技術番号	BR030001								
技術名	FBG光ファイバひず ステム (支承部の機	ファイバひずみセンサを用いた橋梁モニタリングシ 支承部の機能障害、ほか)					開発者名 三井住友建設株式会社		
試験日	平成 29年 12 月 11	日天候		気温	-	°C	風速	m/s	
試験場所	某橋梁(兵庫県)								
カタログ分類計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 支承部の機能障害、 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. 対象橋梁の概要

構造形式:PC単純T桁 支 間:26.0m 有効幅員:車道9m+歩道1.5m×2 桁 高:1.4m 架設年度:1962年(供用後、<u>58年経過</u>) <u>大型車混入率:18%</u> 2016年の定期点検:判定区分II(予防保全段階) ※エフロレッセンスが多数あるが、 ひびわれはほぼ確認されていない



2. モニタリングセンサの配置



試験	方法(手順)	技術	番号	BR030001			
1	FBG光ファイィ						
2	測定装置、記録装置、ポータブル電源の設置 ⇒24時間連続で、100Hzサンプリングで測定⇒測定終了 後、撤収						
3	測定時間中に	ニ、重量を測定した試験車両を橋梁上に走行 (通過時間は、ドライブレ	∽⊐ −ド	から記録する)			
4	測定頻度は、	基本は年1回とする。(本橋の初年度のみは、検証のため、年4回実施	してい	る)			









試験	訪法(手順)		技術番号	BR030002			
1	開発者側のカ]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 る。	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田	寺微動までの間(約5秒)計測す			
4	計測者は、記	ー 録し計測が正しく行われたか確認する。					
5	上記2~④を	- 予備を含み6回行った。					

1. 機器の構成と設置

 ①格子ターゲット(10mmピッチ) (変位計測箇所4カ所)
 ②カメラ・ライト(照射距離100m)
 ③ひずみセンサー
 ④PC(データ収集・カメラに接続) 写真-3 参照

2. 測定条件
 (1)計測スピード
 ・カメラ: 100fps
 ・ひずみセンサー: サンプリング周波数 100Hz
 3. ターゲット

格子ターゲット設置位置は、3箇所設置した。 測定点A 支承部から2.5m程度 測定点B 支承部から1.0m程度 (レーザー変位計設置位置の直上) 測定点C 支承部から0.5m程度



写真-3機器の構成と配置





技術番号 BR030003	
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	時代 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 ℃ 風速 1.9 m/s
試験場所 某橋梁(埼玉県)	
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目	支承の挙動 変位量・回転量 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(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主鈑桁橋 ・橋 長:74.100m ・支 間:24.550m ・計測対象:支点:A1 桁:G4 2.載荷試験の概要 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 	P1 P2 A2 G6 Image: G6 Image: G2 Image: G2
・ ・ ・ ・	- 5 具-1 橋梁外観 「「「」」」」 「「」」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」

試験	方法(手順)		技術番号	BR030003			
1	カメラ1, カメラ		य-2∼छ-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	き数セット行う。					

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) 1 カメラ1 橋軸方向 橋軸直角方向 から撮影 から撮影 Δ 写真-4 計測機器設置の様 回転rot(橋軸) 回転rot(橋軸直角) Ø Z方向 車両通過方向(橋軸直角) (方向(鉛直) 5向(橋軸) Z方向 、 X方向(橋軸直角) 車両通過方向 (橋軸) 0 解析領域 , Y方向(鉛直) 解析領域 Tdz[mm] 手前:桁間側 奥:桁端側 桁端個 焦点距離:50mm 焦点距離:25mm 撮影距離:1.13 m 撮影距離:0.94 m 計測対象表面の1画素サイズ:76µm 計測対象表面の1画素サイズ: 203µm 図-2 カメラ1の撮影画像・撮影条件 図-3 カメラ2の撮影画像・撮影条件





技術番号

BR030003

・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

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

δa=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) δb=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) δi=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 1-2	•	
	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= x=	0.00570 10.00	mm %	= (5.70	μ m)	
橋軸方向変位	なの相対差	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、 <mark>撮影距離約1mの時の結果</mark> 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= x=	0.12369 224.90	mrad %				
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)の相対表	※ただし、上記	記の結果は、 <mark>排</mark>	最影距離約1m	の時の結果で	ある。

	技術番号	BR030003
・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 ・その観点での検証結果を以下に示す。 	を定めている	5.
・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画素あたりのプ	たきさの約1/2	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203µm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 203µm × 1/30 = 6.7µm未満である必要あり →橋軸方向変位の差分は3µm <6.7µm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(10µm)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)		
<u>・回転量の計測精度は、0.2mrad程度</u> →橋軸方向回転量の差分は0.01mrad < 0.1 mradであることを確認。	波辺できた	

技術番号

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。



						技術番号	弓 BF	R030003	
・カタロ	<mark>」 グ記載値の</mark> 相	_{倹証(変位の}	<mark>相対差による</mark>	計測					
· 本	、 技術の計測	値と、リファレ	ノンス(非接触l	ノーザ距離言	+)との計測(直の			
木橋軸ブ	目対差の比較 「向の変位の相	を算出する 国対差の計測	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	mm	= (5.80	μ m)		
	x=	10.18	%						
	橋軸方向変位	なの相対差	Z mm(z %) =	0.0058	mm	(10.18		%)
	(光軸方向変位	立の相対差)	※ただし、上記	己の結果は、描	最影距離約1m	nの時の結果で	ある。		
- + 2 -	が記載値のも	⊊ ≡π							
・ リ タロ 南		^{央証}		ᄮᅀᆂᆍᠵ		10+++04			
•奥门	「さ方问(2方问)の変 位 計測	有度は、計測)	対象衣面での	1回茶の/こ	りの人でさの常	山/3栓皮	-	
●撮影跳 計測文	⊇離1.13mで焦 対象表面で1厘	ミ点距離50m 記事またり76	mレンズを使り um相当。	刊して撮影。					
橋軸方	司 原対 承 α C1回 系 の/ 59/ 5μm 相目。 ・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 ち向の計測対	対象表面での)1画素あたり	1/3程度) トの主公が					
→面内。 76µm	カ回の計測権 × 1/3 = 25.3	μm未満であ	、リファレンへ らる必要あり	この左方が					
→橋軸	方向変位の差	分は2μm <	<25.3μmである	ることを確認	0				
│ →奥行	iき方向(z方向	<u>])の変位量(</u>	<u>こ関して、</u>						
<u></u>	<u>コグ記載の精</u>	<u>度(100µm);</u>	が得られている	ることが確認	<u>できた</u>				



試験	方法(手順)	技術番号	BR030003				
1	カメラ1, カメラ						
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。						

1. 機器の構成と設置





計測結果の比較 技術番号 BR030003 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、レーザー変位計(Z2)の波形と酷似したことが確認できた。 カメラ1:主桁下フランジ下面 リファレンス Displacement[mm] 鉛直方向変位(距離880mm) (レーザZ2鉛直:距離1075mm) Displacement[mm] 0.2 12:01:47 1回目 0.2 12:02:54 10 0 0.0 WWW -0.2 -0.2 -0.4 -0.4 -0.6 -0.6 10 15 20 10 15 20 <u>12:13:43 2回員</u> 12:12:36 2回日 0.2 0.2 0 0.0 MM -0.2 -0.2 -0.4 -0.4 -0.6 -0.6 10 15 5 10 15 20 20 0 12:15:30 3回目 0.2 0.2 12:14:23 3回日 0 0.0 MAN -0.2 -0.2 -0.4 -0.4 -0.6 -0.6 10 15 20 10 15 5 20 12:17:36 4回首 0.2 12:16:19 4回日 0.2 0 0.0 MMM -0.2 ٩٨, -0. 2 -0.4 -0.4 -0.6 -0.6 10 15 20 10 15 20 5 12:19:37 5回目 0.2 0. 2 12:18:18 5回日 0 0.0 Man -0.2 -0.4 -0.2 -0.4 -0.6 -0.6 0 5 10 15 20 Time[s] 5 10 15 Time [= 20 0 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 1回目 2回目 3回目 4回目 5回目 12:02:54 12:13:43 12:15:30 12:19:37 距離 12:17:36 最大鉛直方向変位 370 -0.219 -0.208-0.219 -0.219 -0.219 (レーザ:Z1鉛直) 最大鉛直方向変位 -0.489 1075 -0.521-0.479 -0.521-0.500(レーザ:Z2鉛直) 最大鉛直方向変位 -0.060 0 -0.066 -0.077 -0.060-0.071(支承の変形:切片) レーザ2点間の傾き -0.000428 -0.000384 -0.000384 -0.000428 -0.000399 [鉛直変位/距離] リファレンス(レ 880 -0.437-0.404-0.415-0.437-0.422ザ2点からの換算値) 最大鉛直方向変位 880 -0.451-0.403-0.409-0.430-0.410(本技術) 差分(レーザ2点から -0.001 -0.006 -0.007 0.014 -0.012 の換算値-本技術) Ο カタログ記載の O O Ο Ο 精度を満たすか? (<0.033mm)(<0.033mm)(<0.033mm)(<0.033mm)

技術番号

BR030003

・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

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

δα=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) δb=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) δi=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) 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= x=	0.0092 2.18	mm %	= (9.2	μ m)
	鉛直方向変位	なの相対差	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







試験	方法(手順)	技術番号	BR030003				
1	カラーチャート						
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							



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值	G值	B值
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	朝中央の下面	5	





試験方法(手順)			技術番号	BR030004
1	事前にカメラ・	レンズのキャリブレーションを行っておき、所定の位置に設置	置する。	
2	計測対象まで	の距離(50m以内)と角度(45度以内)を計測		
3	テスト撮影(大 過とともに本持	、気揺らぎや振動などの影響がないか確認 1 分程度)後、合 最影(5分)を行う	図とともに車両	両を走行させ橋梁通
4	データをカメラ	っで取得後、インターネット回線で解析用PCに伝送し、PCでタ	処理、確認(5タ	}程 度)
5	上記34を5	回行う。		

- 1. 機器の構成と設置
- 写真-2 参照

①4Kカメラ1(撮影距離3m, 焦点距離40mm,水平角40°)
 4Kカメラ2(撮影距離9m, 焦点距離150mm,水平角-42°)
 ②三脚
 ③カメラ・ライト(照射距離100m)
 ④PC(データ収集・カメラに接続)



