

堤体挙動の監視結果報告

令和 5 年 6 月

独立行政法人水資源機構

目 次

1. 堤体等変位	1
2. 門柱側部ひび割れ	14
3. 堤頂部および門柱側部ひずみ	20
4. まとめ	30

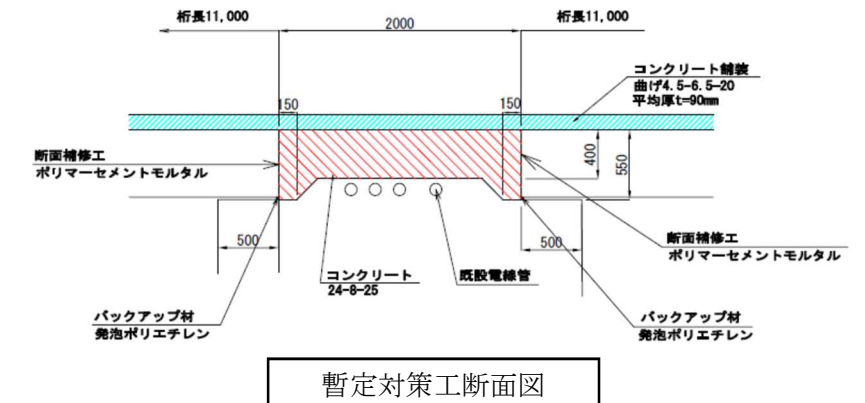
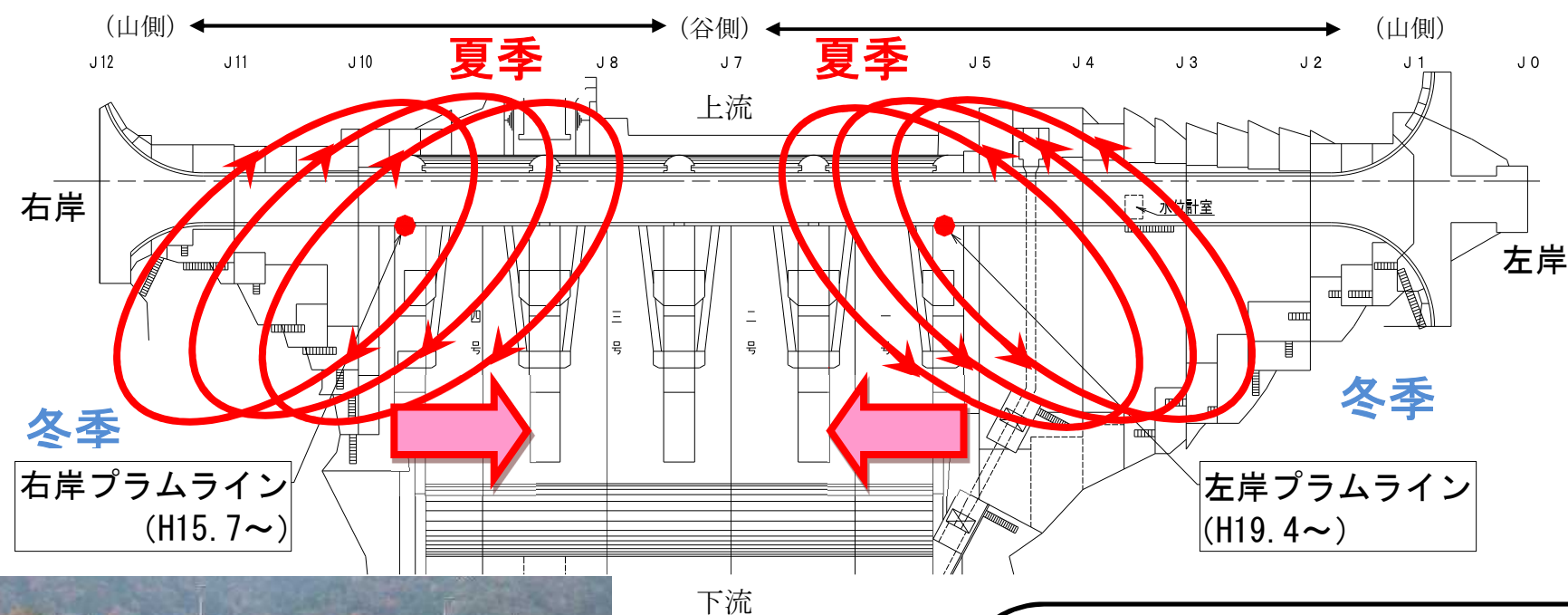
1. 堤体等変位

●目的

- ① 暫定対策工による軸方向変位の抑制効果を確認する。
(プラムライン、トータルステーション (TS) 測量、ゲート隙間センサー)
- ② 門柱基部に発生する引張力を頂部の変形量から間接的に監視する。(TS 測量)

(1) プラムライン (PL) による堤体変位計測

1) プラムライン計測値が描く年周期ループ (暫定対策工前の挙動)

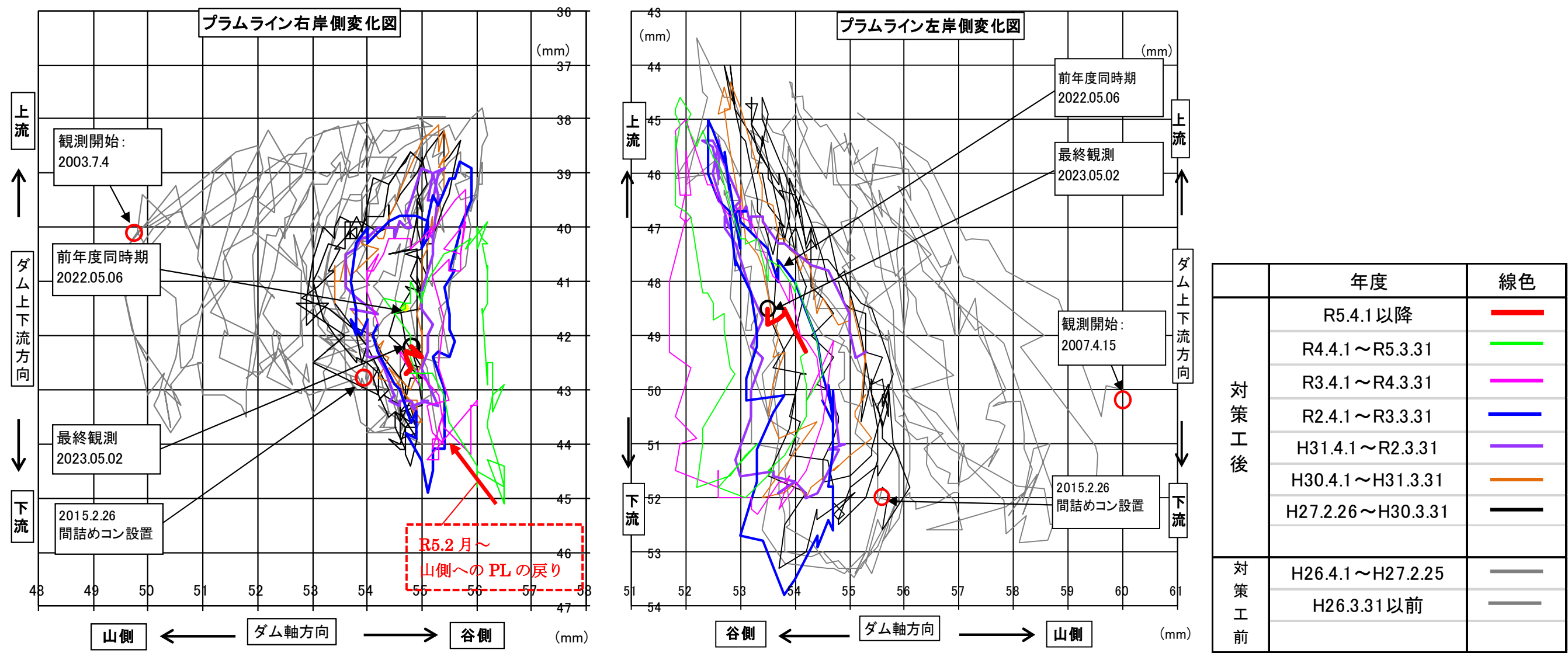


【これまでに観測されている動き方】

- ・ 夏季に谷側上流へ変位
- ・ 冬季に山側下流へ変位
- ・ 上下流方向の変動範囲は概ね一定
- ・ ダム軸方向の変動範囲は徐々に谷側へ推移
(= 年周期ループが徐々に谷側へ推移)

2) 暫定対策工後のプラムラインの挙動（～2023. 5. 2）

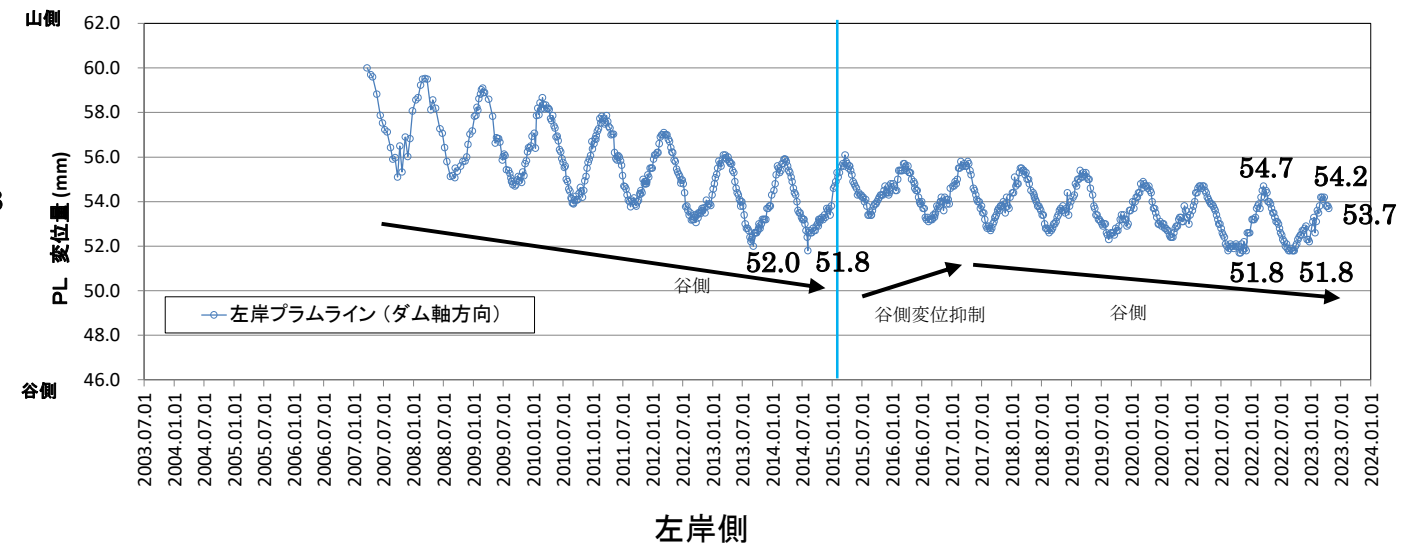
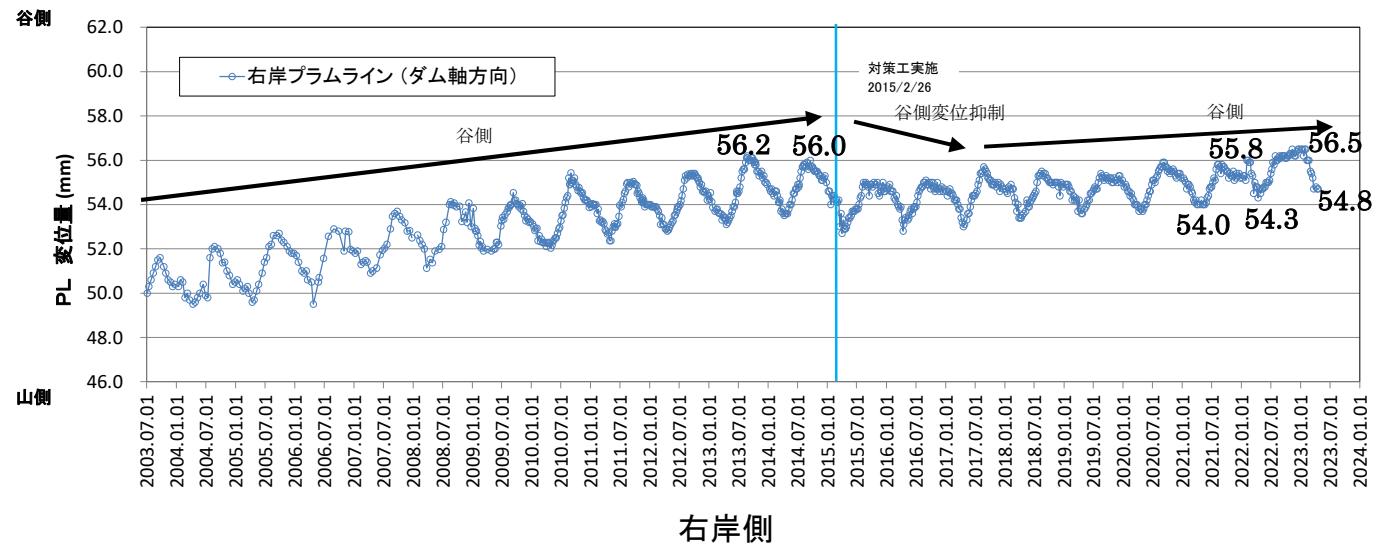
(a) 軌跡図（プラムライン）



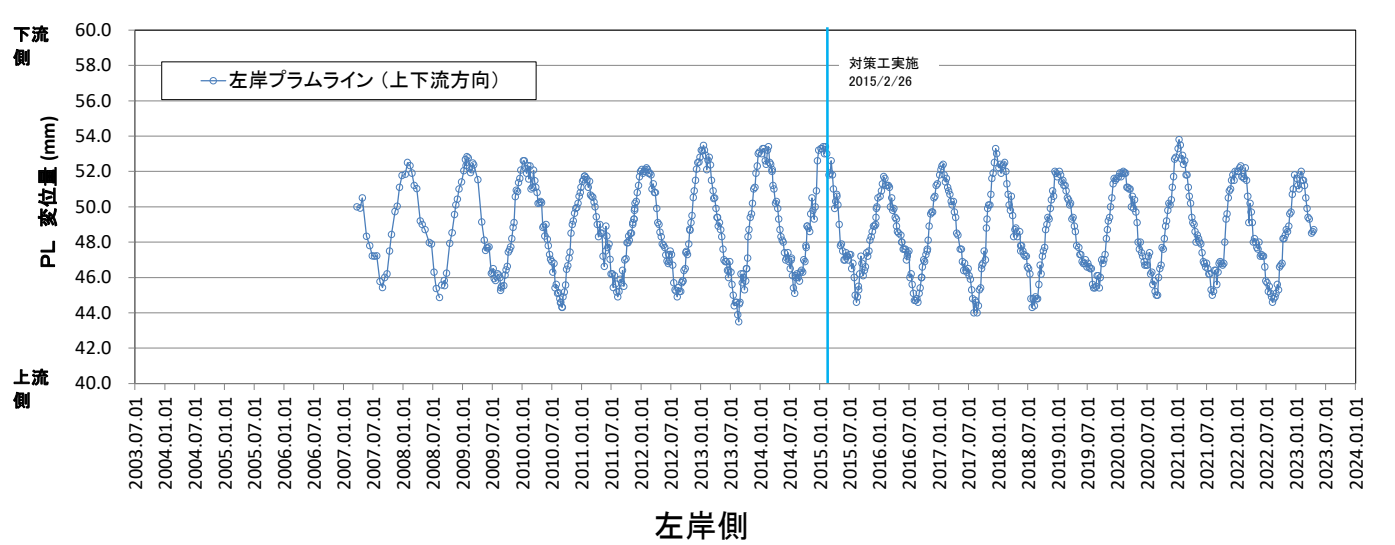
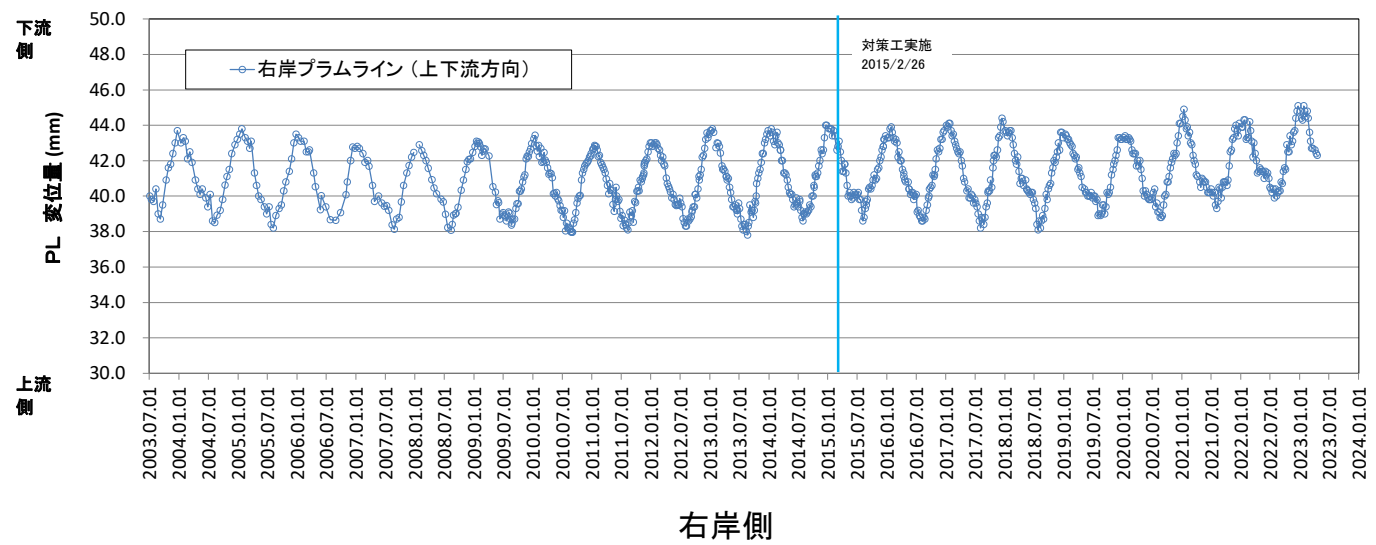
- ・これまで左右岸 PL とも、概ね同様のループ円を描くような挙動を示しているが、暫定対策工後も少しずつ谷側へループ円がシフトしている傾向は変わらない。
- ・R4 年度の PL の動きの特徴であるが、気温低下後（概ね 10 月中旬以降）の右岸側への山側への戻りが弱かったが、R5 年 2 月以降に急激に山側に戻り始め、R5 年 3 月には例年と同様の位置に戻っている。

