

# 確認シート

## ■非破壊検査技術（橋梁）

技術番号 BR020001-V0020

技術名 全磁束法によるケーブル非破壊検査 開発者名 東京製鋼株式会社

試験日 令和2年 2月 14日 天候 晴 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 東京製鋼株式会社 土浦工場

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 断面積 (腐食・断線) 試験フェーズ 2

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度/計測感度/計測性能

対象構造物の概要

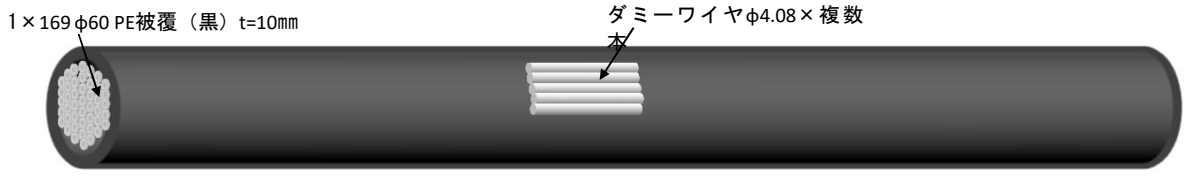


図-1 供試体イメージ



写真-1 ダミーワイヤ9本



写真-2 ダミーワイヤ17本

表-1 ダミーワイヤ本

ケース	断面変化率	ワイヤ本数	断面変化率 (理論値)
①	0%	無	0%
②	5%	9	5.32%
③	10%	17	10.1%
④	15%	25	14.8%



写真-3 永久磁石式磁化器

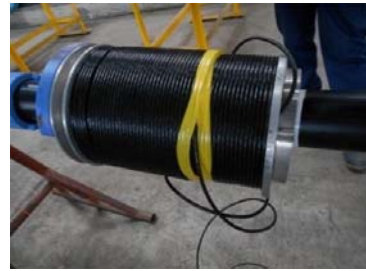


写真-4 ソレノイド式磁化器

試験方法(手順)

- ① 永久磁石式磁化器を図-1のとおりセットし、移動させる。
- ② ダミーワイヤ本数を表-1のとおりとし、(0~25本)まで増やして行った。
- ③ ソレノイド式磁化器を図-1のとおりセットし、電流を流す。
- ④ ダミーワイヤ本数を表-1のとおりとし、(0~25本)まで増やして行った。
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況

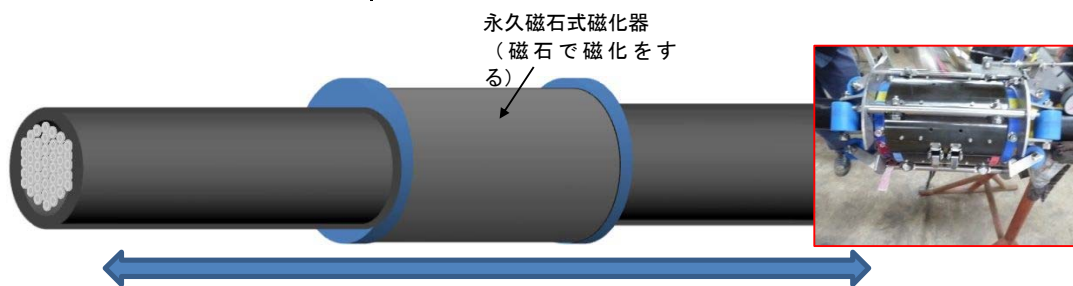


図-1 永久磁石式磁化器による測定(移動)

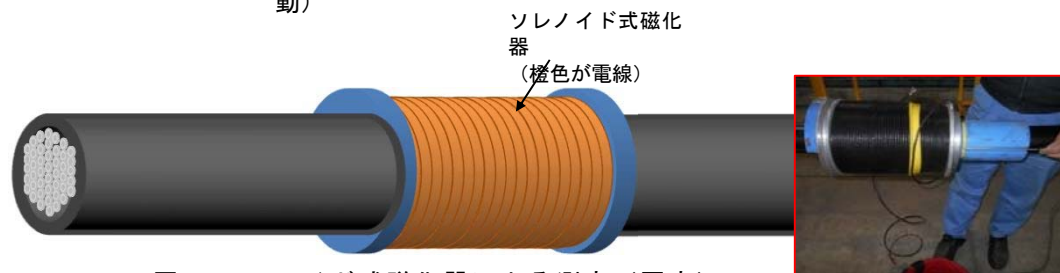
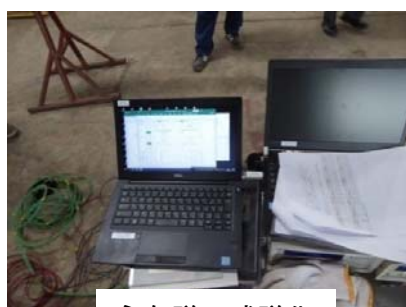


図-2 ソレノイド式磁化器による測定(固定)

比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況



永久磁石式磁化器データ収集用  
PC

ダミーワイヤ



ソレノイド式磁化器データ収集用  
PC

計測結果の比較

1. 計測結果

- ・本技術での計測値を表-2に示す。  
測定精度(バラつき)と測定感度(誤差)の最大値は以下の通りとなる。

表-2 計測精度および計測感度結果

計測方法	測定精度 (バラつき)	測定感度 (誤差)
ソレノイド式全磁束法	0.06%	0.63%
永久磁石式全磁束法	1.88%	1.57%

表-3 各方式での計測結果

ソレノイド式 事前試験

ケース No. (ダミーワイヤ本 数)	断面変 化率 (理論 値)	実測値			測定精度(バラつき)				測定感度(測定値の誤差)							
		磁束測定結果 (kMx)			平均	分散	標準偏 差	バラつき	断面変化率			理論値との差			誤差	
		①	②	③					①	②	③	①	②	③	max	min
0	0.00%	435.15	435.22	435.18	435.2	0.03	0.17	0.04%	—	—	—	—	—	—	—	—
9	5.32%	457.25	457.27	457.34	457.3	0.04	0.20	0.04%	5.07%	5.08%	5.09%	0.25%	0.25%	0.23%	0.25%	0.23%
17	10.06%	477.17	477.23	477.29	477.2	0.05	0.22	0.05%	9.65%	9.66%	9.68%	0.41%	0.40%	0.38%	0.41%	0.38%
25	14.79%	496.82	496.82	497.03	496.9	0.10	0.31	0.06%	14.16%	14.16%	14.21%	0.63%	0.63%	0.58%	0.63%	0.58%

永久磁石式 事前試験

ケース No. (ダミーワイヤ本 数)	断面変 化率 (理論 値)	実測値			測定バラつき				測定結果の精度							
		磁束測定結果 (kMx)			平均	分散	標準偏 差	バラつき	断面変化率			理論値との差			誤差	
		①	②	③					①	②	③	①	②	③	max	min
3	1.77%	13.852	13.855	13.841	13.849	0.01	0.08	0.57%	—	—	—	—	—	—	—	—
9	5.32%	17.846	17.836	17.939	17.874	0.05	0.22	1.21%	6.76%	6.74%	6.90%	-1.43%	-1.42%	-1.57%	-1.42%	-1.57%
17	10.06%	19.947	19.999	20.273	20.073	0.14	0.38	1.88%	9.95%	10.03%	10.45%	0.10%	0.02%	-0.39%	0.10%	-0.39%
25	14.79%	22.776	22.670	23.014	22.820	0.14	0.38	1.66%	14.26%	14.10%	14.62%	0.53%	0.69%	0.16%	0.69%	0.16%

※ダミーワイヤ(+3本)を変化量の基準値とし、断面変化量に換算

検出性能 ※これまでの実績を考慮した試算による。

上記で示した「計測精度」「計測感度」はこれまでの計測においても概ね範囲内であり、以下に実績値を示す。

表-4 計測実績値

	検知基準 断面減少率	実橋物件数	キャリブレーションや実験検証等 での計測回数	左記計測時の 基準検知回数
ソレノイド式	1%	160件	10000回以上	10000回以上
永久磁石式	3%	9件	1000回以上	1000回以上

通常再現性の確認もあり1か所あたり2回計測を行うが、端末部近傍での計測や対象ケーブル周りの環境によっては稀に出力値に違いがでる。これらを踏まえ、ソレノイド式と永久磁石式の検出率は下記に示す通りとする。

表-5 検出率結果

検出率	
ソレノイド式	99%
永久磁石式	99%

技術番号 BR020001-V0020

技術名 全磁束法によるケーブル非破壊検査 開発者名 東京製綱株式会社

試験日 平成30年 6 月 27 日 天候 晴 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 実橋 T県 橋梁 ハンガーロープ

カタログ分類 非破壊検査技術 検出項目 断面積 (腐食・断線) 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 S/N比

対象構造物の概要

・検証はCFRCロープ φ60一般部一部にダミーワイヤを取付け、計測する。永久磁石式とソレノイド式の両方式で計測しそれぞれのS/N比を確認する。

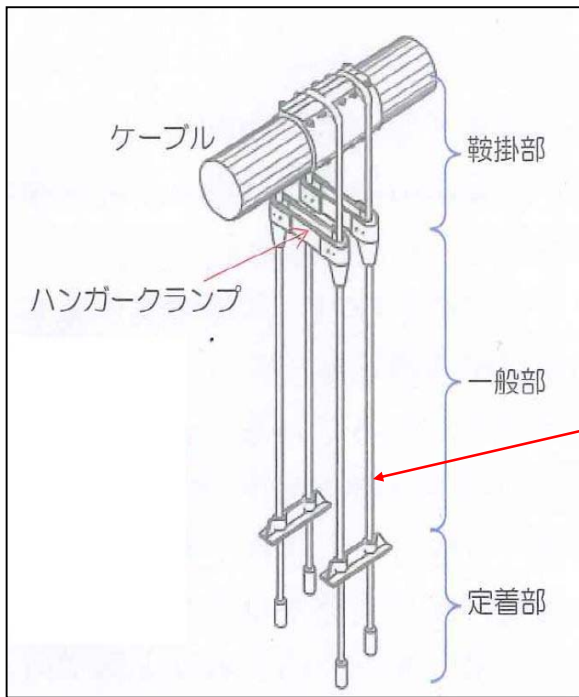


写真-1 ダミーワイヤ取付

図-1 ハンガーロープイメージ図

試験方法(手順)

① ハンガーロープにダミーワイヤを取付ける。

② 永久磁石式全磁束法で計測

③ ソレノイド式全磁束法で計測

④

⑤

開発者による計測機器の設置状況

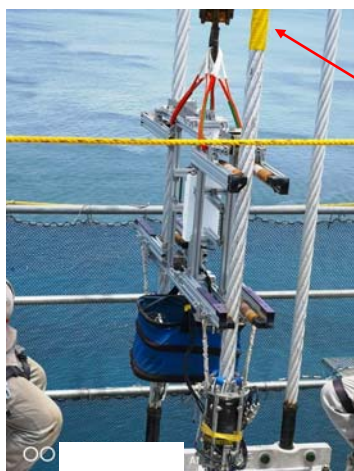


写真-2 永久磁石式 設置状況

ダミーワイヤ  
断面積 3%の素線

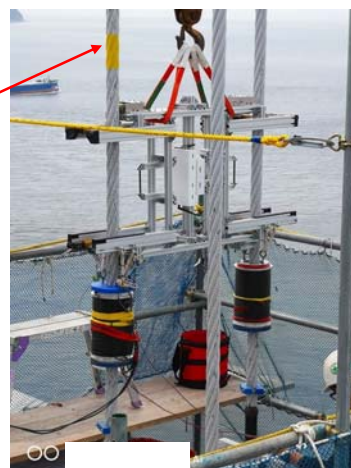


写真-3 ソレノイド式 設置状況

## 計測結果の比較

### 1. 計測結果

- 本技術での計測波形を図-2に、ダミー線の変化値を表-2に示す。
- S(シグナル)はダミーワイヤ検知の値、N(ノイズ)は検知ピーク以外の部分の平均とする。

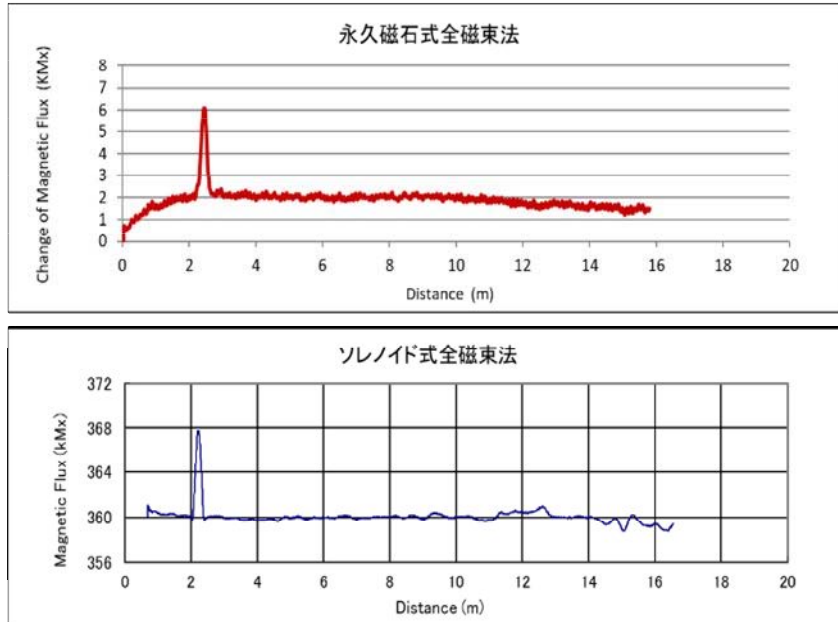


図-2 計測装結果

表-1 計測装結果

方式	S:変化量 (kMx)	N:ノイズ	S/N比
永久磁石式	6.1	1.75	3.5
ソレノイド式	7.8	1	7.8

※ソレノイド式のノイズ信号は  
360kMx付近でその平均を”1”としシ  
グナルは

技術番号 BR020001-V0020

技術名 全磁束法によるケーブル非破壊検査 開発者名 東京製鋼株式会社

試験日 平成18年 6 月 日 天候 晴 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 東京製鋼株式会社 土浦工場、各実橋

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 断面積 (腐食・断線) 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測レンジ

対象構造物の概要

- ・ 鋼製ロープ各種において本技術にて計測する。
- 吊橋：メインケーブル・ハンガーケーブル
- 斜張橋・エクストラドーズド橋等：斜材ケーブル・外ケーブル



写真-1 斜張橋



写真-2 吊橋



写真-3 エクストラドーズド橋



写真-4 外ケーブル



### 試験方法(手順)

- ① 対象を飽和領域まで磁化させ、ケーブルの計測を行う。※ケーブルは正常時(断面積変化0%)の計測
- ② 各種(構成、径、断面積等)について①を繰り返す。
- ③ 計測値(磁束)と断面積の関係についてまとめる。
- ④
- ⑤