<u>写真-2 4Kカメラ1の設置</u>



写真-3 機器の構成





1.2変位の比較

・図6の表に、図5のグラフの最大値を示す。カメラ1(撮影距離3m,焦点距離40mm)、カメラ2(撮影距離9m, 焦点距離150mm)とリファレンス用センサとの変位の差の絶対値は、鉛直方向でカメラ1は平均0.04mm、カメラ 2は平均0.02mm、橋軸方向でカメラ1は平均0.02mm、カメラ2で平均0.03mmとなった。

鉛直方向

カメラ1(3m,40°)	センサ(A)	支承ドクター(B)	比較(A-B絶対値)
1回目	0.24	0.26	0.02
2回目	0.24	0.34	0.10
3回目	0.23	0.24	0.01
4回目	0.26	0.30	0.04
5回目	0.26	0.32	0.06
平均二乗誤差 (Ymm)=	0.04	(y%)	16.1

注:3mは対象からの距離、40°は橋軸方向に対するカメラ角度

カメラ2(9m,138°)	センサ(A)	支承ドクター(B)	比較(A-B絶対値)
1回目	0.24	0.22	0.02
2回目	0.24	0.25	0.01
3回目	0.23	0.25	0.02
4回目	0.26	0.24	0.02
5回目	0.26	0.26	0.00
平均二 乗 誤差 (Ymm)=	0.02	(y%)	6.7

注:9mは対象からの距離、138°は橋軸方向に対するカメラ角度

橋軸方向

カメラ1(3m,40°)	センサ(A)	支承ドクター(B)	比較(A-B絶対値)
1回目	1.24	1.21	0.03
2回目	1.30	1.28	0.02
3回目	1.18	1.18	0.01
4回目	1.25	1.24	0.01
5回目	1.29	1.30	0.01
平均二 乗 誤差(Xmm)=	0.02	(<i>x</i> %)	1.3

注:3mは対象からの距離、40°は橋軸方向に対するカメラ角度

カメラ2(9m,138°)	センサ(A)	支承ドクター(B)	比較(A-B絶対値)
1回目	1.24	1.24	0.00
2回目	1.30	1.32	0.03
3回目	1.18	1.18	0.01
4回目	1.25	1.24	0.01
5回目	1.29	1.35	0.06
平均二乗誤差(Xmm)=	0.03	(x%)	2.4

図-6 変位(最大値)の比較







試験	支法(手順)		技術番号	BR030004	
1	事前にカメラ	レンズのキャリブレーションを行っておき、所定の位置に設	置する。		
2	 ② 計測対象までの距離(50m以内)と角度(45度以内)を計測 				
3	3 テスト撮影(大気揺らぎや振動などの影響がないか確認 1 分程度)後、合図とともに車両を走行させ橋梁 通過とともに本撮影(5分)を行う				
4	データをカメラ	っで取得後、インターネット回線で解析用PCに伝送し、PCで	処理、確認(5	分程度)	
5	上記34を5	回行う。			

1. 機器の構成と設置



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-1,2を参照。測定機器の構成は、写真-3を参照



1.変位の比較

1.1桁中央部

・図3の表にの最大値を示す。カメラ1(撮影距離5.7m,焦点距離75mm)、カメラ2(撮影距離9m,焦点距離150mm)とリファレンス用センサとの変位の差の絶対値は、カメラ1は平均0.04mm、カメラ2(桁中

カメラ1(5.7m,13.3°)	リファレンス	支承ドクター	誤差(mm)
1回目	-4.378125	-4.32724	0.05
2回目	-4.4425	-4.38143	0.06
3回目	-4.335	-4.31185	0.02
4回目	-4.48875	-4.45928	0.03
5回目	-4.378125	-4.39438	0.02
平均二乗誤差=	0.04		0.908

カメラ2(11.2m,-6.2°)	リファレンス	支承ドクター	誤差(mm)
1回目	-4.378125	-4.35102	0.03
2回目	-4.4425	-4.39001	0.05
3回目	-4.335	-4.36416	0.03
4回目	-4.48875	-4.49508	0.01
5回目	-4.378125	-4.41651	0.04
平均二乗誤差=	0.03		0.681

カメラ2(4.2m,-6.2°)	リファレンス	支承ドクター	誤差(mm)
1回目	-3.146875	-3.08522	0.06
2回目	-3.135625	-3.09761	0.04
3回目	-3.0125	-3.07898	0.07
4回目	-3.2175	-3.14179	0.08
5回目	-3.18125	-3.16984	0.01
平均二乗誤差=	0.06		1.912

図-3 変位(最大値)の比較



★:カラーチャート貼付け位置

試験	方法(手順)	技術番号	BR030004
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	カメラでカラーチャートを撮影し、そのRGBを算出する。		
3	真値と比較し、階調判別が可能か確認する。		
4	①~③を3度比較する。		
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

技術番号

BR030004

市販の24色のカラーチャートを使用する。 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值		G值		B值	
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
計測結果の比較

色識別性能

- ■焦点距離:180 mm
- ■絞り: AUTO ■ISO値: AUTO 、
- ■フォーカス:AUTO mm
- ■照度:87 lx



照度(87lx)

技術番号

・24 色確認できた。

真 値





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	49	41	54	43	65		
A-2	80	85	80	95	78	103		
A-3	122	125	118	142	116	158		
A-4	161	179	157	190	154	206		
A-5	202	221	198	231	195	246		
A-6	249	247	242	255	238	255		
B-1	25	43	55	76	135	186		
B-2	57	60	146	167	64	107		
B-3	186	207	26	61	51	89		
B-4	245	234	205	220	0	80		
B-5	192	206	75	118	145	198		
B-6	0	49	127	189	159	245		
C-1	238	214	158	157	25	41		
C-2	157	150	188	190	54	96		
C-3	83	97	58	73	106	141		
C-4	195	208	79	101	95	132		
C-5	58	69	88	119	159	219		
C-6	222	225	118	147	32	55		
D-1	112	104	76	73	60	72		
D-2	197	183	145	151	125	144		
D-3	87	85	120	134	155	182		
D-4	82	85	106	116	60	85		
D-5	126	133	125	155	174	212		
D-6	98	130	187	218	166	220		

BR030004

技術番号	BR030005								
技術名	FBG方式光ファイバーセ	ンサー			開発者名	3 株式	式会社	共和電業	
試験日	令和2年 1 月 24 日	天候	晴	気温	9.7	°C	風速	—	m/s
試験場所	土木研究所構内 試験構	喬梁							
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	立 承部の根	幾能障害)	試験	区分析	標準∙現場	試験



試験	方法(手順)		技術番号	BR030005
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−6、図−4)	
2	合図と共に車 る。	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
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	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。		

1. 機器の構成と設置

①変位センサー(FGB方式光ファイバー,0~50mm)(橋軸方向 1ヶ所)
 ②変位センサー(ひずみ式,0~20mm)-ダミー(橋軸方向 1ヶ所)
 ③データロガー,PC(有線で接続,最大2km,写真-3)

- 2. 測定条件
 - ・サンプリング周波数100Hz
 ・試運転計測にて、試験橋梁 が走行車両により鉛直方向 より水平方向の変位が大き いことがわかったので、水 平方向の変位を計測した。



写真-5 デーロガー、PCの設置







表-1 最大変位量の比較

センサ校正試験 技術番号 BR030005 【参考資料】 FBG方式光ファイバーセンサー 校正試験 (株)共和電業 営業技術部 FBG変位センサーを校正作業を実施した。 条件および結果について、下記に示す。 1. 条件 センサー容量 $\begin{array}{rrrr} 0 & \sim & 50 {
m mm} \ 5 & \sim & 45 {
m mm} \end{array}$ 校正範囲 Comm、50mm付近では、直線性が得られなかったため 5~45mmの範囲で校正を実施した。 5点計測(当社のひずみセンサーと同様) サンプリング周波数 1000Hz 各点1秒間(平均値を採用) 室温20℃、湿度40% 校正方法 計測方法 集録時間 計測環境計測場所 室内 2. 計測結果 計測結果は、下記、表・グラフの通り <u>変位量:y(mm)</u>光波長データ:x(nm) 3.432 5.292 7.146 9.000 10 20 30 40 50 10.847 60 y = 5.394164x - 8.532687 50 40 変位量(mm) 30 20 0 2 10 12 光波長データ(nm) 光センサー 校正グラフ 上記、結果より、 y=5.394164x-8.532687 A=5.394164(mm/nm)=0.00539(mm/pm) → 検出感度 B=-8.532687 測定条件設定時に、センサー校正係数として、A,Bの値を入力する。

BR030005



※ 注意点 ブロックゲージ、変位計のロット部の高さを一定にする必要があり、 ブロックゲージ固定用に台座を用意した。

技術番号	BR030006										
技術名	IoTカメラを用いた	支承機能	ミモニタリ	レグシステム		F	開発者名	株王	代会社イク	フシス	
試験日	令和2年 1 月	15 日	天候	晴れ		気温	10	°C	風速	1	m/s
試験場所	施工技術総合研究	名所									
カタログ分類	計測・モニタリング	をしんしょう うちゅう うちゅう うちゅう うちゅう うちゅう うちゅう うちゅう うち	」タログ	検出項目	ゆるみ	▸脱落		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、色識別性能

対象構造物の概要

※検証試験体

架台からの長さの違う六角ボルトを設置。





試験	方法(手順)	技術番号	BR030006				
1	計測器のセット(写真−1) 被写体から0.5mの位置に点検支援技術ロボットを4台セット						
2	2〕 IoTカメラを供試体のまわりに4台設置し、供試体を撮影(写真-2)						
3	供試体の撮影画像の確認(写真-3)						
4	後日、計測結果を整理し、ボルトの突出長を確認する。						







比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

計測精度

各ボルトの架台から六角ボルトの付け根までの実測値を真値とする。



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況		技行	術番号	ВІ	R030006
色識別性能 市販の24色のカラーチャートを使用する。 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。 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ A B C 0	A-1 A A-2 A A-3 A A-5 A B-1 B B-2 B B-3 B B-4 B B-5 B C-1 C C-3 C C-4 C D-1 D D-3 D D-5 C	具 43 43 80 122 161 202 249 25 57 186 245 192 00 238 157 83 195 58 222 112 197 87 82 126	値 G値 41 80 118 157 198 242 55 146 205 75 127 158 188 58 79 88 118 76 145 120 106	B値 43 78 116 154 195 238 135 64 51 00 145 159 25 54 106 95 159 32 60 125 55 60 174	
	D-6	98	187	166	ļ

