

資料No. 9 衝撃振動試験の結果

- 本資料は本編5. 8を補足する点検結果の詳細である。

1.概要

固有振動数の変化を確認するため、振動調査を H19、H21、H23、H25、H27、H29 の 6 回行った。

2.調査方法

2.1 H19、H21 調査方法

測定対象は、第 3 径間（P2～P3 間）とし、センサー位置はスパン中央 1 測点とした。

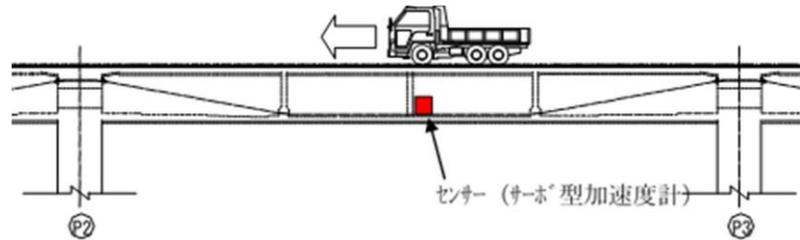


図-1 測定位置

センサー (サーボ型加速度計) を径間中央床面にセットし、サンプリング周波数 500Hz でデータ収録を 30 分程度実施した。その間通過した大型車両を監視員がチェックした。

下記の理由より H23 以降は、調査方法を変更した。

- (1) 通行車両の増加 (1 万台/日) に伴い大型車両通過による主桁の自由振動を得難い状況である。
- (2) 測定時に対象径間の前後径間に車両が進入した際、前後径間の固有振動数が励起され、対象径間の固有振動数特定が困難となる可能性が高くなる。

2.2 H23 以降調査方法

主桁 7 径間全てに対して衝撃振動試験を実施し、桁の 1 次振動モードを確認した。

測定位置は、図-2 に示すように、加速度計位置を 1/2L 地点、加振位置も 1/2L に設置して計測した。(加振位置前後径間の 1/2L 地点にも加速度計を設置し参考とした)

主桁の加振は土嚢 (320N) を高さ 1.0m 程度の位置から落下させた。

加振回数は 10 回としサンプリング時間は 35 秒とした。(測定時間間隔 $\Delta t = 0.002\text{sec}$)

なお、測定された 10 回分の測定値は各径間毎に時系列上で重ねあわせ、波形に含まれる白色雑音を低減し周波数分析に用いた。

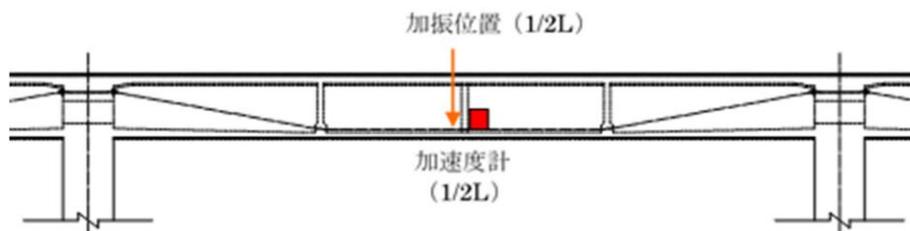


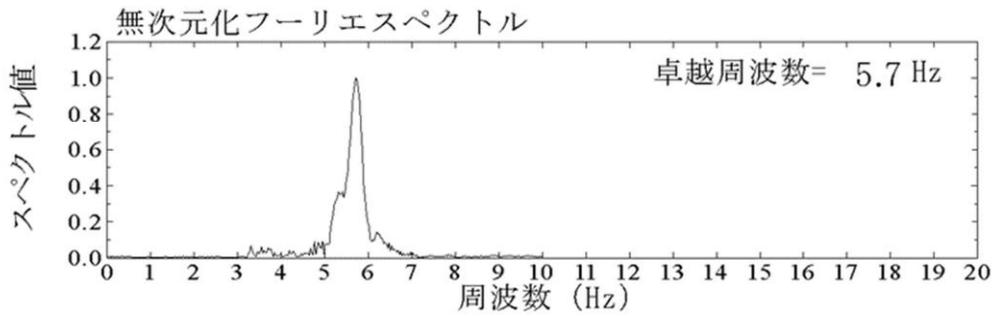
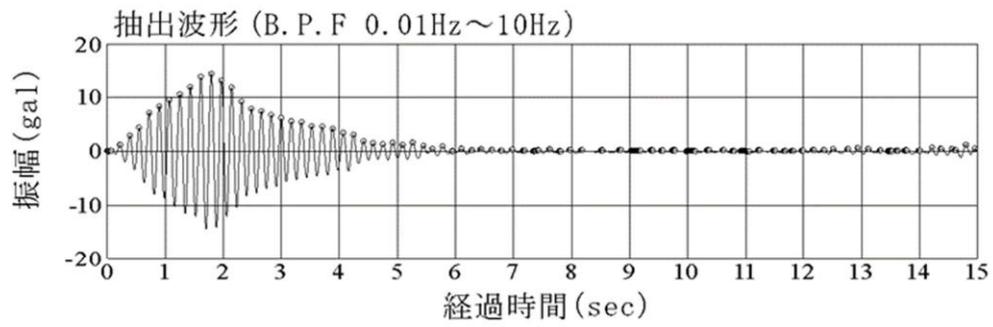
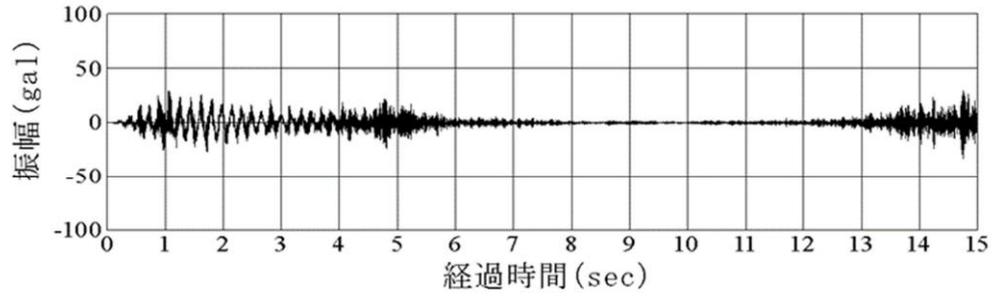
図-2 測定位置

3.測定結果一覧

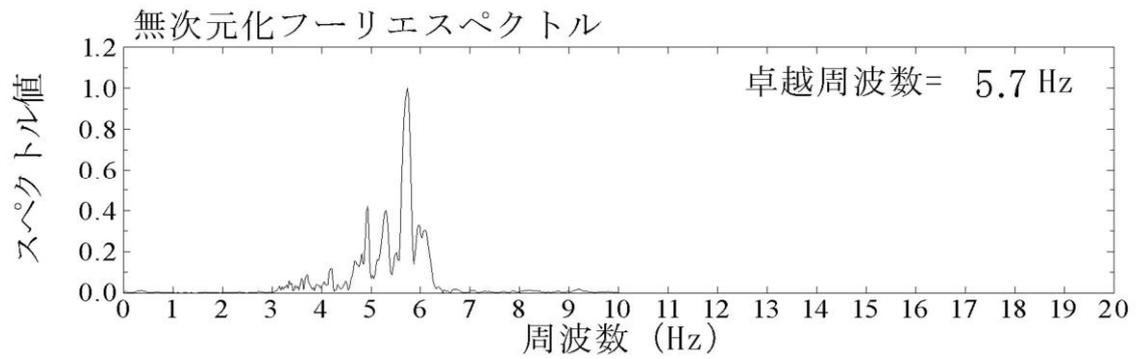
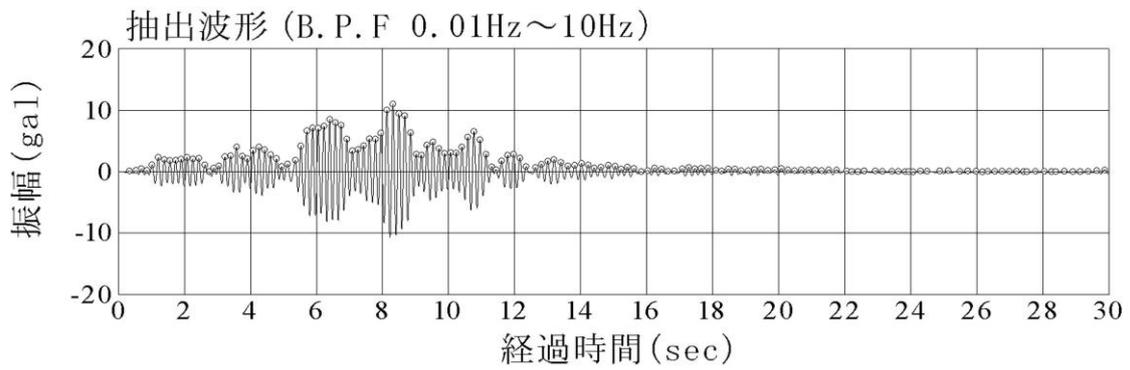
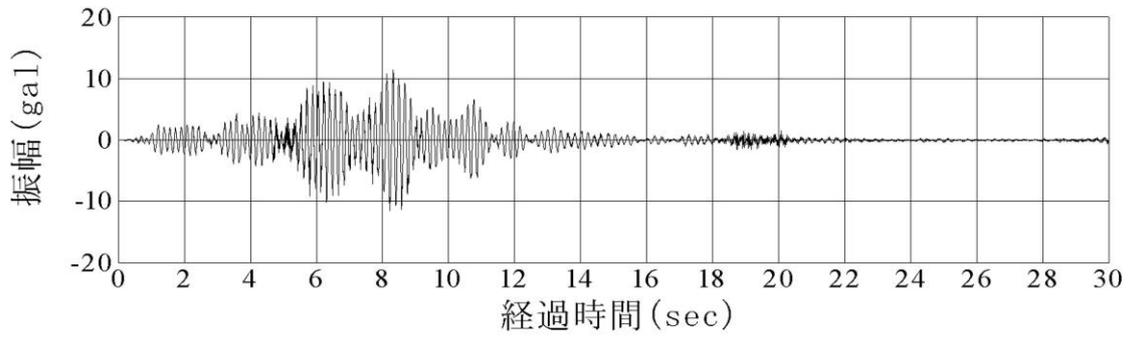
測定ステップ	第1径間	第2径間	第3径間	第4径間	第5径間	第6径間	第7径間
	(A1-P1)	(P1-P2)	(P2-P3)	(P3-P4)	(P4-P5)	(P5-P6)	(P6-A2)
スパン(m)	35.5	39.0	39.0	47.0	47.0	47.0	40.5
補修対策前 【H18.09】	3.8Hz	3.9Hz	5.1Hz	3.5Hz	3.5Hz	3.5Hz	4.4Hz
ひび割れ注入後 【H18.12】	4.3Hz	4.3Hz	5.4Hz	3.6Hz	3.6Hz	3.6Hz	4.6Hz
補修対策後(床版増厚後) 【H19.06】	4.0Hz	4.0Hz	5.2Hz	3.4Hz	3.4Hz	3.4Hz	4.4Hz
簡易振動モニタリング [※] 【H19.09】	—	—	5.0Hz	—	—	—	—
簡易振動モニタリング [※] 【H21.07】	—	—	4.9Hz	—	—	—	—
簡易振動モニタリング [※] 【H23.05】	3.5Hz	3.5Hz	4.9Hz	3.2Hz	3.2Hz	3.2Hz	4.2Hz
簡易振動モニタリング [※] 【H25.02】	3.8Hz	3.8Hz	5.0Hz	3.2Hz	3.2Hz	3.2Hz	4.2Hz
簡易振動モニタリング [※] 【H27.02】	3.8Hz	3.8Hz	4.9Hz	3.2Hz	3.2Hz	3.2Hz	4.2Hz
簡易振動モニタリング [※] 【H29.03】	3.8Hz	3.8Hz	4.9Hz	3.2Hz	3.2Hz	3.2Hz	4.2Hz

4.各年の測定結果

H19

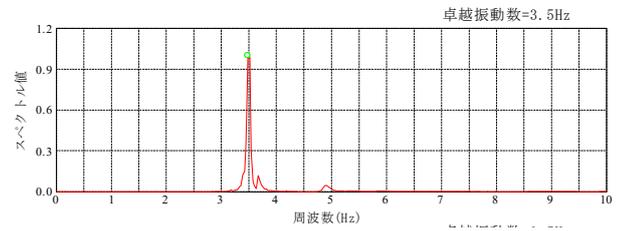
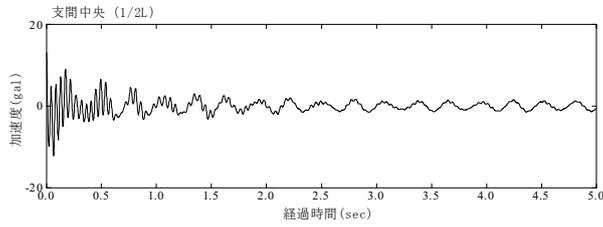


H21

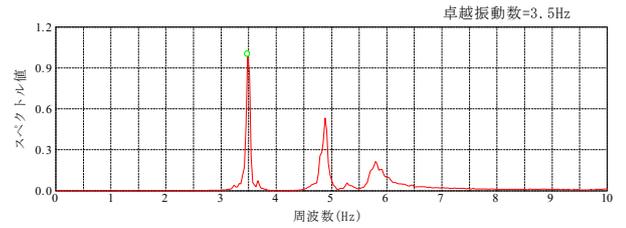
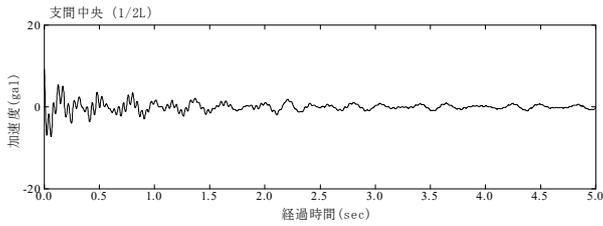


H23

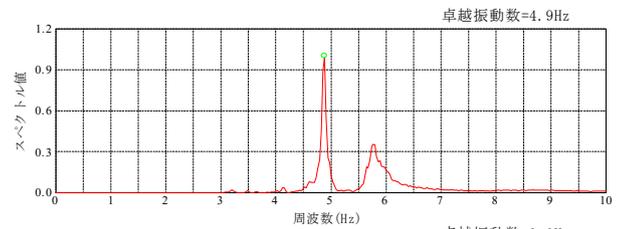
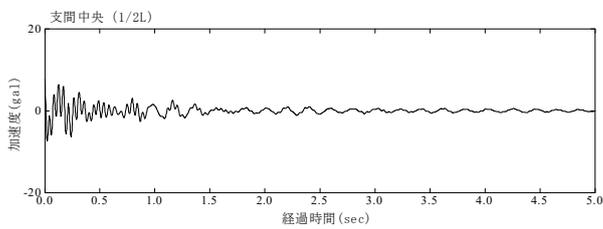
1 径間



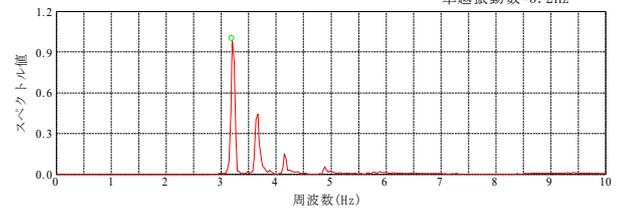
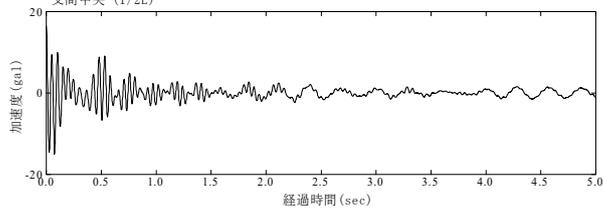
2 径間



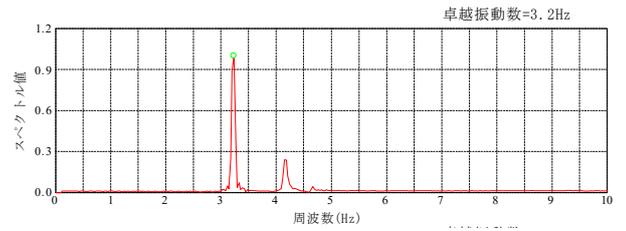
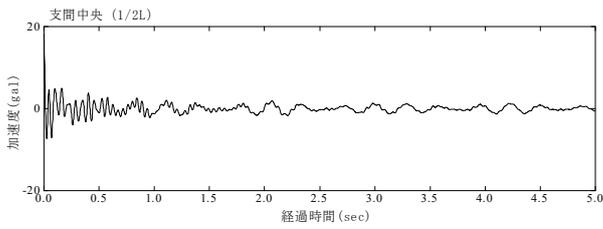
3 径間



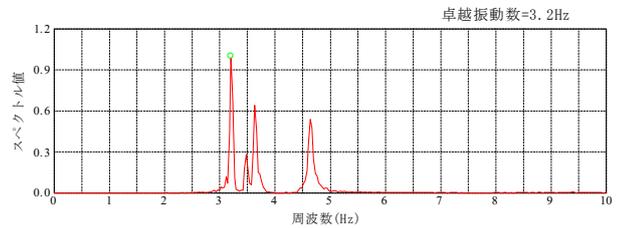
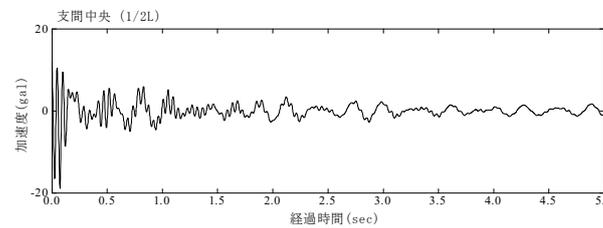
4 径間



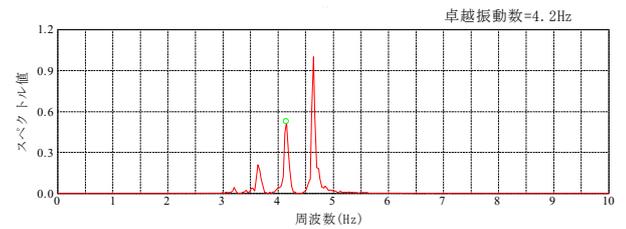
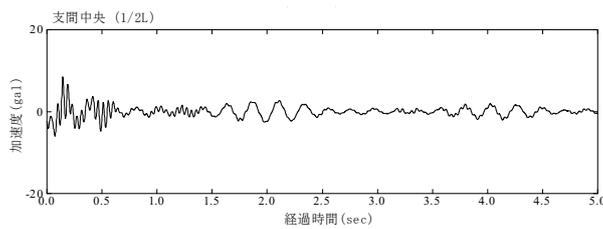
5 径間



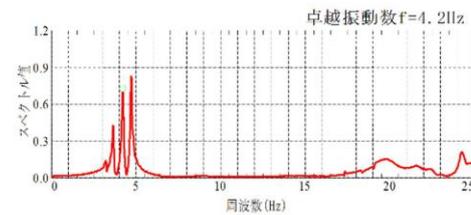
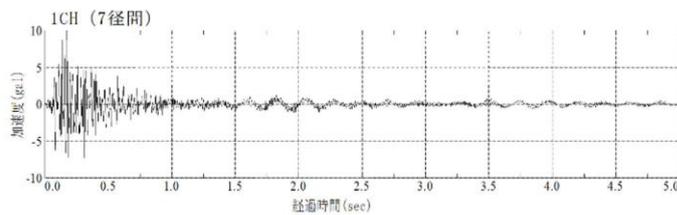
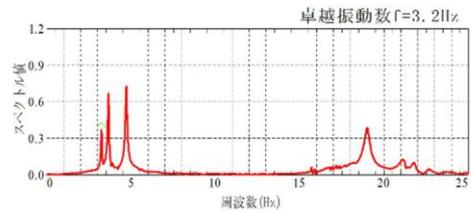
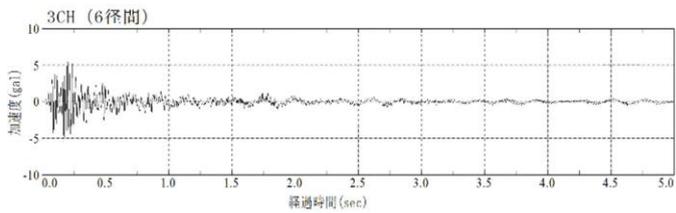
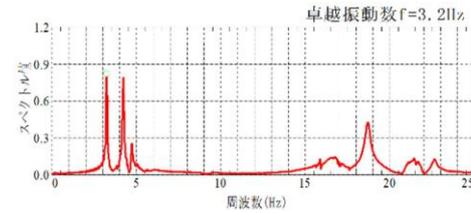
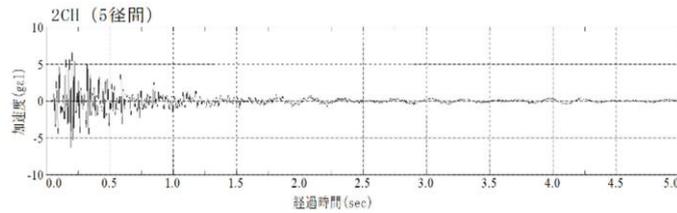
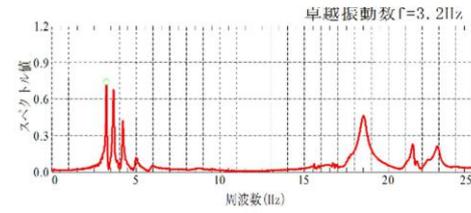
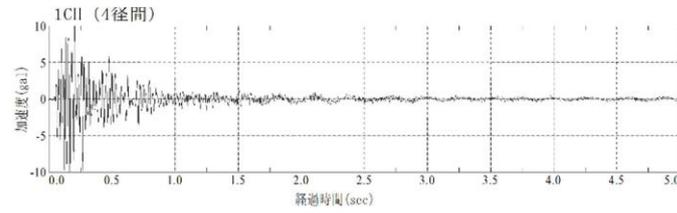
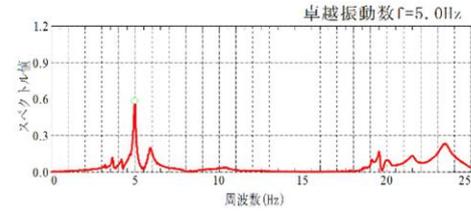
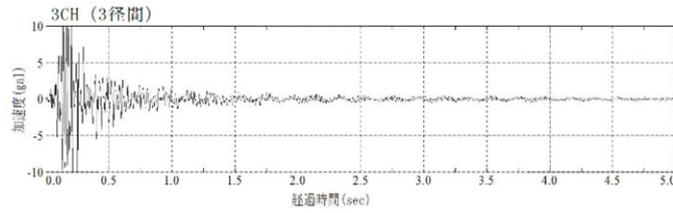
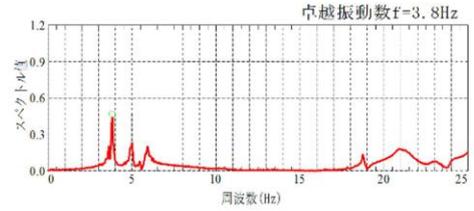
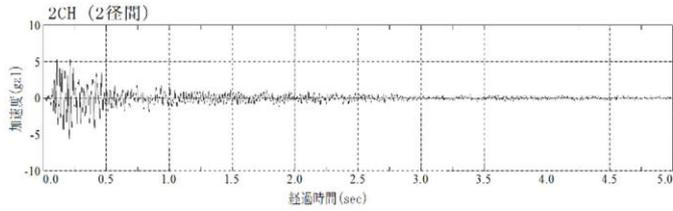
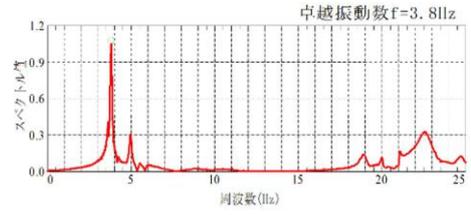
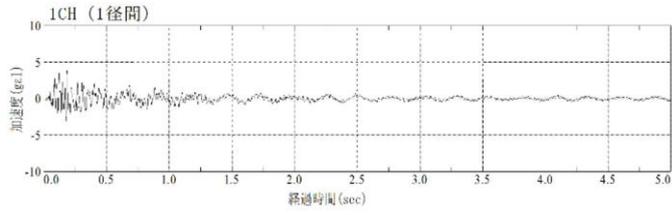
6 径間



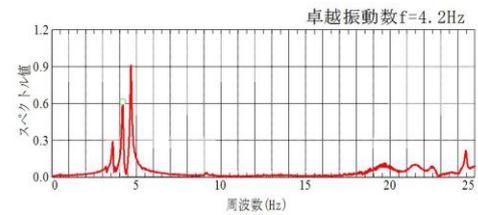
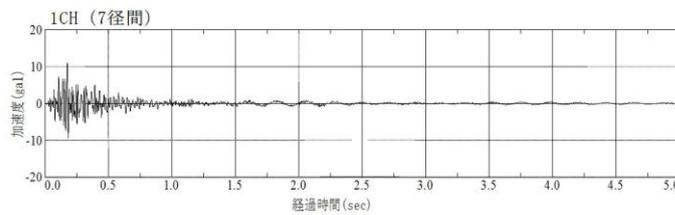
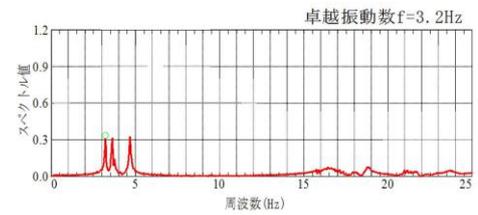
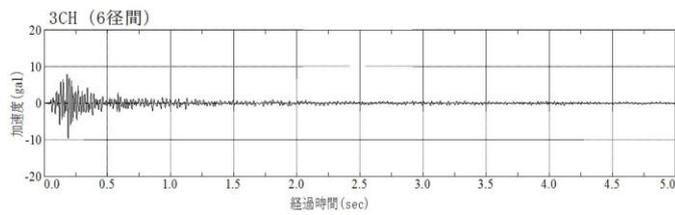
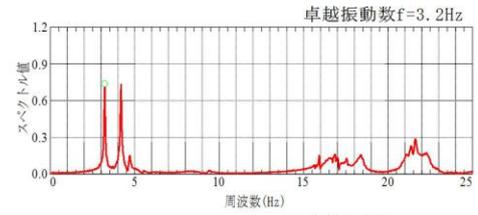
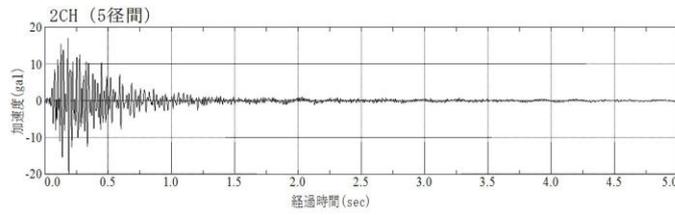
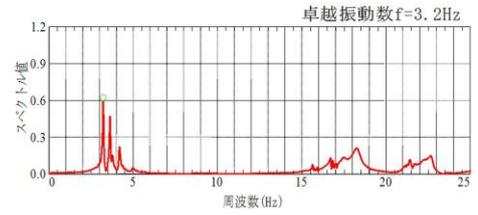
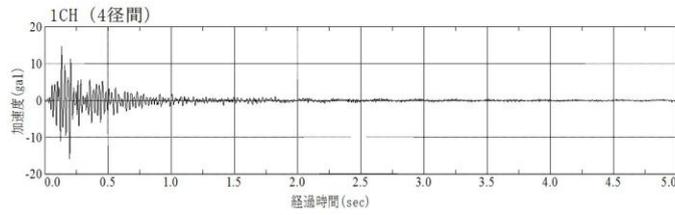
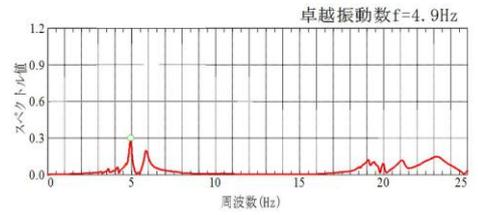
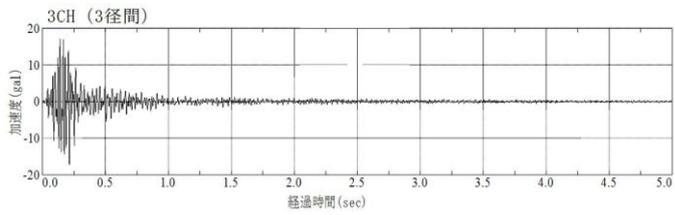
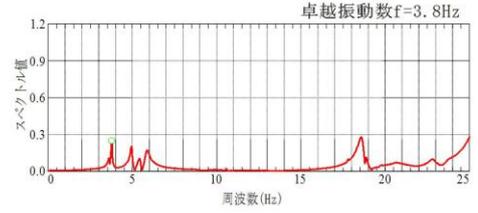
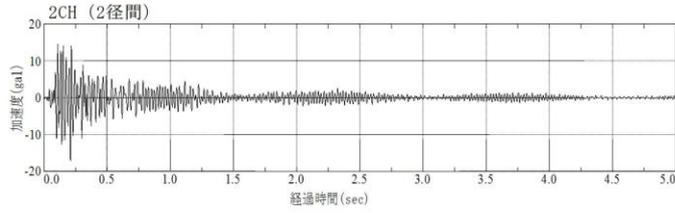
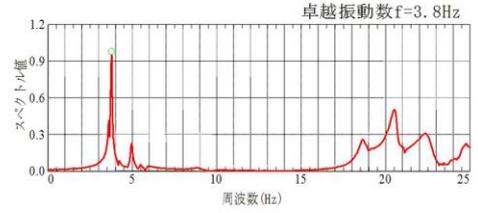
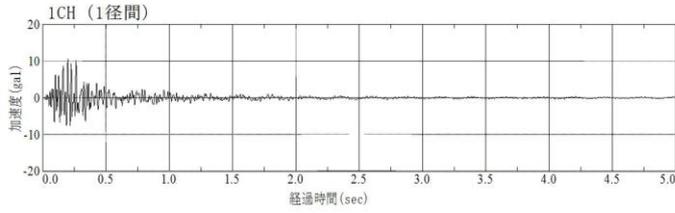
7 径間



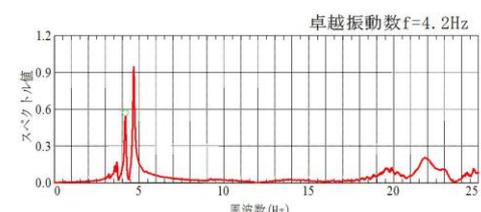
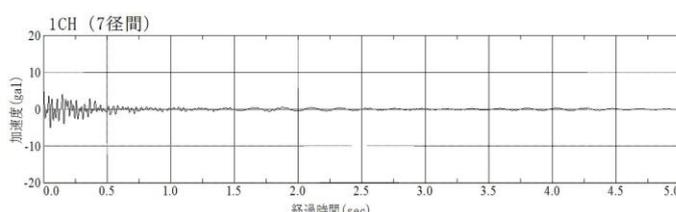
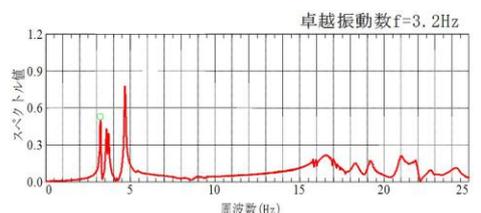
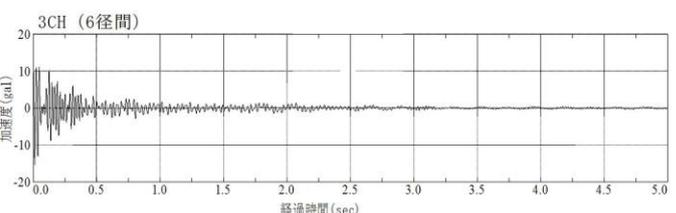
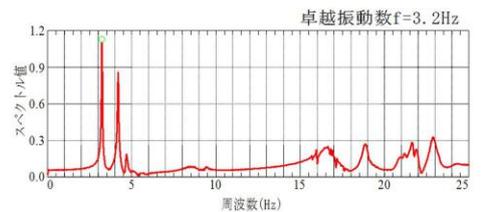
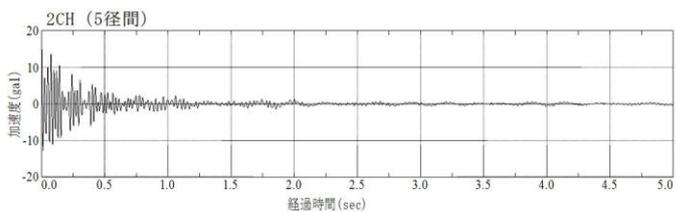
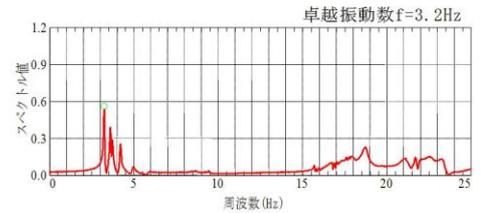
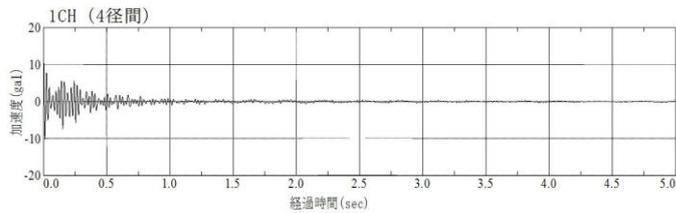
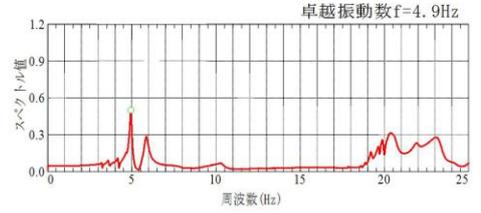
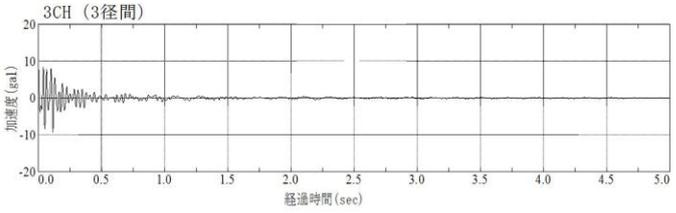
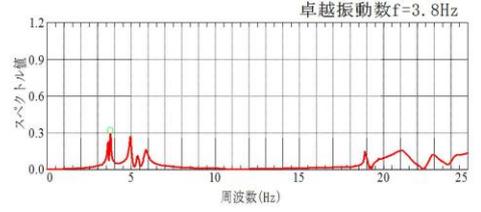
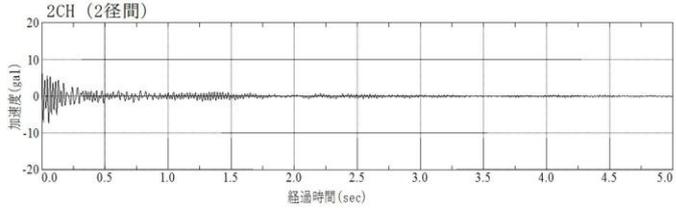
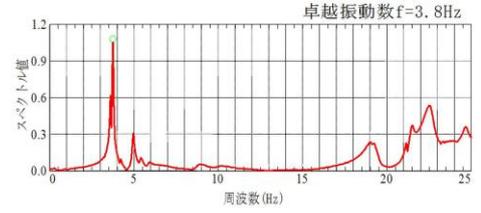
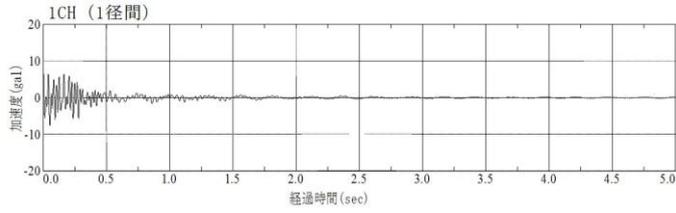
H25