(b) 経時変化図（プラムライン）

① ダム軸方向変位



② 上下流方向変位



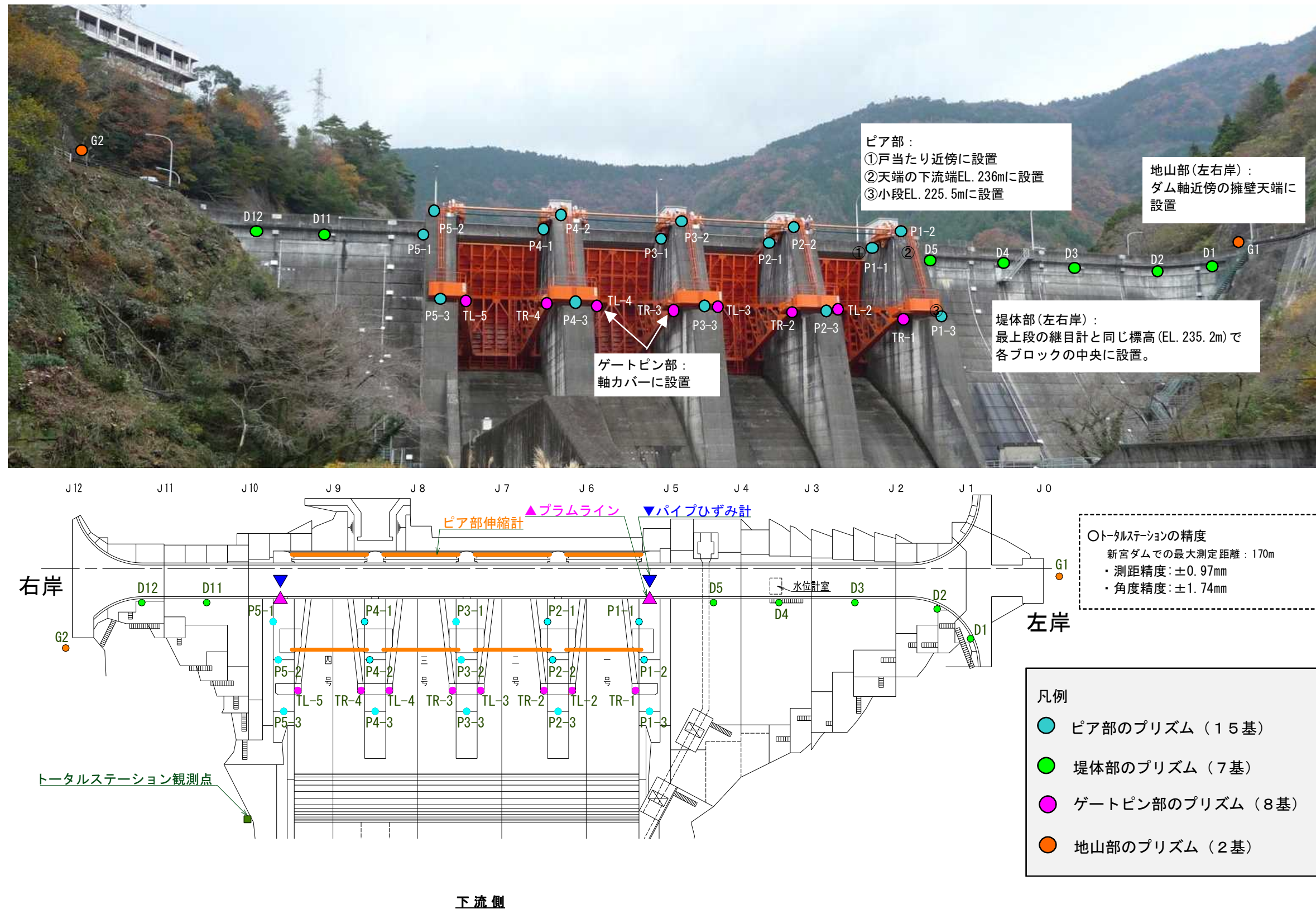
- ・右岸 PL における 2023(R5) 年の谷側方向変位のピークは、前年 2022 (R4) 年のピークと比べて 0.7mm 大きく、暫定対策工直前の 2014 (H26) 年のピークより 0.5mm 大きい。
- ・左岸 PL における 2023(R5) 年の谷側方向変位のピークは、前年 2022 (R4) 年のピークと比べ同等であり、暫定対策工直前の 2014 (H26) 年のピークとも同等である。
- ・いずれの PL 計測値についても谷側への変位量は、暫定対策工実施前の水準と同程度あるいはそれ以上に進行しており、谷側への変位の増加傾向が止まった兆候は認められない。

PL の動きのまとめ

- 暫定対策工により累積傾向は一旦減少し、暫定対策工の変位抑制効果が現れていると推定できるが、暫定対策工後も増加傾向は継続している。現在、ほぼ暫定対策工実施前と同等の谷側方向への変位の増加が認められる。
- **R4 年 3 月以降**（追加暫定対策工完了後）の **PL** の挙動であるが、左岸側は冬期に山側下流、夏期に谷側上流に動くという傾向に変わりは無く、従前と同様の挙動である。一方で、右岸側 **PL** は気温低下後も山側に戻らない現象が続き、**R5 年 2 月以降**に急激に山側に戻り、例年と同様の位置に戻っている。この期間に他の計器での異常な動き、巡視での異状等は見られていない。他の計器挙動と併せて、モニタリングを継続する。

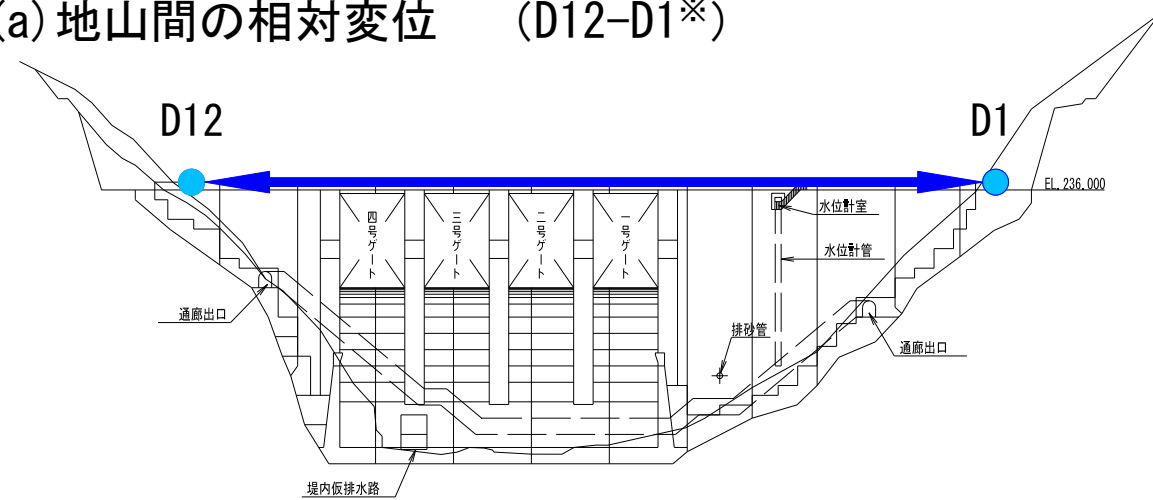
(2) TS 測量による堤体等の変位計測

1) トータルステーション (TS) 測量の計測位置

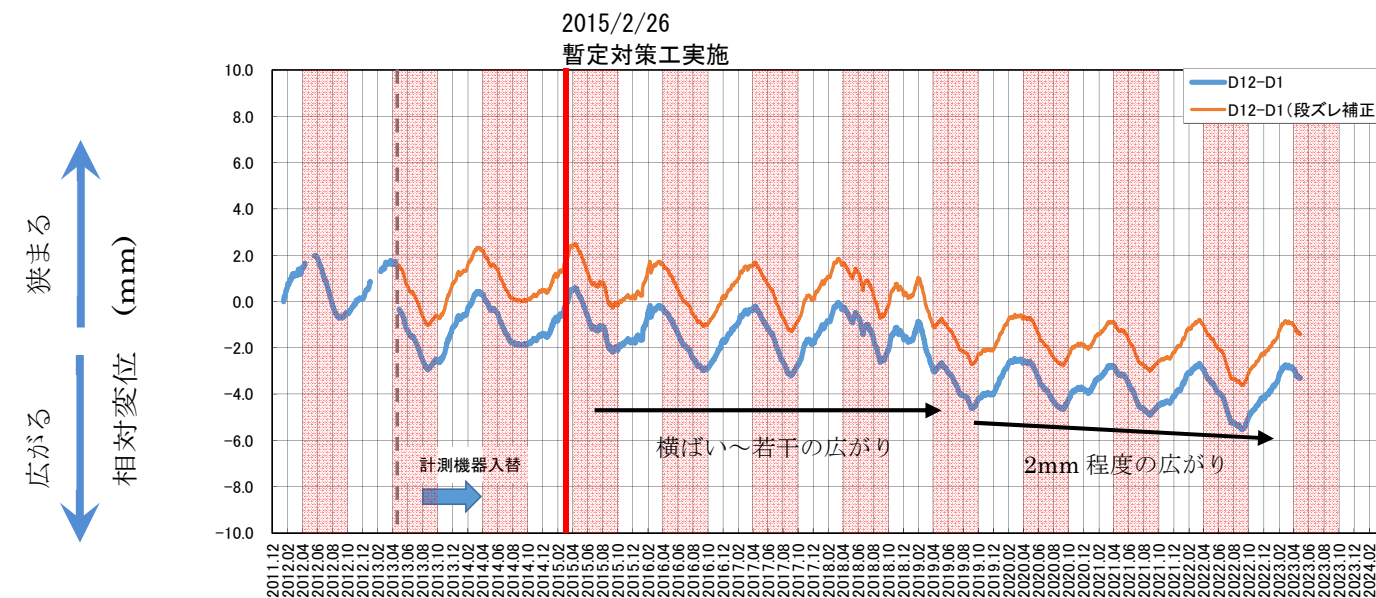


2) 堤体頂部の変動の経年変化

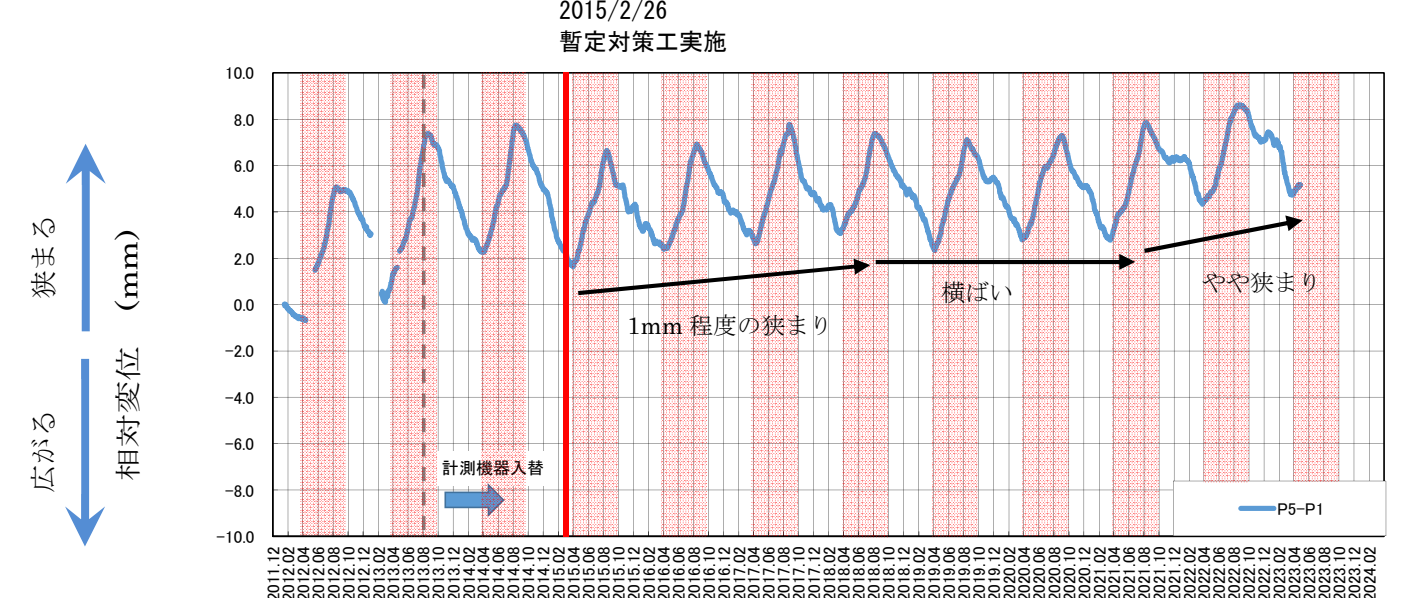
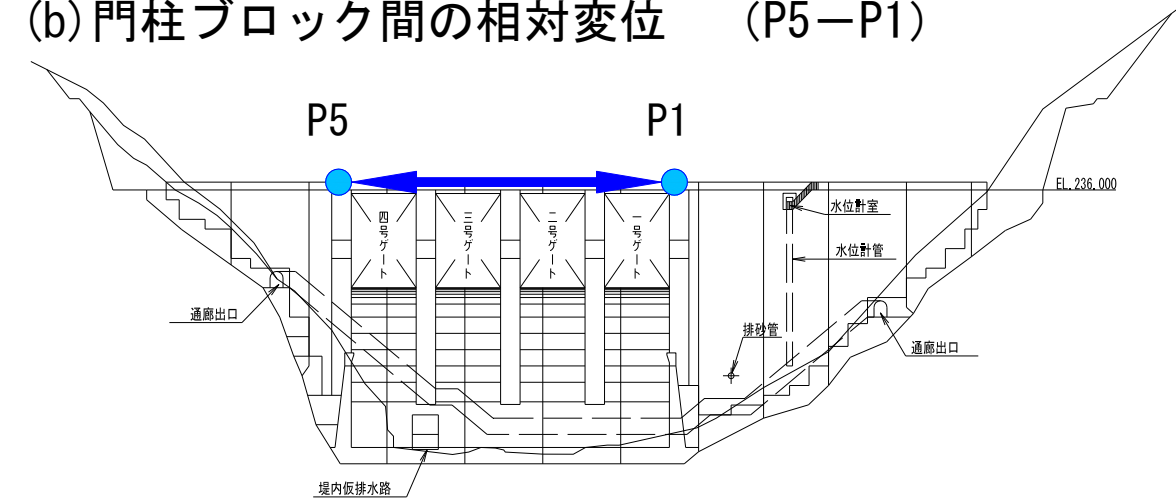
(a) 地山間の相対変位 (D12-D1※)



※ 変動データを比較し、G1, G2 よりも D1, D12 の方が計測値の変動が小さいため、地山間の相対変位は D1, D12 の相対変位より評価する。



(b) 門柱ブロック間の相対変位 (P5-P1)

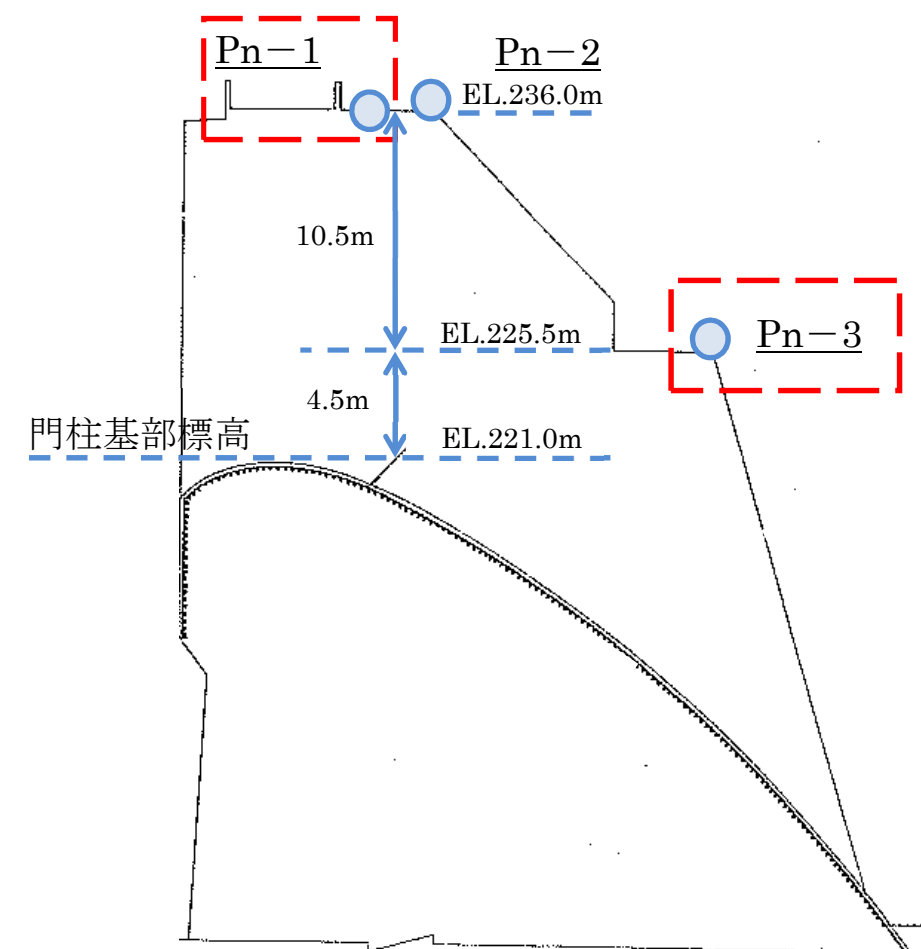


- 地山間距離 (D12-D1) は夏季に最も広がり、その後、春先まで徐々に狭まるという動きを周期的に繰り返す。

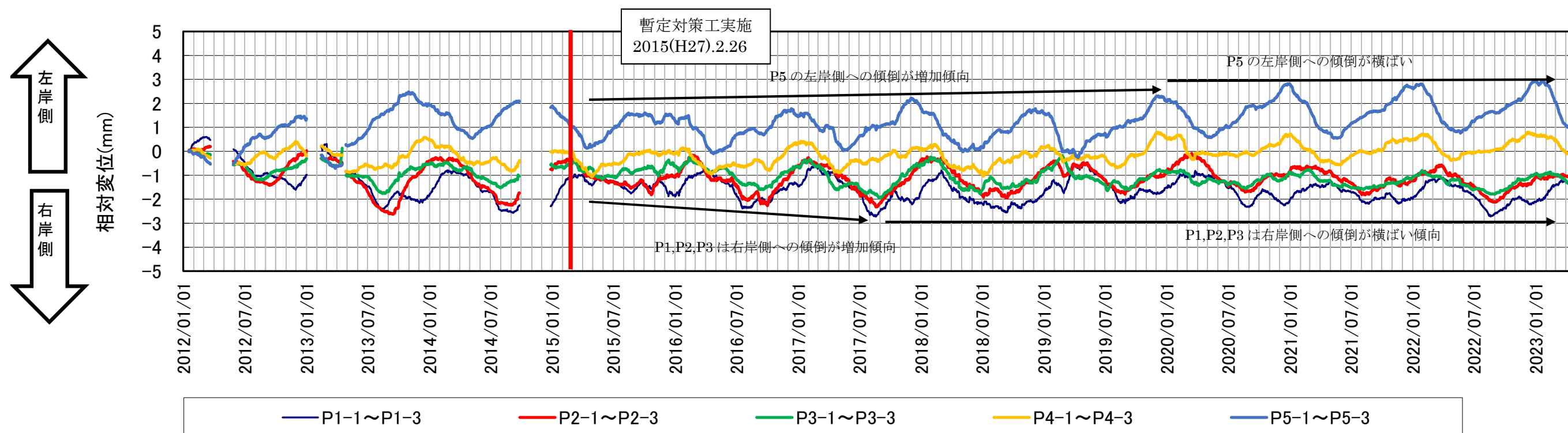
地山間距離 (D12-D1) は 2018 年までは横ばい~若干広がる傾向であったが、2019 年以降広がりがやや大きくなっている。

- 門柱間距離 (P5-P1) は夏季に狭まり、冬季~春先にかけて広がる動きを周期的に繰り返す。(PL の動きと同様。)