### 開発者による計測機器の設置状況

- ・サンプル作製や実橋で計測をデータを作積する。

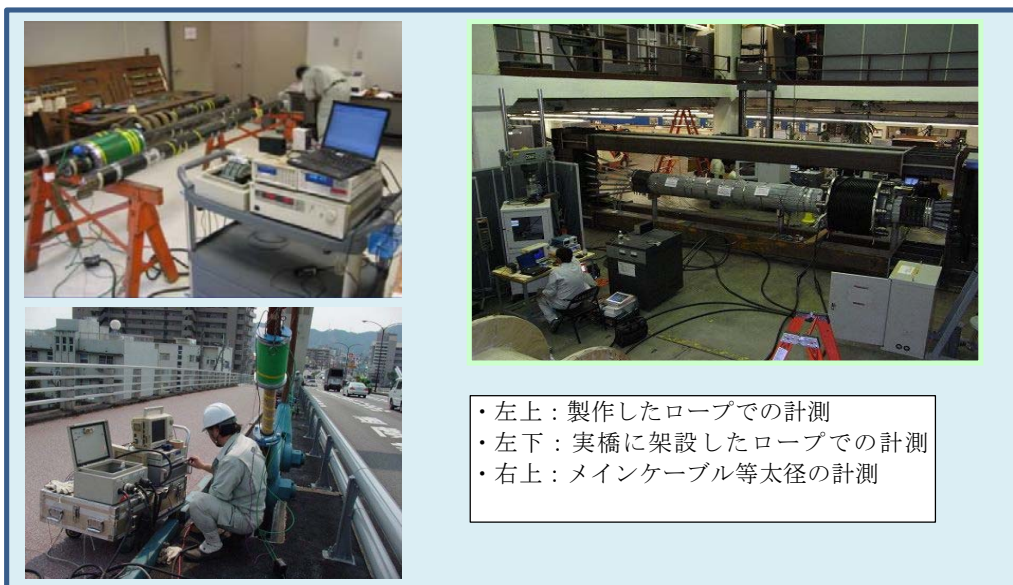


図-1 各種計測状況

## 1. 計測結果

- ・磁束と断面積の関係について図2、3に示すとおり幅広いレンジで比例関係にある。

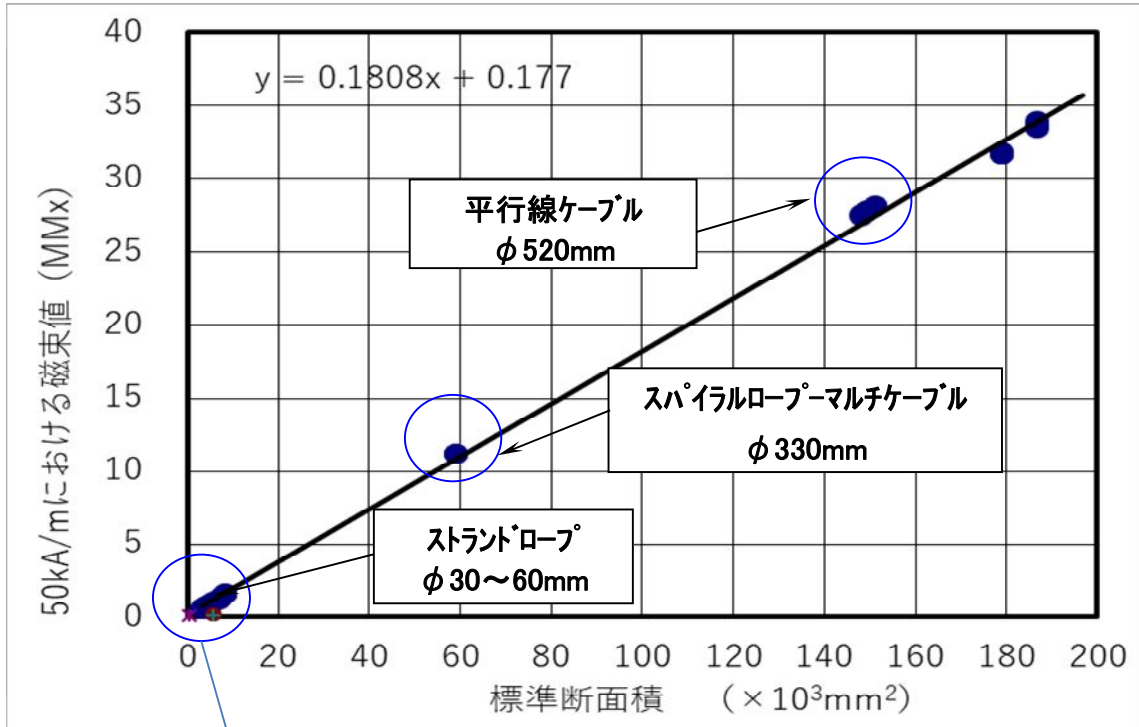


図-2 磁束-断面積関係

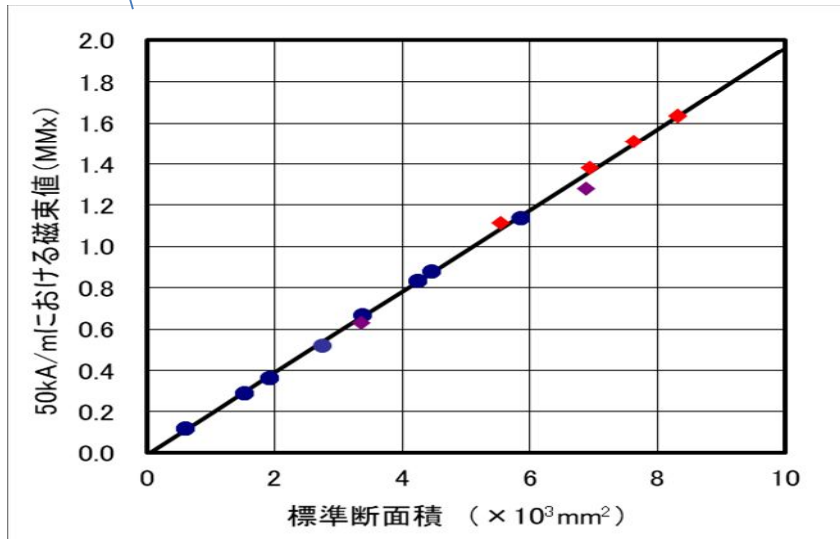


図-3 磁束-断面積関係(30~)

技術番号 BR020004-V0120

技術名 赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 平成27年 10 月 7 日 天候 晴れ 気温 16.5 °C 風速 4.2 m/s

試験場所 北海道札幌市

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・剥離 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(うき・剥離)

対象構造物の概要



技術番号	BR020004-V0120				
技術名	赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム			開発者名	西日本高速道路エンジニアリング四国(株)
試験日	平成27年 11 月 11 日	天候	晴れ	気温	14.5 °C
				風速	2.9 m/s
試験場所	東京都葛飾区				
カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	うき・剥離	試験フェーズ
					社内試験

試験で確認する  
カタログ項目

計測精度(うき・剥離)

対象構造物の概要



技術番号 BR020004-V0120

技術名 赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 平成27年 11 月 19 日 天候 晴れ 気温 14.4 °C 風速 2.2 m/s

試験場所 三重県桑名郡木曾岬町

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・剥離 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(うき・剥離)

対象構造物の概要



技術番号 BR020004-V0120

技術名 赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 平成27年 11 月 20 日 天候 晴れ 気温 14.3 °C 風速 1.9 m/s

試験場所 兵庫県姫路市、揖保郡太子町

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・剥離 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(うき・剥離)

対象構造物の概要



技術番号 BR020004-V0120

技術名 赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 平成27年 11 月 20 日 天候 晴れ 気温 15.0 °C 風速 1.6 m/s

試験場所 岡山県岡山市

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・剥離 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(うき・剥離)

対象構造物の概要



技術番号	BR020004-V0120				
技術名	赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム			開発者名	西日本高速道路エンジニアリング四国(株)
試験日	平成27年 10 月 26 日	天候	晴れ	気温	15.9 °C
				風速	1.5 m/s
試験場所	香川県仲多度郡多度津町				
カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	うき・剥離	試験フェーズ
					社内試験

試験で確認する  
カタログ項目

計測精度(うき・剥離)

対象構造物の概要





### 試験方法(手順)

- ① 昼間時、調査前の準備として対象橋梁のコンクリート躯体に熱環境測定装置を設置する。
- ② 昼間時、対象橋梁の可視画像を撮影する。
- ③ 夜間時、熱環境が調査に適していることが確認された時間帯に対象橋梁の熱画像を撮影する。
- ④ 現地撮影画像から専用ソフトで画像解析を行い、うき・剥離と思われる個所を抽出する。
- ⑤ 打音点検結果と比較し、検出率を検証する。

### 開発者による計測機器の設置状況



調査状況(※実際の調査は夜間に実施)



熱環境測定装置設置状況

計測結果の比較

○計測精度(うき・剥離)

平成30年3月29日 国土交通省「コンクリート構造物のうき・剥離を検出可能な非破壊検査技術」

次世代社会インフラ用ロボット技術の検証結果より引用

■コンクリート構造物のうき・剥離を検出可能な非破壊検査技術の評価「Jシステム」

適用条件		<ul style="list-style-type: none"> <li>・天候が雨天でないこと。</li> <li>・調査対象部位が湿潤状態でないこと。</li> <li>・亜鉛を含む防錆スプレーなど、金属系の塗料をコンクリート表面に塗布した部位でないこと。</li> <li>・熱環境測定装置に検出可能な温度差が発生すること。</li> <li>・調査対象に対する対象面角度の最小角度が30°以上確保できること。</li> <li>・撮影箇所から調査対象部位の視通が確保できること。</li> <li>・調査時間帯は原則として夜間とする。</li> <li>・コンクリート表面から4cm奥までのうき・剥離</li> <li>・日較差(1日の最高気温と最低気温の差)7℃以上が望ましい。</li> <li>・撮影距離約50m未満(ただし、レンズや、距離計の変更により80m程度まで対応可能)</li> </ul>	
検証結果	①精度	検出率 <sup>※5※7※10</sup>	100% ※ただし、分母は検証対象部位・部材に限る (うき:52箇所/52箇所、剥離:38箇所/38箇所)
	②効率性	ヒット率 <sup>※6※7※10</sup>	26% (90箇所/350箇所)
	検証対象部位・部材		主桁(フランジ、ウェブ)、横桁(フランジ)、床版下面、地覆側面、壁高欄

※5 検出率=(従来方法による点検で把握された損傷のうち、当該技術で検出できた損傷数)/(従来方法による点検で把握された損傷数)

※6 ヒット率=(当該技術で異常が検出された箇所数のうち、従来方法による点検で損傷が把握された箇所数)/(当該技術で異常が検出された箇所数)

※7 うき・剥離箇所数は、各技術が点検を実施した範囲の箇所数

※10 このデータは、平成29年11月時点。ただし、Jシステムの検証結果については、平成27年10月から平成28年2月に実施した現場検証データである。

技術番号	BR020004-V0120						
技術名	赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム	開発者名	西日本高速道路エンジニアリング四国(株)				
試験日	平成30年4月～平成31年3月 (上記期間の調査実績より検証)	天候	晴れ	気温	- °C	風速	- m/s
試験場所	香川県、徳島県、愛媛県、高知県、岡山県						
カタログ分類	非破壊検査技術	カタログ	検出項目	うき・剥離	試験フェーズ	社内試験	

試験で確認する カタログ項目	計測性能(計測速度、位置 精度)
-------------------	---------------------

対象構造物の概要

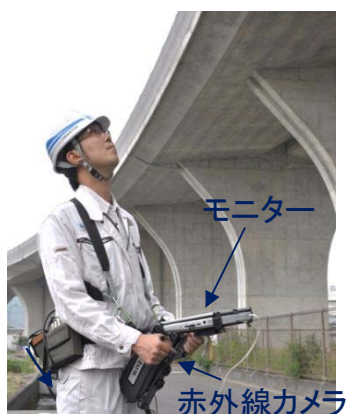
四国全域の調査結果実績から検証を行ったものであるため、代表写真を以下に示す。



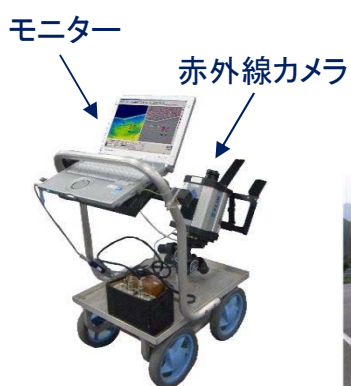
試験方法(手順)

- ① 夜間時、熱環境が調査に適していることが確認された時間帯に対象橋梁の熱画像を撮影する。
- ② 調査範囲と調査時間から、計測速度を算出する。
- ③ 車載撮影においては、GPSで位置情報を連動させた熱画像より、真値との位置ズレを確認する。

開発者による計測機器の設置状況



通常撮影



台車撮影



車載撮影

※実際の調査は夜間に実施

計測結果の比較

平成30年4月～平成31年3月の赤外線調査実績をもとに、計測速度を検証

調査場所	調査数量(m <sup>2</sup> )	撮影手法
NEXCO四国支社管内 高松市内区間以外	183,403	通常撮影
NEXCO四国支社管内 高松市内区間	32,793	車両撮影 + 通常撮影
瀬戸中央自動車道	15,307	台車撮影 + 通常撮影

上記調査場所から計測速度の検証結果

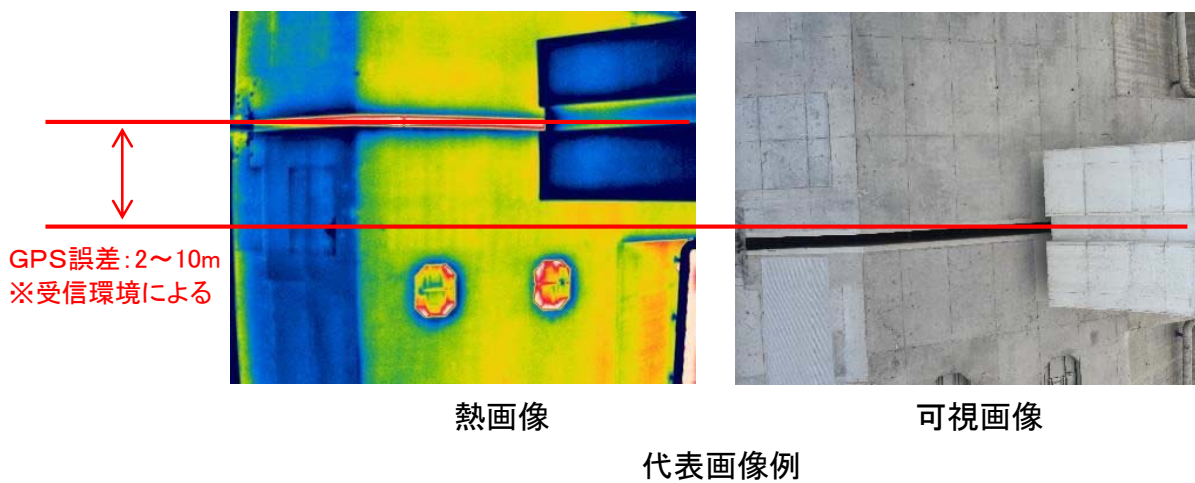
→通常撮影:0.2m/s(床版1ブロックL=17mの径間⇒計測時間85s 算定式:17m/85s=0.2m/s)

→台車撮影:0.5m/s(床版1ブロックL=40mの径間⇒計測時間80s 算定式:40m/80s=0.5m/s)

→車載撮影:60km/h(床版1ブロックL=33.5mの径間⇒計測時間2s 算定式:33.5m/2s=60km/h)

位置精度の検証

連続撮影画像データより確認(60km/h走行撮影)



技術番号 BR020004-V0120

技術名 赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 平成30年4月～平成31年3月 (上記期間の調査実績より検証) 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 香川県、徳島県、愛媛県、高知県

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・剥離 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測性能(計測レンジ、分  
解能)

対象構造物の概要

四国全域の調査結果実績から検証を行ったものであるため、代表写真を以下に示す。



## 試験方法(手順)

- ① 夜間時、熱環境が調査に適していることが確認された時間帯に対象橋梁の熱画像を撮影する。
- ② 撮影した熱画像に表示される温度値を読み取る。

## 開発者による計測機器の設置状況



※実際の調査は夜間に実施

## 計測結果の比較

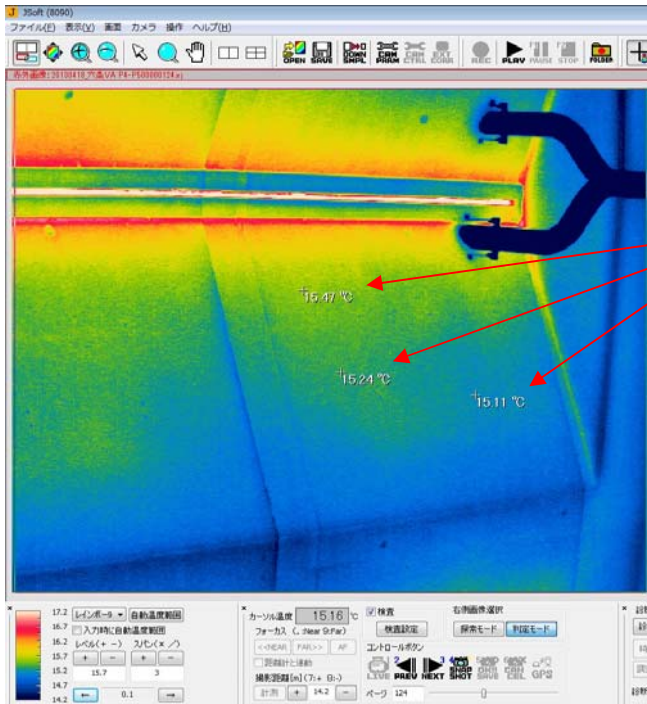
平成30年4月～平成31年3月の赤外線調査実績をもとに、温度分解能を検証

上記調査実績において確認された計測レンジ

→最低温度値:  $-5^{\circ}\text{C}$  (冬季のコンクリート)

→最高温度値:  $45^{\circ}\text{C}$  (夏季のコンクリート)

コンクリート表面温度の表示分解能:  $0.01^{\circ}\text{C}$  単位



代表点3箇所の温度値を表示  
このように、ソフトウェア上で $0.01^{\circ}\text{C}$ 単位の温度値を確認することが可能

熱画像解析ソフト「Jsoft」より

技術番号 BR020004-V0120

技術名 赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム 開発者名 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)

試験日 平成22年 9 月 13 日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 香川県高松市

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・剥離 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測性能(感度)

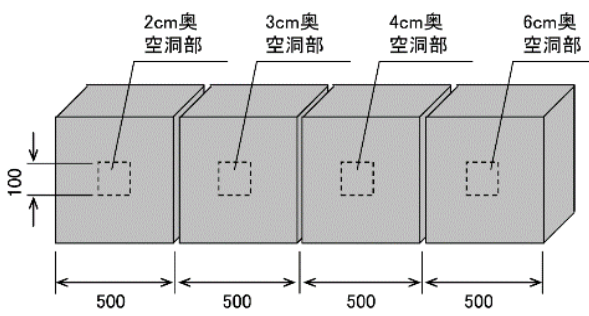
対象構造物の概要

検証に用いた赤外線カメラの概要を示す。

	カメラB	カメラC	カメラD
表示画素数	640×512	320×480	640×480
検知素子	InSb	QWIP	μボロメータ
検知波長帯	3~5μm	8~9μm	8~13μm
NETD(25°C)	25mK以下	25mK以下	60mK以下
フレームレート	125Hz	60Hz	30Hz
重量	4.5Kg	3.2Kg	1.7Kg



検証時の計測対象であるコンクリート試験体と橋梁壁高欄の概要を示す。



異常部を設けたコンクリート試験体



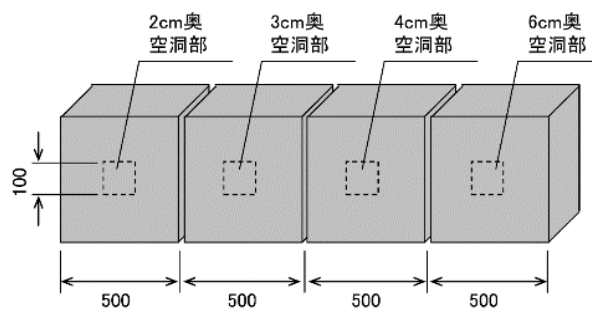
壁高欄(健全コンクリート)



