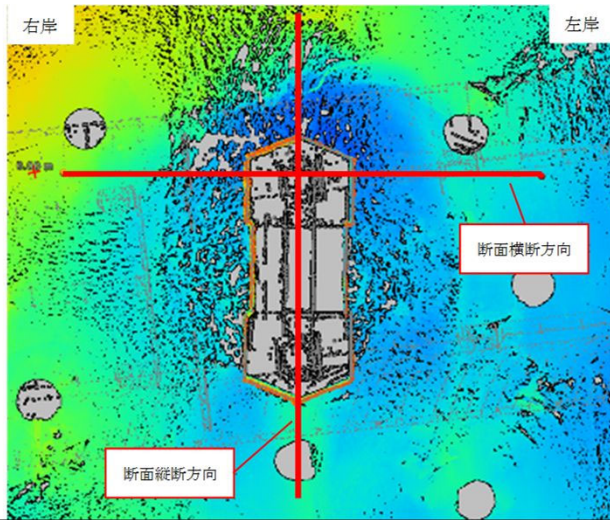
調査データ詳細 (陸上+水中) ② (下流側)



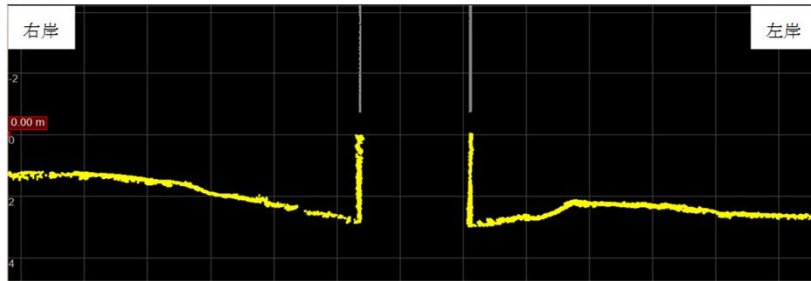
調査データ詳細 (陸上+水中) ③ (左岸側)



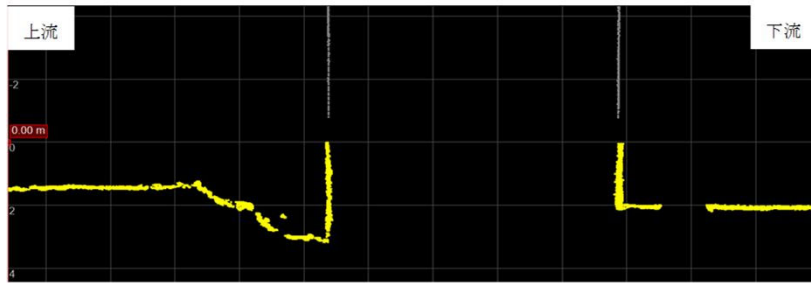
調査データ詳細 (陸上+水中) ④ (右岸側)



調査データ平面図



調査データ断面図① 横断方向



調査データ断面図② 縦断方向

技術番号 BR030025

技術名 航空レーザー測深による橋脚基礎の洗堀状況モニタリング技術 開発者名 株式会社パスコ

試験日 平成27年 3 月 天候 - 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 某橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 3次元座標(洗堀) 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

0.3m以内(標高値)



図1 計測性能確認範囲(点線範囲)

- ① 航空レーザ測深で図1の点線範囲の河床を計測
- ② 深浅測量で同範囲を計測
- ③ 深浅測量の計測結果(標高値)を仮の真値とし、航空レーザ測深の計測結果(標高値)との差異を確認
- ④
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況

■使用する航空レーザ測深(ALB)機材の設置状況(パスコ保有機器)



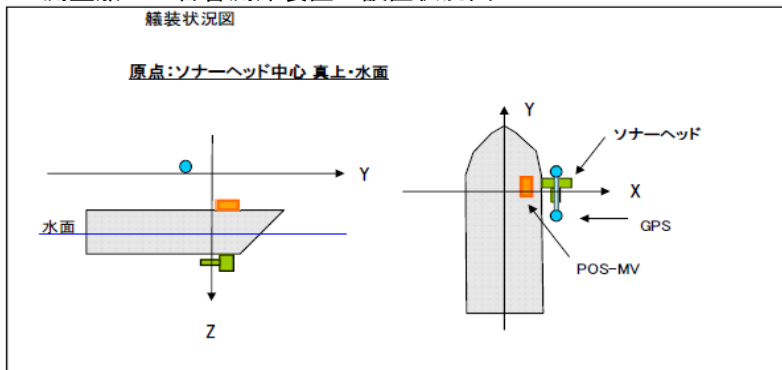
機体内部の状況



機体下面の状況

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

■測量船への音響測深装置の設置状況図



①ALB計測点と深淺測量による計測精度の評価

- ・ALB計測点の標高とフットプリント範囲内の深淺測量計測点の標高値を比較。

②異なる飛行高度による計測精度の相対評価

- ・ALB計測点は、二通りの飛行高度のデータを活用した。

■条件

平坦な河床(深淺測量の標高標準偏差が3cm以下)の箇所と比較を行った。

■結論

高度500mからの計測点は、最大較差が-0.462cmであったが、RMSEは0.039mで計測精度0.3m以内を満たした。

高度700mからの計測点は、最大較差が-0.658cmであったが、RMSEは0.090mで計測精度0.3m以内を満たした。

項目	H27のALB計測データ (m) 対地高度 500m	H27のALB計測データ (m) 対地高度 700m
最小値	-0.462	-0.658
最大値	0.155	0.466
平均値	-0.012	-0.042
標準偏差 ※1	0.037	0.079
RMSE ※2	0.039	0.090

当該計測装置の計測装置は、設定される計測精度を満たすことができる。

技術番号 BR030026

技術名 デジタルカメラによる支承点検技術
開発者名 パナソニック コネクト株式会社

試験日 令和3年 4月 6日
天候 晴れ
気温 16.5 °C
風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ
検出項目 変位量・回転量
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

対象構造物の概要

1.土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鉸桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m (4主桁)

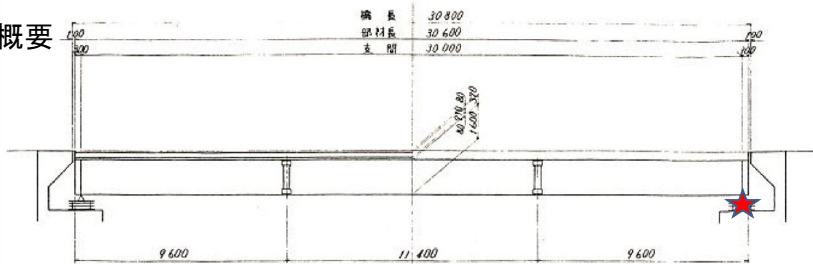


図-1 側面図

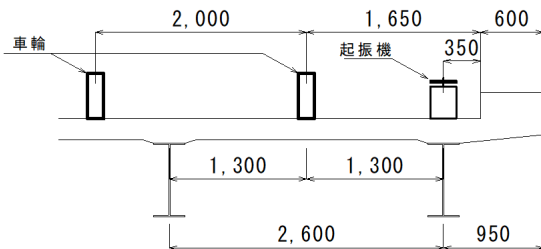


図-3 荷重載荷位置

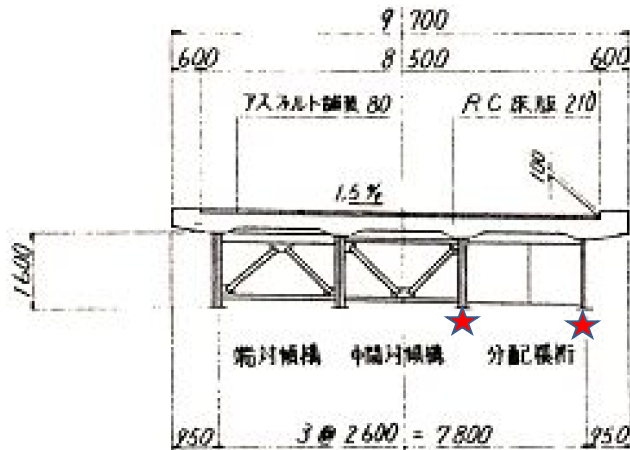


図-2 断面図



※車輪通過位置: 床版支間中央
速度: 20km/h(一定)

写真-1 車両載荷(20t)



写真-2 支承部

- ① 開発者側のカメラ、リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3～写真-6、図-3,4)
- ② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に車輪が通行するように走行(20km/h)させ、橋梁通過後合図する。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、車両通過の合図から常時微動までの間(約5秒)計測する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 上記②～④を5回行った。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の設置

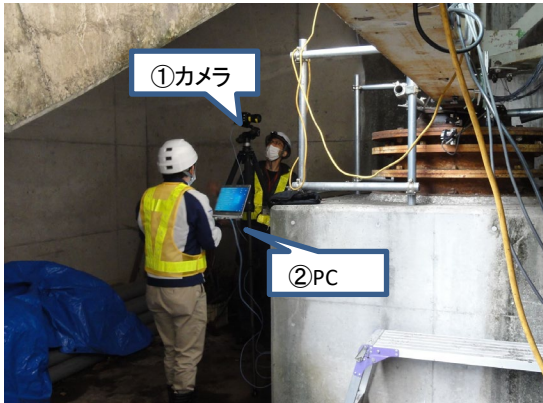


写真-3 機器の構成と配置 (G1側)



写真-4 機器の構成と配置 (G2側)

1. 機器の設置

- ①橋軸方向変位:レーザー変位計
 - ②垂直方向変位:レーザー変位計
- 取付け位置は、写真-4,5、図-3,4を参照

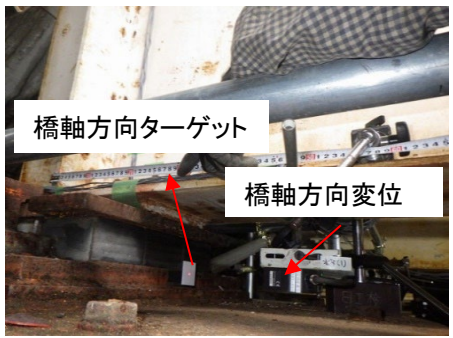


写真-5 橋軸方向変位計配置状況(G1)

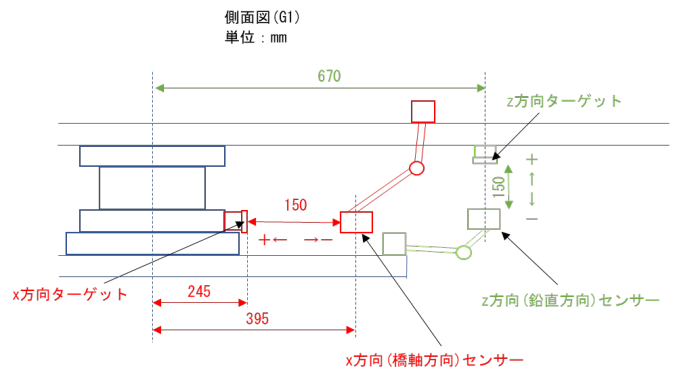


図-3 橋軸方向変位計の位置(G1)

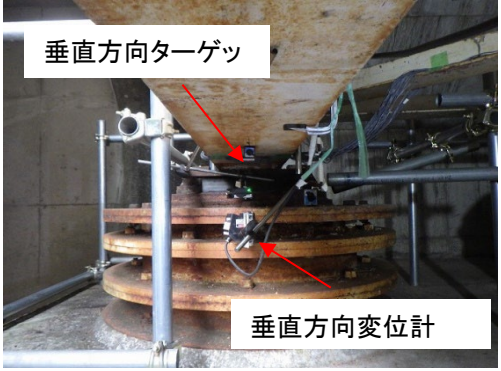


写真-6 垂直方向変位計配置状況(G1)

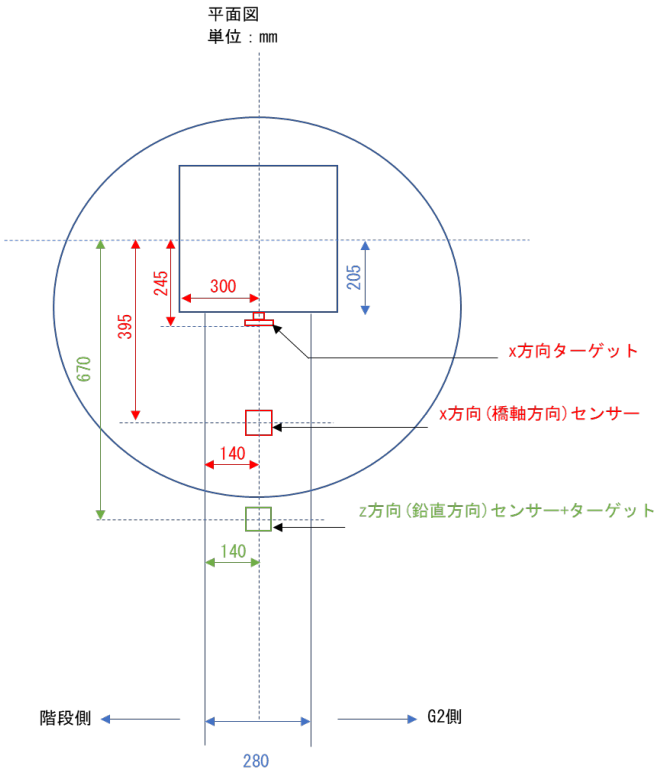


図-4 垂直方向変位計の位置(G1)

※G2も同様に設置

1.計測結果

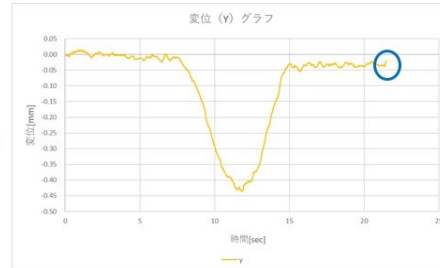
①Y/X軸方向(垂直/水平)での変位 ※以下のサンプルはY軸方向のみ表示

変位成分表示 (Y)



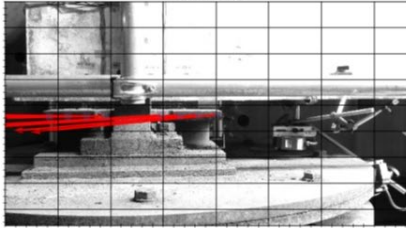
計測箇所に対して、左図の通り、変位を画像フレーム単位でベクトル表示することが可能。
左図は、下図の変位グラフの青色の丸印の時刻におけるベクトル表示となる。

計測した変位量の時刻歴データのグラフ表示も可能。
右図グラフは、上図の変位成分表示(Y)の黄色の丸印箇所における時刻に対する変位グラフである。
CSVデータとしての出力も可能。



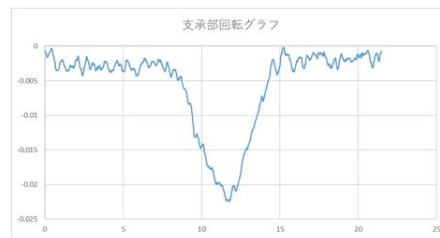
②支承部の回転変位

変位ベクトル表示



選択した箇所に対して、左図の通り、回転量を画像フレーム単位でベクトル表示することが可能。

計測した回転量の時刻歴データのグラフ表示も可能。
右図グラフは、上図の計測箇所全点における時刻に対する変位グラフである。
CSVデータとしての出力も可能。



(1) 橋軸方向の変位

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測精度)

- ・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (\%)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

橋軸方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数

10

単位:mm

	G1支承					G2支承				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	-1.192	-1.220	-1.180	-1.236	-1.216	-1.052	-1.052	-1.040	-1.080	-1.040
計測結果	-1.214	-1.214	-1.204	-1.252	-1.212	-1.048	-1.063	-1.033	-1.075	-1.023
差分	0.022	-0.006	0.024	0.016	-0.004	-0.004	0.011	-0.007	-0.005	-0.017

X= 0.0136 mm = (13.6 μm)

x= 1.20 %

橋軸方向変位の相対差 X mm(x %) = 0.0136 mm (1.20 %)

→奥行き方向(z方向)の変位量に関して、
カタログ記載の精度(0.01mm(1.2%))が得られていることが確認できた

(2) 垂直方向の変位

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測精度)

- ・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザー距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (%) } = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

垂直方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数

10

単位:mm

	G1支承					G2支承				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	-0.364	-0.376	-0.360	-0.376	-0.368	-0.388	-0.392	-0.380	-0.396	-0.388
計測結果	-0.370	-0.375	-0.366	-0.383	-0.366	-0.388	-0.387	-0.395	-0.377	-0.412
差分	0.006	-0.001	0.006	0.007	-0.002	0.000	-0.005	0.015	-0.019	0.024

$$Z = 0.0115 \text{ mm} = (11.5 \text{ } \mu\text{m})$$

$$z = 3.04 \text{ %}$$

垂直方向変位の相対差 Z mm(z %) = 0.0115 mm (3.04 %)

