

# 円山川八条樋門の緊急対策について

松田 雄也<sup>1</sup>・久内 忠<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 兵庫国道事務所 計画課 (〒650-0042 兵庫県神戸市中央区波止場町3-11)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 河川管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

本稿では、八条排水機場（樋門）で生じた漏水の原因究明・応急対策・対策工・今後のモニタリングに関する調査・研究について報告する。八条排水機場は円山川左岸14.9k付近に位置し、豊岡市街地の内水排除を目的に造られた施設である。排水機場は八条樋門によって円山川と接続しており、揚排水を行っている。

2018年（平成30年）7月の梅雨前線降雨は円山川の水位が氾濫危険水位を超過する大きな出水をもたらし、当排水機場は内水排除のため稼動した。その際、堤脚から大量の漏水が生じ、排水機場の運転が困難な状況となった。

キーワード 樋門、変状、沈下、漏水、対策工

## 1. はじめに

八条排水機場（樋門）は円山川左岸14.9k付近に位置し、豊岡市街地の内水排除を目的に造られた施設であり、1978年（昭和53年）に竣工し、約40年間供用されている。

当施設の位置する豊岡盆地は、沖積低地であり厚い沖積層が堆積している。排水機場・樋門の直下には軟弱な沖積粘性土が15～20m程度堆積している。これにより基礎形式は杭基礎（鋼管φ500、L=30m）となっている。

また、1997年～2001年（平成9年～13年）にかけて国道312号の拡幅工事が行われ、樋門函渠補強・L型擁壁による土留壁が施工されている。

2018年（平成30年）7月の梅雨前線降雨時に排水機場を稼動した際、L型擁壁端部の堤脚から大量の漏水が生じ、排水機場の運転が困難な状況となった。



図-1 施設位置図

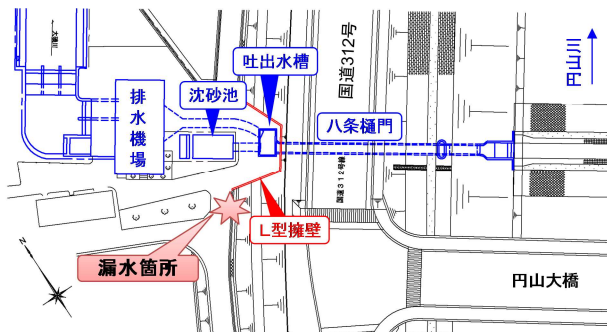


図-2 各施設配置と漏水箇所

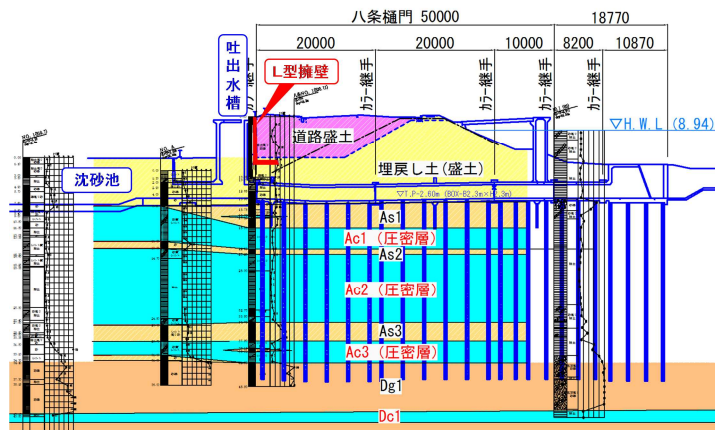


図-3 八条樋門形状と地質状況

## 2. 漏水の概要

堤脚からの漏水は、2018年（平成30年）7月6日23時に発見され、7月7日19時20分に終息している。この時間帯は、排水機場が稼動しており、かつ、外水位が堤内地盤より高い状態であり、樋門函渠が内圧状態となっていた。



