

技術番号 BR030043-V0022

技術名 モアレ縞を用いたひずみ計測技術(ひずみ可視化デバイス) 開発者名 株式会社計測リサーチコンサルタント

試験日 令和4年 3 月 22 日 天候 雨 気温 8.0 °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 ひずみ 試験区分 標準試験 現場試験

試験で確認するカタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

1. 土木研究所所管 試験橋梁の概要

- ・構造形式: 鋼単純鈹桁橋
- ・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)

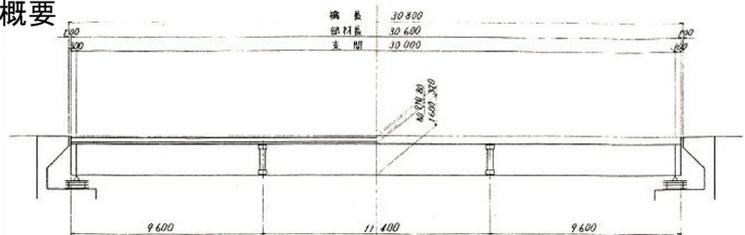


図-1 側面図

2. 載荷試験の概要

車両走行試験

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

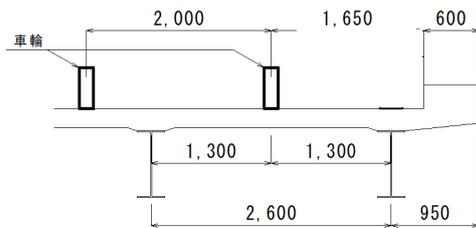


図-3 走行位置

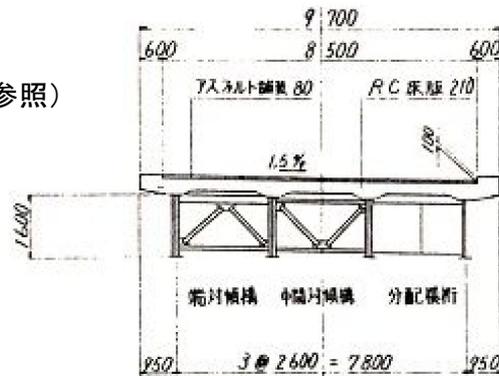


図-2 断面図



※車輪通過位置: 床版支間中央 速度: 20km/h(一定)

写真-1 車両載荷(20t)



写真-2 床版状況

試験方法(手順)	技術番号
①	開発者側のひずみ可視化デバイス、カメラ及び、リファレンス用ひずみゲージを所定の位置に設置(写真-3～写真-54)
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	上記②～④を5回行う。
⑤	車両を支間中央で停止させ、ひずみを計測する。(5回実施)

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ひずみ可視化デバイス
- ②USBカメラ(動的計測用)
- ③デジタルカメラ(静的計測用)
- ④PC

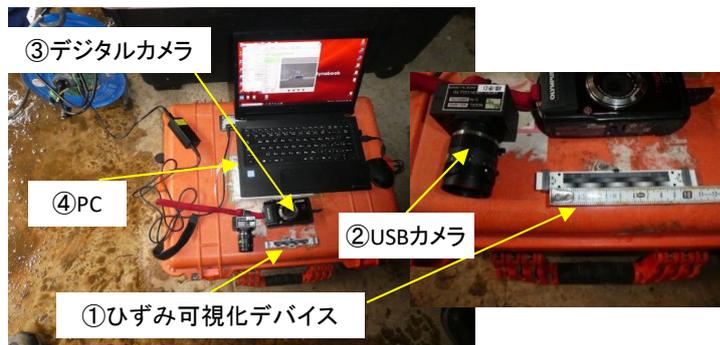


写真-3 機器の構成



写真-4 機器の設置



写真-4 カメラの設置

1. 機器の構成と設置

- ①リファレンス用ひずみゲージ
- ②データロガー
- ③PC

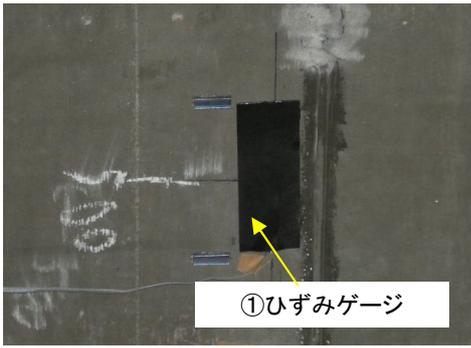
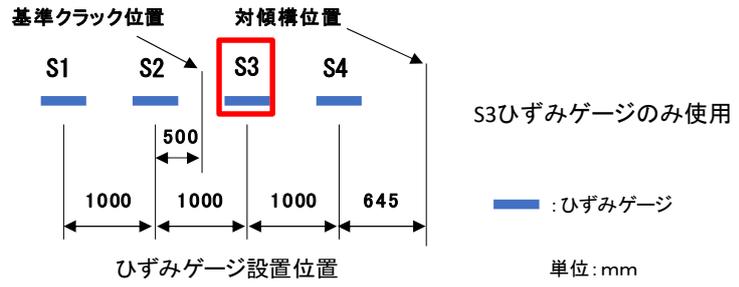


写真-5

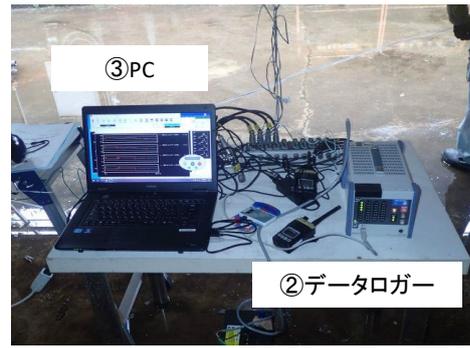


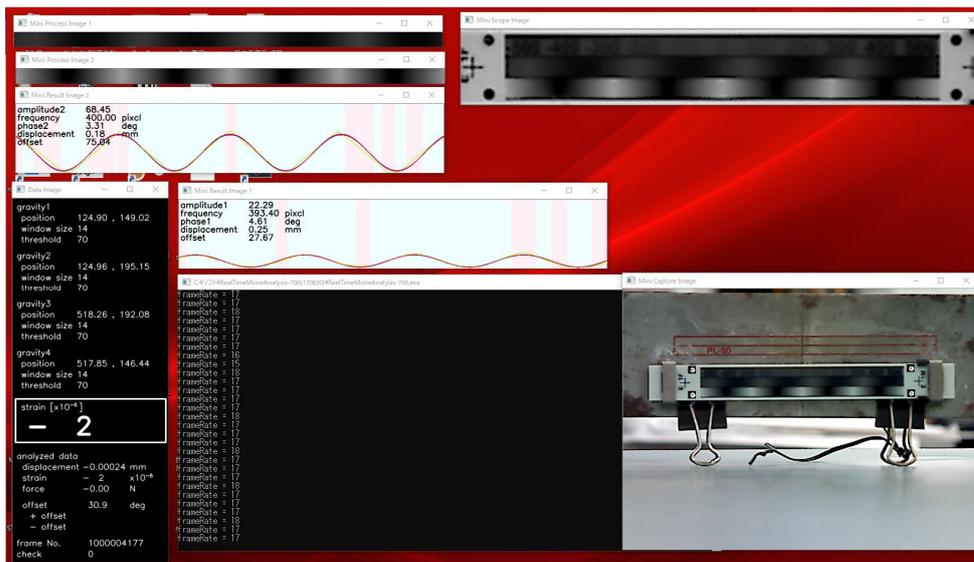
写真-6



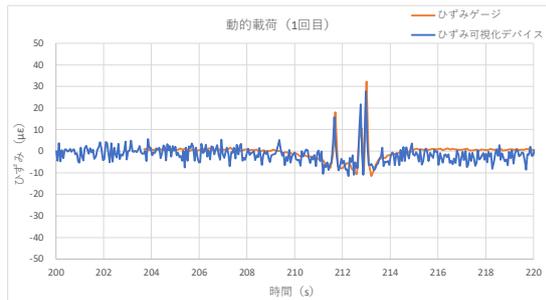
写真-7

1.計測結果(動的载荷)