→奥行き方向(z方向)の変位量に関して、
カタログ記載の精度(0.01mm(3.04%))が得られていることが確認できた

技術番号 BR030026

技術名 デジタルカメラによる支承点検技術
開発者名 パナソニック コネクト株式会社

試験日 令和3年 4月 6日
天候 晴れ
気温 16.5 °C
風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ
検出項目 支承の移動量
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

対象構造物の概要

1.土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鉸桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m(4主桁)

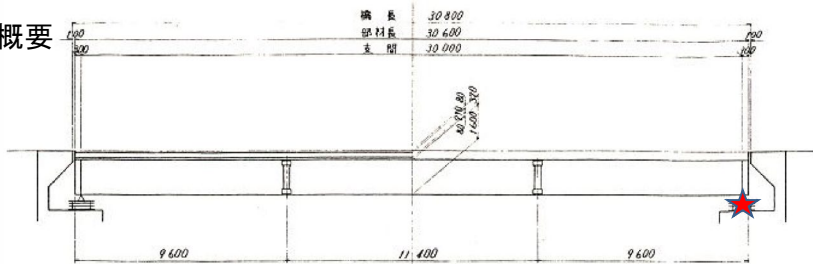


図-1 側面図

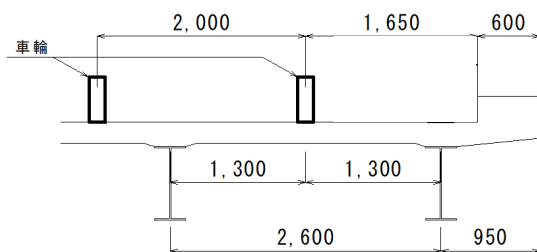


図-2 荷重載荷位置

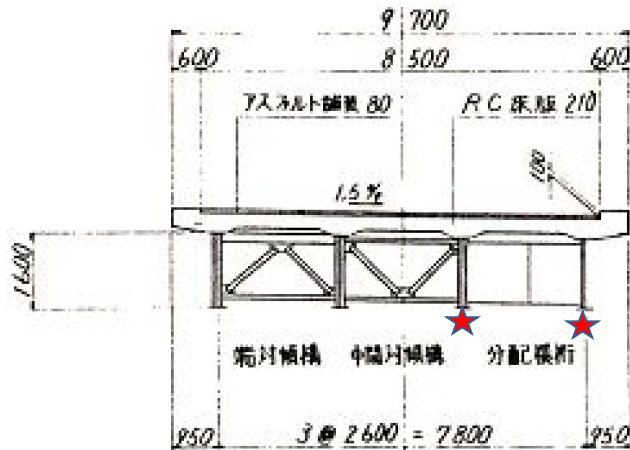


図-3 断面図



※車輪通過位置: 床版支間中央
速度: 20km/h(一定)

写真-1 車両載荷(20t)



写真-2 支承部

試験方法(手順)	技術番号	BR030026
① 開発者側のカメラ、リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3～写真-6、図-3,4)		
② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に車輪が通行するように走行(20km/h)させ、橋梁通過後合図する。		
③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、車両通過の合図から約5秒間計測する。		
④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたかを確認する。		
⑤ 上記②～④を5回行った。		

開発者による計測機器の設置状況

1.機器の設置

この写真では、作業員が大型の計測機器（コンクリート製）のG1側で作業しています。機器の上部には「①カメラ」が設置されており、機器の側面には「②PC」が設置されています。作業員はヘルメットと高視能反射ベストを着用しています。

この写真は、同じ計測機器のG2側からの様子です。作業員が機器の上部で「①カメラ」の調整を行っています。また、機器の側面に「②PC」が設置されていることが確認できます。作業員はヘルメットと高視能反射ベストを着用しています。

写真-3 機器の構成と配置 (G1側)

写真-4 機器の構成と配置 (G2側)

1. 機器の設置

- ①橋軸方向変位:レーザー変位計 ②垂直方向変位:レーザー変位計
取付け位置は、写真-4,5、図-3,4を参照



写真-5 橋軸方向変位計配置状況(G1)

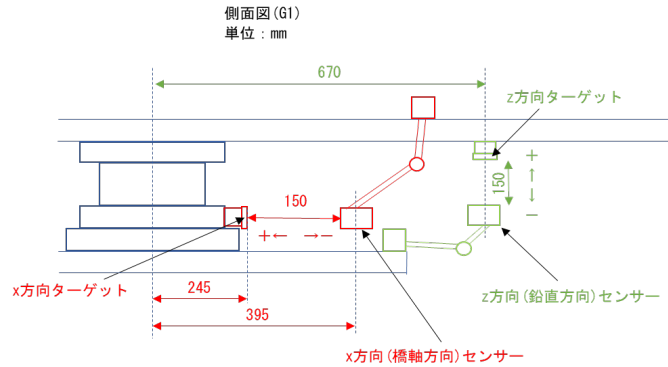


図-4 橋軸方向変位計の位置(G1)

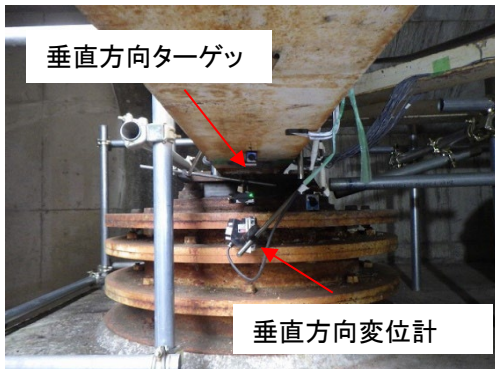


写真-6 垂直方向変位計配置状況(G1)

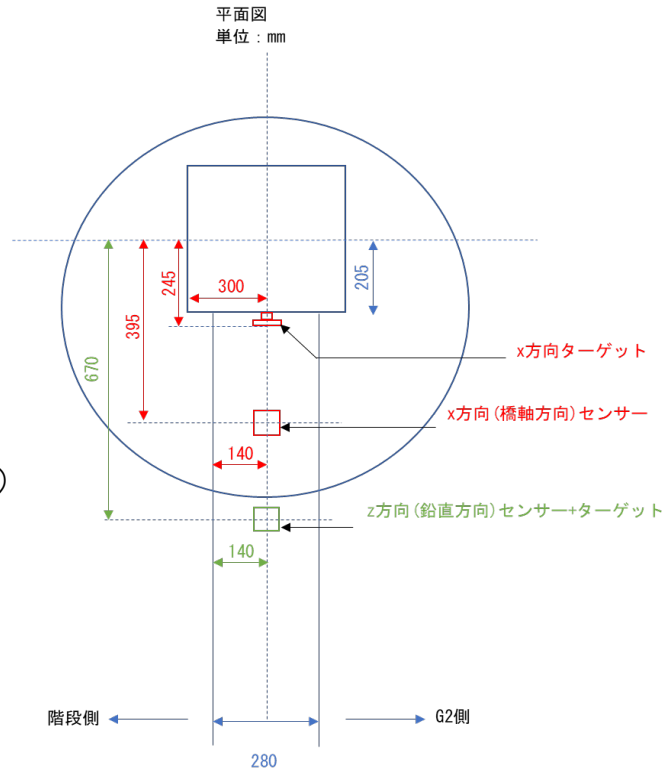


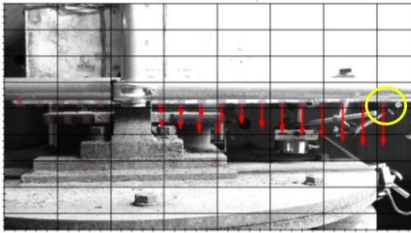
図-5 垂直方向変位計の位置(G1)

※G2も同様に設置

1.計測結果

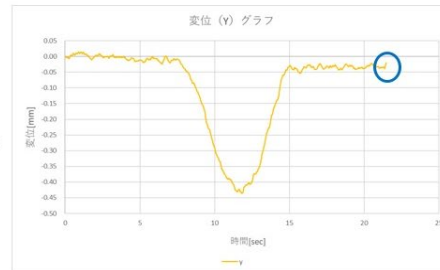
①Y/X軸方向(垂直/水平)での変位 ※以下のサンプルはY軸方向のみ表示

変位成分表示 (Y)



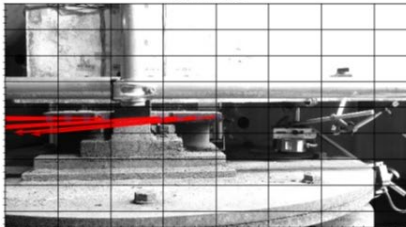
計測箇所に対して、左図の通り、変位を画像フレーム単位でベクトル表示することが可能。
左図は、下図の変位グラフの青色の丸印の時刻におけるベクトル表示となる。

計測した変位量の時刻歴データのグラフ表示も可能。
右図グラフは、上図の変位成分表示 (Y) の黄色の丸印箇所における時刻に対する変位グラフである。
CSVデータとしての出力も可能。



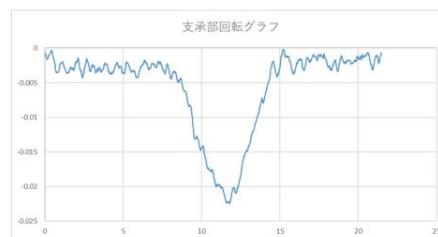
②支承部の回転変位

変位ベクトル表示



選択した箇所に対して、左図の通り、回転量を画像フレーム単位でベクトル表示することが可能。

計測した回転量の時刻歴データのグラフ表示も可能。
右図グラフは、上図の計測箇所全点における時刻に対する変位グラフである。
CSVデータとしての出力も可能。



(1) 橋軸方向の変位

・変位の相対差による計測精

・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (\%)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

橋軸方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数

10

単位:mm

	G1支承					G2支承				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	-1.192	-1.220	-1.180	-1.236	-1.216	-1.052	-1.052	-1.040	-1.080	-1.040
計測結果	-1.214	-1.214	-1.204	-1.252	-1.212	-1.048	-1.063	-1.033	-1.075	-1.023
差分	0.022	-0.006	0.024	0.016	-0.004	-0.004	0.011	-0.007	-0.005	-0.017

X= 0.0136 mm = (13.6 μm)

x= 1.20 %

橋軸方向変位の相対差 X mm(x %) = 0.0136 mm (1.20 %)

→奥行き方向(z方向)の変位量に関して、
精度(0.01mm(1.2%))が得られていることが確認できた

(2) 垂直方向の変位

・変位の相対差による計測精度

・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (\%)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

垂直方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数

10

単位:mm

	G1 支承					G2 支承				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	-0.364	-0.376	-0.360	-0.376	-0.368	-0.388	-0.392	-0.380	-0.396	-0.388
計測結果	-0.370	-0.375	-0.366	-0.383	-0.366	-0.388	-0.387	-0.395	-0.377	-0.412
差分	0.006	-0.001	0.006	0.007	-0.002	0.000	-0.005	0.015	-0.019	0.024

$$Z = 0.0115 \text{ mm} = (11.5 \text{ } \mu\text{m})$$

$$z = 3.04 \text{ \%}$$

垂直方向変位の相対差 Z mm(z %) = 0.0115 mm (3.04 %)

→奥行き方向(z方向)の変位量に関して、
精度(0.01mm(3.04%))が得られていることが確認できた

技術番号 BR030026

技術名 デジタルカメラによる支承点検技術
開発者名 パナソニック コネクト株式会社

試験日 令和6年 1 月 17 日 天候 晴れ 気温 11.5 °C 風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 桁たわみ 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
色識別性能

対象構造物の概要

1. 土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鉸桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m (4主桁)

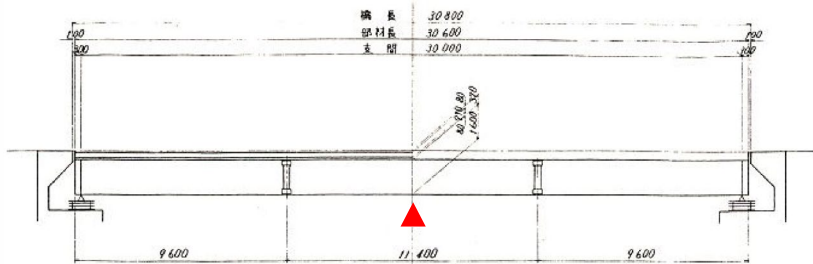


図-1 側面図

2. 載荷試験の概要

① 車両走行試験

- ・車両重量: 20ton, 速度: 20km/h (写真-1参照)
- ・載荷位置: 床版支間中央 (図-2参照)

② 計測対象箇所

- ・たわみ量 (図-2及び図-3の▲位置)

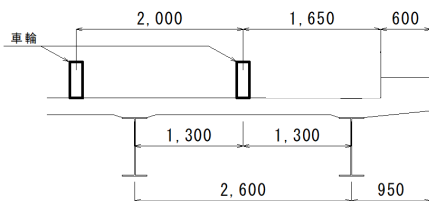


図-2 走行位置

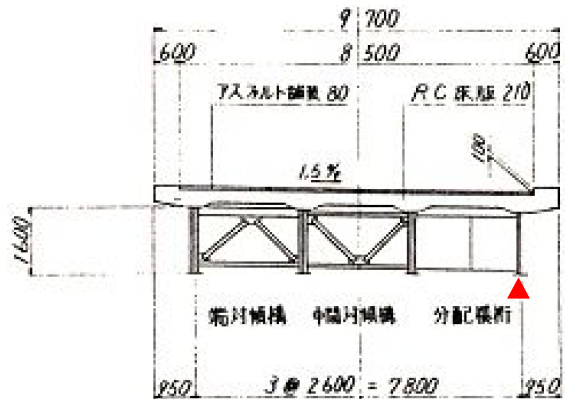


図-3 断面図



写真-1 車両載荷 (20t)



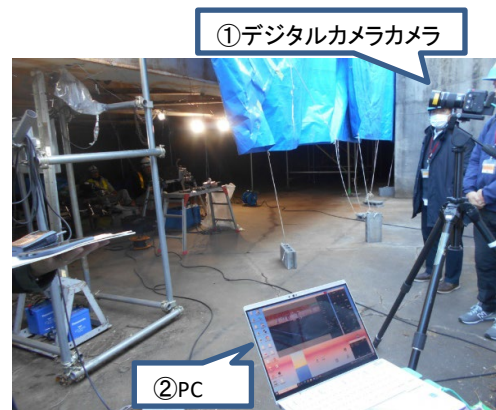
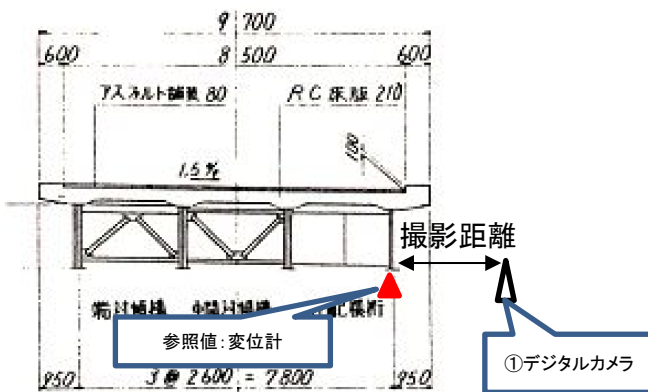
写真-2 測定対象桁及び測定位置

- ① 開発者側のカメラ、リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3～写真-7、図-4)
- ② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に車輪が通行するように走行(20km/h)させ、橋梁通過後合図する。(動的)
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、車両通過の合図から約5秒間計測する。
- ④ 上記②～④を5回行った。
- ⑤ 車両を支間中央に停止後、変位(G2 鉛直方向)を1分間計測(静的)
- ⑥ 車両を1/4地点に移動させ、停止後、変位(G2 鉛直方向)を1分間計測(静的)
- ⑦ ②～④を3回繰り返す。
- ⑧ カラーチャートを撮影

開発者による計測機器の設置状況

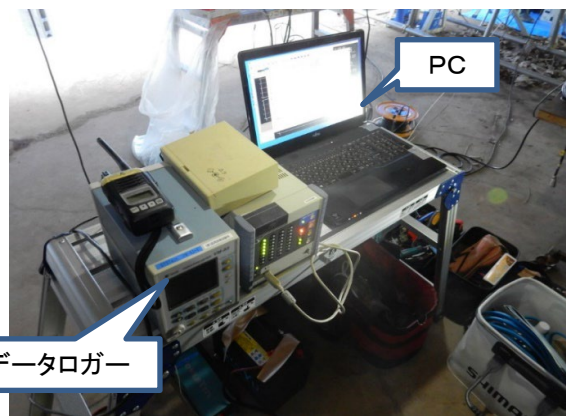
機器の構成と設置

- ①デジタルカメラ
- ②PC



比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

※計測精度



※色識別性能

市販の24色のカラーチャート(写真-6)を使用する。
RGB値はカラーチャートの販売業者提供しているRGB値を真値とする。



	真 値		
	R値	G値	B値
A-1	43	41	43
A-2	80	80	78
A-3	122	118	116
A-4	161	157	154
A-5	202	198	195
A-6	249	242	238
B-1	25	55	135
B-2	57	146	64
B-3	186	26	51
B-4	245	205	0
B-5	192	75	145
B-6	0	127	159
C-1	238	158	25
C-2	157	188	54
C-3	83	58	106
C-4	195	79	95
C-5	58	88	159
C-6	222	118	32
D-1	112	76	60
D-2	197	145	125
D-3	87	120	155
D-4	82	106	60
D-5	126	125	174
D-6	98	187	166