H27



H29



資料No.10 自然電位計測の結果

- ・本資料は本編5. 9を補足する点検結果の詳細である。

●測定内容

測定方法は、「コンクリート構造物における自然電位測定方法(JSCE-E 601-2000)に準拠し、照合電極には銅-飽和硫酸銅電極を使用した。

鉄筋の腐食については、平成22年、平成26年、平成29年に行った。

自然電位法は、コンクリート構造物中の鋼材の腐食状況を電気化学的方法で非破壊的に推定する方法であり、腐食状況に応じて変動する電位を測定することにより、鋼材の腐食診断をする方法である。

自然電位の測定は平成22年、26年、29年の三度実施し、平成26年以降の点検からは表面含水率を、平成29年の点検ではコンクリート表面温度測定を測定項目に追加した。

●測定結果

鋼材の腐食状況は、全ての調査年、測点において、 -200mV より貴な電位となっており、ASTM C876規格による判断基準では、「90%以上の確率で腐食無し」と判定され、現状で腐食の傾向は認められない。

測点	平成22年測定結果	平成26年測定結果	平成29年測定結果
P2-P3(起点側)	90%以上の確率で腐食無し	90%以上の確率で腐食無し	90%以上の確率で腐食無し
P2-P3(汚れ部)	90%以上の確率で腐食無し	90%以上の確率で腐食無し	90%以上の確率で腐食無し
P6-A2	90%以上の確率で腐食無し	90%以上の確率で腐食無し	90%以上の確率で腐食無し

自然電位測定結果図【P2-P3】

測定実施日 平成29年3月21日

【自然電位法の原理】

コンクリート中の鉄筋などの腐食現象は、右図に示すように、電荷(電子やイオン)の移動を伴った化学的反応である。腐食反応にしている箇所はアノードと呼ばれ、鉄原子は電子を失い電子を放出して陽極のコンクリート中に溶け出ていく。この反応は陽極反応(アノード反応)と呼ばれ下式で表される。

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

電子は鉄筋に集り、カソードと呼ばれる箇所へ移動し、そこで、コンクリート中の水や酸素と反応し、水酸イオンとなる。その反応は陰極反応と呼ばれ下式で表される。

$$2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$$

鉄イオンは水酸イオンと反応して鉄の水酸化物、錆となる。よって、鉄筋が腐食しているときは、電子は鉄筋内を流れ、イオンはコンクリート中を移動する。これらの電子やイオンの流れが腐食電流であり、腐食反応の強さを腐食電流(電位)を表している。鉄筋の腐食していない箇所には電子やイオンの移動はない。鉄筋が腐食しているアノード側の電位はイオンに酸化することが多い。自然電位法はこの電位差を検出するもので、腐食状況、おおよそ電位を測定することにより、鉄筋の腐食程度を行うのである。

【評価基準】

ASTM標準による自然電位を用いた腐食可能性の規定

自然電位の範囲	コンクリート中の腐食可能性の可能性
-200mV < E	90%以上の確率で腐食なし
-350mV < E ≤ -200mV	不確定
E ≤ -350mV	90%以上の確率で腐食あり



測定範囲



測定機器

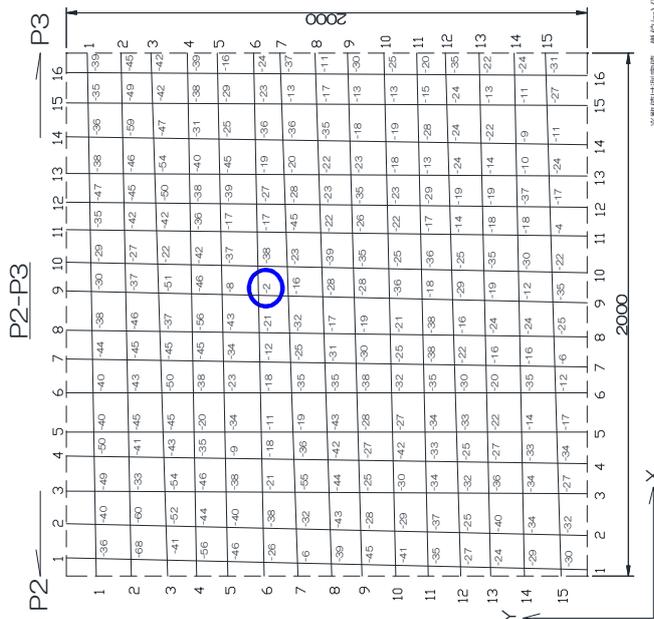


測定状況

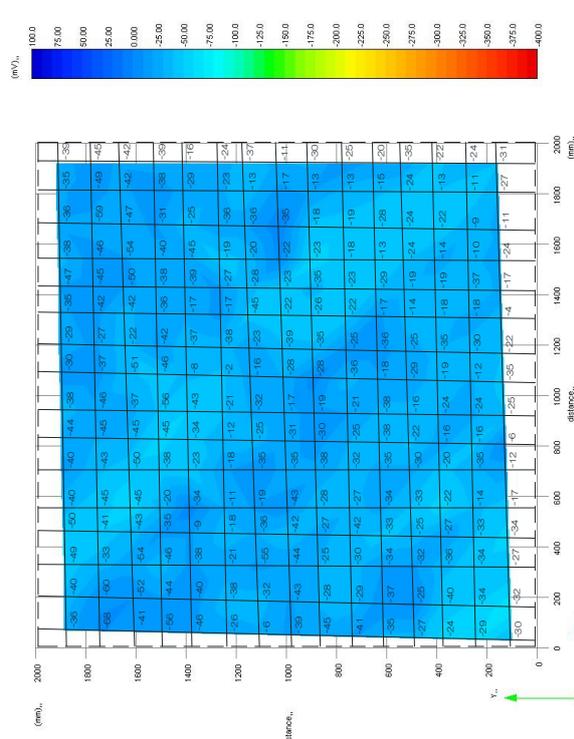


測定位置外観図

※ 表面水分率 5.1% コンクリート表面温度 12.5℃ (平成29年)



測定位置・測定値詳細図



○ : 最大値

結果：90%以上の確率で腐食なし

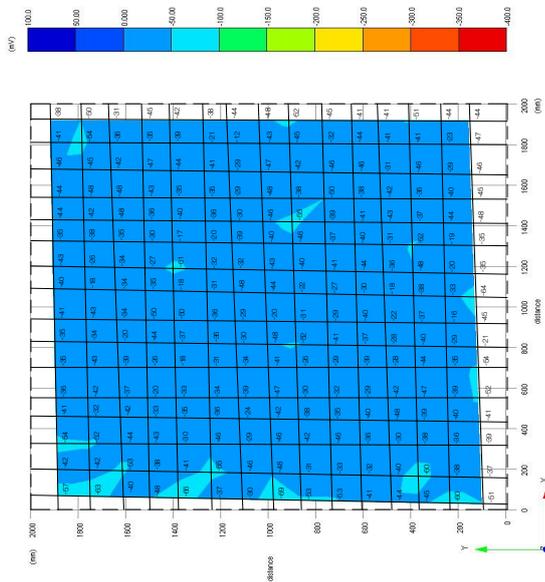
測定結果 (コンター図)

自然電位測定結果比較

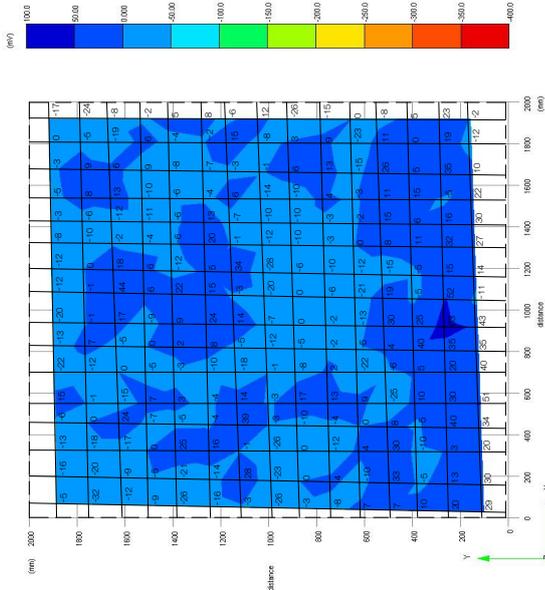
【P2-P3】

1. コンタナー図の比較

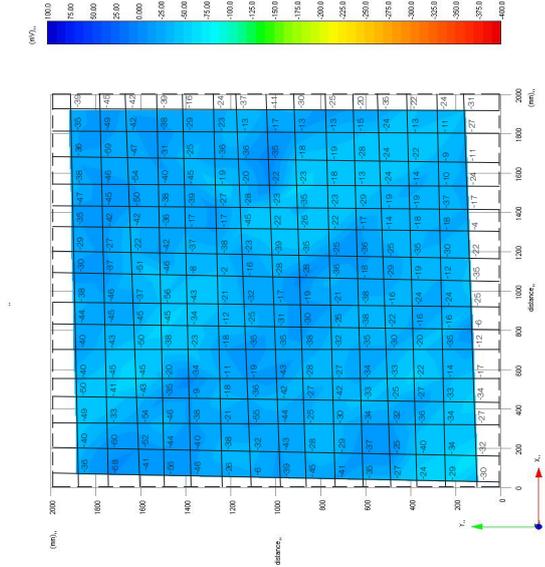
【平成22年2月27日実施】



【平成26年2月18日実施】



【平成29年3月21日実施】



※ 表面水分率 5.0% (平成26年)

※ 表面水分率 5.1% コンクリート表面温度 12.5℃ (平成29年)

2. 数値の比較

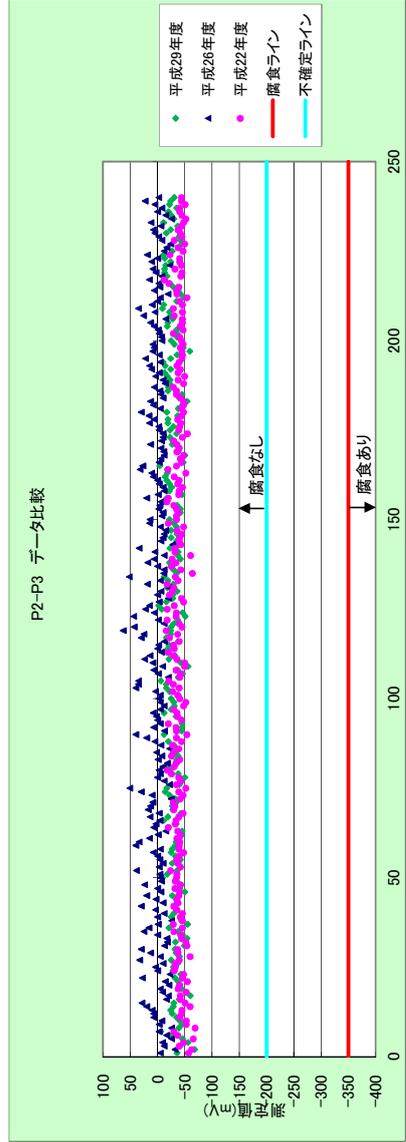
	最大値(mV)	最小値(mV)	平均値(mV)
平成22年度	-12	-69	-39
平成26年度	63	-32	2
平成29年度	-2	-68	-31

【評価基準】

ASTM基準による自然電位を用いた腐食可能性の判定

自然電位の範囲	コンクリート中の腐食可能性の可能性
-200mV < E	90%以上の確率で腐食なし
-350mV < E ≤ -200mV	不確定
E ≤ -350mV	90%以上の確率で腐食あり

3. グラフの比較



自然電位測定結果図【P2-P3（汚れ部）】

測定実施日 平成29年3月21日

【自然電位法の原理】
 コンクリート中の鉄筋などの腐食現象は、右図に示すように、電子（電子やイオン）の移動を伴う電気化学的腐食である。腐食反応にしている箇所はアノードと呼ばれ、腐食生成物を生じ、腐食生成物を生じたコンクリート中に溶け出し、溶け出ていく。この反応は酸化反応（アノード反応）と呼ばれ、式で表される。
 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$
 電子は鉄筋に集り、カソードと呼ばれる箇所へ移動し、そこで、コンクリート中の水や酸素と反応し、水酸イオンとなる。その反応は還元反応と呼ばれる。式で表される。
 $2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$
 コンクリート中の鉄筋腐食
 鉄イオンは水酸イオンと反応して鉄の水酸化物、錆となる。よって、鉄筋が腐食しているときは、電子は鉄筋内を流れ、イオンはコンクリート中を移動する。これらの電子やイオンの流れが腐食電流であり、腐食反応の速度（腐食速度）を表している。鉄筋の腐食速度は電位測定により測定することが多い。自然電位法はこの腐食速度を測定するもので、腐食速度、および電位を測定することにより、鉄筋の腐食状態を行うのである。

【評価基準】
 ASTM基準による自然電位を計測した腐食腐食の規定

自然電位の範囲	コンクリート中の腐食腐食可能性
-200mV < E	90%以上の確率で腐食なし
-350mV < E ≤ -200mV	不確定
E ≤ -350mV	90%以上の確率で腐食あり



測定範囲



測定機器

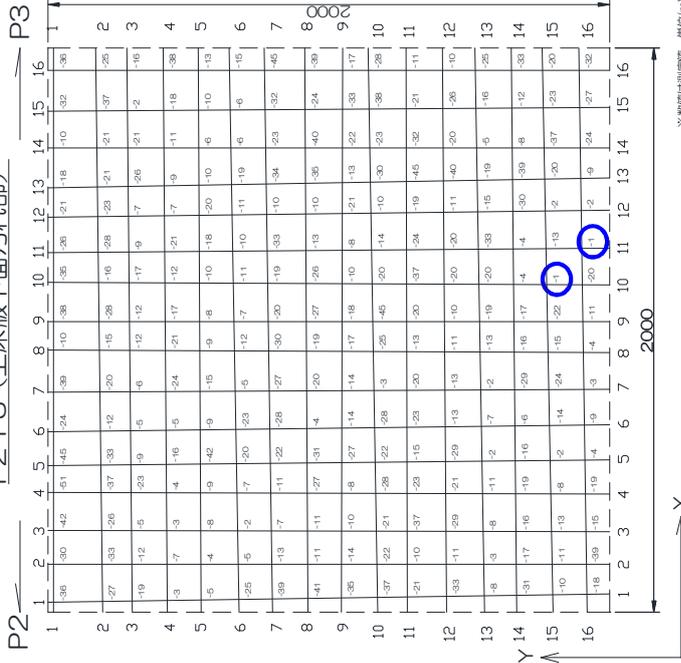


測定状況



※ 表面水分率 4.8% コンクリート表面温度 12.5℃ (平成29年)

P2-P3 (上床版下面汚れ部)



※ 数値は測定値 単位(mV)
 (平成29年3月21日実施)

測定位置・測定値詳細図

測定結果 (コンター図)

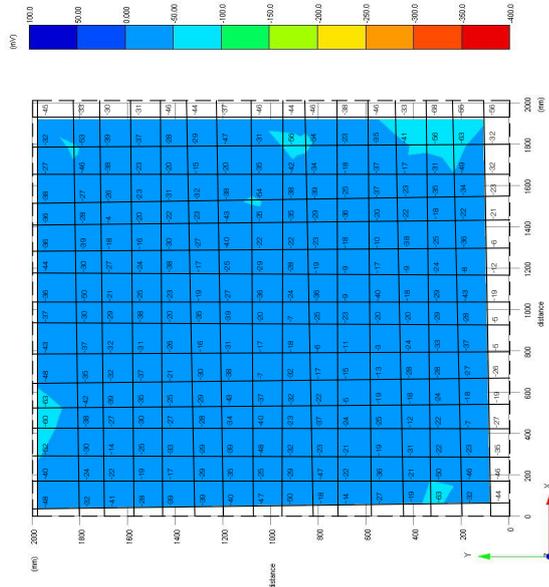
結果：90%以上の確率で腐食なし

自然電位測定結果比較

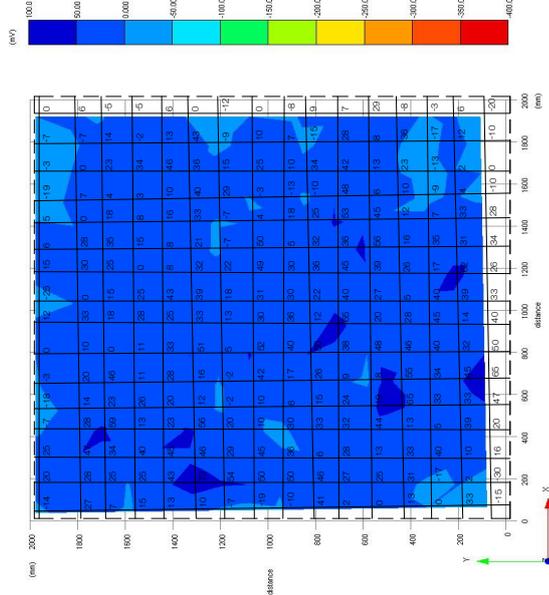
【P2-P3(汚れ部)】

1. コンター図の比較

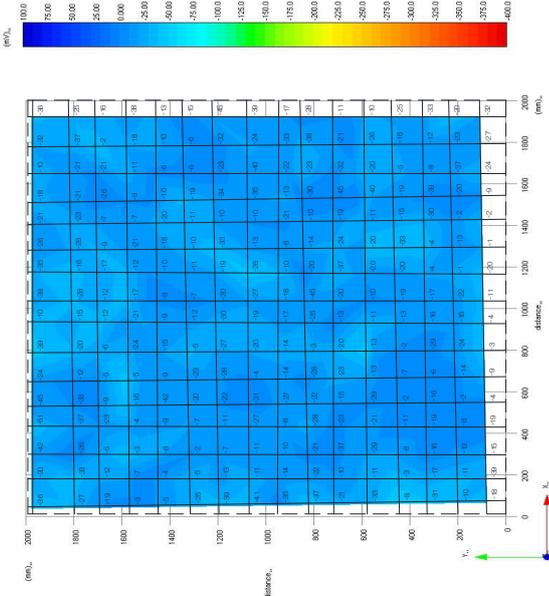
【平成22年2月27日実施】



【平成26年2月18日実施】



【平成29年3月21日実施】



2. 数値の比較

	最大値(mV)	最小値(mV)	平均値(mV)
平成22年度	-3	-68	-30
平成26年度	73	-30	20
平成29年度	-1	-51	-19

【評価基準】 ASTM基準による自然電位を用いた腐食可能性の判定

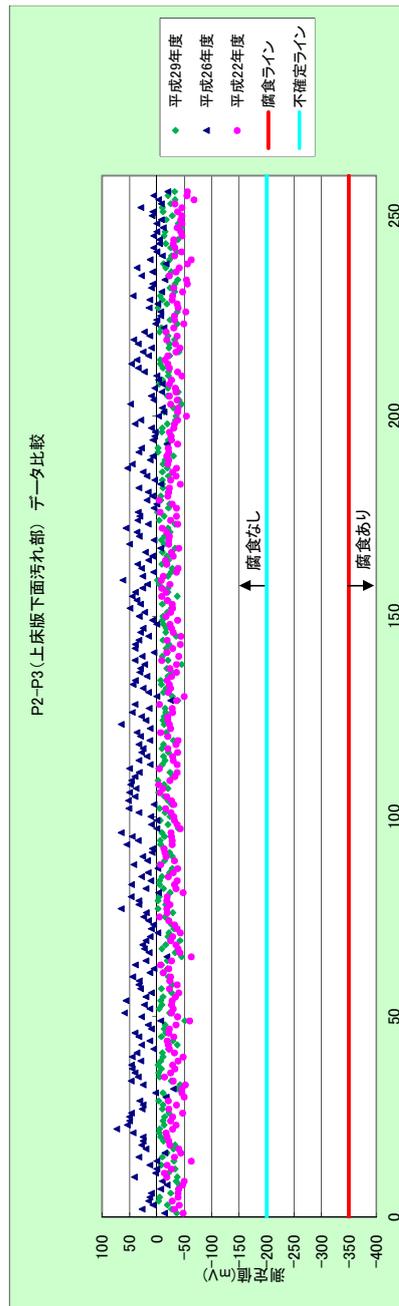
自然電位の範囲	コンクリート中の腐食可能性の判定
-200mV<E	90%以上の腐食可能性あり
-350mV<E≤-200mV	90%以上の腐食可能性なし
E≤-350mV	90%以上の腐食可能性あり

不確定

※ 表面水分率 5.1% (平成26年)

※ 表面水分率 4.8% コンクリート表面温度 12.5℃ (平成29年)

3. グラフの比較



自然電位測定結果図【P6-A2】

測定実施日 平成29年3月21日

【自然電位法の原理】
コンクリート中の鉄筋などの腐食反応は、右図に示すように、亜陽電子やイオンの移動を伴う電気化学的腐食反応である。腐食反応にしている箇所はアノードと呼ばれ、腐食反応電子を放出し、電位が低いコンクリート中に溶け出ていく。この反応は酸化反応(アノード反応)と呼ばれ下式で表される。
 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$
電子は鉄筋(アノード)から、カソードへと流れ、移動し、水素イオンとなる。その反応は還元反応と呼ばれ下式で表される。
 $2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$
電子は鉄筋(アノード)に反応して鉄の酸化反応。結果として、鉄筋が腐食しているときは、電子は鉄筋内を流れ、イオンはコンクリート中を移動する。これらの電子やイオンの流れが腐食反応であり、腐食反応の速度(腐食速度)を表している。鉄筋の腐食速度は高くないと仮定し、自然電位法はこの腐食速度を推定するものである。腐食速度は、おおよそ定数と仮定することにより、鉄筋の腐食速度を行うのである。

コンクリート中の鉄筋腐食

【評価基準】	
ASTM標準による自然電位を計測した腐食腐食の規定	
自然電位の範囲	コンクリート中の腐食腐食可能性
-200mV < E	90%以上の確率で腐食なし
-350mV < E ≤ -200mV	不確定
E ≤ -350mV	90%以上の確率で腐食あり

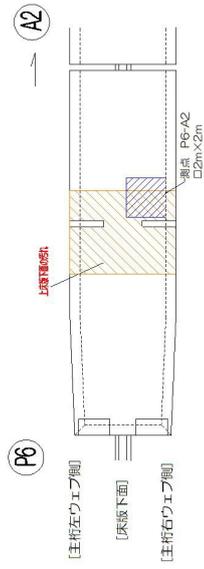


測定範囲



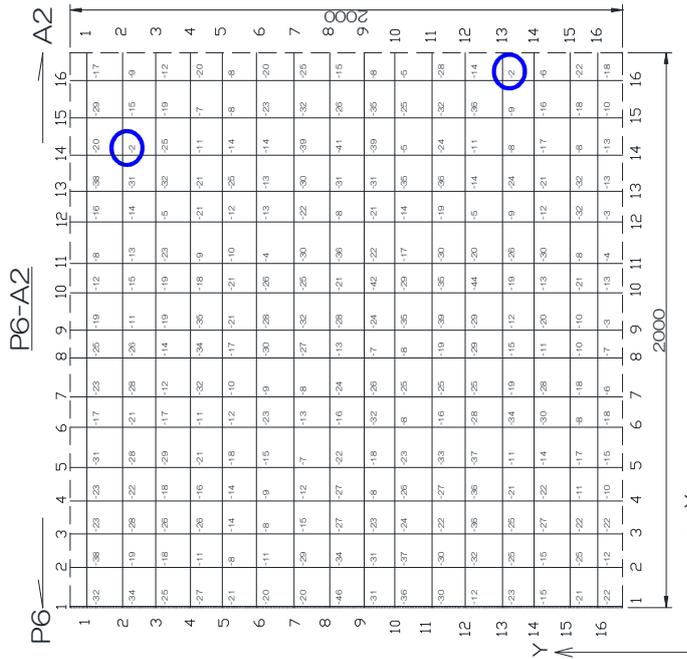
測定機器

測定状況



測定位置外観図

※ 表面水分率 4.8% コンクリート表面温度 11.8℃ (平成29年)



測定位置・測定値詳細図

※ 数値は測定値 単位(mV)
※ 数値は測定日 (平成29年3月21日実施)

○ : 最大値

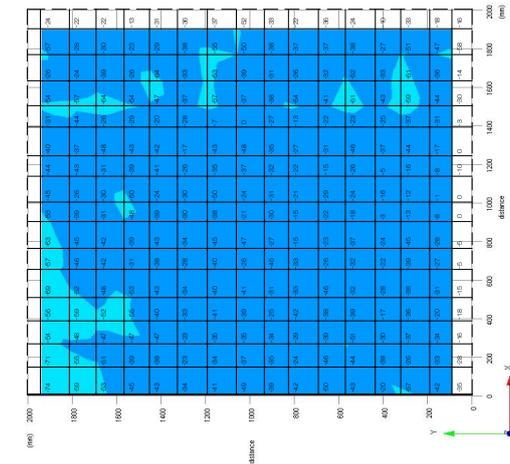
結果：90%以上の確率で腐食なし

自然電位測定結果比較

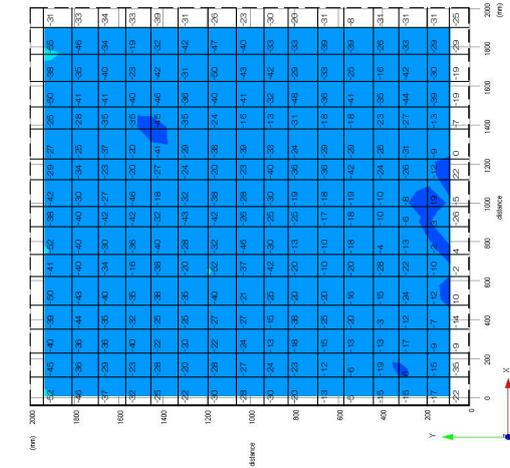
[P6-A2]

1. コンター図の比較

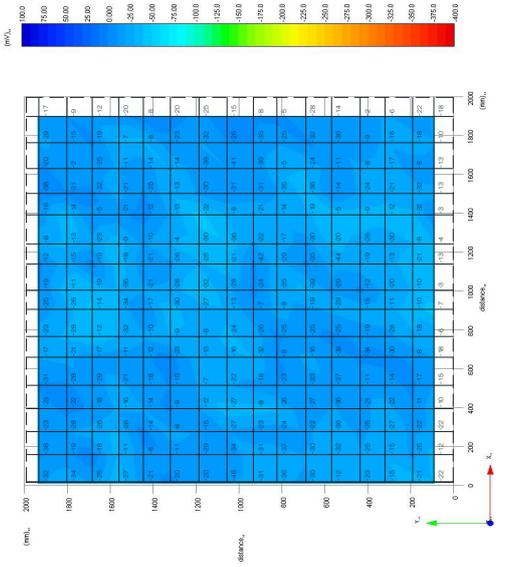
【平成22年2月27日実施】



【平成26年2月18日実施】



【平成29年3月21日実施】



2. 数値の比較

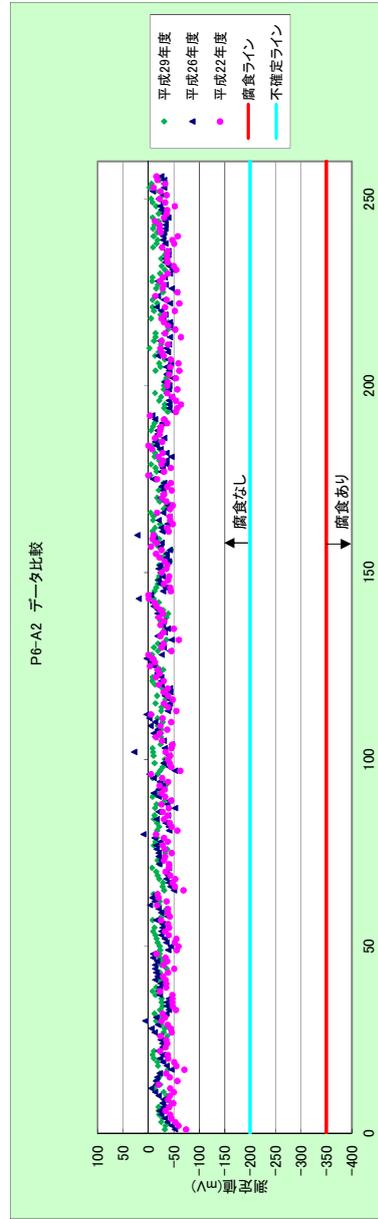
	最大値(mV)	最小値(mV)	平均値(mV)
平成22年度	0	-74	-35
平成26年度	28	-65	-27
平成29年度	-2	-46	-21

【評価基準】	
ASTM基準による自然電位を用いた腐食腐食の規程	
自然電位の範囲	コンクリート中の腐食腐食の可能性
-200mV<E	90%以上の確率で腐食なし
-350mV<E<= -200mV	不確定
E<= -350mV	90%以上の確率で腐食あり

※ 表面水分率 6.6% (平成26年)

※ 表面水分率 4.8% コンクリート表面温度 11.8℃ (平成29年)

3. グラフの比較



資料No.11 外観写真（10年間の経過）

- ・本資料はこれまでの委員会で提示した外観写真の部位ごとの経過として表したものである。

垂井高架橋モニタリング業務 外観調査結果

A1-P1	側面 R側					
A1-P1	下面					
A1-P1	側面L 側					
P1-P2	側面 R側					
P1-P2	下面					
P1-P2	側面L 側					
P2-P3	側面 R側					
P2-P3	下面					
P2-P3	側面L 側					
	測定日	2009/7	2011/7	2013/2	2015/2	2017/3

垂井高架橋モニタリング業務 外観調査結果

P3-P4	側面R側					
P3-P4	下面					
P3-P4	側面L側					
P4-P5	側面R側					
P4-P5	下面					
P4-P5	側面L側					
P5-P6	側面R側					
P5-P6	下面					
P5-P6	側面L側					
	測定日	2009/7	2011/7	2013/2	2015/2	2017/3

垂井高架橋モニタリング業務 沓座調査結果

A1	R側					
A1	L側					
P1	R側					
P1	L側					
A2	R側					
A2	L側					
	測定日	2009/7	2011/7	2013/2	2015/2	2017/3