門柱間距離 (P5-P1) は、対策後も 2017 年までは狭まる傾向を示し、その後はほぼ横ばいとなっているが、2021 年以降はやや狭まる傾向である。



門柱（Pn-3）に対する頂部（Pn-1）の変位（ダム軸方向の相対変位）の経時変化を監視し、門柱の傾倒が生じていないかを確認する。

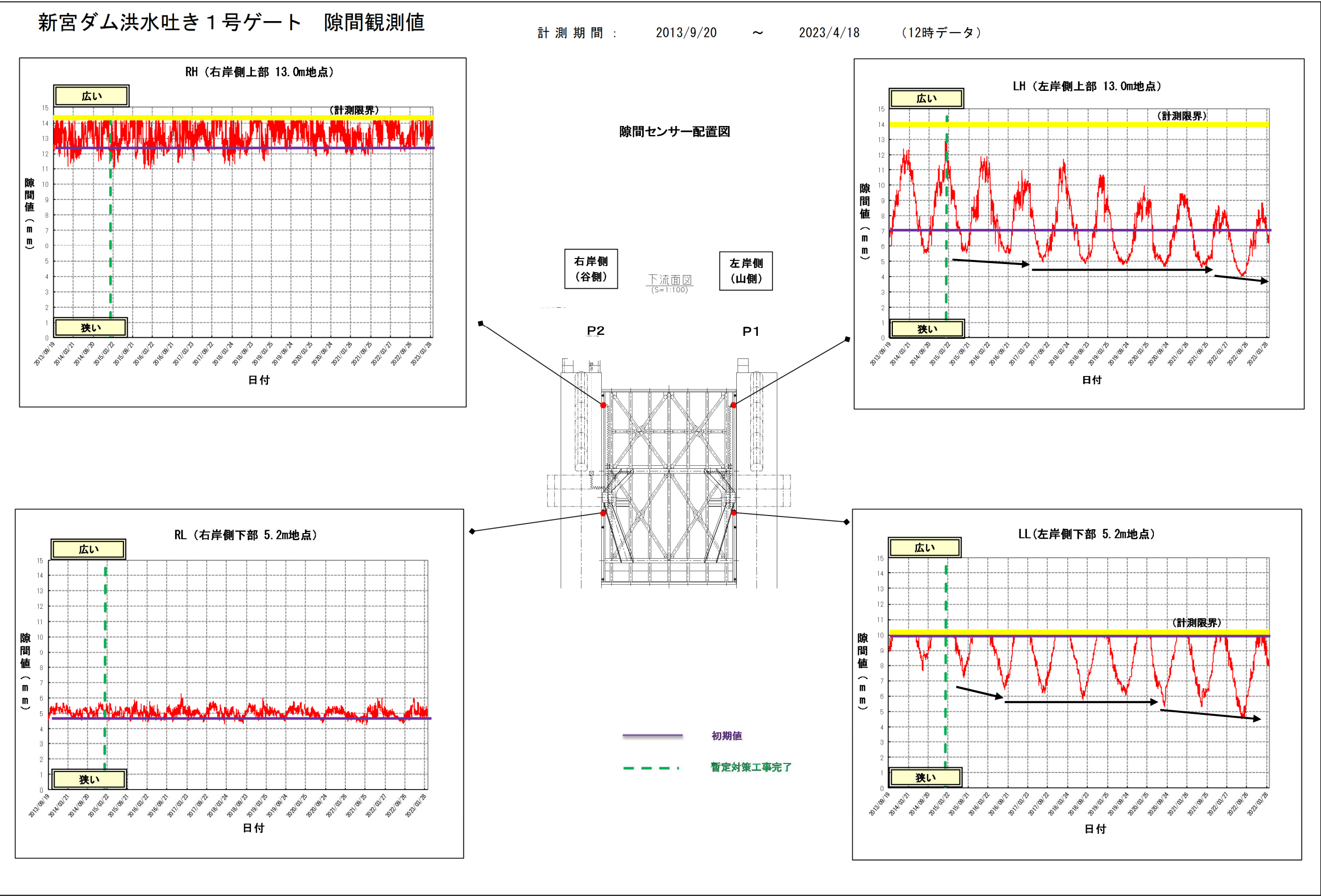


2023/4/19

＜暫定対策後の各門柱の挙動＞

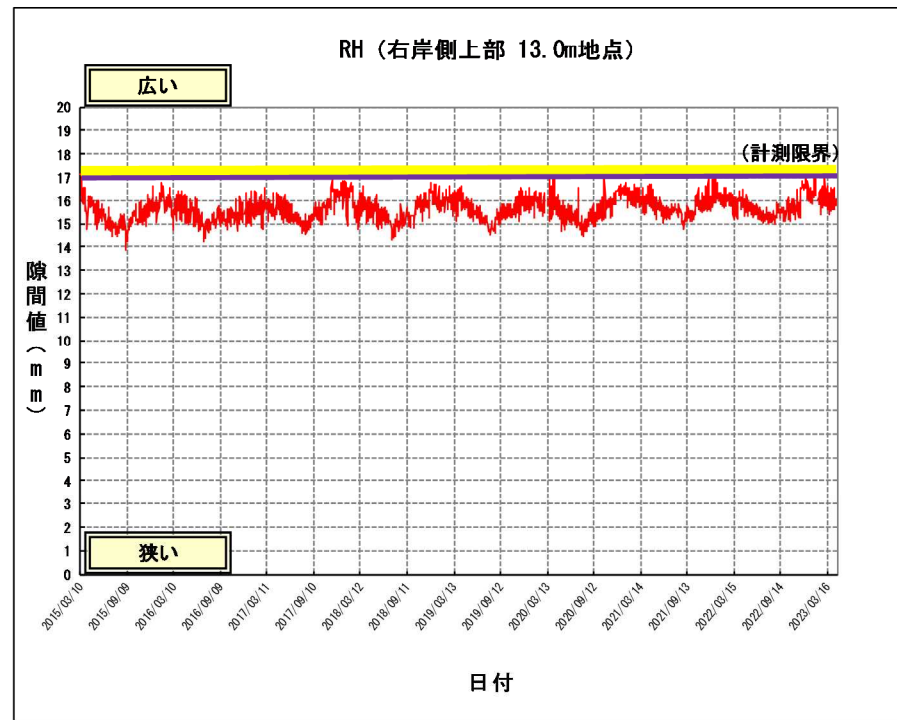
- P1,P2,P3 は、2015（H27）～2017（H29）の夏期（7/1 の値）を見ると、右岸側へ傾倒がやや増加する傾向。その後は右岸側へ傾倒する相対変位量は横ばい傾向である。
- P5 は、2015（H27）～2020（R2）の冬期（1/1 の値）を見ると、左岸側への傾倒がやや増加する傾向。その後は、左岸側へ傾倒する相対変位量は横ばい傾向である。
- P4 は周期的な相対変位量の変動はあるものの、2015（H27）年以降、ほぼ相対変位量は横ばい。

(3) ゲート隙間センサーによる戸当りとゲート間の隙間の計測

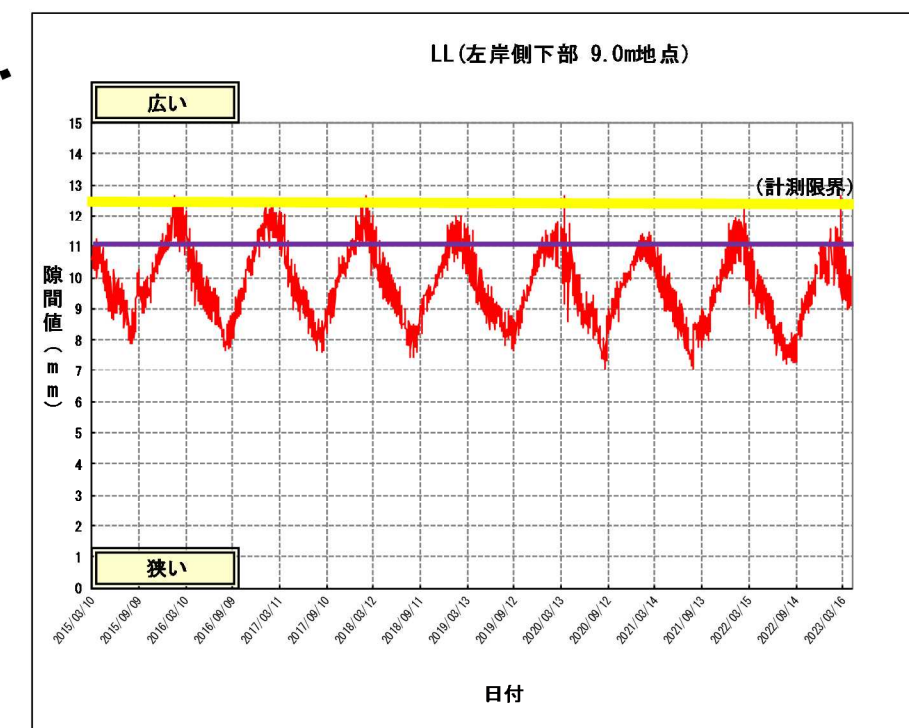
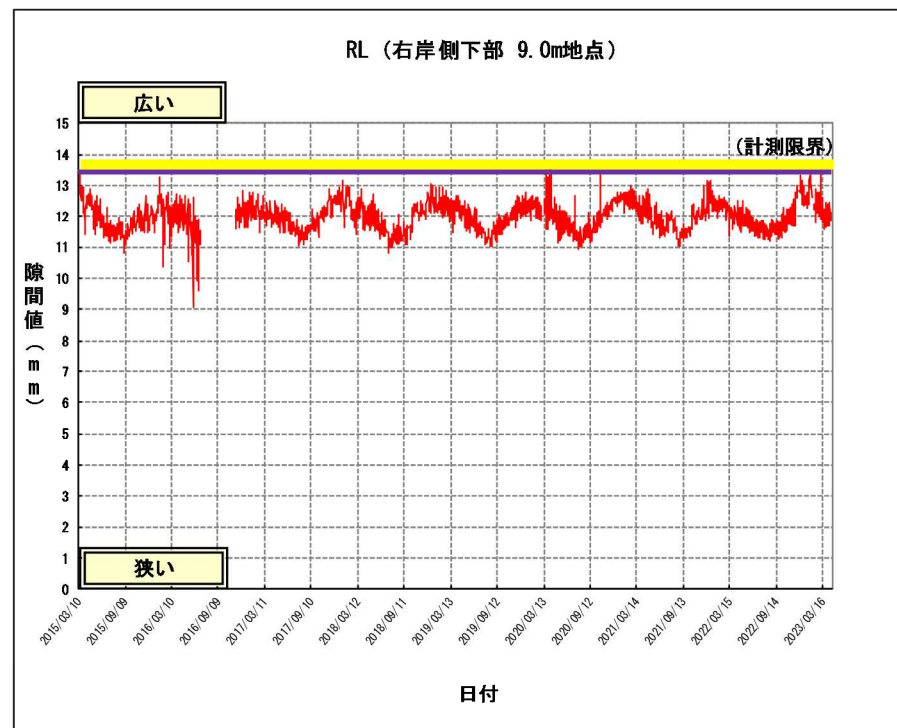
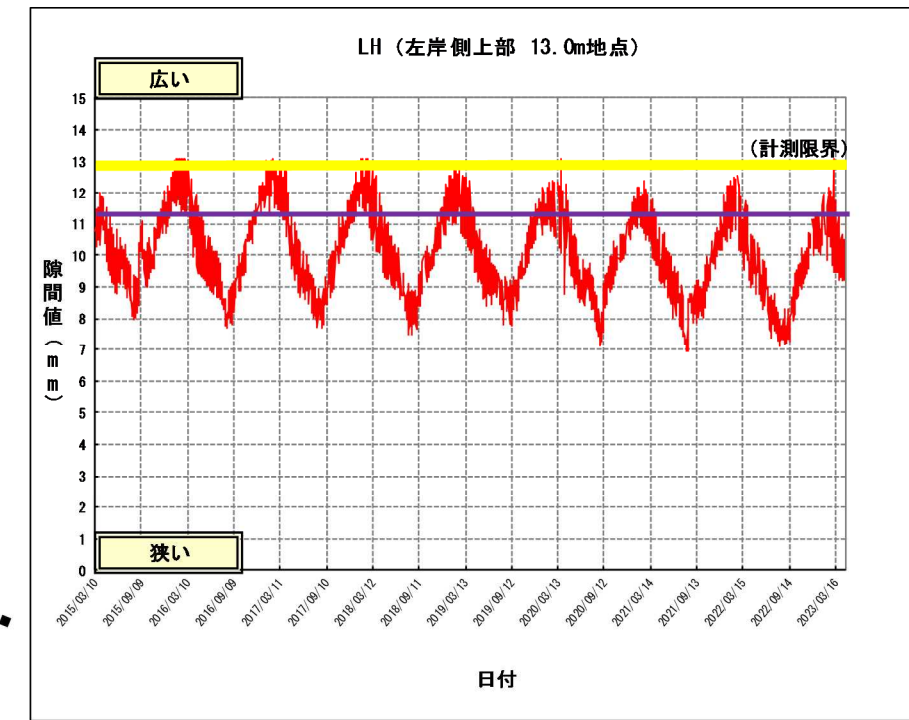
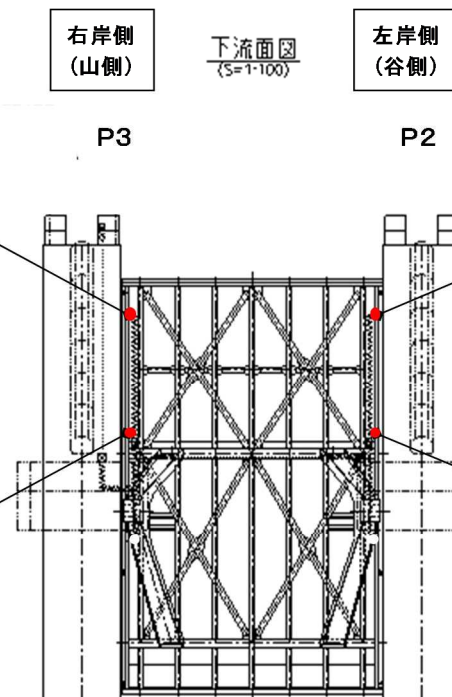


新宮ダム洪水吐き2号ゲート 隙間観測値

計測期間： 2015/3/8 ～ 2023/4/18 (12時データ)



隙間センサー配置図



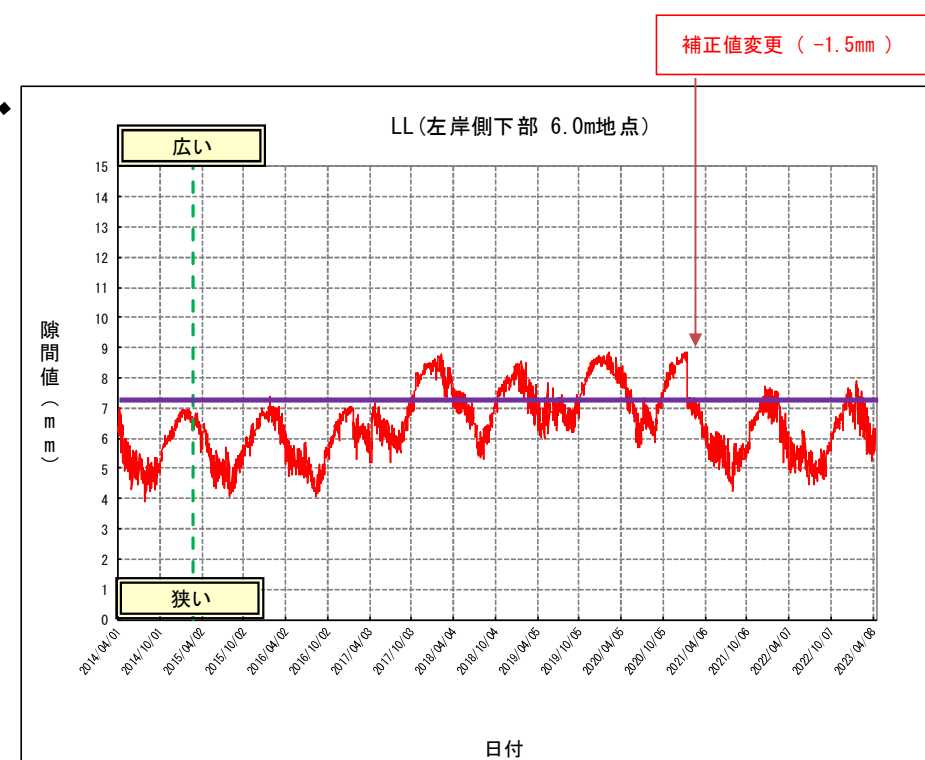
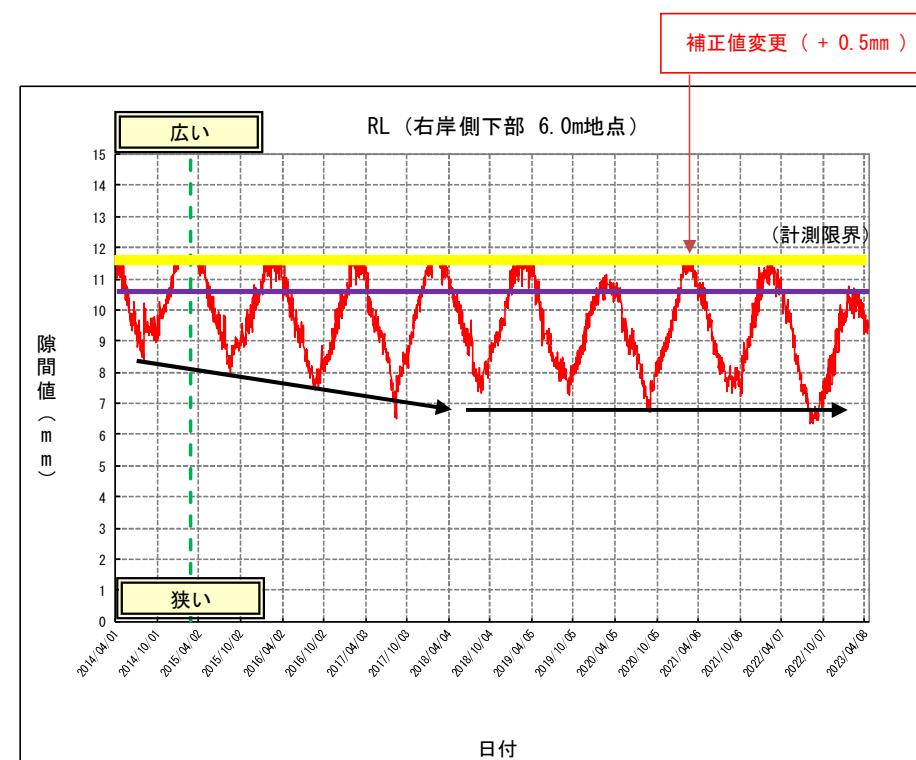
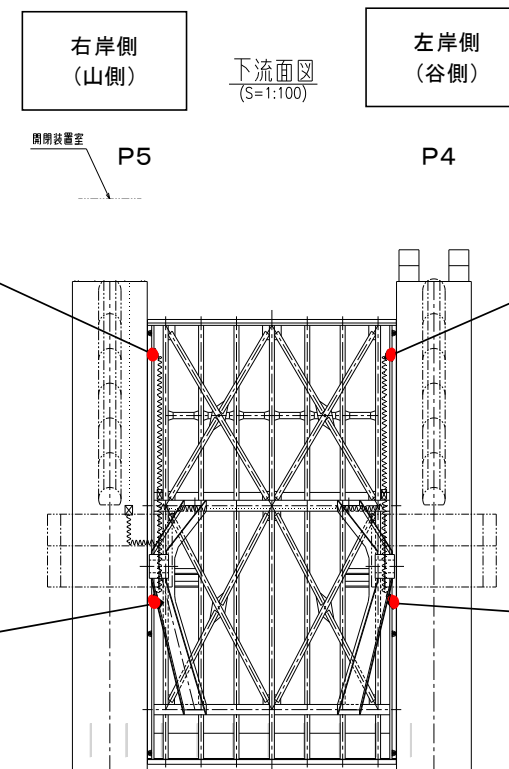
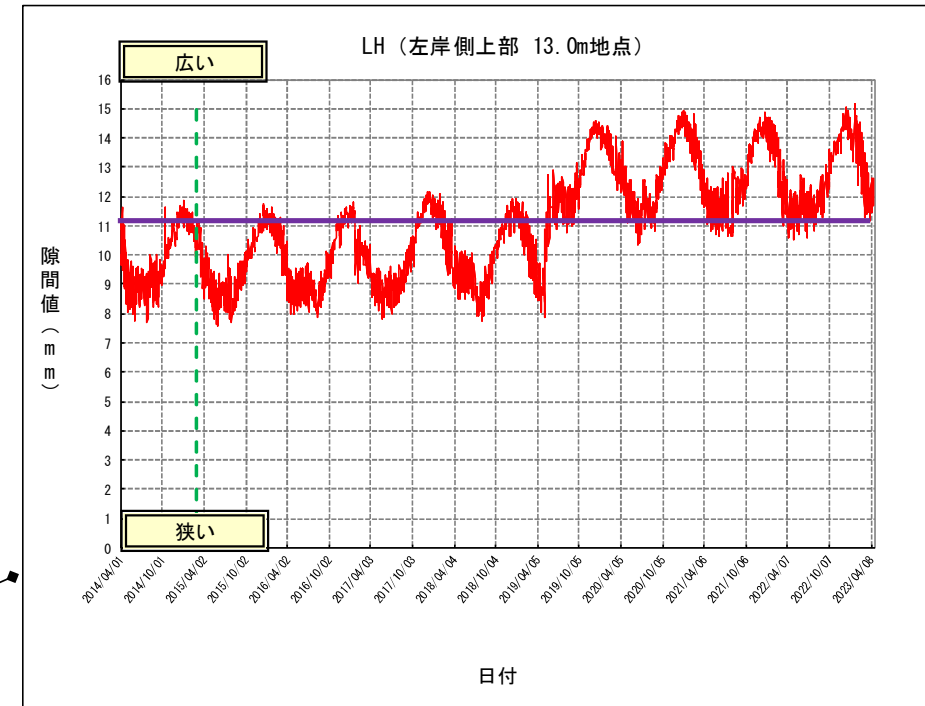
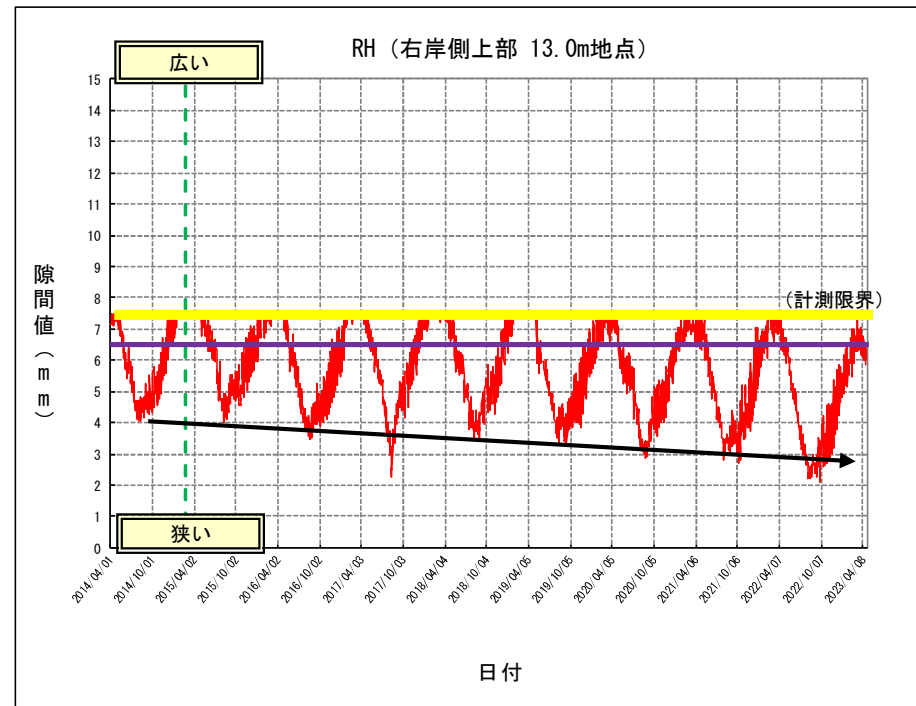
初期値