1.計測結果(動的載荷)

■カメラ名称: LUMIX DC-BGH1

■被写体距離: 2.2 m ■照度: 635Lux ■風速: - m/s

■気温: 11.5 °C

■焦点距離: 175mm ■シャッター速度: 1/1000

■絞り:F5.6 ■ISO値: オート

■フォーカス: ワンショットAF ■画像Pixel数: 3840x2160 ■撮影方法: 動画記録

走行No.	画像計測による変位結果	リファレンス変位計による変位結果
	最大変位[mm]	最大変位[mm]
1	-3.261	-3.257
2	-3.452	-3.439
3	-3.112	-3.103
4	-3.704	-3.641
5	-3.448	-3.409

計測結果の差
最大変位[mm]
-0.004
-0.014
-0.009
-0.063
-0.038

2.計測結果の比較(動的載荷)

・リファレンスと開発者測定のためみ量の相対差を以下の式より算出する。

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \quad x \text{ (%) } = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

 δ_a =検証側技術による測定値(1回目)ー当該技術による測定値(1回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

 δ_b =検証側技術による測定値(2回目)ー当該技術による測定値(2回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

 δ_i =検証側技術による測定値(n回目)ー当該技術による測定値(n回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

サンプル数

5

単位: $\mu\epsilon$

	載荷試験				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	-3.26	-3.44	-3.10	-3.64	-3.41
計測結果	-3.26	-3.45	-3.11	-3.70	-3.45
差分	0.00	0.01	0.01	0.06	0.04

X= 0.0339 mm

x= 1.01 %

静的載荷試験の相対差 X mm (x %) = 0.0339 mm (1.01 %)

1.計測結果(静的載荷)

■カメラ名称: LUMIX DC-BGH1

■被写体距離: 2.2 m ■照度: 635Lux ■風速: - m/s

■気温: 11.5 °C

■焦点距離: 175mm ■シャッター速度: 1/1000

■絞り:F5.6 ■ISO値: オート

■フォーカス: ワンショットAF ■画像Pixel数: 3840x2160 ■撮影方法: 動画記録

1/2	画像計測による変位結果	リファレンス変位計による変位結果
走行No.	最大変位[mm]	最大変位[mm]
1	-3.614	-3.543
2	-3.683	-3.569
3	-3.741	-3.576

計測結果の差
最大変位[mm]
-0.072
-0.114
-0.165

1/4	画像計測による変位結果	リファレンス変位計による変位結果
走行No.	最大変位[mm]	最大変位[mm]
1	-2.264	-2.136
2	-2.191	-2.075
3	-2.265	-2.094

計測結果の差
最大変位[mm]
-0.129
-0.116
-0.171

2.計測結果の比較(静的載荷)

・リファレンスと開発者測定のためみ量の相対差を以下の式より算出する。

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \quad x \text{ (%) } = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

 δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

 δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

 δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

サンプル数 3

単位:mm

サンプル数 3

単位:mm

載荷試験(1/2L)			
	1回目	2回目	3回目
リファレンス	-3.54	-3.57	-3.58
計測結果	-3.61	-3.68	-3.74
差分	0.07	0.11	0.17

載荷試験(1/4L)			
	1回目	2回目	3回目
リファレンス	-2.14	-2.08	-2.09
計測結果	-2.26	-2.19	-2.27
差分	0.13	0.12	0.17

載荷試験(1/2L)

X= 0.1228 mm

x= 3.45 %

静的載荷試験の相対差 X mm(x %) = 0.1228 mm (3.45 %)

載荷試験(1/4L)

X= 0.1403 $\mu\epsilon$

x= 6.68 %

静的載荷試験の相対差 Xmm(x %) = 0.1403 mm (6.68 %)

※色識別性能

■カメラ名称: LUMIX DC-BGH1

■被写体距離: 1.8 m ■照度: 108Lux ■風速: - m/s

■気温: 11.5 °C

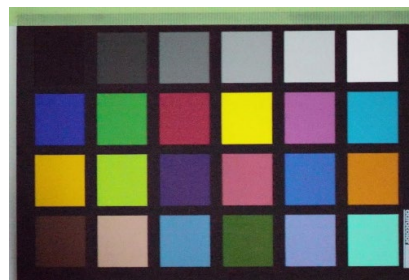
■焦点距離: 100mm ■シャッター速度: 1/1000

■絞り:F5.6 ■ISO値: オート

■フォーカス: ワンショットAF ■画像Pixel数: 3840x2160 ■撮影方法: 動画記録



立会者撮影



開発者撮影

計測比較

	R値		G値		B値	
	真値	計測値	真値	計測値	真値	計測値
A-1	43	31	41	16	43	26
A-2	80	71	80	65	78	70
A-3	122	129	118	130	116	130
A-4	161	166	157	175	154	177
A-5	202	196	198	202	195	204
A-6	249	216	242	220	238	222
B-1	25	54	55	49	135	156
B-2	57	71	146	168	64	74
B-3	186	161	26	45	51	70
B-4	245	237	205	232	0	9
B-5	192	180	75	107	145	174
B-6	0	38	127	173	159	199
C-1	238	211	158	169	25	8
C-2	157	163	188	213	54	32
C-3	83	76	58	51	106	103
C-4	195	184	79	90	95	119
C-5	58	78	88	121	159	191
C-6	222	208	118	130	32	30
D-1	112	63	76	30	60	34
D-2	197	195	145	165	125	147
D-3	87	96	120	145	155	185
D-4	82	59	106	89	60	31
D-5	126	132	125	152	174	207
D-6	98	105	187	224	166	205

技術番号 BR030027

技術名 無線伝送装置を用いた変位計による支承移動量の測定 開発者名 沖電気工業株式会社

試験日 令和3年 4月 7日 天候 晴れ 気温 16.5 °C 風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 変位量・回転量 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

対象構造物の概要

1.土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m (4主桁)

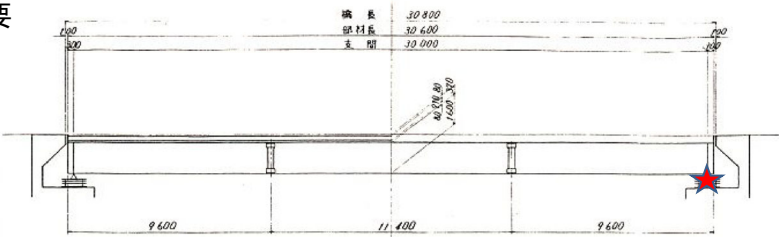


図-1 側面図

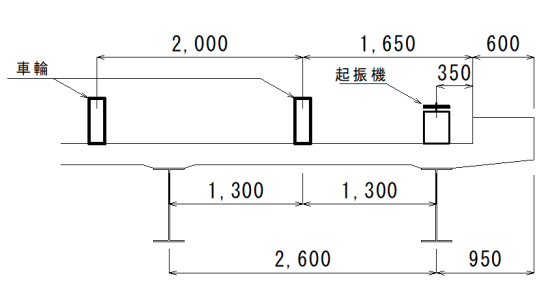


図-3 荷重載荷位置

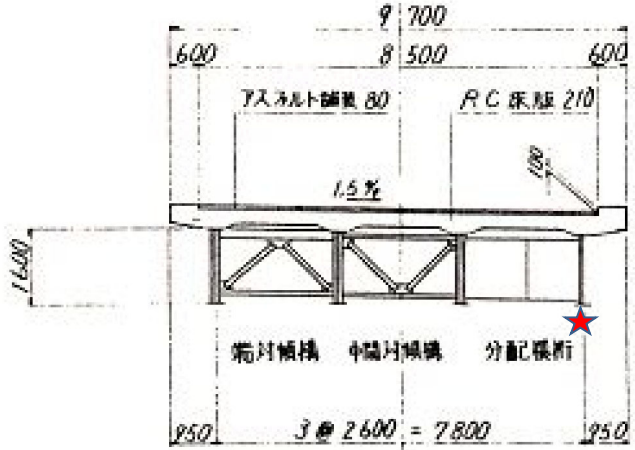


図-2 断面図



写真-1 車両載荷 (20t)



写真-2 支承部

- ① 開発者側の加速度計, リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3~写真-4、図-4)
- ② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に停止させる。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 上記②~④を5回行った。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置

- ①変位センサー(鉛直方向 1ヶ所)
- ②変位センサー(橋軸方向 1ヶ所)
- ③無線伝送装置(変位センサーと有線で接続)
- ④ゲートウェイ

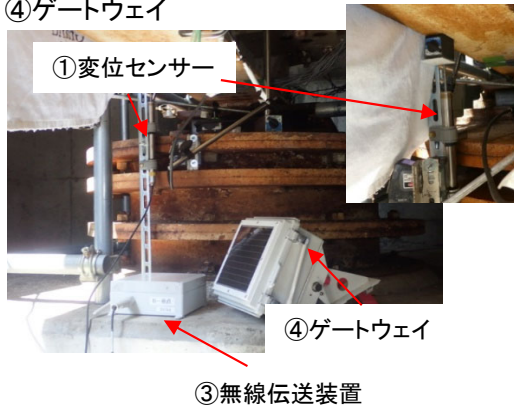


写真-3 機器の構成と配置(G1側)

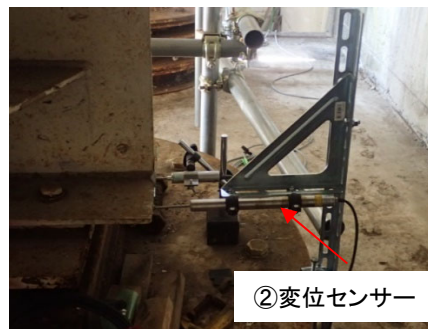


写真-4 機器の構成と配置(G2側)

1. 機器の設置

- ①橋軸方向変位:レーザー変位計 ②鉛直方向変位:レーザー変位計
取付け位置は、写真-4,5、図-3,4を参照

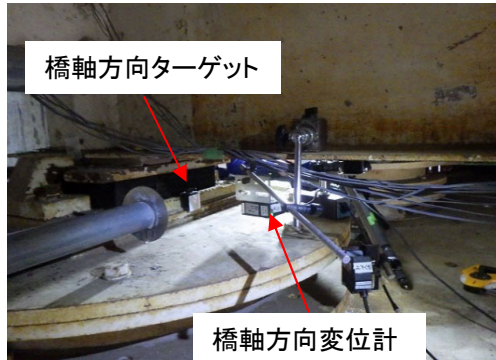


写真-4 橋軸方向変位計配置状況(G1)

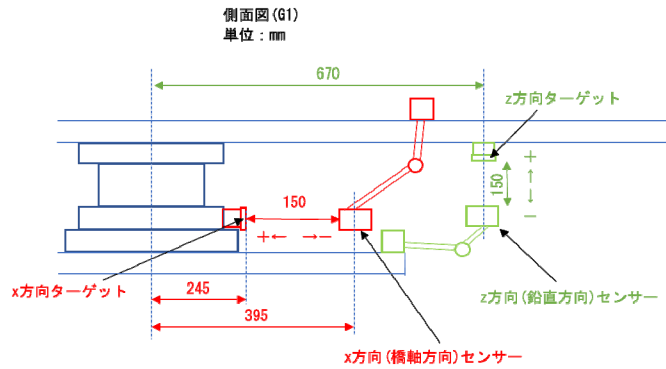


図-3 変位計の位置

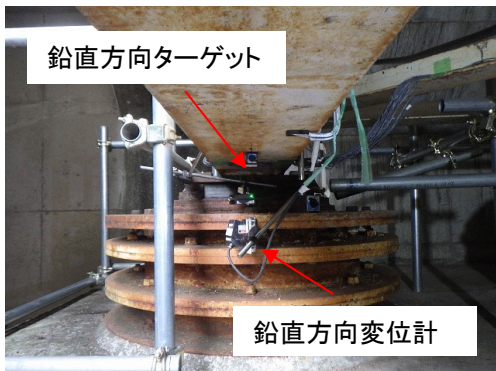


写真-5 鉛直方向変位計配置状況(G1)

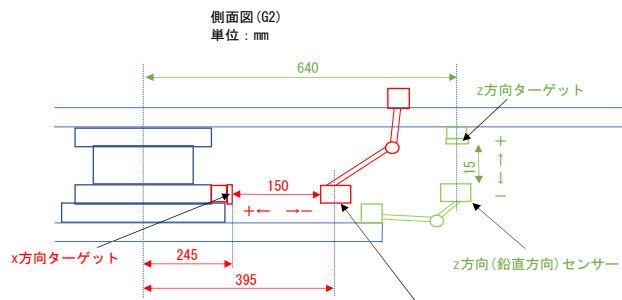


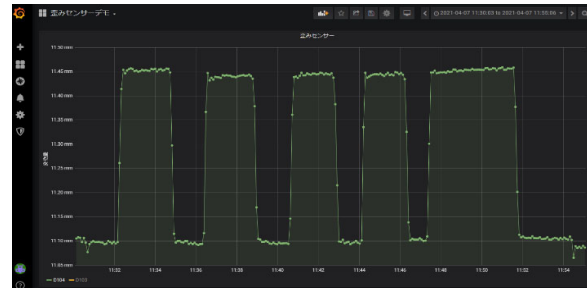
図-4 変位計の位置

1.計測結果

- ・開発者による変位計から得られた橋軸方向・鉛直方向の結果を下図に示す。
- ・開発者によって得られた橋軸方向・鉛直方向変位量とリファレンス計測の相対差を算出する。



当該技術による計測結果(橋軸方向)



当該技術による計測結果(鉛直方向)

(1) 橋軸方向の変位

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測精度)

- ・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (%) } = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a = 検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b = 検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i = 検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A= 検証側技術による測定値(1回目)

B= 検証側技術による測定値(2回目)

I= 検証側技術による測定値(n回目)

橋軸方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数

5

単位:mm

	1回目 11:59	2回目 12:03	3回目 12:23	4回目 13:47	5回目
リファレンス	1.084	1.066	1.078	1.081	1.086
計測結果	0.952	0.941	0.940	0.936	0.950
差分	0.132	0.125	0.138	0.145	0.136

$$X = 0.1354 \text{ mm} = (135.4 \text{ } \mu\text{m})$$

$$x = 12.55 \text{ %}$$

$$\text{橋軸方向変位の相対差 } X \text{ mm}(x \%) = 0.1354 \text{ mm } (12.55 \text{ \% })$$

→橋軸方向変位量に関して、

カタログ記載の精度(0.135mm(12.55%))が得られていることが確認できた

(2) 鉛直方向の変位

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測精度)

- ・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (%) } = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目)－当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目)－当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目)－当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

鉛直方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数 5 単位: mm

	1回目 11:59	2回目 12:03	3回目 12:23	4回目 13:47	5回目
リファレンス	0.295	0.277	0.283	0.301	0.298
計測結果	0.356	0.343	0.349	0.346	0.346
差分	-0.061	-0.066	-0.066	-0.045	-0.048

$$Z = 0.0579 \text{ mm} = (57.9 \text{ } \mu\text{m})$$

$$Z = 19.91 \text{ %}$$

$$\text{鉛直方向変位の相対差 } Z \text{ mm}(z \text{ \%}) = 0.0579 \text{ mm} (19.91 \text{ \%})$$

→鉛直方向の変位量に関して、

カタログ記載の精度(0.058mm(19.91%))が得られていることが確認できた

技術番号 BR030028

技術名 LPWA通信を利用した支承モニタリングシステム

開発者名 京橋ブリッジ株式会社

試験日 令和3年 4月 7日

天候 晴れ

気温 16.5 °C

風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 変位量・回転量

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

対象構造物の概要

1.土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鈹桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m(4主桁)

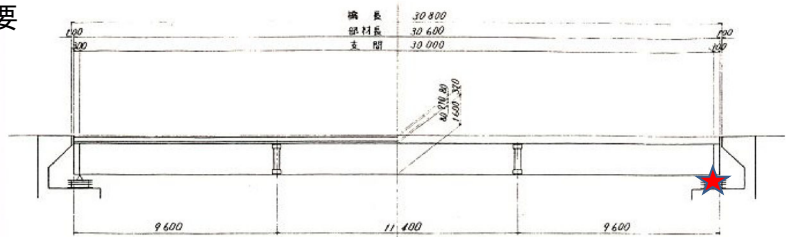


図-1 側面図

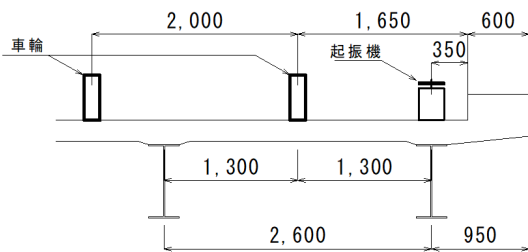


図-3 荷重載荷位置



※停止位置: 床版支間

写真-1 車両載荷(20t)