資料No.12 モニタリング終了時写真

- ・本資料はモニタリング期間終了後、計測機器等を撤去した状態での箱桁内外面の状況を撮影したものである。

外觀写真 A1-P1

A1



P1

外觀写真 北面

A1



P1

外觀写真 下面

P1



A1

外觀写真 南面

外觀写真 P1-P2



P1

P2

外觀写真 北面



P1

P2

外觀写真 下面



P2

P1

外觀写真 南面

外観写真 P2-P3

P2



P3

外観写真 北面

P2



P3

外観写真 下面

P3



P2

外観写真 南面

外観写真 P3-P4



外観写真 北面



外観写真 下面



外観写真 南面

外観写真 P4-P5



P4

P5

外観写真 北面



P4

P5

外観写真 下面



P5

P4

外観写真 南面

外觀写真 P5-P6



外觀写真 北面



外觀写真 下面



外觀写真 南面

外觀写真 P6-A2

P6



A2

外觀写真 北面



P6



A2

外觀写真 下面

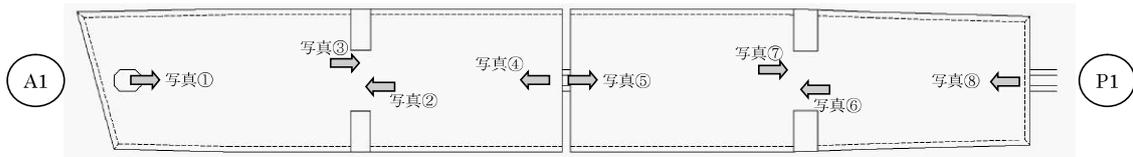
A2



P6

外觀写真 南面

桁内写真 A1-P1



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



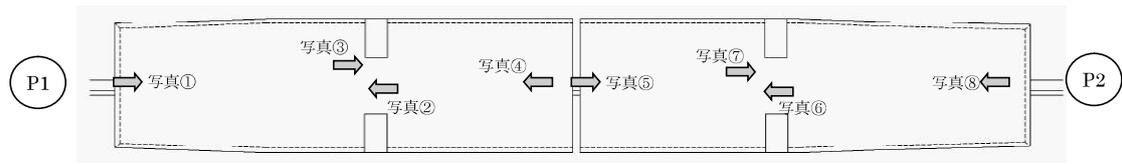
写真⑦



写真⑧



桁内写真 P1-P2



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



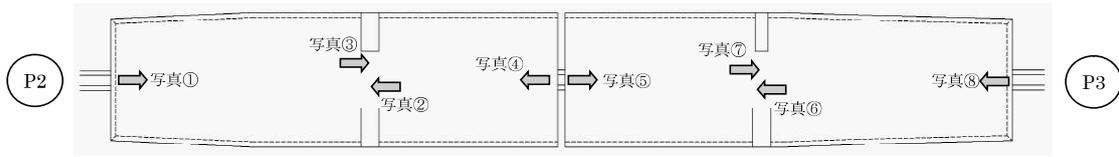
写真⑦



写真⑧



桁内写真 P2-P3



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



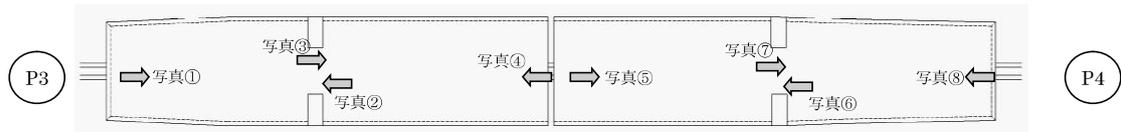
写真⑦



写真⑧



桁内写真 P3-P4



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



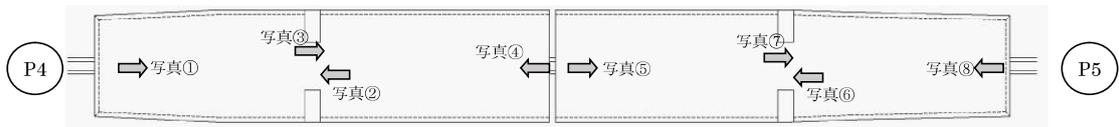
写真⑦



写真⑧



桁内写真 P4-P5



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



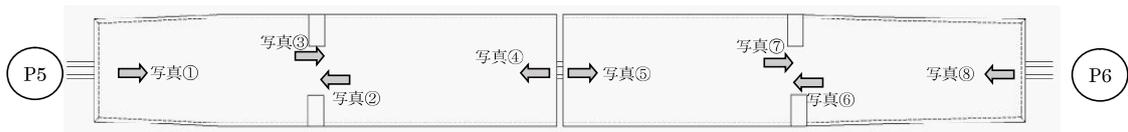
写真⑦



写真⑧



桁内写真 P5-P6



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



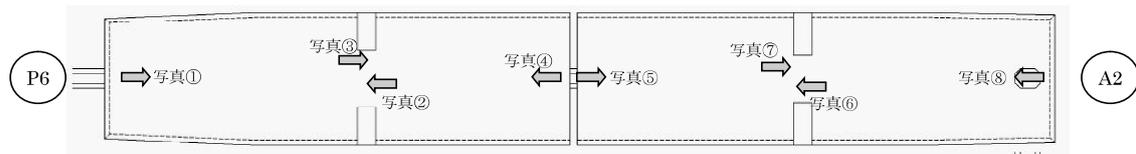
写真⑦



写真⑧



桁内写真 P6-A2



写真①



写真②



写真③



写真④



写真⑤



写真⑥



写真⑦



写真⑧



資料No.13 計測データの検証

- ・本資料は本編5. 1 (4) 及び5. 2 (4) を補足する検討結果の詳細である。

●たわみ計測データの検証 (D-5, D-6)

1. 目的

D-5 (P4～P5 間)、D-6 (P5～P6 間) だけが、他径間に比べ年々たわみが累積しているような値となっていることから、異常なたわみの発生の有無を確認する。

2. 解析的確認

2-1 当該2径間が劣化したことを想定した検討

【検討方法】 両径間のたわみの値が計測データの最大値である約9mmとなるよう弾性係数を低下させる (5径間目 $29800\text{N/mm}^2 \Rightarrow 13704\text{N/mm}^2$)

【計算結果】 弾性係数が低下した場合は、以下の傾向となる。

- ・冬場に6mm沈下して夏場に6mm戻るなど年変化量も弾性係数の低下に応じて大きくなる
- ・劣化が徐々に生じるとすると6mm沈下した次の年は7mmその次の年は8mmといったように年々その値が大きくなる

【検討結果】 計測値の年変化量は毎年3mm程度であり、徐々に年変化量が大きくなる傾向は見られないことから、当該2径間が劣化して大きなたわみが生じている可能性は低いと考えられた

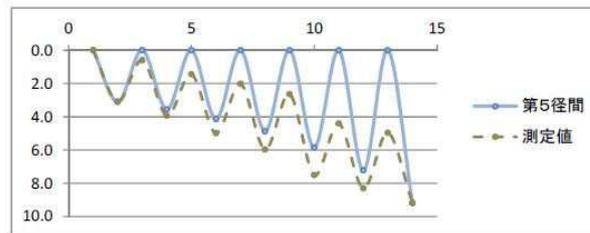


図 - 1.1 弾性係数が徐々に低下した場合のたわみの例

2-2 当該2径間にたわみ相当分の荷重が载荷したことを想定した検討

【検討方法】 両径間のたわみの値が計測データの最大値である約9mmとなるよう等分布荷重を载荷する

【計算結果】 等分布荷重が载荷された場合は、以下の傾向となる。

- ・橋軸方向の床版のひずみ (年間変化量) は、下床版では大きくなる (引張ひずみが増える)、上床版では小さくなる (圧縮ひずみが増える)

上下床版位置の橋軸方向長とひずみ

	高さ (m)	半径 (m)	挟角 (rad)	橋軸方向長 (m)	ひずみ (μ)
上床版	-0.641	31505.16094	0.0000317402	1.9999593091	-20.3
図心位置	0.000	31505.80194	0.0000317402	2.0000000000	0.0
下床版	1.559	31507.36094	0.0000317402	2.0000989659	49.5

- ・たわみの増大が徐々に生じるとすると、床版のひずみの上下床版での差は徐々に大きくなる

【検討結果】 計測値の上下床版の差は横ばい傾向で漸増する傾向は見られないことから、当該2径間に大きなたわみが生じている可能性は低いと考えられた

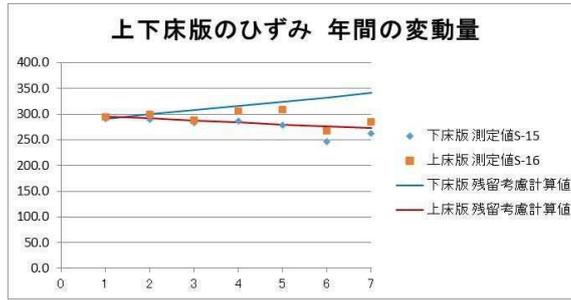


図 - 1.2 たわみが徐々に大きくなる場合の床版ひずみ（上下床版の差）

3. 計測器を追加した二重計測による確認

【検証方法】

- 当該2径間のうち、D-6の位置に沈下計を追加し計測値に異常が無いかを確認する。
- 当該D-5、D-6の沈下計は同一の基準タンクからの計測であるため、別の基準タンクから沈下計D-8を増設する。

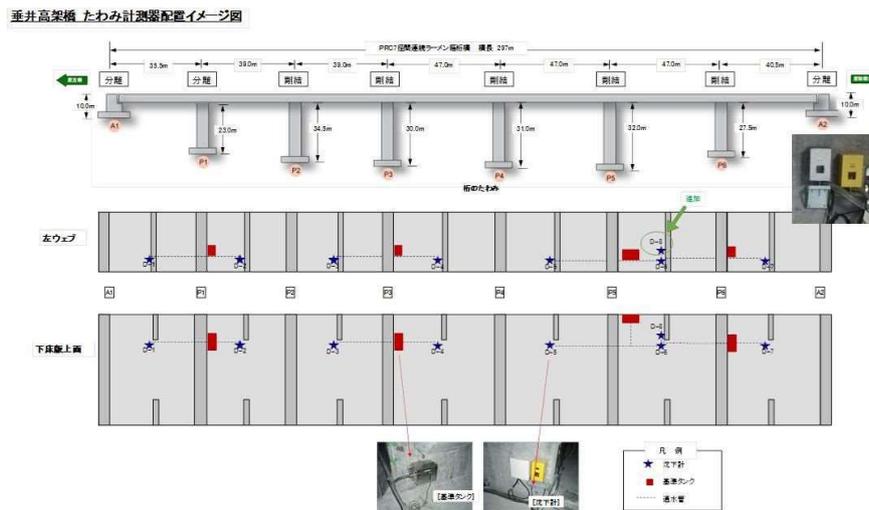
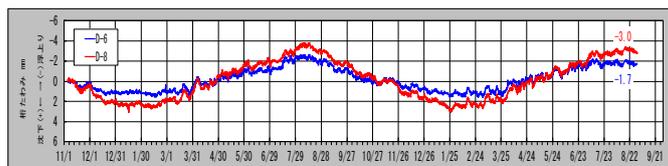


図 - 1.3 検証用沈下計（D-8）の追加

【検証結果】

- 計測値には基準タンクの変動も含まれるため夏冬の値の差を比較すると、D-6とD-8の値に違いが無かった。
- 計測値の異常ではないことが確認された。



※D-6の初期値もD-8と同じ2014/11/5 15:00として重ね合わせたグラフ

計測期間	① D-6	② D-8	①-②
H27年2月	1.25	2.43	-1.18
H27年8月	-2.36	-3.53	1.17
H28年2月	1.30	2.45	-1.15
H28年8月	-1.81	-2.97	-1.16

図 - 1.4 検証用沈下計（D-8）とD-6の値の推移

4. 現地測量による確認

【測量方法】

- ・経時的な変化を測定するため、2015年11月の測定値を初期値としてその後の変化を定期的に計測した（計測間隔は2015年12月、2016年1月、2月、5月、7月）
- ・初期値設定は基準となる支点横桁（P5及びP6）と対象となる中間横桁（P4～P5間、P5～P6間、P6～A2間）の側面への水平位置のマーキングにより行った
- ・測定には、電子レベル及び測量レベルを使用し、同一箇所を複数回測定して精度向上を図った
- ・測量によるたわみの値の算出は、たわみの計測に使用している水管式沈下計の計測方法と同様に、D-5、D-6であれば、P5支点を基準としてP4～P5間の中間横桁とP5～P6間の中間横桁の相対高さの変化とした

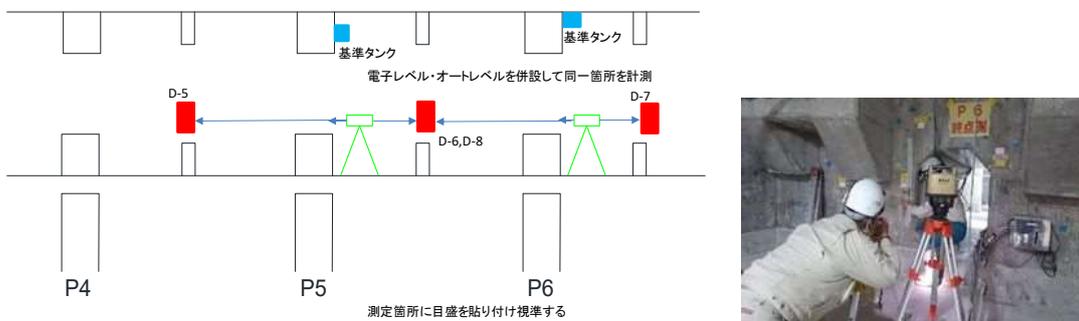


図 - 1.5 現地測量方法

【測量結果】

- ・測量結果を実測データ上にプロットすると、ほぼ変化がない結果となった。
- ・現地測量の結果からも計測値の異常ではないことが確認された。

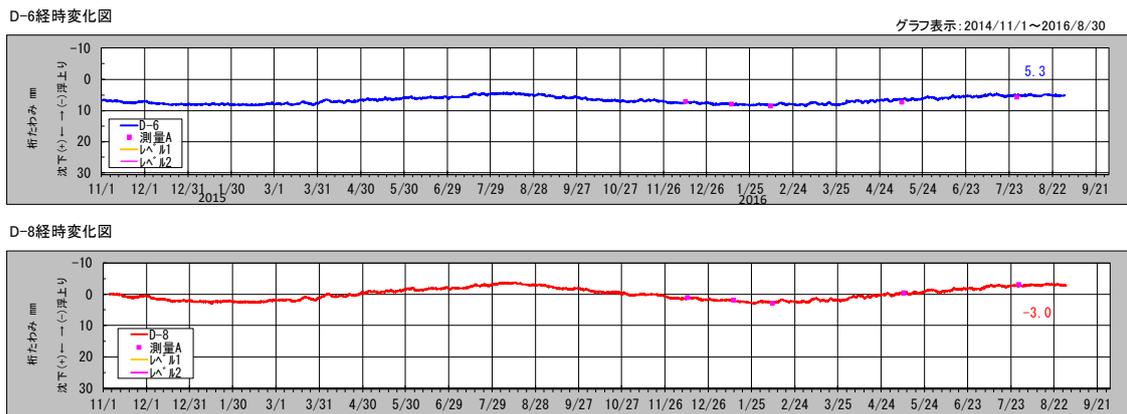


図 - 1.6 測量結果と計測値の推移

●橋脚部ウェブ変形データの検証 (S-4)

1. 目的

同一橋脚上の他の7本に比べS-4だけが年々たわみ伸び方向に変化していつていることから、S-4の計測値に異常が生じているのかを確認する。

2. 計測器の交換等による検証

2-1 配線変更による確認

【確認方法】

- ・当該S-4光ファイバーセンサーのオプトボックスからデータロガーへの配線を他のセンター (S-3) と入れ替える

【確認結果】

- ・当該部分が異常の原因であれば、配線を入れ替えることにより伸び方向への変化の現象が他の計測値に現れるところであったが、そのような結果とはならなかった
- ・原因は光ファイバーからオプトボックスまでの間に生じていること高いと考えられた

2-2 センサーの交換による検証

【検証方法】

- ・当該S-4光ファイバーセンサーを新品に取り替える
- ・センサーを取り替える際には、オプトボックスまでの多芯ケーブルも同時に取り替える

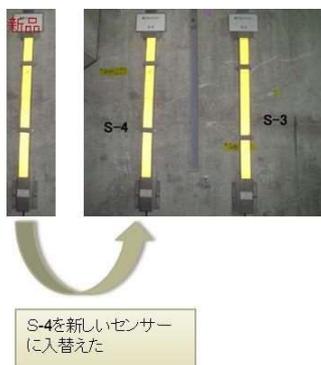
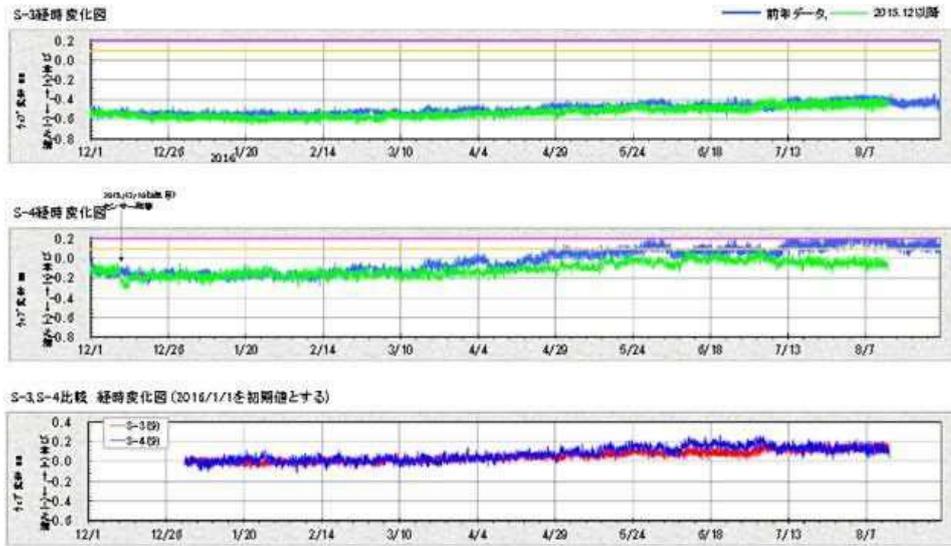


図 - 2.1 計測器の交換

【検証結果】

- ・光ファイバーセンサー及び多芯ケーブルを交換した結果、伸び方向への変化の現象が生じなくなった
- ・取り外した光ファイバーセンサーを試験した結果、光ファイバーセンサーに異常は見られなかった
- ・原因は多芯ケーブルの異常と推定された
- ・計測機器の故障であり、当該箇所伸び方向の変化が生じているのではないことが確認された



入れ替え後のS-4の動きは、隣接するS-3とほぼ同様となった

図 - 2.2 計測器の交換による計測値の変化

●ひび割れ幅（亀裂変位計）計測データの検証（C-2）

1. 目的と方法

12個の亀裂変位計のうち、C-2測点の計測値だけが前年データを大きく外れる傾向がみられことから、C-2近傍に検証用の亀裂変位計C-13を追加して計測し、その挙動を確認する。

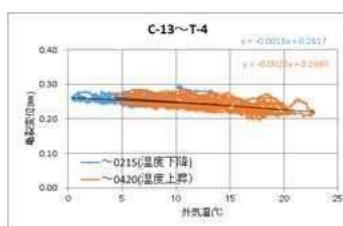


図 - 3.1 計測器の追加

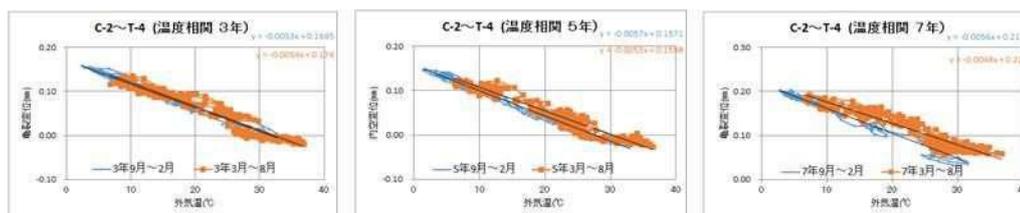
2. 二重計測による検証の結果

【検証結果】

- 温度と測定値の回帰式を、夏場から冬場（9月～2月）と冬場から夏場（3月～8月）に分けて算出し比較した
- 新たに設置したC-13では、二つの回帰式の勾配がほぼ一致したが、C-2では一致しなかった
- C-2の過去のデータを調べると、供用後3年目頃にはこれが一致し、徐々に一致なくなっていくことが分かった
- 検証の結果、計測箇所が年々伸び方向に開いているのではなく、計測器の異常であることが分かった
- 亀裂変位計は耐久性の期待できる計測器ではなく、当初供用開始後1年間のみ計測する予定であったが、参考のため計測を続けているものである



C-13は夏場と冬場の温度勾配の違いが少ない



C-2は夏場と冬場の温度勾配の違いが5年目以降伸び方向に大きくなっている

図 - 3.1 夏場と冬場の回帰式の傾きの違い

資料No.14 計測値の補正方法のクロスチェック

- 本資料は本編5. 1 (4) のドリフト量補正の方法の妥当性を検討した結果である。

計測値の補正方法のクロスチェック

本モニタリングでは、計測途中に生じた故障やトラブルによる欠測により、モニタリングデータにドリフトが生じた場合、後述の（１）に示す方法でモニタリングデータを補正することを提案している。

この補正方法が妥当であることを確認するため以下の方法でクロスチェックを行った。

【検討①】 回帰式算出データ期間の変更による検討

トラブル前後で回帰式を算出する際のデータの期間を 1 日 7 日 15 日と変化させ、差が生じないことを確認する

【検討②】 正常なデータに対して仮の欠測期間を設定した検討

トラブルが発生していない正常なデータに対し、仮の欠測期間を設定して補正を行い、実際の計測値と差が生じないことを確認する

（１）補正方法

本モニタリングで実施したデータのドリフト量の補正の例を以下に示す。

欠測やデータの変動が生じた前後のモニタリングデータのうち、基準タンク内の水中ポンプが故障・交換によってドリフトが生じた場合、**図1**に示す様にデータの連続性が途絶えている。

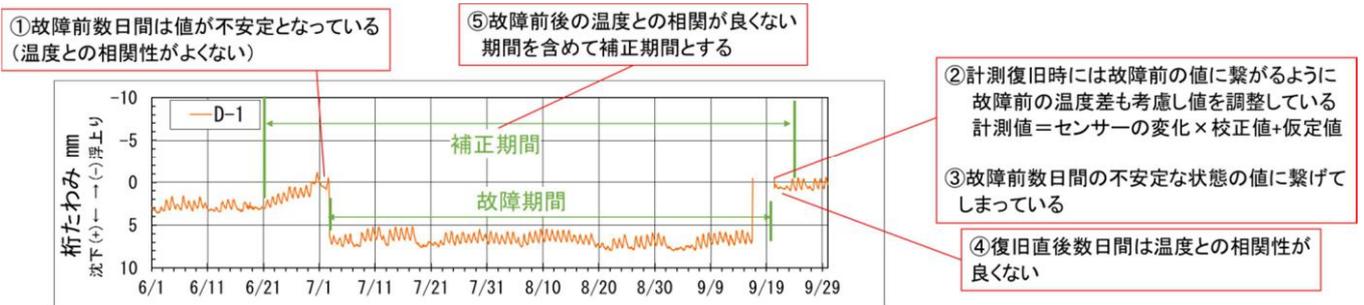


図1 ドリフト量の補正前の例

欠測やデータの変動の前後にはデータが不安定化することもある。

この場合は、前後数日の温度に対する日変動を確認し、故障期間にこの値が不安定となっている期間を含めて補正期間とする。

このように定めた補正期間の前後1日の状態を温度と計測値の相関図に表すと**図2**の様に補正期間の起終点日の温度とたわみの回帰式は温度勾配が平行移動した状態となる。

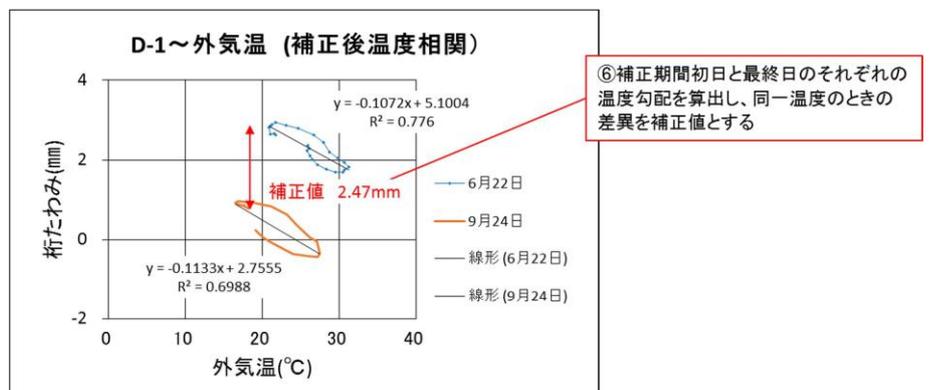


図2 ドリフト量の算出の例

この二つの回帰式による同一温度のときの値の差異を補正值とする。
 以上の補正值を用いて補正を施したモニタリングデータは図3の様となる。

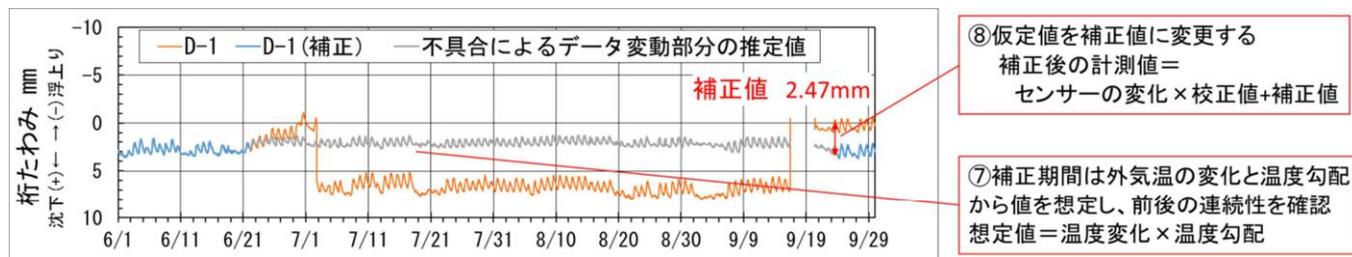


図3 ドリフト量の補正後の例

この補正期間の値を、補正に用いた回帰式と外気温データを用いて推定すると、前後の期間との連続性が保たれており補正值が適正であることが確認できる。

(2) 【検討①】回帰式算出データ期間の変更による検討

たわみの補正は7回のイベントに対して実施している。

このうち、比較的補正值が大きくなる基準タンクの水中ポンプの故障の際の3回のイベントに対し、回帰式算出データ期間を1日7日15日ごとに算出した結果を表1に示す。

この検討の結果、報告書本編で用いた補正值との違いが - 0.23~0.37mmと小さく、沈下計の計測限界±0.2mmを目安とすると、上記の補正方法が妥当であることが確認された。

表1 回帰式算出データ期間の変更による検討結果

イベント②

基準タンクの水中ポンプ吐出口破損に伴う水中ポンプの交換

D1~D4: 2011/7/2~9/20 D5~D7: 2011/9/17~9/20

(単位mm)

測点	データ期間		補正值	平均	ばらつき	報告書の値	報告書の値との差	
D-1	1日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	2.58	2.66	0.19	2.47	0.19
	7日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	2.64				
	15日	2011/6/8~6/22	2011/9/24~10/8	2.77				
D-2	1日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	2.00	1.78	0.54	1.89	-0.11
	7日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	1.46				
	15日	2011/6/8~6/22	2011/9/24~10/8	1.87				
D-3	1日	2011/6/13~6/22	2011/9/21~9/30	-1.40	-1.42	0.09	-1.36	-0.06
	7日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	-1.48				
	15日	2011/6/8~6/22	2011/9/24~10/8	-1.39				
D-4	1日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	-0.31	-0.40	0.21	-0.17	-0.23
	7日	2011/6/13~6/22	2011/9/24~10/3	-0.52				
	15日	2011/6/8~6/22	2011/9/24~10/8	-0.36				
D-5	1日	2011/9/6~9/15	2011/9/24~10/3	-1.38	-1.45	0.32	-1.38	-0.07
	7日	2011/9/6~9/15	2011/9/24~10/3	-1.32				
	15日	2011/9/1~9/15	2011/9/24~10/8	-1.64				
D-6	1日	2011/9/6~9/15	2011/9/24~10/3	-1.33	-1.39	0.22	-1.42	0.03
	7日	2011/9/6~9/15	2011/9/24~10/3	-1.31				
	15日	2011/9/1~9/15	2011/9/24~10/8	-1.53				
D-7	1日	2011/9/6~9/14	2011/9/26~10/2	0.11	0.15	0.06	-0.24	0.39
	7日	2011/9/6~9/15	2011/9/24~10/3	0.17				
	15日	2011/9/1~9/15	2011/9/24~10/8	0.16				

表1 回帰式算出データ期間の変更による検討結果（続き）

イベント③

基準タンクの水中ポンプの破損に伴う水中ポンプの交換

D5～D6: 2012/8/13～8/16

測点	データ期間			補正值	平均	ばらつき	報告書の値	報告書との差
	日	データ期間	データ期間					
D-5	1日	2012/7/25～8/3	2012/8/20～8/29	-0.34	-0.39	0.09	-0.68	0.29
	7日	2012/7/25～8/3	2012/8/20～8/29	-0.41				
	15日	2012/7/20～8/3	2012/8/20～9/3	-0.43				
D-6	1日	2012/7/25～8/3	2012/8/20～8/29	-0.58	-0.61	0.05	-0.73	0.12
	7日	2012/7/25～8/3	2012/8/20～8/29	-0.63				
	15日	2012/7/20～8/3	2012/8/20～9/3	-0.63				

イベント④

基準タンクの水中ポンプの破損に伴う水中ポンプの交換

D5～D7: 2014/4/30～5/2

測点	データ期間			補正值	平均	ばらつき	報告書の値	報告書との差
	日	データ期間	データ期間					
D-5	1日	2014/4/11～4/20	2014/5/6～5/15	-0.22	-0.05	0.29	-0.26	0.21
	7日	2014/4/11～4/20	2014/5/6～5/15	0.01				
	15日	2014/4/6～4/20	2014/5/6～5/20	0.07				
D-6	1日	2014/4/11～4/20	2014/5/6～5/15	0.00	0.14	0.30	-0.03	0.17
	7日	2014/4/11～4/20	2014/5/6～5/15	0.12				
	15日	2014/4/6～4/20	2014/5/6～5/20	0.30				
D-7	1日	2014/4/11～4/20	2014/5/6～5/15	0.06	0.17	0.25	-0.20	0.37
	7日	2014/4/11～4/20	2014/5/6～5/15	0.15				
	15日	2014/4/6～4/20	2014/5/6～5/20	0.31				

(3) 【検討②】 正常なデータに対して仮の欠測期間を設定した検討

たわみの値にトラブルが発生していない正常なデータに対し、仮の欠測期間を設定して補正を行い、実際の計測値と差が生じないことを確認した。

検討の結果実測データとの差は-0.70～0.42と小さく、沈下計の計測限界±0.2mmを目安とすると、この方法で十分な精度で補正が可能であることが確認できた。

表2 正常なデータに対して補正を試行した検討結果

(単位mm)

測点	データ期間			計算値	全平均
	日	データ期間	データ期間		
D-1	1日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	-0.71	-0.70
	7日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	-0.70	
	15日	2016/6/8～6/22	2016/9/24～10/8	-0.69	
D-2	1日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	0.56	0.35
	7日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	0.20	
	15日	2016/6/8～6/22	2016/9/24～10/8	0.28	
D-3	1日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	-0.14	-0.09
	7日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	-0.09	
	15日	2016/6/8～6/22	2016/9/24～10/8	-0.05	
D-4	1日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	-0.04	0.00
	7日	2016/6/13～6/22	2016/9/24～10/3	-0.04	
	15日	2016/6/8～6/22	2016/9/24～10/8	0.07	

D-5	1日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	-0.15	-0.12
	7日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	-0.10	
	15日	2016/9/1~9/15	2016/9/24~10/8	-0.11	
D-6	1日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	-0.17	-0.16
	7日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	-0.07	
	15日	2016/9/1~9/15	2016/9/24~10/8	-0.23	
D-7	1日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	0.36	0.42
	7日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	0.23	
	15日	2016/9/1~9/15	2016/9/24~10/8	0.66	
D-8	1日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	-0.38	-0.43
	7日	2016/9/6~9/15	2016/9/24~10/3	-0.43	
	15日	2016/9/1~9/15	2016/9/24~10/8	-0.48	

次に、2015年8月の外気温とたわみの回帰式の変化を図4に示す。

本橋のたわみは主として年間の温度変化による桁の伸縮に伴って発生するが、たわみの値は同一気温の場合に必ずしも同じとはならず、回帰式の傾きが概ね同一であっても若干の切片の変動が生じる可能性がある。

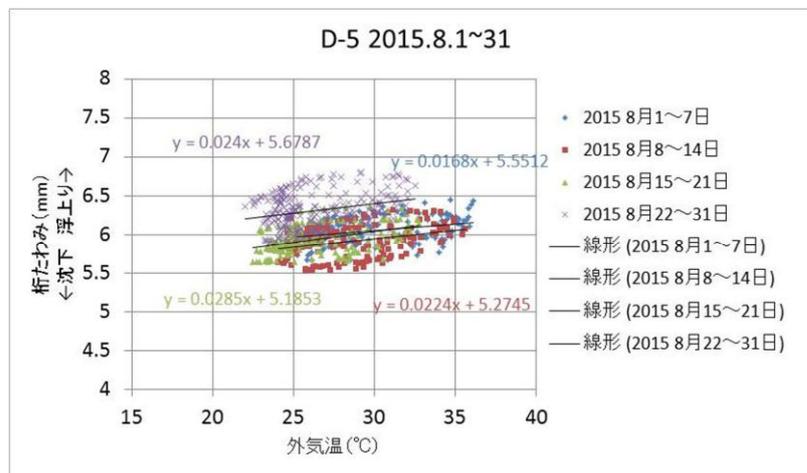


図4 短期間でのたわみと温度の回帰式の変動の例

表2の結果において、実測データとの差異が生じた原因の一つとして、(1)に例示した補正方法が、イベントの前後でたわみと温度の回帰式の傾きで補正量を算出していることが考えられる。

このため、この方法を用い欠測期間の値を復元した際、さらにドリフトが残る様な場合は、補正期間の切片の変動も考慮して補正すると良い。

資料No.15 計測機器の故障率の試算

- 本資料は本編 4. 5 に関連する計測器の故障率の試算結果である。

計測機器の故障率の試算

◎故障率の計算の仕方

$$\text{MTBF(時間/件)} = \text{総稼働時間} / \text{総故障件数}$$

$$\text{故障率 } \lambda = 1 / \text{MTBF}$$

※2017.3末まで→9.7年間

1) 水管式沈下計(桁たわみ)

沈下計は7台。9.7年間で1回故障。

$$\text{MTBF} = 67.9 / 1 = 67.9$$

$$\lambda = 1 / 67.9 = 0.015$$

沈下計の基準タンクの循環ポンプは4台。9.7年間で6回故障・交換

$$\text{MTBF} = 38.8 / 6 = 6.467$$

$$\lambda = 1 / 6.467 = 0.155$$

2) 光ファイバー(橋脚付け根部ウェブ変形、上下床版平均ひずみ)

オプトボックスは4台。9.7年間で1回故障

$$\text{MTBF} = 38.8 / 1 = 38.8$$

$$\lambda = 1 / 38.8 = 0.026$$

多芯ケーブルは16本。9.7年間で1回故障

$$\text{MTBF} = 155.2 / 1 = 155.2$$

$$\lambda = 1 / 155.2 = 0.006$$

3) 巻き取り式変位計(支承変位XY)