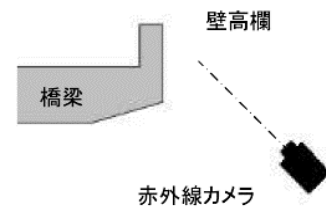
### 試験方法(手順)

- ① 夜間時、熱環境が調査に適していることが確認された時間帯に計測対象の熱画像を撮影する。
- ② 撮影した熱画像の見え方を各カメラ(検出波長帯)で比較する。
- ③ 試験体撮影では異常部が問題なく検出できるかを確認する。
- ④ 壁高欄撮影では健全コンクリートを天空反射の影響を受けることなく、健全と判定できるかを確認する。

### 開発者による計測機器の設置状況

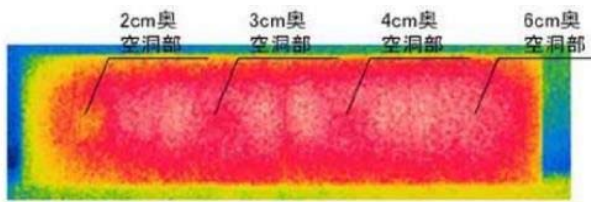


試験体と正対して撮影  
異常部を設けたコンクリート試験体の撮影

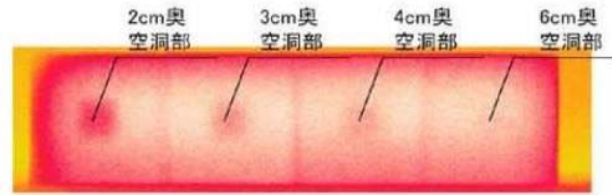


壁高欄(健全コンクリート)の撮影

計測結果の比較

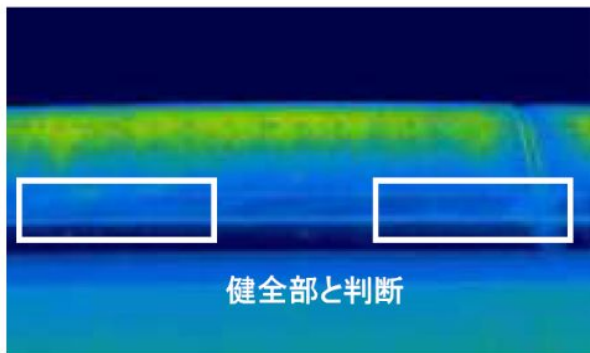


カメラDの熱画像  
(日格差10°C、23時撮影)

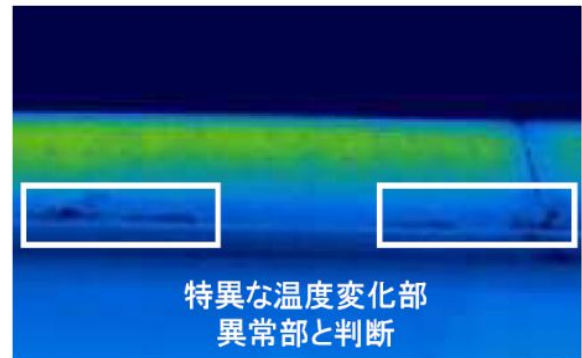


カメラB、Cの熱画像  
(日格差10°C、23時撮影)

カメラB、Cは、ノイズが少なく、試験体の異常部を明確に確認できる。



カメラBの熱画像  
(日格差10°C、23時撮影)



カメラCの熱画像  
(日格差10°C、23時撮影)

カメラCは、天空反射の影響を受けず、誤判定がない。健全コンクリートを健全と正しく判定できる。

以上の検証より、カメラB「検知素子：インジウムアンチモン(InSb)」、「検知波長帯：3~5 $\mu$ m」を採用。

最小検知温度差：0.025°Cはカタログ値(NETD)のとおり。

⇒実際はコンクリート表面温度の表示分解能は0.01°C単位で可能であることを確認。

(確認シート「計測性能(計測レンジ、分解能)」を参照)

# 確認シート

## ■非破壊検査技術（トンネル）

技術番号 TN020002-V0020

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

試験日 令和2年 1 月 17 日 天候 曇り 気温 6 °C 風速 2.6 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離(段差があるもの) 試験フェーズ 2、3

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(うき・はく離)、位置精度

対象構造物の概要



### 試験方法(手順)

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

### 開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



写真-3



写真-4



### 比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

写真-5



写真-6



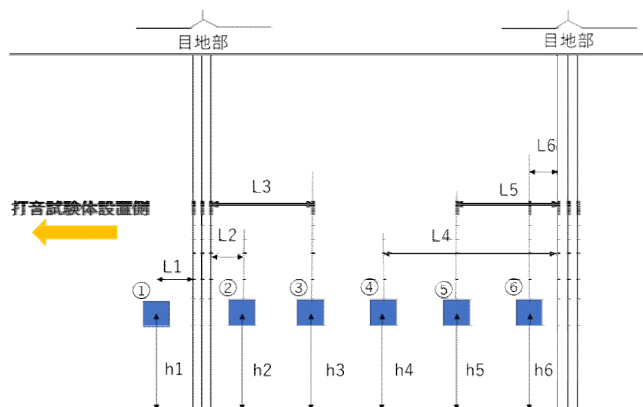
計測結果の比較

○計測精度(うき・はく離)

※走行速度:10(km/h)で計測

・うきの厚さ、サイズ計測結果

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



○位置精度

※走行速度:10(km/h)で計測

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

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

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

・位置精度(トンネル延長方向・周方向の誤差平均)

トンネル延長方向(mm)	トンネル周方向(mm)
16.7	14.7



技術番号 TN020002-V0020

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

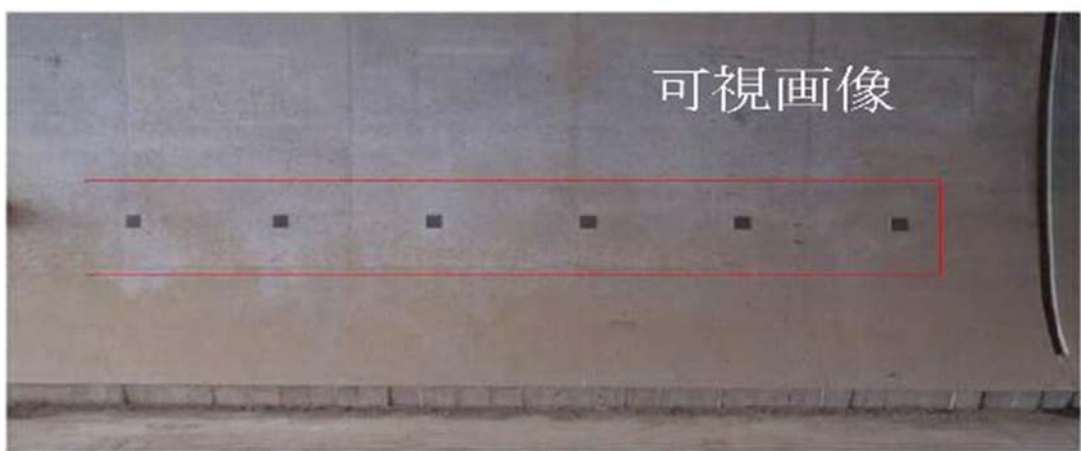
試験日 平成26年10月30日～31日 天候 曇り 気温 21.4 °C 風速 1.4 m/s

試験場所 施工技術総合研究所

カタログ分類 非破壊検査技術 カタログ 検出項目 うき・はく離(段差があるもの) 試験フェーズ 2、3

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(うき・はく離)、形状計測

対象構造物の概要





試験方法(手順)

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

開発者による計測機器の設置状況

写真-1



写真-2



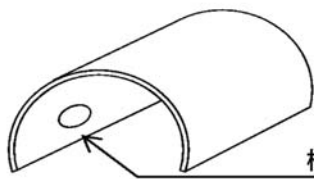
写真-3



写真-4



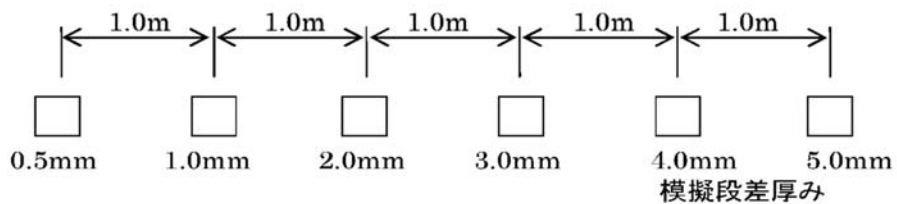
比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況



模擬段差設置エリア



模擬段差  
□100×100mm  
厚さ 0.5~5.0mm



模擬段差設置状況

## 計測結果の比較

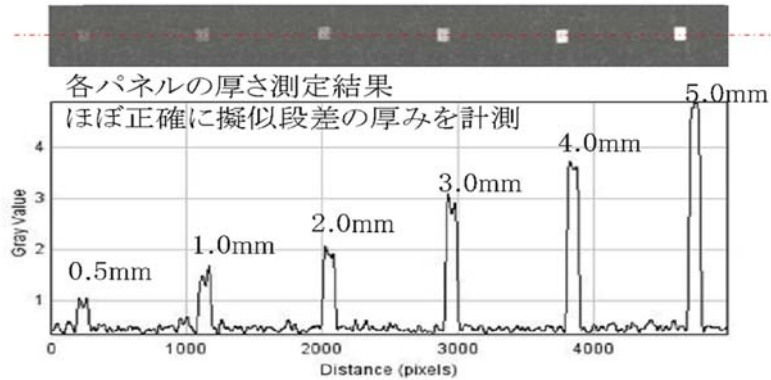
○計測精度(うき・はく離)

※走行速度:20(km/h)で計測

・うきの模擬体の凹凸形状計測結果

### 形状計測結果

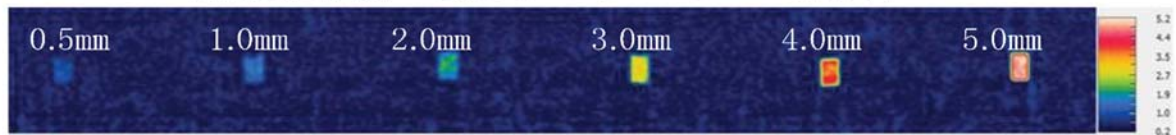
赤枠内の模擬段差(強調表示画像)



形状計測結果(模擬段差箇所の高さデータ)

### 段差の自動抽出結果

模擬段差箇所の段差量のカラースケール表示例



模擬段差箇所の段差の自動抽出例



0.5~1mmの段差=青、1~2mmの段差=黄、2mm~ =赤表示

形状計測:凹凸0.5mm以上検出可能

# 確認シート

## ■計測・モニタリング技術（橋梁）

技術番号 BR030003-V0020

技術名 光学振動解析技術  
【動画像による支承の変位量・回転量の計測技術】

開発者名 株式会社川金コアテック  
日本電気株式会社

試験日 平成31年 5 月 23 日

天候 晴

気温 21 °C

風速 1.9 m/s

試験場所 埼玉県 川口市 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 支承の挙動  
変位量・回転量

試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目

計測精度(X・Y方向変位  
量・回転量), 動作確認

対象構造物の概要

1. 橋梁の概要
- ・構造形式: 3径間連続6主桁桁橋
  - ・橋 長: 74.100m
  - ・支 間: 24.550m
  - ・計測対象: 支点: A1 桁: G4

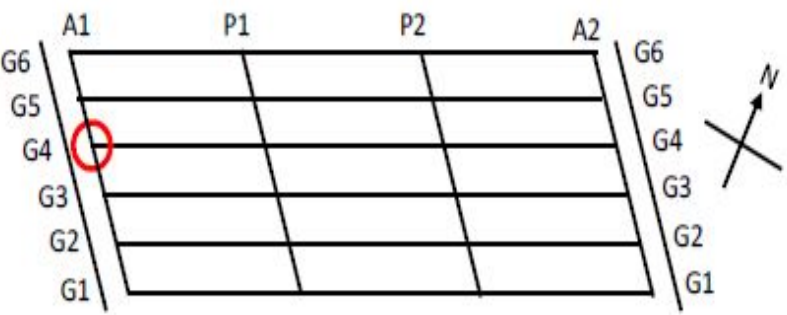


図-1 側面図

2. 载荷試験の概要
- ① 車両走行試験
- ・車両重量: 不明  
(バス・一般走行車両を利用),
  - 速度: 20km/h程度
  - ・走行位置: 走行車線
- ② 計測対象箇所
- ・支承上沓の橋軸方向変位量
  - ・支承上沓の橋軸方向回転量



写真-1 橋梁外観



写真-2 車両载荷の様子



写真-3 測定対象の支承

試験方法(手順)

- ① カメラ1, カメラ2, リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-4~写真-5, 図-2~図-4)
- ② 一般車両が通過するタイミングで、橋梁上を監視している合図者が合図を出す。
- ③ 計測者は、スタートの合図とともに計測を開始し、車両通過後までの間(約20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を数セット行う。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の構成と設置

- ①カメラ1: 支承上沓を橋軸直角方向から撮影するように設置(写真-4, 図-2)
- ②カメラ2: 支承上沓を橋軸直角方向から撮影するように設置(写真-4, 図-3)
- ③カメラ1の制御用PC(カメラ1とUSBケーブルで接続)
- ④カメラ2の制御用PC(カメラ2とUSBケーブルで接続)



写真-4 計測機器設置の様



焦点距離：25 mm  
 撮影距離：0.94 m  
 計測対象表面の1画素サイズ：203 $\mu$ m

図-2 カメラ1の撮影画像・撮影条件



焦点距離：50 mm  
 撮影距離：1.13 m  
 計測対象表面の1画素サイズ：76 $\mu$ m

図-3 カメラ2の撮影画像・撮影条件

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上沓鉛直変位センサ(桁間側):接触式距離計
- ②上沓鉛直変位センサ(桁端側):接触式距離計
- ③橋軸変位センサ:接触式変位計

取付け位置は、写真-5、図-4を参照、計測条件は表-1を参照。

なお、上沓回転角は以下の式を用いて算出した。

上沓回転角の算出式

上沓回転角 (rad) (桁端側への回転角を正とする。)

$$= \tan^{-1} [ \{ \text{上沓鉛直変位(桁間側:①)} - \text{上沓鉛直変位(桁端側:②)} \} / \text{測定間隔} (:327\text{mm}) ]$$



上沓鉛直変位センサ  
(①桁間側)

上沓鉛直変位センサ  
(②桁端側)

橋軸変位センサ



写真-5 機器の設置

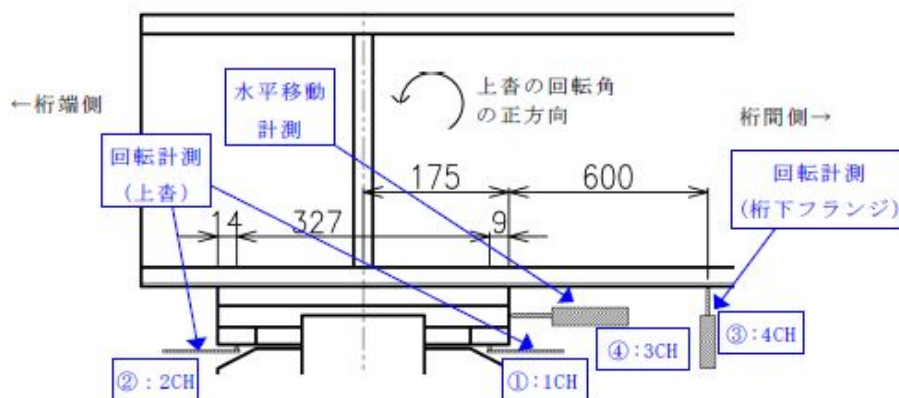


図-4 機器の設置

表-1 リファレンスの計測条件

条件項目	内容
計測時刻	11:30~16:32 計測時間 59 分、インターバル 1 分間とし、1 時間単位で計測を繰返す。
計測周波数	100Hz
計測値 セッティング	計測開始(11:30)時点で全変位計の計測値を 0 にセットしてから計測を開始し、16:32 の計測終了まで計測値を 0 にリセットせずに計測を行う。

計測結果の比較

1. 計測結果(カメラ1)

- ・大型車両通過時にカメラ1で撮影した画像を用いて評価を行った。
- ・開発者によるカメラ1の画像解析より得られた橋軸方向・橋軸直角方向・鉛直方向・橋軸方向回転量の時系列波形データを図-4左に、リファレンス計測による橋軸方向変位・回転量の時系列波形を図-4右にそれぞれ示す。
- ・画像解析によって得られた橋軸方向変位量・回転量と、リファレンス計測値がよく一致していることを確認。