※ H28/7/2 ～ H28/11/18 欠測

新宮ダム洪水吐き4号ゲート 隙間観測値

計測期間： 2014/4/2 12:00 ～ 2023/4/18 (12時データ)

隙間センサー配置図



R3.2.20 左右岸下部
隙間補正值修正

—— 初期値
- - - 暫定対策工事完了

<暫定対策工後の挙動>

- 現状では、隙間は確保されており操作性に問題はない。
- 1号ゲートの左岸側（山側）上部では、2017年（H29）までは夏期のピーク時の隙間が減少し、その後2021年（R3年）前半までは横ばいであったが、2021年（R3年）後半からやや減少傾向が見られる。左岸側（山側）下部では、2016年（H28）までは夏期のピーク時の隙間が減少し、その後2020年（R2年）前半までは横ばいであったが、2020年（R2年）後半からやや減少傾向が見られる。右岸側（谷側）は、計測開始からほぼ定常的な動きである。
- 2号ゲートはいずれの方向の挙動についても、計測開始からほぼ定常的な動きである。
- 4号ゲートの右岸側（山側）では、夏季のピーク時の隙間が減少～横ばいの傾向であり、大きな変動は見られない。ただし、右岸側上部については、隙間が2mm程度まで減少してきており、今後の状況に応じて対策を検討する。

堤体等変位の計測結果まとめ

【門柱の傾倒】

- プラムライン計測結果から、R4 年度夏期の谷側への変位量は、観測開始以降、最大値（右岸側）あるいは最大値と同程度（左岸側）まで進行しており、谷側への変位蓄積傾向が止まった兆候は認められない。
- R4 年度は右岸側のダム軸方向 PL に特異な動き（気温低下後に山側へ戻らない現象）が見られたが、現在は例年と同様の位置に戻っている。右岸側ダム軸方向 PL の特異な動きについて、その原因は判然としない。今後も他の計器の挙動、堤体巡視等を通じてモニタリングを継続し、ゲート操作性の確保に努める。
- TS 測量結果から得られる門柱（P1～P5）のダム軸方向の相対変位量は、概ね横ばいの動きである。門柱間距離は近年やや狭まる傾向が見られる。
- ゲート隙間センサーであるが、概ね定常的な動き。現状において隙間は確保され、操作性に問題はない。ただし、4 号ゲート右岸側上部は隙間が経年的に狭まってきており、対策を検討していく必要がある。

以上より、暫定対策工によって一定の変位抑制効果が発現していると認められるものの、門柱の傾倒が止まった兆候は認められず、引き続き PL、TS、ゲートの隙間センサーの動きを注意深くモニタリングする必要がある。また追加暫定対策工の影響も注視していく必要がある。

2. 門柱側部ひび割れ

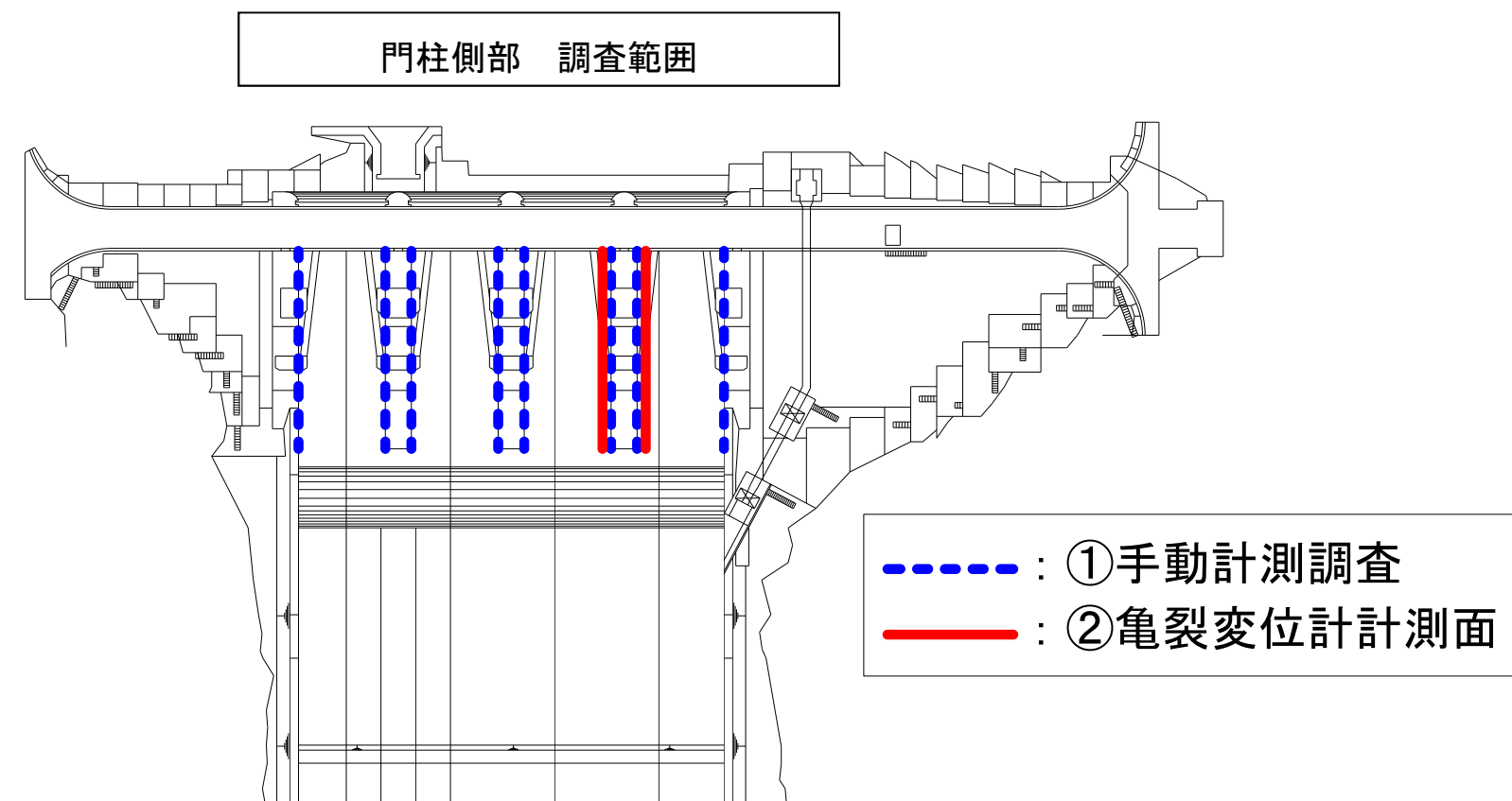
(1) 調査方法

門柱側部のひび割れの代表箇所について、以下の計測をしている。

①ひび割れ幅の手動計測（月2回デジタルノギスによるピン間距離）

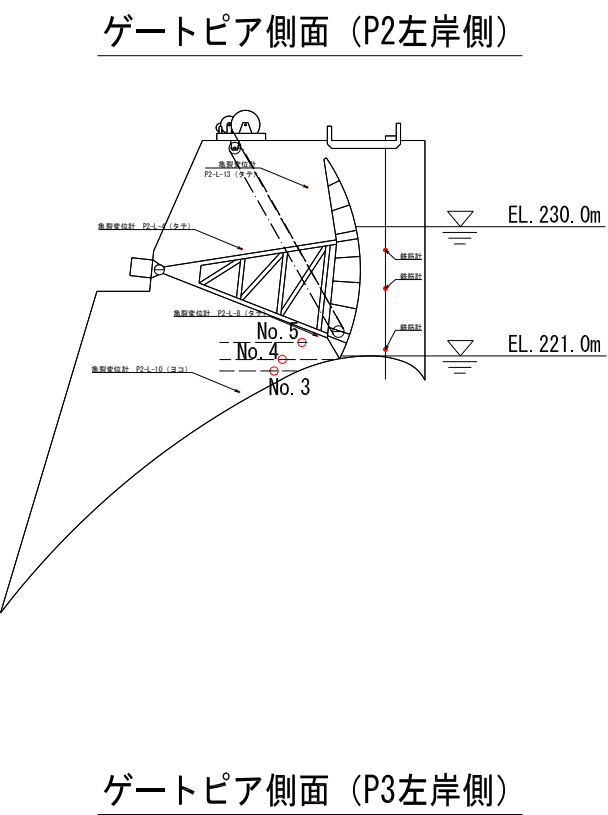
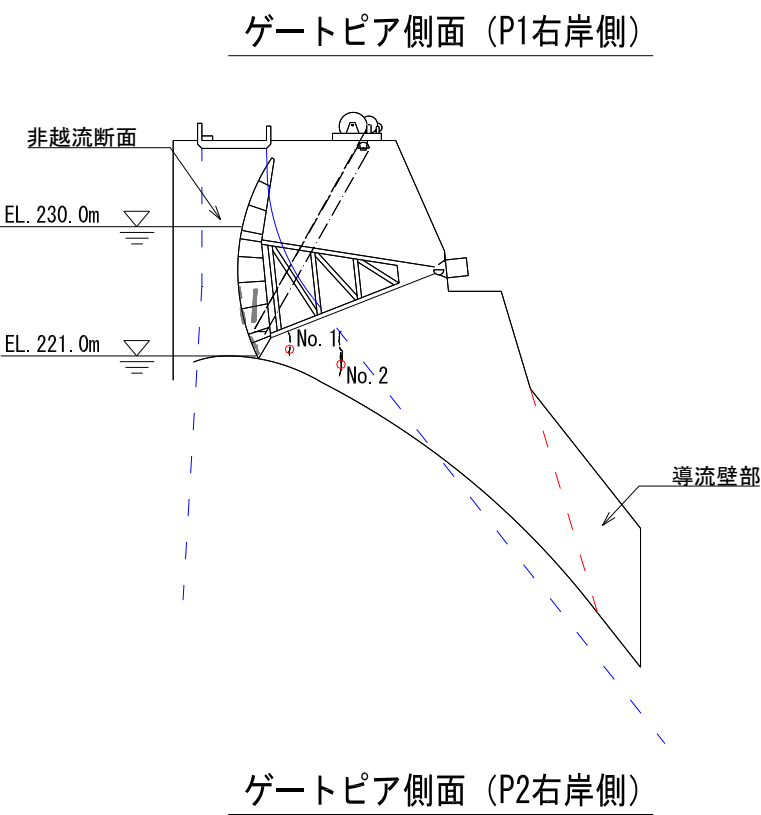
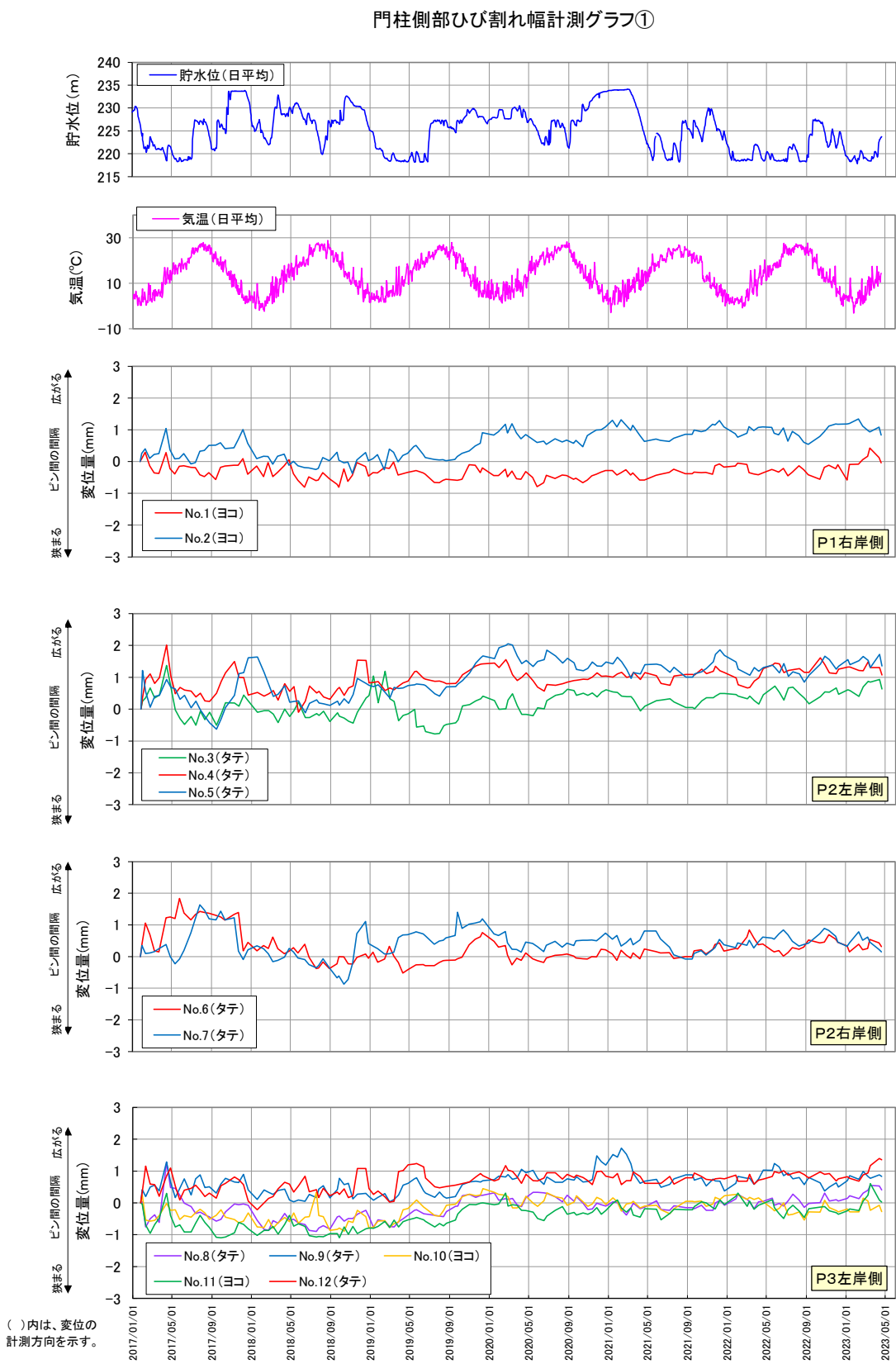
（H29. 1～）