図-4 漏水時の状況

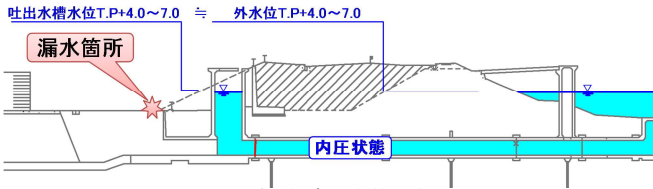


図5 漏水時の水位関係

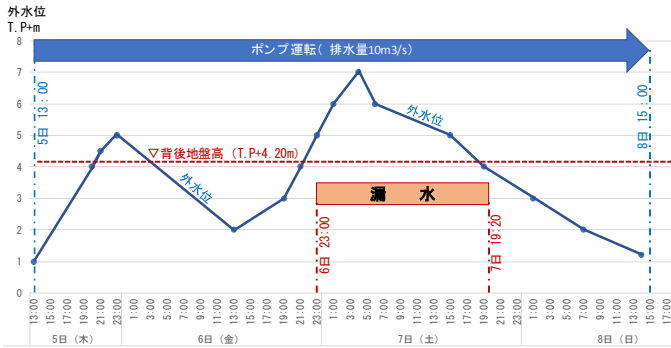


図6 漏水時間と堤内地盤の関係

### 3. 漏水原因究明

漏水原因の究明を行うために必要な点検・調査を行った。なお、目視・スコープ・レーダー等の非破壊調査では知れる情報に限界があったため、試掘調査を行うとともに、対策工事期間も調査を継続し、適宜、検討のフィードバックを行った。

#### (1) 樋門本体の調査

##### a) 樋門函内の目視点検・スコープ調査

樋門函内の敷高はT.P.-2.60mであり、円山川平水位T.P.+0.6m程度より3.2m程度低く、常時水没している状態である。したがって、樋門川表・裏ゲートを全閉とし、樋門内の水をポンプ排水して函内点検を行った。

その結果、樋門函渠は道路盛土下部で最大45cm程度沈下していることが確認できた。さらに、沈下により4cm程度のクラック・8cm程度の継手開きが確認された。

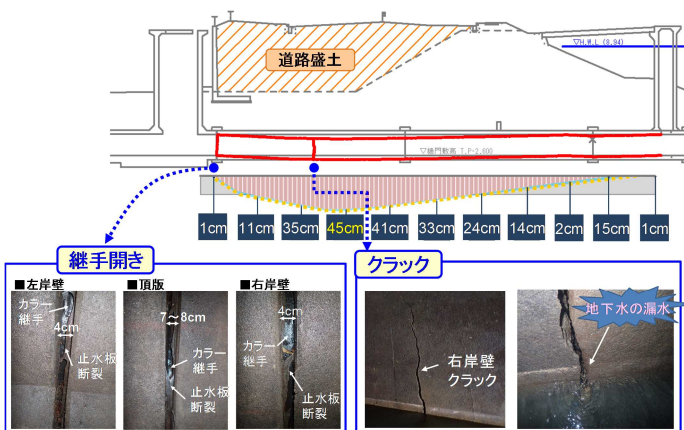


図7 函内調査結果

クラック部においてスコープ調査を実施したところ、クラックは外側まで貫通しており、さらに、漏水により砂粒分が吸い出され、奥行き10cm程度の空洞が生じていることが確認できた。

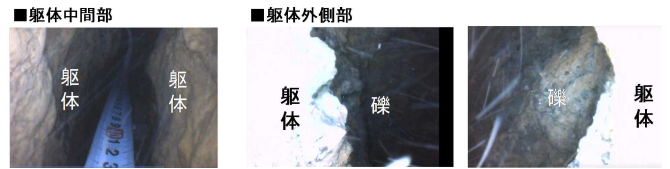


図2 スコープによるクラック部の様子

また、当樋門は杭基礎でありながら、函体が沈下しているため、函渠の押し抜きせん断・杭先端支持力不足が懸念された。ただし、道路拡幅時の補強により函体底版が打ち増しされており、その剥離・既設函渠底版の破壊状況は非破壊検査では確認できないため、対策工事の函渠撤去時に杭先端の状況を調査した。(本稿6.に記載)