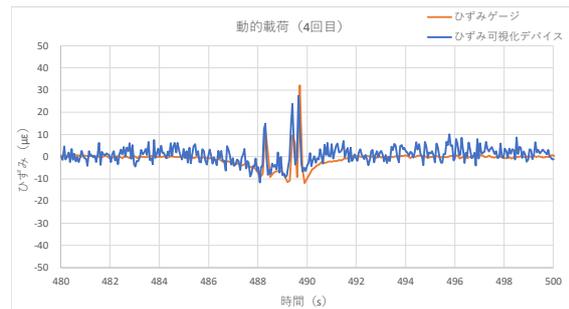
- ・車両を通過せき、通過時の最大値を合計5回実施する。
- ・リファレンスとの最大値を比較し、計測精度を算出する。



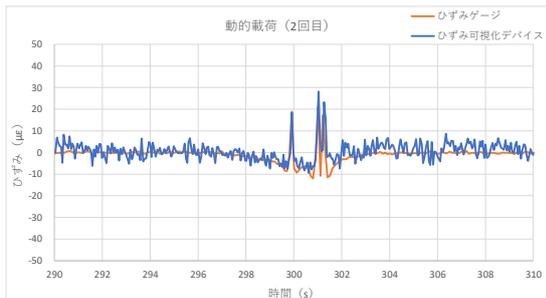
ひずみ可視化デバイス動的計測アプリケー



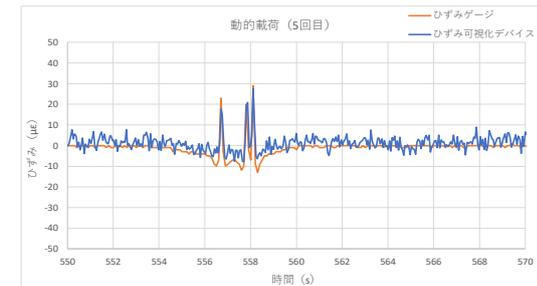
動的荷重試験 経時変化図(1回目)



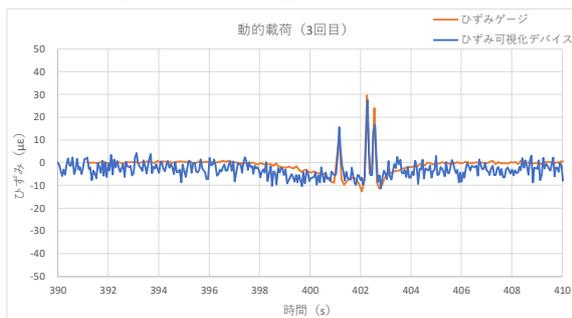
動的荷重試験 経時変化図(4回目)



動的荷重試験 経時変化図(2回目)



動的荷重試験 経時変化図(5回目)



動的荷重試験 経時変化図(3回目)

動的荷重試験結果

		ひずみ (μ ε)		差分 (μ ε)
		ひずみ可視化デバイス	ひずみゲージ	
1回目	引張側最大値	28	32	-4
	圧縮側最大値	-11	-12	+1
2回目	引張側最大値	28	21	+7
	圧縮側最大値	-11	-12	+1
3回目	引張側最大値	28	30	-2
	圧縮側最大値	-11	-13	+2
4回目	引張側最大値	27	32	-5
	圧縮側最大値	-12	-12	±0
5回目	引張側最大値	27	29	-2
	圧縮側最大値	-8	-13	+5

・本技術の計測値と、リファレンス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

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

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)

サンプル数

10

単位: μ ε

	引張最大値					圧縮最大値				
	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	32	21	30	32	29	-12	-12	-13	-12	-13
計測結果	28	28	28	27	27	-11	-11	-11	-12	-8
差分	4	7	2	5	2	1	1	2	0	5

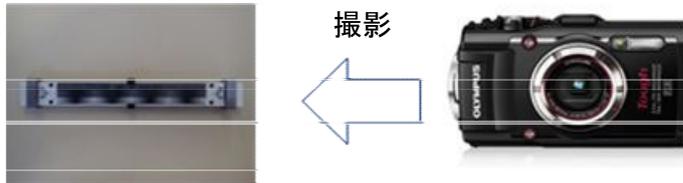
X = 3.5917 μ ε

x = 43.80 %

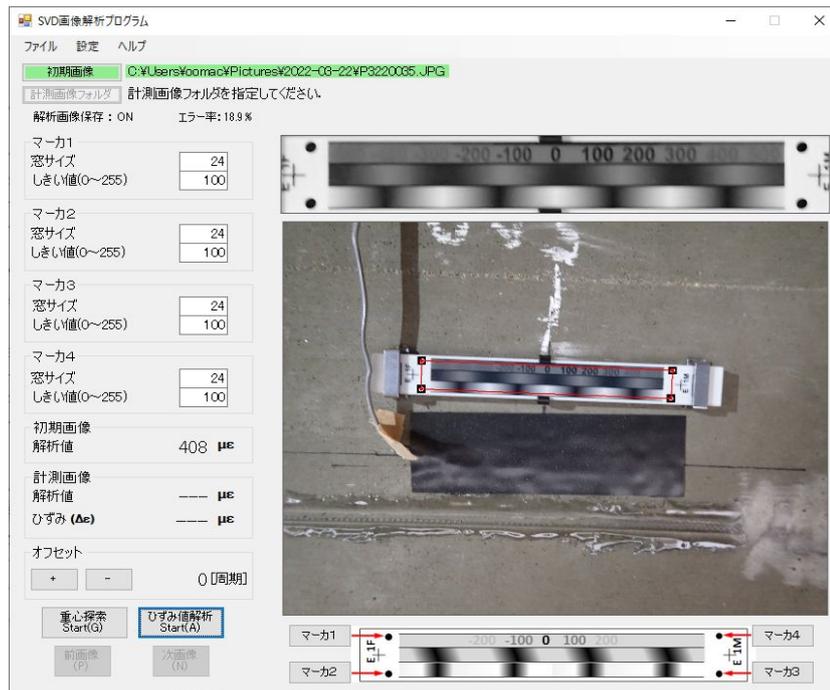
動的荷重試験の相対差 X μ ε (x %) 3.5917 μ ε (43.80 %)

1.計測結果(静的载荷)

- ・車両を停止させ、車両载荷時のひずみを5回計測する。
- ・ひずみ可視化デバイスは無载荷時および車両载荷時に複数枚撮影・解析を行い、平均値を記載している。



静的計測システム



ひずみ可視化デバイス静的計測アプリケー

静的載荷試験結果

	ひずみ (μ ε)			差分 (μ ε)
	ひずみ可視化デバイス		ひずみゲージ	
	解析値	初期値からの差分		
無載荷時	406	-	-	-
1回目	451	45	31	+14
2回目	441	35	27	+8
3回目	437	31	32	-1
4回目	438	32	31	+1
5回目	431	25	24	+1