②ひび割れ幅の亀裂変位計による自動計測（H29. 6～）

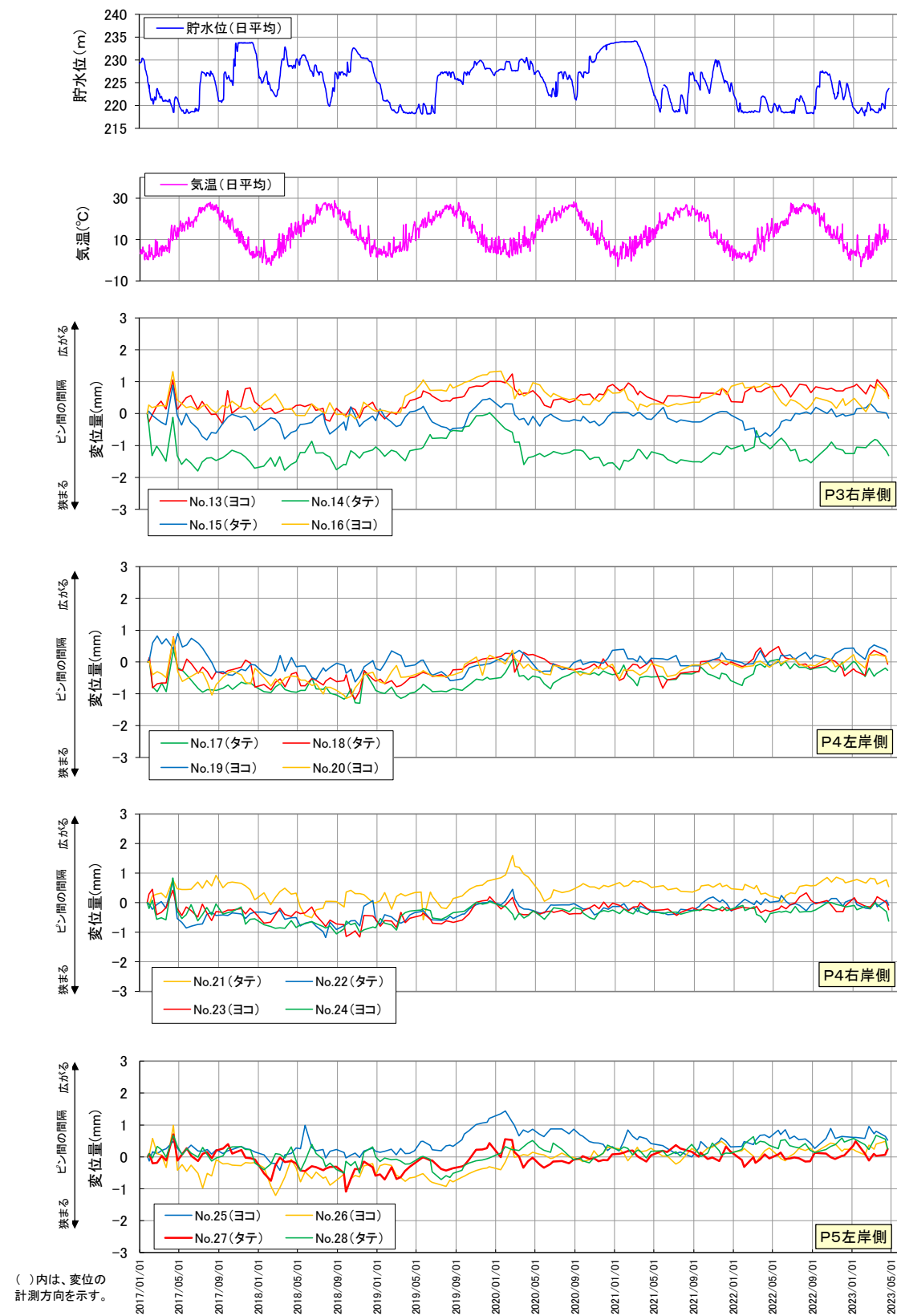


(2) 調査結果

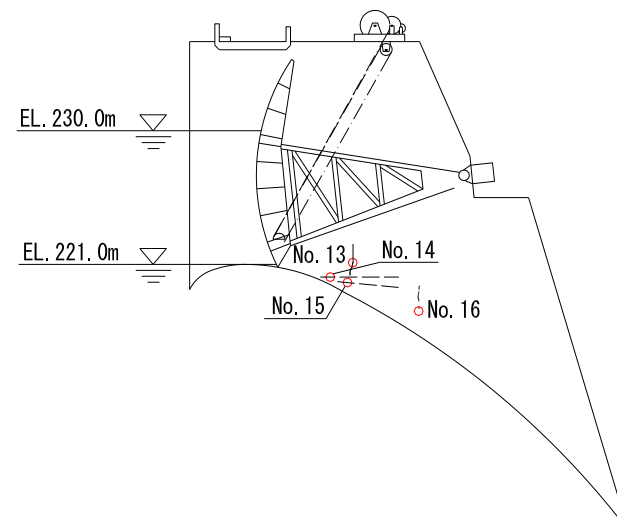
① ひび割れ幅の手動計測（ピン間距離） 結果



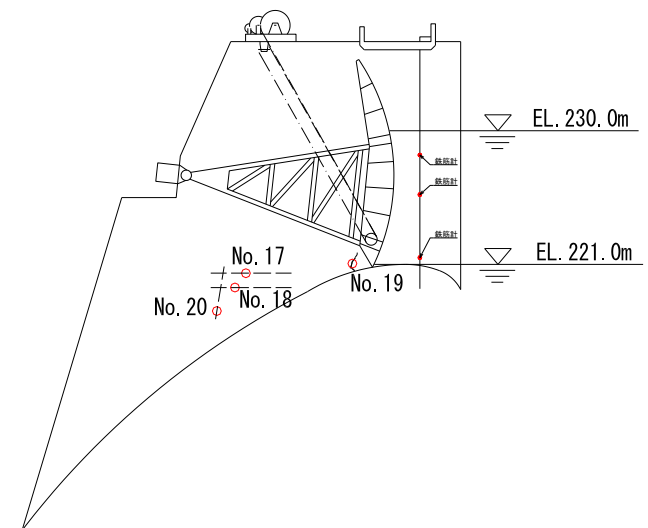
門柱側部ひび割れ幅計測グラフ②



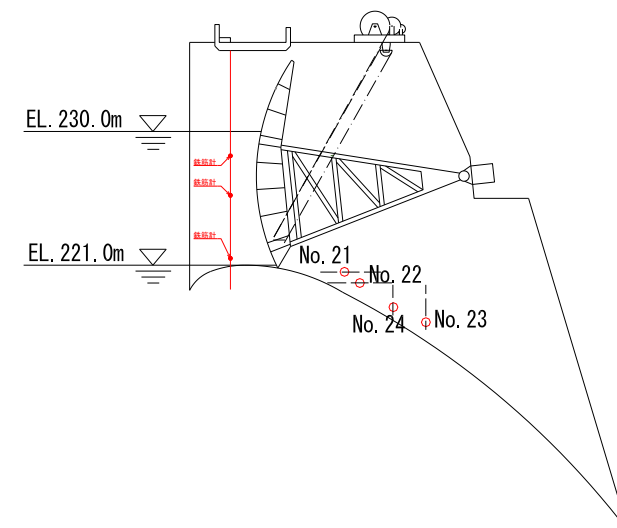
ゲートピア側面 (P3右岸側)



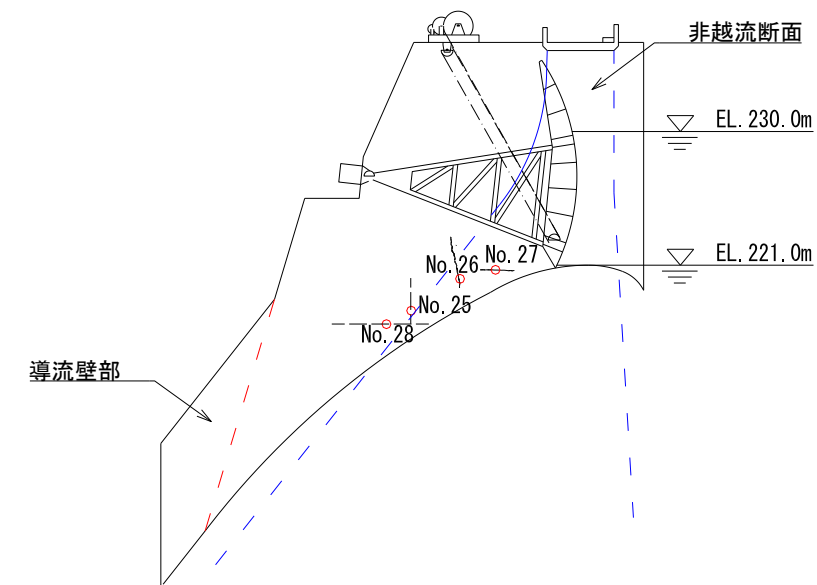
ゲートピア側面 (P4左岸側)



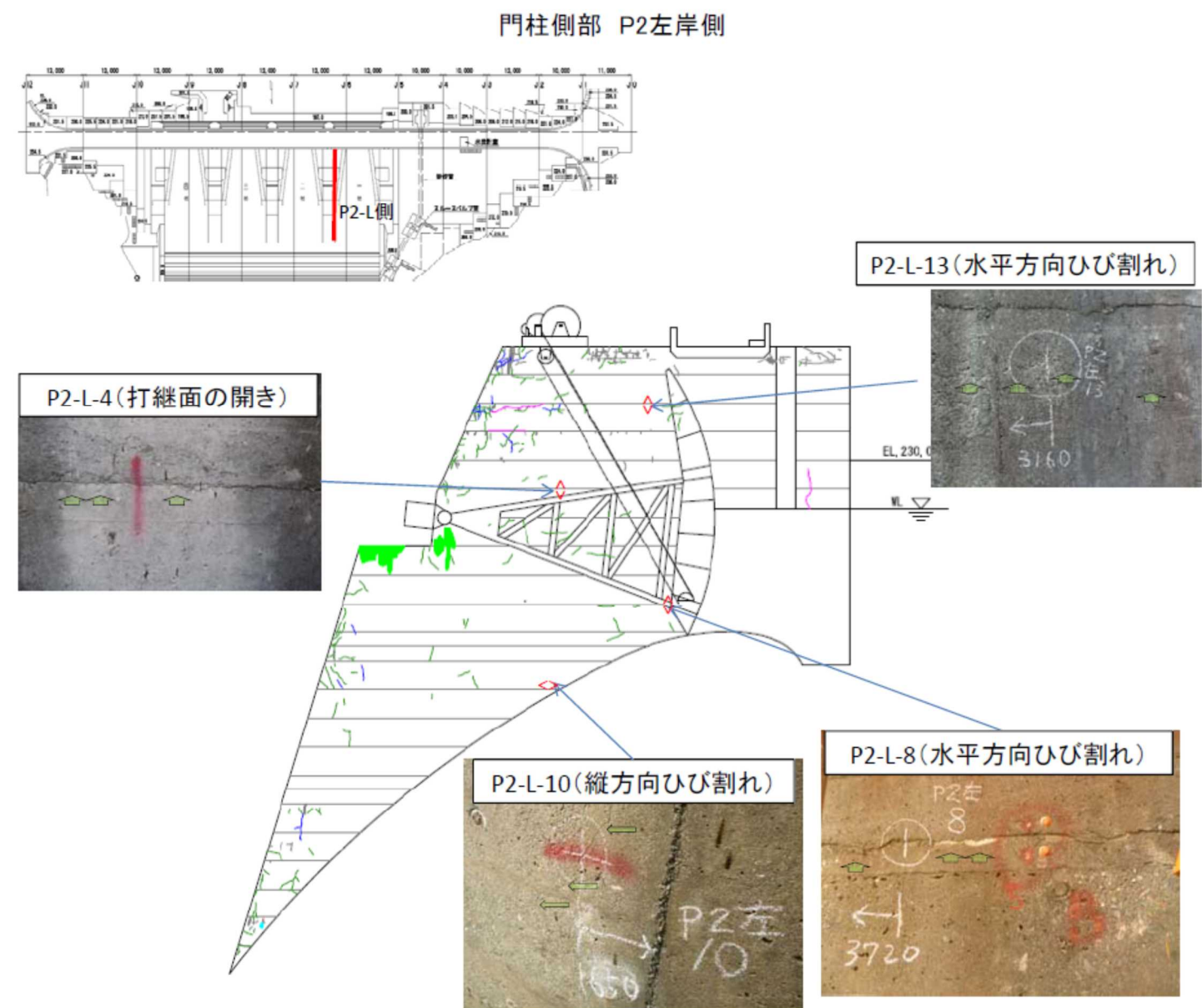
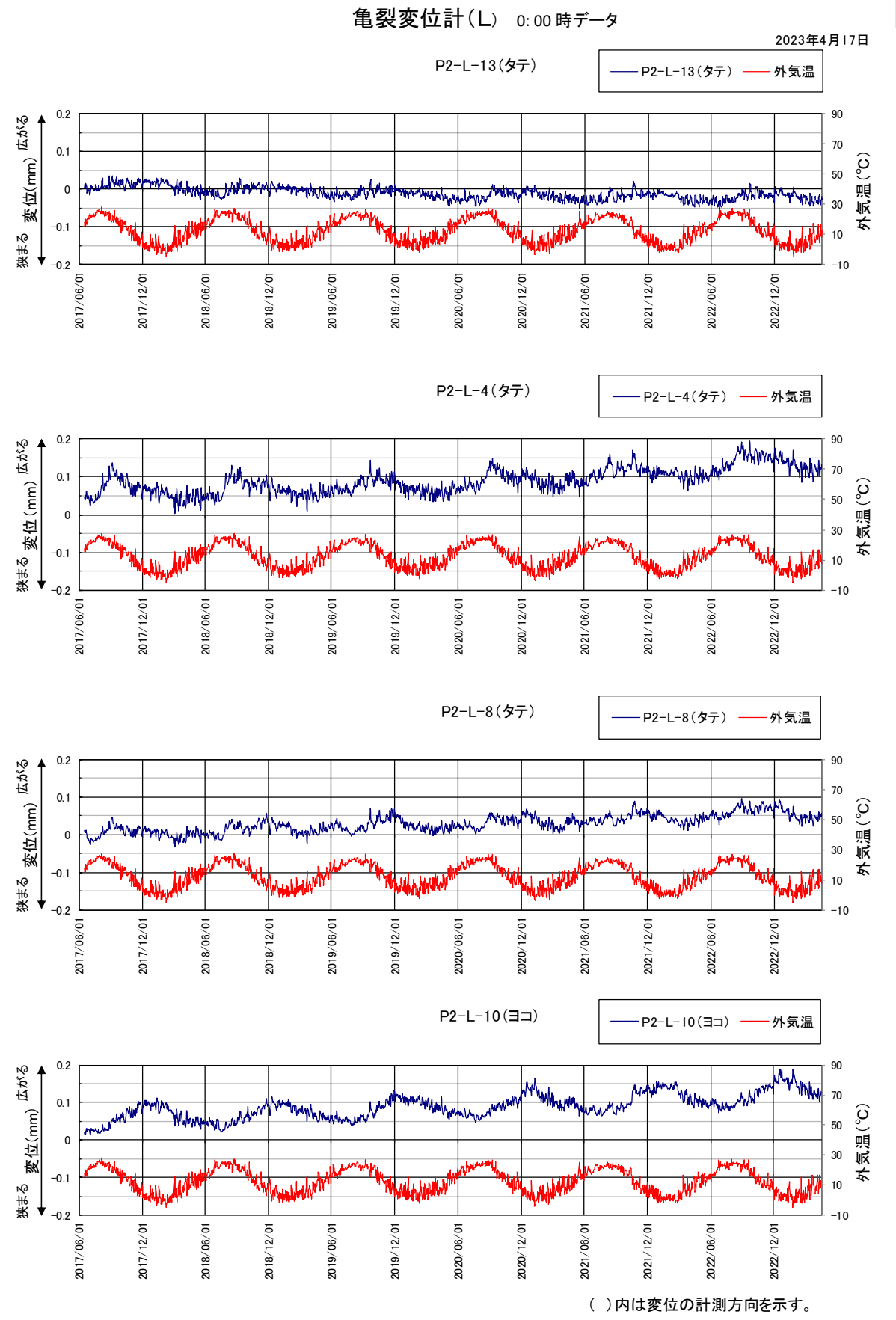
ゲートピア側面 (P4右岸側)



ゲートピア側面 (P5左岸側)