#### b) 連通試験

函渠下面における空洞の有無・遮水矢板の機能を確かめるため連通試験を行った。なお、湧水が著しい状態であり、観測孔1-1~2-2までを掘孔後、速やかに閉塞した。

連通試験の被圧水頭は、川裏側(調査孔1-1・1-2)地点では50cm程度差

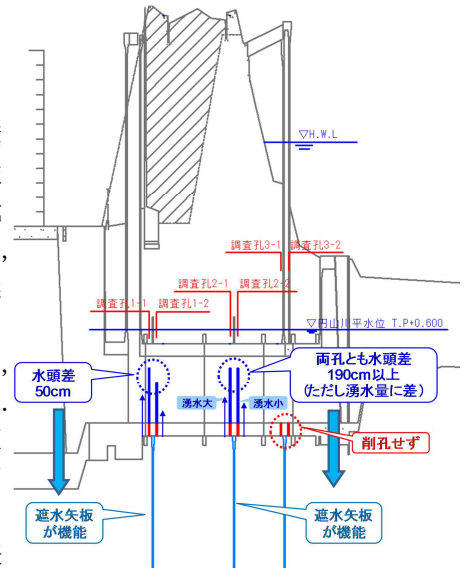


図8 連通試験結果

あり、遮水矢板が機能していると思われる。中央部(調査孔2-1・2-2)地点では両孔とも被圧水頭が1.9m以上(透明管上部から噴出)であったが、湧水量が調査孔2-2の方が大幅に大きかったため、遮水矢板が機能していると思われる。なお、函渠周りの空洞については対策工事の掘削時にも調査した。(本稿6.に記載)

#### (2) L型擁壁の調査(試掘調査)

L型擁壁は杭基礎となっており、擁壁下部に空洞が生じていることが懸念されたため、部分的に試掘を行い空洞の有無を調査した。その結果、擁壁下面に最大15cm程度の空洞が生じていることが確認できた。なお、埋戻しの際はセメントミルクを充填して空洞を閉鎖した。

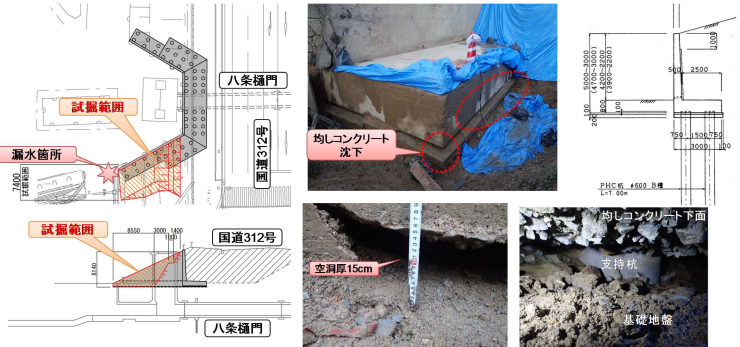


図9 L型擁壁試掘調査結果

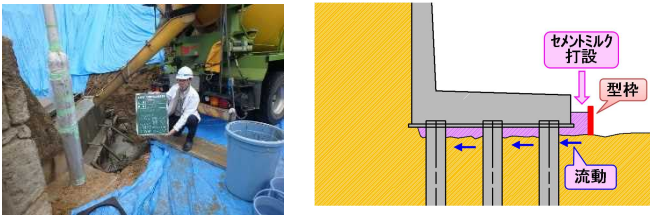


図-10 L型擁壁セメントミルク注入の様子

(3) 国道312号・川表面面調査

今回の漏水により国道312号下部に空洞が生じていないか空洞探査車により調査した。この結果、空洞は生じていなかった。また、川表面面・護岸についても大きな変状は生じていなかった。



図-11 国道312号の空洞探査



図-12 川表面面の様子

(4) 排水機場稼働による漏水調査

今回の漏水が、函渠のクラック・継手開き部から内圧状態の流水が逆流し、L型擁壁下部の空洞を伝い漏水したと予想されたため、実際に排水機場を稼働させて樋門函内に内圧を作用させ、漏水調査を行った。