巻き取り式変位計は6台。9.7年間で3回故障

$$\text{MTBF} = 58.2 / 3 = 19.4$$

$$\lambda = 1 / 19.4 = 0.052$$

4) データロガー

データロガーは2台。9.7年間で1回故障

$$\text{MTBF} = 19.4 / 1 = 19.4$$

$$\lambda = 1 / 19.4 = 0.052$$

計測項目	計測器	構成機材	設置数	故障回数	故障率 (件/台年)
桁たわみ	水管式沈下計	沈下計	7	1	0.015
		基準タンク循環ポンプ	4	6	0.155
		コンディショナー	5	0	0.000
		導水管	7	0	0.000
橋脚付け根部ウェブ変形	光ファイバー変位計	変位計 1m	12	0	0.000
		変位計 2m	4	0	0.000
上下床版平均ひずみ		オプトボックス	4	1	0.026
		多芯ケーブル	16	1	0.006
支承の変位	巻取り式変位計		6	3	0.052
ひび割れ幅	亀裂変位計				
外ケーブル張力	ロードセル		4	0	0.000
データ収録器	データロガー		2	0	0.052

資料No.16 活荷重たわみについての検討

- 本資料は供用開始前に実施された載荷試験の結果をもとに、本橋に設計活荷重が生じた場合のたわみ量を試算したものである。

垂井高架橋 活荷重たわみについての検討

1. H19年静的載荷試験結果と断面剛性

活荷重によるたわみを平面骨組み解析で算出するに際し、H19年に実施した補修補強後の静的載荷試験結果をもとに、断面剛性を逆解析で算出した。

この近似する断面剛性の算出は、断面二次モーメントは変更せず弾性係数を変更することにより行った。

載荷試験の概要図-1に平面骨組み解析におけるモデルの概要を図-2に、算出した弾性係数 E_k を表-1に示す。

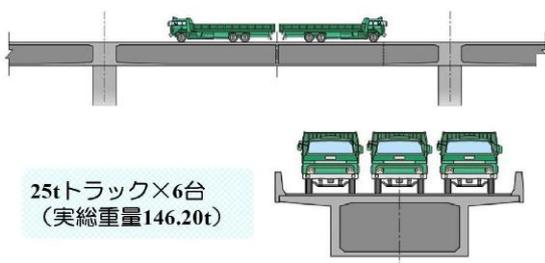


図1 載荷試験の概要

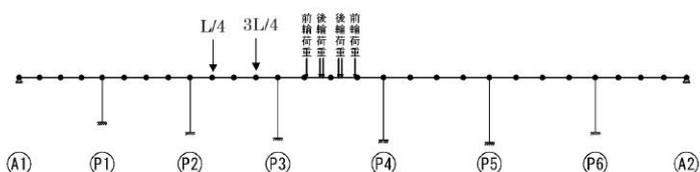


図2 平面骨組み解析におけるモデルの概要

表-1 平面骨組み解析に用いる断面剛性

	A1-P1	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	P6-A2
解析断面 I_k (m ⁴)	8.11603	8.11603	8.11603	8.11603	8.11603	8.11603	8.11603
解析断面 E_k (N/mm ²)	2.48E+04	3.03E+04	2.95E+04	2.68E+04	2.79E+04	2.99E+04	3.34E+04

載荷試験の結果（支間中央たわみ値）と、この弾性係数を用いた平面骨組み解析による静的載荷試験荷重に対するたわみの結果を表-1に示す。

表-2 載荷試験と平面骨組み解析結果の支間中央たわみ値の比較

	A1-P1	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	P6-A2
載荷試験 δr (mm)	4.90	3.20	2.80	5.10	5.00	4.70	4.40
解析結果 δc (mm)	4.88	3.33	2.89	5.11	5.06	4.79	4.47

2. 設計活荷重が作用した場合のたわみの算出

前項に使用した平面骨組み解析のモデルに、設計活荷重（道路橋示方書に基づくB活荷重のうちのL荷重）を載荷してたわみを算出した。

平面骨組み解析で考慮したL荷重を表-3に、その載荷方法を図-3に示す。

表-3 L荷重

荷重	載荷長 D (m)	主載荷荷重 (幅5.5m)				従載荷荷重	
		等分布荷重 p_1		等分布荷重 p_2			
		荷重 (kN/m ²)	せん断力を算出する場合	荷重 (kN/m ²)	曲げモーメントを算出する場合		
A活荷重	6			$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$130 < L$	主載荷荷重の50%
B活荷重	10	10	12	3.5	$4.3 - 0.01L$	3.0	

L: 支間長 (m)

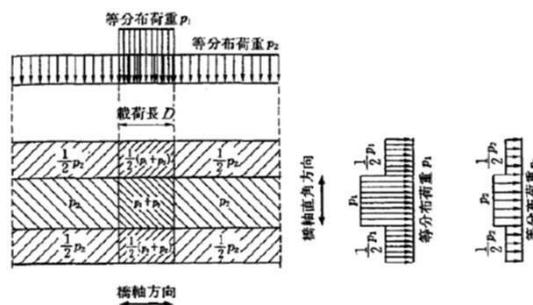


図3 L荷重の載荷

B活荷重(L荷重)載荷を載荷したたわみの解析結果と、静的載荷試験のたわみの値の比較を表-4に示す。設計活荷重を想定した活荷重によるたわみの結果は、何れの径間も供用開始前に実施した載荷試験によるたわみの値よりも小さかった。

表-4 B活荷重(L荷重)載荷の平面骨組解析によるたわみの解析結果

	A1-P1	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	P6-A2
載荷試験 δr (mm)	4.90	3.20	2.80	5.10	5.00	4.70	4.40
解析結果 $\delta k1$ (mm)	4.44	2.83	2.45	4.80	4.72	4.35	4.14
比率 $\delta k1/\delta r$	0.9061	0.8844	0.8750	0.9412	0.9440	0.9255	0.9409

3. 補修補強後の剛性低下分の考慮について

H19年の静的載荷試験を実施した後の舗装と防音壁の施工と供用開始により、振動計測による固有振動数が概ね5%程度低下していることから、上記の断面剛性を同様に5%低下させた結果を表-5に示す。

たわみの値は比例計算となるため、5%大きくなる結果となった。

表-5 載荷試験と平面骨組み解析結果(剛性低下5%)のたわみの比較

	A1-P1	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6	P6-A2
載荷試験 δr (mm)	4.90	3.20	2.80	5.10	5.00	4.70	4.40
解析結果 $\delta k2$ (mm)	4.67	2.98	2.58	5.05	4.97	4.58	4.36
比率 $\delta k2/\delta r$	0.9538	0.9309	0.9211	0.9907	0.9937	0.9742	0.9904

$$\delta k2 = \delta k1 \times 0.95$$

資料No.17 外ケーブル緊張力の初期段階の値

- 本資料は本編5. 7を補足する外ケーブル緊張時からモニタリング開始までの値である。

外ケーブル張力（ロードセル）の初期値

本橋のモニタリング開始は2007年8月2日であるが、外ケーブルの施工は同年4月に実施していることから、補修・補強施工時の張力の値を参考までに以下に示す。

(単位:kN)

		P2~P3 間		P3~P4 間		
		P2 側	P3 側	P3 側	P4 側	
		PT1	PT2	PT3	PT4	
4/14	16:00	緊張直後	1089.6	1064.6	1095.5	1067.6
5/29	09:11	増し厚 3 ロット 打設開始時	1072.7	1052.3	1070.4	1045.4
5/29	18:09	増し厚 3 ロット 打設終了時	1072.7	1052.3	1070.4	1045.4
6/12	09:01	増し厚 5 ロット 打設開始時	1071.0	1052.3	1069.2	1044.8
6/12	17:00	増し厚 5 ロット 打設終了時	1072.7	1054.1	1070.4	1044.2
6/13	18:00	増し厚完了後	1072.1	1054.1	1070.4	1044.8
7/31	08:15	計測開始	1055.5	1043.0	1070.4	1046.5
8/02	00:00	モニタリング開始	1058.4	1043.6	1075.9	1053.0

資料No.18 モニタリングマニュアル
(モニタリング計画書)

- ・本資料はモニタリング開始時に作成した手順等を記した計画書を参考に添付するものである。

橋本道路垂井高架橋 供用後モニタリング計画書

第二版

平成23年 4月

垂井高架橋モニタリング評価委員会

目 次

I. 共通編	頁
1. はじめに	1
2. 経緯	2
3. 適用の範囲	4
4. モニタリングの目的	4
5. モニタリングの種類、手法、頻度及び対象構造物	4
II. 常時監視（遠隔監視）	8
・常時監視項目	8
1. 記録	9
2. 報告	9
III. 定期点検	10
・定期点検項目	10
1. 定期点検の実施	11
2. 安全対策	12
3. 変状、変位、損傷状況の把握	13
4. 記録	13
5. 報告	13
IV. 臨時点検	14
・臨時点検項目	14
1. 臨時点検の実施	15
2. 安全対策	15
3. 変状、変位、損傷状況の把握	16
4. 記録	16
5. 報告	16
V. 関係及び管理基準値	17

参考資料

1. 垂井高架橋位置図	2 3
2. 点検車輛と進入経路の鍵	2 5
3. 桁下駐車スペース	2 6
4. 箱桁内進入経路	2 7
5. 桁内出入り口	2 8
6. P1橋脚鉛直タラップ図	2 9
7. 計測器仕様	3 0
8. 計測システム	4 1
9. 初期(1年程度)の状態確認	4 3
10. 避雷器の設置について	4 5
11. 垂井高架橋モニタリング期間(10年間) (異常値・地震震度4以上)緊急連絡先	4 9

記録様式

1. 常時監視報告書
2. 定期点検報告書
3. 臨時点検報告書

1

I. 共通編

1. はじめに

橋本道路垂井高架橋は、京都～奈良～和歌山を結ぶ幹線道路として整備が進められている京奈和自動車道のうち、奈良と和歌山の県境近くに建設された橋長297mの7径間連続SRCラーメン箱桁橋である。

近畿地方整備局が、平成13年1月29日に日本高圧コンクリート㈱（以下、「施工者」）と契約を行った橋本道路垂井高架橋上部工事は、平成14年4月に完成し、その後、平成15年10月にひび割れ等の損傷が認められたことから、土木学会に原因の究明、現時点での耐荷性能、補修・補強対策等に関する調査を委託した。

平成17年4月より土木学会コンクリート委員会では、「垂井高架橋損傷対策特別委員会」で、損傷の原因、橋梁の健全性評価ならびに損傷対策について審議し、平成17年9月12日に土木学会は、中間報告を公表した。

この中間報告を基に近畿地方整備局と施工者との間で検討、確認を行い、近畿地方整備局は平成17年6月29日に施工者より提出された補修・補強対策を骨格とした承認願いを同日付で承認した。

近畿地方整備局が承認したかし修補工事については、土木学会コンクリート委員会の「垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会」において、施工者からの補修・補強提案に対して技術的な検証・審議を行うとともに同年10月から実施された工事に対する指導及び施工時における橋梁への影響に対するモニタリングに関する審議も行った。

本モニタリング計画書は、垂井高架橋を対象とした供用後10年間実施するモニタリングに関する計画書第2版であり、補修・補強対策の効果の持続性や想定外の事象に対する確認と対応を主な目的として作成したものである。

なお、供用された橋梁を対象として「一般的に行われる「橋梁定期点検」や災害時の「臨時点検」等は本マニュアルによる遠隔監視や点検とは別に実施されるものである。

この計画書について、疑義・不都合が生じた場合は、国土交通省、土木学会技術推進機構、日本高圧コンクリート㈱で協議する。

2. 経緯

- 垂井高架橋に関する経緯を下記に示す。
- 平成13年1月～平成14年4月 垂井高架橋上部工事
- 平成15年10月～平成16年12月 監督職員による、ひび割れの発生確認
ひび割れ調査等を実施
- 平成17年1月～4月 施工者と原因究明等について検討
- 平成17年4月 原因究明のため、土木学会へ委託
(垂井高架橋損傷対策特別委員会の設置)
- 平成17年9月12日 土木学会の特別委員会による中間報告
- 平成18年6月29日 近畿地方整備局が施工者の提案を承認。設計図書及び施工計画書の作成を指示
- 平成18年7月27日 垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会
平成19年7月23日 (委員会3回、工事幹事会2回、各分科会延べ16回開催)
- 平成18年9月29日 施工者が設計図書及び施工計画書を提出
- 平成18年10月5日 近畿地方整備局では検討事項等について指示を伝達。
設計図書及び施工計画書について了承。
- 平成18年10月6日 地元説明会を開催
- 平成18年10月16日 かし修補工事着手
- 平成19年6月26日 かし修補工事完了
- 平成19年8月2日 供用開始
- 平成20年3月 第1回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催

3. 適用の範囲

本計画書は、和歌山河川国道事務所が管理する一般国道24号垂井高架橋(和歌山県橋本市)において供用後10年間実施するモニタリングに適用する。

4. モニタリングの目的

- モニタリングは、下記に示す目的のために実施し、変状、変位、損傷状況の把握を行うことである。
- ①対策効果の持続性の確認
 - ②供用後における想定外の事象に対する備え
 - ③周辺住民に対する安全情報の提供

5. モニタリングの種類、手法、頻度及び対象構造物

垂井高架橋において行うモニタリングは、「常時監視」「定期点検」「臨時点検」において必要な情報が得られるよう、点検する部位、部材に応じて点検を実施する。モニタリング項目一覧を表1-5-1に示す。また、計測機器配置図を図1-5-1に、ひび割れ点検箇所図を図1-5-2に示す。

- 平成20年10月 第2回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催
- 平成21年11月 現地見学会 実施
第3回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催
- 平成22年8月 第4回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催

表1-5-1 モニタリング項目一覧

種類	観測対象	主な目的	方法	頻度
常時監視	幅員	幅員の変化により変位を確認	常時カメラ計測(7架)	1回/年 注1 注2 注3 注4 注5 注6 注7 注8 注9 注10 注11 注12 注13 注14 注15 注16 注17 注18 注19 注20 注21 注22 注23 注24 注25 注26 注27 注28 注29 注30 注31 注32 注33 注34 注35 注36 注37 注38 注39 注40 注41 注42 注43 注44 注45 注46 注47 注48 注49 注50 注51 注52 注53 注54 注55 注56 注57 注58 注59 注60 注61 注62 注63 注64 注65 注66 注67 注68 注69 注70 注71 注72 注73 注74 注75 注76 注77 注78 注79 注80 注81 注82 注83 注84 注85 注86 注87 注88 注89 注90 注91 注92 注93 注94 注95 注96 注97 注98 注99 注100
	橋脚付斜脚ケーブル束	2次橋脚ケーブル束のひび割れ発生を把握し、緊度の管理を確認	定マシヤン(12架)	
	支保の歪位	支保の歪位率により歪位を確認	反応計(19架)	
	ひび割れ	長さ及びひび割れ率の把握、長さ及びひび割れの進展を確認	亀裂計(12架)	
	上下床面の変位	上下床面のひび割れの発生を確認	変位計(1架)	
	鋼ケーブルの張力	張力の発生を確認、劣化ケーブルの発生を確認	ケーブル計(1架)	
定期点検	ひび割れ	長さ及びひび割れ率の把握、長さ及びひび割れの進展を確認	目視	
	上床下の歪位	上床下の歪位からひび割れの発生を確認	反応計	
	変位	変位率の把握からひび割れの発生を確認	目視	
	鋼筋コンクリートの状態	鋼筋コンクリートの状態を確認	目視	
	鉄骨の腐食状況	鉄骨の腐食状況を把握する事により耐久性を確認	目視	
臨時点検 ・年度末時点の点検 及び異常時	上床下の歪位	上床下の歪位からひび割れの発生を確認	目視	
	変位	変位率の把握からひび割れの発生を確認	目視	
	鋼筋コンクリートの状態	鋼筋コンクリートの状態を確認	目視	

※1 初年度実施した初期(1年程度)の状態確認から引き続いて計測を行っている項目。これらは、計器が故障または寿命を迎えるなどして欠測となった時点で計測を終了する。

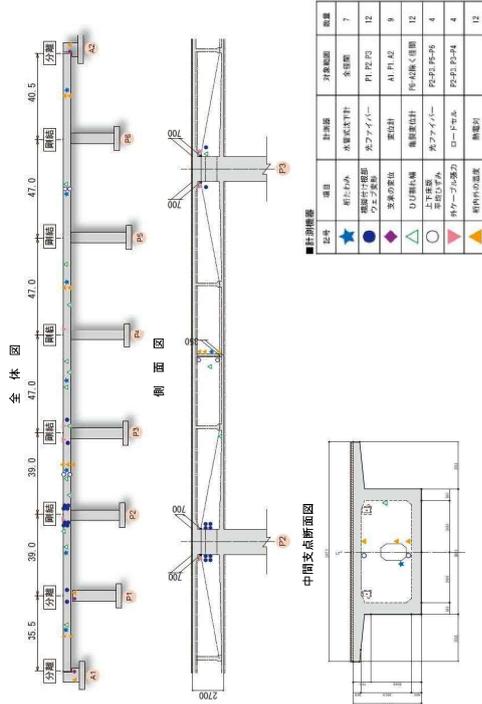


図1-1-1 計測器配置図

II. 常時監視（遠隔監視）

供用開始後の常時点検（遠隔監視）は、変状、変位あるいは損傷の発生を検知を目的として、垂井高架橋に設置した計測機器による連続計測（1時間毎）を行う。また、計測器メンテナンスは1回/年行う。
常時監視において実施する項目、内容及び頻度を表II-1に示す。

表II-1 常時監視項目一覧

項目	内容	方法	位置	数値	頻度
桁たわみ	桁のたわみの変化により、変状を確認する。	水管式沈下計	箱桁内	7基	1時間毎
橋脚付け根部ウェブ変形	P2橋脚ウェブ付近の斜めひび割れ（補修済み）の動きについて確認する。	光ファイバー	箱桁内	12基	
支承の変位	ゴム支承の変形量により異常の有無を確認する。（橋軸方向及び橋軸直角方向、鉛直方向）	変位計	A1	3基	
			F1	3基	
			A2	3基	
ひび割れ幅	桁内のひび割れを対象にひび割れ幅の進展を確認する。	亀裂変位計	箱桁内	12基	
上下床版平均ひずみ	上下床版のひずみの動きを確認する。	光ファイバー	P2~P3 P5~P6 箱桁内	上下各2基	
外ケーブル張力	ケーブル張力を測定し、予備ケーブル緊張の必要性を判断する。	ロードセル	P2~P3 P3~P4	4基	
桁内外の温度	計測データの補正のために計測する。	熱電対	A1, P1, A2 箱桁外 他箱桁内	3基 9基	

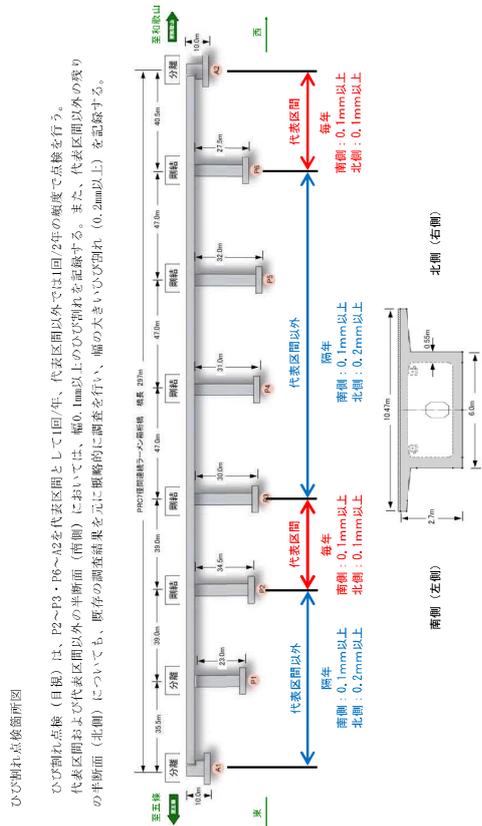


図1-2-2 ひび割れ点検断面図

1. 記録

常時監視で計測されたデータについては、垂井高架橋の安全性を確認するための基礎的な情報であり、計測データの蓄積に伴い必要に応じて適切な管理基準値（閾値）を見直すためのデータとなる。また、地元住民の方々ははじめとする一般にも公開する必要がある。
したがって、別途様式で記録し、保存しておくものとする。
添付様式：常時監視報告書

2. 報告

常時監視についての報告は、①リアルタイム報告、②定期報告、③随時報告の3種類により行うものとし、土木学会技術推進機構から国土交通省と日本高圧コンクリート協に対して報告するものとする。
リアルタイム報告とは、垂井高架橋で計測された生データをインターネット回線を經由して、あらかじめ設置されたパソコンに伝送するものであり、「桁のたわみ」及び「橋脚付け根部ウェブ変形」に設定した閾値を超過した場合には、事前に登録された人員の携帯電話に対して「異常値警報」の電子メールを自動発信する。
また、リアルタイム報告とは別に計測データを土木学会技術推進機構において所定の様式にて整理した報告書を国土交通省と日本高圧コンクリート協に電子メールにて提出するものとする。

Ⅲ. 定期点検

供用開始後の定期点検は、常時監視(遠隔監視)を補完することを目的として、目視を主とした点検を行うものである。

定期点検の項目、内容及び頻度等を表Ⅲ-1～表Ⅲ-2に示す。

表Ⅲ-1 定期点検項目一覧

項目	内容	方法	位置	頻度
ひび割れ	ひび割れの進展や新たな発生の有無について確認する。	目視、ラフス ケージ等	代表区間 箱桁内	1回/年
			代表区間以外 箱桁内	1回/2年
上床版下面 の変状	疲労によるひび割れに着目して、上床版下面の変状を桁内から確認する。	目視	代表区間 箱桁内	1回/年
支 承	ゴム支承の機能障害や沓座の劣化及び変位制限装置の損傷の有無について確認する。		A1, P1, A2	
剥落防止シート の異常	繊維シートの剥離、浮き等の有無を桁下から確認する。		箱桁外全面	
鉄筋の腐食	上床版の下面において自然電位を測定することにより、鉄筋の腐食状況をj確認する。	自然電位 ※入力抵抗 が100MΩ/V 以上	代表区間 箱桁内	1回/2年 臨時点検において異常があった場合にも実施
橋体の 振動特性	橋の振動測定から得られる固有振動数をもとに、剛性の低下の有無について確認する。	振動試験	箱桁内	

(2) 上床版下面の変状

定期点検では、P2～P3間及びP6～A2間を代表区間として、上床版下面の変状を箱桁内から目視により確認する。

(3) 支 承

A1, P1, A2において、ゴム支承の機能障害や沓座モルタル及び変位制限装置の損傷の有無について目視により確認する。

(4) 剥落防止シートの異常

箱桁外全面の繊維シートの経年劣化等による異常の有無を双眼鏡等を用いて目視にて確認する。

(5) 鉄筋の腐食(自然電位法)

鉄筋の腐食については、2年に1回、または、臨時点検において異常があった場合に実施する。

自然電位法とは、コンクリート構造物中の鉄筋の腐食状況を電気化学的方法で非破壊的に推定する手法であり、腐食状況に応じて変動する電位を測定することにより、鉄筋の腐食診断をする方法である。

測定方法は、「コンクリート構造物における自然電位測定方法(JSCE-E 601-2000)」に準拠する。

自然電位の測定及び腐食判断基準は、以下の基準に準拠する。

・「鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向」土木学会

(6) 橋体の振動特性

橋体の振動測定については、2年に1回、または、臨時点検において異常があった場合に実施する。

供用前の振動試験と同位置で振動測定を行い、結果を比較することにより剛性低下の有無を確認する。

1. 定期点検の実施

1-1 点検開始、終了の連絡

点検の開始、終了等に当たっては、点検担当者から下記へ連絡を行うものとする。

事務所名	担当部署	電話番号	住 所
和歌山国道維持出張所	管理係	073-471-2010	和歌山市出島33

1-2 点検要領

(1) ひび割れ点検

(1) -1 経緯

ひび割れ点検は、平成19年8月の供用開始前に初回測定を行っており、以降毎年夏場に行っていた。

ところが、第3回モニタリング委員会において現地を見学した上で健全な状態を確認した後、その後の会議にてひび割れ幅が顕著となる冬場に変更するべきではないという指摘がなされた。この指摘を受けて、平成22年点検(供用後3年)より、ひび割れ点検時期を冬場に変更している。このような経緯から、ひび割れ状況としては、平成22年、23年の点検結果を初期値と設定した。したがって、今後のひび割れ点検の方針としては、この初期値よりどれだけ変化したかを重要な着目点としてモニタリングを行うものとする。

(1) -2 点検方法

定期点検は、対策前に最もひび割れが多く発生していたP2～P3間、及び一番ひび割れが少なかったP6～A2間を代表区間として1回/年、代表区間以外については1回/2年実施する。

調査方法については、第4回モニタリング評価委員会での提言を受けて代表区間以外の5区間については、片側半断面(南側)について0.1mm以上のひび割れを調査し、もう片側の断面(北側)については従来どおり0.2mm以上のひび割れを調査する。目視及びラフスケージ等の簡易な測定器を用いて、ひび割れ幅と長さを確認し、損傷図に反映させる。また、それぞれのひび割れについて、ひび割れ幅毎のひび割れ延長をまとめ、区間毎に一覧表として整理する。

道跡モニタリングひび割れについては、幅0.1mm以上を対象として実施する。また、それらは誰でも簡単にひび割れ位置の特定や進展状況を把握できるよう、識別情報に加え、その結果を記入した台帳を作成・更新し、現場に配置する。

なお、ひび割れの測定方法は、「垂井高架橋モニタリング業務 ひび割れ調査計画(案) 平成22年12月」に基づく。

2. 安全対策

点検は、道路交通、第三者及び点検に従事する者に対して適切な安全対策を実施して行う必要があるため、下記に示す事項を踏まえて行う。

- ・ヘルメット、安全帯等の装備の点検を始業前に行う。
- ・梯子、脚立、昇降設備、足場等の点検を始業前に行う。
- ・墜落の恐れのある場所や高さ2m以上の場所では安全帯を使用する。
- ・道路あるいは通路上では、反射チョッキを使用するとともに、必要に応じて交通誘導員を配置する。
- ・高所での点検に際しては、用具等を落下させないように対策するとともに十分注意する。

3. 変状、変位、損傷状況の把握

3-1 状況の把握

定期点検の結果、変状、変位、損傷等を把握した場合は、「橋梁定期点検要（案）平成16年3月」を参考にして、状況を把握するものとする。

3-2 程度の評価

程度については、「橋梁定期点検要領（案）平成16年3月」に基づいて損傷の種類毎に評価するものとする。なお、ひび割れの評価については、1-2（1）項で述べたように、新規・進展ひびわれをわかりやすくする目的で、ひび割れ幅と長さについてまとめ一覧表をもとに評価を行うものとする。

4. 記録

点検の結果は、垂井高架橋の安全性を確認するための基礎的な情報であるため、別途様式で記録し、保存しておくものとする。

添付様式：定期点検報告書

5. 報告

定期点検結果の報告は、土木学会技術推進機構から国土交通省と日本高圧コンクリート協に対して、下表のとおり行うものとする。

種別	送信手段	データの内容	報告要領
定期点検	電子メール	所定の様式で整理したデータ	土木学会技術推進機構で報告書を作成し、電子メールにて送信する

1. 臨時点検の実施

1-1 点検開始、終了の連絡

点検の開始、終了等にあたっては、点検担当者から下記へ連絡を行うものとする。

事務所名	担当部署	電話番号	住所
和歌山国道維持出張所	管理係	073-471-2010	和歌山市出島33

1-2 点検要領

(1) 上床版下面の変状

臨時点検では、P2～P3間及びP6～A2間を代表区間として、上床版下面の変状を箱桁内から目視により確認する。

(2) 支承

A1, P1, A2において、ゴム支承の機能障害や沓座モルタル及び変位制限装置の損傷の有無について目視により確認する。

(3) 剥落防止シートの異常

箱桁外全面の繊維シートの経年劣化等による異常の有無を、双眼鏡等を用いて目視にて確認する。

2. 安全対策

点検は、道路交通、第三者及び点検に従事する者に対して適切な安全対策を実施して行う必要があるため、下記に示す事項を踏まえて行う。

- ・地震による予期せぬ損傷の発生を考慮して点検を行う。
- ・ヘルメット、安全帯等の装備の点検を始業前に行う。
- ・梯子、脚立、昇降設備、足場等の点検を始業前に行う。
- ・墜落の恐れのある場所や高さ2 m以上の場所では安全帯を使用する。
- ・道路あるいは通路上では、反射チョッキを使用するとともに、必要に応じて交通誘導員を配置する。
- ・高所での点検に際しては、用具等を落下させないように対策するとともに十分注意する。

IV. 臨時点検

供用開始後の臨時点検は、橋本市での観測で震度4以上の地震が発生した場合に実施する点検であり、地震発生後4時間以内に点検を実施する。臨時点検の項目、内容及び頻度等を表IV-1に示す。

表IV-1 臨時点検項目一覧

項目	内容	方法	位置	頻度
上床版下面の変状	疲労によるひび割れに着目して、上床版下面の変状を桁内から確認する。	目視	代表区間 箱桁内	地震（震度4以上）の場合
支承	ゴム支承の機能障害や沓座モルタル及び変位制限装置の損傷の有無について確認する。		A1, P1, A2	
剥落防止シートの異常	繊維シートの剥離、浮き等の有無を桁下から確認する。		箱桁外全面	

3. 変状、変位、損傷状況の把握

3-1 状況の把握

臨時点検の結果、損傷や損傷の進展等を把握した場合は、「橋梁定期点検要（案）平成16年3月」を参考にして、損傷の種類毎に損傷の状況を把握するものとする。

3-2 程度の評価

程度については、「橋梁定期点検要領（案）平成16年3月」に基づいて損傷の種類毎に評価するものとする。

4. 記録

点検の結果は、垂井高架橋の安全性を確認するための基礎的な情報であるため、別途様式で記録し、保存しておくものとする。

添付様式：臨時点検報告書

5. 報告

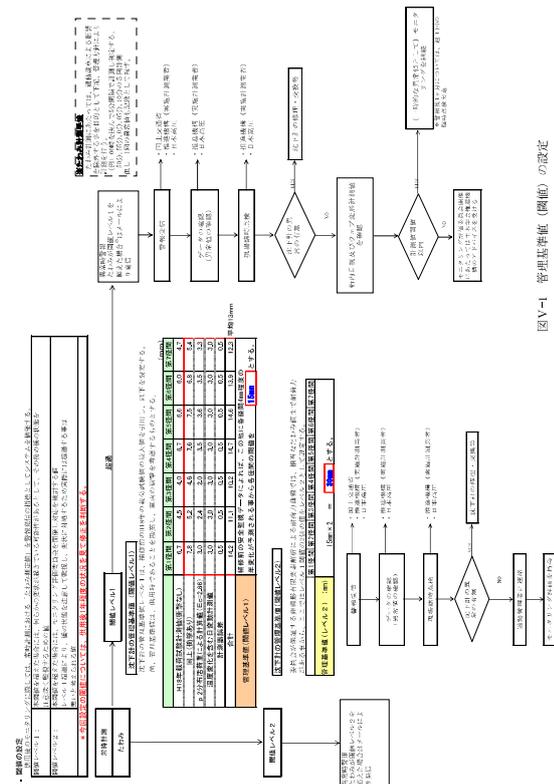
臨時点検結果の報告は、土木学会技術推進機構から国土交通省と日本高圧コンクリート協に対して、下表のとおり行うものとする。

種別	送信手段	データの内容	報告要領
臨時点検	電子メール	所定の様式で整理したデータ	土木学会技術推進機構で報告書を作成し、電子メールにて送信する

V. 閾値及び管理基準値

常時監視項目毎の閾値及び管理基準値を図V-1及び表V-1に示す。但し、監視項目毎に外気温等の影響や経年変化の程度が異なるため、計測されたデータと定期点検の結果等を考慮して閾値及び管理基準値の検証を行うことが必要である。

なお、モニタリングは10年間実施するため、データの保存とともに適切な閾値の見直しをモニタリング評価委員会において行う。

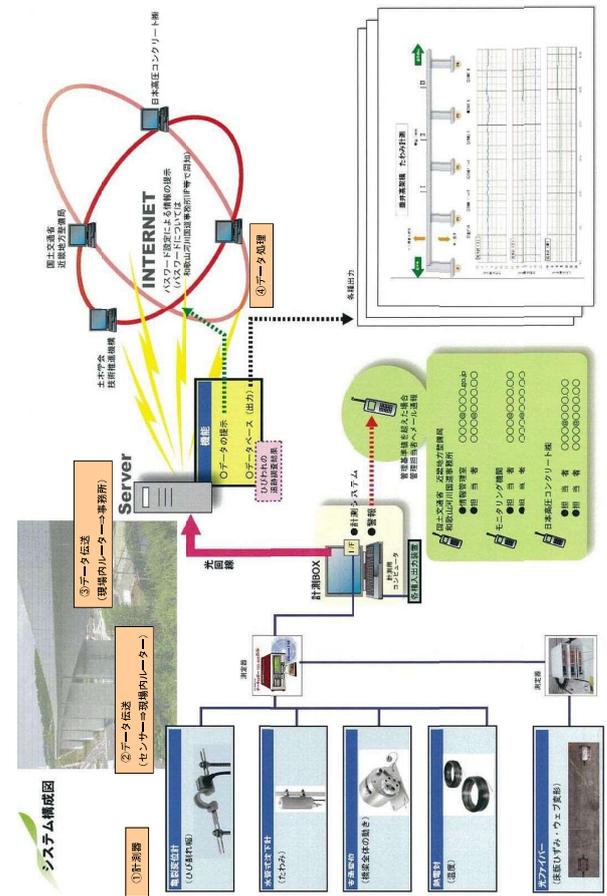


図V-1 管理基準値 (閾値) の設定

2. 他の計測項目閾値 (案) については、機器仕様保証の締め及び保証が入っていた箇所についてのウェブ型形についてのウェブ型形について以下の様に閾値を設定し、監視その他の項目についても、計測を行いアラート発生を収集する。