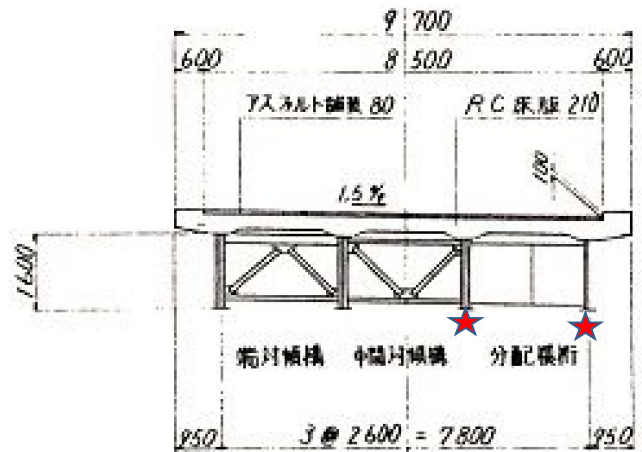


図-2 断面図



写真-2 支承部

- ① 開発者側の変位センサー, リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3,4)
- ② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に車輪が通行するように走行(20km/h)させ、橋梁通過後合図する。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、車両通過の合図から常時微動までの間(約5秒)計測する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 上記②~④を5回行った。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置

- ① 変位センサー(橋軸方向 G1 1ヶ所)
- ② 変位センサー(橋軸方向 G2 1ヶ所)
- ③ 送信機器ボックス
- ④ ソーラーパネル

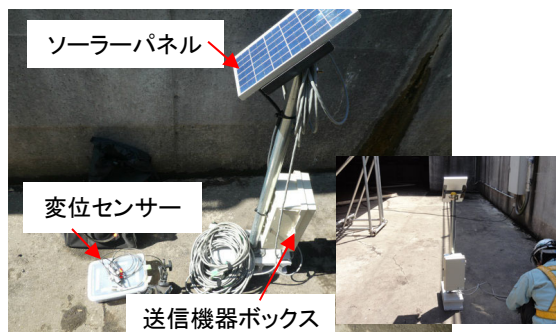


写真-3 機器の構成と配置(G1側)



写真-4 機器の構成と配置(G2側)

1. 機器の設置

- ① 橋軸方向変位: レーザー変位計 G1, G2
取付け位置は、写真-5、図-3,4を参照



写真-5 橋軸方向変位計配置状況(G1)

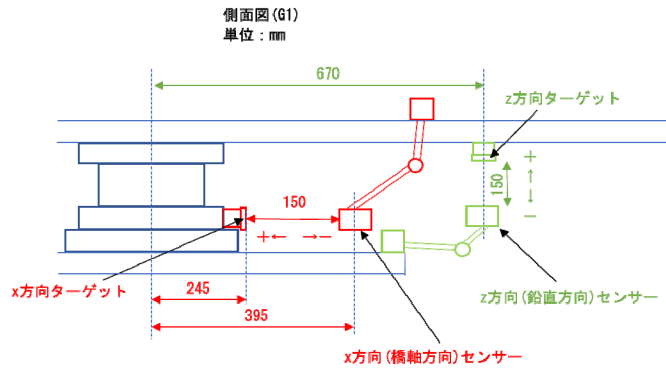


図-3 変位計の位置(G1)

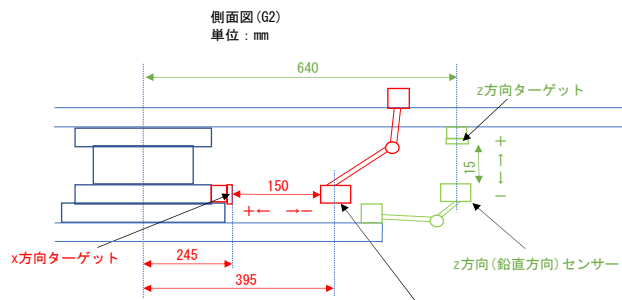


図-4 変位計の位置(G2)

1.計測結果

・開発者によって得られた橋軸方向とリファレンス計測の相対差を算出する。

(1) 橋軸方向の変位

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測精度)

・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (%) } = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

橋軸方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数

10

単位:mm

	G1支承					G2支承				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	-1.360	-1.392	-1.324	-1.292	-1.292	-1.132	-1.152	-1.088	-1.068	-1.060
計測結果	-1.233	-1.269	-1.209	-1.221	-1.197	-1.132	-1.156	-1.109	-1.097	-1.109
差分	-0.127	-0.123	-0.115	-0.071	-0.095	0.000	0.004	0.021	0.029	0.049

$$X = 0.0789 \text{ mm} = (78.9 \text{ } \mu\text{m})$$

$$x = 6.49 \text{ %}$$

$$\text{橋軸方向変位の相対差 } X \text{ mm}(x \text{ \%}) = 0.0789 \text{ mm} (6.49 \text{ \%})$$

→橋軸方向の変位量に関して、

カタログ記載の精度(0.079mm(6.49%))が得られていることが確認できた

技術番号 BR030030

技術名 重力加速度を用いた傾斜角による橋桁変形計測技術 開発者名 株式会社TTES

試験日 令和3年 4月 6日 天候 晴れ 気温 16.5 °C 風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 たわみ 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

対象構造物の概要

1.土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鉸桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m(4主桁)

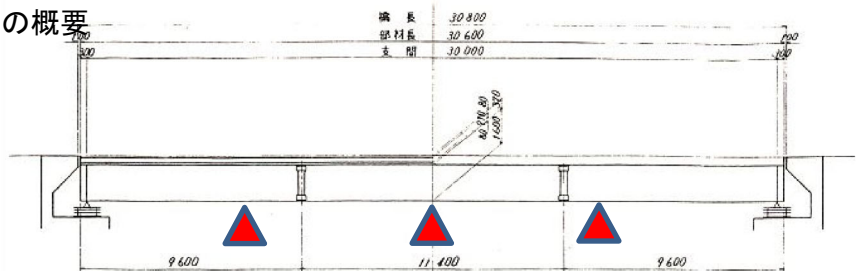


図-1 側面図

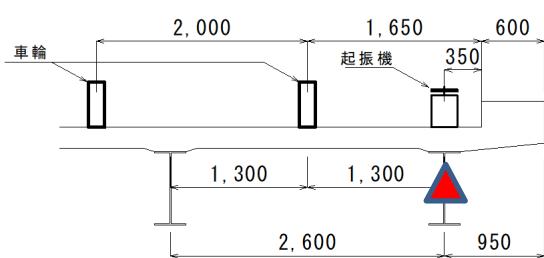


図-3 荷重載荷位置

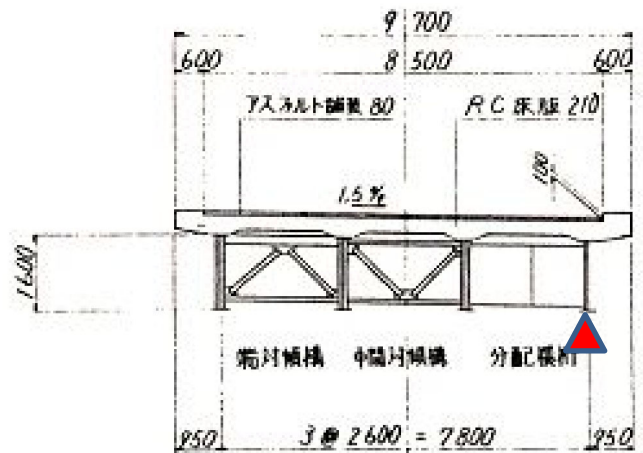


図-2 断面図



※車輪通過位置: 床版支間中央

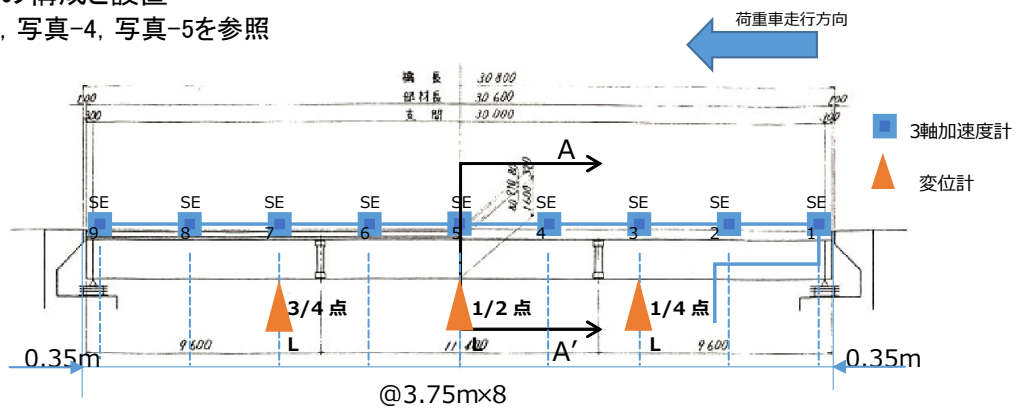
写真-1 車両載荷(20t)

- ① 開発者側のセンサ及びリファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-2~写真-6)
- ② 合図と共に車両(20ton)を床版支間中央に車輪が通行するように走行(20km/h)させ、橋梁通過後合図する。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、動的および、静的载荷(車両通過の合図から常時微動までの間(約5秒))を計測する。
- ④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。
- ⑤ 後日、取得したデータよりたわみを算出する。

開発者による計測機器の設置状況

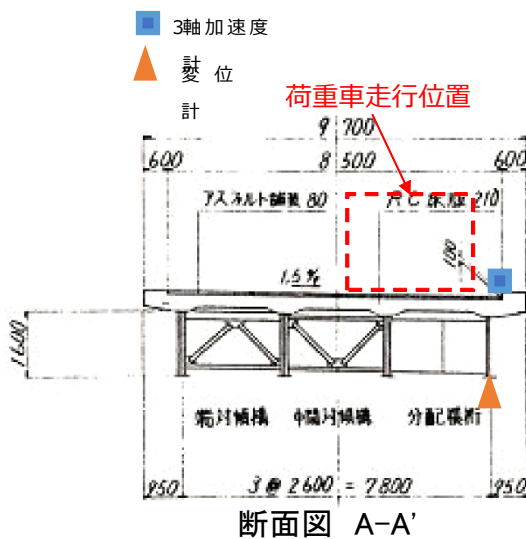
1.機器の構成と設置

写真-3, 写真-4, 写真-5を参照

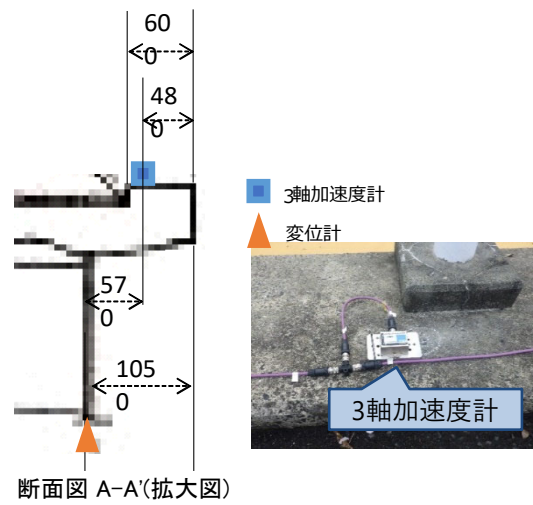


側面図

senso	SE9	SE8	SE7	SE6	SE5	SE4	SE3	SE2	SE1
Distance(m)	30.00	26.25	22.50	18.75	15.00	11.25	7.50	3.75	0.00



断面図 A-A'



断面図 A-A'(拡大図)

1.機器の設置

①たわみ測定：CDPゲージ(接触式変位ゲージ)

取付け位置は、図-1～3を参照。測定機器の構成は、写真-3を参照

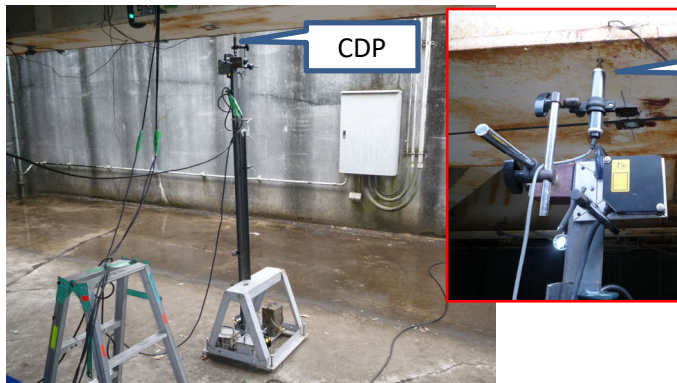


写真-2 CDPゲージによる測定

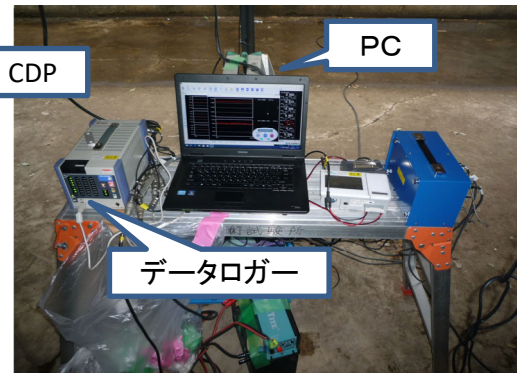


写真-3 測定機器

1.1計測結果(動的載荷)

・開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較結果を図-4に示す。(試験車走行1回目)

・表-1～3に、開発者の通常の測定とCDPゲージによるリファレンスデータとの最大値および誤差、計測精度の算出結果を示す。計測精度は変位の相対差とし以下の方法で算出した。

変位の相対差 算出方法：

$$X(\text{mm}) = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \delta_i^2}{n}}, \quad x(\%) = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{|A+B+I|}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目) - 当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目) - 当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目) - 当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

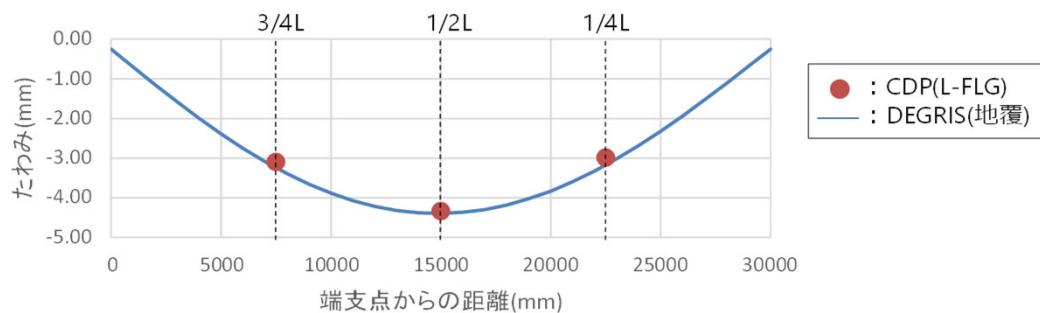
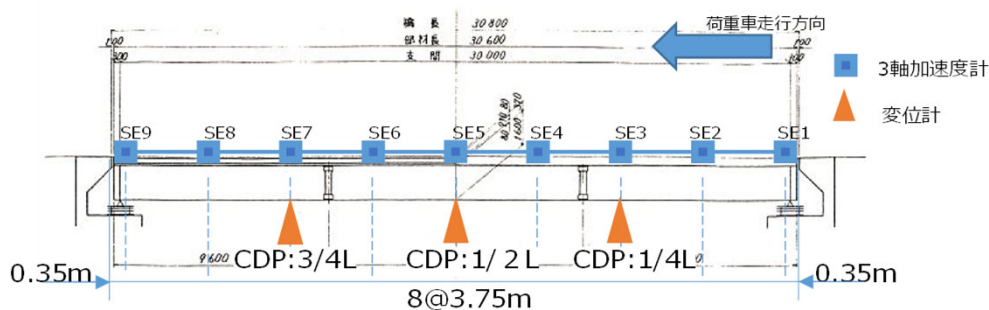


図-4 動的載荷1回目たわみ比較グラフ

表-1 開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較(1/4L点)

	CDP (L-Flg, 1/4L)	DEGRIS (地覆, 1/4L)	誤差 (mm)	相対誤差 (%)
動的載荷1回目	-2.99	-3.12	-0.13	-4.27
動的載荷2回目	-3.04	-3.10	-0.07	-2.23
動的載荷3回目	-3.02	-3.03	-0.01	-0.45
動的載荷4回目	-3.16	-3.20	-0.05	-1.46
動的載荷5回目	-3.09	-3.26	-0.17	-5.39
平均	-3.06	-3.14	-0.08	-2.76
標準偏差	0.06	0.08	0.06	1.82