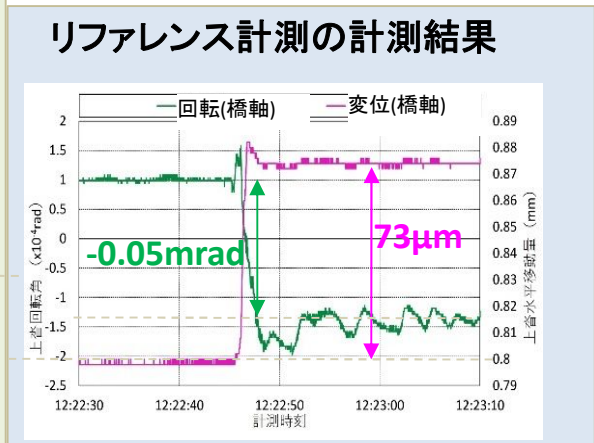
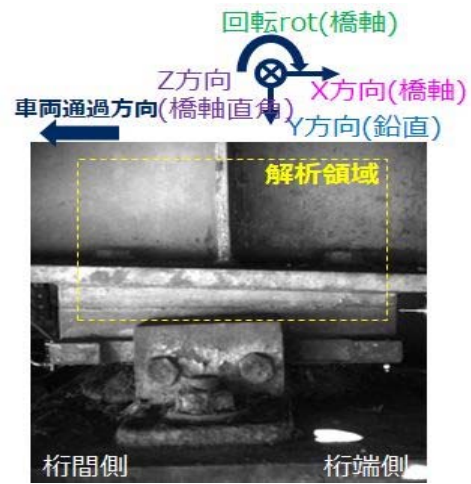
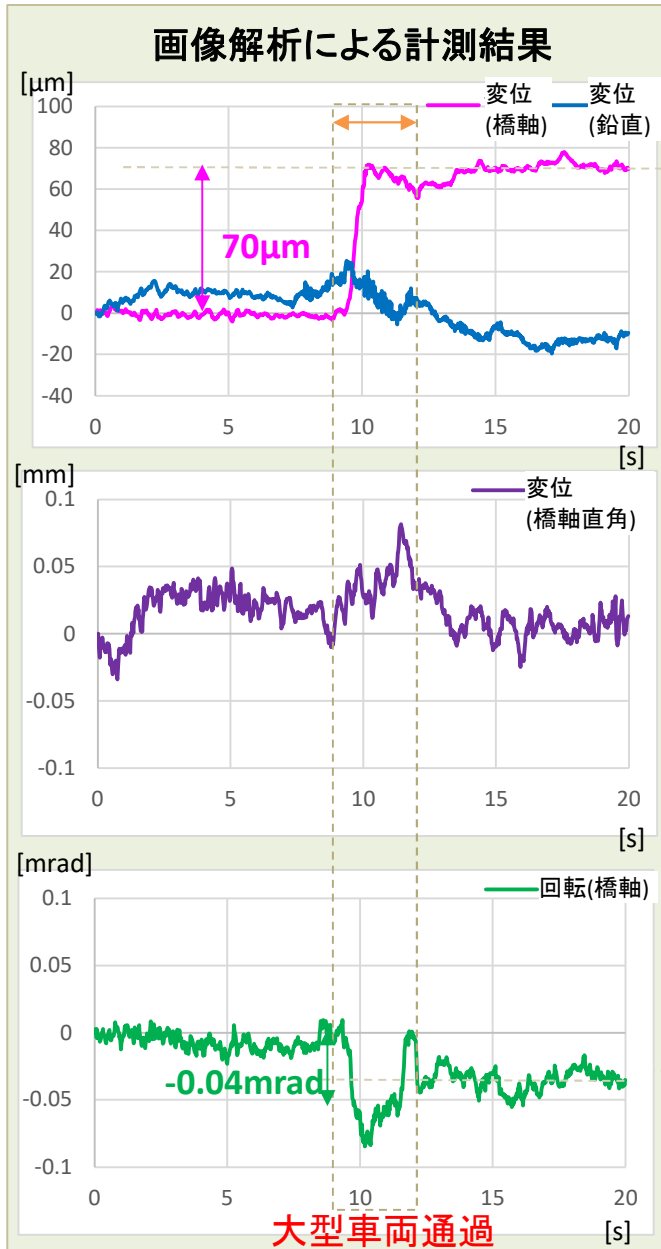


図-4 開発者による支承の変位量・回転量の計測結果とリファレンス計測値の結果の比較 (大型車両通過時:カメラ1)

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測)

・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

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

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

$\delta_a$ = 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)

$\delta_b$ = 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)

$\delta_i$ = 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	4				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	0.079	0.017	0.073	0.059	
計測結果	0.070	0.015	0.070	0.053	
差分	0.009	0.002	0.003	0.006	

X= 0.00570 mm = ( 5.70 μm )

x= 10.00 %

橋軸方向変位の相対差 X mm(x %) = 0.0057 mm ( 10.00 %)

(面内方向変位の相対差) ※ただし、上記の結果は、撮影距離約1mの時の結果である。

回転角(橋軸方向)の相対差の計測結果

サンプル数	4				単位: mrad
	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	-0.06	-0.04	-0.04	-0.08	
計測結果	-0.10	-0.04	-0.24	-0.22	
差分	0.04	0.00	0.20	0.14	

X= 0.12369 mrad

x= 224.90 %

回転角(橋軸方向)の相対差 R mrad(r %) = 0.12 mrad ( 224.90 %)

(回転角(橋軸方向)の相対差) ※ただし、上記の結果は、撮影距離約1mの時の結果である。



・カタログ記載値の検証(1画素当たりの大きさに対する計測精度:面内方

- ・本技術では撮影距離が10m以内の条件において、計測対象の表面での1画素当たりの大きさに対して、目安となる計測精度を定めている。
- ・その観点での検証結果を以下に示す。

・面内方向(X・Y方向)の変位計測精度は、計測対象表面での1画素あたりの大きさの約1/15~1/30程度

- ・撮影距離0.9mで焦点距離25mmレンズを使用して撮影。  
計測対象表面での1画素あたり203 $\mu$ m相当。
- ・橋軸方向変位は面内方向(X・Y方向)変位量として計測  
(計測精度は計測対象表面で1画素あたり1/30程度)
- 面内方向の計測精度立証には、リファレンスとの差分が  
203 $\mu$ m  $\times$  1/30 = 6.7 $\mu$ m未満である必要あり
- 橋軸方向変位の差分は3 $\mu$ m < 6.7 $\mu$ mであることを確認。

→面内方向(X・Y方向)の変位量に関して、  
カタログ記載の精度(10 $\mu$ m)が得られていることが確認できた

・カタログ記載値の検証(回転量の計測精度)

・回転量の計測精度は、0.2mrad程度

→橋軸方向回転量の差分は0.01mrad < 0.1 mradであることを確認。

→回転量に関して、カタログ記載の精度(0.2mrad)が得られていることが確認できた

## 2. 計測結果(カメラ2)

- ・計測結果1のカメラ1と同じタイミングで撮影したカメラ2によって撮影した画像を用いて評価を行った。
- ・開発者によるカメラ2の画像解析より得られた橋軸方向・橋軸直角方向・鉛直方向・橋軸方向回転量の時系列波形データを図-5左に、リファレンス計測による橋軸方向変位・回転量の時系列波形を図-5右にそれぞれ示す。

- ・画像解析によって得られた橋軸方向変位量と、リファレンス計測値がよく一致していることを確認。

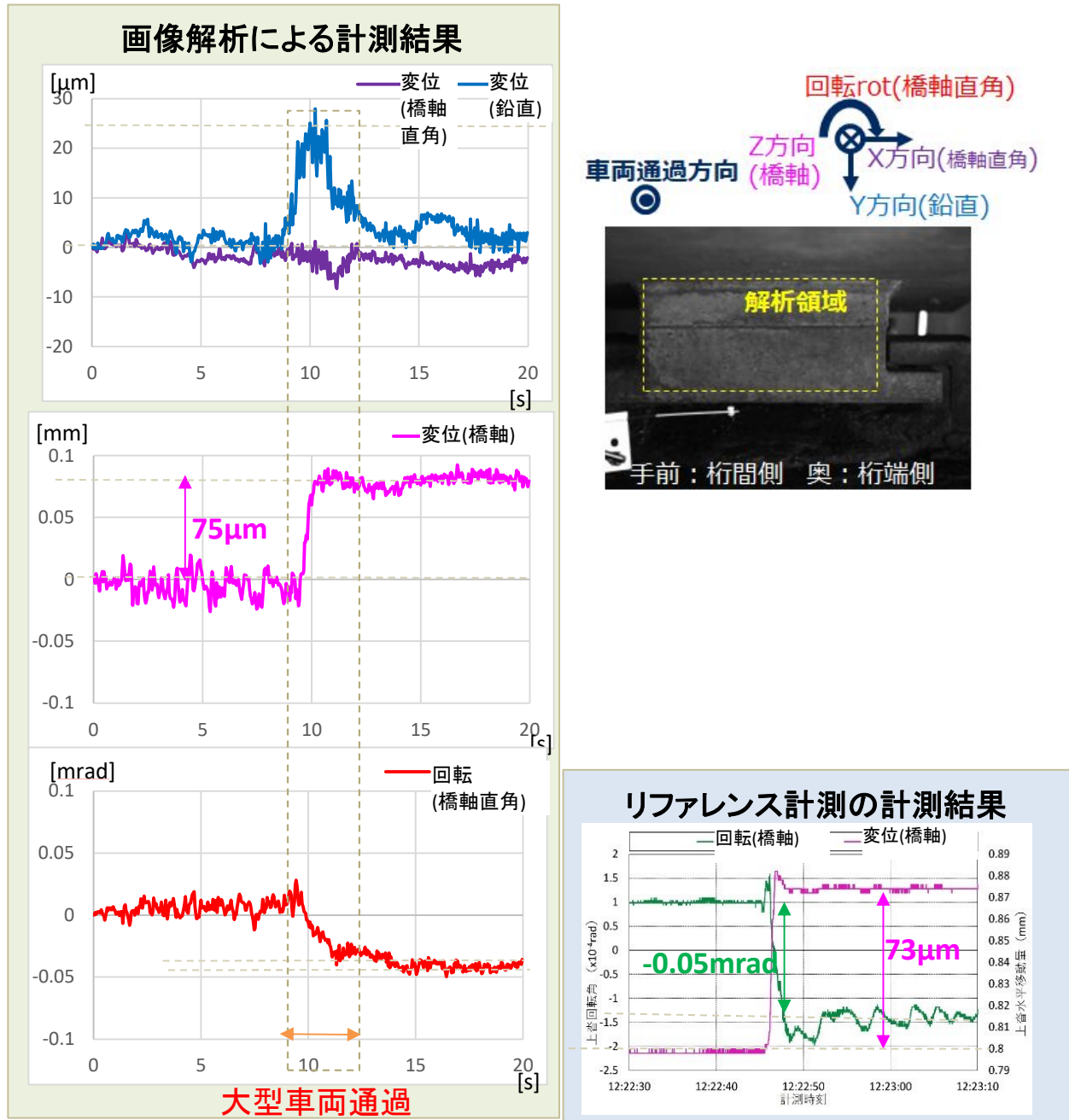


図-5 開発者による支承の変位量・回転量の計測結果とリファレンス計測値の結果の比較 (大型車両通過時:カメラ2)

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測)

・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算出する  
橋軸方向の変位の相対差の計測結果

サンプル数 3 単位:mm

	1回目 11:59	2回目 12:03	3回目 12:23	4回目	5回目
リファレンス	0.079	0.019	0.073		
計測結果	0.070	0.015	0.075		
差分	0.009	0.004	-0.002		

$$X = 0.00580 \text{ mm} = ( 5.80 \text{ } \mu\text{m} )$$

$$x = 10.18 \%$$

$$\text{橋軸方向変位の相対差 } Z \text{ mm}(z \%) = 0.0058 \text{ mm} ( 10.18 \%)$$

(光軸方向変位の相対差) ※ただし、上記の結果は、撮影距離約1mの時の結果である。

・カタログ記載値の検証

・奥行き方向(z方向)の変位計測精度は、計測対象表面での1画素あたりの大きさの約1/3程度

- ・撮影距離1.13mで焦点距離50mmレンズを使用して撮影。  
計測対象表面で1画素あたり76 $\mu$ m相当。
- ・橋軸方向変位は奥行き方向(z方向)変位量として計測  
(計測精度は計測対象表面での1画素あたり1/3程度)  
→面内方向の計測精度立証には、リファレンスとの差分が  
76 $\mu$ m  $\times$  1/3 = 25.3  $\mu$ m未満である必要あり  
→橋軸方向変位の差分は2 $\mu$ m < 25.3 $\mu$ mであることを確認。

→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(100 $\mu$ m)が得られていることが確認できた

技術番号 BR030003-V0020

技術名 光学振動解析技術  
【動画像による支承の変位量・回転量の計測技術】

開発者名 株式会社川金コアテック  
日本電気株式会社

試験日 令和2年 1 月 23 日 天候 雨 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 支承の挙動  
変位量・回転量 試験フェーズ 2,3

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(奥行き方向(Z方  
向)変位量)、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)

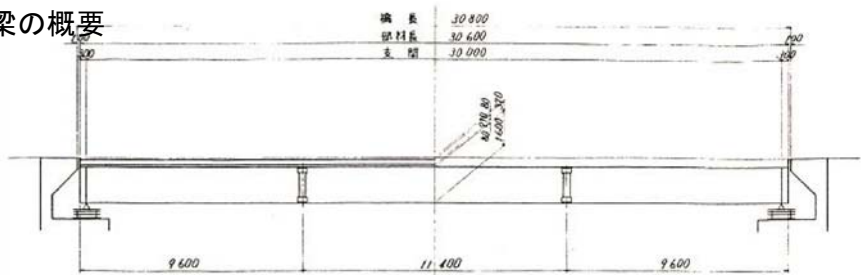


図-1 側面図

2. 載荷試験の概要

① 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)

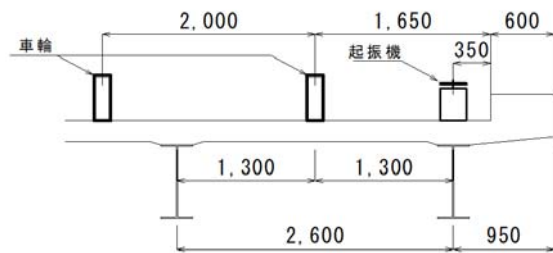


図-3 荷重載荷位置

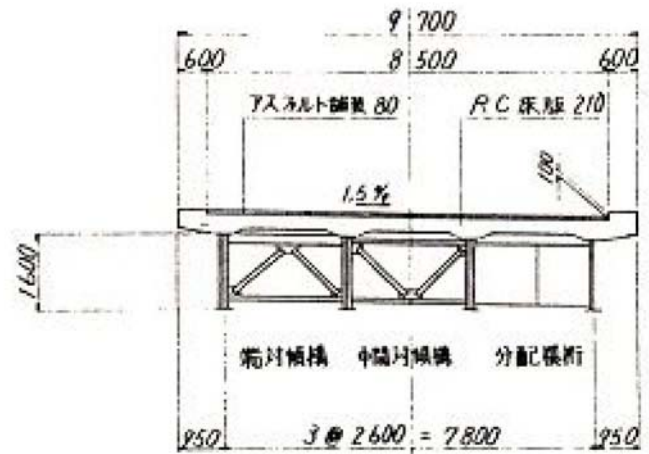


図-2 断面図



※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)

試験方法(手順)

- ① カメラ1, カメラ2, リファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-2~写真-5, 図-4~図-8)
- ② 合図と共に車両(20ton)が橋梁の中央を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、車両通過後までの間(約20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×2セット(カメラの焦点距離を変えて)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

- ①カメラ1の設置(PCと有線接続): 桁下への設置の場合(写真-2, 図-4)
- ②カメラ2の設置(PCと有線接続): 桁側面への設置の場合(写真-3, 図-5)
- ③PC(データ収集・カメラに有線接続)(写真-4)



写真-2 カメラ1の設置

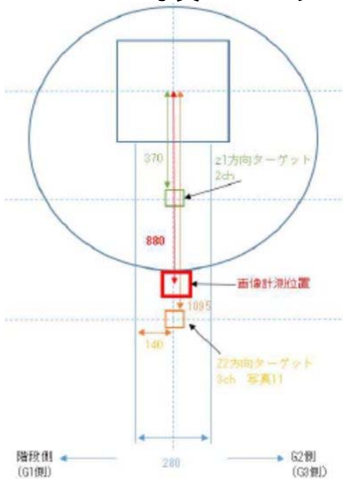


図-4 カメラ1の測定位置

鉛直方向(奥行)  
車両進行方向  
横軸方向  
縦軸直角方向

カメラ1 焦点距離25mm  
突出し側(外側)

撮影範囲 203x203mm  
撮影画像 中央側(内側)

支承からの距離:880mm  
撮影距離:453mm  
フレームレート:75fps  
(サンプリングレート:75Hz)  
リファレンスセンサは200Hz

カメラ2 焦点距離180mm  
上フランジ側

撮影範囲 136x136mm  
撮影画像 下フランジ側

撮影距離:2263mm  
フレームレート:75fps  
(サンプリングレート:75Hz)  
リファレンスセンサは200Hz



写真-3 カメラ2の設置  
本技術計測位置

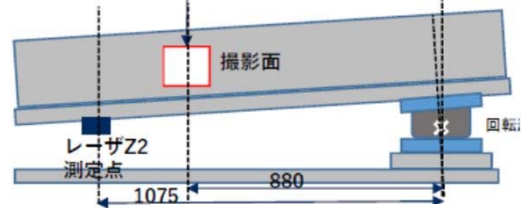


図-5 カメラ2の測定位置



写真-4 PCの設置(左側:カメラ1, 右側:カメラ2)