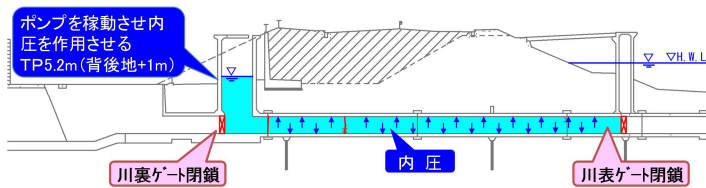


図-13 漏水調査時の函渠状態



図-14 漏水の様子

漏水調査結果は以下のとおりであった。

- 吐出水槽の水位が堤内地盤より高くなった時点で川裏側の漏水箇所でも漏水が生じた。
- 漏水は吐出水槽水位 > 堤内地盤高の時間継続した。
- 吐出水槽水位 < 堤内地盤高となった時点で、漏水は逆流に転じた。
- 川表からの漏水は確認されなかった。

(5) 考察(漏水原因について)

これまでの調査結果をもとに、漏水原因を推測した。漏水原因を以下のとおり推定した。

- 1997年～2001年(平成9年～13年)にかけて国道312号の拡幅工事が行われ、盛土荷重が増加している。これにより、函体が最大45cm程度沈下し、継手開き・クラック変状が生じ、函渠内圧時には流水が函体外に逆流する状態となっていた。
- L型擁壁が函体上部を横断しており、さらに、下部に空洞が生じていたため水みちになりやすかった。
- 建設当時の埋戻しは転圧が不十分な場合が考えられ、現地盤と埋戻し土の境界は浸透水が卓越しやすい。
- 強制排水時は水頭差9.6m程度の水圧が作用しており、函体の変状部から逆流し、L型擁壁下面の空洞を伝い漏水したと考えられる。

吐出水槽水位 T.P.+4.0 ~ 7.0 = 外水位 T.P.+4.0 ~ 7.0

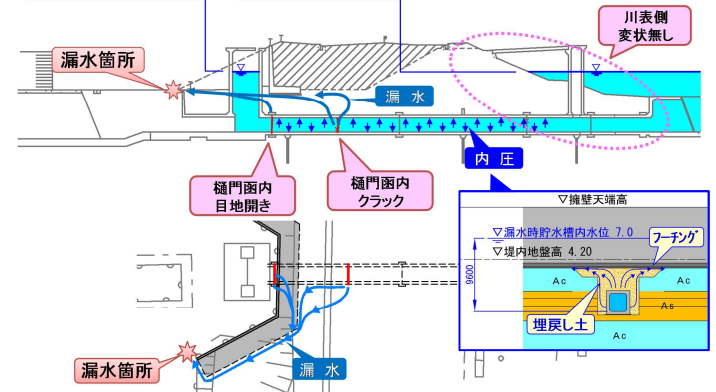


図-15 漏水経路図

3. 応急対策

今回の漏水が生じたのは2018年(平成30年)7月であり、その後大きな出水が生じた際は排水機場

を稼働させる必要があったため、出水期間中の応急対策として、樋門函内の水密を確保する対策を実施した。応急対策は、水密確保を最優先として、可とう継手に類するゴム板をフラットバーとボルトで固定する構造とした。

図-16 ゴム板設置位置(3箇所)

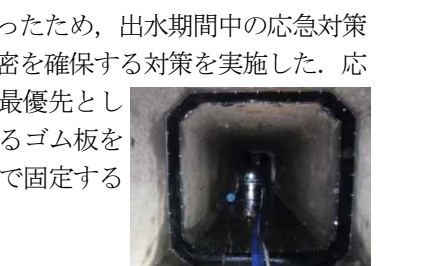


図-17 ゴム板設置状況

応急対策後、排水機場を稼働させて樋門函内に内圧を作用させ、漏水が生じないことを確認した。  
漏水調査の結果

- ・ T.P+4.7m (背後地+0.5m) を10分継続  
→漏水箇所において異常なし。
- ・ T.P+6.7m (背後地+2.5m) を10分継続  
→漏水箇所において異常なし。