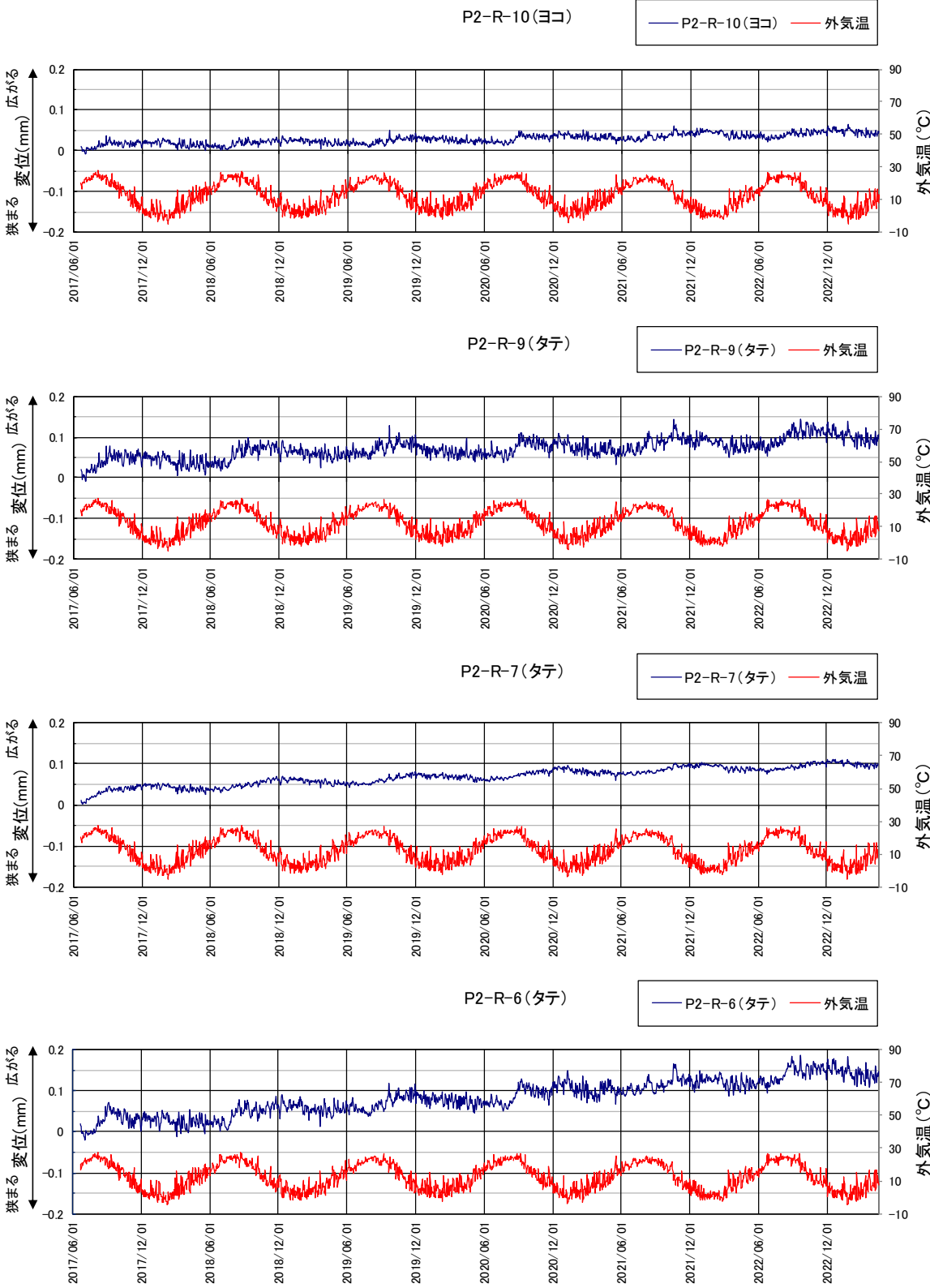


②ひび割れ幅の亀裂変位計による自動計測

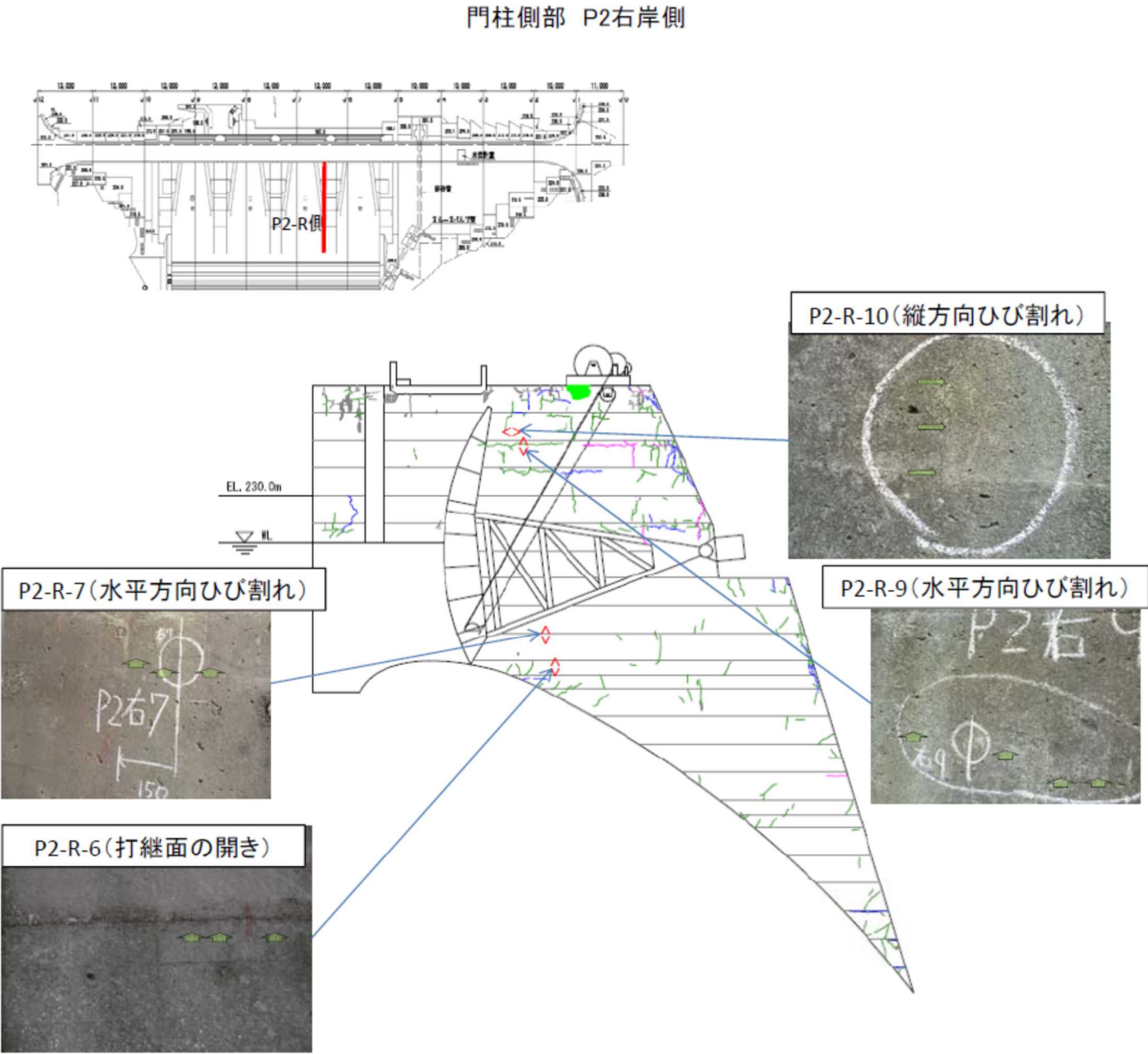


亀裂変位計(R) 0:00 時データ

2023年4月17日



()内は変位の計測方向を示す。



門柱側部ひび割れの計測結果まとめ

【手動計測値】

- ・ 全体的には概ね一定の動きを計測しており、急激な変動は見られない。
- ・ 但し、No. 2 (P1 右岸側)、No. 4 と No. 5 (P2 左岸側)、No. 21 (P4 右岸側)、No. 26 (P5 左岸側) では、2019 年 (R1 年) 夏期に若干広がりの傾向が見られたことから、今後も、門柱の傾倒とひび割れ進展の関連性について、モニタリングを継続する。

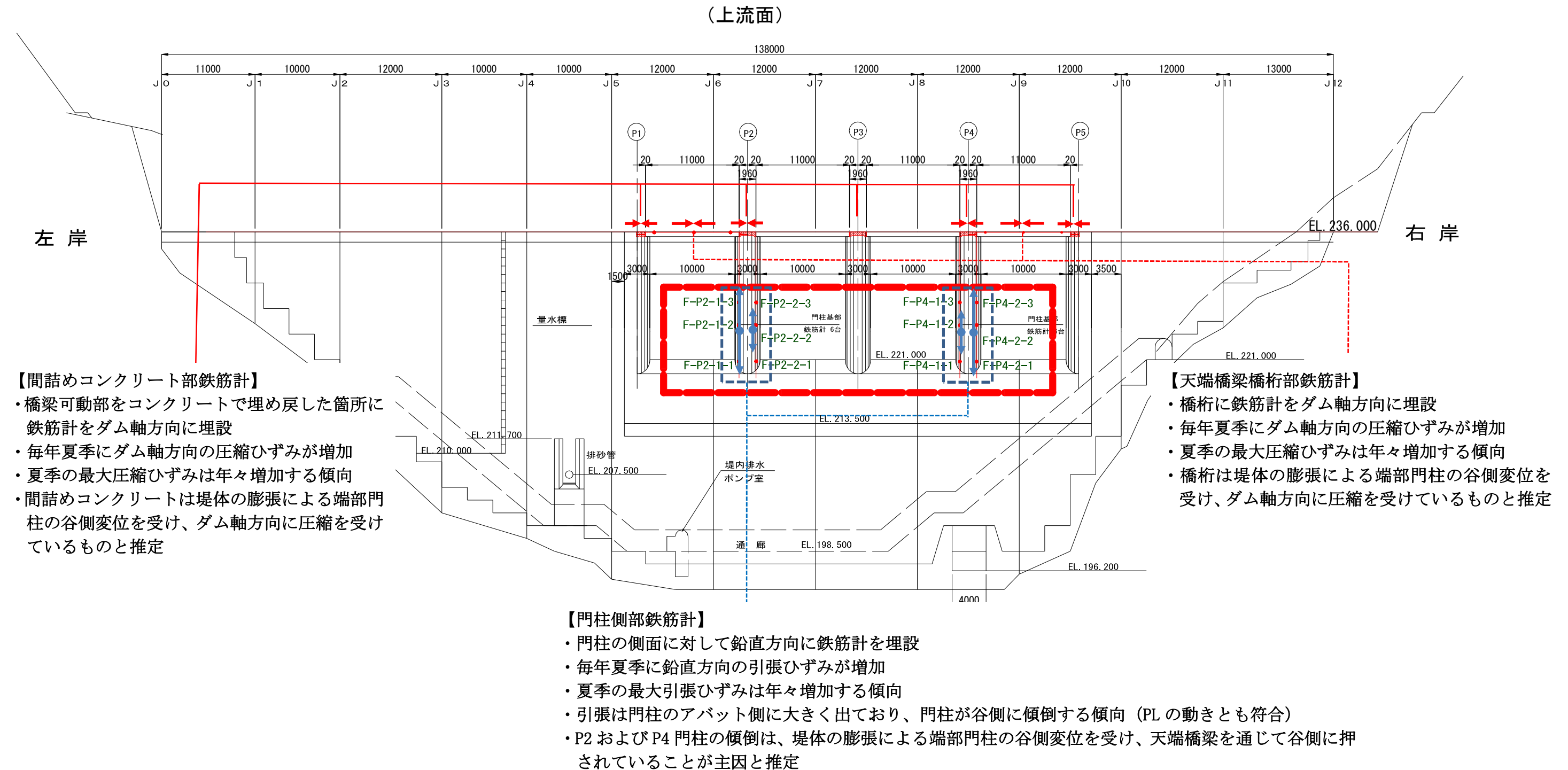
【亀裂変位計】

- ・ 全体的には計測値の動きは小さく、急激な変動は見られない。
- ・ ただし、右岸側：P2-R-7, P2-R-6 において、経年的に若干広がる傾向が見られるが、変位量自体は小さい。門柱の傾倒とひび割れ進展の関連性について、モニタリングを継続する。

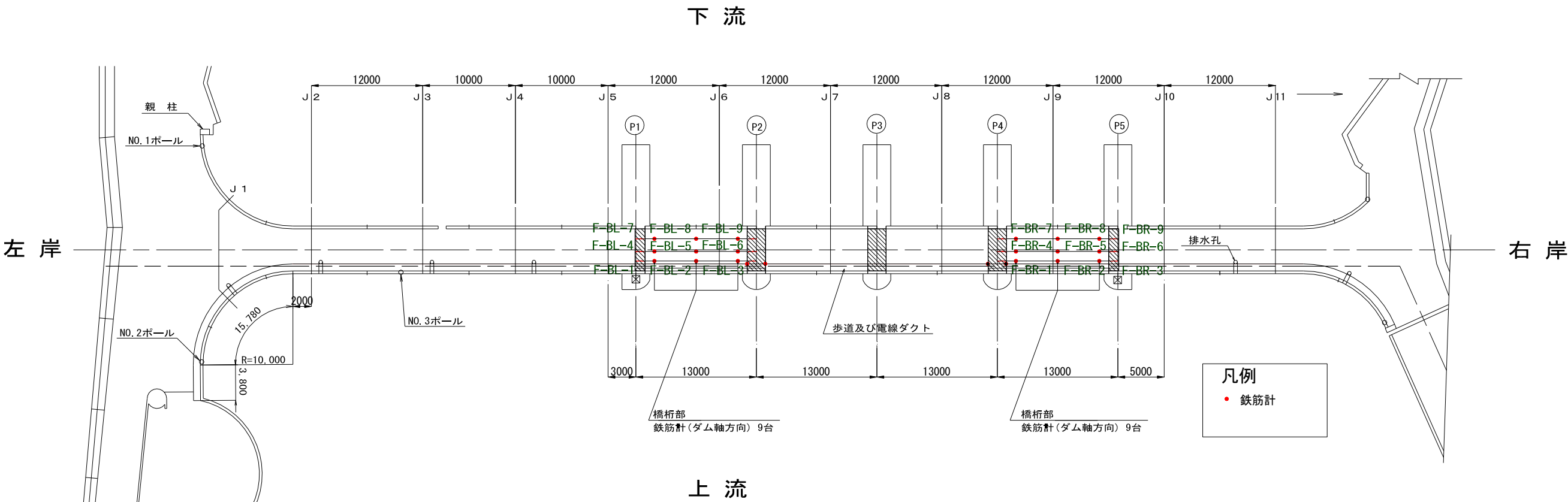
3. 堤頂部および門柱側部ひずみ

(1) 鉄筋計による堤頂部および門柱側部のひずみ計測

新宮ダムでの鉄筋計によるひずみ計測は、天端橋梁部の橋桁、間詰めコンクリート部、P2 および P4 門柱側部で実施している。全体的な挙動を示すと、以下のとおりである。



1) 橋桁（鉄筋計）

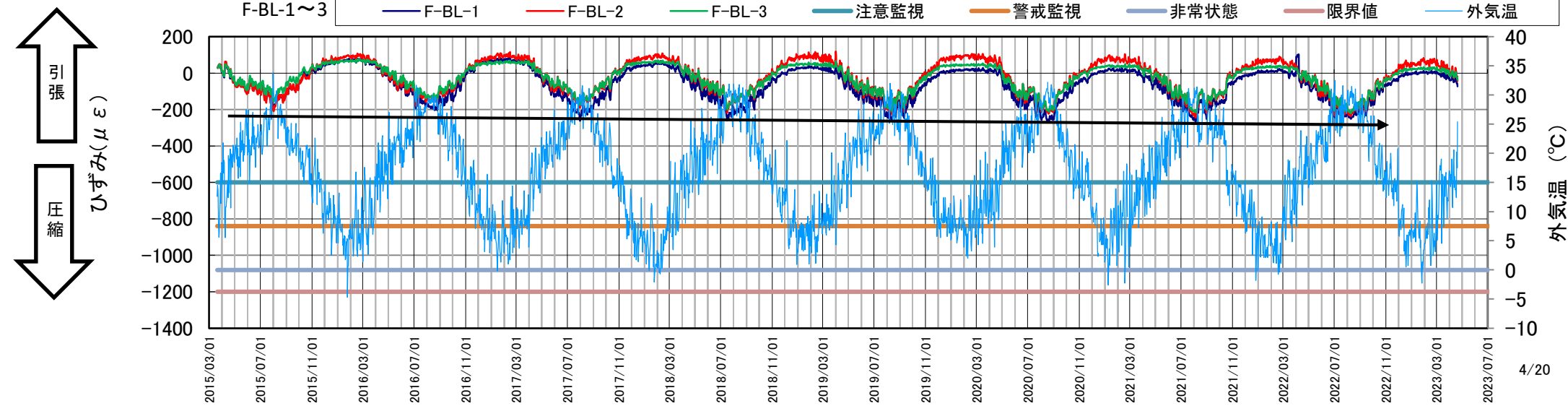


計測結果 (P1-P2間橋桁ひずみ：鉄筋計)

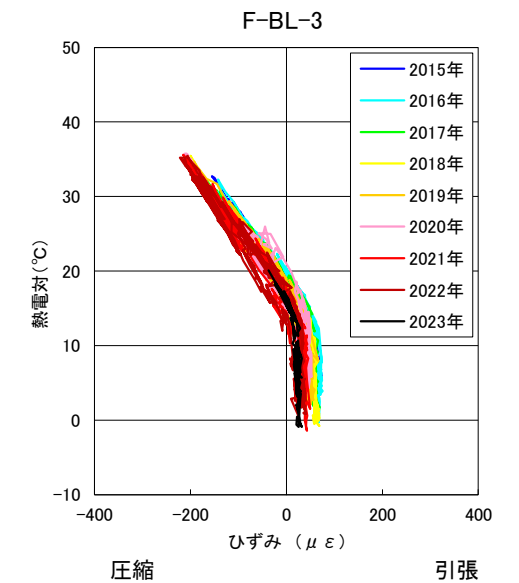
※注釈（観測ひずみの目安）

注意監視：設計基準強度時の圧縮ひずみの 50%、警戒監視：設計基準強度時の圧縮ひずみの 70%、

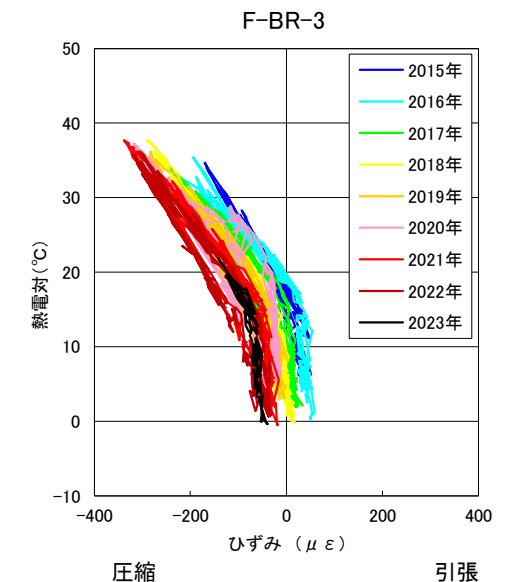
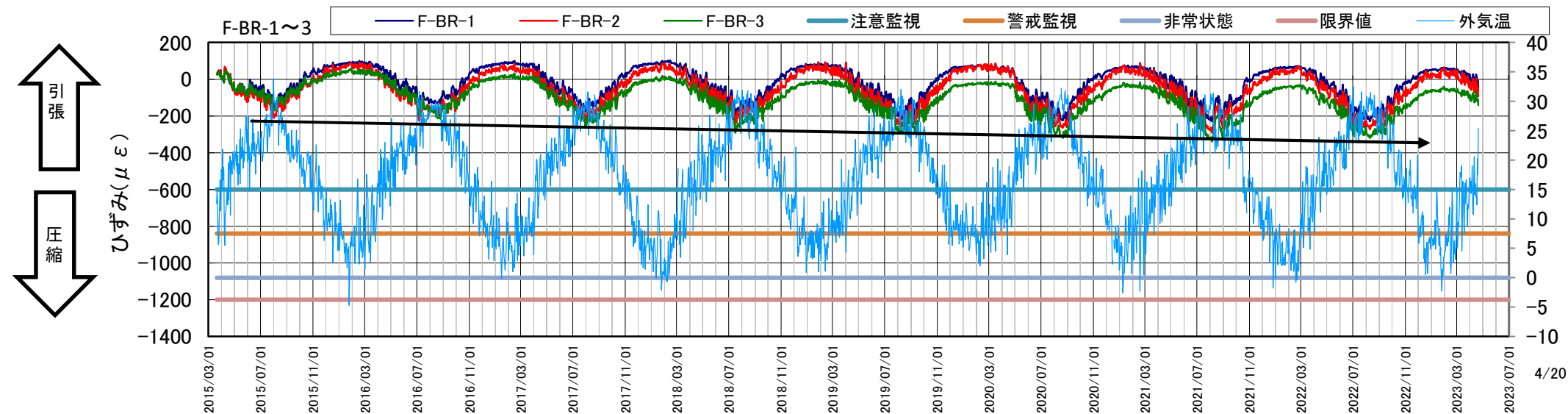
非常状態：設計基準強度時の圧縮ひずみの 90%、限界値：設計基準強度時の圧縮ひずみ