表V-1 管理基準値 (閾値) の設定

測定項目	計測項目	異常値	管理基準値	計測装置	設置位置	検定	検定周期	備考
※ 気象観測所 計測項目	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
※ 気象観測所 計測項目	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
	気象観測所	-	なし	なし	なし	なし	なし	気象観測所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。気象観測所の設置場所は、気象庁から提供されるデータを利用し、監視を行う。
その他	その他	0	6000	6000	11000	10000	10000	その他



図V-2 システム構成図

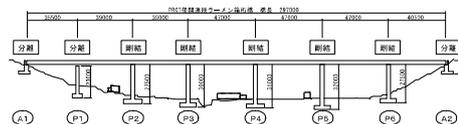
参 考 資 料

- 参考資料 1 垂井高架橋位置図
- 参考資料 2 点検車輛と進入経路の鍵
- 参考資料 3 桁下駐車スペース
- 参考資料 4 箱桁内進入ルート
- 参考資料 5 桁内入り口
- 参考資料 6 P1橋脚鉛直タラップ図
- 参考資料 7 計測器仕様
- 参考資料 8 計測システム
- 参考資料 9 初期(1年程度)の状態確認
- 参考資料 10 避雷器の設置について
- 参考資料 11 垂井高架橋モニタリング期間(10年間)、
(異常値・地震震度4以上)緊急連絡先

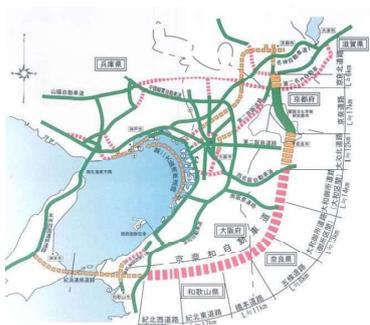


奈良
←

和歌山
→



参考資料 1 垂井高架橋位置図



参考資料 2 点検車輛と進入経路の鍵

点検車輛は、以下に示すような点検作業を示すカードを掲示して、駐車スペースに駐車することとする。



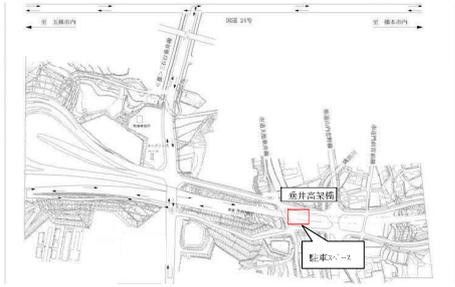
また進入経路上の以下の4箇所および分電盤については、鍵による施錠がなされているため、この5箇所の鍵についてはモニタリング期間中貸与いただき保管管理する。

進入経路の施錠箇所

- | | |
|-----------------|-----------|
| ①桁下調査のための駐車スペース | テニスコート |
| ②箱桁内調査の進入箇所 | A2進入フェンス |
| ③桁内進入箇所 | A2進入マンホール |
| ④P1支承確認のための進入箇所 | フェンス |

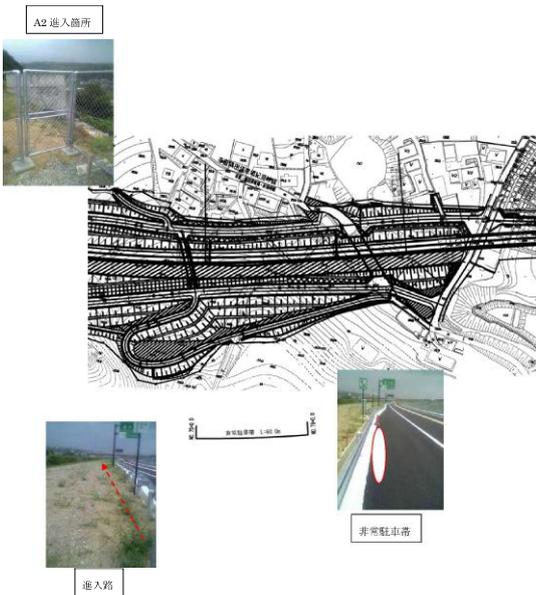
参考資料 3 桁下駐車スペース

桁下の駐車スペースは、下図のテニスコート予定地とする。



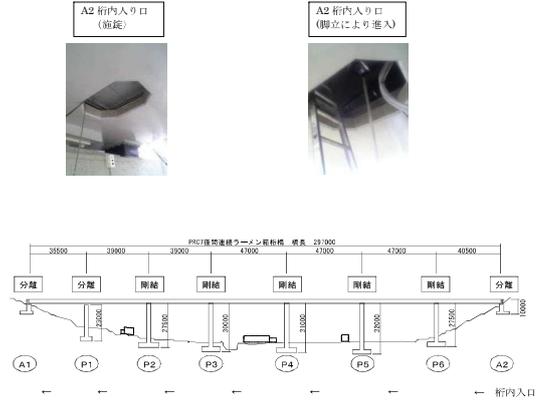
参考資料 4 箱桁内進入ルート

箱桁内への進入ルートは、下図の通りである。
橋本IC → 非常駐車帯に駐車 → 進入路（徒歩にて） → A2進入箇所より進入（施錠）



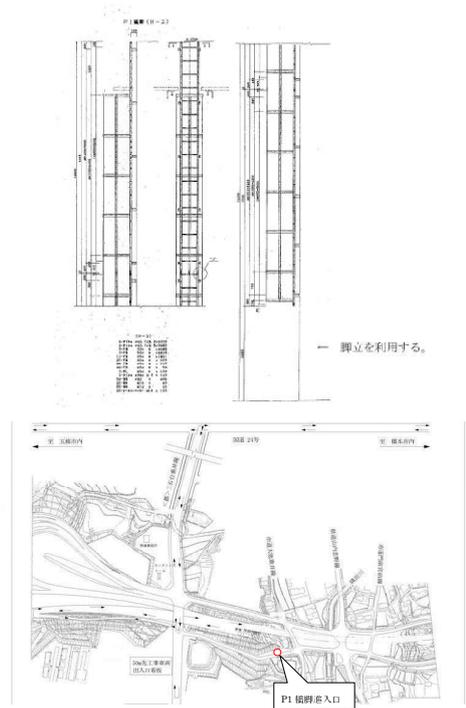
参考資料 5 桁内入り口

A2箱桁内への入り口は、チェーンと鎖で施錠している。箱桁内には、このA2入り口より脚立を用い進入し、P6→P5→P4→P3→P2→P1→A1 の順で点検する。



参考資料 6 P1橋脚鉛直タラップ図

P1支承確認の入り口は、下図に示す位置（フェンスを開閉）から進入し、脚立を用いてタラップを利用する。



測定項目	計測器	型式	容量・精度	数量	備考
桁たわみ	水管式沈下計	FT-20C	±20mm 1.0%RO	7	各径間に配置
橋脚付け根部の変形	光ファイバー	OSMOS	計測長の0.5% ±0.02~±0.004mm	12	載荷試験と同配置
桁内外の温度	熱電対			12	
支承の変位	変位計	DTP-D-500S	500mm 0.3%RO	9	
上下床版平均ひずみ	光ファイバー	OSMOS	計測長の0.5% ±0.02~±0.004mm	4	
ひび割れ幅	亀裂変位計	PI2-100	±2mm 0.3%RO	12	
外ケーブル張力	ロードセル	KCE-1, 5MNA	1, 5MNA 0.2%RO	4	

光ファイバーセンサー

OSMOS

Optical Strand Monitoring System

光ファイバーによる構造物モニタリングシステム

OSMOSとは

OSMOSとはOptical Strand Monitoring System (工学ストランドモニタリングシステム) の略文字を取ったもので、光ファイバーを3本よった工学ストランド (より線) を活用し、モニタリングの対象とする構造物全体の挙動を、工学ストランドによって連続的に計測、モニタリングするシステムです。

株式会社 新技術開発システム 設立1972 登録商標 特許1438007

システム構成

目的構造物 → モニタリングセンター → 光学検波器 (データ処理)

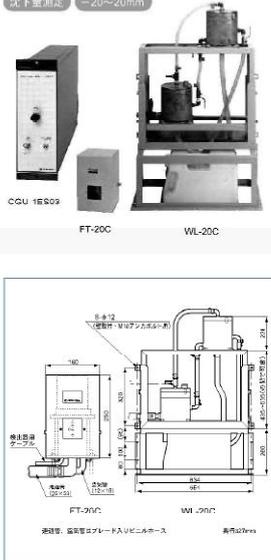
特徴

- 長いセンサーによる構造物のマクロな動きの把握
- システムが安定、長期連続モニタリングが可能
- 動的/静的測定が一つのセンサーで可能
- 電源喪失 (停電) しても復旧後の測定値に連続性がある
- 設置が容易、どんなものにも取り付け可能
- 換気、コンクリートなどに埋め込み可能
- 電気ノイズの影響なし
- 発火源とならない
- 遠隔モニタリングシステムが確立している

SSC-C

水管式構造物沈下計

沈下量測定 ±20~200mm



既設構造物沈下、または新設したトンネル工事、掘削工事などが工事途中あるいは工事終了後構造物に与える沈下の影響を測定するものです。本装置は基準水櫃と検出器で構成され、基準水櫃は構造物の沈下の影響を受けない点を基準点として固定し、一方検出器は沈下の予測される構造物の測定点に設置して両者を通過する管を基準水櫃と検出器の水位差を電気的に測定します。

仕様

- 検出器 FT-20C
 - 測定範囲 ±20mm (最小検出値 0.2mm)
 - 非変換圧 ±1%RO以内
 - ヒステリシス ±1%RO以内
 - 繰り返し精度 1%RO以内
 - 定格出力 2000mV ±1% (10V 定格電圧) ~ 10V 定格電圧 (印加電圧 5V DC 時)
- 電気的特性
 - 使用温度範囲 0~40°C (長時間に連続しないこと)
 - 0.03%RO/°C 以内
- 電気的特性
 - 検出方式 差動トランス式
 - 駆動印加電圧 6V DC
 - 許容印加電圧 4~10V DC
 - 消費電流 0.5mA、6針シールドのロドリオン2pin、外径9.5mm、長径むき出し
- 機械的特性
 - 測定出力 ±5%RO以内 (水櫃0mm)
 - 質量 約1kg
 - 外形寸法 160×250×170mm
- コンディショナ CGU-1ES03
 - 検出器用電源電圧 DC5V
 - 入力 DC0~±1.0V
 - 出力 DC0~±1.0V (精度: 1.0V入力に対して) ±0.5%FS
 - 消費電流 入力換算DC=1.0V 約100mA以下
 - 校正抵抗 2段切り換え 10分 (精度±20%以内)
 - ロバースフィルタ 5分 (100ms以下)
- 使用温度範囲
 - 0~40°C、20~80%RH (結露しないこと)
 - 電源 AC100V
- 標準水櫃 WL-20C
 - 質量 水櫃部 約20kg
 - 水タンク部 約15kg

別売品 校正パイプA WL-C-100 (水櫃10mm) 校正パイプB WL-C-200 (水櫃20mm)

基準水櫃 WL-20C 検出器 FT-20C

専用コンディショナ CGU-1E S03

基準水櫃 (WL-20C) は奥行200mmでも製作可能です。

KYOWA

Optical Strand Monitoring System

測定原理



工学ストランドは、3本の光ファイバーをより線にして作成したもので、その中を通過する光は、その通路に曲り (マイクロベンディング) があると、その部位で光が外部に漏れ、ファイバー内部を通過する光の強度は減少する。このマイクロベンディングの原理を用いて、光の漏れ量を検出することで、構造物の変形や歪みを測定する。

適用例

- 橋・橋脚工事用、変形・応力計測
- 動的変形計測
- 基礎沈下工事用応力計測
- トンネル・緊急用重量ドア支持構造変形計測
- 掘削切羽計測
- 近接施工影響計測
- 構造健全性計測
- ダム・水櫃直上に併用型トンネル変形計測
- アスファルトコア変形計測
- ダム躯体補強工事中変形計測
- ひび割れ成長監視計測
- 橋脚・通行統計
- クラック計測
- プレストレストコンクリート
- 橋脚変形計測
- 吊り橋ケーブルアンカー安定性計測
- 動態挙動モニタリング
- 建築物・[1] 橋脚変形監視計測
- 山崩れモニタリング
- 変形・応力計測
- 変位モニタリング (R/Lの検出)
- 斜面・ロックボルト張力計測
- 山崩れモニタリング
- トンネル掘削モニタリング
- 動的挙動モニタリング

仕様

項目	仕様
ゲージ長さ	2.0 (0m) (標準)
分岐能力	±0.004mm
測定長さ	測定長さの0.5% (25mmまで)
精度	±0.02mm (±0.01mm以内)
測定時間	20mをリアルタイム計測
耐用年数	10年以上
センサー種類	シリコン被覆工学ストランド 工学ストランドが腐食防止の目的で、シリコン被覆をしたもので、既存の構造物に取り付ける標準タイプ スワイヤル・スチール被覆工学ストランド コンクリート等に埋込みで使用できるように、スチール被覆の標準タイプ アラミド被覆工学ストランド 既設構造物のモニタリングで使用したもので、ランダムロード、ロックボルト、パイプ等への適用に使用する

株式会社 新技術開発システム

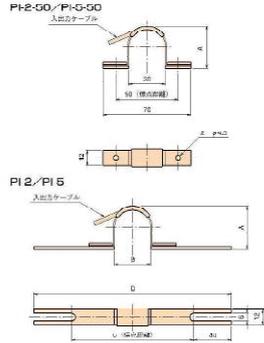
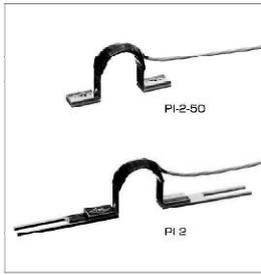
KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

1121 / www.keisoku.co.jp
E-mail: keisoku@keisoku.co.jp

株式会社 新技術開発システム

広島本社 : 〒732-0029 広島市東区福地1丁目685-1 (代表) TEL: 082-899-5471 FAX: 082-899-5478
東京本社 : 〒140-0013 東京都品川区南大井3-22-7大倉YSビル TEL: 03-3763-5150 FAX: 03-3763-5523
大阪支社 : 〒568-0002 大阪府大阪市東淀川区2-7-18 TEL: 06-4821-0161 FAX: 06-4821-0159
九州支社 : 〒812-0007 福岡市博多区東比恵2-7 瀬田ビル TEL: 092-474-5206 FAX: 092-475-0484
岡山営業所 : 〒710-0016 倉敷市中央2415-1 中野マンション TEL: 086-462-8418 FAX: 086-462-8828
名古屋営業所 : 〒468-0847 名古屋市中区東2-9-29 TEL: 052-026-1070 FAX: 052-026-1071

PI バイ型変位計 ±2/±5mm



ばね線にひずみゲージを張り付けた、シンプルな形状をした変位計です。標尺距離(450~300mm)まで6種あり、構造設置内に発生したコンタクト表面の角度変化や構造上の歪みなどを容易に測定することが可能です。

- シンプルな形状
- 安定した測定が可能
- 標尺距離の選替が多い
- 取扱いが簡単

型名	A	B	C	D	質量 (g)
PI-2-50	35	30	100	150	55
PI-2-100	35	30	150	210	65
PI-2-150	35	30	200	270	70
PI-2-200	35	30	250	330	80
PI-2-250	35	30	300	390	90
PI-5-50	50	40	100	150	60
PI-5-100	45	40	150	210	65
PI-5-150	45	40	200	270	70
PI-5-200	45	40	250	330	80
PI-5-250	45	40	300	390	90

型名	PI-2	PI-5
標尺距離 (mm)	50, 100, 150, 200, 250, 300	50
質量 (mm)	±2	±5
出力電圧	約20mV (4.0X10 ⁻³ V/μm)	約100mV (3.0X10 ⁻³ V/μm)
精度 (±1σ/1mm)	約±0.005	約±0.01
出力電圧	約20mV	約100mV
入力抵抗	350Ω	350Ω
最大入力電圧	2V以下	2V以下
許容入力電圧	10V	10V
入力ケーブル	φ3mm 0.5mm ² 4芯シールドケーブル 2m 売価は別	φ3mm 0.5mm ² 4芯シールドケーブル 2m 売価は別

■関連製品

型名	型名	型名	型名
PI-2-50/PI-5-50	P.F.11-50	P.F.21-50	P.F.21-100
PI-2-100/PI-5-100	P.F.11-100	P.F.21-100	P.F.21-150
PI-2-150/PI-5-150	P.F.11-150	P.F.21-150	P.F.21-200
PI-2-200/PI-5-200	P.F.11-200	P.F.21-200	P.F.21-250
PI-2-250/PI-5-250	P.F.11-250	P.F.21-250	P.F.11-300
PI-2-300/PI-5-300	P.F.11-300	P.F.21-300	

●取替機 P.F.-11
取付マシ P.F.-21を、正しい取付位置を保って取替機に取り付け替えるために使えます。

●取替機 P.F.-21
ケーブルと取替機に3.5mmの取付穴があり、取替機は183~184頁をご覧ください。

Tokyo Sokki Kenkyujo

KCE-NA

■関連製品

接続フランジ KCEP-11
行巻計圧圧面上で使用される場合に使用する取付板です。



型名	適用径 (mm)	A	B	C	D	E	質量 (kg)
KCEP-11-50	KCE-500KNA	180	20	150	80	12.5	4.1
KCEP-11-100	KCE-100KNA	200	20	170	90	12.5	5.1
KCEP-11-150	KCE-150KNA	220	30	190	110	12.5	10.4
KCEP-11-200	KCE-200KNA	250	30	220	140	12.5	13

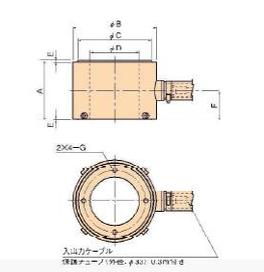
取替フランジ KCEP-12
取替機圧圧面上を多少外圧で取替される可能性がある場合に使用する取付板です。



型名	適用径 (mm)	A	B	C	D	質量 (kg)
KCEP-12-50	KCE-500KNA	150	20	80	M 8	2.8
KCEP-12-100	KCE-100KNA	170	20	90	M10	4.9
KCEP-12-150	KCE-150KNA	200	40	110	M10	7.8
KCEP-12-200	KCE-200KNA	230	40	140	M12	10

tokyo sokki Kenkyujo

KCE-NA 圧縮センターホール型荷重計 500kN~2MN



各種のアンダーワークに對するロード、ストラットの荷重が目的の用途に使用されるセンターホール型荷重計です。ある程度の荷重の荷重に對しても安定した測定が可能です。熱電対を内蔵した温度補償機能があります。

取付寸法 P: 67mm

- 特長
- 応荷荷重
- 荷重心の影響が小さい

型名	A	B	C	D	E	F	G	質量 (kg)
KCE-500kN-A	70	150	110	80	2	36	M 8x10	1075
KCE-1MN-A	105	150	134	90	2	54.5	M10x12	1212
KCE-T1MNA	118	158	142	110	4	52.5	M12x16	1321
KCE-2MNA	155	215	188	140	5	77.5	M12x16	1522

■仕様

型名	KCE-500KNA	KCE-1MNA	KCE-1.5MNA	KCE-2MNA
容量	500kN	1MN	1.5MN	2MN
出力電圧	51mV	102mV	153mV	204mV
定電圧	1.35mV/MV (100V/10 ⁻³ V/μm)	1.35mV/MV (10 ⁻³ V/μm)	1.35mV/MV (10 ⁻³ V/μm)	1.35mV/MV (10 ⁻³ V/μm)
非線形性	0.5%RD	0.5%RD	0.5%RD	0.5%RD
ヒステリシス	0.2%RD	0.2%RD	0.2%RD	0.2%RD
感度のばらつき	±0.5%RD	±0.5%RD	±0.5%RD	±0.5%RD
出力のばらつき	0.05%/V	0.05%/V	0.05%/V	0.05%/V
補償温度範囲	-10~+40℃	-10~+40℃	-10~+40℃	-10~+40℃
許容温度範囲	-20~+70℃	-20~+70℃	-20~+70℃	-20~+70℃
許容湿度範囲	20%	20%	20%	20%
入力抵抗	350Ω以下	350Ω以下	350Ω以下	350Ω以下
許容入力電圧	10V以下	10V以下	10V以下	10V以下
許容出力電圧	20V	20V	20V	20V
ケーブル	5m	5m	5m	5m
入力ケーブル	φ3mm 0.5mm ² 4芯シールドケーブル 5m 売価は別			

UCAM®-60A,65A データロガー

●0.1×10⁻³μmの高分解能で、20000×10⁻³μmまで測定可能 共和技術 No.2277-320



データロガーUCAM-60Aは、使い易さを追求した現場対応型。ルインワン測定器です。採集しやすい、分かりやすい日本語表示、明るく見やすいディスプレイ、測定結果がすぐ分かるプリンタ付きと、現場測定に必要な機能が満載されています。

UCAM-60Aは、パソコンからすべて制御するオンライン計測専用的小型データロガーです。

UCAM-60A,65Aともに、入力特長は、ひずみゲージ、ひずみゲージ変換器、温度湿度付水変換器、非接触型レーザー式レーザー、熱電対、前後電圧など、それぞれの同時入力が可能です。本体のみで、30チャンネルまで測定可能ですが、外部スキャナを接続すれば、最大1000チャンネルまでの測定が可能です。測定データは、内部メモリに保存されるため、メモリー不足が心配ありません。フラッシュメモリーカードに保存することも可能で、データのパソコンへの取り込みも容易です。また、イーサネットおよびRS-232Cインターフェースを標準装備しているため、制御ソフトウェア (UCS-60A) で、パソコンからの制御が可能になるとともに、データを前後パソコンに取り込むことにより、ロボット採集などのデータ処理が現場で楽々行えます。

- UCAM-60A
 - 採集しやすい日本語表示採用 (英語表示に切り替え可能)
 - 現場で使いやすいディスプレイ、背光表示採用
 - 測定結果がすぐ確認できるサーマルプリンタ内蔵
- UCAM-65A
 - 測定結果などの測定はパソコンから、データ取り込みもパソコンへ
 - パソコンなしでも単体でインタネット測定が可能

- UCAM-60A, 65A共通
 - 0.1×10⁻³μmの高分解能で、20000×10⁻³μmまで測定可能
 - 最大1000チャンネルまで測定可能
 - 20MHzチャンネル高速スキャンが可能
 - スタンバイモードで最大30チャンネルまで測定可能
 - 外部スキャナで最大1000チャンネルまで測定可能
 - データ記録の遅延、メモリー不足の心配なし
 - AC電源の取付がない所でも使用できるDC電源専用機を用意
 - 常時1チャンネル監視は、即時検出式監視器が可能 (オプション)
 - 制御ソフトウェア (UCS-60A) (UCAM-60A専用) でパソコンからの制御が可能、接続はイーサネットまたはRS-232C
 - 別売の解析ソフトウェア (NI DAAdm) でデータの解析ができる (注)

- 外部スキャナ
 - (注1)別売の外部スキャナUCS-65A (P8-65)が必要
 - (注2)NI DAAdmについてはP3-69をご覧ください。

- 外部インターフェース
 - USB-01A (USB-01A専用)
 - USB-01B (USB-01B専用)
 - USB-01C (USB-01C専用)
 - USB-01D (USB-01D専用)
 - USB-01E (USB-01E専用)
 - USB-01F (USB-01F専用)
 - USB-01G (USB-01G専用)
 - USB-01H (USB-01H専用)
 - USB-01I (USB-01I専用)
 - USB-01J (USB-01J専用)
 - USB-01K (USB-01K専用)
 - USB-01L (USB-01L専用)
 - USB-01M (USB-01M専用)
 - USB-01N (USB-01N専用)
 - USB-01O (USB-01O専用)
 - USB-01P (USB-01P専用)
 - USB-01Q (USB-01Q専用)
 - USB-01R (USB-01R専用)
 - USB-01S (USB-01S専用)
 - USB-01T (USB-01T専用)
 - USB-01U (USB-01U専用)
 - USB-01V (USB-01V専用)
 - USB-01W (USB-01W専用)
 - USB-01X (USB-01X専用)
 - USB-01Y (USB-01Y専用)
 - USB-01Z (USB-01Z専用)

仕様

■データロガー UCAM-60A, 65A
外形寸法と重量
電源
通信機能
温度(16種類)・湿度(2種類)の計測
記録方式と記録容量

Table with columns for model, measurement items, and specifications. Includes a detailed table of measurement items and their accuracy.

測定チャネル数
スキャンング速度
外形寸法と重量

Table with columns for specification, UCAM-60A, and UCAM-65A. Lists various features and their availability for each model.

性能保証機能

校正数値の更新機能
測定精度の保証
目標値設定
トリガ測定

トリガ測定(一定値)またはトリガレベル
トリガレベル
トリガレベル
トリガレベル



インパルス測定
トリガイタ測定
ストレーシ機能

ひずみ測定(標準モード)
ブリッジ電圧
ブリッジ電圧

ポテンシオメータ型温度測定(標準モード)
スキャンング速度
初期値記憶機能
センサ電源

Table with columns for model, measurement items, and specifications. Includes a detailed table of measurement items and their accuracy.

クロック
プリンタ
PCカードスロット
インターフェース

消費電力
外形寸法と重量

■専用スキャンングユニット
■外部スナッチ
■外部出力ユニット

■スキャナインタフェース
■外部出力ユニット
■外部スナッチ

Table with columns for model, measurement items, and specifications. Includes a detailed table of measurement items and their accuracy.

消費電力
外形寸法と重量

■専用スキャンングユニット
■外部スナッチ
■外部出力ユニット

測定範囲、分解度、精度
ひずみ測定(高分解モード)
ブリッジ電圧

Table with columns for model, measurement items, and specifications. Includes a detailed table of measurement items and their accuracy.

ブリッジ電圧
ブリッジ電圧

ブリッジ電圧
ブリッジ電圧

ブリッジ電圧
ブリッジ電圧

ブリッジ電圧
ブリッジ電圧

測定範囲、分解度、精度
電流測定(標準モード)

Table with columns for model, measurement items, and specifications. Includes a detailed table of measurement items and their accuracy.

電流測定(標準モード)
電流測定(標準モード)

電流測定(標準モード)
電流測定(標準モード)

電流測定(標準モード)
電流測定(標準モード)

電流測定(標準モード)
電流測定(標準モード)

参考資料 8 計測システム

垂井高架橋 Web モニタリングシステム

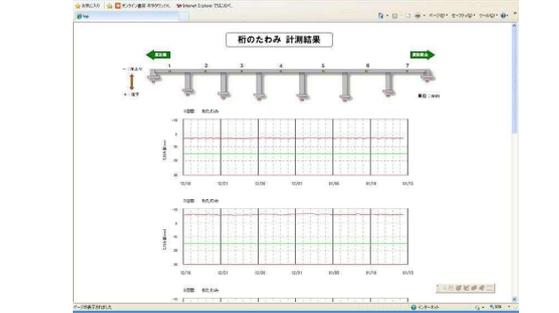
インターネットを使用して、垂井高架橋の計測データを Web 画面で確認することが出来ます。計測データの確認は、誰でも確認できる「一般向け」と関係技術者のみ確認できる「技術者向け」があります。

http のアドレス (予定)

一般向け http://www.tarui-monitor.jp
技術者向け http://www.tarui-monitor.jp/tech/div/

1. 一般向け

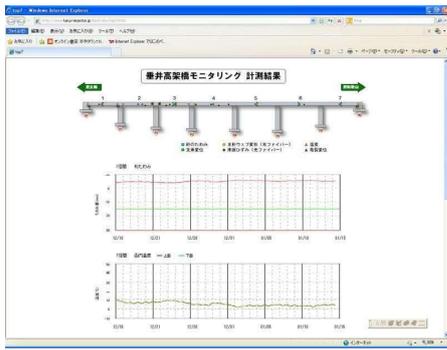
一般向けアドレスへアクセスすると、次のような画面が表示されます。



画面には過去1ヶ月間の、全箇所の桁たわみの経時変化図が表示されます。

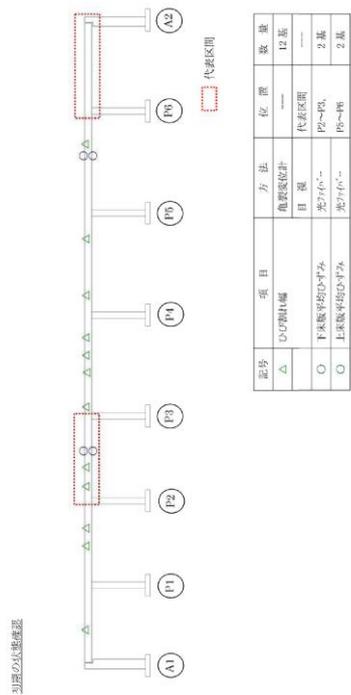
2. 技術者向け

技術者向けアドレスへアクセスすると、次のようなメニュー画面が表示されます。



画面には経間別に、過去1ヶ月間の全計測データの経時変化図が表示されます。

画面上の経間番号をクリックすると、対応した経間に切り替わります。



参考資料9 初期（1年程度）の状態確認

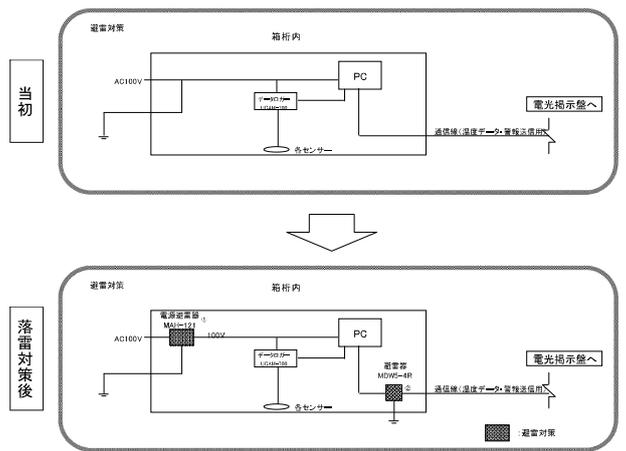
本項目は、供用開始後1年程度にわたって橋梁の状態確認を行う目的で実施された。その結果、大きな変状等見られなかったため、初期の状態確認としての役割は完了しているが、引き続き計測を行い監視を行っている。これらは計器類が故障もしくは寿命等によりデータ欠測となった時点で終了する。

表-1 初期の状態確認項目一覧

項目	内容	方法	位置	数量	頻度
※供用後（補修・補強後）の初期のひび割れ点検	桁内のひび割れを対象に供用後の初期の段階でのひび割れの進展や新たな発生の有無について点検する。 なお、調査は、代表区間としてP2～P3・P6～A2間の2区間とする。	亀裂変位計 目視、クラックケル等 焦点点検箇所：0.1mm以上 その他：0.2mm以上	代表区間 箱桁内	12基	2回（3ヶ月、12ヶ月） 但し、ひび割れの発生状況により全区間の点検を実施
下床版平均ひずみ	載荷試験測定値からの下床版のひずみの動きを確認する。	光ファイバー	P2～P3 P5～P6 箱桁内	2基	1年間常時1時間毎監視し、その後の継続監視の必要性を判断する。
上床版平均ひずみ	載荷試験測定値からの上床版のひずみの動きを確認する。	光ファイバー	P2～P3 P5～P6 箱桁内	2基	

参考資料10 避雷器の設置について

平成20年の夏ごろ、垂井高架橋付近の落雷によりデータロガーの故障が発生し、モニタリングデータの欠測を余儀なくされた。この事象を受けて、落雷に起因するサージ電流からセンサーやパソコンなどの電子機器類を保護する目的で、平成21年6月頃に電源ラインと通信ラインに避雷器を設置している。



設置機器一覧

番号	品名	型式	単位	数量	備考
①	AC100V用避雷器	MAH-121	台	1	電源避雷器
②	RS-485用避雷器	MDW5-4R	台	1	通信線用避雷器

MAH-121

エス・システム技研
電子機器専用避雷器 M・RESTER シリーズ

仕様書 電源用避雷器 形式 MAH

形式
形式 MAH-□

使用電源電圧
121：单相2線式 AC 100 / 110 / 120 V
221：单相2線式 AC 200 / 220 / 240 V
123：单相3線式 AC 100 / 110 / 120 V+1
223：三相3線式 AC 200 / 220 / 240 V
※1：線-中性線の電圧

主な機能と特徴
●電源回路に侵入する高電圧パルスに耐える ●放電容量は1210000 A ●電圧劣化をLED表示 ●放電表了切り離し用ヒューズ付

アクリルケースシールド
●コンデンサ、その他電子機器同様の電圧保護用 ●別売、記憶用電源の保護用

設置仕様
使用温度範囲：-5～+55℃
使用湿度範囲：30～90% RH（結露しないこと）
取付：壁取付
寸法：W 80 × H 250 × D 95 mm
質量：約 2 kg

ご注文時指定事項
・形式コード（例：MAH-223）

機器仕様
構造：ボックス形、表面端子構造
接続方式：M 3ねじ端子接続
端子ねじ材質：S202チタニウムにニッケルメッキ（耐トルク1.6 N・m）
ハウジング材質：SPCC 4-1.6 粉末コート処理
異常表示：赤色LED（電源点灯灯、異常時消灯）

性能

	線間	線-接地型
収束開始電圧（定格値）	MAH-121 (MAH-123 線-中性線) 190 V min	MAH-221, 223 (MAH-123 線-線間) 380 V min
定格電圧	350 V max	700 V max
残圧電流	40 mA以下** AC 110 Vにて	40 mA以下** AC 220 Vにて

※2：1.0Vの残圧電流を含む
応答時間：0.1 μs以下
放電容量：10000 A (8 / 20 μs)
最大負荷電流：20 A
電圧降下：1 V以下 (50 / 60 Hz)

MAH-121

外形寸法図 (単位：mm)・前面パネル図・端子番号図

取付寸法図 (単位：mm)