表-2 開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較(1/2L点)

	CDP (L-Flg, 1/2L)	DEGRIS (地覆, 1/2L)	誤差 (mm)	相対誤差 (%)
動的載荷1回目	-4.34	-4.52	-0.19	-4.29
動的載荷2回目	-4.30	-4.42	-0.12	-2.89
動的載荷3回目	-4.28	-4.27	0.01	0.16
動的載荷4回目	-4.45	-4.52	-0.07	-1.53
動的載荷5回目	-4.47	-4.61	-0.14	-3.07
平均	-4.37	-4.47	-0.10	-2.32
標準偏差	0.08	0.12	0.07	1.52

表-3 開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較(3/4L点)

	CDP (L-Flg, 3/4L)	DEGRIS (地覆, 3/4L)	誤差 (mm)	相対誤差 (%)
動的載荷1回目	-3.09	-3.25	-0.16	-5.11
動的載荷2回目	-3.13	-3.19	-0.06	-1.84
動的載荷3回目	-3.04	-3.07	-0.03	-1.04
動的載荷4回目	-3.19	-3.26	-0.06	-1.98
動的載荷5回目	-3.13	-3.24	-0.12	-3.71
平均	-3.12	-3.20	-0.09	-2.74
標準偏差	0.05	0.07	0.05	1.47

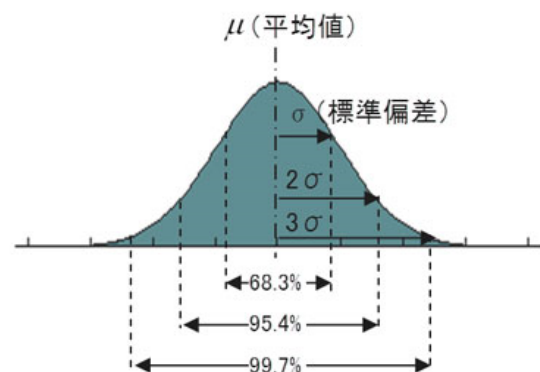
1.2 開発者による測定精度の検証(動的載荷)

・最大値以外の値の精度を評価するために、開発者による測定結果とリファレンスデータの測定誤差について3 σ 法による精度評価を行った結果を表-2に示す。3 σ が小さいほど、精度が高いことを示す。(図-5)

今回の測定の平均は、計測精度は1/4L点で3 σ =0.16mm(平均), 1/2L, 3/4点で3 σ =0.17mm(平均)となった。

表-4 測定精度の検証

	精度3 σ		
	1/4L	1/2L	3/4L
動的載荷1回目	0.16	0.19	0.18
動的載荷2回目	0.15	0.14	0.16
動的載荷3回目	0.17	0.25	0.21
動的載荷4回目	0.14	0.13	0.16
動的載荷5回目	0.19	0.17	0.14
平均	0.16	0.17	0.17
標準偏差	0.02	0.04	0.02

図-5 精度3 σ

2.計測結果(静的載荷)

・開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較結果を図-6に示す。(試験車走行1回目)

・表-5~7に、開発者の通常の測定とCDPゲージによるリファレンスデータとの最大値および誤差、計測精度の算出結果を示す。計測精度は変位の相対差とし以下の方法で算出した。

変位の相対差 算出方法：

$$X(\text{mm}) = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \delta_i^2}{n}}, \quad x(\%) = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{|A+B+I|}{n} \right) \times 100$$

δ_a = 検証側技術による測定値 (1回目) - 当該技術による測定値 (1回目)

δ_b = 検証側技術による測定値 (2回目) - 当該技術による測定値 (2回目)

δ_i = 検証側技術による測定値 (n回目) - 当該技術による測定値 (n回目)

A = 検証側技術による測定値 (1回目)

B = 検証側技術による測定値 (2回目)

I = 検証側技術による測定値 (n回目)

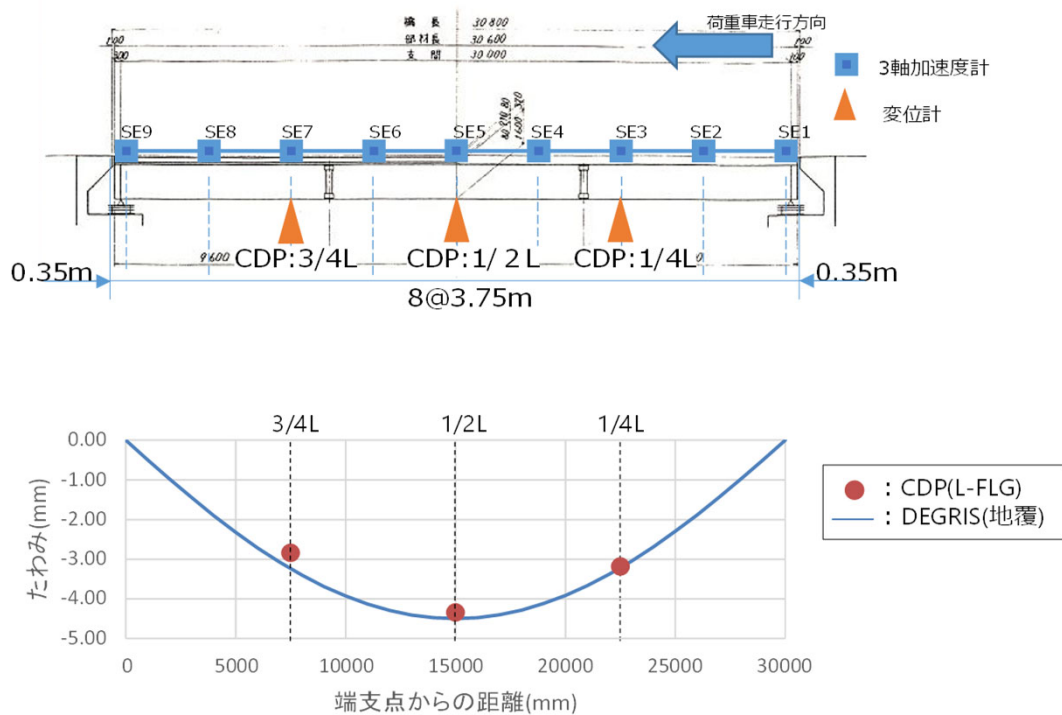


図-6 静的載荷1回目たわみ比較グラフ

表-5 開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較(1/4L点)

	CDP (L-Flg, 1/4L)	DEGRIS (地覆, 1/4L)	誤差 (mm)	相対誤差 (%)
静的載荷1回目	-3.18	-3.13	0.05	1.54
静的載荷2回目	-3.03	-2.50	0.53	17.64
静的載荷3回目	-3.07	-2.48	0.59	19.15
静的載荷4回目	-3.12	-2.77	0.35	11.08
静的載荷5回目	-3.08	-2.74	0.34	11.01
静的載荷6回目	-2.41	-2.47	-0.06	-2.54
平均	-3.10	-2.72	0.37	12.08
標準偏差	0.05	0.24	0.19	6.23

表-6 開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較(1/2L点)

	CDP (L-Flg, 1/2L)	DEGRIS (地覆, 1/2L)	誤差 (mm)	相対誤差 (%)
静的載荷1回目	-4.34	-4.49	-0.15	-3.51
静的載荷2回目	-4.18	-3.79	0.39	9.30
静的載荷3回目	-4.20	-3.62	0.57	13.69
静的載荷4回目	-4.23	-4.04	0.19	4.46
静的載荷5回目	-4.21	-4.08	0.13	2.98
静的載荷6回目	-3.73	-3.52	0.21	5.70
平均	-4.23	-4.01	0.23	5.39
標準偏差	0.06	0.29	0.25	5.83

表-7 開発者によるたわみ測定結果とリファレンスデータとの比較(3/4L点)

	CDP (L-Flg, 3/4L)	DEGRIS (地覆, 3/4L)	誤差 (mm)	相対誤差 (%)
静的載荷1回目	-2.84	-3.25	-0.41	-14.56
静的載荷2回目	-2.77	-2.92	-0.14	-5.23
静的載荷3回目	-2.78	-2.69	0.09	3.18
静的載荷4回目	-2.79	-2.92	-0.13	-4.73
静的載荷5回目	-2.77	-3.03	-0.26	-9.27
静的載荷6回目	-2.84	-2.54	0.30	10.66
平均	-2.79	-2.96	-0.17	-6.12
標準偏差	0.03	0.18	0.16	5.84

技術番号 BR030031

技術名 衝撃荷重載荷試験機「SIVE」による床版たわみ計測 開発者名 大日本コンサルタント株式会社

試験日 令和3年 4 月 5 日 天候 雨 気温 16.5 °C 風速 - m/s

試験場所 土木研究所構内 試験橋梁

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 床版たわみ 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

対象構造物の概要

全体一般図

1. 土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鈹桁橋
- ・橋 長: 30.800m
- ・支 間: 30.000m
- ・有効幅員: 8.500m
- ・桁 高: 1.600m
- ・主桁間隔: 2.600m(4主桁)

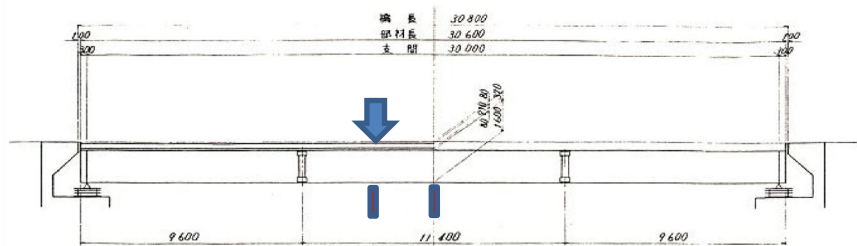


図-1 側面図

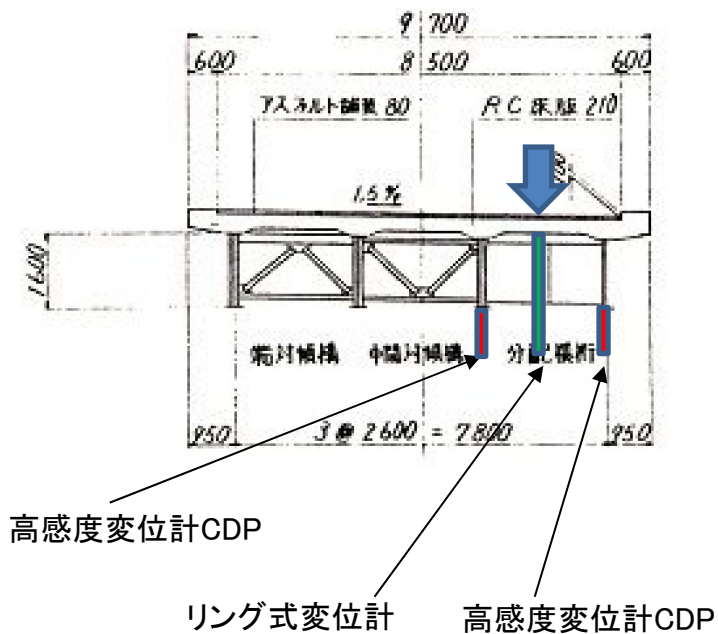


図-2 断面図

- ① 計測位置に装置本体を設置
- ② 加速度計を載荷位置、主桁上に設置
- ③ 重錘を落下させ、加速度の時刻歴を計測
- ④ 加速度計波形を確認して、積分範囲を設定し2階積分によって、床版たわみ(変位)に換算する。
- ⑤ 床版たわみから主桁たわみを減じて、床版単体のたわみを把握する。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の設置

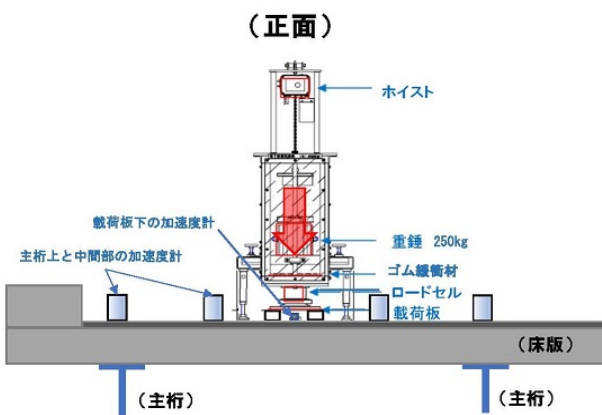


図-3 断面図



写真-1 開発者計測機器

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. 機器の設置

①たわみ測定: 変位計 取付け位置は、図-1～3を参照。測定機器の構成は、写真-3を参照

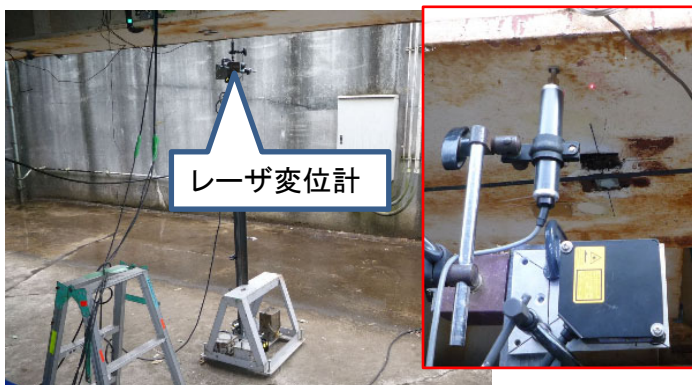


写真-2 変位計による測定

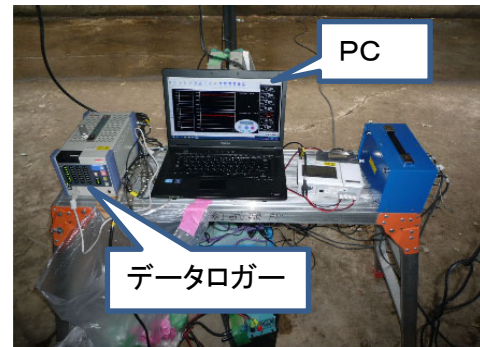


写真-3 測定機器

1. 計測結果

・開発者による測定結果とレーザ変位計によるリファレンスデータの対比を表-1に示す。

落下高さ	回数	変位計 (mm)	変位計 平均 (mm)	衝撃荷重載荷試験機「SIVE」による床版たわみ計測					
				計測値 (mm)	補間値 (mm)	補間値 平均 (mm)	平均±10% 範囲内 (mm)	計測値 平均 (mm)	補間値 変位計 (%)
10cm	1	0.23	0.23	0.1	0.21	0.22	0.21	0.21	91.3
	2	0.23		不良データ	不良データ		不良データ		
	3	0.22		0.13	0.29		除外		
	4	0.25		0.1	0.2		0.2		
	5	0.21		0.09	0.19		除外		
15cm	1	0.3	0.29	0.12	0.25	0.25	0.25	0.25	86.2
	2	0.31		0.12	0.25		0.25		
	3	0.26		0.12	0.25		0.25		
	4	0.3		0.12	0.25		0.25		
	5	0.29		0.12	0.26		0.26		
20cm	1	0.34	0.35	0.14	0.31	0.32	0.31	0.32	91.4
	2	0.36		0.16	0.32		0.32		
	3	0.34		0.15	0.32		0.32		
	4	0.38		0.15	0.33		0.33		
	5	0.35		0.16	0.33		0.33		
25cm	1	0.42	0.42	0.18	0.35	0.35	0.35	0.35	83.3
平 均									88.1

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測精度)

- ・本技術の計測値と、リファレンス(非接触レーザ距離計)との計測値の相対差の比較を以下の式に基づき算出する

$$X \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$$

$$x \text{ (\%)} = \sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}} \div \left(\frac{A+B+\dots+I}{n} \right) \times 100$$

δ_a =検証側技術による測定値(1回目)－当該技術による測定値(1回目)

δ_b =検証側技術による測定値(2回目)－当該技術による測定値(2回目)

δ_i =検証側技術による測定値(n回目)－当該技術による測定値(n回目)

A=検証側技術による測定値(1回目)

B=検証側技術による測定値(2回目)

I=検証側技術による測定値(n回目)

サンプル数 4

単位:mm

	1回目(10cm)	2回目(15cm)	3回目(20cm)	4回目(25cm)
リファレンス	0.230	0.290	0.350	0.420
計測結果	0.210	0.250	0.320	0.350
差分	0.020	0.040	0.030	0.070

X= 0.04416 mm = (44.16 μm)

x= 13.69 %

相対差 Xmm(x%) = 0.0442 mm (13.69 %)

技術番号 BR030032

技術名 振動画像よるケーブル張力計測技術
 開発者名 株式会社 長大 / パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社

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 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 張力 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