比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況

### 1. 機器の設置

- ①橋軸(X)方向変位:レーザー変位計(センサー)
  - ②鉛直(Z1)方向変位:レーザー変位計(センサー)
- 取付け位置は、写真-4、図-6を参照

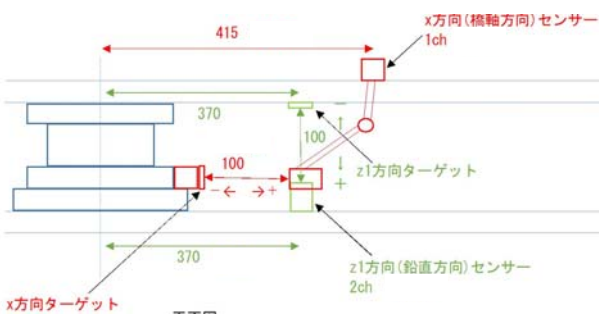


図-6 機器の設置

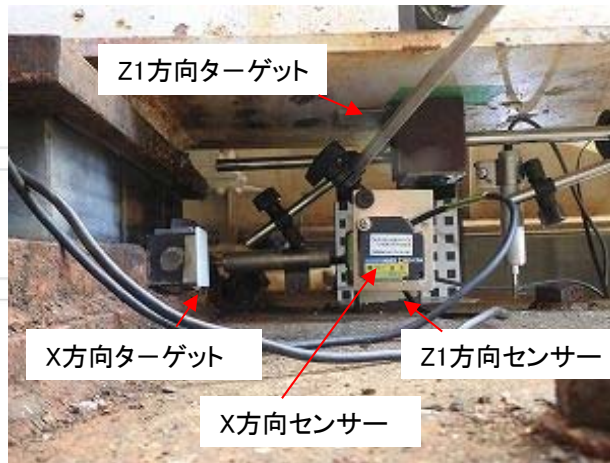


写真-4 機器の設置

- ③橋軸直角(Y)方向変位:  
レーザー変位計(センサー)  
写真-5、図-8
- ④鉛直(Z2)方向変位:  
レーザー変位計(センサー)  
写真-5、図-7

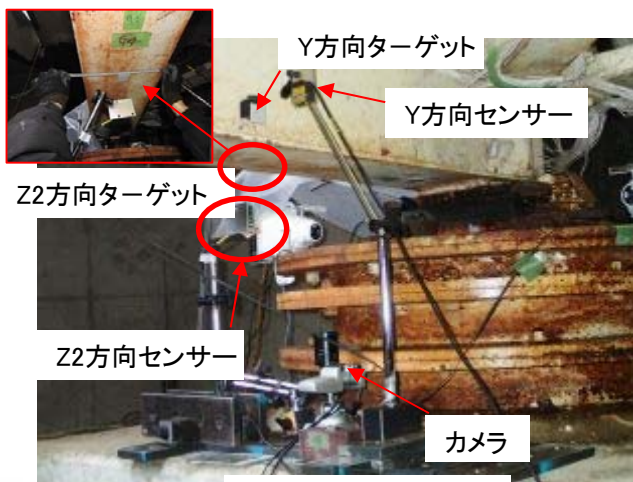


写真-5 機器の設置2

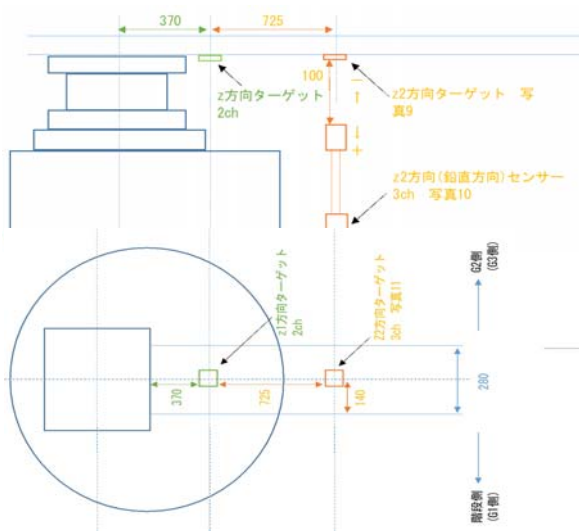


図-7 Z2方向センサーの設置

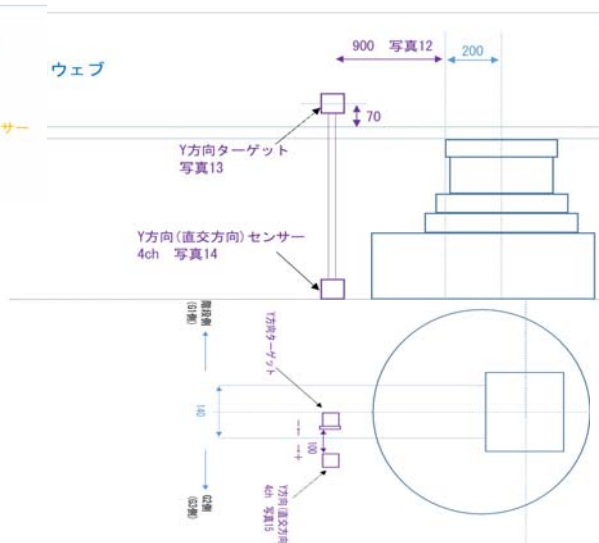


図-8 Y方向センサーの設置

計測結果の比較

1. 鉛直方向変位の計測結果

1.1 波形の比較

- ・開発者によるカメラの撮影画像の解析より得られた鉛直方向変位量の測定結果の波形データを図-9左、レーザ変位計によるリファレンスデータを図90右に示す。
- ・時系列波形は、レーザ変位計(Z2)の波形と酷似したことが確認できた。

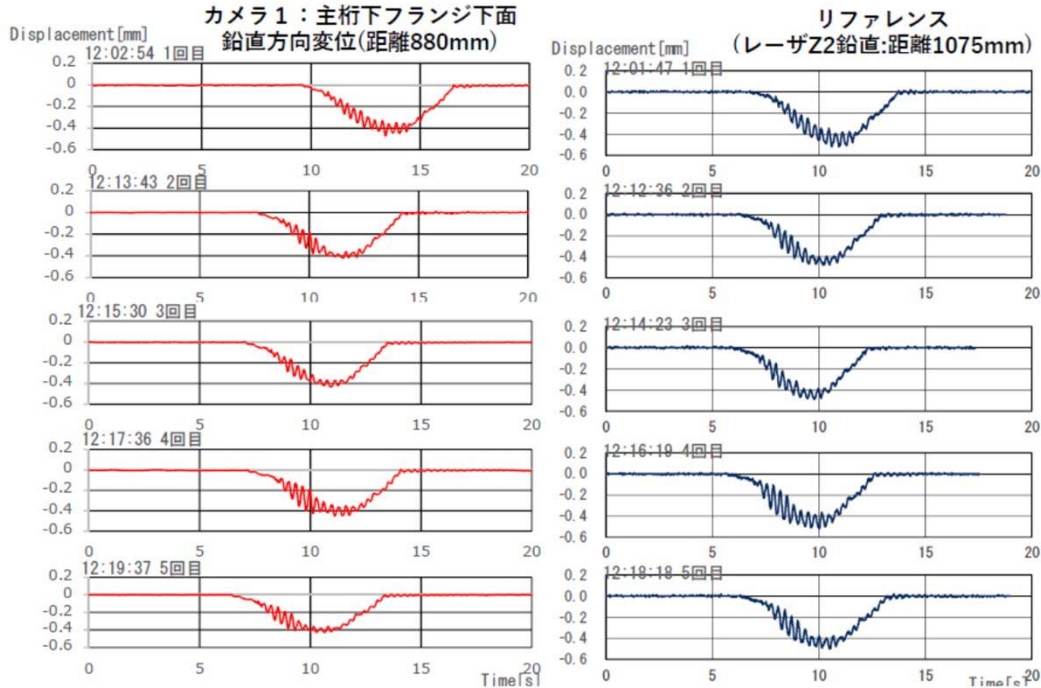


図-9 鉛直方向波形の比較

1.2 変位の比較

- ・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。

表-1 鉛直方向変位の比較

● 5回の全ての計測結果で<0.033mmで計測可能であることを確認

単位：mm

	支承からの距離	1回目 12:02:54	2回目 12:13:43	3回目 12:15:30	4回目 12:17:36	5回目 12:19:37
最大鉛直方向変位 (レーザ：Z1鉛直)	370	-0.219	-0.208	-0.219	-0.219	-0.219
最大鉛直方向変位 (レーザ：Z2鉛直)	1075	-0.521	-0.479	-0.489	-0.521	-0.500
最大鉛直方向変位 (支承の変形：切片)	0	-0.060	-0.066	-0.077	-0.060	-0.071
レーザ2点間の傾き [鉛直変位/距離]		-0.000428	-0.000384	-0.000384	-0.000428	-0.000399
リファレンス(レーザ2点からの換算値)	880	-0.437	-0.404	-0.415	-0.437	-0.422
最大鉛直方向変位 (本技術)	880	-0.451	-0.403	-0.409	-0.430	-0.410
差分(レーザ2点からの換算値-本技術)		0.014	-0.001	-0.006	-0.007	-0.012
カタログ記載の精度を満たすか?		○ (<0.033mm)	○ (<0.033mm)	○ (<0.033mm)	○ (<0.033mm)	○ (<0.033mm)

・カタログ記載値の検証(変位の相対差による計測)

- ・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

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

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

$\delta_a$ = 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)

$\delta_b$ = 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)

$\delta_i$ = 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	2回目	3回目	4回目	5回目	
リファレンス	-0.437	-0.404	-0.415	-0.437	-0.422	
計測結果	-0.451	-0.403	-0.409	-0.430	-0.410	
差分	0.014	-0.001	-0.006	-0.007	-0.012	

X= 0.0092 mm = ( 9.2 μm )

x= 2.18 %

**鉛直方向変位の相対差 Z mm(z%) = 0.0092 mm ( 2.18 %)**

(光軸方向変位の相対差) ※ただし、上記の結果は、撮影距離約0.5mの時の結果である。

・カタログ記載値の検証(1画素当たりの大きさに対する計測)

- ・本技術では撮影距離が10m以内の条件において、計測対象の表面での1画素当たりの大きさに対して、目安となる計測精度を定めている。
- ・その観点での検証結果を以下に示す。

**● 奥行き方向の計測精度は、計測対象表面での1画素あたり大きさの1/3程度**

・撮影距離453mmで焦点距離25mmレンズを使用して撮影。

・計測対象表面で1画素あたり99μm相当

・たわみは鉛直方向(奥行き方向)変位量として計測  
(計測精度は計測対象表面で1画素あたり1/3程度)

→奥行き方向の計測精度立証には、リファレンスとの差分が

99μm × 1/3 = 0.033mm未満である必要あり

→5回の全ての計測結果でリファレンス計測値との差が<0.033mmであることを確認。

→奥行き方向の変位量に関して、カタログ記載の精度が得られていることが確認できた



## 2. 橋軸方向変位の計測結果

### 2.1 波形の比較

- ・開発者によるカメラの撮影画像の解析より得られた橋軸方向変位量の測定結果の波形データを図-10左、レーザ変位計によるリファレンスデータを図-10右に示す。
- ・時系列波形は、リファレンス用変位計の波形(X方向)と概ね一致した。

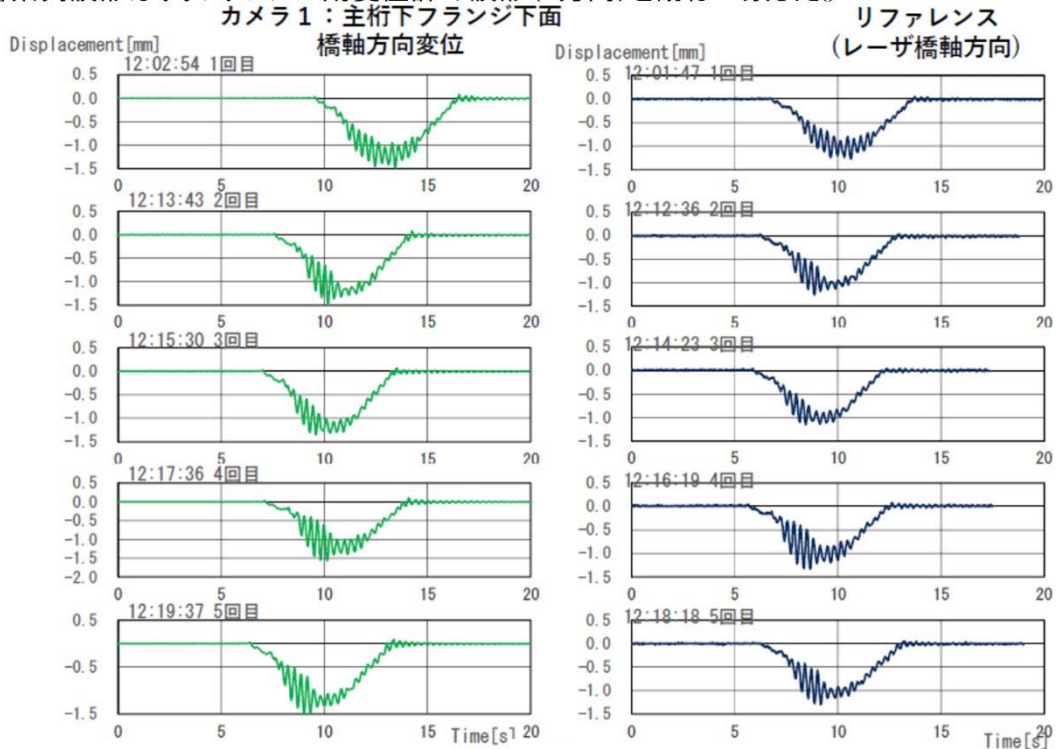


図-10 橋軸方向波形の比較

### 2.2 橋軸方向変位の比較

- ・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-2に示す。
- ・支承からの距離の違いにより、鉛直方向の変位が異なることにより、発生した影響が発生したと考えられる。(図11)

表-2 橋軸方向変位の比較

単位:mm

	支承からの距離	1回目 12:02:54	2回目 12:13:43	3回目 12:15:30	4回目 12:17:36	5回目 12:19:37
最大変位量 (本技術)	880	-1.407	-1.413	-1.294	-1.501	-1.439
最大変位量 (レーザ橋軸)	415	-1.278	-1.267	-1.155	-1.329	-1.298
差分 (レーザ-本技術)		0.129	0.146	0.139	0.173	0.141

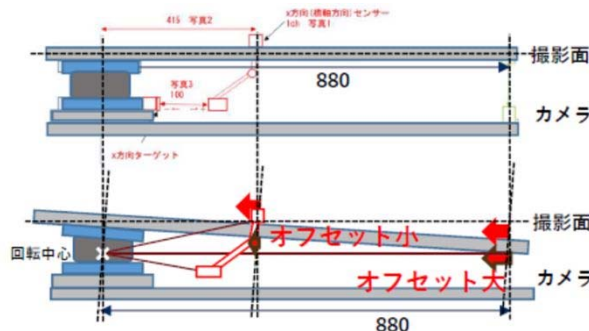


図-11 鉛直方向変位による橋軸方向変位の差分

### 3. 橋軸直角方向変位の計測結果

#### 3.1 波形の比較

- ・開発者によるカメラの撮影画像の解析より得られた橋軸直角方向の変位量の測定結果の波形データを図-12左、レーザ変位計によるリファレンスデータを図-12右に示す。
- ・時系列波形は、リファレンス用変位計の波形(Y方向)と酷似した。

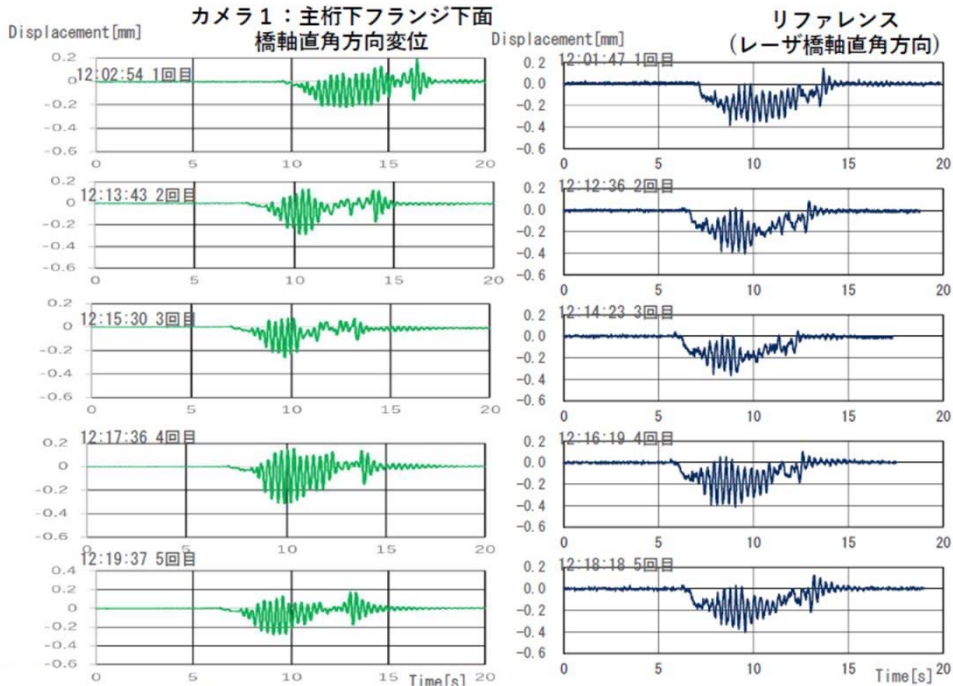


図-12 橋軸直角方向波形の比較

#### 3.2 橋軸直角方向変位の比較

- ・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-3に示す。
- ・橋軸直角方向の変位は、リファレンス用変位計の変位と若干の差(約0.1mm)が認められた。(表-3)  
→要因は、測定位置が異なることによるものと考えられる(図-13)。