計測結果の比較	技術番号	BR030006
 計測精度 ●撮影速度: - m/s ●被写体距離: 0.5 m ●照度: 126.5 k ●風速: 1.0 m/s ●気温: 11.6 ℃ ●レンズ焦点距離: 3.6 mm ●シャッター速度: 1/500~1/40(自動調整) ●絞り: f 1.2 ●ISO値: 100~3200(自動調整) 、 ●フォーカス: 被写体距離500mm以上(自動調整) mm 、 	به ۲۵۰۰ میں ۲۵۰۰ میں ۲۵۰۰ میں ۲۵۰۰ میں	51.4 51.42
計測値 ① ② ③ ボルト高さ(mm) 0.0 10.0 31.00 計測値 0 9.5	30.7	④ 52.0 51.4

計測結果の比較		技術番号	BR030006
色識別性能			
■撮影速度: -	m/s		
■被写体距離: 0.	ō m ■照度:126.5 lx ■風速:1.0 m/s		
■気温: 11.6 °	C		
■レンズ焦点距離	3.6 mm ■シャッター速度:1/500~1/40(自動調整)	秒	
■絞り:f 1.2	■ISO值: 100~3200(自動調整) 、		
■フォーカス: 被	写体距離500mm以上(自動調整) mm 、		



開発者撮影



	検証値									
	R	値	G	値	B値					
	真値	計測値	真値 計測値 耳		真値	計測値				
A-1	43	45	41	45	43	43				
A-2	80	93	80	97	78	98				
A-3	122	141	118	146	116	150				
A-4	161	177	157	182	154	188				
A-5	202	204	198	212	195	215				
A-6	249	228	242	233	238	237				
B-1	25	31	55	90	135	194				
B-2	57	55	146	204	64	74				
B-3	186	207	26	0	51	41				
B-4	245	239	205	225	0	4				
B-5	192	217	75	74	145	182				
B-6	0	12	127	176	159	204				
C-1	238	242	158	190	25	6				
C-2	157	178	188	230	54	8				
C-3	83	110	58	67	106	149				
C-4	195	230	79	76	95	114				
C-5	58	69	88	120	159	212				
C-6	222	225	118	120	32	3				
D-1	112	142	76	93	60	78				
D-2	197	221	145	170	125	153				
D-3	87	106	120	163	155	208				
D-4	82	89	106	128	60	45				
D-5	126	147	125	157	174	219				
D-6	98	98	187	220	166	199				

技術番号	BR030006							
技術名	IoTカメラを用いた支承	機能モニタ	ノングシステム		開発者名	3 株式	式会社イクシス	ζ
試験日	令和2年 1 月 15 日	3 天候	晴れ	気温	10	°C	風速	1 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	検出項目は	るみ・脱	落	試験	区分標準詞	、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

※検証試験体

架台からの長さの違う六角ボルトを設置。





試験	方法(手順)	技術番号	BR030006				
1	計測器のセット(写真−1) 被写体から0.5mの位置に点検支援技術ロボットを4台セット						
2) IoTカメラを供試体のまわりに4台設置し、供試体を撮影(写真-2)						
3	供試体の撮影画像の確認(写真-3)						
4	後日、計測結果を整理し、ボルトの突出長を確認する。						







比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

計測精度

各ボルトの架台から六角ボルトの付け根までの実測値を真値とする。



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況		技	術番号	BF	R030006
 <u> </u>	する。 注提供しているRGB値を真値とする。 4 5 6 A-1 A-2 A-3 A-4 A-5 A-6 B-1 B-2 B-3 B-4 B-5 B-6 C-1 C-2 C-3 C-4 C-5 C-6 D-1 D-2 D-3 D-4	真 R値 43 80 122 161 202 245 225 57 161 202 245 225 161 202 245 245 225 192 238 192 238 195 58 2222 112 197 87 87 87 87 87 87 87 87 87 8	値 G値 41 80 2118 157 198 2242 555 2155 2055 2055 2055 2055 2055 2055 205 20	B値 43 78 116 154 195 238 135 64 51 0 145 159 25 54 106 95 554 106 95 159 32 60 125 60	
	D-5	126	5 125	174	

計測結果の比較	技術番号	BR030006
 計測精度 ■撮影速度: - m/s ●被写体距離: 0.5 m ●照度: 126.5 k ●風速: 1.0 m/s ●気温: 11.6 °C ■レンズ焦点距離: 3.6 mm ●シャッター速度:1/500~1/40(自動調整) ●絞り: f 1.2 ●ISO值: 100~3200(自動調整) ●フオーカス: 被写体距離500mm以上(自動調整) mm 	秒 2:: 0 () () () () () () () () () () () () () (51.4 51.42
計測値 ③ ③ 1 ③ ③ ③ 1 ○ ○ ○ 計測 ○ ○ ○	30.7	④ 52.0 51.4

計測結果の比較		技術番号	BR030006
色識別性能			
■撮影速度: -	m/s		
■被写体距離: 0.	ō m ■照度:126.5 lx ■風速:1.0 m/s		
■気温: 11.6 °	C		
■レンズ焦点距離	3.6 mm ■シャッター速度:1/500~1/40(自動調整)	秒	
■絞り:f 1.2	■ISO值: 100~3200(自動調整)		
■フォーカス: 被	写体距離500mm以上(自動調整) mm		



開発者撮影



検証値										
	R	値	G	値	B値					
	真値	真値 計測値		計測値	真値	計測値				
A-1	43	45	41	45	43	43				
A-2	80	93	80	97	78	98				
A-3	122	141	118	146	116	150				
A-4	161	177	157	182	154	188				
A-5	202	204	198	212	195	215				
A-6	249	228	242	233	238	237				
B-1	25	31	55	90	135	194				
B-2	57	55	146	204	64	74				
B-3	186	207	26	0	51	41				
B-4	245	239	205	225	0	4				
B-5	192	217	75	74	145	182				
B-6	0	12	127	176	159	204				
C-1	238	242	158	190	25	6				
C-2	157	178	188	230	54	8				
C-3	83	110	58	67	106	149				
C-4	195	230	79	76	95	114				
C-5	58	69	88	120	159	212				
C-6	222	225	118	120	32	3				
D-1	112	142	76	93	60	78				
D-2	197	221	145	170	125	153				
D-3	87	106	120	163	155	208				
D-4	82	89	106	128	60	45				
D-5	126	147	125	157	174	219				
D-6	98	98	187	220	166	199				



試験	支法(手順)		技術番号	BR030006				
1	① 開発者側の変位計とリファレンス用機器を所定の位置に設置(写真-3~8)							
2	合図とともに車両(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							





写真-5 機器の構成と配置(G2桁)



写真-6 撮影ターゲット





計測結果の比較	交			技術番号	BR030006
.計測結果					
1回日 11:31:45	2回日 11:33:44	3回日 11:35:32	4回日 11:37:25	5	回日 :39:21
動的変位 G2x (1 シート目の値)	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
(橋軸方向)	0.+00	0.400	0.400	0.400	0.400
動的変位 G2z (2 シート目の値)	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
(鉛直方向)					
ビジゼル麻像度 (mm/pix計算結果)	0.400	11	11	11	11
変位前の画像					-
変位後の画像 (最も変位した画 像・エッジ重畳後)					-
変位前の画像 (スケール部分拡 大・エッジ重畳後)	4 0 1			6 0 1	
(スケール部分拡 大・エッジ重量後) 1回目 120259 600支付 G2 / (1)	20 H 120504	1000 P	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		50 H 12:10:10
ノート目の値)	-0.592	-0.592	-0.888	-0.8	88 -0.
(橋軸方向) 助的変位 G2z (2					
ンート目の値) (約束支向)	-0.592	-0.592	-0.592	-0.5	-0
ビクセル解像度					52 0.
	0.296	"	11	"	//
mm/piX計算稿集) 変位前の画像	0.296		"	JI	
mm/pix計算新集) 変位前の画像 変位後の画像 量も変位した画 象・エッジ重畳後)	0.296	n La la	"	J.	
mm/pixit弹新集) 変位前の画像 変位後の画像 墨も変位した画 像・エッジ重畳後) 変位前の画像 (スケール部分拡 大・エッジ重畳後)	0.296	"		<i>y</i>	

計測結果の比較								ł	支術番号	弓	BR0	30006	
■撮影速度: - m	/s												
■被写体距離:1.5 m	■照	度: 17	'9.3 lx	■厘	虱速:-।	m/s							
■気温: 5.1 ℃													
■レンズ焦点距離: 自動 ■シャッター速度: 自動													
■絞り: 自動 ■ISO値: 自動													
■フォーカス:オートフォーカス													
(1) 橋軸方向の変位													
・変位の相対差	による	計測制	青										
・本技術の計測	値と、	ノファレ	シス()	非接触	レーサ	距離詞	#)との	計測値	回の				
相対差の比較	を以下		こ基づ	き算出	する								
X (mm)	$=\sqrt{\frac{\delta_{c}}{\delta_{c}}}$	1 ^{°+δ} b ^{°-} n	++δ _i *										
r (%)=	δ_a^2	+8 _b ² +	$+\delta_i^2$	(A+B)	++I)	× 10	n						
δa=検証側技術	_√ テ <i>៲こよる</i> ネ	n 別定値(1	。 1 <i>回目)</i> -	- <i>当該打</i>	n) 支術によ	る測定の	。 值(1回目	7)					
δb=検証側技術 δi=検証側技術	行による》 による測	別定値(2 1)定値(n	2 <i>回目)-</i> <i>同目)-</i>	- <i>当該打</i> - <i>当該扶</i>	<i>支術によ</i> □ 術によ	る測定(る測定(i	値(2回目	7) ')					
A=検証側技	荷による	。 別定値 5測定値	ロロ/ [(1回目) [(2回日))			_ (,, , , , , , , , , , , , , , , , , ,	/					
日本語(例) 日本語(例) 「一本語(例) 「一本語(例) 「一本語(例)」	がたよる 術による 日対主(<i>測定値</i> 別定値	(2回日) (n回目) 站田)									
1同种力问00发过001	리지포이	70 / <u>R</u> 11	ካጙ										
サンブル数	1	0							単位:	mm	T		
			G1支承	k				G2支承	k				
	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	-0.606	-0.604	-0.603	-0.631	-0.606	-0.530	-0.537	-0.521	-0.524	-0.521			
	-0.592	-0.592	-0.888	-0.888	-0.888	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400			
	-0.014	-0.012	0 285	0 257	0 282	-0 130	-0 137	-0 121	-0 124	-0 121			
	0.011	0.012	0.200	0.207	0.202		0.107	0.121	0.121	0.121			
X=	0.1	/53	m	Im		= (17	5.3	μ	m)		
x=	30.	85	(%									
橋軸方向変化	立の相対	时差	X mm((x%)=	0.1	753	m	ım	(30.85		%)
			a	8 /_ P									
<u>→奥行き</u> 精度(0.	<u>万问(Z</u> 18mm	<u>万同)(</u> (30.9%	<u>り変位</u> 6))が1	<u>重に</u> 関 导られ	<u>して、</u> ている	ことが	確認で	きた					