・本技術の計測値と、リファレンス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

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

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

A=検証側技術による測定値(1回目)

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

B=検証側技術による測定値(2回目)

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

I=検証側技術による測定値(n回目)

サンプル数

5

単位: μ ε

	静的載荷試験				
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
リファレンス	31	27	32	31	24
計測結果	45	35	31	32	25
差分	14	8	1	1	1

X= 7.2526 μ ε

x= 25.01 %

静的載荷試験の相対差 X μ ε (x %) 7.2526 μ ε (25.01 %)

技術番号 BR030044-V0022

技術名 熱検知型MEMS傾斜計とLoRa通信を用いた橋梁の傾斜角モニタリングシステム

開発者名 日本仮設株式会社

試験日 令和4年 4月 9日 天候 晴れ 気温 19.5 °C 風速 4.1 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 傾斜角

試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 計測精度

対象構造物の概要

全体一般図

橋長50000 50004
 桁長34850 34853 桁長14850 14849
 支間長33450 支間長14150
 鋼単純桁橋 (多主桁) 鋼単純桁橋 (少数主桁) PC単純プレテンション方式T桁橋 PC単純プレテンション方式床版橋
 照明柱 (灯具無し)
 中掘り鋼管杭 φ=800mm L=8.500m n=32本
 中掘り鋼管杭 φ=800mm L=8.500m n=20本
 中掘り鋼管杭 φ=800mm L=8.500m n=16本
 VCL-20m VCR-206m VCL-20m VCR-3333m

写真-1 全体写真

写真-2 傾斜架台

- ① 傾斜計(センサー)、計測通信末端、傾斜架台の設置(写真-3)
- ② 傾斜架台を設置し、任意の角度に傾斜架台を傾斜させる。
- ③ 計測機器で傾斜架台を計測する。計測結果をクラウドに転送し、PCで確認する。(写真-4)
- ④ ②で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。(計測の際には、非表示とする。)
- ⑤ ②～④を3回行う。

開発者による計測機器の設置状況

1. 機器の設置

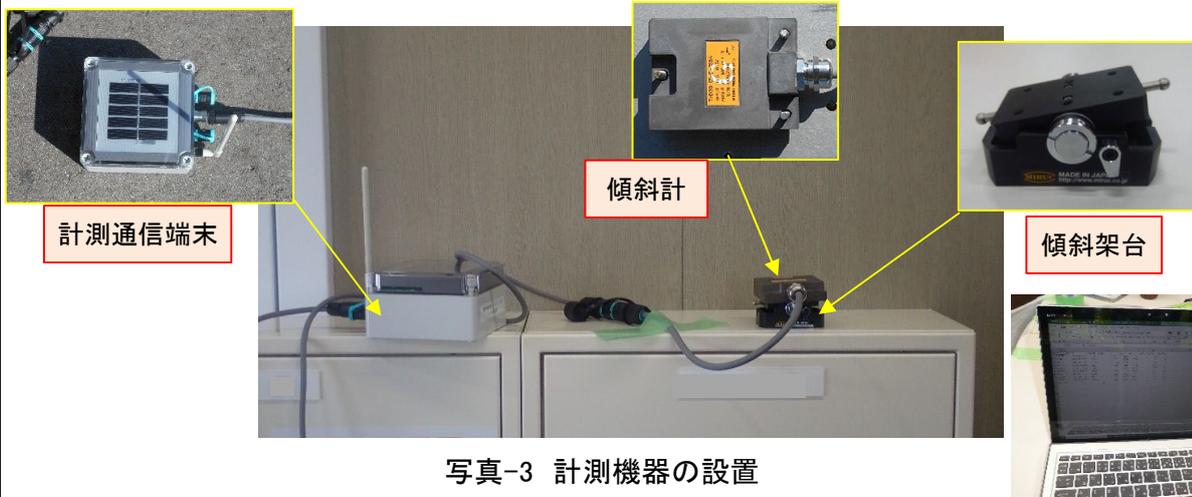


写真-3 計測機器の設置

写真-4 計測結果の確認

比較対象を得るため、
立会者による計測機器の設置状況

1. 機器の設置

リファレンス用測定装置を傾斜架台に設置する

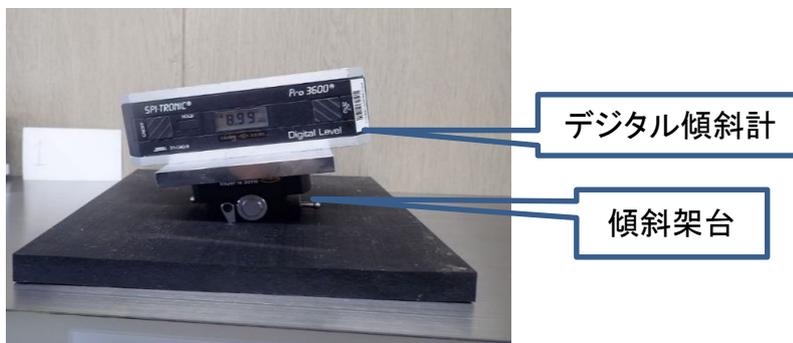


写真-5 リファレンス用計測機器

※計測結果

	デジタル傾斜計 (Pro3600)	計測結果
1 回目	-3.00° 	-2.986° 
2 回目	3.00° 	2.955° 
3 回目	-4.00° 	-4.008° 

(単位:角度°)

	1回目	2回目	3回目
デジタル傾斜計 (Pro3600)	-3.00	3.00	-4.00
計測結果	-2.99	2.96	-4.01
差(傾斜計-計測結果)	-0.01	0.04	0.01

①開発者とリファレンスの計測結果には、-0.01～+0.04° の違いが確認された。

・本技術の計測値とリファレンス(Pro3600)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

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

 δ_a =検証側技術による測定値(1回目)-当該技術による測定値(1回目) δ_b =検証側技術による測定値(2回目)-当該技術による測定値(2回目) δ_i =検証側技術による測定値(n回目)-当該技術による測定値(n回目)

傾斜角度の相対差(X)差計測結果

サンプル数 3

単位:角度°

計測回数	1回目	2回目	3回目
Pro3600	-3.00	3.00	-4.00
計測結果	-2.99	2.96	-4.01
差分	0.01	-0.04	-0.01