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

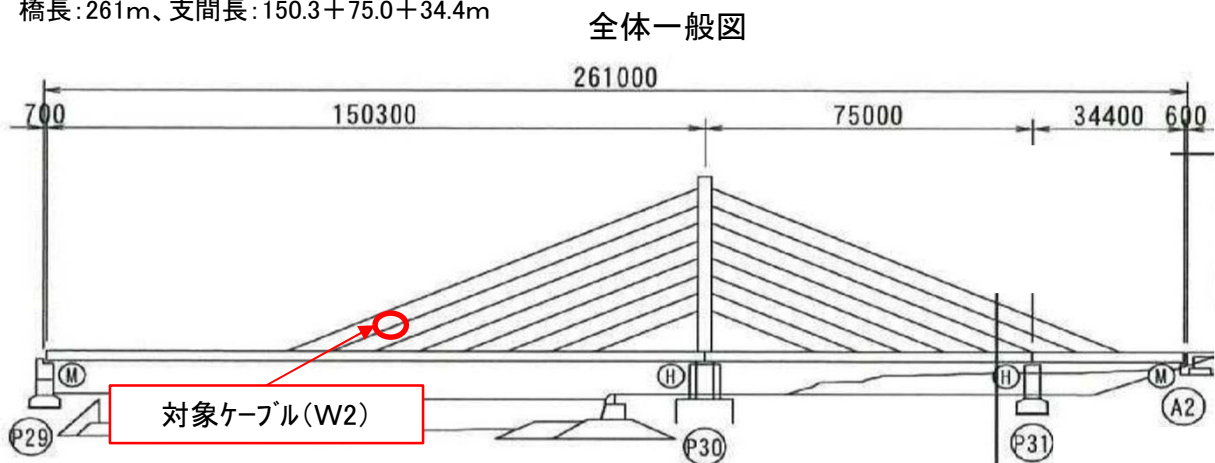
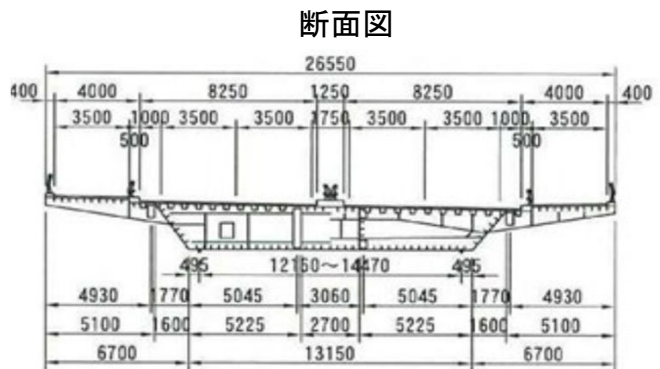


写真-1 全体写真



対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブル(W2)

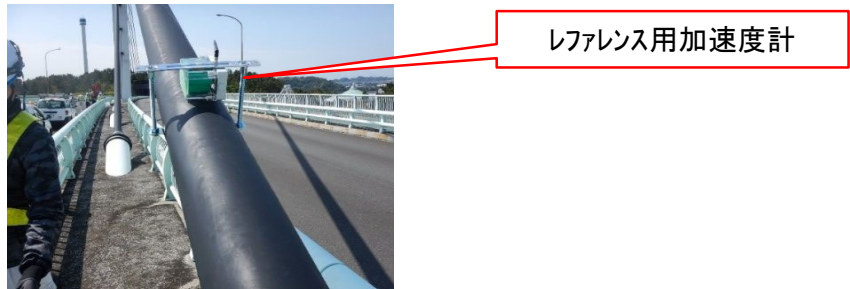
試験方法(手順)	技術番号	BR030032
① 計測対象ケーブルW2(写真-2)		
② 加振作業(写真-3)		
③ 計測器取付状況(写真-4)		
④ 計測状況:5回計測(写真-5)		
⑤ 後日、計測した画像をレファレンス用加速度計のデータと比較する。		

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

レファレンス用加速度計:EPSON M-A351AU



※同一の斜材ケーブル(W2)にレファレンス用加速度計を設置し、加速度を計測する。

※レファレンス用加速度計の測定

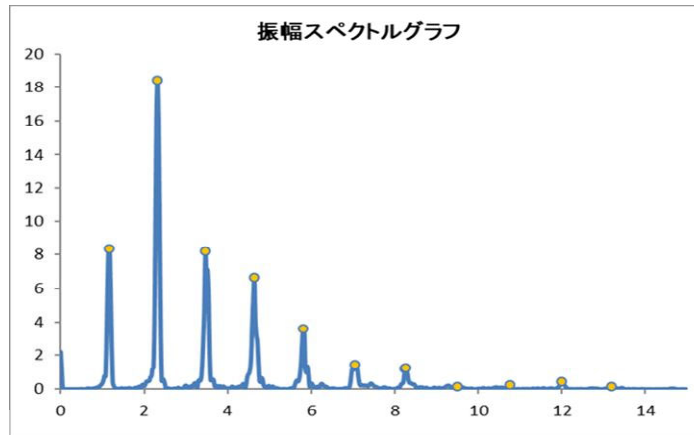
(1)固有振動数

・FFT(高速フーリエ変換)による固有振動数の算出

<算出条件>

- ①出力点数:2048(11次)
- ②窓関数:ハニング
- ③データ点数:30001
- ④サンプリング時間:0.01秒

上記算出条件のもと、振幅スペクトルグラフから確認できる突出値を各次数の固有振動数として整理する。なお、グラフより突出値が読み取り困難な場合は固有振動数とモード次数の関係式から除外する。



(2)張力の算出

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

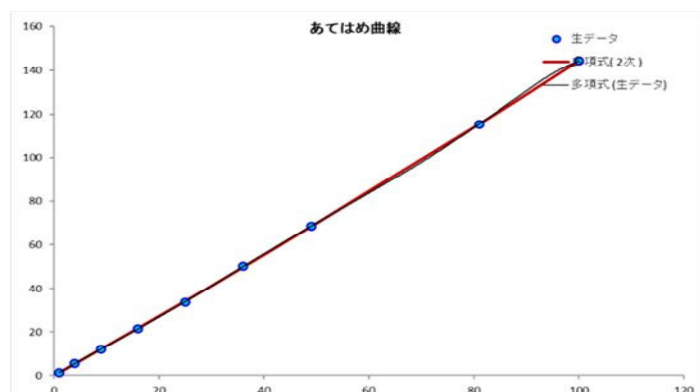
係数A
係数B

f_i : 固有振動数 (Hz) i : 次数
 T : 張力 (N) EI : 曲げ剛性 (N・m²)
 L : ケーブル長 (m) ρA : 単位長さあたり質量 (kg/m)

斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数 f_i と次数 i の関係式であり、計測データから得られた固有振動数を用いて、最小二乗法によって2つの係数(A, B)を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長 L 、及び、単位長さあたりの質量 ρA は設計値があるため、係数Bから張力 T を算出する。

<算出条件>

- ①算出方法:最小二乗法による回帰曲線
- ②回帰モデル:多項式
- ③次数:2次
- ④基底関数の個数:10



※計測結果

(1)固有振動数

単位: Hz

次数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値
1	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
2	2.33	2.33	2.33	2.32	2.32	2.326
3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.49	3.498

(2)張力

基本諸元	ケーブル長	L	(m)	93.582
	ケーブルの単位重量	w	(tf/m)	0.1358
	重力加速度	g	(m/s ²)	9.806
	ケーブル弾性係数	E	(t/m)	2000000
	ケーブル断面積	A	(m ²)	0.02545
	ケーブル断面二次モーメント	I	(m ⁴)	5.15E-05

$$T = \left(\frac{2Lf_n}{n} \right)^2 w/g - \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2}$$

ケーブル張力(計測値)	T'	(kN)	6500.6
-------------	----	------	--------

(3) 張力の比較

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
A	0.030	-0.787	-0.020	-0.020	-0.016
B	1.341	1.419	1.352	1.352	1.336
T(kN)_{REF1}	6379.9	6752.0	6430.8	6430.8	6356.9
T(kN)_{CHODAI}	6500.6	6500.6	6500.6	6500.6	6500.6
差異 (%)	1.8567	-3.8680	1.0739	1.0739	2.2109

※考察

レファレンス用加速度計からの張力と支援技術による張力の誤差は-3.9%~2.2%であった。

技術番号	BR030032
------	----------

技術名	振動画像よるケーブル張力計測技術	開発者名	株式会社 長大 / パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社
-----	------------------	------	--------------------------------------

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	計測・モニタリング技術 カタログ	検出項目	張力	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

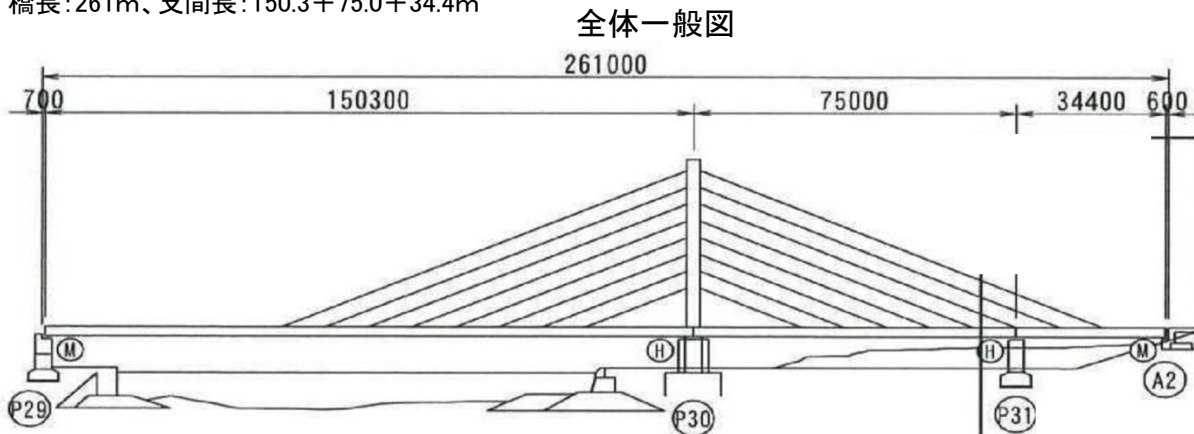
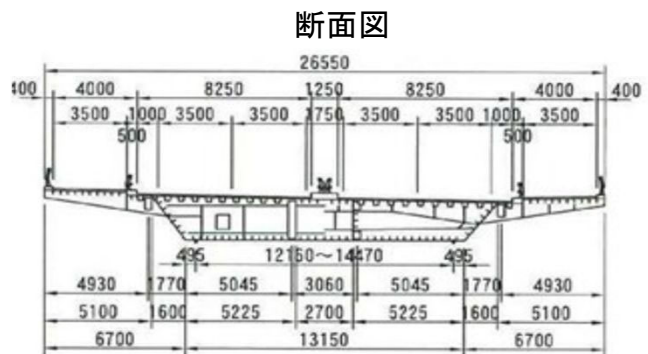


写真-1 全体写真



対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブル(W2)

- ① 計測対象ケーブルW2(写真-2)
- ② 加振作業(写真-3)
- ③ 計測器取付状況(写真-4)
- ④ 計測状況(写真-5)
- ⑤ 後日、計測した画像をレファレンス用加速度計のデータと比較する。

開発者による計測機器の設置状況



W2ケーブル

写真-

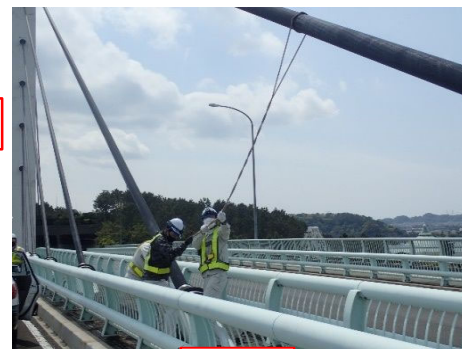


写真-



写真-

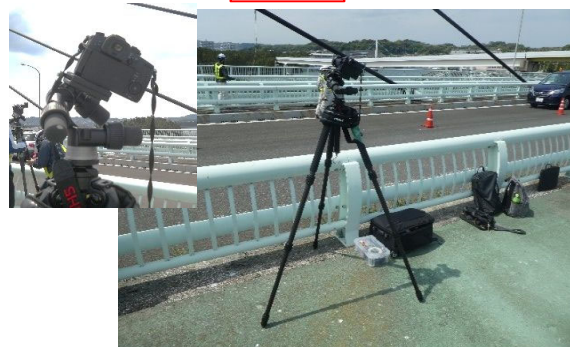


写真-

※計測結果

(1)固有振動数

単位: Hz

次数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値
1	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
2	2.33	2.33	2.33	2.32	2.32	2.326
3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.49	3.498

(2)張力

基本諸元	ケーブル長	L	(m)	93.582
	ケーブルの単位重量	w	(tf/m)	0.1358
	重力加速度	g	(m/s ²)	9.806
	ケーブル弾性係数	E	(t/m)	20000000
	ケーブル断面積	A	(m ²)	0.02545
	ケーブル断面二次モーメント	I	(m ⁴)	5.15E-05

$$T = \left(\frac{2Lf_n}{n} \right)^2 w/g - \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2}$$

ケーブル張力(計測値)	T'	(kN)	6500.6
-------------	----	------	--------

技術番号 BR030033

技術名 無線加速度センサーによる斜張橋の斜材張力モニタリング

開発者名 沖電気工業株式会社

試験日 令和3年 4 月 9 日 天候 晴れ 気温 15.0 °C 風速 3.2 m/s

試験場所 実橋

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 張力 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

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

全体一般図

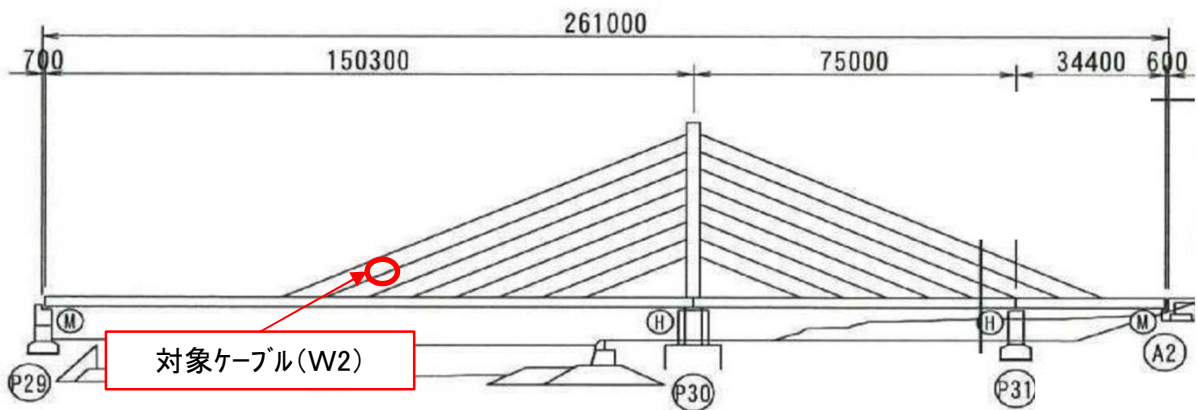
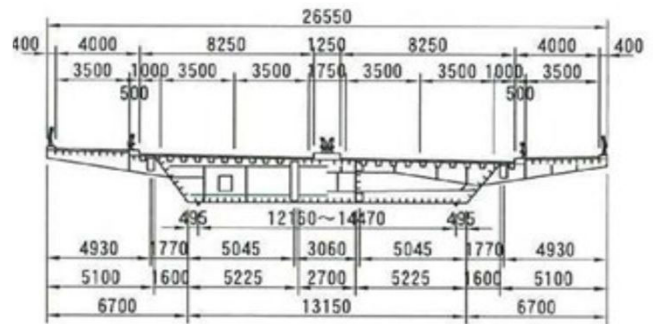


写真-1 全体写真

断面図

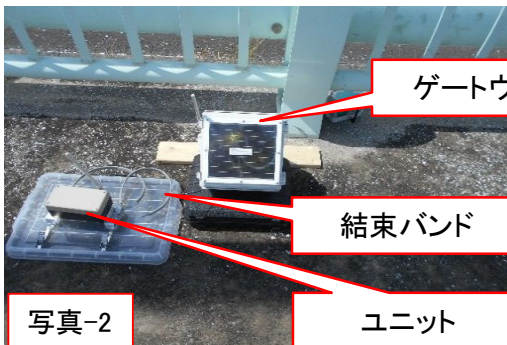


対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブル(W2)

- ① 計測機器の搬入(結束バンド、無線加速度センサーユニット、ゲートウェイ)(写真-2)
- ② 計測器取付作業(写真-3)
- ③ 計測器取付状況(写真-4)
- ④ 計測状況:4回計測(写真-5)
- ⑤ 後日、計測した加速度等をレファレンス用加速度計のデータと比較する。