計測結果の比較 技術番号 BR030006 (2) 垂直方向の変位 ・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 (mm) = $\sqrt{\frac{\delta_a^2 + \delta_b^2 + \dots + \delta_i^2}{n}}$ x (%) = $\sqrt{\frac{{\delta_a}^2 + {\delta_b}^2 + \dots + {\delta_i}^2}{n}} \div \left(\frac{A + B + \dots + I}{n}\right) \times 100$ δα=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) δb=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) δi=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 G2支承 G1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 -0.386 -0.414 -0.418 -0.425 -0.402 -0.369 -0.363 -0.372 -0.364 -0.377 計測結果 -0.592 -0.592 -0.592 -0.592 -0.592 -0.400 -0.400 -0.400 -0.400 -0.400 差分 0.206 0.178 0.174 0.167 0.190 0.031 0.037 0.028 0.036 0.023 = (131.7 Z= 0.1317 mm μm) 33.84 % z= 垂直方向変位の相対差 Zmm(z%)= 0.1317 33.84 % () mm →奥行き方向(z方向)の変位量に関して、 精度(0.13mm(33.8%))が得られていることが確認できた

	_								
技術番号	BR030007	7							
技術名	橋守疲労セ 技術	ンサーに	よる橋梁の疲	労損傷度モニ	ニタリンク	開発	者名 守	定非営利 支援セン	活動法人 橋 ター
試験日	2001年	月	日天候		4.5	記温	°C	風速	m/s
試験場所	法政大学工	学部							
カタログ分類	[計測・モニタ	リング技	術 カタログ	検出項目	疲労損	傷度	試験	区分	_
試験で確認 カタログエ	図する 頁目 計測	精度							
対象構造物	の概要								
							_		
	0.0						試	験体寸法 :	116 × 19 × 800
							材	質:SS400	
	<		80	0.0		\longrightarrow	\Leftrightarrow 19.0		
						unit: r	nm		
			試験体の	寸法					
						-	1 202		

試験体の写真

試験	(方法(手順)		技術番号	BR030007				
1	〕 〕 試験体へ橋守疲労センサーを接着							
2	② 疲労試験機へ試験体をセット							
3	疲労試験、センサーの亀裂進展量の測定							
4	試験結果の検証							
5								



疲労試験の様子

デジタルマイクロスコープによる亀裂進展量測定の様子

計測結果の比較

技術番号



技術番号	BR030007									
技術名	橋守疲労センサーによる 技術	リング	開発者名	5 特) 守:	定非営利 支援センタ	活動法人 9一	橋			
試験日	平成15年 2 月 17 日	天候	晴れ	気温		℃ 風速		r	m/s	
試験場所	某橋梁(埼玉県)									
カタログ分類	計測・モニタリング技術	カタログ	検出項目のの	ぎ 労損傷)ひずみ(度/2点間 (伸縮量)	試験	区分現	見場試験		

TIN

試験で確認する カタログ項目 動作確認(精度以外)

対象構造物の概要

1. 対象橋梁の概要

構造形式:単純合成桁(4主桁)

支間:30.9m

(交通量が多く試験施工時のアクセスが良好なことで選び

2. センサーの配置



試験	方法(手順)		技術番号	BR030007				
1	① 疲労センサーの設置(接地面ケレン、接着養生、防水処理)							
2) ひずみゲージによる応力測定(疲労センサーが正常に動作しているか確認 サンプルレート200Hz)							
3	モニタリング得	^{見始} 疲労センサー及び比較用にヒストグラムレコーダに	よる応力頻度	測定				
4	疲労センサー及びヒストグラムレコーダ回収(モニタリング期間2003/2/17~2004/2/26)							
5								





技術番号 計測結果の比較 BR030007 2. 疲労センサーから求める疲労損傷度 疲労センサーの亀裂進展量を顕微鏡により観察 表-1 亀裂長さの測定結果 0.43mm G4 G1 標準 0.08

矩形

シャルピー

x150 写真-5 疲労センサー亀裂観察(G1矩形削り型)

亀裂進展量から疲労損傷度($\Sigma \sigma^3 \cdot n$)を求める

BMO4

表-2 疲労センサーの亀裂進展量から求める疲労損傷度と応力頻度測定結果との比較

0.43

0.18

0.20

	G1	G4
応力頻度測定結果	5. 32E+08	7. 22E+08
標準		2. 67E+08
(センサー/頻度)		37%
矩形	5. 30E+08	2. 47E+08
(センサー/頻度)	100%	34%
シャルピー	2. 22E+08	
(センサー/頻度)	42%	

3. モニタリング結果

表-2に示すように、疲労センサーの亀裂進展量から疲労損損傷度を求めることができ、簡易な応力頻度測定と しての実用性を確認した。

なお応力頻度測定結果と比較すると、疲労センサーの疲労損傷度は応力頻度測定結果の34~100%であった。こ れは図-1~2の赤線で示すように、低い応力範囲の疲労損傷度の全体に占める割合が大きいためである。例え ばF継手(変動応力での打切り限界21N/mm²)を想定する場合、今回の応力頻度測定結果では打切り限界以下の 疲労損傷度が約8割を占める)。

したがって、応力レベルや想定する継手強度に応じて疲労センサーの感度を調整することで、さらに精度を向上さ せることができると考えられる。

技術番号	BR030008									
技術名	たわみ計測による耐荷性	開	発者名	(株)	TTES/	(日本工)	営(株)			
試験日	平成28年 6 月 14 日	天候	晴れ	気温		20.0	°C	風速		m/s
試験場所	試験場所 某橋梁(富山県)									
カタログ分類	計測・モニタリング技術	カタログ	検出項目た	りみ			試験	区分	_	

試験で確認する カタログ項目

る 計測精度, 動作確認

対象構造物の概要

- 1. 橋梁の概要
 ・構造形式:T桁RC橋
- ・橋 長: 72.9m ・支 間: 12m ・有効幅員: 6.9m
- 1,331(1)(1)
 2. 載荷試験の概要

①車両走行試験
 荷重車:
 トラック (7.94t)
 走行速度:20km/h

(図-3参照)

②計測対象箇所 支間中央
1)加速度(図-2の■位置)
2)たわみ量(図-2の▲位置)



図-1 対象橋梁(T橋)



図-2 対象橋梁側面



図-3 載荷車両と載荷試験の様子

試験	方法(手順)	技術番号	BR030008		
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(図-2)				
2	合図と共に載荷車両を走行(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				

1. 機器の構成と設置

図-4にセンサ配置状況を示す。精度検証のため、加速度計と変位計は同じPCに有線と無線接続を行い、時刻を同期して取得した。





図-4 センサ配置状況

比較対象を得るため、 検証用変位計の設置状況

 機器の設置 たわみ測定:CDPゲージ(接触式変位計) 取付け位置を図-5、6に示す。 CDPゲージはT桁に設置したカーボンロッド を橋面下まで設置した。



図-5 測定機器の設置(詳細)



図-6 測定機器の設置(全体)





写真-1 車両載荷(20t)

写真-2 測定対象桁及びたわみ測定位置

試験方法(手順)			技術番号	BR030008		
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、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。				



1. 機器の設置



写真-6 CDPゲージによる測定

写真-7 測定機器


技術番号	BR030009										
技術名	光学振動解析技行 横揺れ・ひびわれ	術【動画 ,開閉量	画像による の計測技	橋梁の活荷重カ 術】	こわみ・	開発	渚名	日才	□電気株式	代会社	
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	某橋梁(埼玉県)										
カタログ分類	計測・モニタリング	が技術	カタログ	検出項目	を承の挙 変位量・回	動]転量	i	試験[区分 -		



写真-3 測定対象の支承

※一般走行車両を利用
 速度:およそ20km/h
 写真-2 車両載荷の様子

試験	方法(手順)		技術番号	BR030009			
1	カメラ1, カメラ	- i2,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。					

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)



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況		技術番号	BR030009				
 1.機器の設置 ①上沓鉛直変位センサ(桁間 ②上沓鉛直変位センサ(桁端 ③橋軸変位センサ:接触式変 取付け位置は、写真-5、図-4をなお、上沓回転角は以下の式 上沓回転角の算出式 上沓回転角(rad)(桁端側へ 	側):接触式距離計 側):接触式距離計 位計 参照、計測条件は表-1を参照。 を用いて算出した。 の回転角を正とする。)						
=tan ⁻¹ [{上香鉛直変位(桁 正	間側:①)-上杏鉛直変位(桁端側:②)}/測定間 「一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	隔(:327mm)] サ					
←桁端側 回転計測 (上杳) (上杳) (上杳) (上杳)		→ (計測 ? ランジ)					
表-1 リファレンスの計測条件							
冬件道日	内容						
宋世復日	四音						
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	0				
計測周波数 100Hz							
21-301/24 12-304 12-30112	(11:20)時占で今恋坊計の計測結ち 0 にわい	トレアから計測	<i>b</i>				
訂例 個 訂例開列	11:30/時点で主変性計の計例値を U にてツ	トレモから計測	τ.				
セッティング 開始し,	16:32 の計測終「まで計測値を0 にリセットせ	すに計測を行う	2 .				