MDW5-4R

エス・システム技研
電子機器専用避雷器 M・RESTER シリーズ

仕様書 全一線 RS-485 / 422 用避雷器 形式 MDW5-4R

形式
形式 MDW5-4R

性能
放電開始電圧
・6-7、8-0間：±5 V min
・6-7、8-9-10間：5 V min
・各線 標定間：±140 V min
耐電圧
・1-2、3-4間：±25 V max
・1-2、3-4-5間：±25 V max
・各線-線間：±800 V max
残圧電流
・線間：4 mA以下
・各線-線間：20 mA以下
放電容量：10 kA (8 / 20 μs)
最大負荷電流：100 mA
内部漏れ電流：約 4.0 μA (往復2線)
残圧電流
・6-7、8-9間：0.2 mA以下 (@±5 V)
・6-7、8-9-10間：0.9 mA以下 (@±5 V)
・各線-線間：10 μA以下 (@±140 V)
最大放電電圧：±8 kV
絶縁容量：約 500 pF (@ 100 kHz)
※絶縁容量：約 100 pF (@ 100 kHz)
動作感度：-0.5 dB以下DC-2.0 MHz Z₀=110 Ω
無電圧感度：1.5 Mbps以下

設置仕様
使用温度範囲：-5～+55℃
使用湿度範囲：30～90% RH（結露しないこと）
取付：DINレール取付
寸法：W 45 × H 97 × D 41 mm
質量：約 130 g

ブロック図

NS-8217 P1/2 改1

参考資料 1 1 垂井高架橋モニタリング期間（10年間）、
（異常値・地震震度4以上）緊急連絡先

国土交通省

事務所名等	部・課	氏名	連絡先
近畿地方整備局	道路部 道路工事課	田中	大阪市中央区大手前1-5-44 大阪合同庁舎1号館 (事務所) 06-6943-1629
	構造係長		
	和歌山河川国道事務所		和歌山市西丁16番 (事務所) 073-424-2471
和歌山河川国道事務所	管理担当副所長	杉若	(携帯) 090-2592-1067 kokudou09025921067@docomo.ne.jp
	道路管理第二課長	真野	(携帯) 090-2701-4120 kokudou09027014120@docomo.ne.jp
	道路管理第二課 維持修繕係長	南	(携帯) 090-2701-4119 kokudou09027014119@docomo.ne.jp
	和歌山国道維持出張所		和歌山市出島33 (事務所) 073-471-2010
和歌山国道維持出張所	出張所長	岸本	(携帯) 090-2592-1164 kokudou09025921164@docomo.ne.jp
	管理係長	前田	(携帯) 090-2701-4129 kokudou09027014129@docomo.ne.jp

②地 元

	氏 名	連 絡 先
蕨井区長	佐 幸八	(自宅) 0736-32-2567 (携帯) 090-5364-1769

③関係先

事務所名等	氏 名	連 絡 先
橋本警察署		0736-33-0110
橋本消防署		0736-33-0119
橋本労働基準監督署		0736-32-1190
NTT 橋本		0120-248-995
関西電力 橋本		0736-32-1245
橋本市市民病院		0736-37-1200

④モニタリング機関

事務所名等	部・課	氏 名	連 絡 先
(社)土木学会 技術推進機構	技術推進部	村木	東京都新宿区西谷1丁目外濠公園内 (会社) 03-3355-3502 (携帯) 090-9687-9952
株式会社 大阪支社	建設コンサルタント 事業部	田ノ上 誠次	大阪府吹田市意水町3丁目2-18 (会社) 06-6821-0161 (携帯) 080-2410-9768 st_kre@docomo.ne.jp
株式会社 広島支社	建設コンサルタント 事業部	花倉 宏司	広島市東区福田1丁目665-1 (会社) 082-899-5473 (携帯) 090-1353-6102 hanakura@docomo.ne.jp

⑤日本高圧コンクリート㈱

事務所名等	部・課	氏 名	連 絡 先
PC事業部 大阪支社			大阪府中央区南久宝寺町4-1-2 御堂筋ビル4F (会社) 06-6253-2474
		多田 友也	(携帯) 090-3088-8275 tada.nihonkoatsu@docomo.ne.jp
		堀 重伸	(携帯) 090-8705-3966 hori.sheva.kaka@docomo.ne.jp
PC事業部 東京支社			東京都港区西新橋1丁目4-9 TAMC 4F (会社) 03-3592-5960
		鷹巣 恵一	(携帯) 090-5955-3833 nkc-pegsap_k0_13a2k1a6s9u7@docomo.ne.jp

資料No.19 垂井高架橋モニタリング評価委員会
中間報告書

- ・本資料は平成24年に取りまとめた本委員会の中間報告書を参考に添付するものである。

橋本道路垂井高架橋 供用後モニタリング

中間報告書

2012年5月

目次

序	1
1. はじめに	1
2. モニタリング概要	5
2. 1 モニタリングの目的	5
2. 2 計測器配置図	6
2. 3 ひび割れ点検箇所図	7
2. 4 システム構成図	8
2. 5 閾値の設定	9
3. 計測器によるモニタリング状況	11
3. 1 閾値に対する常時監視	11
3. 2 たわみ	11
3. 3 たわみに対するクリープの影響	11
3. 4 たわみに対する温度の影響	14
3. 5 橋の伸縮	15
4. ひび割れの状況	16
4. 1 現在のひび割れ点検方法	16
4. 2 ひび割れの変化	16
5. その他の定期点検	17
5. 1 橋体の振動測定	17
5. 2 鉄筋の腐食	17
5. 3 その他の点検	18
6. 今後のモニタリングへの参考知見	19
6. 1 ひび割れ点検方法の推移	19
6. 2 トラブル事例	22
7. 参考資料	25

序

橋本道路垂井高架橋は、平成14年4月に竣工したが、上部工にたくさんのひび割れと変形が確認された。委託をうけて、土木学会の「垂井高架橋損傷対策特別委員会」において、原因の究明と補修・補強等の対策に関する検討が行われた。この検討結果をもとに、各種の補修・補強が行われ、平成19年8月より供用されている。土木学会の「垂井高架橋モニタリング評価委員会」では、下記のような目的と内容で、供用後10年間モニタリングを実施している。

<モニタリングの目的>

- ・補修対策の効果の持続性の確認
- ・供用後における想定外の事象に対する備え
- ・周辺住民に対する安全情報の提供

<モニタリングの内容>

- ・常時監視：桁たわみ、支承変位、ひび割れ幅、外ケーブル張力、等
- ・定期点検：ひび割れ幅、剥落防止シート、鉄筋腐食、等
- ・臨時点検：支承、剥落防止シート、等

供用後、継続して行われている垂井高架橋のモニタリングの結果は、毎年開催される委員会の資料として土木学会のホームページに掲載されている。このモニタリングの方法と結果は、研究用としても価値が高く、また他の橋梁のモニタリングを行う際の参考にもなる。しかしながら、委員会資料のままでは分かりにくい。そこで、4年間のモニタリングの結果を分かりやすく整理して、中間報告としてまとめることとなった。平成23年9月に開催した委員会において、垂井高架橋が健全な状態に保たれていることを確認している。

<モニタリングの途中段階の主な結果>

- ・桁のたわみ変化は、安定しており、閾値以内にある。
- ・支承のせん断変形量は、許容値以内で推移している。
- ・ひび割れの幅は安定しており、新たなひび割れの発生はほとんどない。
- ・注入したひび割れで、再度開いたものはない。
- ・上床版からの漏水はなく、鉄筋の発錆もない。
- ・落雷によるデータ欠測、小動物による被害、計測装置の劣化等のトラブルがあった。

最後に、膨大なモニタリングの作業を緻密に行うとともにデータを整理しておられる関係者の方々と、委員会の委員ならびに関係者の方々に、お礼申し上げます。

平成24年5月
垂井高架橋モニタリング評価委員会
委員長 六郷 恵哲

1. はじめに

国土交通省近畿地方整備局が和歌山県橋本市隅田町垂井に建設した垂井高架橋は、平成14年4月に竣工したが、1年半経過した平成15年10月、上部工にひび割れが発見された。

詳細な調査を行ったところ、上部工には多くのひび割れが発生しており、上部工自体も設計で想定していない変形を生じていた。この橋は、平成18年春に供用が予定していた京奈和自動車道、橋本道路の一部をなしており、国土交通省近畿地方整備局としては、早急に対応する必要があることから、土木学会に原因の究明、現時点での耐荷性能、補修・補強対策等に関する調査を委託した。

この委託を受けて、土木学会コンクリート委員会では、平成17年4月から「垂井高架橋損傷対策特別委員会」を組織し、学術的な観点から原因の究明、健全度の評価および補修・補強等の対策の検討を行い、平成17年9月に中間報告を公表した。

この中間報告をもとに、近畿地方整備局は日本高圧コンクリート（株）のかし修補工事を承認した。

土木学会コンクリート委員会では、「垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会」を組織し、工事に対する技術的な検証、審議、指導を行った。

垂井高架橋のかし修補工事は、平成18年10月より開始され、平成19年6月に完了、同年8月より供用が開始された。

近畿地方整備局では、供用後10年間モニタリングを実施することとしており、モニタリング計画および評価を改めて土木学会へ要請した。これを受けて土木学会では、技術推進機構に「垂井高架橋モニタリング評価委員会」を組織し、平成19年度から活動することとなった。

1

平成13年1月 ～平成14年4月	垂井高架橋上部工事	平成21年11月	現地見学会 実施 第3回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催
平成15年10月 ～平成16年12月	監督職員による、ひび割れの発生確認 ひび割れ調査等を実施	平成22年8月	第4回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催
平成17年1月～4月	施工者と原因究明等について検討	平成23年9月	第5回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催
平成17年4月	原因究明のため、土木学会へ委託 (垂井高架橋損傷対策特別委員会の設置)		
平成17年9月	土木学会の特別委員会による中間報告		
平成18年6月	近畿地方整備局が施工者の提案を承認。 設計図書および施工計画書の作成を指示		
平成18年7月 ～平成19年7月	垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会 (委員会3回、主査幹事会2回、各分科会のべ16回開催)		
平成18年9月	施工者が設計図書および施工計画書を提出		
平成18年10月	近畿地方整備局では検討事項等について指示を伝達。 設計図書および施工計画書について了承。		
平成18年10月	地元説明会を開催 かし修補工事着手		
平成19年6月	かし修補工事了		
平成19年7月	近畿地方整備局が土木学会へ供用後のモニタリング計画・ 評価を要請		
平成19年8月	供用開始		
平成20年3月	第1回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催		
平成20年10月	第2回垂井高架橋モニタリング評価委員会 開催		

2

2. モニタリング概要

2.1 モニタリングの目的

モニタリングは、下記に示す目的のために実施し、変状、変位、損傷状況の把握を行うことである。

- ① 対策効果の持続性の確認
- ② 供用後における想定外の事象に対する備え
- ③ 周辺住民に対する安全情報の提供

表-2.1 モニタリング項目一覧

種類	測定対象	主な目的	方法	頻度
常時監視	桁たわみ	桁のたわみの変化により変位を確認	水管式沈下計 (7点)	※1 ※2 ※3 ※4 ※5 ※6 ※7 ※8 ※9 ※10 ※11 ※12 ※13 ※14 ※15 ※16 ※17 ※18 ※19 ※20 ※21 ※22 ※23 ※24 ※25 ※26 ※27 ※28 ※29 ※30 ※31 ※32 ※33 ※34 ※35 ※36 ※37 ※38 ※39 ※40 ※41 ※42 ※43 ※44 ※45 ※46 ※47 ※48 ※49 ※50 ※51 ※52 ※53 ※54 ※55 ※56 ※57 ※58 ※59 ※60 ※61 ※62 ※63 ※64 ※65 ※66 ※67 ※68 ※69 ※70 ※71 ※72 ※73 ※74 ※75 ※76 ※77 ※78 ※79 ※80 ※81 ※82 ※83 ※84 ※85 ※86 ※87 ※88 ※89 ※90 ※91 ※92 ※93 ※94 ※95 ※96 ※97 ※98 ※99 ※100
	橋脚付け根部ウェブ変形	付着部ウェブ付着部の斜めひびわれの発生を察知し、変形の発生を確認	光ファイバー (12点)	
	支承の変位	支承の変位量により状態を確認	変位計 (9点)	
	ひび割れ幅	新たなひびわれ発生の際、既存ひびわれの進展を確認	亀裂変位計 (12点) ※	
	上下床版平均ひずみ	上下床版のひずみの動きを確認	光ファイバー (上下各2点) ※	
	外ケーブル張力	張力の変動を測定、予備ケーブル張力の発生を判断	ロードセル (4点)	
定期点検	桁内外の温度	各種時期データーへ温度影響をインプット	熱電対 (12点)	1回/年
	ひび割れ幅	新たなひびわれ発生の際、既存ひびわれの進展を確認	目視	
	上床版下面の変位	上床版下面の変位から床版の状態を確認	目視 ブゾメ	
	支承	支承本体・変位制限装置の状態確認	目視	
	剝離防止シートの状態	剝離防止シートの状態を確認	目視	
臨時点検 ※年度4以上の地震時 及び異常時	鉄筋の腐食	鉄筋の腐食を許容する事により耐久性を確認	自然電位	2年に1回実施。また、臨時点検において異常があった場合には実施
	橋体の振動特性	橋の振動特性を計測する事により耐震性以下の有無を確認	振動変位計	
	上床版下面の変位	上床版下面の変位から床版の状態を確認	目視	
	支承	支承本体・変位制限装置の状態確認	目視	
	剝離防止シートの状態	剝離防止シートの状態を確認	目視	1回/年

※1) 初年度実施した初期 (1年程度) の状態確認から引き続いて計測を行っている項目。

5

2.2 計測器配置図

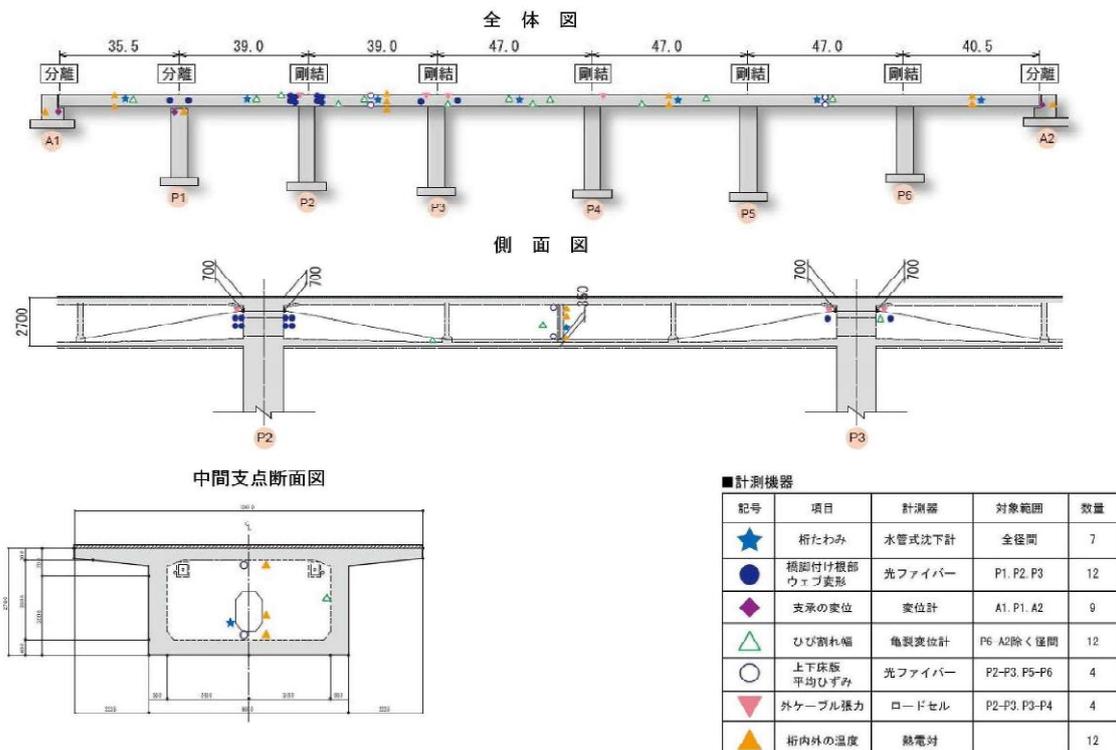


図-2.1 ひび割れ点検箇所図

6

2.3 ひび割れ点検箇所図

ひび割れ点検（目視）は、P2～P3・P6～A2を代表区間として1回/年、代表区間以外では1回/2年の頻度で点検を行う。
 代表区間および代表区間以外の半断面（南側）においては、幅0.1mm以上のひび割れを記録する。また、代表区間以外の残りの半断面（北側）についても、幅の大きいひび割れ（0.2mm以上）を記録する。

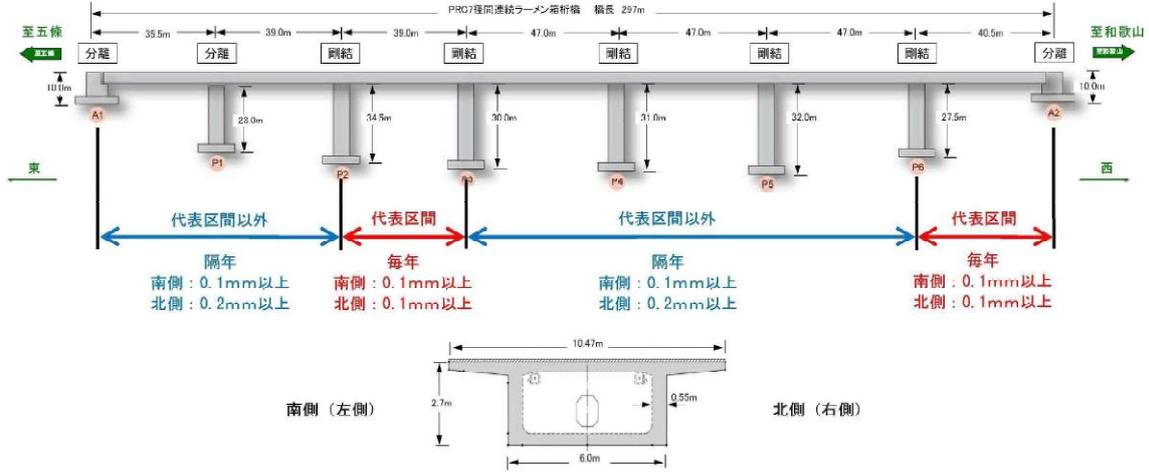


図-2.2 ひび割れ点検箇所図

2.4 システム構成図

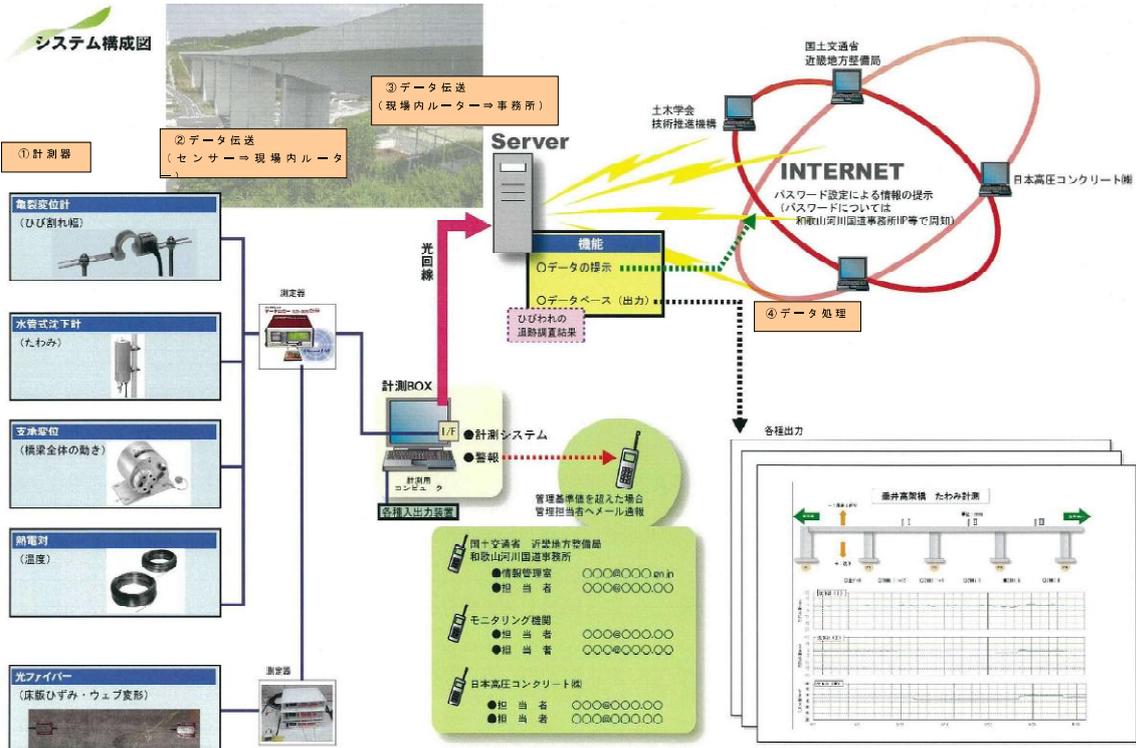
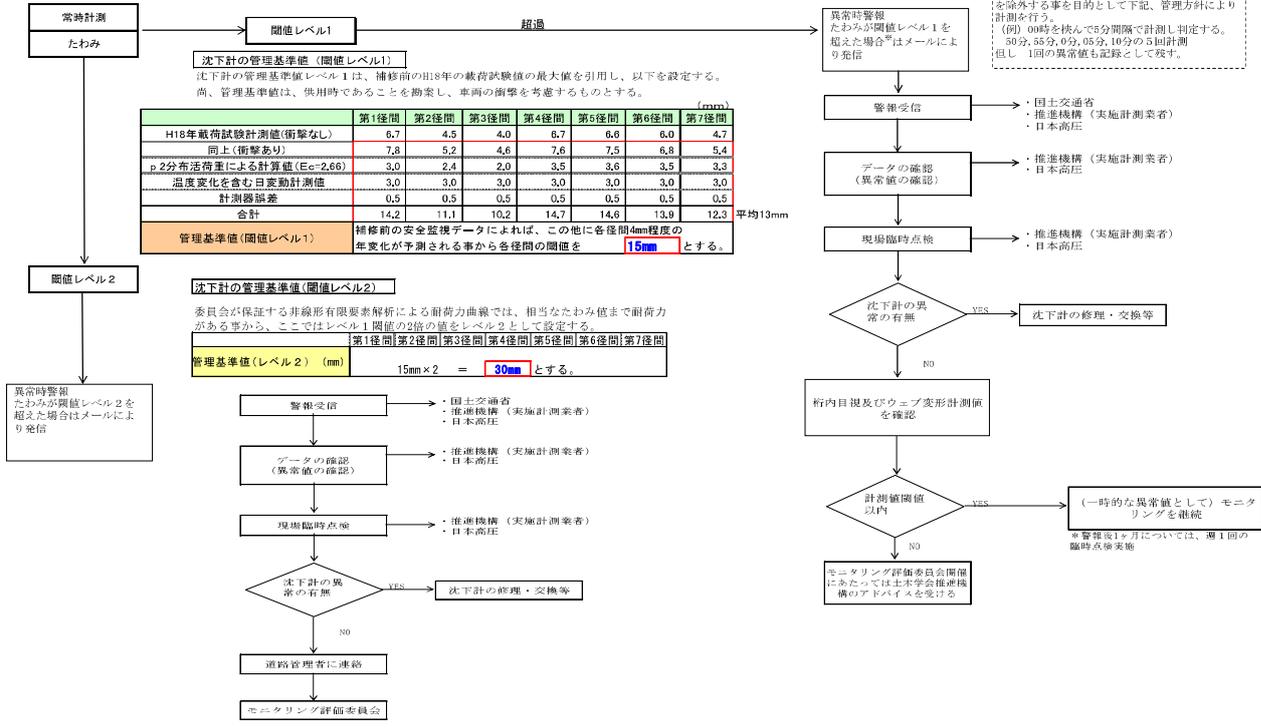


図-2.3 システム構成図

2.5 閾値の設定

供用後のモニタリングに際しては、常時計測における「たわみ測定値」を警報発信の指標としてシステムを構築する。
 閾値レベル1：本閾値を越えた場合には、何らかの変状が起きている可能性があるとして、その後の橋の状態を注意深く監視するための値
 閾値レベル2：本閾値を越えた場合には、モニタリング評価委員会を開催し対応を検討する値
 レベル1超過により、橋の状態を注意して監視し、変状に対応するため実際には超過する事は無いと考えられる



※たわみ計測手法
 たわみ計測にあたっては、過積載による影響を除外する事を目的として下記、管理方針により計測を行う。
 ・(例) 0時を挟んで5分間隔で計測し判定する。
 ・30分、55分、0分、05分、10分の5回計測
 (但し 1回の異常値も記録として発す。)

沈下計の管理基準値(閾値レベル1)

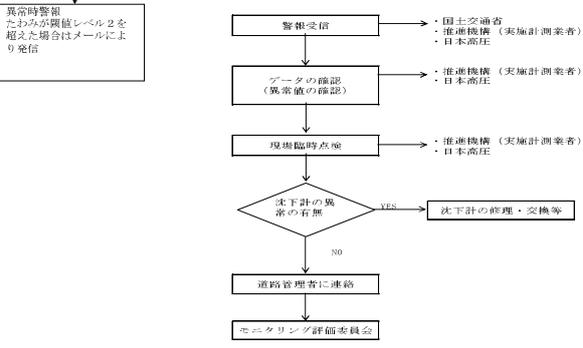
沈下計の管理基準値レベル1は、補修前のH18年の載荷試験値の最大値を引用し、以下を設定する。
 尚、管理基準値は、供用時であることを勘案し、車両の衝撃を考慮するものとする。

	第1経間	第2経間	第3経間	第4経間	第5経間	第6経間	第7経間	
H18年載荷試験計測値(衝撃なし)	6.7	4.5	4.0	6.7	6.6	6.0	4.7	
同上(衝撃あり)	7.8	5.2	4.6	7.6	7.5	6.8	5.4	
p2分布荷重による計算値(Ec=2.66)	3.0	2.4	2.0	3.5	3.6	3.5	3.3	
温度変化を含む日変動計測値	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
計測器誤差	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
合計	14.2	11.1	10.2	14.7	14.6	13.9	12.3	平均13mm
管理基準値(閾値レベル1)	補修前の安全監視データによれば、この他に各経間4mm程度の年変化が予測される事から各経間の閾値を 15mm とする。							

沈下計の管理基準値(閾値レベル2)

委員会が保証する非線形有限要素解析による耐荷力曲線では、相応なたわみ値まで耐荷力がある要から、ここではレベル1閾値の2倍の値をレベル2として設定する。

	第1経間	第2経間	第3経間	第4経間	第5経間	第6経間	第7経間
管理基準値(レベル2) (mm)	15mm×2 = 30mm とする。						



たわみ以外の項目については、橋脚付け根付近の斜めひび割れが入っていた箇所についてのウェブ変形について以下の様に閾値を設定し、監視その他の項目についても、計測を行いデータを収集する。

測定機器	初期値	管理基準値				補足	設定根拠	備考
		下限値	下限注意値	上限注意値	上限値			
光ファイバー (ウェブの変形)	舗装完了後に設置しゼロセット	-	-	0.10	0.20		0.2mm以上のひび割れが入る可能性を検知する事を目的とし上限値を設定、その1/2の値を注意値とする。	閾値設定項目
支承変位計	A1	気温9℃時-0 その時の変形50mm(-50mm)	-30	55		桁が伸びる方向を-	施工中の計測値及び設計計算書	参考計測項目
	P1	気温8℃時-0 その時の変形15mm(15mm)	-45	30		桁が伸びる方向を+		
	A2	気温8℃時-0 その時の変形90mm(-90mm)	-30	50		桁が伸びる方向を-		
亀裂変位計(ハンチ部水平ひび割れ)	舗装完了後に設置しゼロセット	-	-	0.10	0.20		※0.2mm以上のひび割れが入る可能性を検知する事を目的とし上限値を設定、その1/2の値を注意値とする。	参考計測項目
光ファイバー(上下床版ひずみ)	舗装完了後に設置しゼロセット	-	-	0.10	0.20		上限値、上限注意値：告示Ⅲ4.2.4、3.4 Pu=1938kN(SEEE F=200PH)	
ロードセル	舗装完了後の2日間の平均値を初期値とする。	0	660kN	1163kN	1628kN			

※H20年度モニタリング評価委員会で、温度変化により0.2mmを超えた測点があったが、戻っているため閾値の変更はしなかった。

3 計測器によるモニタリング状況

3.1 閾値に対する常時監視

桁たわみ及び橋脚付け根部ウェブ変形を閾値設定項目とし、たわみ測定値を警報発信の指標としてシステムを構築した上で計測管理を継続して行っている。

桁たわみは主に気温の変化に伴って増減し、補修前（H18）の載荷試験値を基に設定した閾値レベル1（15mm）の50%に満たない範囲で年変化を繰り返している。

橋脚付け根部ウェブ変形においても、桁たわみと同様に気温の変化に伴って変動しているが、こちらは夏期にかけての気温上昇時に、上限注意値を一時的に上回る測点がみられた。

この点については、その後の気温の低下により閾値内に戻っており、毎年同様の変動傾向を示しているため、閾値は修正せずにモニタリングを継続することで委員会の了解を得ている。

また、その他の参考計測項目においても異常値が発生することはなく、4年間のモニタリングにおいては橋の安全性は担保されている。

3.2 たわみ

全径間の桁たわみの変形イメージを図-3.1に示す。

本データを変形イメージと称しているのは、本計測が、平成19年8月の供用日をゼロとしたその後の増減の値であり、測定開始時点までに生じていた過度の収縮による変形やクリープ等が除外されていること。

たわみの計測方法は基準タンクを橋脚に水位計を支間中央部に設置して互いの水位の変化を計測する方法であり、凡そ2径間ごと4系統の値を一律に記していることから、実際の橋全体の変形とは異なるためである。

しかしながら、全径間の夏冬の変化を見比べると、本橋各径間が、毎年夏季から冬季にかけて気温の低下に伴い橋全体が収縮することによって、各径間のたわみが大きくなっていく状況が確認できる。

また、たわみの方向は、沈下側および浮上り側の両方向に見られ、ラーメン橋脚の両外となる2径間目と7径間目では、浮き上がりの傾向となっていることも確認できる。

この傾向は、橋全体が収縮する際に橋脚も中心に向かって傾くため、側径間が浮き上がるものと考えられ、多橋脚ラーメン構造である本橋の特徴的変形といえる。

この点については、橋脚の伸縮を考慮したLECOM解析（格子等価連続体モデルを使用した3次元非線形解析）を実施し、この傾向が妥当であることを確認してある。解析による変形状況を図-3.2に示す。

3.3 たわみに対するクリープの影響

測定されたたわみに対してクリープによる影響がどの程度あるかについて前述のLECOM解析を使用し検討を行った。図-3.3は各径間の補修完了から10年後までのクリープによる変形の値を示す。（解析自体は主桁打設完了時点からクリープのスタートと設定）

これによれば各径間のトータルでのクリープ変形量はそれぞれ違うが、年間での変動量に着目するとその動きは1mm程度であり、現時点で主桁コンクリートの打設完了後10年近くが経過していることから、測定されているたわみにおけるクリープの影響は少ないと推定する。

桁たわみ変形イメージ図

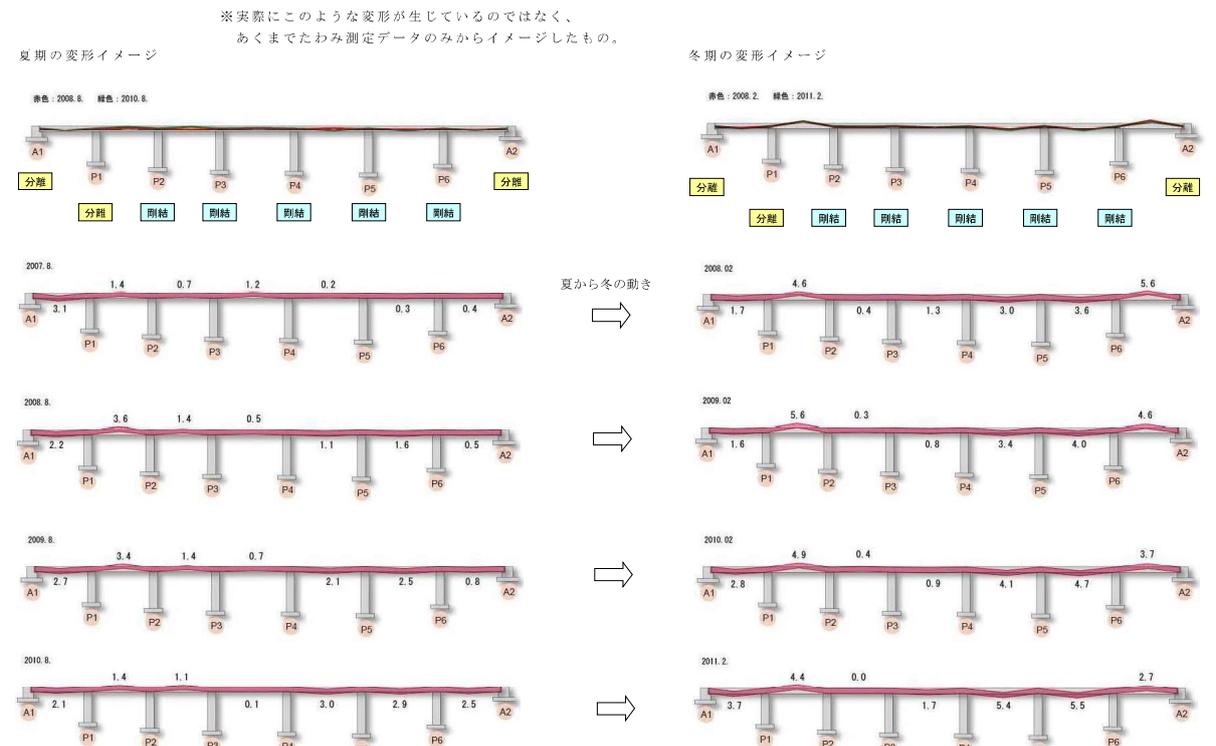


図-3.1 桁たわみ変形イメージ図

LECOM解析値による桁変形イメージ

解析結果：2008年8月と2009年2月の解析結果より算出した冬季の変形の傾向
 (各橋脚の温度変化による変位を考慮し、A1、A2橋台の鉛直変位は0としている。)