表-3 橋軸直角方向変位の比較

単位: mm

	1回目			2回目			3回目			4回目			5回目		
	MAX	MIN	変位幅	MAX	MIN	変位幅	MAX	MIN	変位幅	MAX	MIN	変位幅	MAX	MIN	変位幅
レーザ	0.146	-0.385	0.531	0.083	-0.406	0.489	0.052	-0.364	0.416	0.104	-0.416	0.521	0.125	-0.406	0.531
本技術	0.208	-0.189	0.397	0.276	-0.126	0.403	0.247	-0.074	0.321	0.301	-0.150	0.451	0.268	-0.168	0.435
差分(レーザ-本技術)	-0.062	-0.196	-0.134	-0.193	-0.280	-0.087	-0.195	-0.290	-0.095	-0.195	-0.290	-0.095	-0.143	-0.238	-0.095

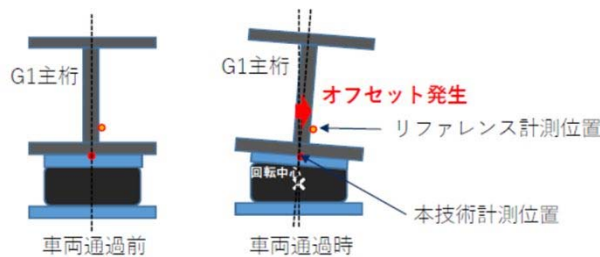


図-13 橋軸直角方向変位の誤差

技術番号 BR030003-V0020

技術名 光学振動解析技術  
【動画像による支承の変位量・回転量の計測技術】

開発者名 株式会社川金コアテック  
日本電気株式会社

試験日 令和2年 1 月 23 日 天候 雨 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 支承の挙動  
変位量・回転量 試験フェーズ 2

試験で確認する  
カタログ項目 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

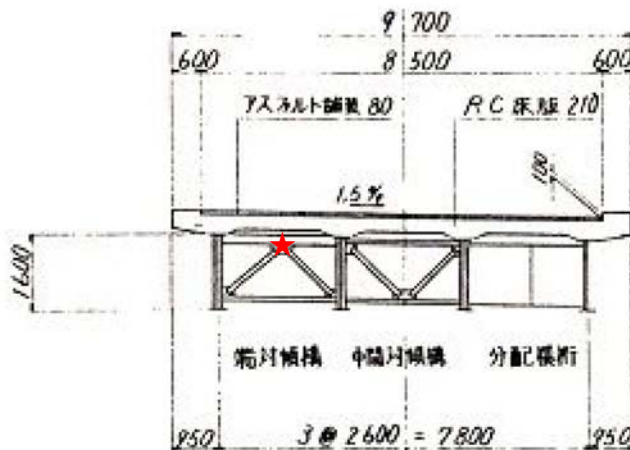


図-2 断面図

★: カラーチャート貼付け位置

試験方法(手順)

- ① カラーチャートを床版支間中央下面に貼り付け、照度を計測する。
- ② 計測者は、カメラでカラーチャートを撮影し、そのRGBを算出する。
- ③ 照明装置なし、照明装置ありの場合でそれぞれ①～②を行い、結果を比較する。
- ④
- ⑤

開発者による計測機器の設置状況



照明の設置状況



カメラの設置状況

比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況

市販の24色のカラーチャートを使用する。  
カメラがモノクロのカメラのため、グレースケールチャートのみ利用する。

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。

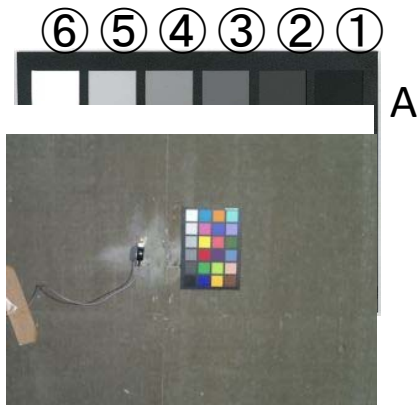


図-3 カラーチャート貼付け状況

	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

※床版支間中央の下面

計測結果の比較

色識別性能

■焦点距離: 180 mm

■絞り: 2.8      ■ISO値: -

■フォーカス: マニュアル



照度 (1195lx)

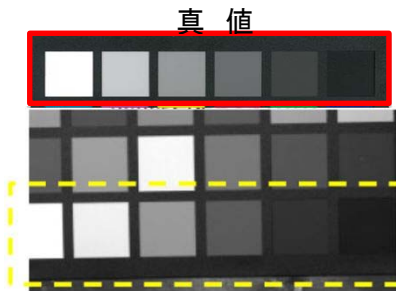


照度 (112lx)

1. 照明利用時

照度: 1195lx

モノクロカメラのグレースケール部の階調判別可能である。



開発者撮影

	R値		G値		B値	
	真値	計測値	真値	計測値	真値	計測値
A-1	43	28	41	28	43	28
A-2	80	48	80	48	78	48
A-3	122	89	118	89	116	89
A-4	161	152	157	152	154	152
A-5	202	237	198	237	195	237
A-6	249	255	242	255	238	255

2. 照明なし

照度: 112lx

モノクロカメラのグレースケール部の階調判別可能である。



開発者撮影

	R値		G値		B値	
	真値	計測値	真値	計測値	真値	計測値
A-1	43	10	41	10	43	10
A-2	80	18	80	18	78	18
A-3	122	38	118	38	116	38
A-4	161	67	157	67	154	67
A-5	202	112	198	112	195	112
A-6	249	173	242	173	238	173

技術番号 BR030013-V0020

技術名 永久磁石を用いたPCケーブル張力の計測技術 開発者名 住友電気工業株式会社

試験日 平成30年 12月 18日 天候 晴 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 3径間連続PC箱桁橋

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 社内試験

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

対象部材  
・計測装置設置概要(図-1)、計測装置設置位置(写真-1)、および橋梁断面図(図-2)

The diagram (Figure 1) shows a side view of a bridge with measurement points A1, P1, P2, and A2. A red box highlights the '外ケーブルPC鋼材19S15.2mm' (Outer cable PC steel 19S15.2mm). A callout shows the 'データ収集装置' (Data collection device). A detailed view of the measurement position shows '緊張(片引き)' (Tensioning) and '計測位置(左右1本ずつ)' (Measurement position, one cable on each side). The photo (Photo 1) shows the physical setup with labels P1, CL2, and CR2.

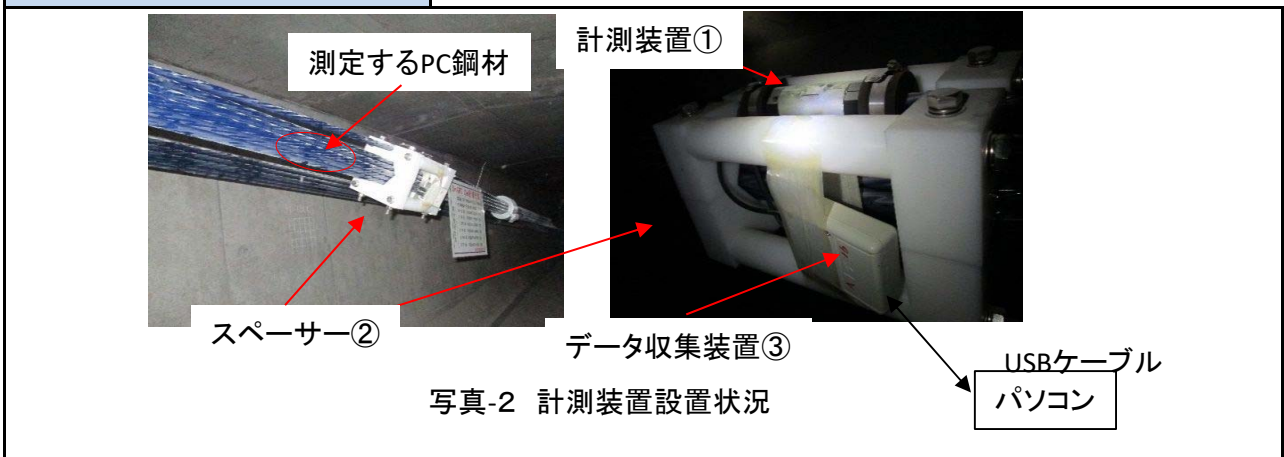
図-1 計測装置設置概要

写真-1 計測装置設置箇所

## 試験方法(手順)

①	(新設施工時点)PC外ケーブルを構成する鋼より線のうち1本に計測装置①と計測装置設置用のスペーサー②を取付けた状態で緊張し、緊張後に計測を実施する。計測装置は使用するPC鋼より線を用いて校正されたものを使用する。
②	データはデータ収集装置を電池駆動にて動作させ、1回/日で計測・記録を行う。定期的に手順③～⑤を繰り返す。電池の交換は2年程度(1回/日計測の場合)で行う必要があるため、データダウンロード作業時に適宜電池の交換を行う。(電池がなくなったとしても、新たなデータ記録ができないだけでそれまでのデータは保持され、電池交換後は再度計測可能)
③	桁内の計測装置設置個所まで移動し、計測装置に接続されたデータ収集装置③にUSBケーブルを介してパソコン(専用ソフトウェアをインストールしたもの)と接続する。
④	専用ソフトウェアを使用し、データ収集装置からパソコンにデータをダウンロードする。
⑤	データはエクセルなどで整理を行う。

## 開発者による計測機器の設置状況



## 計測結果の比較

### 1. 計測結果

- ・データ収集装置よりダウンロードしたデータを過去に収集したデータとまとめたものを図-3に示す。
- ・緊張施工時(2011年12月)から2019年1月に至るまで計測を継続した。
- ・データは1回/日で継続的にデータを記録した。データ収集時、必要に応じてデータ収集装置を駆動するための電池を交換した。
- ・PC鋼より線の緊張力の設計値に対し+5%(+10kN)を余裕(図-3青色占線)とした。

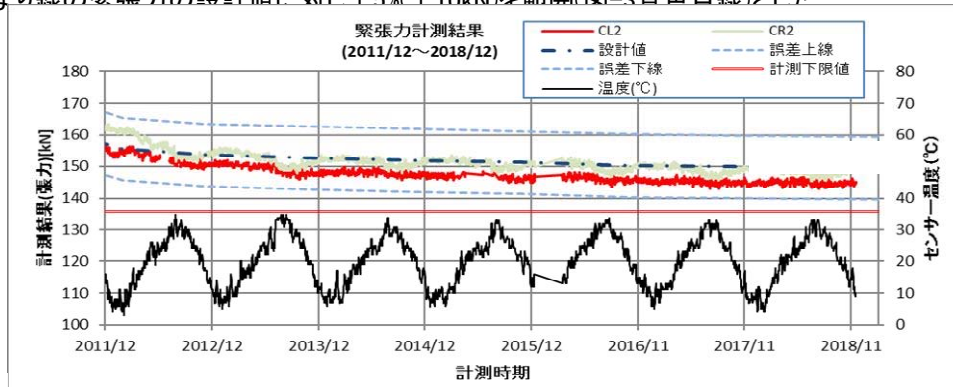


図-3 計測結果

技術番号 BR030013-V0020

技術名 永久磁石を用いたPCケーブル張力の計測技術 開発者名 住友電気株式会社

試験日 平成30年 2 月 28 日 天候 晴 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 住友電気工業株式会社 伊丹製作所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 張力 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(再現性)

対象構造物の概要

1. 対象部材

- ・PC鋼より線および計測装置(写真-1)
- ・マルチストランドケーブル(PC鋼より線を束ねて構成するケーブル)(写真-2)



写真-1 PC鋼より線への設置イメージ



写真-2 マルチストランドケーブルへの設置イメージ



試験方法(手順)

- ① 計測用サンプル(φ15.2ECFストランド)を試験機に設置する。
- ② 緊張力が0kNの状態です計測用サンプルに計測装置を設置し、その時の計測値を記録する。その後計測装置を取外す。
- ③ 計測用サンプルを50kNまで緊張する。計測用サンプルに計測装置を設置し、その時の計測値を記録する。その後計測装置を取外す。
- ④ 緊張力を100kN, 150kN, 199.8kN, 150kN, 100kN, 50kN, 0kN の順に緊張力を替えながら③と同様に計測装置の取付け、計測および計測装置の取外しを繰り返す。
- ⑤ ②～④を3回繰り返す。

開発者による計測機器の設置状況

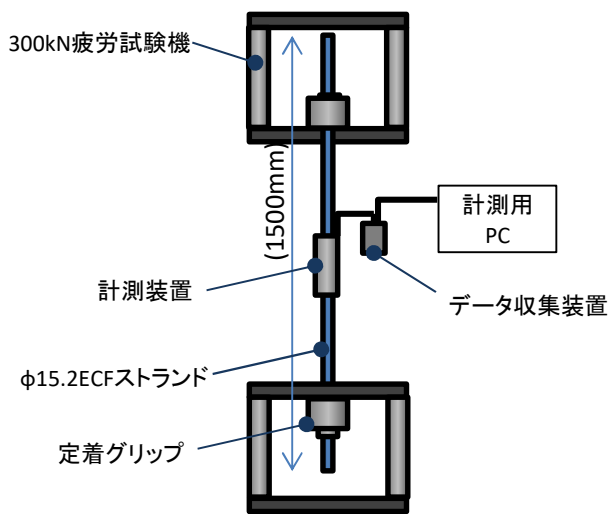


図-1 試験概要図

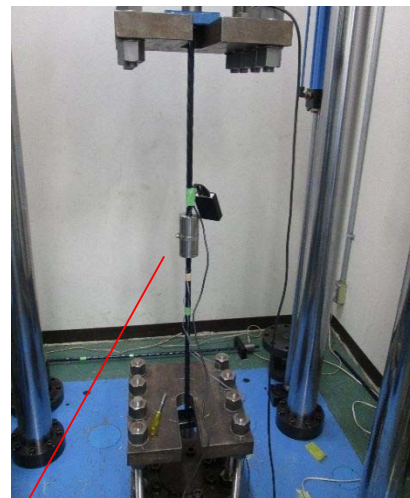


写真-3 試験体設置状況

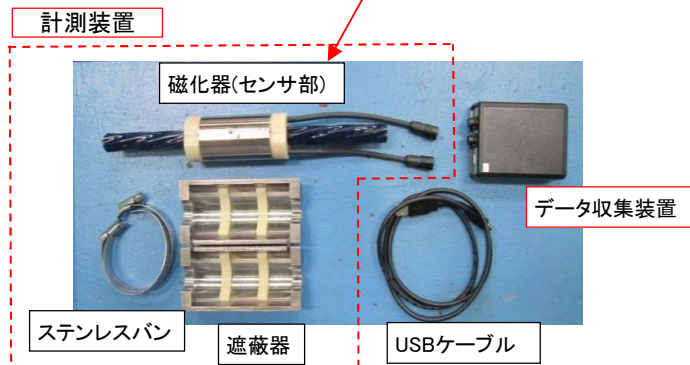


写真-4 計測装置およびデータ収集装置

表-2 φ15.2ECFストランドの機械的性質

	0.2%永久伸びに対する荷重 $P_y$ [kN]	引張荷重 $P_u$ [kN]	伸び [%]
規格	$\geq 222$	$\geq 261$	$\geq 3.5$

## 計測結果の比較

### 1. 計測結果

- ・計測結果を図-3に示す。
- ・再現性による誤差は定格(±199.8kN)の±5%以内であることが確認ができた。

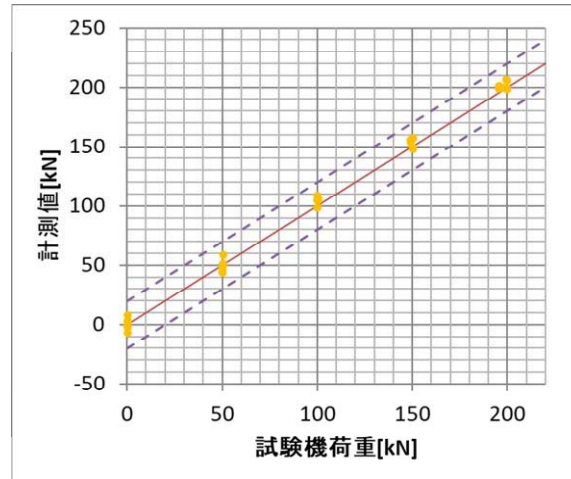


図-3 計測結果

技術番号 BR030013-V0020

技術名 永久磁石を用いたPCケーブル張力の計測技術 開発者名 住友電気株式会社

試験日 平成30年 2 月 28 日 天候 晴 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 住友電気工業株式会社 伊丹製作所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 張力 試験フェーズ 社内試験

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(温度依存性誤差)

対象構造物の概要

- 対象部材
- ・PC鋼より線および計測装置(写真-1)
  - ・マルチストランドケーブル(PC鋼より線を束ねて構成するケーブル)(写真-2)



写真-1 PC鋼より線への設置イメージ



写真-2 マルチストランドケーブルへの設置イメージ

試験方法(手順)

- ① 計測装置等を図-1のとおりセットする。
- ② 恒温槽内を20℃にした状態から上限50℃、下限-10℃の温度サイクルを2サイクル実施する。
- ③ 温度サイクル中10分間に1回の間隔でデータを収集する。