技術番号

BR030009

・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

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

δα=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) δb=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) δi=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=	0.0057	mm	= (5.7	μ m)	
	x=	10.00	%					
	橋軸方向変位	なの相対差	X mm(x %) =	0.0057	mm	(10.00	%)
	(面内方向変化	立の相対差)	※ただし、上言	記の結果は、 <mark>推</mark>	最影距離約1m	の時の結果で	ある。	
回転角	9(橋軸方向)の	相対差の計測	则結果					
	サンプル数	4				単位:mrad		

1221034	Т				-H- I.	2.mau		
	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	-0.060	-0.040	-0.040	-0.080				
計測結果	-0.100	-0.040	-0.240	-0.220				
差分	0.040	0.000	0.200	0.140				
X=	0.12369	mrad						
x=	224.90	%						
]転角(橋軸方	「向)の相対差	R mrad(r %) =	0.124	mrad	(224.90	%	
(回転角(橋軸	方向)の相対表	2※ただし、上記	記の結果は、持	最影距離約1m	nの時	 Fの結果であ	る。	

	技術番号	BR030009
・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 ・その観点での検証結果を以下に示す。 	を定めている	5.
・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画素あたりのス	きさの約1/1	5~1/30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203µm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画素あたり約1/10~1/30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 203µm × 1/15 = 13.5µm、203µm × 1/30 = 6.7µm すなわち6.7~13.5µm程度以下である必要あり →橋軸方向変位の相対差は5.7µm < 6.7µm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(10µm)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)		
<u>・回転量の計測精度は、0.20mrad程</u> 度 →橋軸方向回転量の相対差は0.124 mrad < 0.20mradであることを確認。		
│ <u>→回転量に関して、カタログ記載の精度(0.20mrad)が得られていること</u> た	<u> </u>	

技術番号

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-6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-6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。



						技術番号	弓	BR030009	Э
・カタロ	<mark>」 グ記載値の</mark> 相	_{検証(変位の}	<mark>相対差による</mark>	<mark>計測</mark>					
• *	5技術の計測	値と リファレ	シス(非接触	レーザ距離言	もとの計測値	直の			
林	目対差の比較	を算出する							
「同判」	」回の愛泣の↑ サンプル数	3月対左の計測で	后未			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=	0.0058	mm	= (5.8	μm)		
	x=	10.18	%	·		·			
	橋軸方向変位	なの相対差	Z mm(z %) =	0.0058	mm	(10.18		%)
	(光軸方向変位	立の相対差)	※ただし、上言	己の結果は、描	最影距離約1m	の時の結果で	ある。		
<u>. 十次口</u>	が記載値のも	⊊≣ת							
<u>- ハマロ</u> 。 南 公		ᄬᇔ	则辉中(十二)	솔 카 슈 丰 ㅈ -	なの1両手も	たいのナキさ	不約 4/1	和曲	
· 火 1	Jさカ内(2カド 5離1 12mで併	リの変化する	则相)とし、計。 mlu、ずたは	別対象衣画	での「回系の	にりの人ささ	UJ ホリエ/ :	5 住皮	-
□ 「掫彰山 計測文	2確1.13mで度 対象表面で1値	、京 邱 離 50m 回素あたり76	mレノスを使. um相当。	用して掫彰。					
・橋軸ク	う向変位は奥	行き方向(Z7	5向)変位量と	して計測					
(計測	精度は計測対 ち向の計測類	対象表面での ■ 産 立 証 /= /+)1画素あたり	1/3程度) との美公が					
76μm	× 1/3 = 25.3	μm未満であ	、うううレンス る必要あり	この左方が					
→橋軸	→橋軸方向変位の相対差は 5.8 µm < 25.3µmであることを確認。								
→奥行	→奥行き方向(z方向)の変位量に関して、								
<u>אפר </u>	<u>コグ記載の精</u>	<u>度(100µm);</u>	が得られてい	ることが確認	<u> できた</u>				



試験	(方法(手順)		技術番号	BR030009			
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(図-4及び写真-	-3~写真-4)				
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。					



比較対象を侍る7500、 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:レーザ変位計 取付け位置は、図-1~3、写真-3及び写真-6を参照。測定機器の 構成は、写真-5を参照





技術番号

BR030009

・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

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

δa=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) δb=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) δi=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) 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(75mmレンズ利用時)

F

サンプル数

単位:mr

	リンノル奴	5				車≌∶mm			
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目			
	リファレンス	-4.303	-4.442	-4.269	-4.429	-4.499			
	計測結果	-4.298	-4.452	-4.297	-4.424	-4.518			
	差分	-0.005	0.010	0.028	-0.005	0.019			
	X= x=	0.01609 0.37	mm %	= (16.09	μ m)		
	鉛直方向変位	なの相対差	Z mm(z %) =	0.0161	mm	(0.37	%)	
60.	(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。 鉛直方向の変位の相対差の計測結果(25mmレンズ利用時)								
鉛	亘万回の変位	の相対差の計	†測結果(25mr	nレンス利用時	手)				
鉛	直方回の変位 サンプル数	の相対差の計 5	†測結果(25mr	nレンス利用時	〕)	単位:mm			
鉛	直方回の変位 サンプル数	の相対差の計 5 6回目	↑測結果(25mr 7回目	nレンス利用時 8回目	9回目	単位:mm 10回目]		
鉛	■万回の変位 サンプル数 リファレンス	の相対差の計 5 6回目 -4.072	†測結果(25mm 7回目 -4.402	nレンス利用間 8回目 -4.499	⁹ 回目 -4.303	単位:mm 10回目 -4.181]		
鉛	 直方向の変位 サンプル数 リファレンス 計測結果 	の相対差の計 5 6回目 -4.072 -4.064	7回目 -4.402 -4.435	nレンス利用間 8回目 -4.499 -4.520	9回目 4.303 4.325	単位 : mm 10回目 4.181 4.246			
鉛	 直方向の変位 サンプル数 リファレンス 計測結果 差分 	の相対差の計 5 6回目 -4.072 -4.064 -0.008	7回目 -4.402 -4.435 0.033	nレンス利用間 8回目 -4.499 -4.520 0.021	9回目 -4.303 -4.325 0.022	単位:mm 10回目 -4.181 -4.246 0.065			
鉛	 ■万回の変位 サンプル数 リファレンス 計測結果 差分 X= 	の相対差の計 5 6回目 -4.072 -4.064 -0.008 0.03550	7回目 4.402 4.435 0.033 mm	nレンス利用間 -4.499 -4.520 0.021 = (9回目 -4.303 -4.325 0.022 35.50	単位 : mm 10回目 4.181 4.246 0.065 <i>μ</i> m)		
鉛	 直方向の変位 サンプル数 リファレンス 計測結果 差分 X= x= 	の相対差の計 5 6回目 -4.072 -4.064 -0.008 0.03550 0.83	7回目 4.402 4.435 0.033 mm %	nレンス利用間 -4.499 -4.520 0.021 =(9回目 -4.303 -4.325 0.022 35.50	単位 : mm 10回目 -4.181 -4.246 0.065 <i>μ</i> m)		
鉛	 単ンプル数 リファレンス 計測結果 差分 X= x= 焦点距離25m 	の相対差の計 5 6回目 -4.072 -4.064 -0.008 0.03550 0.83 mレンズを利J	7回目 -4.402 -4.435 0.033 mm % 用時	nレンス利用間 -4.499 -4.520 0.021 = (9回目 -4.303 -4.325 0.022 35.50	単位 : mm 10回目 -4.181 -4.246 0.065 μm)		
鉛	 単ンプル数 リファレンス 計測結果 差分 X= x= 	の相対差の計 5 6回目 -4.072 -4.064 -0.008 0.03550 0.83 mレンズを利J	7回目 4.402 4.435 0.033 mm % 1時 Z mm(z %) =	NDシス利用間 8回目 -4.499 -4.520 0.021 = (0.03550	9回目 -4.303 -4.325 0.022 35.50 mm	単位:mm 10回目 -4.181 -4.246 0.065 <i>μ</i> m) %)	

技術番号 BR030009							
・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:光軸方向変位量)							
・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							
●1~5回目の実証では、 撮影距離1277mmで焦点距離75mm レンズを利用 → 計測対象表面で1画素あたり90µm相当 → たわみは奥行き方向として計測:90µm × 1/3 = 0.030mm未満に収まっていれば良い							
●6~10回目の実証では、 撮影距離1277mm で 焦点距離25mm レンズを利用 → 計測対象表面で1画素あたり280µm相当 → たわみは奥行き方向として計測:280µm × 1/3 = 0.093mm未満に収まっていれば良い							
→すべてのシーケンスにて、上記の条件以内の結果となっていることを確認							
_ <u>→活荷重たわみ(光軸方向変位量)に関して、</u> カタログ記載の精度が得られていることが確認できた							

技術番号	BR030009									
技術名	光学振動解析技 横揺れ・ひびわれ	術【動 µ開閉量	画像による 量の計測技	▶橋梁の活荷重た∷ 〒術】	わみ・	開発者名	3 BZ	本電気株ェ	代会社	
試験日	平成30年 10 月	29 日	天候	雨	気温	13.2	°C	風速	3.1	m/s
試験場所	某橋梁(富山県)									
カタログ分類	計測・モニタリング	ゲ技術	カタログ	ん 検出項目 ・ひ	^{可呈/2470} X・Y・Z方[いびわれ開 量差分)	≻· [·] (抽 向変位 閉量(変	試験	区分 -		
試験で確認 カタログ項 対象構造物の	8する 員目 の概要	E(ひび , 動作	われ開閉 確認]						
1. 橋梁の	既要	北	則		側面図 S=1:2:	50			南	側
・構造形式 ・橋 <u></u> ・支 間 ・有効幅員 ・主桁間隔	式 : RC桁橋 € : 72.900m 引 : 14.600m 員 : 6.300m 鬲 : 1.800m (3主梢	Ţ)	14000		桃長 7300 14600	·	14600 <u>II II II II II</u> <u>H. W. L. 87. 344</u>		4600	
2. 載荷試題 ①車両走	験の概要 行試験	(AI)		p) t t	፼ 図-1 {	◎ 則面図		(P4)		(A2)
•車両重 速度∷	[量:20ton, 20km/h(写真-1취	参 月			<u>平面図 S=1:2</u> 機長 7300	5 <u>0</u> 0				1
・走行位 ②計測対 ・たわみ ・ひび割 (図-2及び	『置 :橋梁中央 象箇所 -量・横揺れ量 れ開閉量 図-3のの▲位瞉		14500		14600 0095-0001 a	下流	14500		4600	
					図-2 「	下面図				
	車輪通過位置:床 速度:20km/h(一	版支間定)	即中央							IIII AMA -
	写真-1 車両載	战荷(2	Ot)	<u> </u>	写真-2	測定対象	校行及	びたわみ	測定位	置