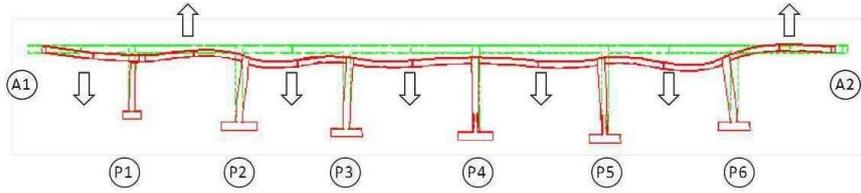


図-3.2 LECOM解析値による桁変形イメージ

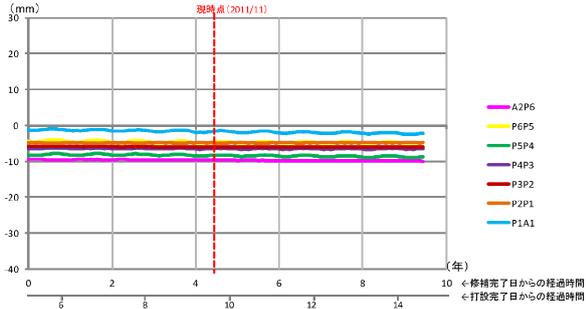


図-3.3 各径間の補修完了から10年後までのクリープによる変形（解析値）

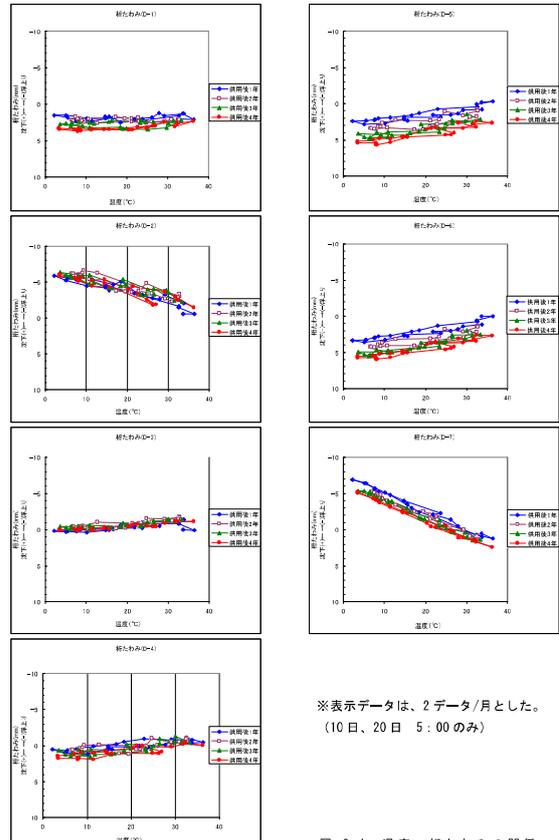
3.4 たわみに対する温度の影響

全ての計測項目は温度との相関が高く、温度影響が大きいことが確認されている。3.3で記したようにクリープによる影響は微小であることから年間における変動のほとんどは温度に依存したものであり、各年ほぼ同様の季節変動を繰り返している。

箱桁内温度と桁たわみの相関を表-3.1、図-3.4に示す。

表-3.1 相関係数

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7
供用後1年	-0.17	0.94	-0.70	-0.75	-0.83	-0.89	0.99
供用後2年	0.13	0.93	-0.87	-0.74	-0.81	-0.90	0.99
供用後3年	-0.24	0.92	-0.86	-0.79	-0.87	-0.94	0.99
供用後4年	-0.68	0.88	-0.89	-0.81	-0.91	-0.93	1.00



※表示データは、2データ/月とした。
 (10日、20日 5:00のみ)

図-3.4 温度-桁たわみの関係

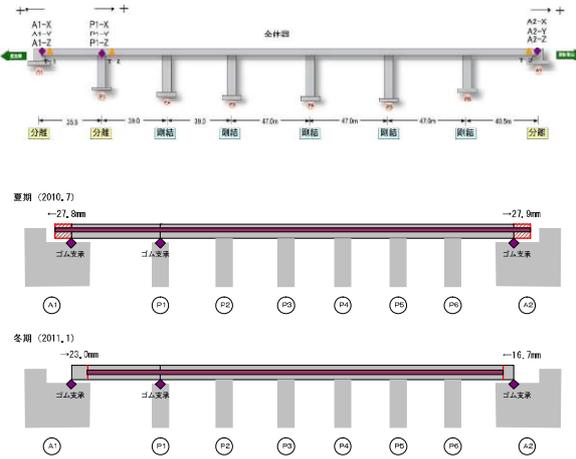
3.5 橋の伸縮

支承の変位イメージを図-3.5に示す。

両橋台支承の変位計測データより、桁全体は橋軸方向に年間約130mm程度の伸縮変動を繰り返している。この伸縮量から橋長297mあたりのひずみを計算すると438 μ となる。(表-3.2参照)

一方、P2-P3、P5-P6の2つの径間における床版のひずみ計測データからは、年間約410 μ (4測点の平均値)の伸縮が計測されている。(表-3.3参照)

また、外気温の年変動は約40 $^{\circ}$ Cであり、コンクリートの熱膨張係数が10 μ / $^{\circ}$ Cであることから温度によるひずみは400 μ であり、支承の変位と桁ひずみがほぼ一致する。これらの計測値からも橋の挙動が温度により影響を受けていることが確認できる。



※図中の数値は、月平均値とした。

図-3.5 支承変位イメージ

表-3.2 支承変位の最大値・最小値 (mm)

	計測データ				変動量				
	1年	2年	3年	4年	1年	2年	3年	4年	
A1橋台橋脚	最大値	44.0	-41.8	41.7	41.8	67.2	66.8	67.5	68.8
	最小値	-23.3	-25.0	-25.0	-27.1				
A2橋台橋脚	最大値	43.1	40.5	39.2	39.2	60.8	59.9	60.3	61.8
	最小値	-17.7	-18.5	-21.1	-22.6				
橋全体(A1の変動量+A2の変動量)					128.0	126.7	127.9	130.6	

表-3.3 床版のひずみの最大値・最小値 (μ)

	計測データ				変動量				平均値	
	1年	2年	3年	4年	1年	2年	3年	4年		
P2-P3下床版	最大値	66.6	42.3	27.9	21.5	324.3	350.8	373.1	362.7	410.1
	最小値	-257.7	-308.5	-345.2	-341.2					
P2-P3上床版	最大値	78.1	82.4	86.6	112.6	538.0	587.7	677.5	703.6	
	最小値	-458.0	-535.3	-590.9	-650.9					
P5-P6下床版	最大値	48.7	13.1	-6.8	-18.8	315.9	310.4	309.2	313.3	
	最小値	-267.2	-297.4	-315.0	-333.1					
P5-P6上床版	最大値	37.0	8.5	-18.2	-22.6	328.9	336.1	325.1	338.6	
	最小値	-289.9	-327.6	-343.3	-362.2					

4. ひび割れの状況

4.1 現在のひび割れ点検方法

ひび割れ点検は、目視及びクラックスケールやコンベックス等の簡易な測定器を用いて測定し、幅や長さを図面に記録する。

本橋は問題発生以降、様々な時期に様々な調査員が独自にひび割れを行っており、モニタリングの対象ひび割れとの選別も困難であったため、平成22年と23年に、調査方法を再統一し対象ひび割れを全て書き直している。

ここでは現在実施している測定方法を、図-4.1に示す。

点検対象幅 0.1mm以上 (一部0.2mm以上)

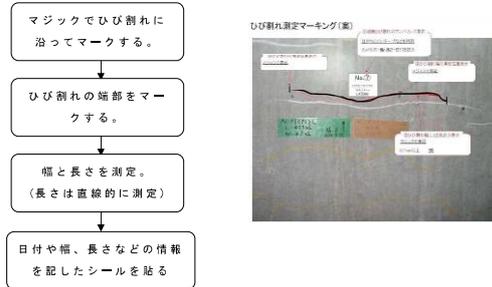


図-4.1 ひび割れ点検方法

4.2 ひび割れの変化

a. 年変化状況

ひび割れの進展状況を把握する目的で、年ごとのひび割れ幅の変化状況に着目して比較する。

ひび割れ測定については6.にも記載するが、1年間から2年目については夏期に、3年目以降については冬期に測定を行っており、表-4.1は、夏期(1年目~2年目)での変化、冬期(3年目~4年目)での変化について各径間からピックアップした「追跡ひび割れ」の幅・長さを径間ごとに集計し、そ

れぞれ平均したものである。

表-4.1からも明らかなように、夏期測定時においても冬期測定時においても幅の変動・長さの変動は、測定時の誤差による差異程度であり、この4年間ひび割れはほとんど進展していないといえる。

(補強のために打設した隔壁部と定着部には、乾燥収縮等による新規のひび割れが発生しているが、ここでは既設部に着目しているため除外している。)

表-4.1 ひび割れ幅の変動(年変化)

(mm)				(mm)			
	H20(夏)	H21(夏)	幅の変動		H22(冬)	H23(冬)	幅の変動
A1-P1	0.10	0.10	0.00	A1-P1	0.16	0.13	-0.03
P1-P2	0.11	0.11	0.00	P1-P2	0.16	0.15	-0.01
P2-P3	0.08	0.08	0.00	P2-P3	0.13	0.13	0.00
P3-P4	0.09	0.09	0.00	P3-P4	0.15	0.14	-0.01
P4-P5	0.08	0.08	0.00	P4-P5	0.15	0.14	-0.01
P5-P6	0.08	0.08	0.00	P5-P6	0.11	0.11	0.00
P6-A2	0.08	0.08	0.00	P6-A2	0.11	0.11	0.00

(mm)				(mm)			
	H20(夏)	H21(夏)	長さの変動		H22(冬)	H23(冬)	長さの変動
A1-P1	5177	5177	0	A1-P1	7810	7860	50
P1-P2	4728	4728	0	P1-P2	4895	4895	0
P2-P3	3894	3894	0	P2-P3	4315	4315	0
P3-P4	3507	3507	0	P3-P4	3265	3265	0
P4-P5	4004	4004	0	P4-P5	4485	4520	25
P5-P6	4485	4485	0	P5-P6	3730	3730	0
P6-A2	6185	6185	0	P6-A2	5780	5780	0

b. 季節変化状況

季節によるひび割れ幅の変動を把握する目的で、夏と冬で測定した結果を表-4.2に示す。なお、集計方法は、前項と同様である。

表-4.2からも判るように、夏と冬で概ね0.04~0.07mm程度幅が広がる変動が見られる。これは、亀裂変位計で監視している計測結果でも同様の傾向を示しており、夏から冬にかけての温度低下で桁が縮む事によりひび割れ幅は拡がる動きを示した結果となっている。

表-4.2 ひび割れ幅の変動(季節変化)

(mm)			
	H21(夏)	H23(冬)	幅の変動
A1-P1	0.09	0.14	0.05
P1-P2	0.08	0.14	0.06
P2-P3	0.09	0.15	0.06
P3-P4	0.08	0.15	0.07
P4-P5	0.07	0.14	0.07
P5-P6	0.08	0.13	0.05
P6-A2	0.08	0.12	0.04

5. その他の定期点検

5.1 橋木の振動測定

(1) 測定方法の経緯

供用後のモニタリングでは、当初のモニタリング計画に基づき、通過交通による振動を利用して、本モニタリングの代表径間である2径間（P2～P3およびP6～A2径間）で、平成21年に供用後初めて振動測定を実施した。

しかし、平成22年の第4回垂井高架橋モニタリング評価委員会において、7径間全てにわたる実施が望ましいとの指摘を受けたため、平成23年の振動測定では、測定径間を7径間全てとし、測定波数や加振方法も下記に記す供用前の振動測定に倣うこととした。

なお、補修補強対策実施後と今回の平成23年の測定時では、死荷重条件に多少の違いが生じているため、平成23年の1次固有振動数の測定値を初期値とし、今後の測定値と対比していくこととした。

(2) 測定方法

主桁の加振は土糞（230N）を高さ0.8m程度の位置から落下させた。加振回数は10回としサンプリング時間は20秒とした。（測定時間間隔 $\Delta t = 0.002\text{sec}$ ）

なお、測定された10回分の測定値は各径間毎に時系列上で重ねあわせ、波形に含まれる白色雑音を低減し周波数分析に用いた。

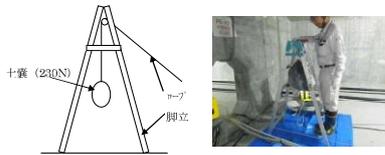


図-5.1 測定方法

5.2 鉄筋の腐食

(1) 測定方法

測定方法は、「コンクリート構造物における自然電位測定方法（JSCE-E 60 1-2000）」に準拠した。

自然電位法は、腐食が生ずると電位勾配が生じることから、コンクリート表面で鋼材の自然電位を測定することによって鋼材腐食を診断しようとする方法である。

調査位置は、P2～P3、P6～A2の代表区間の上床版下面において、1箇所当たり2m×2mの範囲で計3箇所実施した。

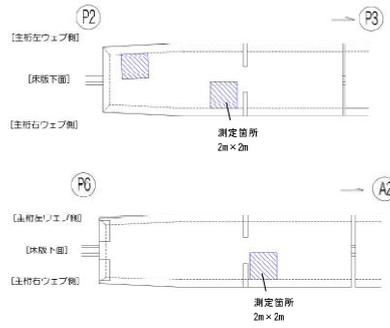


図-5.2 調査位置

17

(2) 測定結果

測定結果から、最も卑な電位は、それぞれ、P2～P3で-69mV、-68mV、P6～A2で-74mVであった。鋼材の腐食状況は、全ての測点において-200mVより貴な電位となっており、ASTM C876規格による判定基準では、「90%以上の確率で腐食なし」と判定され、現状で腐食の傾向は認められない。

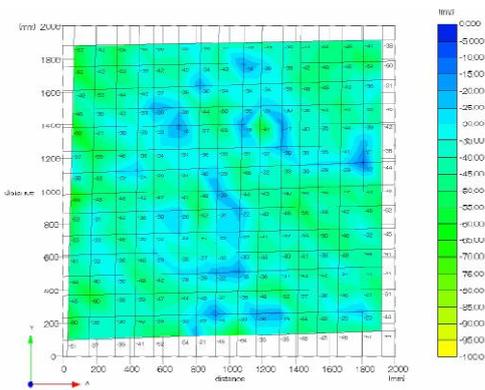


図-5.3 測定結果（P2-P3）

5.3 その他の点検

○支承

目視により、支承の異常や変位制限装置、アンカー周辺部の変状に着目して、1年に1回点検を実施する。

これまでの点検結果からは、大きな変状は確認されていない。

○剥落防止シート

桁下から目視にて、繊維シートの剥離、浮きの有無を1年に1回確認する。

これまでの点検結果からは、大きな変状は確認されていない。

○外ケーブル張力

外ケーブルの張力は温度と相関があり、変位は主に温度による影響と考えられる。供用後4年間の変動傾向は、ほぼ同様であり、閾値内であった。測定結果を図-5.4に示す。

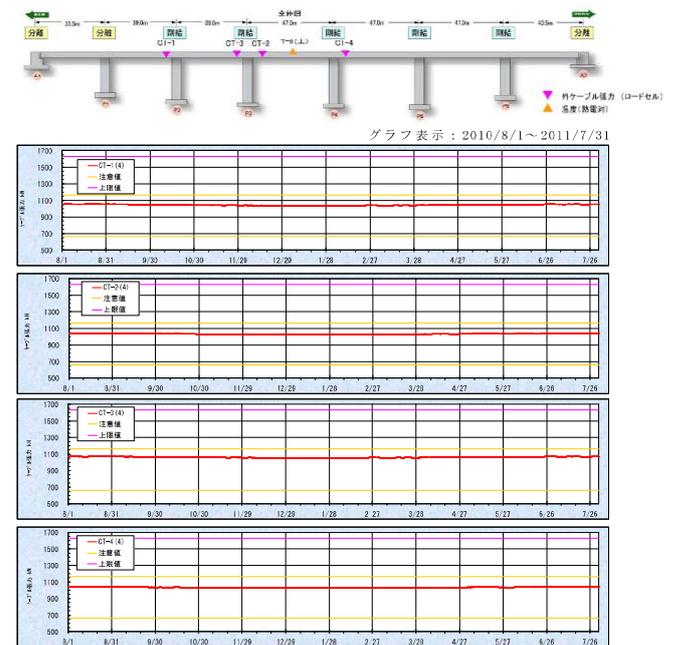


図-5.4 外ケーブル張力の測定結果

18

6. 今後のモニタリングへの参考知見

6.1 ひび割れ点検方法の推移

ひび割れの点検については、モニタリングを進める中で評価委員会での議論等を踏まえて点検方法を修正している。以下に点検方法の推移を記す。

(1) 当初の測定方法

当初では、補強のための外ケーブルによる影響が懸念されたため以下の部分を重点的にひび割れ点検を行う箇所として、測定を行った。(図-6.1参照)

- ・外ケーブルの偏向部であるディビーター近傍
- ・外ケーブルの定着部である支点部近傍
- ・支間中央付近

この重点点検箇所については、0.1mm以上のひび割れ幅について測定を行い、それ以外の部分については0.2mm以上のひび割れ幅のものを測定する。

また、7径間の内、次の2径間を代表区間として毎年の定期点検時にひび割れの点検を行う事とした。

- ・P2～P3径間→最も多数のひび割れが発生した径間
- ・P6～A2径間→最もひび割れが少なかった径間

その他の径間についても、2年に1回ひび割れ点検を行う。定期点検は、供用開始時期に合わせて夏季に測定する。

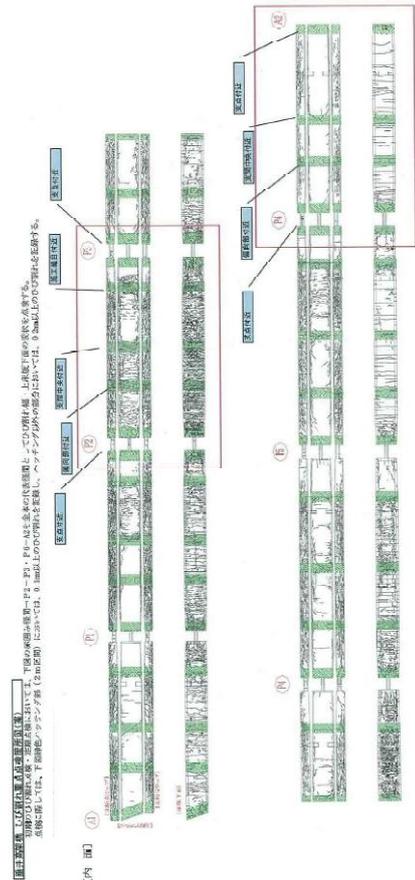


図-6.1 当初の測定方法

(2) H22修正測定方法

H22年度のひび割れ定期点検を実施するにあたり、以下の点検方法の修正を行った。

- ① ひび割れ測定を行う時期を夏から冬へ変更
- ② ひび割れに対するマーキングをチョークからマジックに変更
- ③ 点検調査とリンクしたナンバリング、幅、長さ、日付を記載したシールを各ひび割れに添付するとともに、点検調査を現地に設置
- ④ 重点点検箇所の区分けを止め、全径間に対してひび割れの幅が0.1mm以上の範囲をひび割れ長さとして測定

上記の変更は以下の様な意図による。

- ① 温度変化によりひび割れ幅の広がる冬季にひび割れ測定をする方が安全側のモニタリングとなる。
- ② 接触等により、既存のひび割れマーキングが消えてしまう事が無いようにする。
- ③ 各ひび割れに対する識別を可能にする。また、ひび割れに対する履歴を現地で確認出来る事により、拾い漏れ等の疑念を無くす。
- ④ ひび割れ長さを規定する事により、全径間に対する統一的な評価指標として考える。

ひび割れ測定マーキング(案)



現地マーキングは、0.1mm以上を対象とし、赤のマジックで表記する。(他と線と区別するため)

幅測定位置およびひび割れ部分を含めひび割れの増幅をマジックで表記する
(これをクワック長さとして記録する)

点検調査とリンクしたナンバリング(幅・長さ・日付)を記載したシールを対象クワックから引出線を出して貼る。
現場に点検調査をおいておく。

幅が広がったり、長さが伸びた箇所は、その位置を記録し点検調査シールを変更する。

(3) H23 修正測定方法

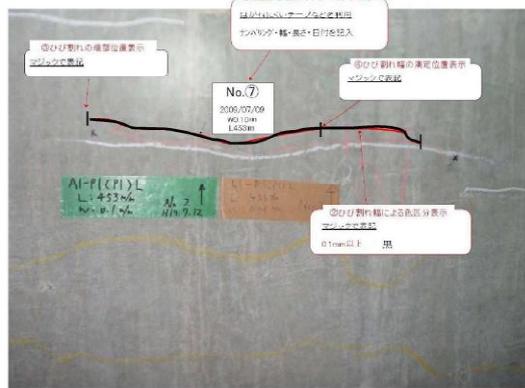
H23年度のひび割れ定期点検を実施するにあたり、以下の点を再度修正し点検を行った。

- 代表区間以外の5径間については南側の半断面について0.1mm以上のひび割れ測定を行い、残りの北側半断面については、比較的大きなひび割れ(幅0.2mm以上)についてののみ監視していく。

上記の変更は以下の様な意図による。

- これまでの調査から、橋の健全性は安定しているため、代表2区間を全断面に渡り調査する事により異常は感知する事が出来る。
- これまでの調査から、南北の断面で有意な差は見られないが日照による影響を受ける可能性のある南側断面について0.1mm以上のひび割れを測定する事とする。

ひび割れ測定マーキング(案)



(4) 測定方法の推移まとめ

	変更に至る委員よりの指摘・意見等	測定するひび割れ幅	測定時期	マーキング方法	その他
当初		重点点検箇所→0.1mm以上 それ以外 →0.2mm以上	夏(8月)	チョークによる	代表区間P2-P3、P6-A2区間は毎年測定 それ以外の径間は隔年
H22年修正	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ幅の広がる冬場に測定する方が安全側で監視出来る。 接触等によるマーキングの消失が危険される。 測定におけるヘアークラックの取扱いが不明確 	重点点検箇所の区分けを止め、ひび割れ幅が0.1mm以上の範囲をその径間にあるひび割れのひび割れ長さとして測定	冬(2月頃)	マジックによる	
H23年修正	<ul style="list-style-type: none"> 代表区間以外の径間に対しては大きな変化を見落とさず、また、全径間の傾向は把握出来るというスタンスでの測定内容とする。 	同 上	冬(2月頃)	マジックによる	代表区間以外の径間については、南側の半断面について0.1mm以上のひび割れ測定を行い、北側については比較的大きな(0.2mm以上のひび割れ)についてののみ監視していく。

6.2 トラブル事例

(1) 落雷によるトラブルと対策

【日時】 2008年8月後半(供用後2年目)

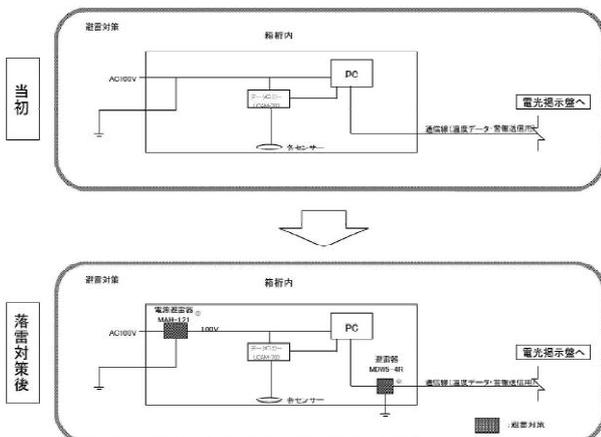
【状況】

- 電光掲示板が表示できなくなる
- 全計測データ欠測(2008.8.29~9.1)

【原因】
落雷による故障

➔

【対策】
2009年6月に、落雷に起因するサージ電流からセンサーやパソコンなどの電子機器類を保護する目的で、電源ラインと通信ラインに避雷器を設置した。



(2) 通信不良のトラブルと対策①

【日時】 2011/4/6 0:00~19:00(供用後4年目)

【状況】

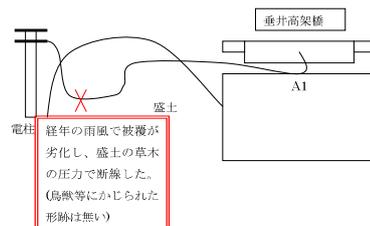
- Webデータが更新しない
- 現場PCへ通信が繋がらない

※電源に異常なし。
データは現場PCに取得できており、欠測はなかった。

【原因】
電柱から高架橋までのNTT光ケーブルの断線。植物の成長に伴い、配線ケーブルが圧力を受けて断線したものと推測。(動物にかじられた形跡はなし)

➔

【対策】
A1橋台背面の法面に配線していたものを、木々が少ないA1橋台側面に配置換えをし、植物の影響が少ない箇所を選定しながら、鳥獣対策も兼ねて、法面から50cmほど浮かせた状態で配線を行った。



(3) 通信不良のトラブルと対策②

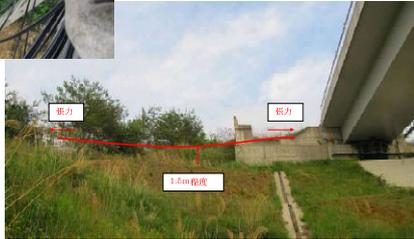
【日時】2011/5/8 0:00~18:00 (供用後4年目)
 【状況】
 ・Webデータが更新しない
 ・現場PCへ通信が繋がらない
 ※電源に異常なし。
 データは現場PCに取得できており、欠測はなかった。
 【原因】
 電柱から高架橋までのNTT光ケーブルの断線
 4月に法面から50cmほど浮かせて配線していたものが、自身の重みにより30cmほどのところまで下がっており、この箇所を動物にかじられていた。

【対策】
 動物の影響を考慮して1.5m程度まで高くして配置換えを行った。また、高くした分、風やケーブル自身の重さの影響を受けやすくなるため、光ケーブルに添線して強度を高めたうえで、支点から張力を与えてそれらの影響がないように考慮した。



一動物にかじられた形跡

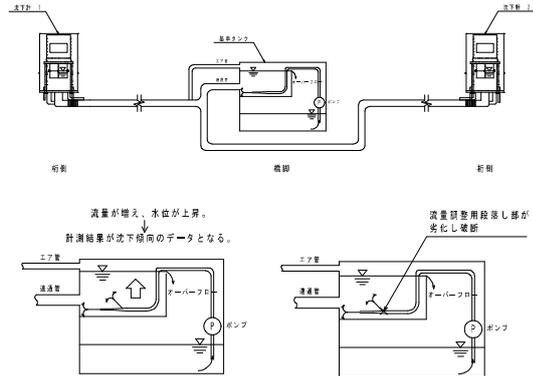
↓対策後



(4) 計測器のトラブルと対策

【状況】
 ・2011/7/2 17:55~18:05 (供用後4年目)
 1,2径間の桁たわみが5mm程度沈下側にシフトした。
 ・2011/7/8 10:00~7/9 11:00
 3,4径間の桁たわみが4mm程度沈下側にシフトした。
 【原因】
 計測器の基準水槽に注水するホース筒先の流量調整部分(注水ポンプの能力が高いため筒先を細めて流量を調整していた)が老朽化で破損し、水勢が強まり、基準水槽の水位が通常よりも上昇していた。
 本計測器は、この基準水槽と沈下計の水位差をたわみとしているので、基準水槽の水位が上昇すると、橋体にたわみが発生したのと同様の計測が生じてしまった。

【対策】
 老朽化したホースを交換、復旧した。



(5) 桁内機器の防湿対策

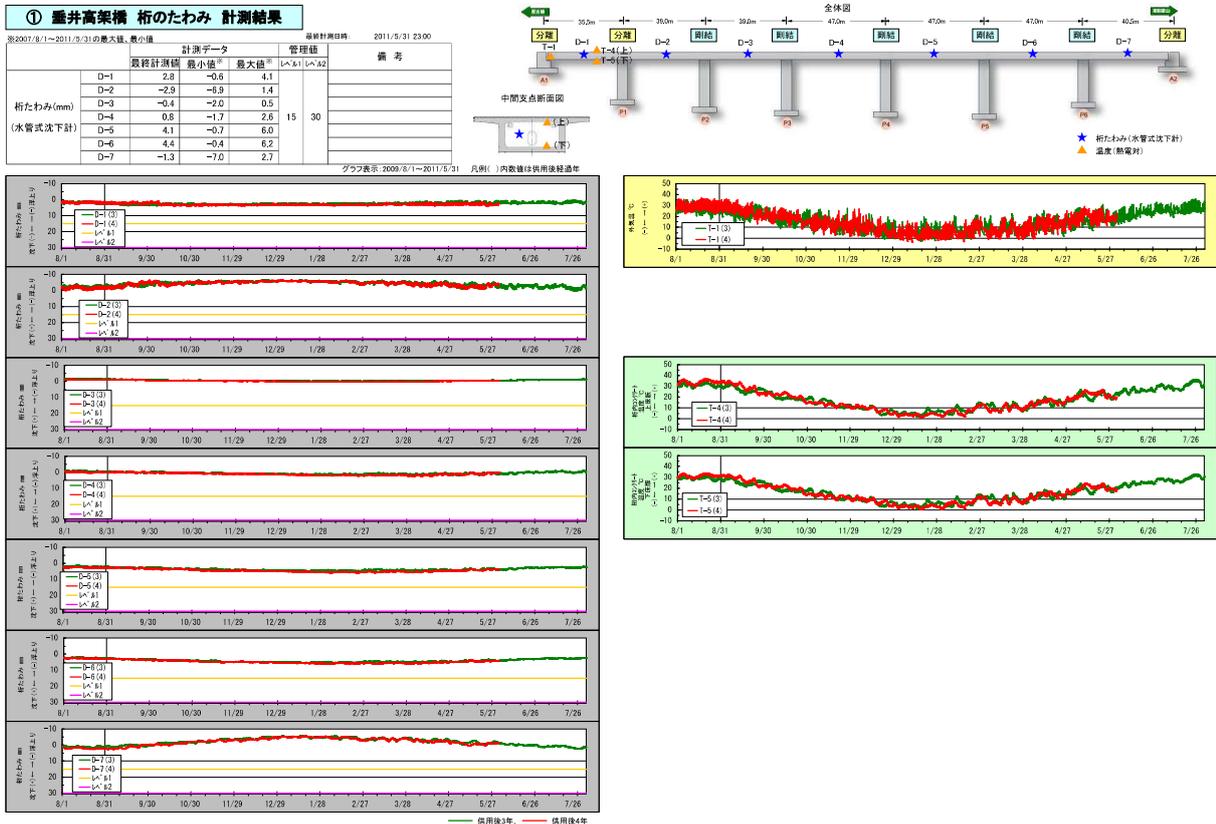
機器類の保護および防湿対策として、機器収納箱に換気扇を取り付けて、24時間換気している。



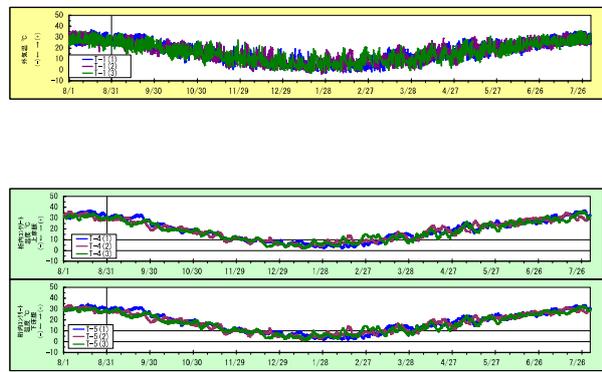
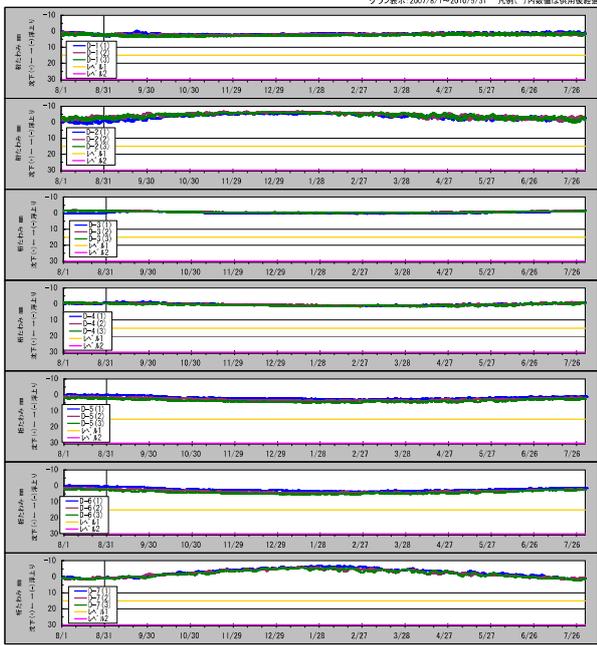
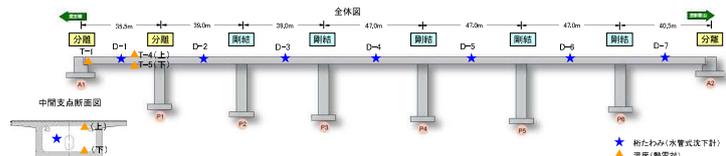
1 機器収納箱内の様子