X= 0.0245 度

技術番号 BR030044-V0022

技術名 熱検知型MEMS傾斜計とLoRa通信を用いた橋梁の傾斜角モニタリングシステム

開発者名 日本仮設株式会社

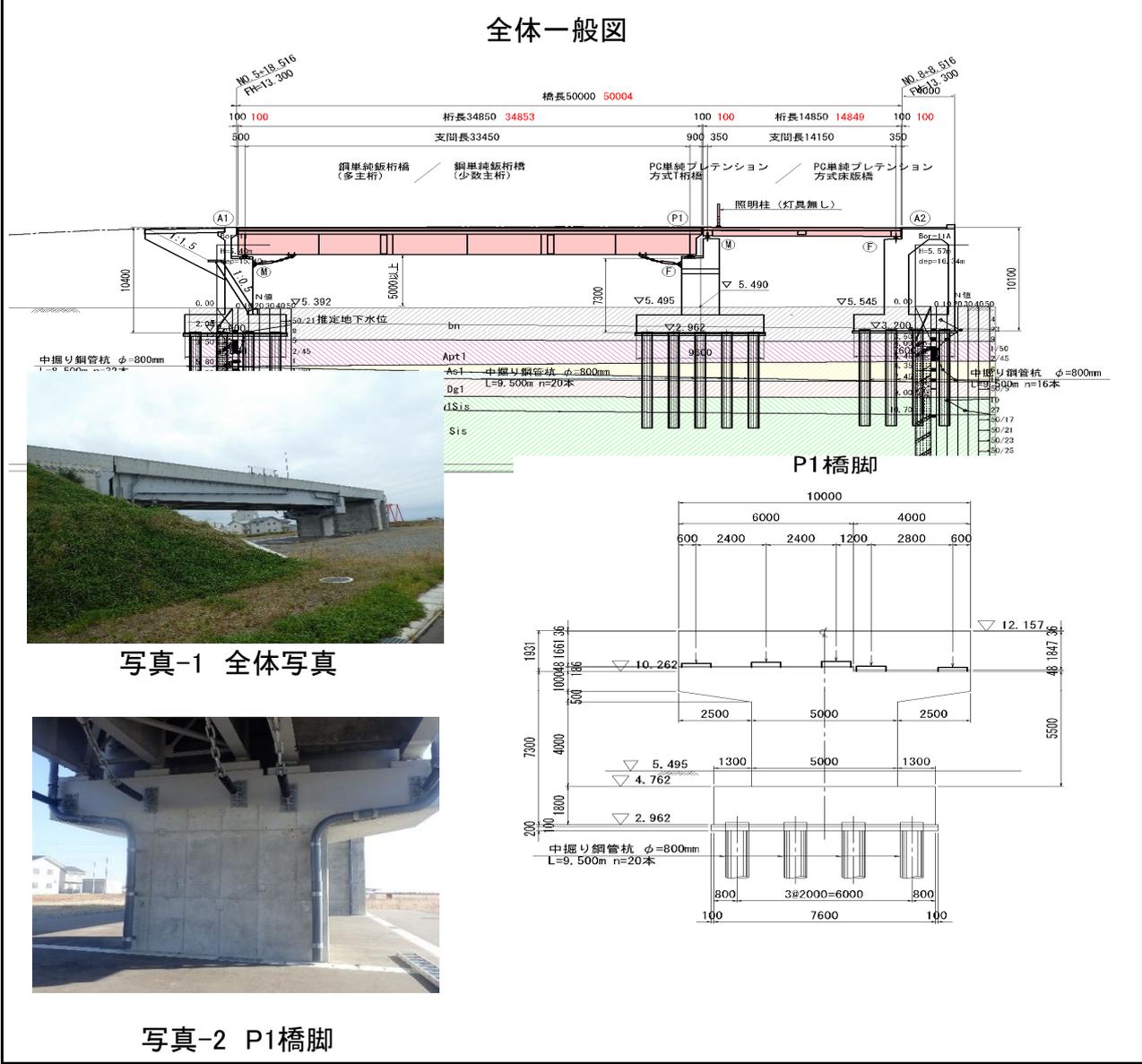
試験日 令和4年 4月 9日 天候 晴れ 気温 19.5 °C 風速 4.1 m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

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

試験で確認するカタログ項目 動作確認 (精度以外)

対象構造物の概要



- ① 計測機器の搬入(写真-3)
- ② 計測機器の設置(写真-4:遠隔のPC)
- ③ 計測機器(傾斜計(センサー))の設置位置(写真-5:P1橋脚天端)
- ④ 計測の設置(写真-6:傾斜計(センサ)、写真-7:傾斜計の水平確認)
- ⑤ 計測状況(写真-8) 後日、計測結果を整理する。

開発者による計測機器の設置状況

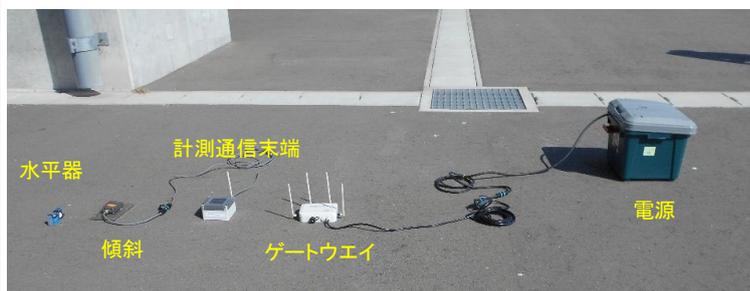


写真-3



写真-4



写真-5



写真-6



写真-7



写真-8

※計測結果

(1)P1橋脚の傾斜

試験橋梁のP1橋脚天端に傾斜計(センサ)を設置し、LTE 通信～LTE～インターネット経由でクラウドサーバーに保存した計測値を遠隔監視できることを確認した。試験結果を表-1に示す。

表-1 試験結果

観測点名	観測日時	X 軸傾斜 (°)	Y 軸傾斜 (°)	θ (°)	ϕ (°)
福島 RTF 試験橋梁	2022/3/9 14:26	-0.576	0.421	0.713	143.84
福島 RTF 試験橋梁	2022/3/9 14:28	-0.570	0.428	0.713	143.10
福島 RTF 試験橋梁	2022/3/9 14:30	-0.570	0.429	0.713	143.03
福島 RTF 試験橋梁	2022/3/9 14:32	-0.576	0.421	0.713	143.84
福島 RTF 試験橋梁	2022/3/9 14:34	-0.571	0.428	0.714	143.15

センサ設置完了後、計測値に1/100 程の変動がないことを確認し、遠隔で0 点を設定する。その後モニタリングを開始する。

技術番号 BR030045-V0022

技術名 水中ドローン(DiveUnit300)を用いた橋梁点検支援技術(洗堀) 開発者名 株式会社FullDepth

試験日 令和4年 3月 31日 天候 晴れ 気温 - °C 風速 - m/s

試験場所 福島ロボットテストフィールド

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ 検出項目 洗堀 試験区分 標準試験

試験で確認する
カタログ項目 安定性能
進入可能性
計測精度
色識別性能

対象構造物の概要

・水槽内に形状を計測するためのコンクリートブロックを配置、および、進入可能性能確認のための、架台を設置。

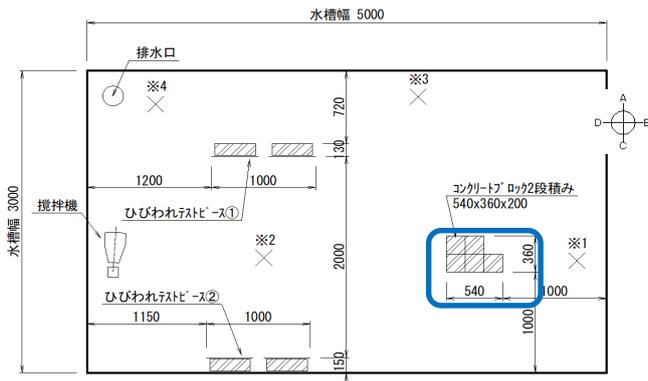


図-1: 配置図

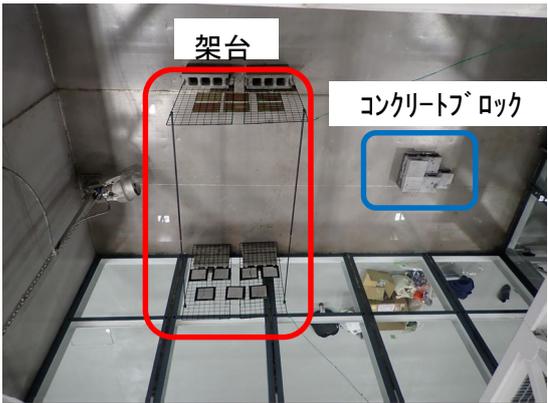


写真-1: コンクリートブロック配置

コンクリートブロック積み 形状
※180x180x100mm x 8個使用

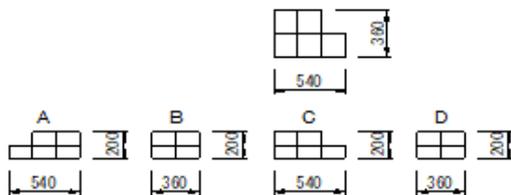


写真-3: 架台B(7パネル)