試験	方法(手順)	b b b b b b b b b b b b b b b b b b b	支術番号	BR030009				
1	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(図-3及び写真-3~写真-4)							
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							



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

たわみ量:レーザ距離計(ILR1182-30)
 取り付け位置は 写真-3参照(カメラ近傍に台座を配置して計測)
 ②ひびわれ開閉量測定:クラックゲージ 取り付け位置は写真-4参照





写真-3 レーザ距離計によるたわみ量計測機 写真-4 クラックゲージによるひびわれ開閉量計測機





技術番号	BR030009									
技術名	光学振動解析技行 横揺れ・ひびわれ	術【動画 ,開閉量	【動画像による橋梁の活荷重たわみ・開発者名 日本電気株式会社 開量の計測技術】							
試験日	令和2年 1 月	22 日	天候	墨	気温	1 8.0	°C ℃	風速	_	m/s
試験場所	土木研究所構内	試験棉	喬梁							
カタログ分類	計測・モニタリング	が技術	カタログ	検出項目	活荷重たれ れ(X・Y・Zナ 量))み・横揺 5向 変位	試験	区分	_	



付録2-5-90

試験	方法(手順)	技術番号	BR030009
1	カラーチャート		
2	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			



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值	G值	B值
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





試験	方法(手順)		技術番号	BR030010
1	供試体に設置 た際の間隔()	したセンサの間隔をOmmの状態から徐々に広げ、センサが異な A)をノギスで確認する。(キャリブレーション)	常を検知しLED)表示灯が点灯し
2	センサの変位 を設定 (Bmm)	が20mm(10mm~30mmの範囲で設定可能)となった際に異常を =A-20)する。	を検知するよう	にセンサの間隔
3	センサの間隔 (C)をノギスて	を設定した後、供試体(桁端部)を徐々に広げてセンサが異常を *測定する。	を検知した際の	シャンサの間隔
4	①~③を3回	繰り返し、設定した20mmと比較する。		

1. 機器の構成と設置 ・マグネット式センサ(1対) ・送信機(マグネット式センサに接続) ・受信機(LED表示灯および電源に接続) ・LED表示灯(受信機に接続) ・電源(バッテリー) ・測定器:ノギス センサ LED表示灯 送信機 受信機 プラスチック板 電源 -----ノギス スケール 桁端部を模した供試体(角材) 写真-2 機材の構成と設置



技術番号	BR030010								
技術名	桁端部異常検知モニタリング 開発者名 日本工営 株式会社								
試験日	令和2年 2 月 5 日					5 ℃ 風速 一			m/s
試験場所	某橋梁(富山県)								
カタログ分類	計測・モニタリング技術	カタログ	検出項目 (₎	位 遊間の異	[常)	試験	区分 -	-	

試験で確認する カタログ項目

する動作確認

対象構造物の概要

1. 橋梁の概要

•構造形式:鋼単純H型鋼桁橋(耐候性鋼材)

•橋 長:24.0m

- ·支 間:23.5m
- •有効幅員: 8.0m
- ·設計活荷重:TL-20(S31)



図-1 対象橋梁状況



試験	方法(手順)	技行		BR030010
1	供試体に設置 た際の間隔(4	遣したセンサの間隔をOmmの状態から徐々に広げ、センサが異常を検 A)をノギスで確認する。(キャリブレーション)	i知しLED	表示灯が点灯し
2	センサの変位 を設定(Bmm ^a	が20mm(10mm~30mmの範囲で設定可能)となった際に異常を検知 =A-20)する。	するよう	にセンサの間隔
3	センサの間隔 LED表示灯の	を設定した後、センサ間に鉄板を挿入し、絶縁することによって、桁端 」点灯を確認する。	¦部遊間(の異常を模擬し
4	模擬異常を検	。 知した結果をクラウド上に表示し、管理者にメールを送信することを研	寉認する。	,

- 1. 機器の構成と設置
- ・マグネット式センサを取り付けたプラスチック板を地覆に設置
 ・送信機(マグネット式センサに接続)を橋梁側地覆に設置
- ・受信機、LED表示灯、通信機器、電源を親柱に設置







図-5 送受信機、LED表示灯の固定状況

計測結果の比較

技術番号

BR030010

1. センサの設置と桁端部遊間の異常の模擬

・桁端の異常を検知するセンサを設置した。センサの設置には、プラスチック板と高耐久両面粘着 テープを使用した。センサ間が約20mm離れた際に検知できるように、現地でセンサ間隔と検知の 有無を確認したうえで、桁端に設置した。



図-6 センサ設置間隔の調整、固定状況

・桁端に設置・固定した後は、鉄板をセンサ間に挿入し、センサ間の磁界を遮断することによりLED 表示灯が点滅し、モニタリングシステムが適切に動作していることを現地で確認した。



図-7 異常の模擬による動作確認の状況と模擬異常発生の原理

・なお、現地で(模擬的な)異常が発生したことをクラウド上で表示し、管理者にメール通知した。



図-8 センサの異常検知状況の通知方法の例

2. 検証結果

・桁端部の変位量が20mmとなった際に異常検知するモニタリングシステムを橋梁に設置した。

・モニタリングシステムの設置後、センサ間に鉄板を挿入することにより模擬的に異常を生じさせた状態で、センサが異常を検知しLED表示灯が点灯することを確認した。
 ・異常検知した結果をクラウド上で表示、管理者にメール送信することを確認した。







試験	方法(手順)	技術番号	BR030010
1	供試体に設置 た際の間隔(/	したセンサの間隔をOmmの状態から徐々に広げ、センサが異常を検知し A)をノギスで確認する。(キャリブレーション)	.ED表示灯が点灯し
2	センサの変位 を設定 (Bmm [:]	が20mm(10mm~30mmの範囲で設定可能)となった際に異常を検知する。 =A-20)する。	⊧うにセンサの間隔
3	センサの間隔 LED表示灯の	を設定した後、センサ間に鉄板を挿入し、絶縁することによって、桁端部遊 点灯を確認する。(写真−3)	間の異常を模擬し
4	センサの間隔	を設定間隔以上に確保し、LED表示灯の点灯を確認する。(写真-4)	

- 1. 機器の構成と設置
- ・マグネット式センサを取り付けたプラスチック版を地覆(不陸調整用)に取り付ける
 ・送信機(マグネット式センサに接続)は、橋梁側地覆に設置
 ・受信機(LED表示灯および電源に接続)、LED表示灯、電源は、親柱へ設置
 ・受信機(LED表示灯あよび電源に接続)、LED表示灯、電源は、親柱へ設置



写真-4 表示灯点灯の確認

技術番号 BR030011
技術名 FBG光ファイバひずみセンサを用いた橋梁モニタリングシ 開発者名 三井住友建設株式会社
試験日 2017 年 2 月 21 日 天候 気温 °C 風速 m/s
試験場所 三井住友建設(株) 技術研究所
カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 プレストレス喪失の 試験区分 -
※試験で複数のカタログ項目の確認を行う場合、これ以降の各事項をカタログ項目ごとに記載すること
試験で確認する 動作確認 カタログ項目
対象構造物の概要
1. 試験体の概要 コンクリート版試験体を製作し、プレストレス導入時および長期暴露試験(約1年半)において、
従来の電気式ひずみゲージとの比較検証を行った
#筋 D16 ctc150 starain gauge UX,UY 10 ◆
P=450kN 62.5 62.5 62.5



表 テストピース試験結果 <u>材齢7日 材齢28日</u> 圧縮強度 N/mm2 42.2 30.2 ヤング係数 kN/mm2 51.4 33.4 プレストレス導入→→ 暴露試験

試懸	黄方法(手順)		技術番号	BR030011
1	コンクリート版	試験体を打設		
2	材齢7日で、P	C鋼棒を緊張し、プレストレスを導入		
3	暴露試験			

※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 写真1 試験体打設 写真2 測定状況 4 inte 写真3 FBG光ファイバ設置状況





技術番号	BR030012								
技術名	光ファイバを用いたPCケーブル張力分布の計測技術開発者名 鹿島建設株式会社								
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	ブ技術 カタログ	検出項目 張	Ъ		試験区分	-		



試験	支法(手順)		技術番号	BR030012
1	永久磁石式强	カセンサ、計測装置等を図-1のとおりセットする。		
2	ロードセルの まで行った。	計測値を基準とし、載荷ステップは表−1のとおりとし、0~0.9Py(定格)	
3	各載荷ステッ	プでの張力およびひずみ(参考値)を計測		





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。

光ファイバの荷重値は、試験体中央(0.5m位置)における光ファイバで計測したひずみ値に、PC鋼より線の見かけのヤング率(216,029N/mm²)とPC鋼より線の断面積(140.7mm²)を乗じた値である。 表中、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。

ステップ	ロードセル	光ファイバ (荷重値)	計測 (荷重	誤差 重値)	差 参考:ひずみゲージ *		参考:光ファイバ 参考:計測誤差 (ひずみ値) (ひずみ値)		備考		
	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[]	<i>u</i>]	[µ]	[µ]	[%]		
-	0	0	-	-	-1 4.7	2	0	-	-	(イニシャル)	
1	44.4	44.1	-0.3	-0.1	1472 1396	1434	1451	17	0.3	0.2Py	
2	88.8	84.6	-4.2	-2.1	2969 2785	2877	2782	-95	-1.4	0.4Py	
3	133.2	128.2	-5.0	-2.5	4488 4211	4350	4218	-132	-2.0	0.6Py	
4	177.6	174.7	-2.9	-1.5	6007 5652	5830	5746	-84	-1.3	0.8Py	
5	199.8	198.7	-1.1	-0.6	6783 6390	6587	6536	-51	-0.8	0.9Py	

表-3 計測装結果








試験	方法(手順)	技術番号	BR030012
1	光ファイバ組 管)に挿入。	込み式PCストランドを含むPCケーブルを、通常と同様にシース管(外ケーブル	の場合は偏向
2	(P2-P4間外な	- ァーブルにおいてのみ)計測値の比較のため、永久磁石式張力センサを設置	0
3	光ファイバを言 を実施。	+測器に接続し、目標張力まで緊張。その間、一定のジャッキ油圧ごと(10MP	aごと等)に計測
4	緊張·定着後	、再計測用に光ファイバコネクタを存置。	
5	供用開始直前		