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

レファレンス用加速度計:EPSON M-A351AU

レファレンス用加速度計



※同一の斜材ケーブル(W2)に計測器近くにレファレンス用加速度計を設置し、加速度を計測する。

※レファレンス用加速度計の測定

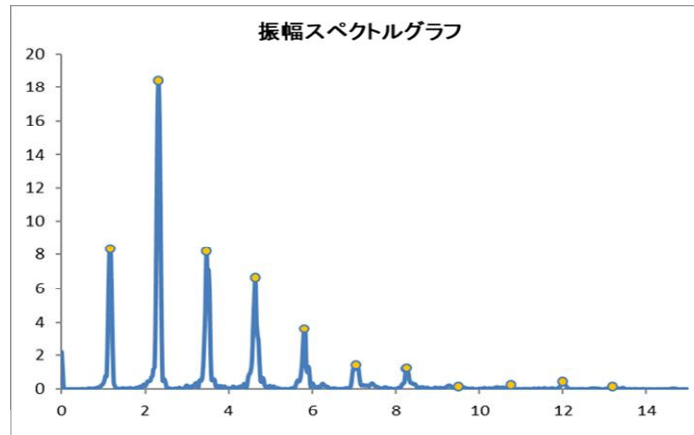
(1)固有振動数

・FFT(高速フーリエ変換)による固有振動数の算出

<算出条件>

- ①出力点数:2048(11次)
- ②窓関数:ハニング
- ③データ点数:30001
- ④サンプリング時間:0.01秒

上記算出条件のもと、振幅スペクトルグラフから確認できる突出値を各次数の固有振動数として整理する。なお、グラフより突出値が読み取り困難な場合は固有振動数とモード次数の関係式から除外する。



(2)張力の算出

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

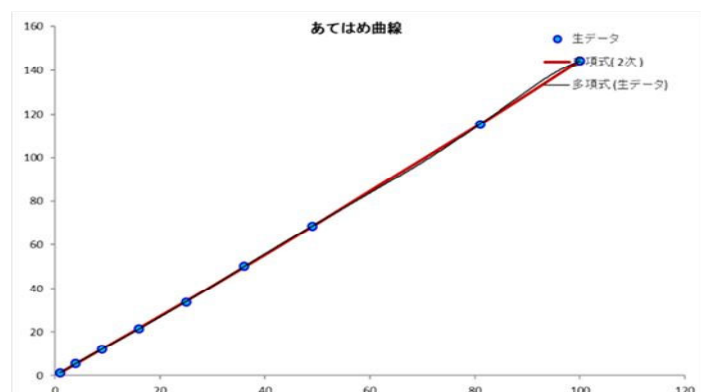
係数A
係数B

f_i : 固有振動数 (Hz) i : 次数
 T : 張力 (N) EI : 曲げ剛性 (N・m²)
 L : ケーブル長 (m) ρA : 単位長さあたり質量 (kg/m)

斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数 f_i と次数 i の関係式であり、計測データから得られた固有振動数を用いて、最小二乗法によって2つの係数(A, B)を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長 L 、及び、単位長さあたりの質量 ρA は設計値があるため、係数Bから張力 T を算出する。

<算出条件>

- ①算出方法:最小二乗法による回帰曲線
- ②回帰モデル:多項式
- ③次数:2次
- ④基底関数の個数:10



※計測結果

(1)固有振動数

1～4回目の各5分間データより得られた1～10次の固有振動数を下表に示す。

単位：Hz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1回目	1.16950	2.31592	3.49312	4.67031	5.84751	7.04779	8.27115	9.52529	10.77940	12.04890
2回目	1.16184	2.31598	3.48551	4.65504	5.81687	6.98640	8.24826	9.51013	10.76430	—
3回目	1.16186	2.31602	3.47788	4.64743	5.84007	7.01731	8.24073	—	10.72600	12.00330
4回目	—	2.32365	3.48548	4.65500	—	7.04790	8.27128	—	10.74880	12.03380

※ — (ハイフン)は固有振動数が不検出

(2)張力

固有振動数から張力を推定する。下記の式は、斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数 f_i と次数 i の関係式であり、計測データから得られた固有振動数を用いて、最小二乗法によって2つの係数(A, B)を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長 L 、及び、単位長さあたりの質量 ρA は設計値があるため、係数Bから張力 T を算出する。

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

f_i : 固有振動数 (Hz)

i : 次数

T : 張力 (N)

EI : 曲げ剛性 (N・m²)

L : ケーブル長 (m)

ρA : 単位長さあたり質量 (kg/m)

1～10次の固有振動数(Hz)を用いた。

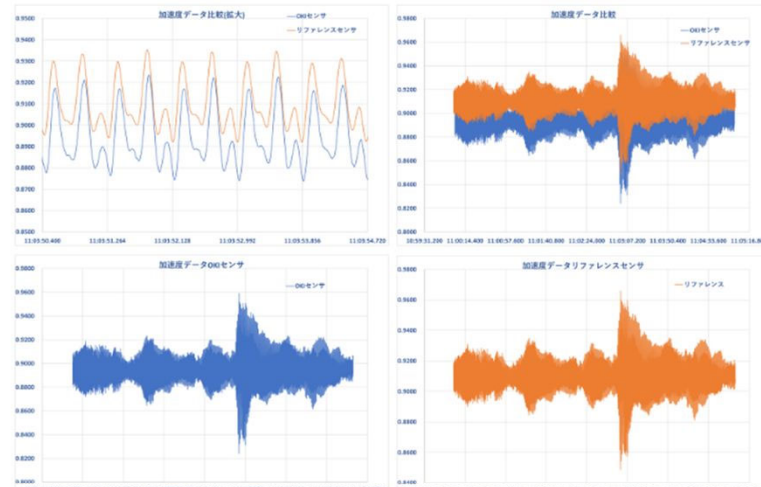
ρA : 単位長さあたり重量は、135.8kg/m を用いた

L : ケーブル長は、93.582m を用いた(固定間距離)

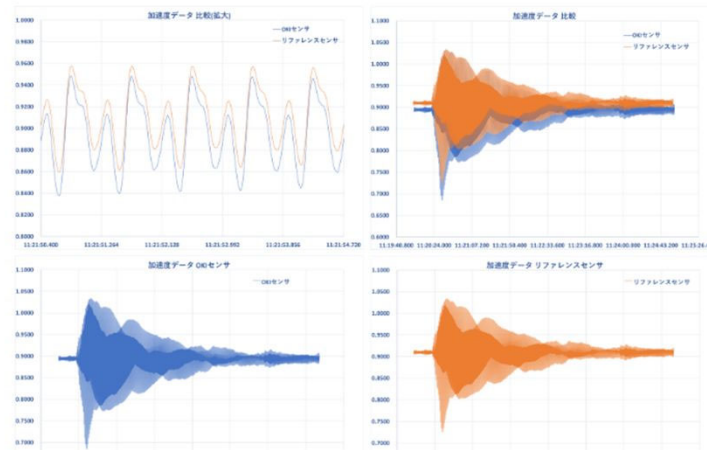
時刻	張力(単位：t)
2021/4/9 11:00	652.8477
2021/4/9 11:20	640.0966
2021/4/9 11:40	646.8137
2021/4/9 12:00	651.4777

(3) 加速度データの比較

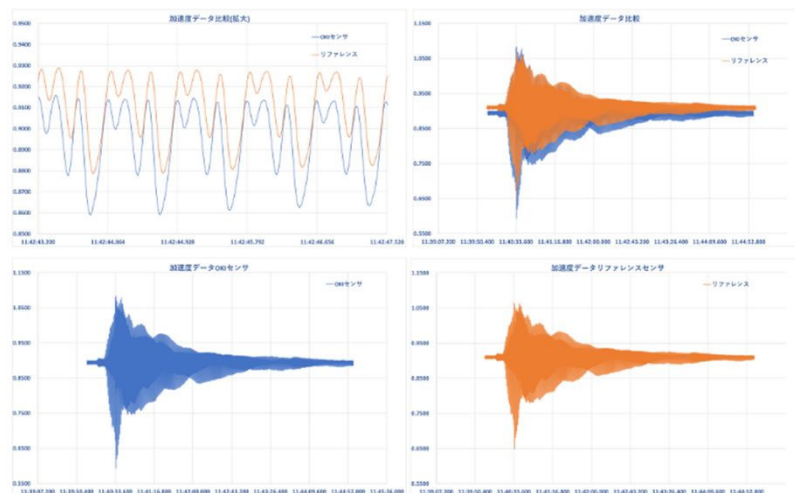
F2 加速度データ リファレンスとの比較 1回目11:00



F2 加速度データ リファレンスとの比較 2回目11:20



F2 加速度データ リファレンスとの比較 3回目11:40



(4) 張力の比較

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
係数 A	0.03032	-0.18673	0.263358	-0.18673
係数 B	1.341127	1.354572	1.310398	1.354572
$T(t)_{REF}$	651.0107	657.5371	636.0943	657.5371
$T(t)_{OKI}$	652.8477	640.0966	646.8137	651.4777
差異(%)	0.2814	-2.7247	1.6573	-0.9301

※考察

レファレンス用加速度計からの張力と支援技術による張力の誤差は-2.7%~1.7%であった。

技術番号	BR030033
------	----------

技術名	無線加速度センサーによる斜張橋の斜材張力モニタリング	開発者名	沖電気工業株式会社
-----	----------------------------	------	-----------

試験日	令和3年 4 月 9 日	天候	晴れ	気温	15.0 °C	風速	3.2 m/s
-----	--------------	----	----	----	---------	----	---------

試験場所	実橋
------	----

カタログ分類	計測・モニタリング技術 カタログ	検出項目	張力	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

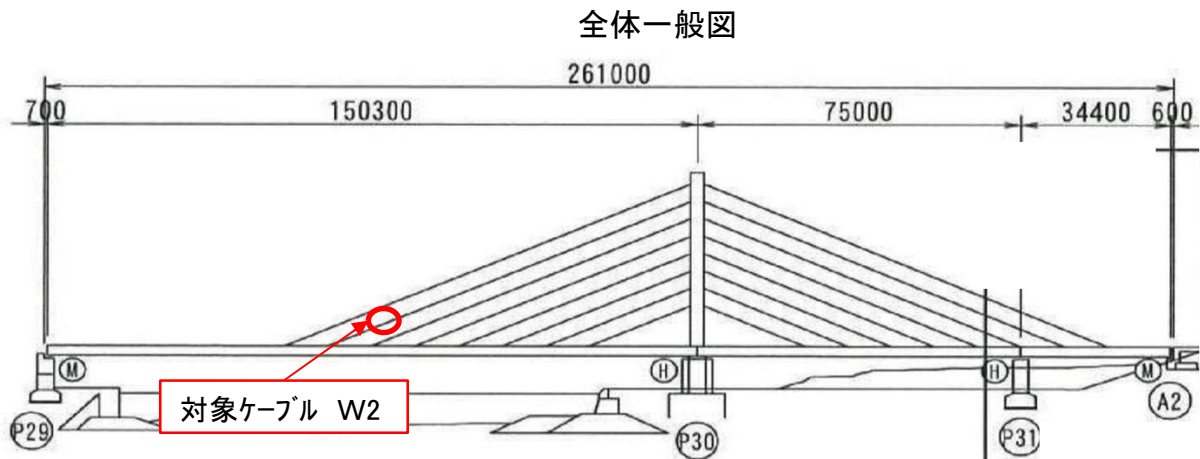
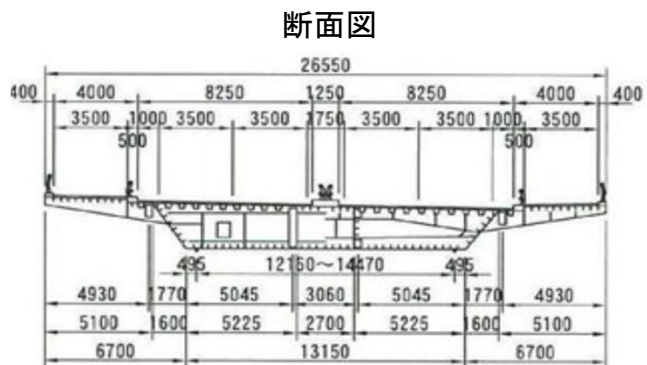


写真-1 全体写真

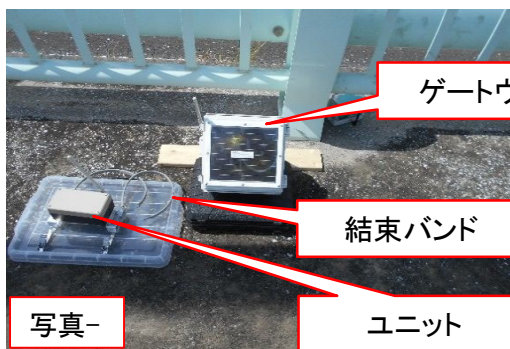


対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブルW2

- ① 計測機器の搬入(結束バンド、無線加速度センサーユニット、ゲートウェイ)(写真-2)
- ② 計測器取付作業(写真-3)
- ③ 計測器取付状況(写真-4)
- ④ 計測状況(写真-5)
- ⑤ 後日、計測した加速度から張力を算出する。

開発者による計測機器の設置状況

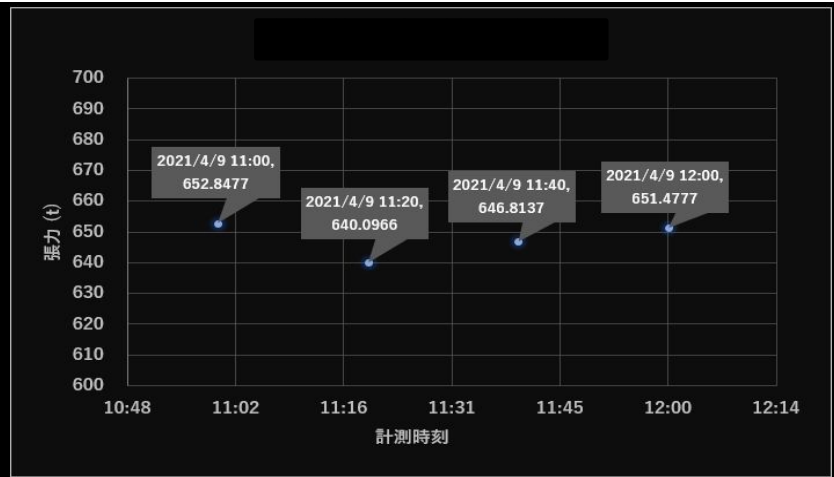


※計測結果

- ・斜材ケーブル(W2)の張力を算出

時刻	張力(単位:t)
2021/4/9 11:00	652.8477
2021/4/9 11:20	640.0966
2021/4/9 11:40	646.8137
2021/4/9 12:00	651.4777

※ 1(t) = 1,000(kg) = 9,800(N) で算出



固有振動数から張力を推定する。下記の式は、斜張橋の斜材ケーブルの低次から高次までの固有振動数 f_i と次数 i の関係式であり、計測データから得られた固有振動数を用いて、最小二乗法によって2つの係数(A, B)を同定できる。係数Bに含まれるケーブル長 L 、及び、単位長さあたりの質量 ρA は設計値があるため、係数Bから張力 T を算出する。

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

f_i : 固有振動数 (Hz)

i : 次数

T : 張力 (N)

EI : 曲げ剛性 (N・m²)

L : ケーブル長 (m)

ρA : 単位長さあたり質量 (kg/m)

1~10次の固有振動数(Hz)を用いた。

ρA : 単位長さあたり重量は、135.8kg/m を用いた

L : ケーブル長は、93.582m を用いた(固定間距離)

技術番号 BR030034

技術名 加速度計測によるケーブルの張力計測技術

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 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 張力

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

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

全体一般図

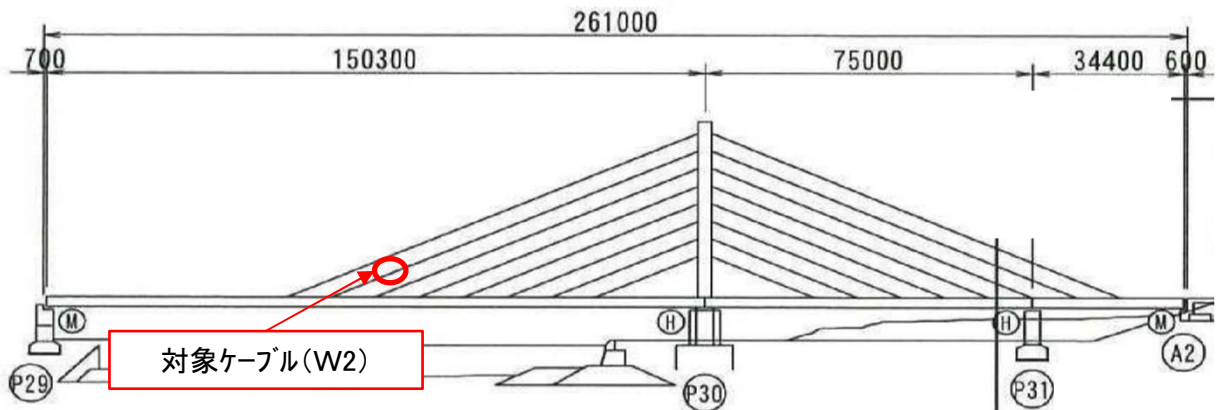
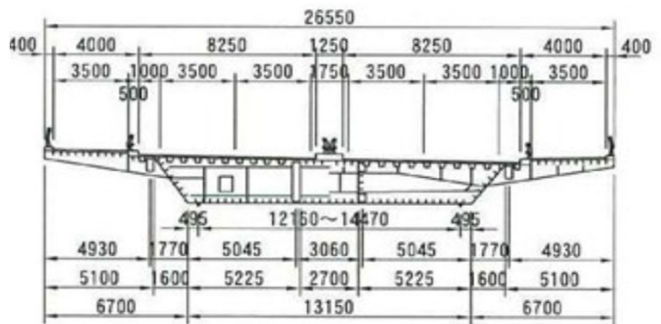