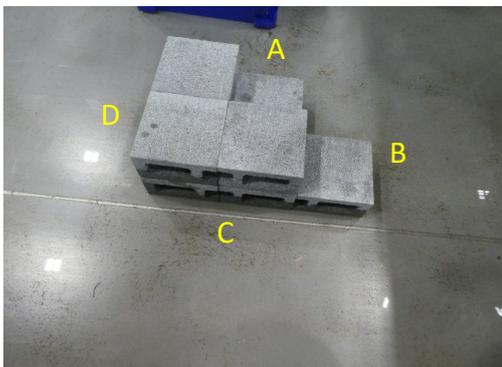


写真-2: コンクリートブロック

- ① 撮影機器(写真-5:ドローン本体、光ケーブル、写真-6:ソナー確認用PC)
- ② 撮影状況(写真-7:進入可能性能)
- ③ 撮影状況(写真-8:コンクリートブロックの形状を撮影)
- ④ 撮影状況(写真-9:コンクリートブロックの形状を撮影(濁度))
※流速を発生させての計測は、機体が安定せず、供試体の破壊の恐れがあるため、中止した。
- ⑤ 撮影状況(写真-10:コンクリートブロックの形状をモニターで計測)

開発者による計測機器の設置状況

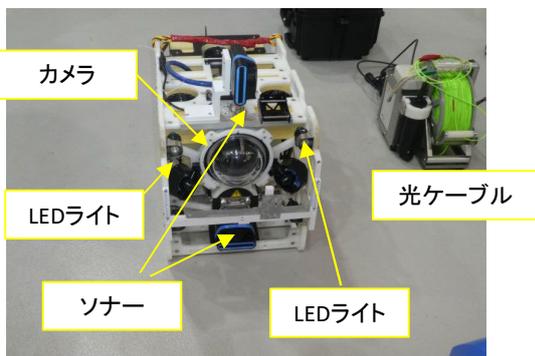


写真-5



写真-6



写真-7

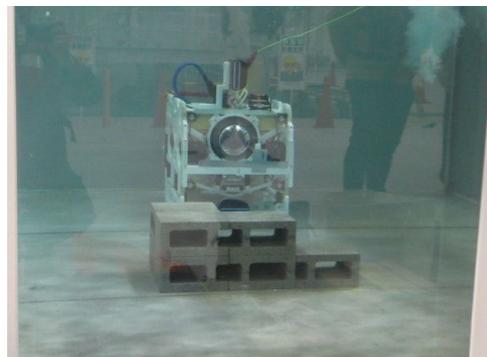


写真-8



写真-9

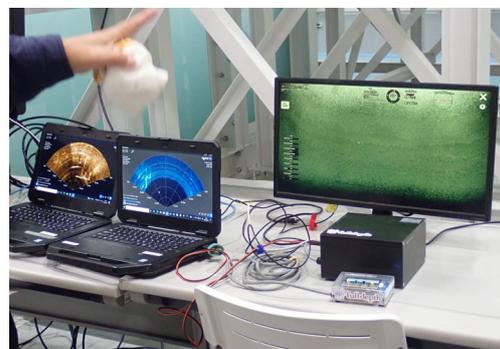


写真-10

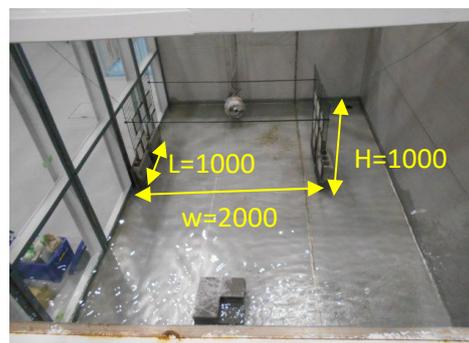
※安定性能

■流速0.2、水深1.2m、濁度1.1度



水中で、停止し、水流を発生した状態での移動量を確認する。

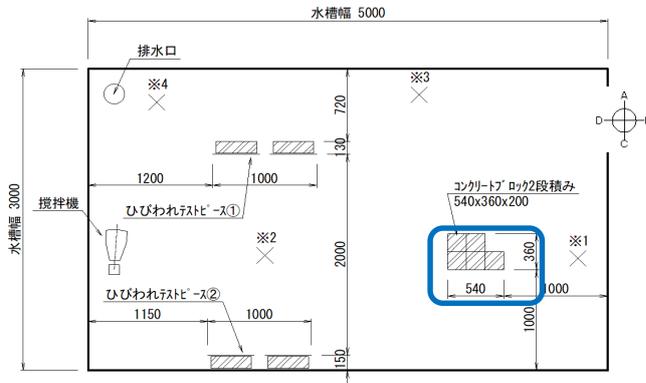
※進入可能性能



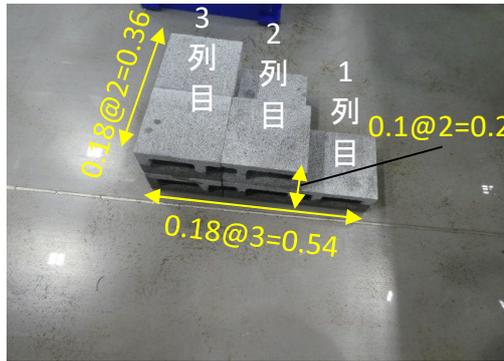
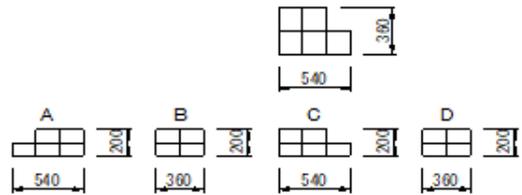
水深1.2mで、W2.0m × H1.0m × L1.0mの空間において、進入可能かを確認する。