・緊張用ジャッキ後方において、PCケーブル端部の光ファイバ先端にファイバ端部コネクタを融着し、 延長用光ファイバを介して計測器に接続した。

・緊張中、一定のジャッキ油圧ごと(10MPaごと等)に計測を行った(図-3)。



図-3 緊張・計測の状況

比較対象を得るための 計測機器の設置状況	
 ・P2-P4間外ケーブルにおいて、計 設置個所は、P2-P3径間の中央f 	- 測結果の比較のため永久磁石式張力センサを設置した(図-4)。 す近とした。
	小久磁石式張力センサ
図-	4 永久磁石式張力センサの設置状況

Ŧ	↑測結果の比較					技術番号	BR030012	
1. 2.	 張力分布計測 ・本技術による いずれのケー ケーブル全長 ができる。 永久磁石式張 ・永久磁石式張 ・永久磁石式 	結果 ⇒計測結果を図-5~7に示 −ブルにおいても、摩擦⊏ 長にわたる張力分布が計 5カセンサとの比較 長力センサと本技術との話 振力センサ設置位置の前 投階、定着直後、再計測新	→す。 コスや定着時のセ 測されており、各 計測結果の比較 前後1m程度の範 結果のいずれも、	ットロス、 断面で必 を図-8にう 囲の平均値 両計測結	コンクリートの 要な張力の設 、す。ただし、き 直とした。 果はよく一致	クリープ等の影 計値と直接比 光ファイバの計 している。	ど響を含め、 較すること ∵測値は、	
	A1側定着部	P1柱頭部	P2側定着部	P1側定着	音		P2側定着部	
	2500			3000				
	2000			2500				
[kN]	1500			2000				
張力			表	1500				
	1000	緊張時(計測値) 直後(計測値) 二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、	∕ Δ/訊⇒↓/店\	1000	▪最終緊張時(計测	則値)		
	500 500 緊張	単夜(計測値) ーーと有直 後26ヶ月(計測値) ー ークリープ彩	後(設計値) 冬了後(設計値)	500	- 定着直後(計測)	直) 定着	·直後(設計値)	
	0			500	•緊張後20ヶ月(言	+測値) クリ-	ープ終了後(設計値)	
張力 [kN]	図-5 (P1 4000 3500 3000	5 張力分布の計測結 柱頭部ウェブケーブル	早 4側定着部	4000 [NN] 単原 に 2000	図-6 張; (P1-P2間連)	カ分布の計測 連結下床版ケ-	結果 -ブル)	
141	2500 ——最終	緊張時(計測値)				,	張中	
	2000 - 定着i	直後(計測値) 定着直 後19ヶ月(計測値) クリーフ	後(設計値) プ終了後(設計値)	光 1000		● 定 ▲ 緊	着直後 張後19ヶ月	
	1500 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 0 1000 2000 3000 4000 計測位置 [m] 次久磁石式張力センサ計測値[kN]							
	図-	7 張力分布の計測結 (P2-P4間外ケーブル)	果	図-8	永久磁石 5 (P2-P4間	式張力センサ 「外ケーブル)	との比較	

技術番号	BR030013							
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 1	8 日 天候	晴	気温		°C	風速 一	m/s
試験場所	某橋梁(宮崎県)							
カタログ分類	計測・モニタリング	技術 カタログ	検出項目 張:	ታ		試験区	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

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)



試験	方法(手順)	技術番号	클 BR030013	
1	(新設施工時) サー②を取付 されたものを(点)PC外ケーブルを構成するPC鋼より線のうち1本に計測装置①と計測装 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 使用する。	置設置用のスペー より線を用いて校:	_ 正
2	データはデー 返す。電池の 電池の交換を 持され、電池:	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l 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 ・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 交換後は再度計測可能)	に手順③~⑤を繰 ロード作業時に適! 」までのデータは保	眇宜≹
3	桁内の計測器 ソコン(専用ソ	電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- フトウェアをインストールしたもの)と接続する。	ケーブルを介して	パ
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。		
	ā			





- 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取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)を範囲(図-3青色点線)とした。



技術番号	BR030013							
技術名	永久磁石を用いた	ミPCケーブル引	長力の計測技術		開発者名	3 住友電	電気工業株式	会社
試験日	令和2年 1 月	31 日 天候	晴	気温	1 –	°C	風速 一	m/s
試験場所	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・モニタリンク	ブ技術 カタロ・	グ検出項目	張力		試験区	分 -	

試験で確認する カタログ項目

る計測精度(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)			技術番号	BR030013
1	永久磁石式强	カセンサ、計測装置等を図-1のとおりセットする。		
2	ロードセルの とおりとし、0~	計測値を基準とし、載荷ステップは表−1の ~0.9Py(定格)まで行った。		
3	各載荷ステッ	プでの張力およびひずみ(参考値)を計測		



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。

ステップ	ロードセル	永久磁石式	計測誤差		参考:ひず	備考	
	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[µ]		
-	0	0	-	-	<u>-1</u> 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

表-3 計測結果



技術番号	BR030013							
技術名	永久磁石を用いた	と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 2 月	28 日 天候	晴	気温		℃ 厘	1速 —	m/s
試験場所	住友電気工業株式	式会社 伊丹製	作所					
カタログ分類	計測・モニタリング	が技術 カタロク	が 検出項目 張	^カ		試験区分	` _	

試験で確認する カタログ項目

る計測精度(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)		技術番号	BR030013
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 を取外す。	の状態で計測用サンプルに計測装置を設置し、その時の計測値	直を記録する。	その後計測装置
3	計測用サンプ その後計測装	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、 置を取外す。	その時の計測	値を記録する。
4	緊張力を100k の取付け、計	N, 150kN, 199.8kN, 150kN, 100kN, 50kN, 0kN の順に緊張力を 測および計測装置の取外しを繰り返す。	替えながら③と	:同様に計測装置
5	2~④を3回約			





技術番号	BR030013								
技術名	永久磁石を用いた	-PCケーブル張	カの計測技術		開発者名	3 住友	反電気工業	株式会	≩社
試験日	平成30年 2 月	28 日 天候	晴	気温	1 –	°C	風速	_	m/s
試験場所	住友電気工業株式	式会社 伊丹製作	F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	ታ		試験	区分 -		

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



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	支法(手順)		技術番号	BR030013		
1	① 計測装置等を図-1のとおりセットする。					
2	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。				





技術番号	BR030014									
技術名	支承部の荷重計測システム					開発者名 (株)川金コアテック				
試験日	平成22年 12 月	13 日	天候	—	気涯	1 –	°C	風速	_	m/s
試験場所	某橋梁(東京都)									
カタログ分類	計測・モニタリング	「技術	カタログ	検出項目	反力		試験	区分 -		



支承交換工事の状況

試験	方法(手順)		技術番号	BR030014			
1	圧カセンサー	ー ·付きゴム支承を製作し、載荷試験により校正係数を設定後、出	荷				
2	支承交換工事として、ゴム支承を主桁下に設置						
3	ジャッキダウン時に計測機器を接続し、センサーからの出力値を計測(設計値との比較)						
4	ジャッキダウン後、通行車両による荷重変動を計測						
5	計測機器を回]収、ケーブルを収納して完了					



工場での載荷試験状況(試験機荷重 と計測値から校正係数を設定)



ケーブルの収納状況 (位置が分かるように色分けで表示)



ケーブルを取り出した状況





現場に支承を設置後、ケーブルを計測機器に接続



可視化のため、ノートPCで計測値をリアルタ イムで表示



計測実施中の現場状況



・また、シャッキダ・シン復にも継続してナーダ計測を115に結果、路面工を通過9る単輌重重に反応し 車線直下の支承では荷重が増加し、もう一方の支承では荷重が低下する挙動が観察された。



・既設支承に老朽化、腐食による機能不全、および耐震性向上を目的に、「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説」に示されるL2地震動対応型のゴム支承への取替を行う工事が計画された際に、「支承部の荷重計測システム」を採用し、経時的な支承部の荷重バランスのモニタリングを中心に計測を実施した。

試験	z方法(手順) 技術番号 BR	030014
1	圧カセンサー付きゴム支承を製作し、載荷試験により校正係数を設定後、出荷	
2	支承交換工事として、ゴム支承を主桁下に設置	
3	ジャッキダウン時に計測機器を接続し、センサーからの出力値を計測(設計値との比較)	
4	経時的に支承部の鉛直荷重を計測	
5	データの評価・分析を実施	



センサー付きゴム支承 (ケーブルを取り出した状態)



1支承線上5基からのケーブルを接続し たロガー



計測画面



経時的なモニタリングのために、計測ロガーと送信 システムを構築



ケーブルを計測機器に接続



計測ロガーとノートPC



ジャッキダウン状況



支承部近傍でのデータ記録の方法



技術番号	BR030014									
技術名	支承部の荷重計測システム					発者名 (株)川金コアテック				
試験日	平成19年 10 月 30 日	天候	_	気温	-	°C	風速	_	m/s	
試験場所	(株)川金コアテック 茨城工場									
カタログ分類	計測・モニタリング技術	カタログ	検出項目	反力		試験	区分 -			



試験方法(手順)						
圧カセンサー付きゴム支承を製作						
ゴム支承の性能試験(鉛直載荷試験)を行う試験機に設置						
所定の荷重を載荷し、このときのセンサー出力値および試験機ロードセルからの荷重値を計測						
両者のデータ	から校正係数を算出					
同様な載荷を	複数回実施し、再現性を確認					
	方法(手順) 圧カセンサー ゴム支承の性 所定の荷重を 両者のデータ 同様な載荷を					

開発者による計測機器の設置状況		技術番号	BR030014
		鉛直変位 mm	
鉛直載荷試験機に	設置	試験機からの出力値(鉛直荷	重値)

比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況

試験機の鉛直荷重値(ロードセルによる計測)



技術番号 BR030015						
技術名 3軸加速度センサを用いた 橋脚の傾斜角度変位モニタ	傾斜計による、 リングシステム		開発者名	体式会社	:ザイマックス	ζ
試験日 令和2年 1 月 24 日	天候 晴	気温	10.7	℃ 風i	束 一	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	傾斜角		試験区分	標準試験	
試験で確認する カタログ項目 対象構造物の概要						
 1. 土木研究所所管 試験橋梁の概: ・構造形式:鋼単純鈑桁橋 ・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) 	要 ²⁰⁰	論 長 紀秋長 支 間 11	30 800 30 600 30 000	Ŧ		
* 土和川町兩: 2.600m(4主和) 2. 計測対象の部位 •橋台(橋座上面)	9600	図-1 600 723	() 100 側面図 	700 500 RC &	600 E 210 E 210	
写直-1 橋台		端对制	1 1 4 4141	铁磷 分配器	eni i	