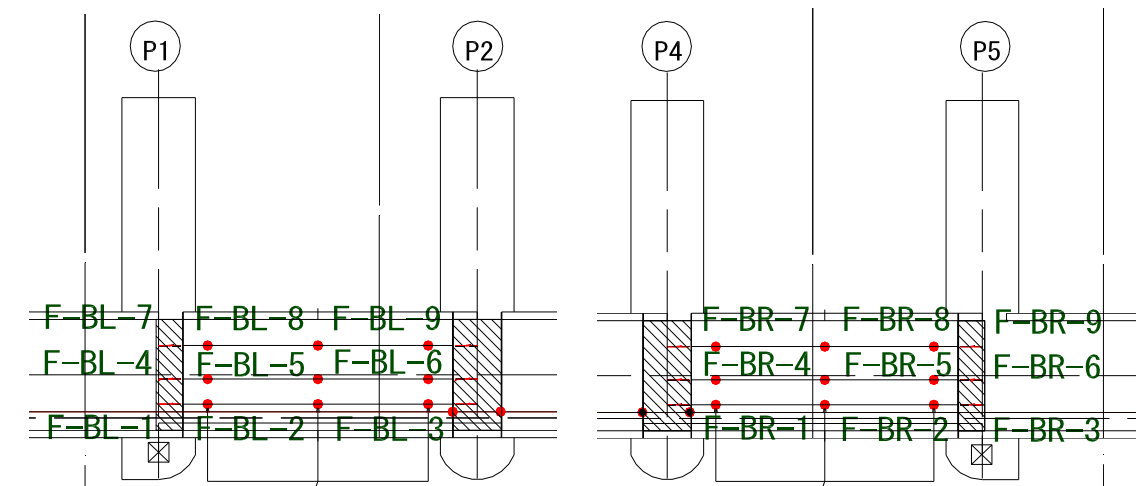
コンクリート温度（熱電対）とひずみの関係



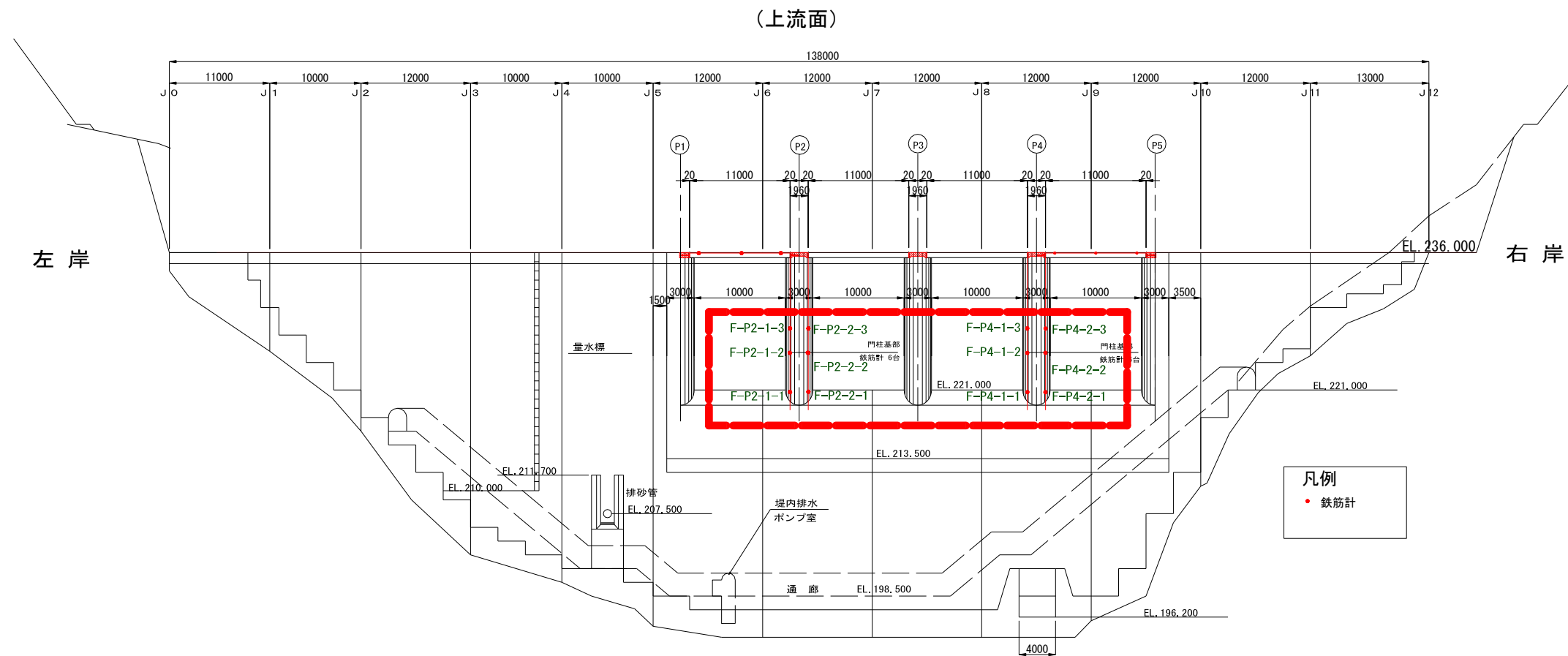
計測結果 (P4-P5間橋桁ひずみ：鉄筋計)



- P1-P2 間、P4-P5 間とも、ひずみは圧縮側への増加傾向が見られる。これは、温度荷重（若しくは温度変化に起因する荷重）以外の堤体コンクリート膨張の影響が考えられる。
- 圧縮ひずみの最大値は $270 \mu \epsilon$ (F-BL-1)、 $340 \mu \epsilon$ (F-BR-3) 程度 (R3.8)。R4 年度の最大値は $250 \mu \epsilon$ (F-BL-1)、 $320 \mu \epsilon$ (F-BR-3) 程度 (R4.8)。



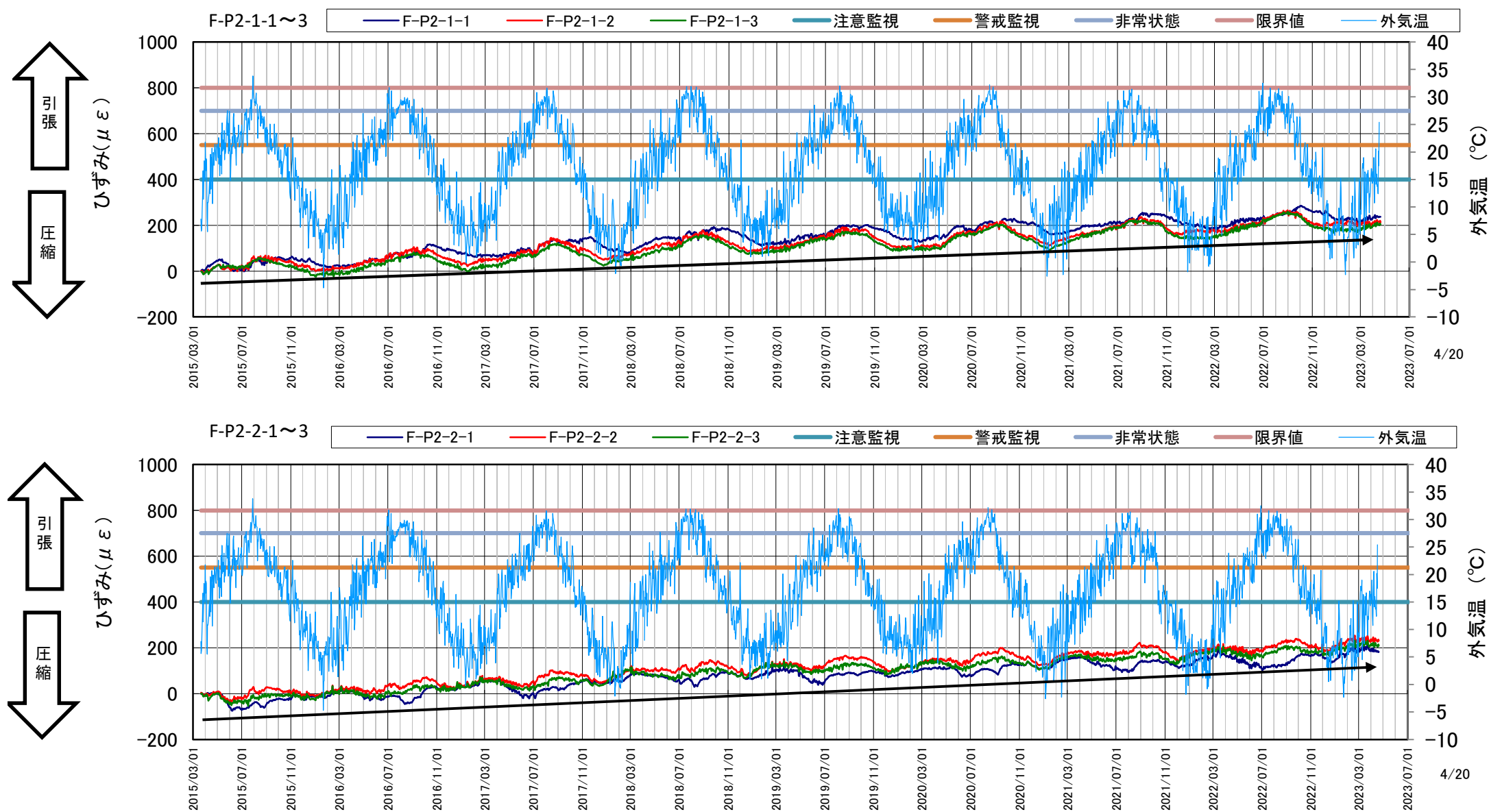
2) 門柱側部 (鉄筋計)



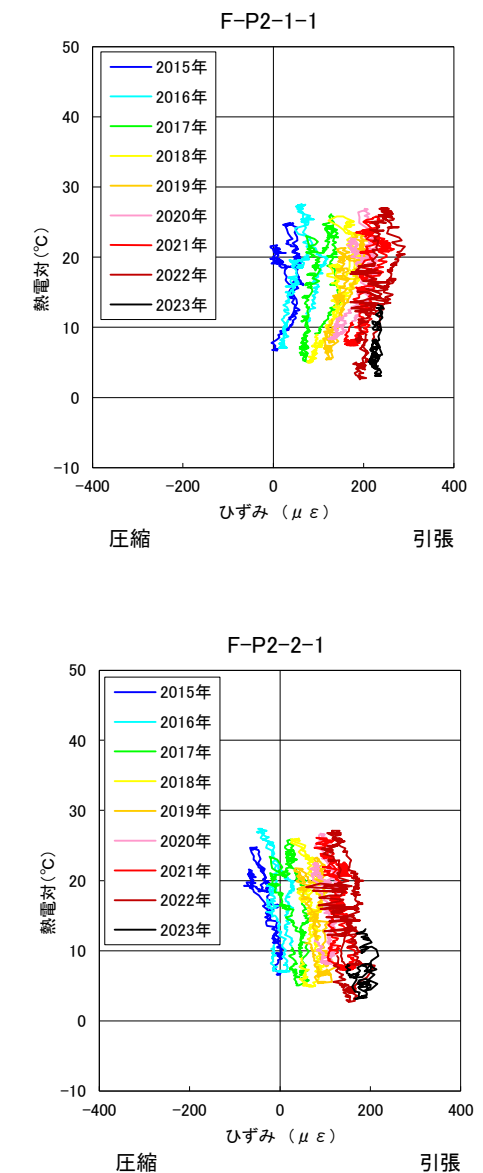
門柱側部 P2（ひずみ：鉄筋計）

※注釈（観測ひずみの目安）

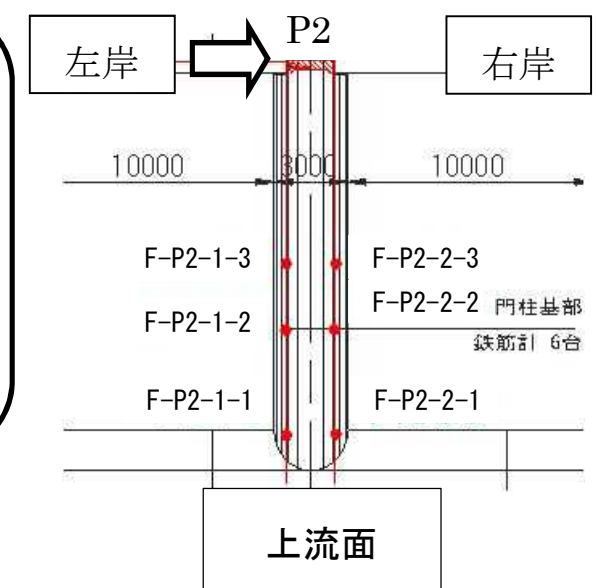
注意監視：鉄筋許容応力度時の引張ひずみの 50%、警戒監視：鉄筋許容応力度時の引張ひずみの 70%、
非常状態：鉄筋許容応力度時の引張ひずみの 90%、限 界 値：鉄筋許容応力度時の引張ひずみ



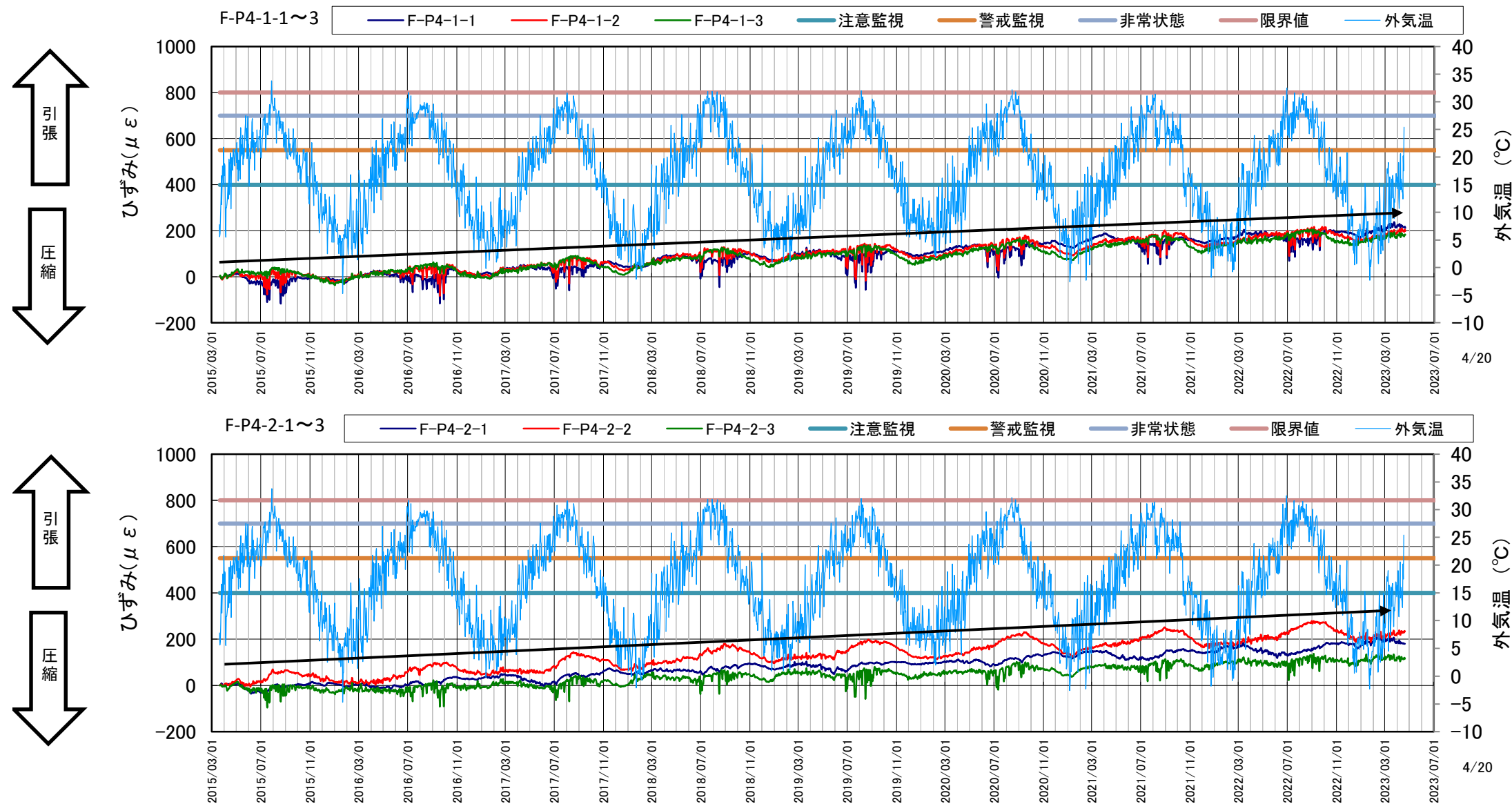
コンクリート温度（熱電対）とひずみの関係



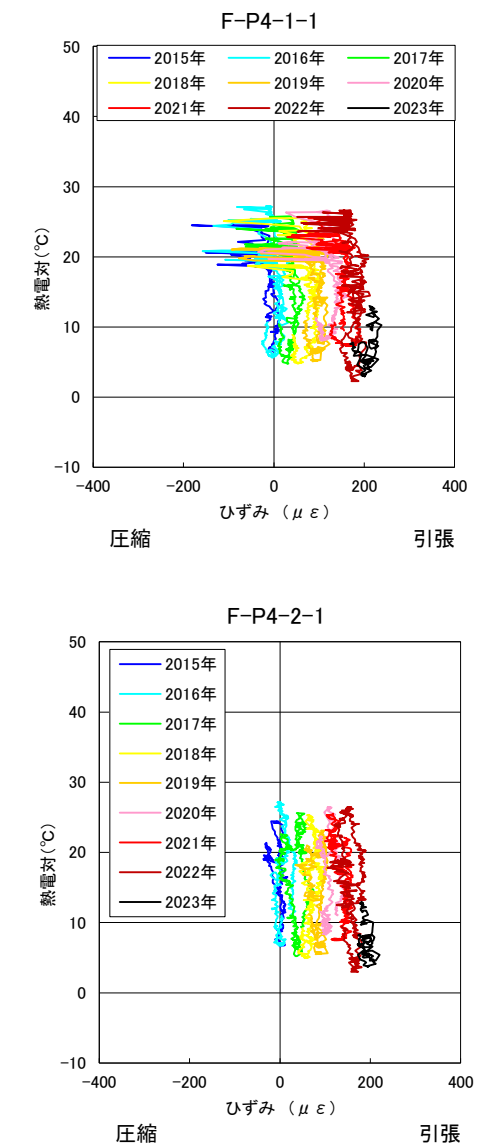
- 2022(R4) 年 9 月に F-P2-1-1 で既往最大値 290 μ 程度を観測し、経年的に増加傾向。
- P2 門柱側部の鉄筋計で左岸側と右岸側の鉄筋計の計測値を比較すると、左岸側の引張計測値が大きい。
このことは、相対的に P2 門柱が右岸側（谷側）に傾倒していることを示唆している。
- 左岸側鉄筋計について、夏期に引張が大きく観測され、冬期に引張が小さく観測されるという動きは、PL の夏期に谷側に動き、冬期に山側に戻るといふ動きと符合している。
- 門柱部の全ての鉄筋計で張ひずみが増加しており、堤体膨張に伴い端部門柱が谷側変位を受け、天端橋梁を通じて P2 門柱が谷側に押された結果と推定される。