写真-1 全体写真

断面図



対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブル(W2)

- ① 計測機器の搬入(写真-2:記録計、プラスチックハンマー)
- ② 計測器取付状況:加速度計の設置(写真-3)
- ③ 計測状況:対象ケーブルをプラスチックハンマーで加振する。(5回計測)(写真-4)
- ④ 計測結果の確認:PCで計測結果を確認する。(写真-5)
- ⑤ 後日、計測した画像をレファレンス用加速度計のデータと比較する。

開発者による計測機器の設置状況



写真-2

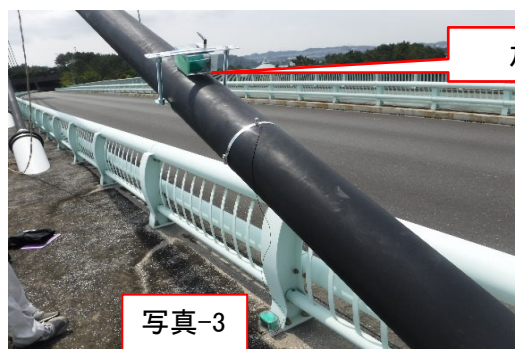


写真-3



写真-4

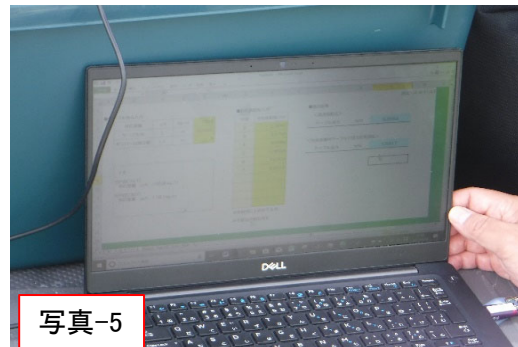


写真-5

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

レファレンス用加速度計:EPSON M-A351AU

レファレンス用加速度計



※同一の斜材ケーブル(W2)にレファレンス用加速度計を設置し、加速度を計測する。

※レファレンス用加速度計の測定

(1)固有振動数

・FFT(高速フーリエ変換)による固有振動数の算出

<算出条件>

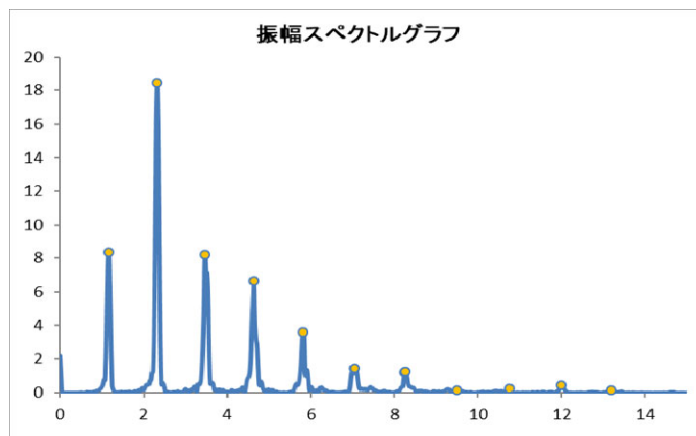
①出力点数:2048(11次)

②窓関数:ハニング

③データ点数:30001

④サンプリング時間:0.01秒

上記算出条件のもと、振幅スペクトルグラフから確認できる突出値を各次数の固有振動数として整理する。なお、グラフより突出値が読み取り困難な場合は固有振動数とモード次数の関係式から除外する。



(2)張力の算出

橋梁ケーブルのように張力のかかった一次元部材のたわみに関する運動方程式を両端単純支持の境界条件*n*基に特と振動方程式からモード次数*i*とその固有振動数*f_i*との間に次の関係式が得られる。

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

上式は*i*に関する多項式となっており、測定で得られた高次の固有振動数とモード次数の関係より最小二乗法で*i*の4乗の項の係数から曲げ剛性EI、*i*の2乗の項の係数から張力Tを同時に求めることができる。下図に固有振動数とモード次数の関係を示す。本方法によれば事前の曲げ剛性の測定は不要であり、既設構造物のケーブル張力も容易に測定することができる。

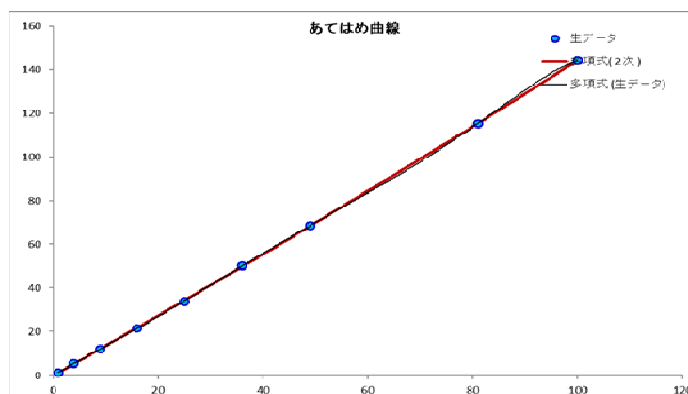
<算出条件>

①算出方法:最小二乗法による回帰曲線

②回帰モデル:多項式

③次数:2次

④基底関数の個数:10



※計測結果

(1)固有振動数

単位: Hz

測定パターン		固有振動数, Hz						
		1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次
ハンマー による 強制加振	①	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	②	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	③	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	④	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	⑤	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
自由振動	⑥	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8222	7.0335	8.2839
	⑦	-	2.3054	3.4777	4.6890	5.8613	7.0335	8.2839
	⑧	-	2.3054	3.4386	4.6890	5.8613	7.0335	8.2448
	⑨	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0335	8.2839
	⑩	-	2.3445	3.4777	4.6499	5.8222	7.0335	8.2448

注) 判別が困難な固有振動数は” - “と表記

(2)張力

L=93.582m

 $\rho A = 135.8 \text{ kg/m}$

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2$$

ハンマー による 強制加振	①	6382.9
	②	6382.9
	③	6382.9
	④	6382.9
	⑤	6382.9
自由振動	⑥	6277.1
	⑦	6389.7
	⑧	6425.6
	⑨	6340.7
	⑩	6337.4

(3)張力の比較

係数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
R2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
A	0.0351	0.0434	-0.0002	0.0592	0.0351	0.0222	0.2202	0.0193	0.0193	0.0193
B	1.3418	1.3394	1.3429	1.3377	1.3418	1.3393	1.3253	1.3393	1.3393	1.3393
C	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011
$T(kN)_{REF}$	6383.1	6371.5	6388.5	6363.6	6383.1	6371.3	6304.7	6371.4	6371.4	6371.4
$T(kN)_{SHINKHO}$	6382.9	6382.9	6382.9	6382.9	6382.9	6277.1	6389.7	6425.6	6340.7	6337.4
差異(%)	-0.0029	0.1787	-0.0872	0.3026	-0.0029	-1.5006	1.3307	0.8435	-0.4842	-0.5365

※考察

レファレンス用加速度計からの張力と支援技術による張力の誤差は-1.5%~0.8%であった。

技術番号 BR030034

技術名 加速度計測によるケーブルの張力計測技術

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 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 張力

試験フェーズ 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

全体一般図

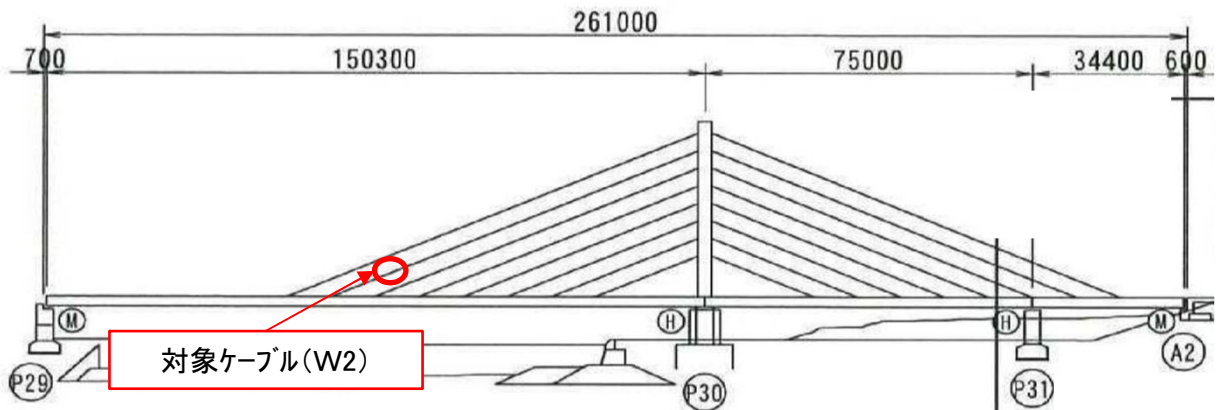
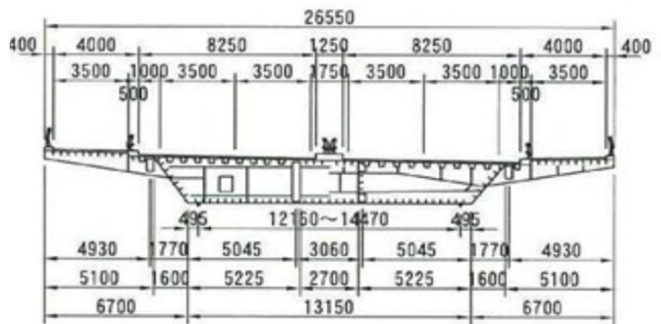


写真-1 全体写真

断面図

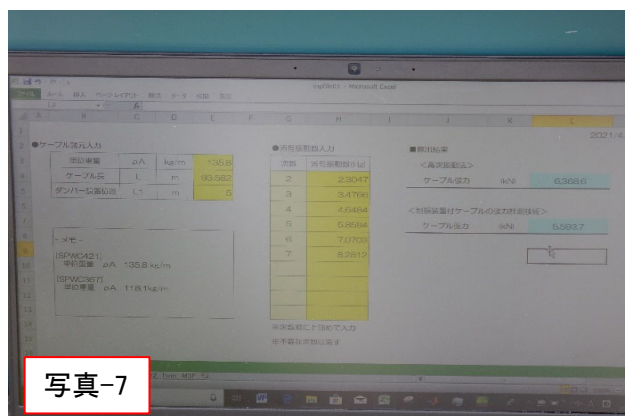
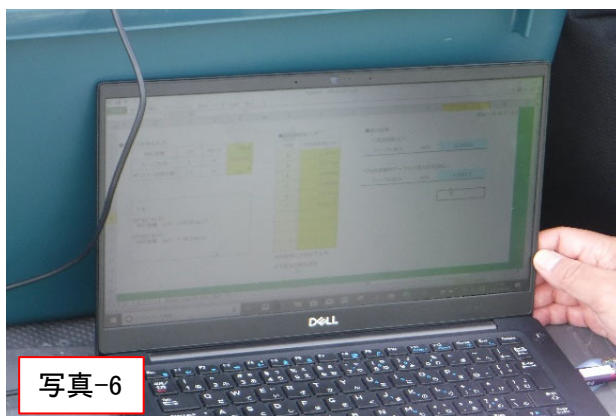


対象径間: 第1径間

計測対象部材: 斜材ケーブル(W2)

- ① 計測機器の搬入(写真-2:記録計、プラスチックハンマー)
- ② 計測器取付状況:加速度計の設置(写真-3)
- ③ 計測状況:対象ケーブルをプラスチックハンマーで加振する。(5回計測)(写真-4)
- ④ 計測状況:対象ケーブルの常時振動(常時微動)を計測する。(5回計測)(写真-5)
- ⑤ 計測結果の確認:PCで計測結果を確認する。(写真-6、7)

開発者による計測機器の設置状況

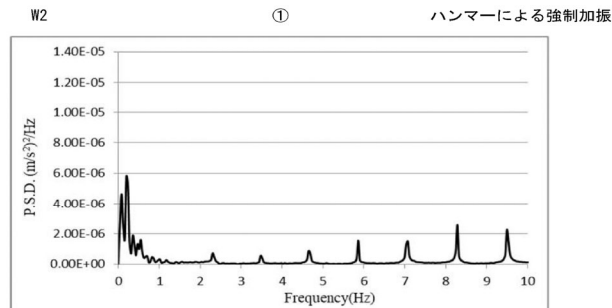


※計測結果

(1)加速度計(リオン PV-91CH)

10回計測(ハンマーによる強制加振:5回、常時振動:5回)

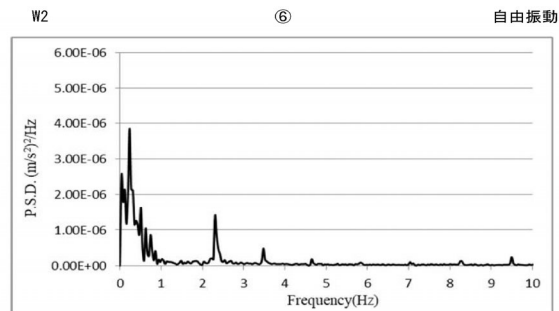
・1回目(抜粋)



固有振動数 (Hz)

1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次
-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839

・6回目(抜粋)



固有振動数 (Hz)

1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次
-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8222	7.0335	8.2839

固有振動数の集計

固有振動数計測結果 (リオン製 PV-91CH)

測定パターン		固有振動数, Hz						
		1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次
ハンマーによる強制加振	①	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	②	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	③	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	④	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
	⑤	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0726	8.2839
常時振動(常時微動)	⑥	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8222	7.0335	8.2839
	⑦	-	2.3054	3.4777	4.6890	5.8613	7.0335	8.2839
	⑧	-	2.3054	3.4386	4.6890	5.8613	7.0335	8.2448
	⑨	-	2.3054	3.4777	4.6499	5.8613	7.0335	8.2839
	⑩	-	2.3445	3.4777	4.6499	5.8222	7.0335	8.2448

注) 判別が困難な固有振動数は”-“と表記

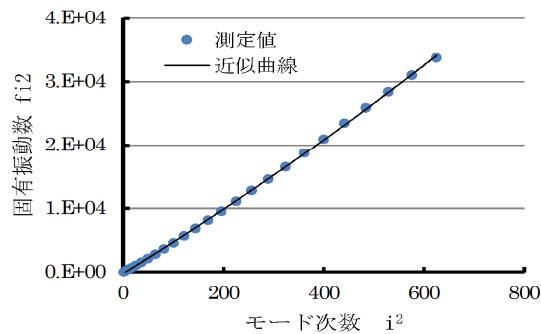
※計測結果(張力)

ケーブルの曲げ振動の振動方程式から、両端単純支持の場合には、固有振動数 f_i とモード次数 i との間に式 (1) の関係式が得られる。

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho AL^4} i^4 + \frac{T}{4\rho AL^2} i^2 \dots\dots\dots (1)$$

f_i : 固有振動数, Hz i : 次数
 T : 張力, N EI : 曲げ剛性, N・mm²
 L : ケーブル長 ρA : 単位長さあたり重量, kg/m

式(1)は i に関する多項式となっており、計測した計測波形より得られた低次から高次までの複数の固有振動数とモード次数の関係より最小二乗法で係数を同定し、張力 T を算出することができる。今回は 1 次～7 次の固有振動数を用いて張力を算出した。



固有振動数とモード次数の関係

張力の算定

測定パターン		リオン製 PV91-CH T1 (kN)		
ハンマー による 強制加振	①	6382.9	①	6382.9
	②	6382.9	②	6382.9
	③	6382.9	③	6382.9
	④	6382.9	④	6382.9
	⑤	6382.9	⑤	6382.9
常時振動 (常時微動)	⑥	6277.1	⑥	6277.1
	⑦	6389.7	⑦	6389.7
	⑧	6425.6	⑧	6425.6
	⑨	6340.7	⑨	6340.7
	⑩	6337.4	⑩	6337.4
			計	63685
			平均	6368.5 kN