※計測精度

コンクリートブロックの大きさを計測し、真値との誤差を計測精度とする。



コンクリートブロック積み 形状
※180x180x100mm x 8個使用



ブロック1列目	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
	0.1	0.18	0.18

ブロック2列目1段目	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
	0.1	0.18	0.18

ブロック2列目2段目	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
	0.2	0.18	0.18

ブロック3列目	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
	0.1	0.18	0.36

写真-11 コンクリートブロック



写真-12 濁度材投入



写真-13 流速装置

計測条件

計測1回目: 流速0m/s,濁度1度

計測2回目: 流速0.2~0.4m/s,濁度1度

計測3回目: 流速0m/s,濁度60~90度

※色識別性能

市販の24色のカラーチャート(写真-11)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。

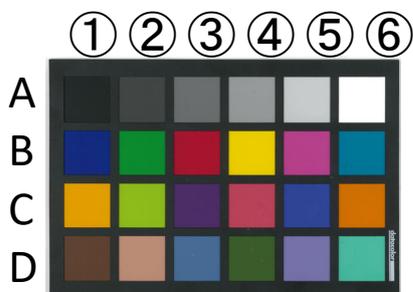


写真-11



写真-14

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

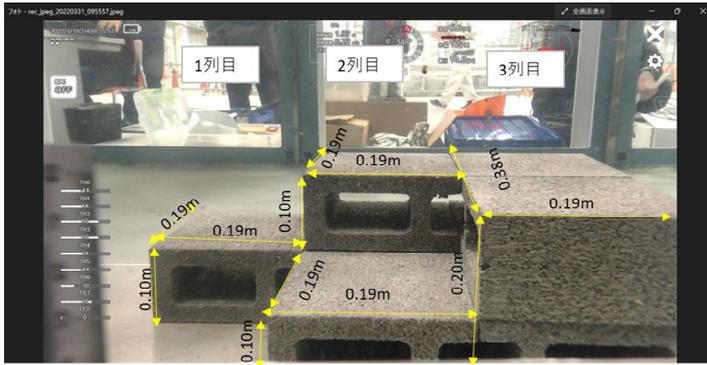
※安定性能

変化量:0cm

※進入可能性能

W2.0m×H1.0m×L1.0mの空間を進入可能

※計測精度



計測条件

計測1回目:流速0m/s,濁度1度

計測2回目:流速0.2~0.4m/s,濁度1度

計測3回目:流速0m/s,濁度60~90度

計測4回目:流速0.2~0.4m/s,濁度60~90

ブロック1列目	リファレンス(m)			当該技術(m)			差分		
	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
計測1回目	0.1	0.18	0.18	0.1	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測2回目	0.1	0.18	0.18	0.1	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測3回目	0.1	0.18	0.18	0.1	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測4回目				中止	中止	中止			

ブロック2列目1段目	リファレンス(m)			当該技術(m)			差分		
	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
計測1回目	0.1	0.18	0.18	0.1	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測2回目	0.1	0.18	0.18	0.1	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測3回目	0.1	0.18	0.18	0.1	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測4回目				中止	中止	中止			

ブロック2列目2段目	リファレンス(m)			当該技術(m)			差分		
	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
計測1回目	0.2	0.18	0.18	0.2	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測2回目	0.2	0.18	0.18	0.2	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測3回目	0.2	0.18	0.18	0.2	0.19	0.19	0	0.01	0.01
計測4回目				中止	中止	中止			

ブロック3列目	リファレンス(m)			当該技術(m)			差分		
	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)	高さ(A)	幅(B)	奥行き(C)
計測1回目	0.2	0.18	0.36	0.2	0.19	0.38	0	0.01	0.02
計測2回目	供試体損傷のため計測不可								
計測3回目	供試体損傷のため計測不可								
計測4回目	供試体損傷のため計測不可								

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

		計測精度
計測1回目	流速0m/s,濁度1度	0.027
計測2回目	流速0.2~0.4m/s,濁度1度	0.023
計測3回目	流速0m/s,濁度60~90度	0.023
計測4回目	流速0.2~0.4m/s,濁度60~90度	-

※色識別性能

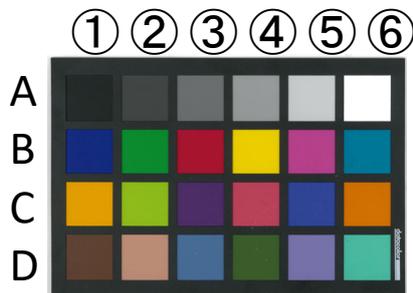
■カメラ名称:Logicool C920

■被写体距離:8.0cm ■濁度:1.1

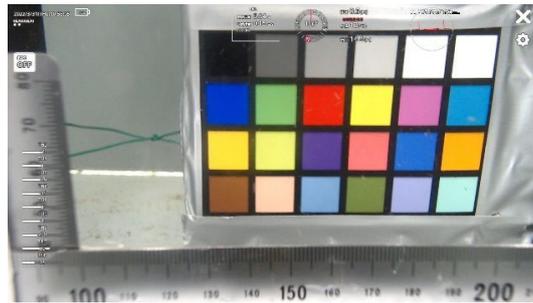
■流速: 0

■焦点距離: :7cm~∞ ■シャッター速度: 秒

■フォーカス: 手動/自動切換え可能 ■画像Pixel数: 3メガpixel



立会者撮影



開発者撮影

計測比較

	R値		G値		B値	
	真値	計測値	真値	計測値	真値	計測値
A-1	43	23	41	23	43	25
A-2	80	107	80	107	78	107
A-3	122	170	118	169	116	164
A-4	161	225	157	222	154	215
A-5	202	255	198	255	195	253
A-6	249	255	242	255	238	255
B-1	25	1	55	56	135	198
B-2	57	136	146	195	64	115
B-3	186	238	26	39	51	18
B-4	245	255	205	251	0	82
B-5	192	219	75	125	145	185
B-6	0	17	127	153	159	215
C-1	238	254	158	230	25	62
C-2	157	245	188	246	54	116
C-3	83	94	58	70	106	154
C-4	195	255	79	130	95	124
C-5	58	38	88	114	159	210
C-6	222	254	118	183	32	13
D-1	112	153	76	90	60	47
D-2	197	254	145	218	125	186
D-3	87	127	120	173	155	214
D-4	82	125	106	140	60	71
D-5	126	178	125	186	174	235
D-6	98	188	187	244	166	235

※色識別性能

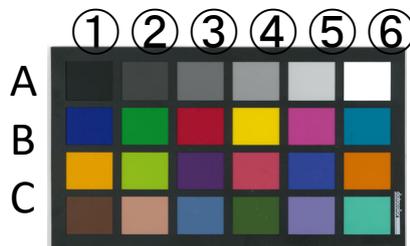
■カメラ名称:Logicool C920

■被写体距離:8.0cm ■濁度:60.5

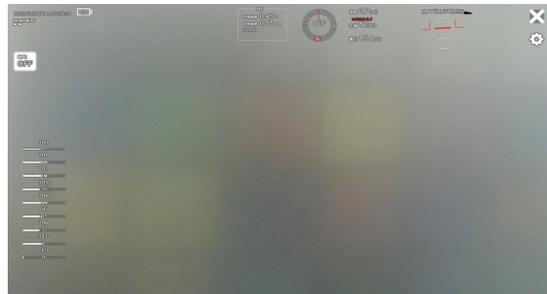
■流速: 0

■焦点距離: :7cm~∞ ■シャッター速度: 秒

■フォーカス: 手動/自動切換え可能 ■画像Pixel数: 3メガpixel



立会者撮影



開発者撮影

計測比較

	R値		G値		B値	
	真値	計測値	真値	計測値	真値	計測値
A-1	43	139	41	150	43	142
A-2	80	137	80	142	78	136
A-3	122	137	118	142	116	136
A-4	161	160	157	103	154	153
A-5	202	170	198	170	195	166
A-6	249	171	242	176	238	172
B-1	25	128	55	135	135	141
B-2	57	120	146	134	64	119
B-3	186	129	26	119	51	109
B-4	245	149	205	147	0	122
B-5	192	141	75	141	145	139
B-6	0	144	127	153	159	152
C-1	238	134	158	134	25	110
C-2	157	124	188	128	54	103
C-3	83	101	58	104	106	97
C-4	195	101	79	104	95	99
C-5	58	121	88	111	159	109
C-6	222	114	118	124	32	120
D-1	112	113	76	115	60	94
D-2	197	110	145	119	125	99
D-3	87	94	120	103	155	102
D-4	82	91	106	102	60	96
D-5	126	108	125	120	174	120
D-6	98	121	187	132	166	126

技術番号 BR030045-V0022

技術名 水中ドローン(DiveUnit300)を用いた橋梁点検支援技術(洗掘)