開発者による計測機器の設置状況

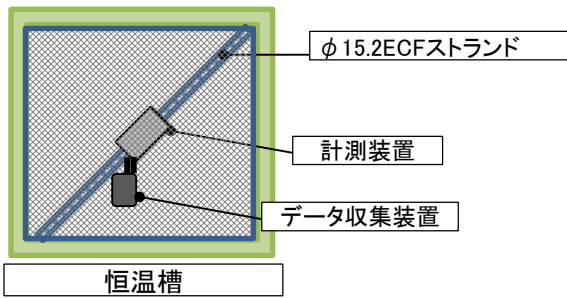


図-1 試験概要図

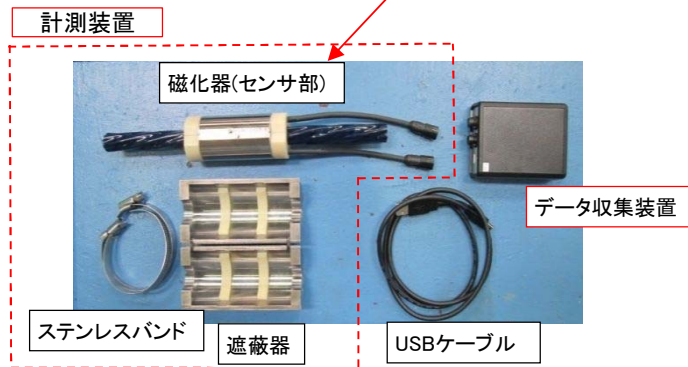


写真-4 計測装置およびデータ収集装置

表-2 φ 15.2ECFストランドの機械的性質

	0.2%永久伸びに対する 荷重 $P_y$ [kN]	引張荷重 $P_u$ [kN]	伸び [%]
規格	$\geq 222$	$\geq 261$	$\geq 3.5$

## 計測結果の比較

### 1. 計測結果

- ・本技術での計測結果を図-2および図-3に示す。
  - 図-2は計測装置内に設置された温度計による計測結果である。
  - 図-3の測定誤差は定格(199.8kN)に対する計測値の差を百分率で表示している。
- ・緊張力が作用していない状態(0kN)であるのに対し、計測誤差は±10kN以内であり、定格の±5%以内であることが確認ができた。

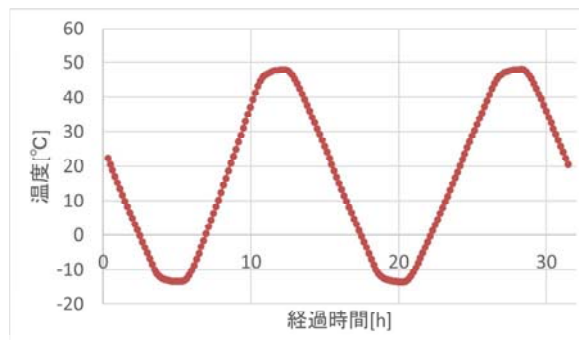


図-2 温度履歴

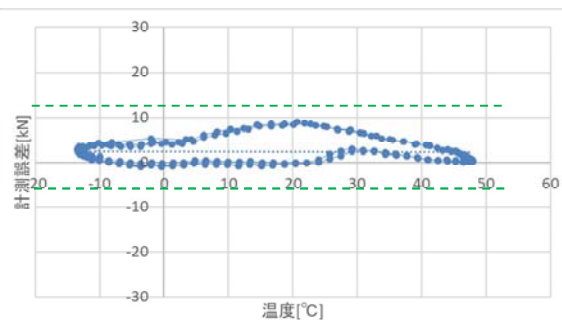


図-3 計測誤差確認結果

技術番号 BR030013-V0020

技術名 永久磁石を用いたPCケーブル張力の計測技術 開発者名 住友電気株式会社

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

試験場所 住友電気工業株式会社 伊丹製作所

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 張力 試験フェーズ 2

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度(応力履歴性)

### 対象構造物の概要

#### 対象部材

- ・PC鋼より線(写真-1)
- ・マルチストランドケーブル(PC鋼より線を束ねて構成するケーブル)(写真-2)



写真-1 PC鋼より線への設置イメージ



写真-2 マルチストランドケーブルへの設置イメージ

試験方法(手順)

- ① 永久磁石式張力センサ、計測装置等を図-1のとおりセットする。
- ② ロードセルの計測値を基準とし、载荷ステップは表-1のとおりとし、0~0.9Py(定格)まで行った。
- ③ 各载荷ステップでの張力およびひずみ(参考値)を計測

開発者による計測機器の設置状況

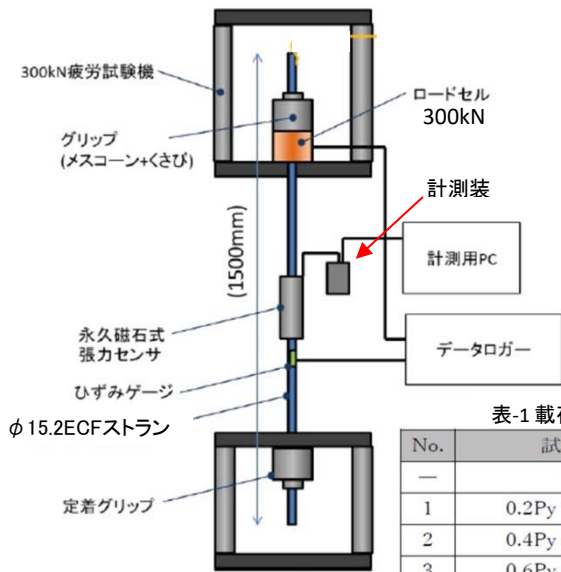


図-1 試験概要図

表-1 载荷ステップ

No.	試験機荷重
—	0 kN
1	0.2Py (44.4kN)
2	0.4Py (88.8kN)
3	0.6Py (133.2kN)
4	0.8Py (177.6kN)
5	0.9Py (199.8kN)



写真-3 試験実施状



写真-4 計測用PC

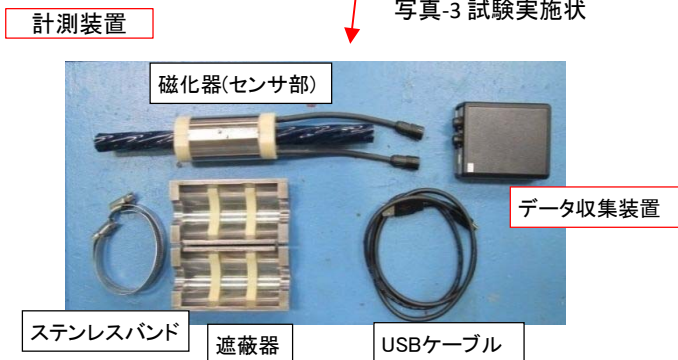


写真-5 計測装置およびデータ集装置の構成

表-2 φ15.2ECFストランドの機械的性質

	0.2%永久伸びに対する 荷重 Py [kN]	引張荷重 Pu [kN]	伸び [%]
規格	≥ 222	≥ 261	≥ 3.5



写真-6 ひずみゲージの貼付け(両面)

計測結果の比較

1. 計測結果

- ・本技術およびロードセルでの計測値を表-3に示す。  
表中、測定誤差は定格(199.8kN)に対する百分率で表示している。
- ・誤差に関しては、短期で確認できる応力履歴性のみとし、定格の±3%以内としており、計測精度の確認ができた。

表-3 計測結果

ステップ	ロードセル	永久磁石式	計測誤差		参考:ひずみゲージ	備考
	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[μ]	
-	0	0	-	-	-1 4.7	2 (イニシャル)
1	44.4	40.6	-3.8	-1.90	1472 1396	1434 0.2Py
2	88.8	85.1	-3.7	-1.85	2969 2785	2877 0.4Py
3	133.2	130.6	-2.6	-1.30	4488 4211	4350 0.6Py
4	177.6	176.5	-1.1	-0.55	6007 5652	5830 0.8Py
5	199.8	200.4	0.6	0.30	6783 6390	6587 0.9Py

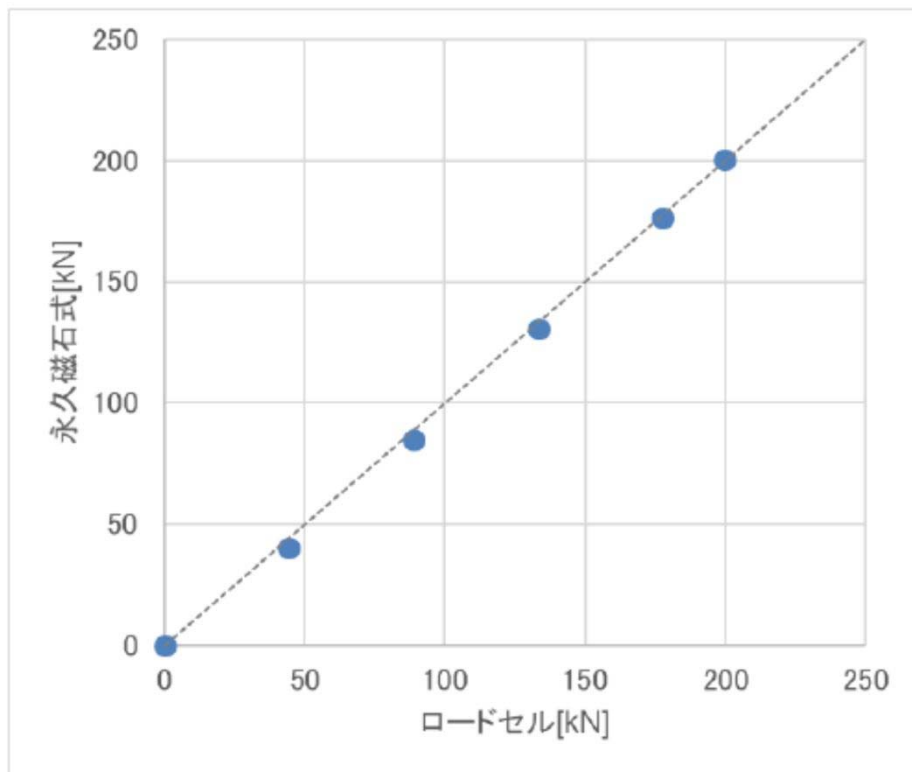


図-2 張力計測結果



技術番号	BR030013-V0020						
技術名	永久磁石を用いたPCケーブル張力の計測技術	開発者名	住友電気株式会社				
試験日	令和2年 1 月 31 日	天候	晴	気温	— °C	風速	— m/s
試験場所	住友電気工業株式会社 伊丹製作所						
カタログ分類	計測・モニタリング技術 カタログ	検出項目	張力	試験フェーズ	2		

試験で確認する カタログ項目	計測精度(応力履歴性)
-------------------	-------------

**対象構造物の概要**

**対象部材**

- ・PC鋼より線(写真-1)
- ・マルチストランドケーブル(PC鋼より線を束ねて構成するケーブル)(写真-2)



写真-1 PC鋼より線への設置イメージ



写真-2 マルチストランドケーブルへの設置イメージ

試験方法(手順)

- ① 永久磁石式張力センサ、計測装置等を図-1のとおりセットする。
- ② ロードセルの計測値を基準とし、载荷ステップは表-1のとおりとし、0~0.9Py(定格)まで行った。
- ③ 各载荷ステップでの張力およびひずみ(参考値)を計測

開発者による計測機器の設置状況

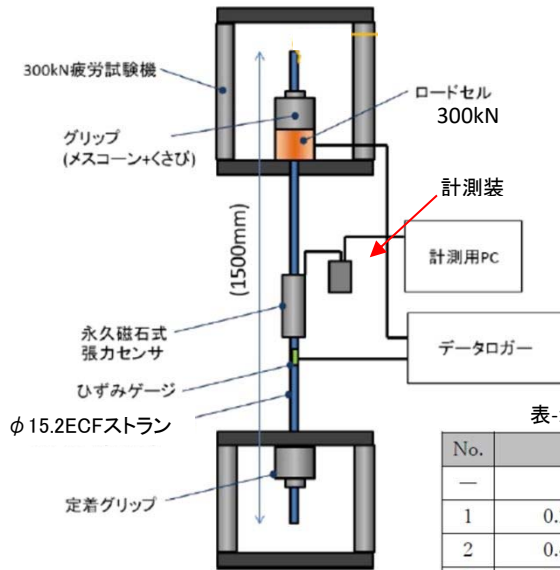


図-1 試験概要図

表-1 载荷ステップ

No.	試験機荷重
—	0 kN
1	0.2Py (44.4kN)
2	0.4Py (88.8kN)
3	0.6Py (133.2kN)
4	0.8Py (177.6kN)
5	0.9Py (199.8kN)



写真-3 試験実施状



写真-4 計測用PC

計測装置

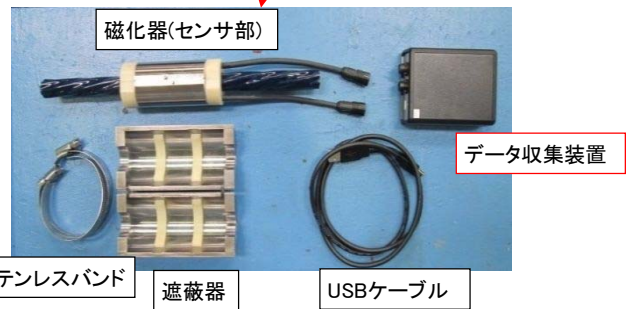


写真-5 計測装置およびデータ集装置の構成

表-2 φ15.2ECFストランドの機械的性質

	0.2%永久伸びに対する荷重 Py [kN]	引張荷重 Pu [kN]	伸び [%]
規格	≥ 222	≥ 261	≥ 3.5



写真-6 ひずみゲージの貼付け(両面)

計測結果の比較

1. 計測結果

- ・本技術およびロードセルでの計測値を表-3に示す。  
表中、測定誤差は定格(199.8kN)に対する百分率で表示している。
- ・誤差に関しては、短期で確認できる応力履歴性のみとし、定格の±3%以内としており、計測精度の確認ができた。

表-3 計測結果

ステップ	ロードセル	永久磁石式	計測誤差		参考:ひずみゲージ		備考
	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[μ]		
-	0	0	-	-	-1 4.7	2	(イニシャル)
1	44.4	40.6	-3.8	-1.90	1472 1396	1434	0.2Py
2	88.8	85.1	-3.7	-1.85	2969 2785	2877	0.4Py
3	133.2	130.6	-2.6	-1.30	4488 4211	4350	0.6Py
4	177.6	176.5	-1.1	-0.55	6007 5652	5830	0.8Py
5	199.8	200.4	0.6	0.30	6783 6390	6587	0.9Py

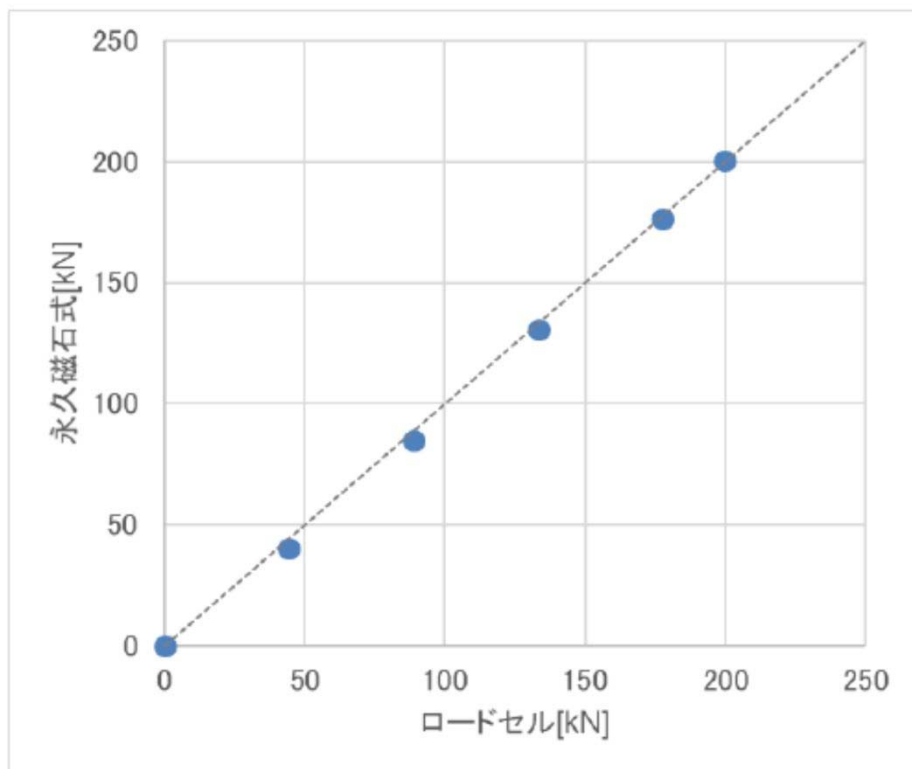


図-2 張力計測結果

# 確認シート

## ■計測・モニタリング技術（トンネル）

技術番号 TN030001-V0020

技術名 OSVを活用したトンネル附属物の監視技術

開発者名 パシフィックコンサルタンツ株式会社  
神戸大学OSV研究会

試験日 令和2年 1 月 27 日 天候 曇り 気温 8 °C 風速 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 可視光 試験フェーズ 2

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要



試験方法(手順)

- ① 計測器本体を、トンネル壁面に接着剤にて取り付け、センサーフィルムを本体のスリット部に差し込んだ状態で、模擬試験体の奥側鋼板に接着剤で固定する。(写真-3、写真-4)
- ② 鋼板間距離を測定しながら、板を固定した鋼板に1mmずつ変位を与える。本体はスリット部を挟んで光ファイバーが両側に伸びており、片方から光を入力すると、もう一方の光ファイバーから、スリットに差し込まれた板センサーフィルムに塗られた色の光が出力される。鋼板とともにセンサーフィルムが移動することにより、出力される色の変化を確認する。
- ③ 鋼板の移動量と出力される色の対応が、想定したものと同一か確認する。