写真-1 橋台



850

与える装置(可能傾斜角は±20°)

3 @ 2600 = 7800 _____950

図-2 断面図

※傾斜架台はセンサやデジタル傾斜計に特定の傾斜を

試験	支法(手順)		技術番号	BR030015					
1	① 傾斜架台(写真-2)を橋台の橋座上に設置する(写真-3)。								
2) 任意の角度に架台を傾斜させる。								
3	監視センサを架台の上に設置し、データを取得する。								
4	デジタル傾斜計を用いてリファレンスデータを取得する。								
5	2~④を3回	〒う 。							









試験	方法(手順)		技術番号	BR030015			
1	機器搬入(監視·	ー センサー(Iotセンサー):写真-1、WEB閲覧可能なデバイス(ス	スマートフォン):	写真-2)			
2	監視センサーの設置・計測(P1左側柱前面)(写真-3)						
3	監視センサーの設置・計測(P1橋脚天端)(写真-4)						
4	監視センサーの設置・計測(G5主桁下フランジ)(写真-5)						
5	計測時間8分以.	 上(1分間隔で記録)で、傾斜の変化を確認する。					



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



計測結果の比較

技術番号 BR030015

■センサーの設置

設置箇所	設置方向	設置高さ	連続計測時間(分)
梁と柱の付け根	鉛直	2500	33
梁と柱の付け根	水平	2600	10
橋脚天端	水平	4150	8
G5下フランジ	水平	4250	9

■計測結果(抜粋)

・傾きの変化

・センサは設置後にキャリブレーションを行い、X,Yともに0度にして計測をスタートした。

1. 梁と柱の付け根、設置方向:鉛直、設置高さ:2.500m

計測時間(33分間)



技術番号	BR030016								
技術名	下部工基礎の洗掘モニ	開発者	名 株:	式会社福L	ロンナ	トルタン			
試験日	平成11年 2 月 25 日	天候	晴れ	気温	9	.7 °C	風速	6	m/s
試験場所	某橋梁(静岡県)								
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/週	速度	試験	区分 -		



試験	;方法(手順)	技術番号	BR030016						
① センサを橋脚天端に設置し、衝撃振動試験を実施する(サンプリング時間10msecを20秒間)。									
2	② 衝撃振動試験は、洗掘状況を考慮した掘削状態ごとに行う(5ケース)。								
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を掘削ケース(5ケース)ごとに10回行う。								

開発者による試験の実施状況





技術番号	BR030016											
技術名	下部工基礎の洗堀モニタリングシステム					厚	開発者名 株式会社福山コンサルタント					
試験日	令和2年 1 月	24 日	天候	晴		気温	10.7	°C	風速	_	m/s	
試験場所	試験場所 土木研究所構内 試験橋梁											
カタログ分類	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 カタログ項	また。 またして、 またして、 またし											

対象構造物の概要



試験方法(手順)					技術番号	BR030016		
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-2~写真-4,図-4~図-8)								
② 起振機(写真-1)を設置し、支間の1/4点(図-1)を10Hzまたは、12Hzで振動させる。								
③計測者は、スタ	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	④ 計測者は、記録し計測が正しく行われたか確認する。							
 上記②~④を10Hzと12Hzの2回行う。 								
開発者による計測機	器の設置状況							





計測結果の比較

技術番号

BR030016



図-4 周波数分析結果(起振機12Hz)

考察

①加振振動数10Hzの場合、0.189Hzの違いが確認された。
 ②加振振動数12Hzの場合、0.003Hzの違いが確認された。

計測精度

①加振振動数10Hzの場合
 x(%)=0.189÷9.515×100=1.99

②加振振動数12Hzの場合

 $x (\%) = 0.003 \div 11.548 \times 100 = 0.03$

技術番号	BR030017									
技術名	加速度センサを用	用いた洗掘量お。	タリング	開発者名 長野計器株式会社						
試験日	令和2年 1 月	24 日 天候	晴	気温	10.7	°C 風速		m/s		
試験場所	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	ブ技術 カタログ	検出項目加	速度•傾斜	ł	試験区分	標準試験			


試験	(手順)	技術番号	BR030017					
1	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-2~写真-3)							
2	② 起振機(写真-1)を設置し、支間の1/4点(図-1)を10Hzまたは、12Hz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	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10Hzと12Hzの2回行う。								
試験								

	-	
1	傾斜架台を桁	の下フランジ上に設置する。
2	任意の角度に	- 架台を傾斜させる。
3	加速度計の上	こに設置し、データを取得する。
4	デジタル傾斜	計を用いてリファレンスデータを取得する。
5	2~④を3回	์ว ีว ิง

開発者による計測機器の設置状況





計測結果の比較

1. 固有振動数の比較結果

表	1 試験条件
サンプリング周波数	200 Hz
計測方向	鉛直
解析範囲	40.96 sec. (8,192 ポイント)
加振周波数	10 Hz および 12 Hz

表-2 固有振動数の比較結果

하다 방로 모든 것같다. 풍산	固有振動数(Hz)					
加饭向夜致	長野計器	リファレンス	差			
10 Hz	9.521	9.521	0.000			
12 Hz	11.548	11.548	0.000			



加振周波数10Hzでは、開発者(長野計器)には、9.521Hzのみに卓越振動数が確認された。一方、リファレンスには、9.521Hzの他に、2つの卓越振動数が確認された。しかし、9.521Hzの両スペクトル解析結果は、振幅の大きさもほぼ同じであることから、9.521Hzが固有振動数と考えられる。

技術番号

BR030017

2. 傾斜角の比較結果

表-3 試験条件

サンプリング周波数	100 Hz
計測時間	10 sec.

表-4 傾斜角(単位:mrad)の比較結果

長野計器	リファレンス	差
-100.7208	-100.8800	-0.1592
44.3915	44.1568	-0.2347
148.2277	148.0039	-0.2238

3. 測定結果まとめ

①固有振動数について、加振周波数10Hzの場合、測定値に差は確認されなかった。 ②固有振動数について、加振周波数12Hzの場合、測定値に差は確認されなかった。 ③傾斜角について、3回の測定値から求めた相対差は0.2086 mrad (0.2%)であった。

技術番号	BR030017								
技術名	加速度センサを用	用いた洗掘量およ	ニタリング	開発者名	3 長野	計器株式会社			
試験日	令和2年 1 月	28 日 天候	雨	気温	4.2	°C	風速 1	m/s	
試験場所	実橋								
カタログ分類	計測・モニタリング	ジ技術 カタログ	検出項目	振動特性(%	も掘)	試験区	5分 現場試験	Ŕ	



試験	方法(手順)	技術番号	BR030017					
1	① 機器搬入・設置(加速度センサー、データ収集・通信装置、小型太陽光パネル等)(写真-1)							
2) 加速度センサーの設置・計測(P1橋脚天端)(写真-2)							
3	データ収集・通信装置(P1橋脚天端)(写真-2)							
4	小型太陽光パネルの設置(P1橋脚天端)(写真-4)							
5	計測時間10分	}間、計測データから計測値(固有振動数等)を確認する。						

開発者による計測機器の設置状況



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況



※橋脚(写真-5、写真-6の赤枠)に設置した加速度センサーの計測値を確認する。

計測結果の比較

技術番号

BR030017

■計測条件

①橋脚の橋軸方向と橋軸直角方向の傾斜角を,表-1の計測条件で,2分間隔で5回計測する。

表-1 ①の計測条件(1回当たり)					
サンプリング周波数	100Hz				
計測時間	10sec.				

②橋脚の加速度を,表-2の計測条件で5回計測する。

表-2 ②の計測条件(1回当たり)					
サンプリング周波数	200Hz				
計測時間	40.96sec.				

■計測結果

・傾斜角

表-3 傾斜角の計測値

回数	1	2	3	4	5	平均	標準偏差
橋軸方向傾斜角 (mrad)	-8.334	-8.336	-8.339	-8. 331	-8.340	-8.336	0.0033
橋軸直角方向傾斜角 (mrad)	42. 385	42. 379	42. 377	42. 379	42.376	42.379	0.0031

橋軸方向:数値が増える(正の値)とP2側に傾斜する。

橋軸直角方向:数値が増える(正の値)と下り線側に傾斜する。

橋軸、橋軸直角方向ともに標準偏差は0.003mradで、約0.01mrad以内の測定再現性が得られた。

・加速度波形と10点移動平均したスペクトル図(橋軸直角方向)





技術番号	BR030018								
技術名	無線時刻同期加速度センサシステムによる損傷検知技術 開発者名 三井住友建設株式会社								
試験日	令和2年 1 月 2	23 日 天候	墨	気温	8	°C	風速 一	m/s	
試験場所	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									



試験方法(手順)		①起振機による振動	技術番号	BR030018		
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-5)					
2	起振機(写真−2)を設置し、支間中央(図−1)を7Hz前後で振動させる。					
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	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-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 る。	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			
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。			



比較対象を得るため、 立会者による計測機器の設置状況		技術番号	BR030018
1. 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	腐	
SV8 「「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 <th>小速度計 データ よる測定 写耳</th> <th>P ロガー シーン ミ-5 測定機</th> <th>C C C C C C C C C C C C C C C C C C C</th>	小速度計 データ よる測定 写耳	P ロガー シーン ミ-5 測定機	C C C C C C C C C C C C C C C C C C C







実験	次数	SMC 1点採用	JBEC	差分(%)	SMC複数点採用
東南土行1	1次	3.076	3.076	0.00	3.078
単凹 疋11Ⅰ	2次	4.851	4.851	0.00	4.851
東雨 土行9	1次	3.093	3.093	0.00	3.095
单问 定112	2次	5.063	5.063	0.00	5.066
黄雨土行9	1次	3.082	3.082	0.00	3.088
单问 定113	2次	4.814	4.816	-0.03	4.800
東雨 去 行 4	1次	3.41	3.41	0.00	3.412
单间定114	2次	4.898	4.898	0.00	4.889
東雨 去 行 5	1次	3.328	3.329	-0.05	3.329
単凹 定115	2次	4.901	4.901	0.00	4.895

表-2 固有振動数の対比

1点採用 複数点採用 :No.4のみの点計測点を採用し、振動数を算出した結果 :独自の手法により、計測点No.2~No.9より推定した結果