開発者名 株式会社FullDepth

試験日 令和4年 4月 9日

天候 晴れ

気温 26.4 °C

風速 - m/s

試験場所 実橋

カタログ分類 計測・モニタリング技術 カタログ

検出項目 洗掘

試験区分 現場試験

試験で確認する
カタログ項目 動作確認
(精度以外)

対象構造物の概要

橋梁形式: 2径間連続PCポステン中空床版橋

側面図

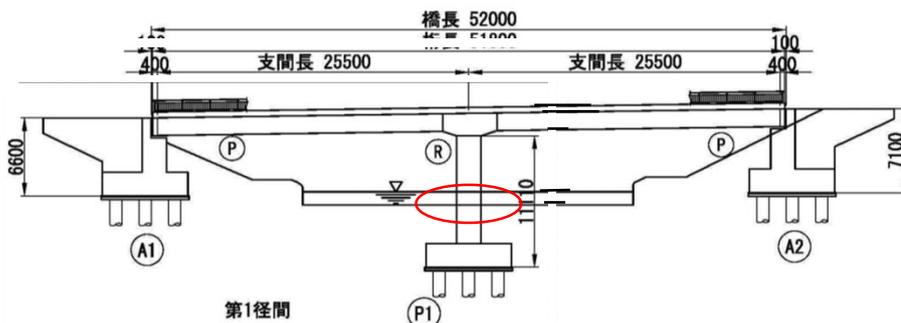
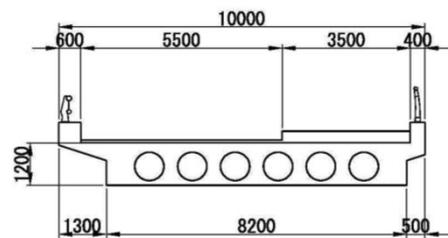


写真-1 全体写真

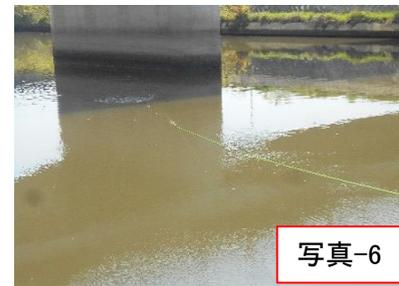
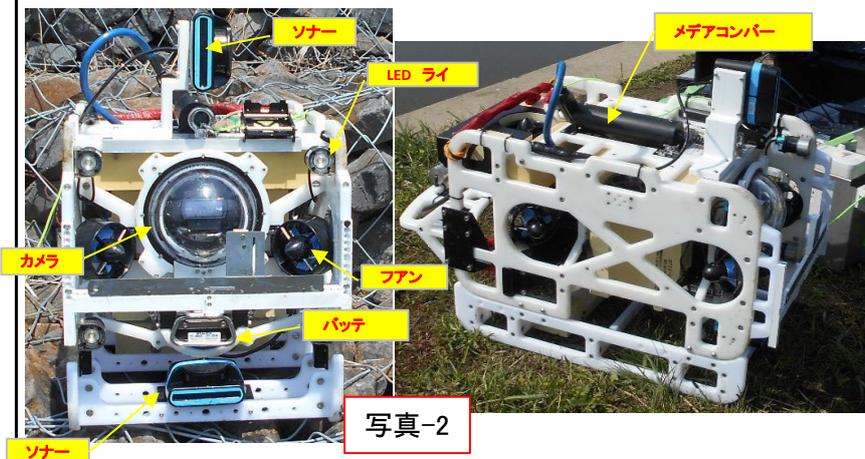
断面図



対象部材: P1橋脚

- | | |
|---|--|
| ① | ドローン本体の組立(写真-2) |
| ② | 計測機器の設置(写真-3: 左よりドローン本体、光ケーブル、モニター(鮮明化、本映像、水平ソナー、鉛直ソナー)) |
| ③ | ドローン本体の水中投入状況(写真-4: 水深100cm) |
| ④ | 計測状況(写真-5: 左(補助員)、右(操縦者)) |
| ⑤ | 計測状況(写真-6: P1橋脚左岸箇所) |

開発者による計測機器の設置状況



※P1橋脚上流側の河床深さ(写真-7、-8)



下流



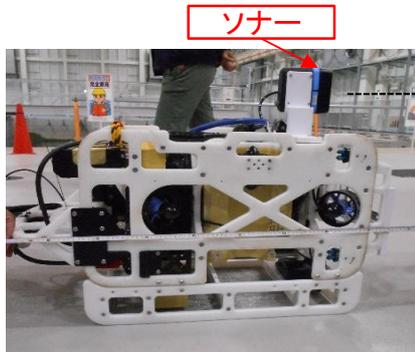
P1橋脚

(実測2.25m)

上流

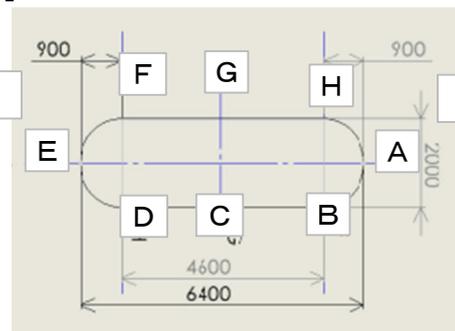
※計測結果

①計測値(橋脚表面位置)



②計測位置(橋脚表面位置)

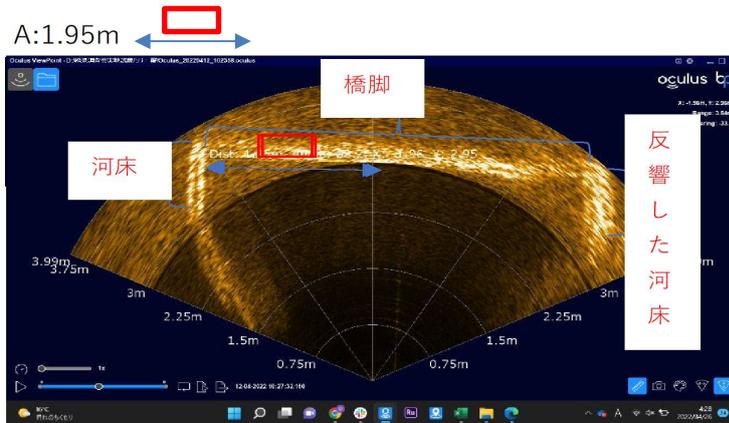
F、Hはそれぞれ地点DとBの裏面(反対側)



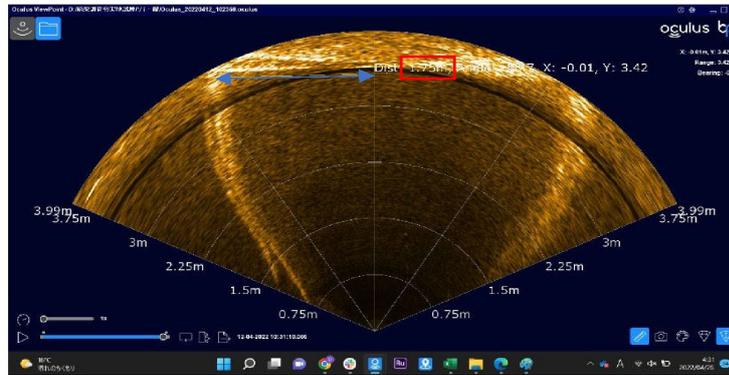
③計測結果一覧(橋脚表面位置)