開発者による計測機器の設置状況

写真-3

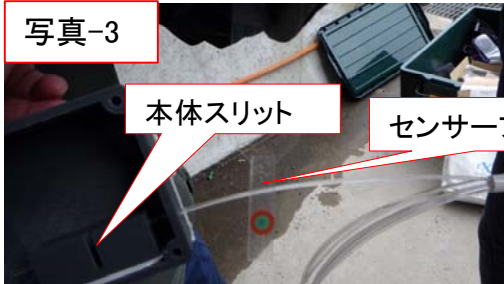


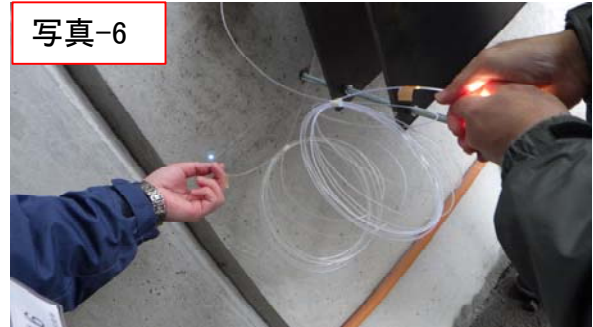
写真-4



写真-5



写真-6



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

写真-7



計測結果の比較

変位 (mm)	OSVセンサーの状況	備考
0		青色
1		青緑色
2		緑色
3		オレンジ色
4		赤色
5		白色 (LED懐中電灯色)

【性能(精度・信頼性)を確保するための条件】

性能を確保するためには、入力する光源が白色であること。また、高輝度のLED懐中電灯等であること。

【本試験時の条件】

模擬トンネルの坑口付近であるため、写真のような視認となった。また、5mmの変位を与えた際にはセンサーフィルム部の着色部を超えたため、白色(LED懐中電灯の光)となってしまった。

技術番号 TN030001-V0020

技術名 OSVを活用したトンネル附属物の監視技術

開発者名 パンフィックコンサルタンツ株式会社  
神戸大学OSV研究会

試験日 令和2年 1 月 28 日 天候 雨 気温 6 °C 風速 m/s

試験場所 福島テストフィールド 模擬トンネル

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 可視光 試験フェーズ 2、3

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

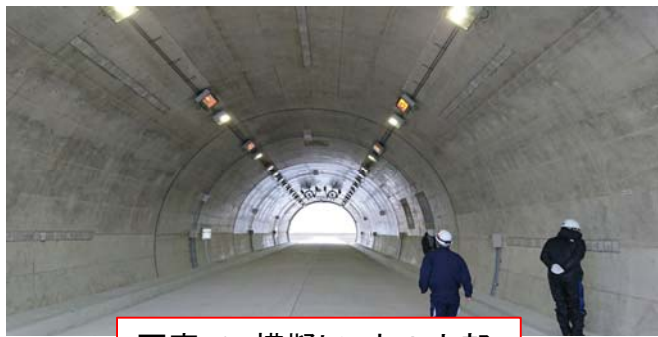


写真-1 模擬トンネル内部



OSVセンサー本体

写真-2 試験対象(照明灯具本体)



入力側光ファイバー

入力側光ファイバー

写真-3 光ファイバー設置状況(側壁)



試験方法(手順)

- ① 計測器本体を、トンネル壁面に接着剤にて取り付け、センサーフィルム(色が塗られた透明な板)を本体のスリット部に差し込んだ状態で、照明灯具本体の側部に接着剤で固定する。(写真-4)
- ② 光ファイバー2本をトンネル壁面に接着剤で固定し、側壁部まで配線する。
- ③ 照明灯具本体の上部の1方の取付ナットを外し、照明灯具本体の各取付部材の移動量をノギスにより測定し、出力される色の対応が、想定したものと同一か確認する。(写真-5、写真-6、写真-7)
- ④ 照明灯具本体の上部の2箇所取付ナットを外し、照明灯具本体に設置したセンサーフィルムの移動量と出力される色の対応が、想定したものと同一か確認する。

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、立会者による計測機器の設置状況

—

表-1 試験ケース

	内容	灯具変位	OSVセンサー発光色
Case1	①ナット撤去	①1.55mm	青緑色 (1.5mm程度)
Case2	①、②ナット撤去	①6.9mm、②5.0mm	白色 (4mm以上)
Case3	③ナット撤去	③0.02mm	青色 (変化なし)
Case4	③、④ナット撤去	③0.07mm、④0.04mm	青色 (変化なし)

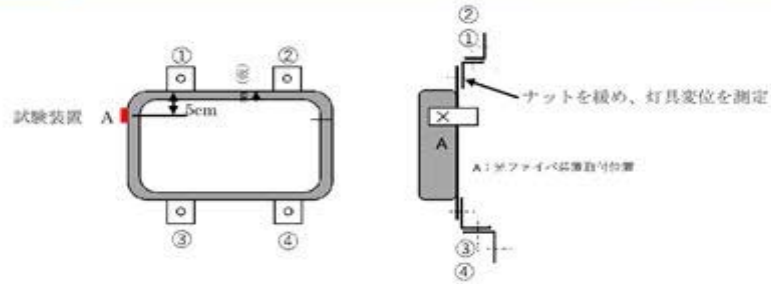
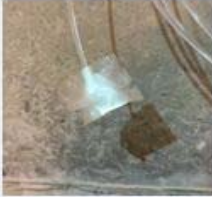


表-2 試験結果(出力状況)

Case	設置後	Case1	Case2
灯具変位	変位0mm	①1.55mm、②0mm ③0mm、④0mm	①6.9mm、②5.0mm ③0mm、④0mm
OSVセンサー 発色状況			
備考	青色	水色	白色

## 【試験結果】

取付部材の上部1箇所が脱落した場合に1.55mmの変位が発生し、OSVセンサーの発色が青から水色に変化することを確認した。また、概ね1mm程度の間隔で変位を検知できることを確認した。

上部2箇所が脱落すると最大6.9mmの変位が発生しOSVセンサーは白色となることを確認した。

## 【性能(精度・信頼性)を確保するための条件】

・入力する光源が白色であること。また、高輝度のLED懐中電灯等であること。

## 【本試験時の条件】

- ・模擬トンネルに設置された実際の照明灯具(ナトリウム灯)を用いた。
- ・取付部材の異常は、照明灯具の取付部材であるナットを取り外すことで再現した。
- ・上部のナットを外すと照明灯具に変位が発生し、OSVセンサーで異常を検知することができた。
- ・下部のナットを外した場合は、照明灯具に変位が発生しないため、目視による確認が必要と判断される。

技術番号 TN030001-V0020

技術名 OSVを活用したトンネル附属物の監視技術

開発者名 パンフィックコンサルタンツ株式会社  
神戸大学OSV研究会

試験日 令和2年 2月 7日 天候 晴れ 気温 5 °C 風速 m/s

試験場所 建設技術研究所 研究センターつくば

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 可視光 試験フェーズ 2

試験で確認する  
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

図-1 試験装置側面図

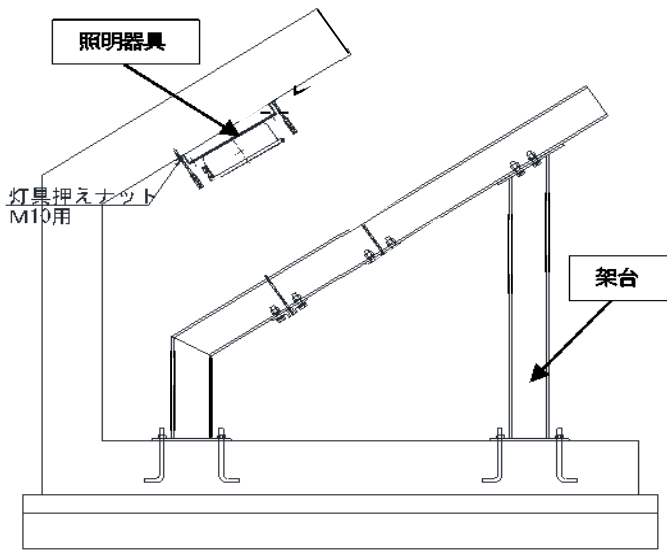


写真-1 試験装置写真



試験方法(手順)

- ① 計測器本体を、トンネル壁面に接着剤にて取り付け、着色したセンサーフィルムを本体のスリット部に差し込んだ状態で、照明灯具本体の側部に接着剤で固定する。(写真-2)
- ② 照明灯具本体の取付ナットを試験ケースに応じて外し、照明灯具本体の各取付部材の移動量をノギスにより測定し、出力される色の対応が、想定したものと同じか確認する。(写真-3)

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

表-1 試験ケースと結果

試験ケース	脱落位置	変位計測値 (ノギス計測)						OSVセンサー発光色	定期点検による判定区分
		①	②	③	④	a	b		
1	-1 ①	3.87	0	0	0	3.15	1.29	赤色	×
	-2 ①、②	15.99	13.17	0	0	10.77	12.39	白色	×
	-3 ①、③	11.43	0	7.78	0	13.47	4.93	白色	×
	-4 ①、④	3.93	0	0	0.9	2.66	1.44	オレンジ色	×
2	-1 ②	0	0.54	0	0	-0.35	0.04	青色	○
	-2 ②、③	0	0.24	0.2	0	0.07	0.07	水色	○
	-3 ②、④	0	9.67	0	12.92	-4.69	-4.33	緑色	×
3	-1 ③	0	0	0.22	0	-0.41	0	水色	○
	-2 ③、④	0	0	5.28	8.68	-0.6	-0.35	水色	×
4	-1 ④	0	0	0	3.97	-1.18	-0.17	水色	×

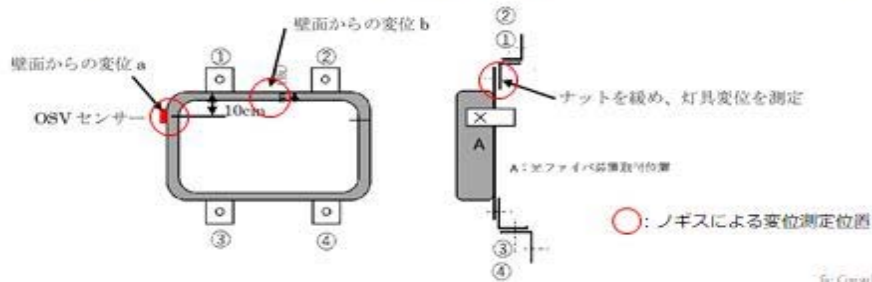


表-2 OSVセンサー発光状況例

Case	設置後	Case1-1	Case1-2
センサー部変位 a	0mm	3.15mm	10.77mm
OSVセンサー発光状況			
拡大写真			
備考	青色	赤色	白色

## 【試験結果】

福島テストフィールドにおける照明灯具より角度がついた状態の試験装置のため、下部のナットを緩めた場合でも変位を生じた。また、概ね1mm程度の間隔で変位を検知できることを確認した。

定期点検時の触診における×判定の場合には、発光色が変化していることを確認した。

## 【性能(精度・信頼性)を確保するための条件】

・入力する光源が白色であること。また、高輝度のLED懐中電灯等であること。

## 【本試験時の条件】

・試験装置に設置された実際の照明灯具(LED照明)を用いた。  
・取付部材の異常は、照明灯具の取付部材であるナットを取り外すことで再現した。  
・ナットを外すと照明灯具に変位が発生し、OSVセンサーで異常を検知することができた。

# 確認シート

## ■データ収集・通信技術

技術番号 CM010003-V0020

技術名 電源不要で変位・応力・荷重等のデータをスマホで確認可能な技術  
開発者名 CACH(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 構造物名 橋梁

カタログ分類 データ収集・通信 カタログ 検出項目 - 試験フェーズ 3

試験で確認する  
カタログ項目 現場での動作確認

対象構造物の概要

1. 試験橋梁の概要

- ・土木研究所管内 試験橋梁
- ・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)

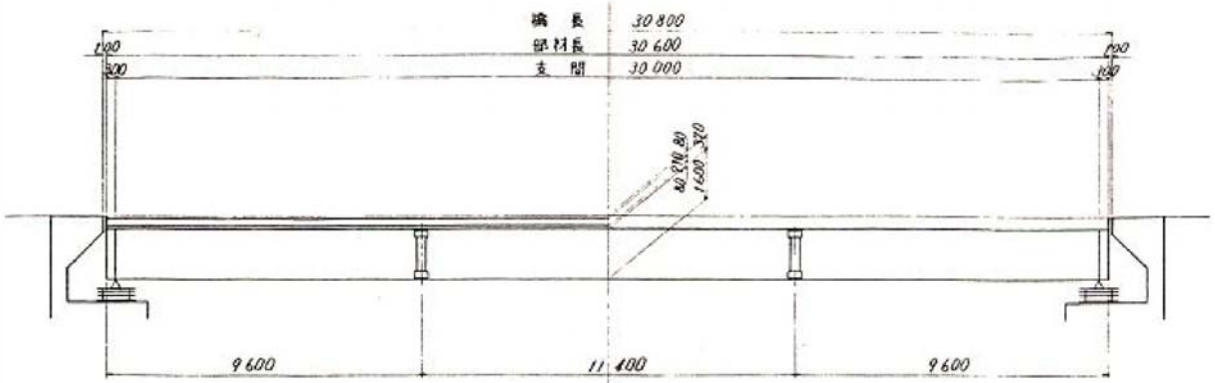


図-1 側面図

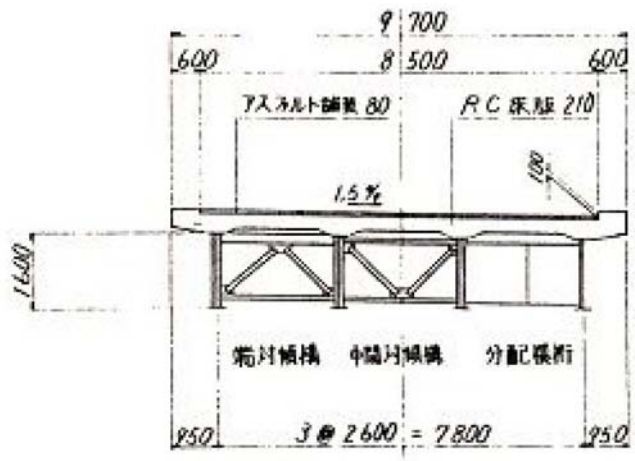


図-2 断面図



写真-1 側面

## 試験方法(手順)

- ① 金属板にセンサ(ひずみゲージ)を接着剤で貼り付け(写真-3)、通信機に接続(写真-4)する。
- ② センサ(ひずみゲージ)を取り付けた金属板を(写真-5)のように、強制変位を与え、通信間隔(3分毎)を維持する。
- ③ 強制変位を3分維持した後、除荷する。強制変位を与えた時刻、除荷した時刻を記録する。
- ④ 手元のPCにデータを送信させ、データ到着時刻と強制変位を与えた時刻とを比較し、整合を確認する。(写真-6)

## 開発者による計測機器の設置状況

### 1. 機器の構成および設置・伝送

- ・通信機本体にセンサ(ひずみゲージ等)を接続して使用する。(写真-2)
- ・通信機の設置は、鋼橋の場合はフランジ部へマグネットまたは接着剤で固定する。コンクリート橋の場合は桁部に接着剤またはねじ止め。
- ・取得したデータは、通信機本体内で圧縮し、(図-3)に示すように基地局、クラウド等を経由しPCなどの端末へ一定間隔(今回は3分間隔で設定)で送信される。

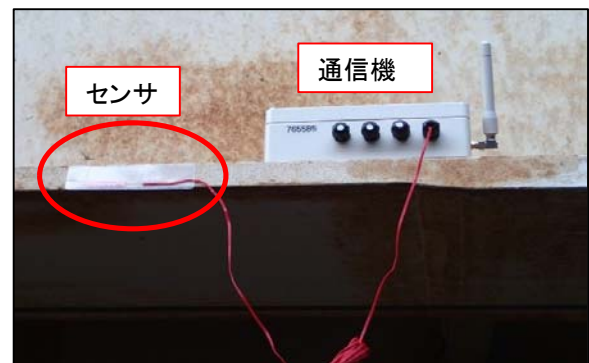


写真-2 機器の構成



※sigfox通信とはIoT向けの無線通信規格です。低消費電力で長距離伝送が可能です。

図-3 通信方法



比較対象を得るため、  
立会者による計測機器の設置状況

1. 金属板にひずみゲージを接着剤で貼り付け(写真-3)、通信機に接続(写真-4)する。



写真-3 センサ(ひずみゲージ)の貼付け



写真-4 センサと通信機の接続

### 計測結果の比較

1. 金属板に強制変位を与え時刻および除荷した時刻と手元PCのデータ到着時刻の整合を確認する。
2. データ到着時刻の確認

表-1に示すとおり、通信の確認ができた。

表-1 通信到着時刻

	強制変位時刻	通信到着時刻	備考 ひずみ( $\mu\epsilon$ )
強制変位前	—	16:45:02	-2,359
強制変位開始	16:47:00	16:47:39	-721
強制変位終了	16:50:00	16:50:16	-963
除荷	16:51:00	16:52:53	-2,223



写真-5 強制変位

sigfox到着時刻	データメモ	非常送信設定	通常送信/非常送信	Ch1 ゼロリセット	Ch1 ひずみ[ $\mu\epsilon$ ]	温度[ $^{\circ}\text{C}$ ]	湿度[%]
2020/01/20 16:52:53		非常送信しない	通常送信	<input type="checkbox"/>	-2223		
2020/01/20 16:50:16	載荷	非常送信しない	通常送信	<input type="checkbox"/>	-963	13.5	44
2020/01/20 16:47:39	載荷	非常送信しない	通常送信	<input type="checkbox"/>	-721	12.9	45
2020/01/20 16:45:02		非常送信しない	通常送信	<input type="checkbox"/>	-2359		
2020/01/20 16:42:25	ゲージ張替え	非常送信しない	通常送信	<input type="checkbox"/>	-2361	12.1	46
2020/01/20 16:36:18		非常送信しない	通常送信	<input type="checkbox"/>	-110	7.5	47

写真-6 通信結果(手元PCの画面)