7. 参考資料



① 垂井高架橋 桁のたわみ 計測結果



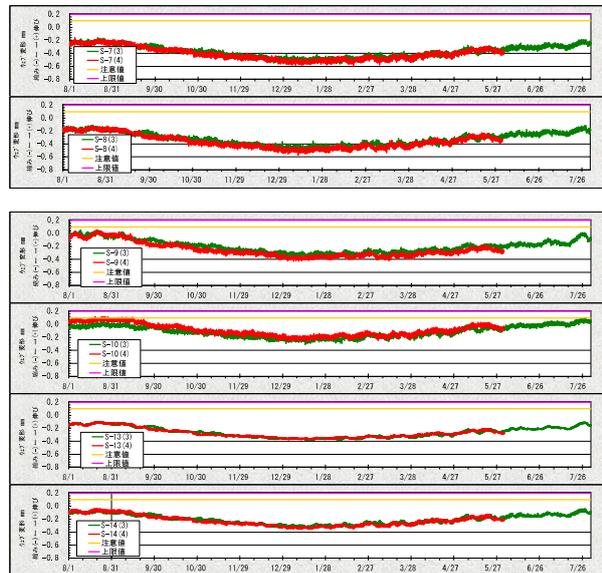
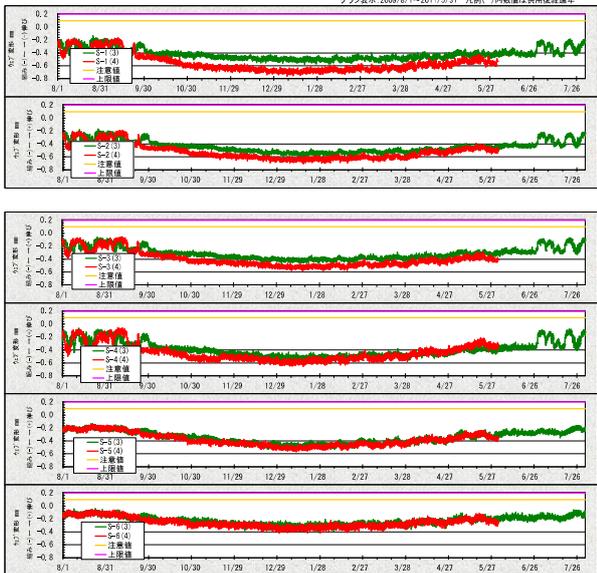
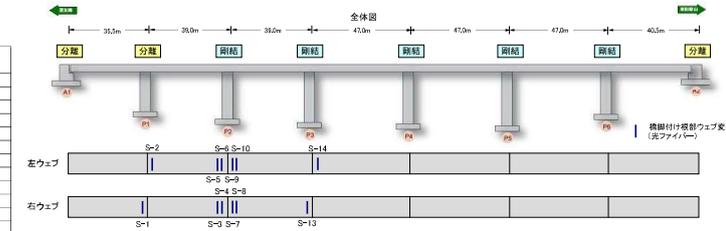
27

② 垂井高架橋 橋脚付け根部ウェブ変形 計測結果

最新計測日付: 2011/5/31 23:00

測点	計測データ	管理値		備考	
		最終計測値	最小値*		最大値*
P1	S-1	-0.532	-0.784	0.027	0.10 0.20
	S-2	-0.590	-0.706	0.086	
	S-3	-0.411	-0.595	0.031	
	S-4	-0.336	-0.653	0.033	
	S-5	-0.351	-0.571	0.017	
	S-6	-0.257	-0.415	0.042	
P2	S-7	-0.374	-0.599	0.016	0.10 0.20
	S-8	-0.333	-0.572	0.027	
	S-9	-0.278	-0.427	0.062	
	S-10	-0.062	-0.357	0.117	
P3	S-11	-0.280	-0.381	0.017	0.10 0.20
	S-12	-0.280	-0.381	0.017	
	S-13	-0.280	-0.381	0.017	
	S-14	-0.215	-0.352	0.031	

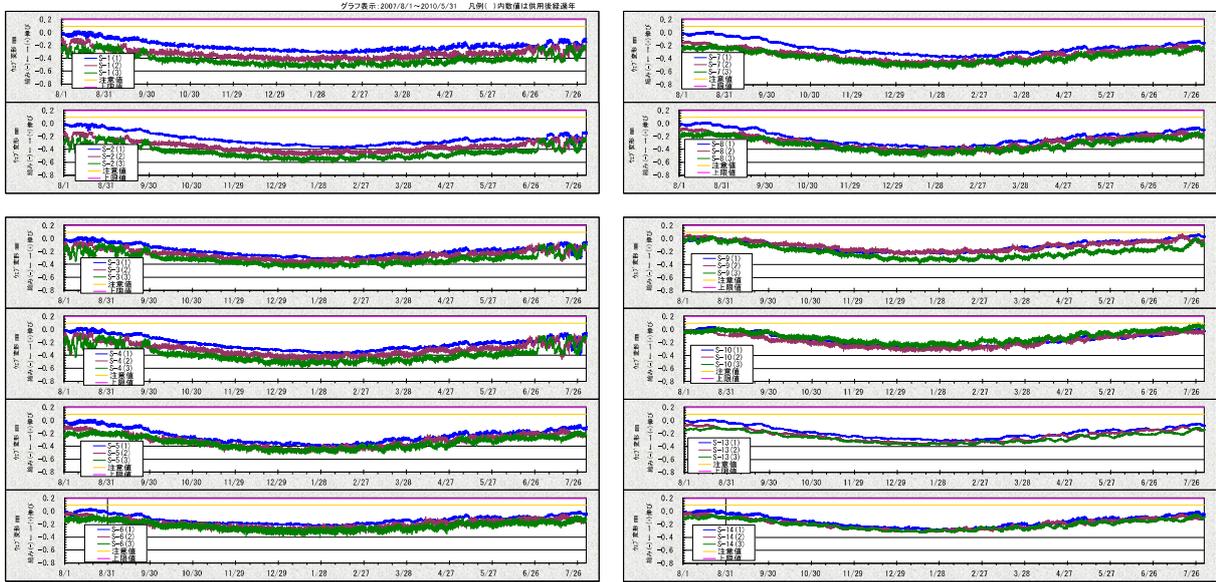
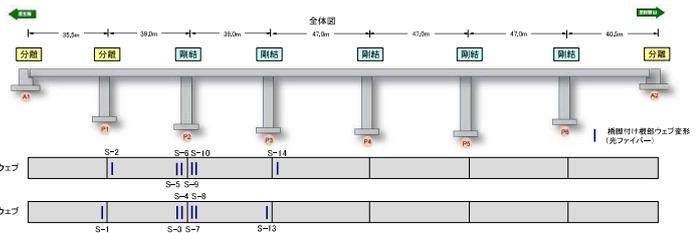
グラフ表示: 2008/8/1~2011/5/31 凡例()内数値は供用後経過年



*S-10~S-14はプロットミス(注-異常変動)と疑われており、温度が上がる夏期になる大きな上下変動が見られたため、2010.10.7~22期間でプロットミスの除去を行った。

28

② 垂井高架橋 橋脚付け根部ウェブ変形 計測結果



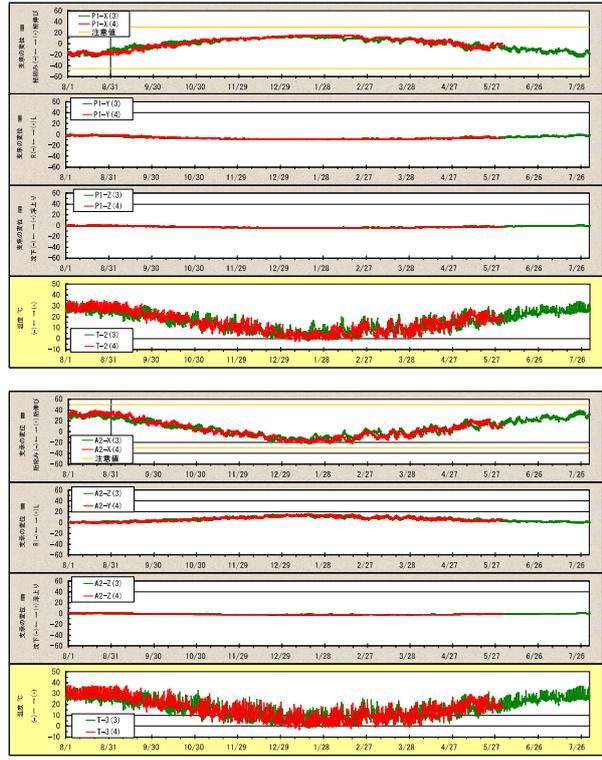
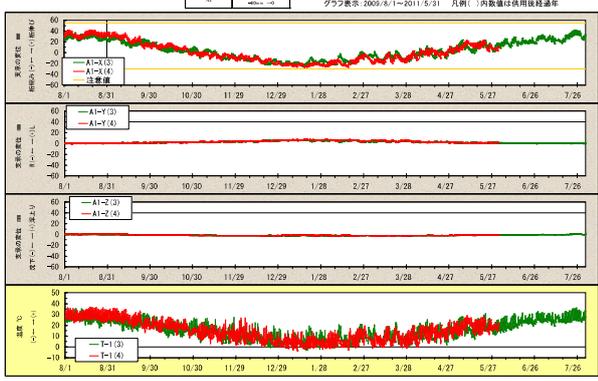
2008.13~2008.21 観測、S-1~S-4の測定部一併収録
2008.8.29~2008.8.31 観測、全測点収録

29

③ 垂井高架橋 支承の変位 計測結果

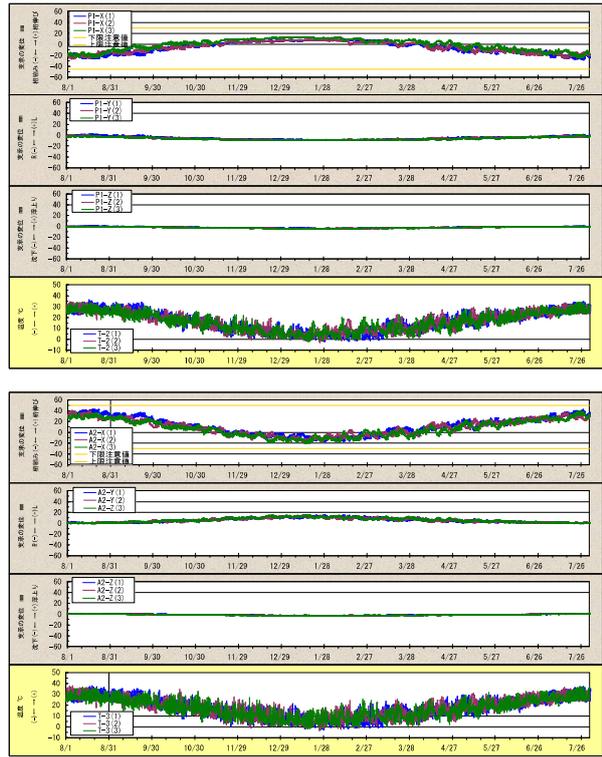
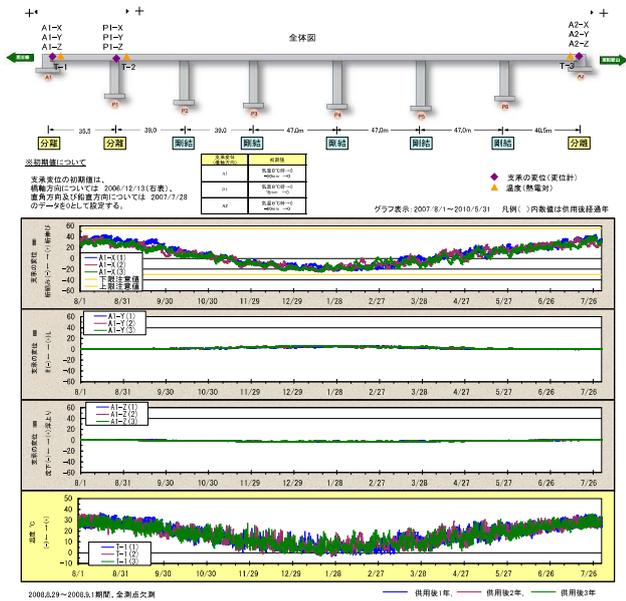
※2007/8/1~2011/5/31の最大値、最小値 最終計測日時: 2011/5/31 23:00

支承の変位 (変位計)	計測データ	管理値		備考		
		最大値	最小値			
A1	橋脚(X)	9.3	-27.1	44.0	-30	桁が伸びる方向を+
	直角(Y)	1.4	-1.3	7.3		
	鉛直(Z)	-1.3	-3.0	0.6		
P1	橋脚(X)	-3.8	-28.6	15.4	30	A2方向を+
	直角(Y)	-5.0	-2.9	1.7		
	鉛直(Z)	-2.1	-4.7	0.8		
A2	橋脚(X)	11.4	-22.6	43.1	-30	桁が伸びる方向を+
	直角(Y)	3.9	-1.4	16.2		
	鉛直(Z)	-1.2	-3.0	0.7		



30

③ 垂井高架橋 支承の変位 計測結果



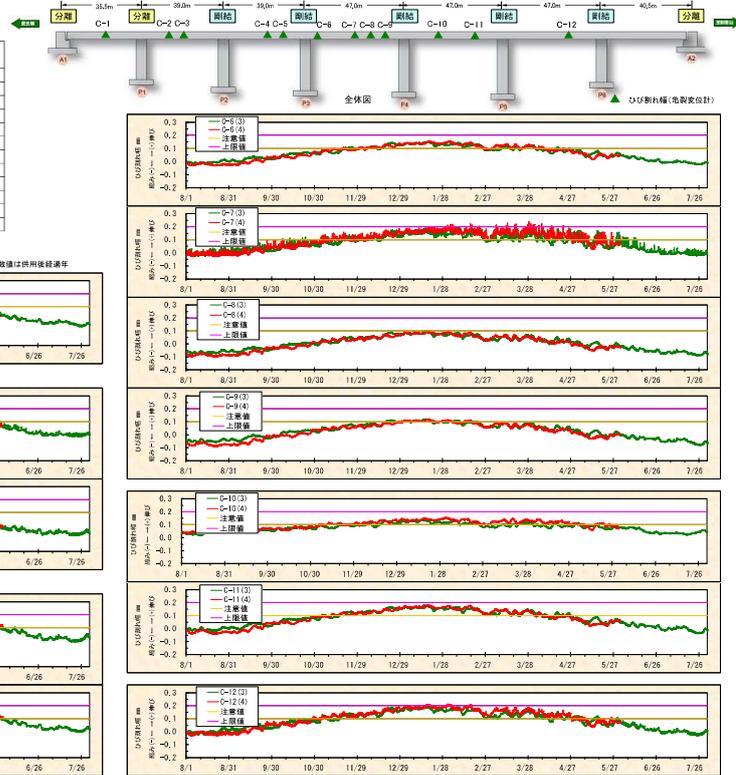
31

④ 垂井高架橋 ひび割れ幅 計測結果

※2007/8/1~2011/5/31の最大値、最小値 最終計測日: 2011/5/31 23:00

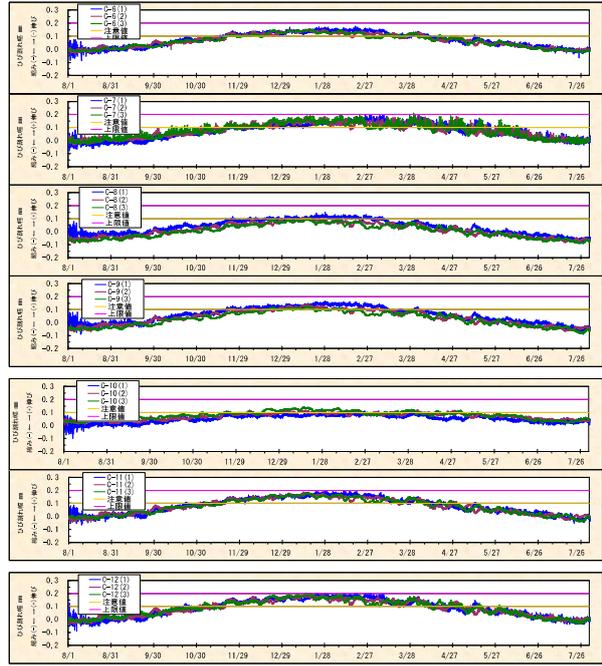
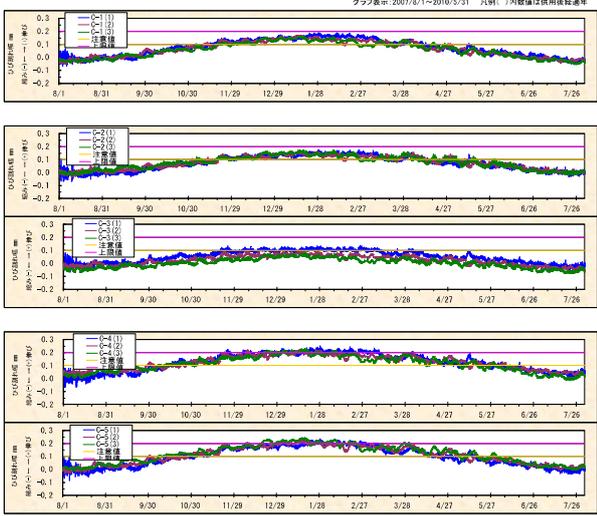
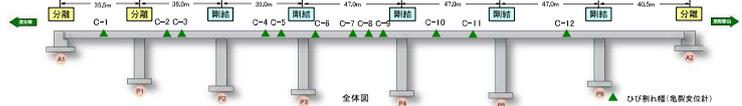
ひび割れ幅 (亀裂変位計)	測点	計測データ			管理値	備考
		最終計測値	最小値	最大値		
PIP1	C-1	変ウェブ	0.026	-0.069	0.191	0.10 0.20
	C-2	変ウェブ	0.071	-0.070	0.166	
	C-3	下床版	-0.018	-0.064	0.135	
PIP2	C-4	下床版	0.108	-0.070	0.254	0.10 0.20
	C-5	右ウェブ	0.105	-0.086	0.258	
	C-6	変ウェブ	0.046	-0.087	0.176	
PIP4	C-7	変ウェブ	0.090	-0.078	0.238	0.10 0.20
	C-8	下床版	-0.028	-0.059	0.150	
	C-9	右ウェブ	-0.003	-0.092	0.166	
PIP5	C-10	下床版	0.070	-0.101	0.157	0.10 0.20
	C-11	右ウェブ	0.055	-0.067	0.198	
	C-12	変ウェブ	0.071	-0.091	0.213	

※左右方向は、起点(A1)ー終点(A2)順に見た方向



32

④ 垂井高架橋 ひび割れ幅 計測結果



2007.3.30～2007.8.10観測。全断面管理区(7/30)によるサイズ
2008.8.29～2009.8.10観測。全断面管理区

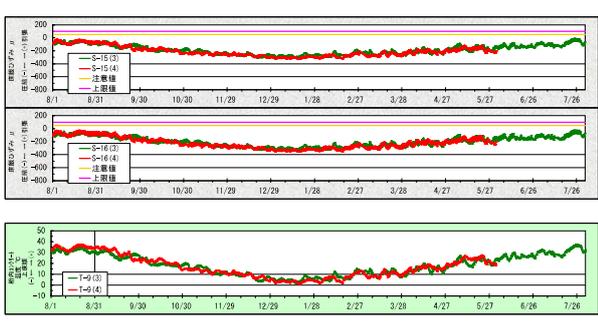
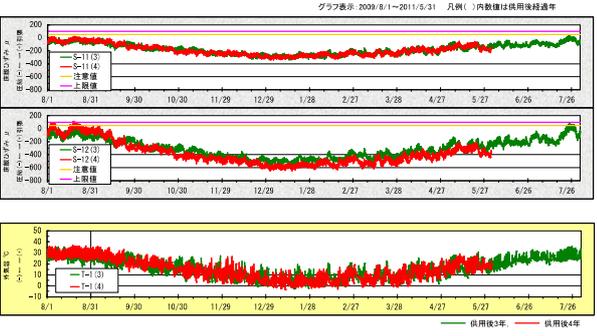
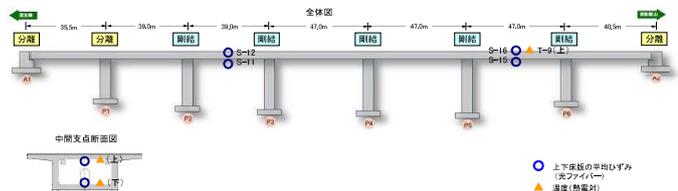
33

⑤ 垂井高架橋 上下床版平均ひずみ 計測結果

※2007/8/1～2011/5/31の最大値、最小値

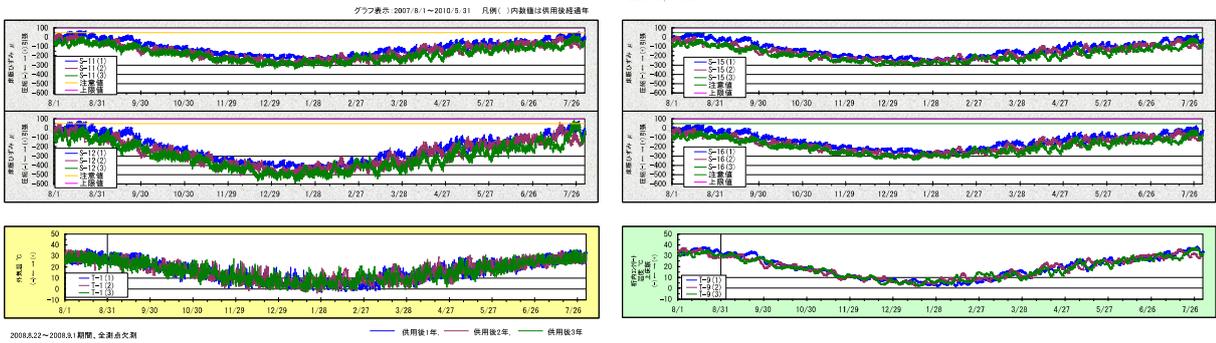
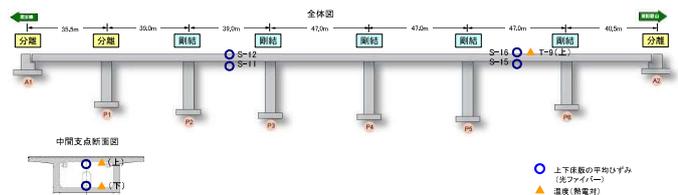
床版のひずみ (光ファイバー)	P2P3 P5P6	S-11 S-12 S-15 S-16	計測データ		管理値	備考
			最大値	最小値		
下床版上面		S-11	-472.9	-345.2	30.0	
上床版下面		S-12	-375.1	-509.9	112.6	
下床版上面		S-15	-205.7	-333.1	48.7	
上床版下面		S-16	-205.3	-362.2	37.0	

注: 平均ひずみ
左側が平均ひずみ(ひずみ)の光ファイバーのひずみであることから、
平均ひずみと表記されている



34

⑤ 垂井高架橋 上下床版平均ひずみ 計測結果

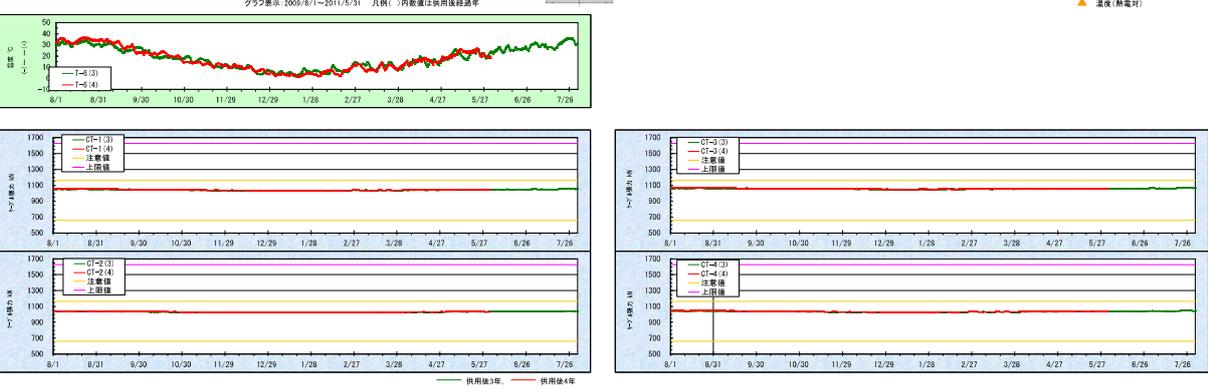
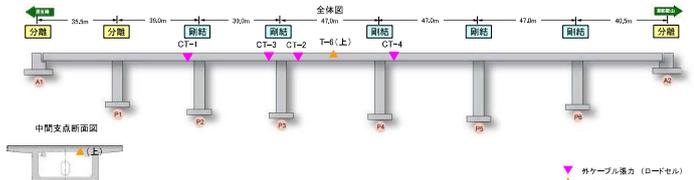


35

⑥ 垂井高架橋 外ケーブル張力 計測結果

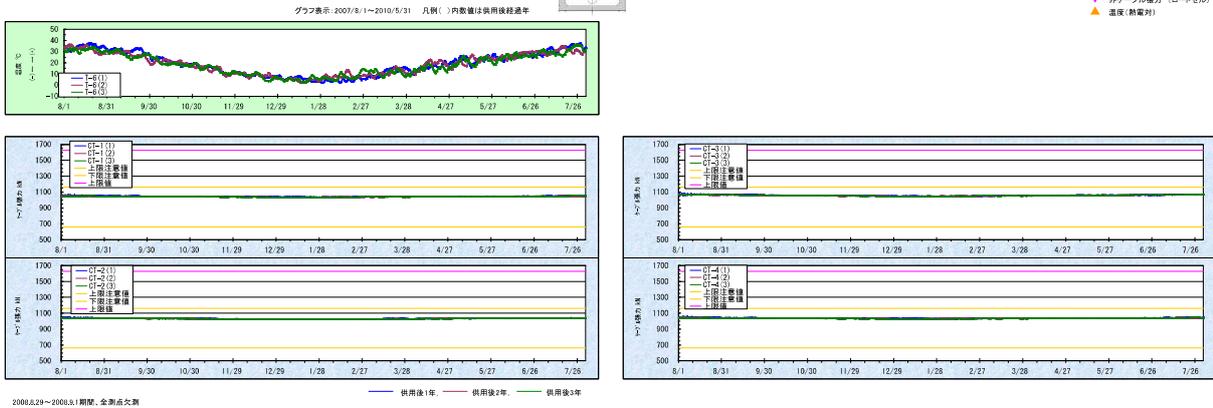
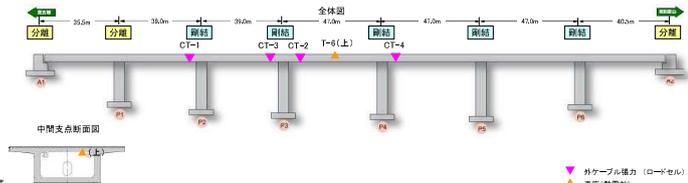
※2007/8/1~2011/5/31の最大値、最小値 最終計測日時: 2011/5/31 23:00

外ケーブル張力 (ロードセル)	管理種別	計測データ			管理値		備考
		最終計測値	最小値	最大値	下限	上限	
P2P3	CT-1	1045	1027	1074	660	1163	1628
		1032	1017	1058			
	CT-3	1060	1043	1087			
		1038	1024	1066			



36

⑥ 垂井高架橋 外ケーブル張力 計測結果

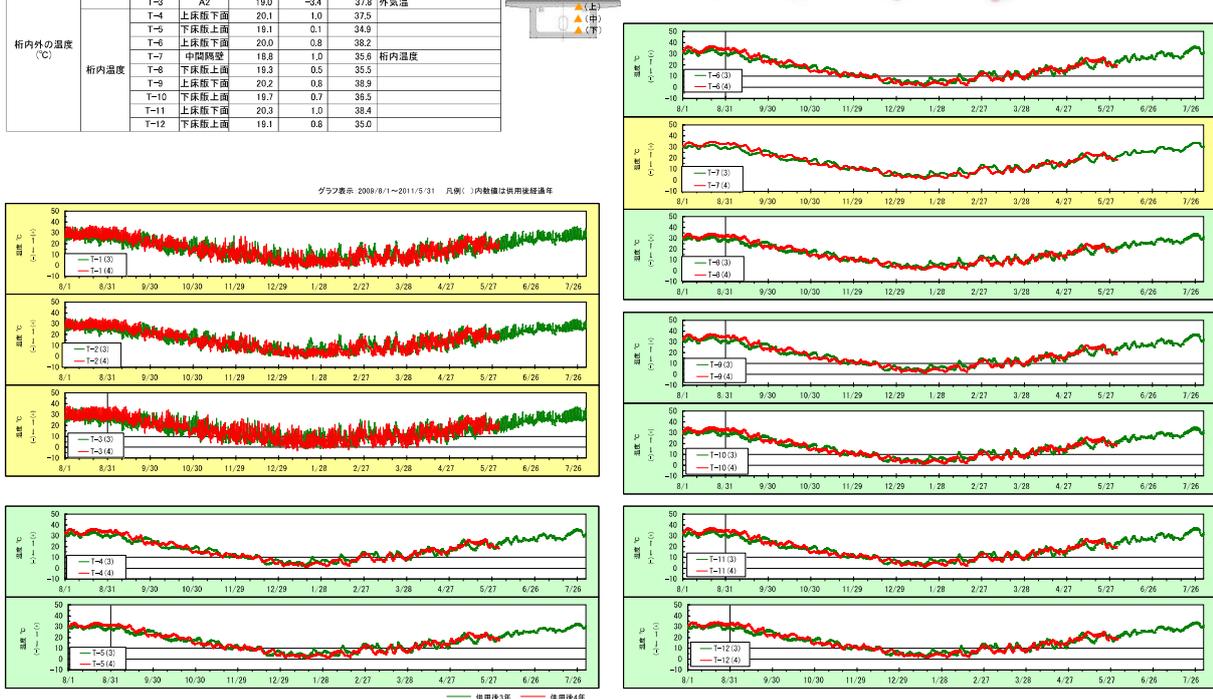
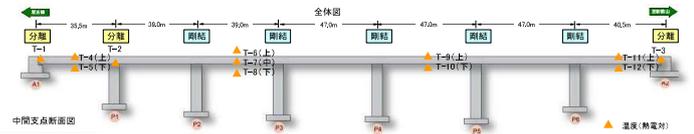


37

⑦ 垂井高架橋 桁内外の温度 計測結果

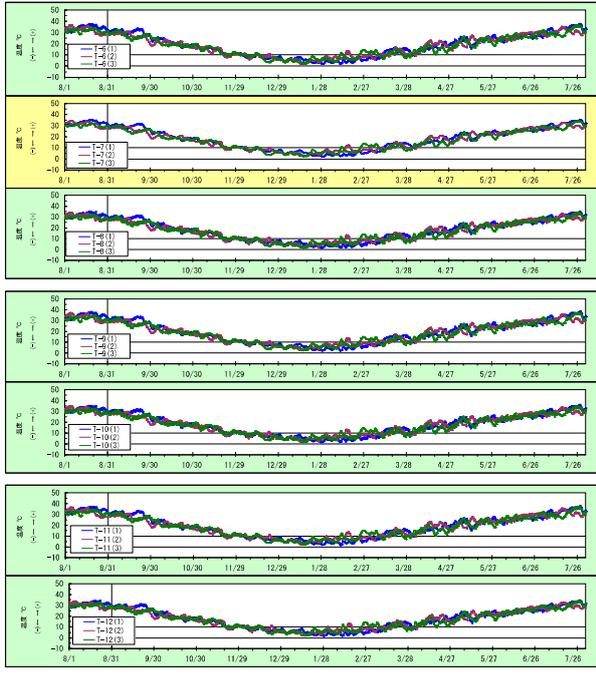
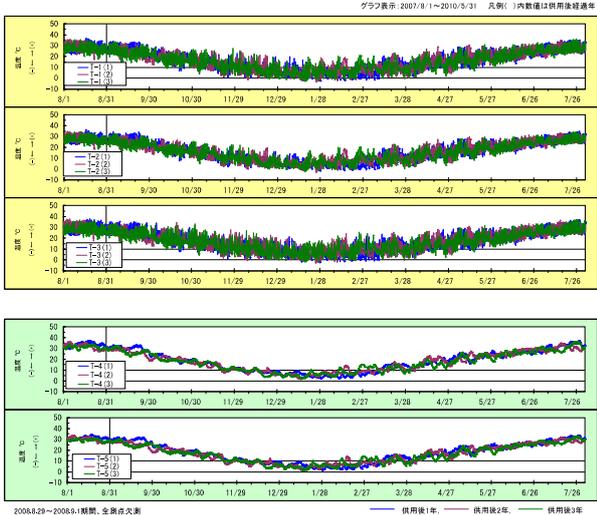
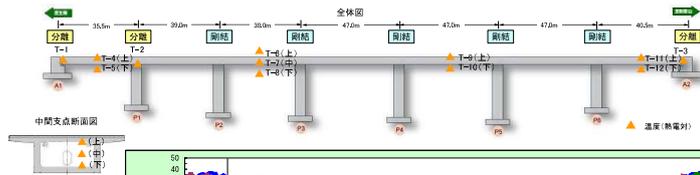
※2007/8/1~2011/5/31の最大値、最小値 最終計測日時: 2011/5/31 23:00

		計測データ			備考
		最終計測値	最小値	最大値	
桁内外の温度 (°C)	支保温度	T-1 A1	18.7	-3.7	36.9 外気温
		T-2 P1	18.4	-3.3	36.4 外気温
		T-3 A2	19.0	-3.4	37.8 外気温
	桁内温度	T-4 上床版下面	20.1	1.0	37.5 桁内温度
		T-5 下床版下面	19.1	0.1	34.9
		T-6 上床版上面	20.0	0.8	38.2
		T-7 中間隔壁	18.8	1.0	35.8
		T-8 下床版上面	19.3	0.5	35.5
		T-9 上床版下面	20.2	0.8	38.9
		T-10 下床版上面	19.7	0.7	36.5
		T-11 上床版下面	20.3	1.0	38.4
		T-12 下床版上面	19.1	0.8	35.0



38

⑦ 垂井高架橋 桁内外の温度 計測結果



2008.8.29~2008.8.31期間、全測点次第

● 供用後1年 ● 供用後2年 ● 供用後3年