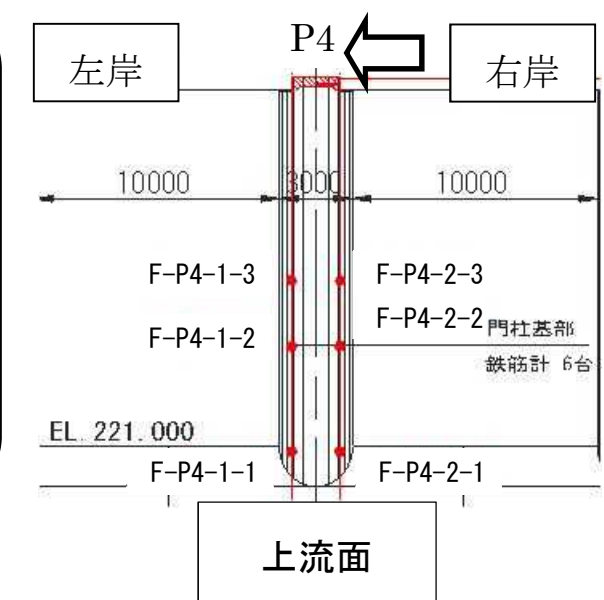
門柱側部 P4（ひずみ：鉄筋計）



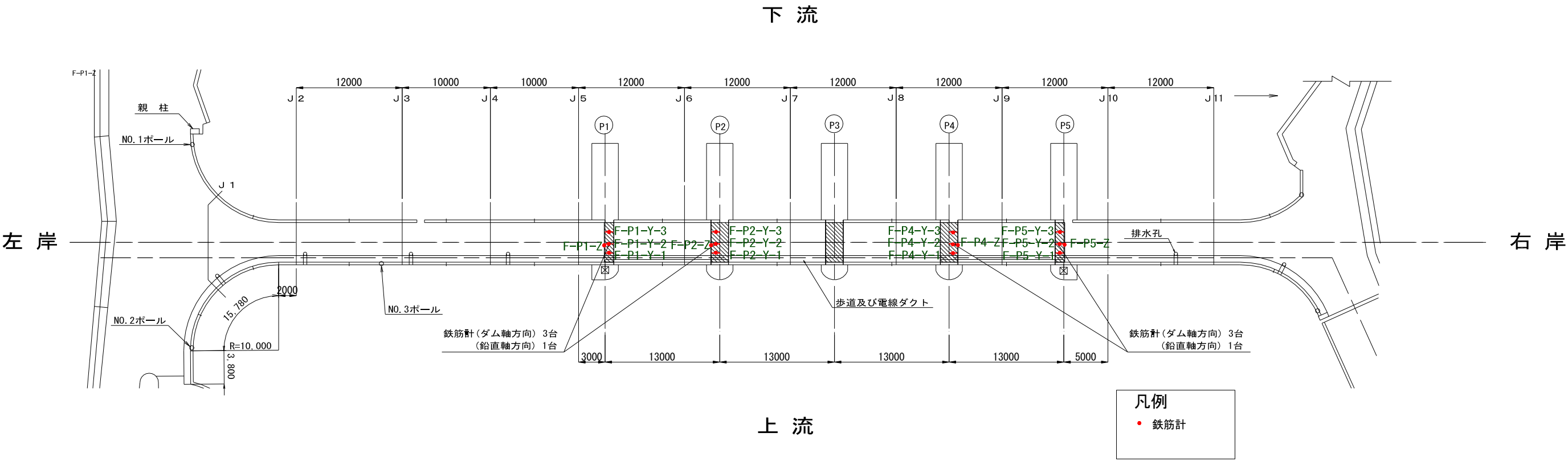
コンクリート温度（熱電対）とひずみの関係



- 2022 (R4) 年 8 月に F-P4-2-2 で既往最大値 280 μ 程度を観測し、経年的に増加傾向。
- P4 門柱側部の鉄筋計で左岸側と右岸側の鉄筋計の計測値を比較すると、右岸側の計測値が大きい。このことは、相対的に P4 門柱が左岸側（谷側）に傾倒していることを示唆している。ただし、F-P4-2-1 および F-P4-2-3 ではこの関係は明瞭に確認できない。
- F-P4-2-2 について、夏期に引張が大きく観測され冬期に引張が小さく観測されるという動きは、PL の夏期に谷側に動き冬期に山側に戻るといった動きと符合している。
- 門柱部の全ての鉄筋計で引張ひずみが増加しており、堤体膨張に伴い端部門柱が谷側変位を受け、天端橋梁を通じて P4 門柱が谷側に押された結果と推定される。

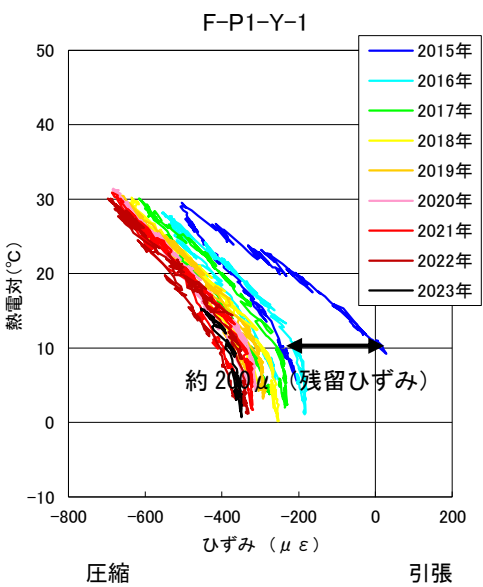
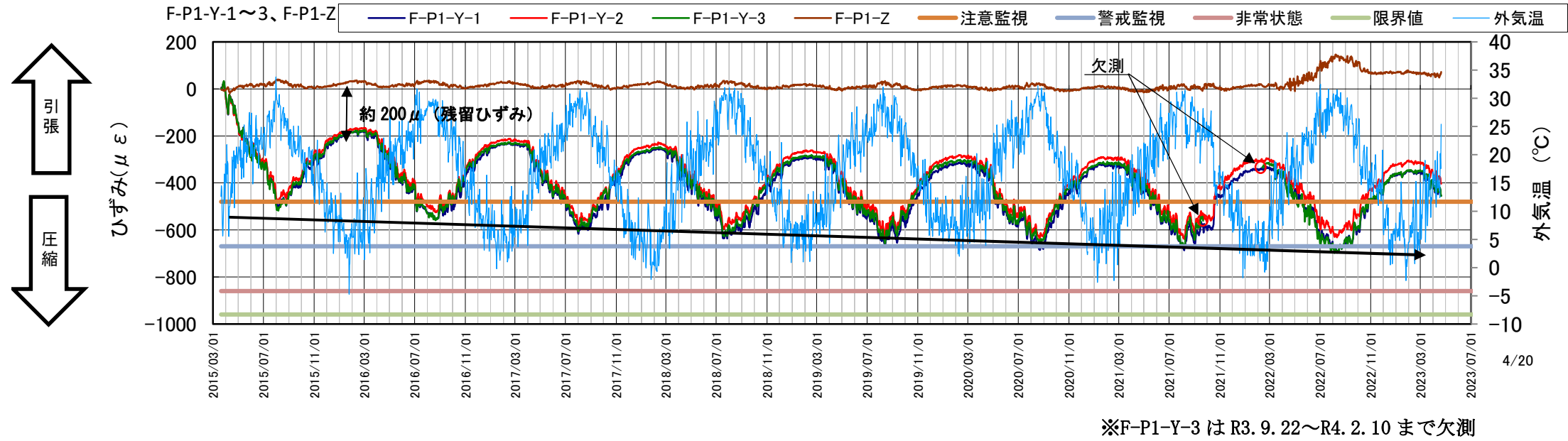


3) 門柱頂部間詰めコンクリート（鉄筋計）

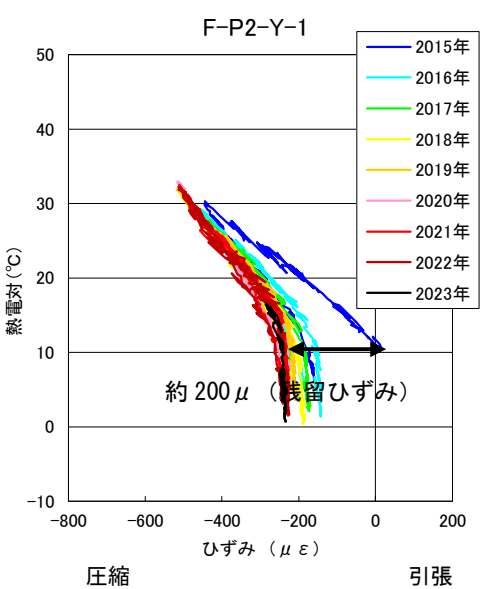
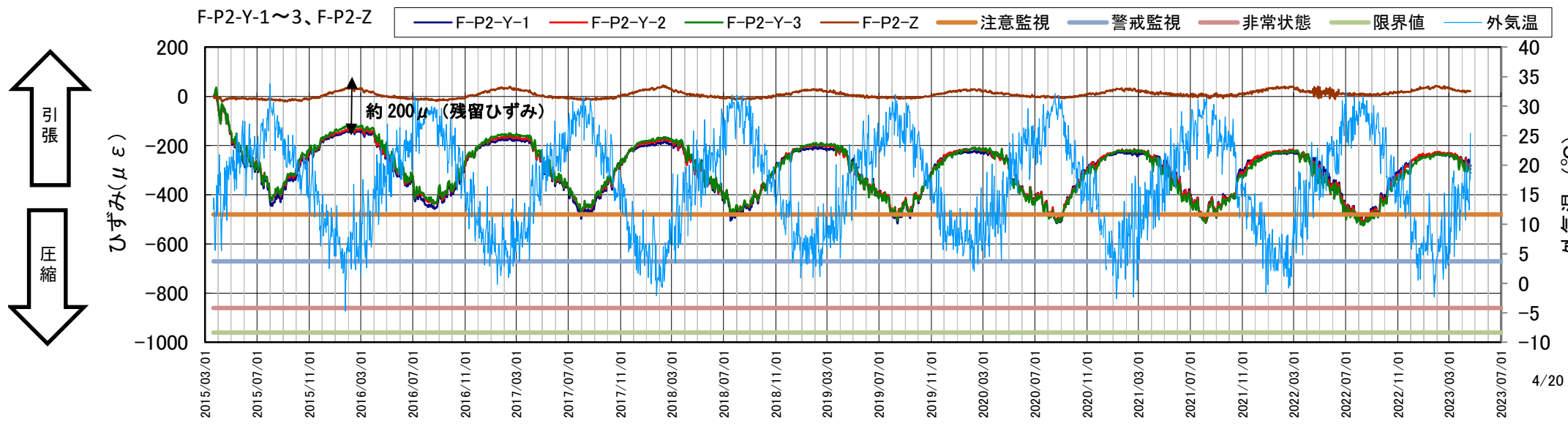


P1 間詰めコンクリート（ひずみ）

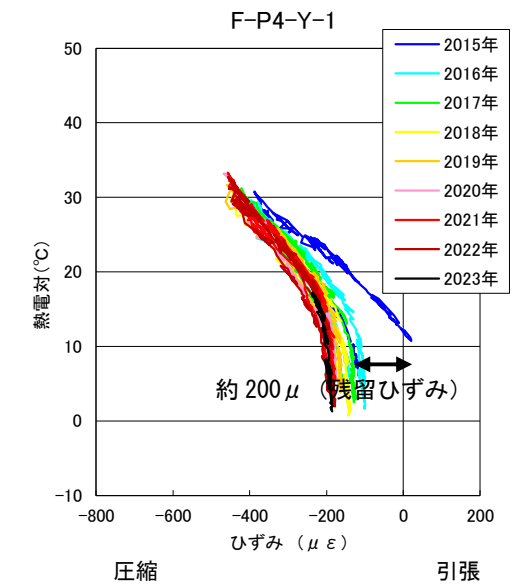
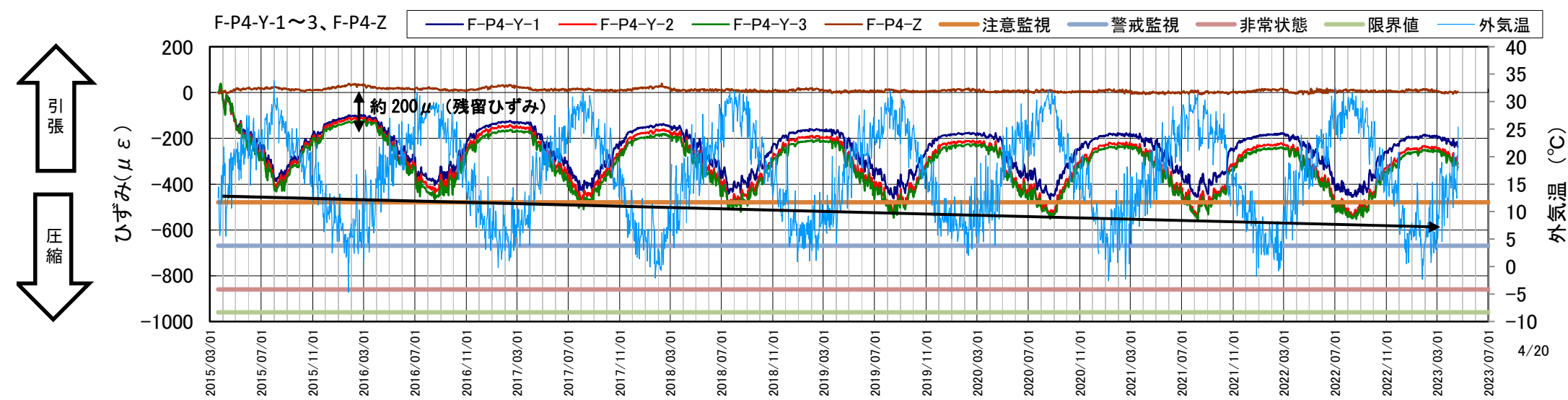
※注釈（観測ひずみの目安）
注意監視：設計基準強度時の圧縮ひずみの 50%、警戒監視：設計基準強度時の圧縮ひずみの 70%、
非常状態：設計基準強度時の圧縮ひずみの 90%、限 界 値：設計基準強度時の圧縮ひずみ



P2 間詰めコンクリート（ひずみ）

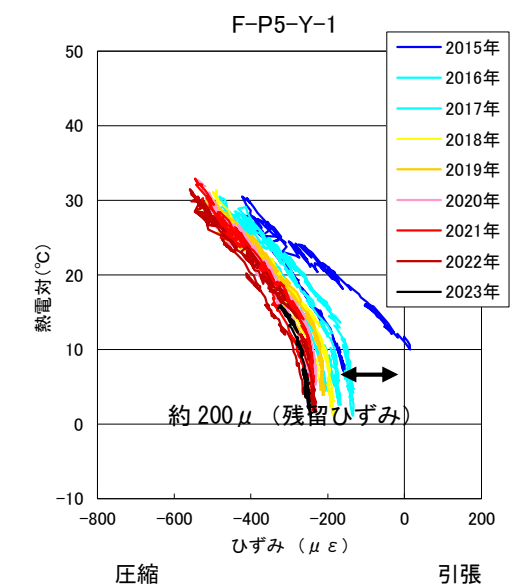
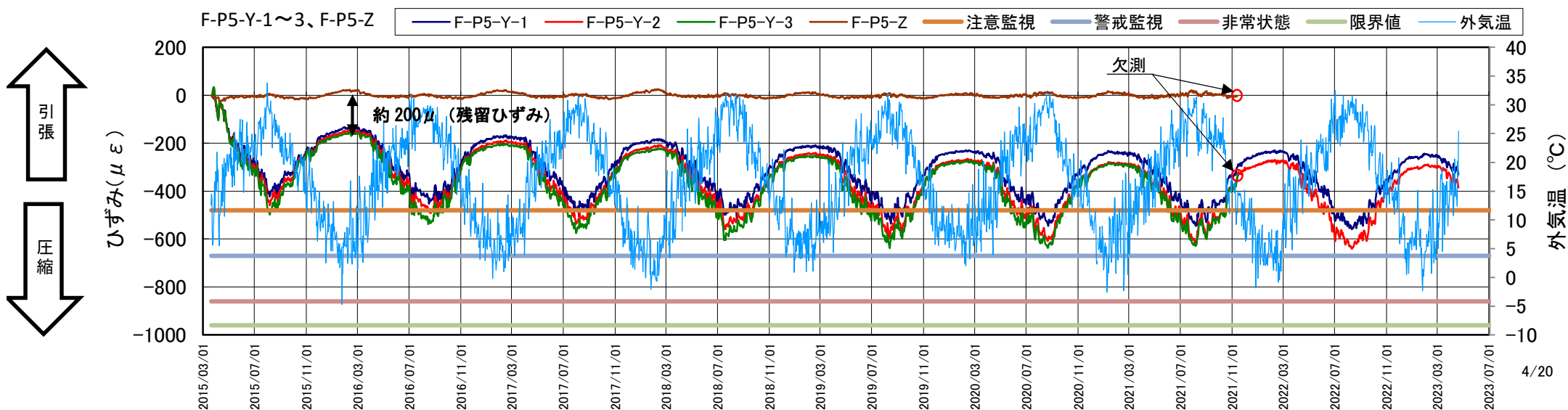


P4 間詰めコンクリート（ひずみ）



P5 間詰めコンクリート（ひずみ）

※F-P5-Y-3 は R3. 11. 16 より、F-P5-Z は R3. 11. 14 より欠測



- ・間詰めコンクリート部におけるダム軸方向成分の鉄筋計に関して、H28.2 時点で圧縮方向に残留ひずみ（約 $200 \mu \epsilon$ ）が残ってしまったと考えられる（間詰めコンクリート打設は H27.2）。鉄筋計に付随する熱電対とひずみの相関図、橋桁部の鉄筋計の値を考慮しても、H28.2 時点では、圧縮応力がほとんど生じていなかったと推定される。
- ・この残留ひずみ（約 $200 \mu \epsilon$ ）を考慮すると、2022 年夏期に圧縮ひずみは最大約 $500 \mu \epsilon$ となっている(F-P1-Y-1)。
- ・この値は、間詰めコンクリートの圧縮強度 24N/mm^2 （ひずみ $960 \mu \epsilon$ ）に対して、注意監視の値（ $480 \mu \epsilon$ ）に相当する値に達している。
- ・H28.2 以降について残留ひずみがほとんど生じていないとすれば、圧縮ひずみは経年的に増加傾向が見られる。

堤頂部および門柱側部ひずみの計測結果まとめ

- 埋設計器による計測結果より、門柱頂部および橋桁部では圧縮ひずみに増加が認められる。堤体の谷側への累積変位の影響により、天端橋梁および門柱頂部への圧縮作用が増加していると考えられる。
- 生じているひずみ量は、橋桁部では限界値に対して 1/4 程度、間詰コンクリート部では限界値に対して 1/2 程度となっている。(ただし、計器埋設時点からのひずみ量)
- 門柱側部の最大引張ひずみは P2 門柱基部で 290μ 、P4 門柱基部で 280μ 程度であり、また、年々増加している。
- 生じている鉄筋のひずみ量は、許容引張応力度に対して 1/3 程度となっている。(ただし、計器埋設時点からのひずみ量)

4. まとめ

- ・PL 計測結果から、暫定対策工後も左右岸プラムラインは夏季に谷側変位が増加する動きが見られており、この傾向が止まった兆候は認められない。引き続き、モニタリングを継続するとともに、追加暫定対策工による影響についても注視していく。なお追加暫定対策後に PL 計測値、TS 計測値、鉄筋計の挙動の傾向に大きな変化は生じていないものと考えている。
- ・R4 年度は右岸側のダム軸方向 PL に一時的に特異な動きが見られたが、現在は例年の位置に戻っている。他の計器挙動、堤体巡視等を通じて、モニタリングを継続し、ゲート操作性の確保に努める。
- ・門柱側部のひび割れ計測結果では大きな変動は見られない。一部の計器において、ひび割れの増加が若干確認できる程度であるが、門柱の傾倒とひび割れ進展の関連性については、今後もモニタリングを継続する。
- ・門柱頂部および橋桁部では圧縮ひずみの増加が認められることから、堤体膨張に伴い、天端橋梁および門柱頂部への圧縮作用が増加していると考えられる。
また、門柱側部では引張ひずみが年々増加しており、門柱の谷側への傾倒が進行していると考えられる。またそれに伴い、門柱基部に曲げが発生している可能性が高い。

以上より、暫定対策工後もひずみの増加傾向は止まっておらず、将来、天端橋梁および間詰めコンクリートの損傷、門柱基部の変状進行のリスクがある。

よってモニタリングを継続し、堤体および門柱の挙動に急激な変状が発生していないか監視していく。また必要に応じて、対策工の実施も視野に入れる。（特にゲートの隙間確保の対応。）