地点	ソナー中心から河床までの距離(m)	水面から河床までの距離(m)
A	1.95	2.20
B	1.75	2.00
C	1.75	2.00
D	1.75	2.00
E	1.75	2.00
F	1.70	1.95
G	未測定	未測定
H	1.53	1.78

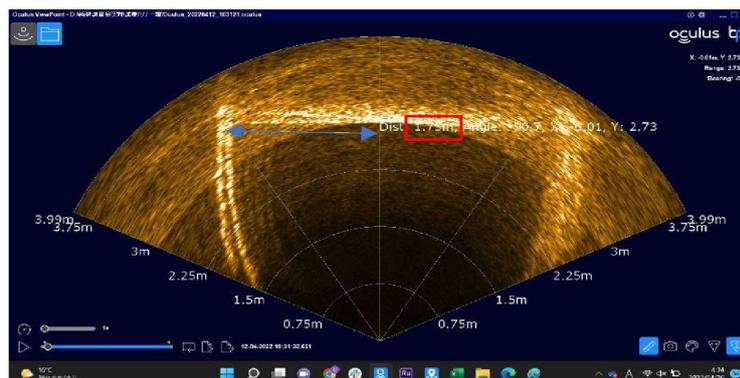
④各地点での実測値(橋脚表面位置でのソナー中心から河床までの距離)



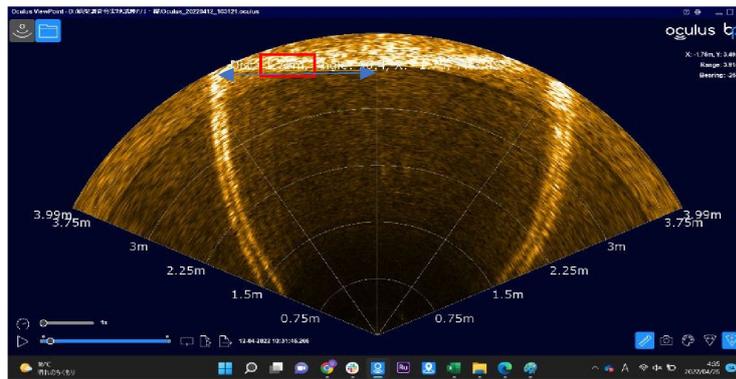
B:1.75m



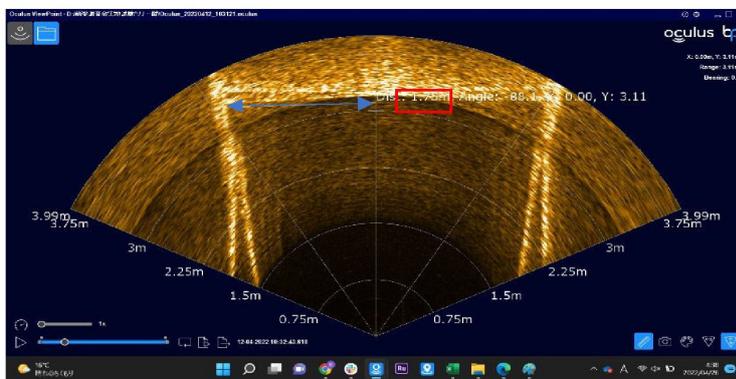
C:1.75m



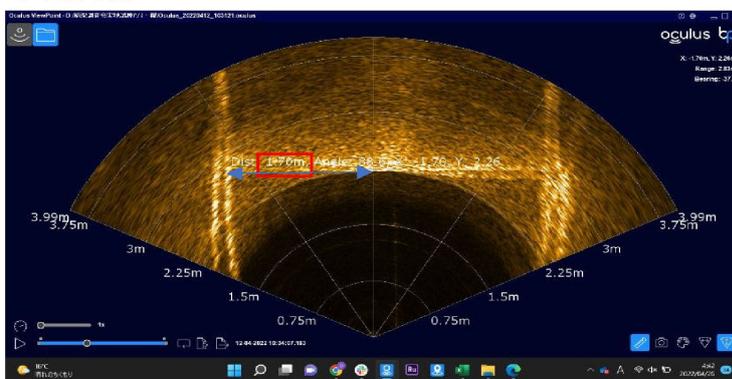
D:1.75m



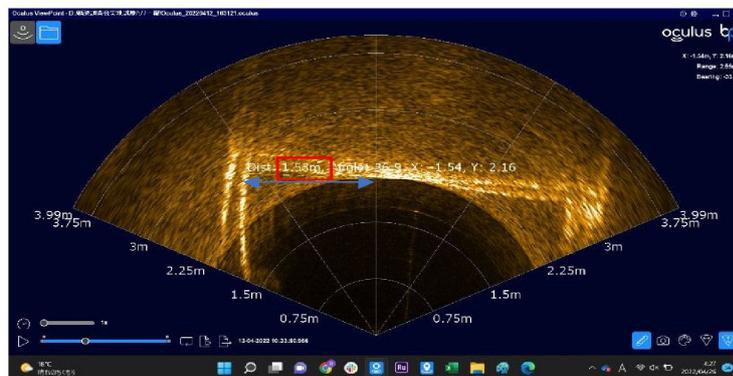
E:1.75m



F:1.70m

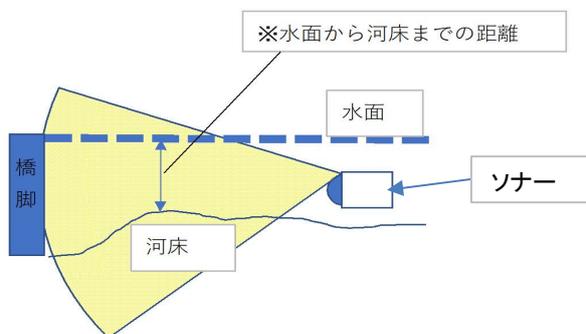


H:1.53m

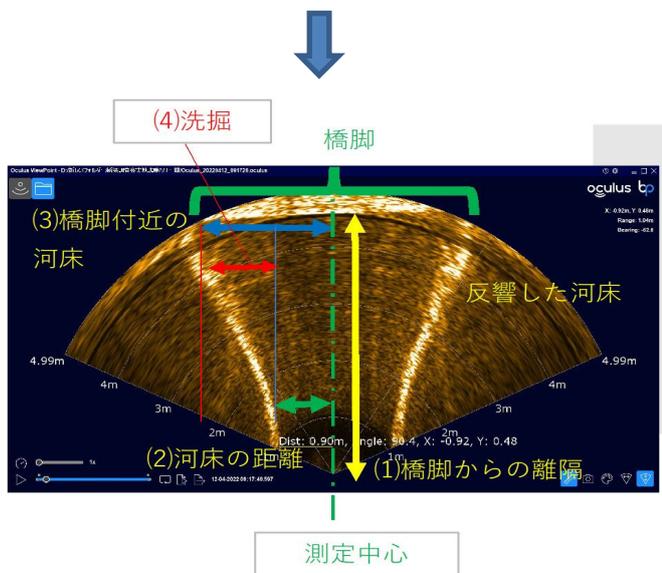


(参考) 洗掘量の算出方法(任意の箇所)

洗掘量は、橋梁付近の洗堀部分から河床がソナーで計測できる位置まで離隔をとり
水面から河床までの距離を下図(イメージ図)のように算出する。



イメージ図



洗掘は(1)~(4)の手順で算出(案)

(1)ソナーで河床が写る橋脚からの離隔をとる。

(2)河床の距離を測定する。

(3)橋脚付近の河床の距離を測定する。

(4)洗掘量(4) = (3) - (2) となる。