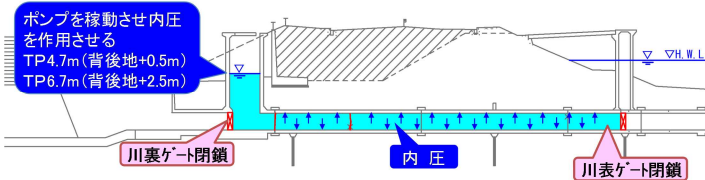


図-18 漏水調査時（応急対策後）の函渠状態

#### 4. 対策工

##### (1) クラック部の函渠新設

今回の漏水は、L型擁壁下部の空洞（水みち）も要因の一つであるが、そもそも樋門函体からの漏水がなければ生じていなかった。

このため、①樋門函体の漏水を防止することが重要である。また、②今後も継続する沈下への追従や、③現在生じている水みちの閉塞等も必要となる。対策工として下記の対策とした。

なお、施工中にも調査を継続し、検討へのフィードバックを行った。

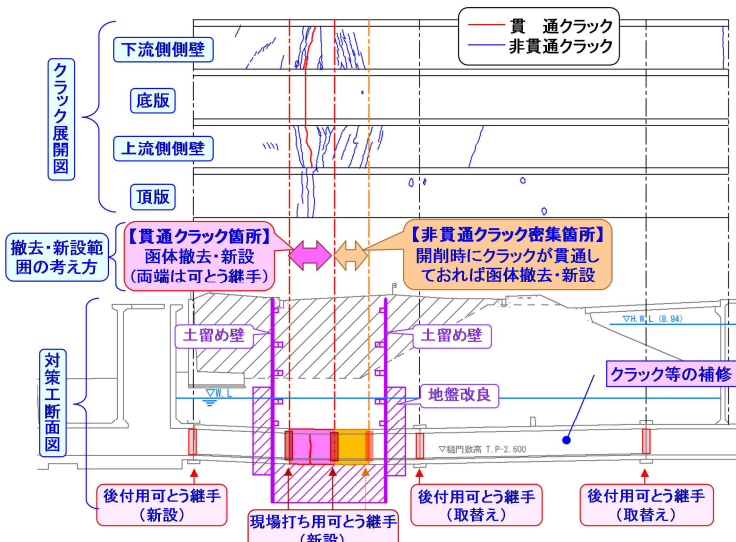


図-19 対策工の概要

##### (2) 函渠新設以外の対策

開削を行わない箇所でも空洞や周辺地盤の緩み対策を行うこととした。開削範囲から川側の函渠周り及びL型擁壁フーチング背面は、ボーリングを行い空洞調査・グラウト充填を行う。また、L型擁壁前面（排水機場側）は、前回、試掘・セメントミルク注入を行った範囲以外でも試掘・セメントミルク注入を行うこととした。

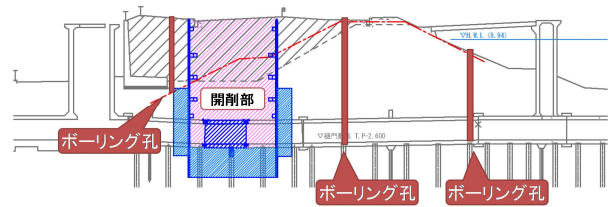


図-13 グラウト用ボーリング位置

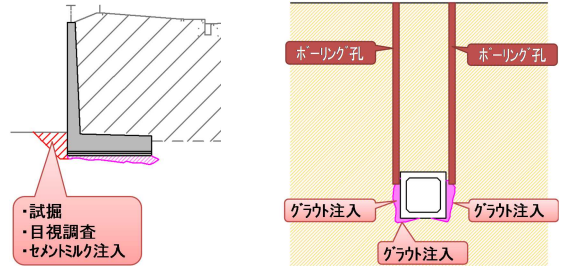


図-14 試掘とグラウト注入イメージ

#### 5. 対策工事中の調査

工事の掘削段階（2019年5月8日～12日）で既設函渠周辺の調査を実施した。

##### (1) 函渠外側のクラック調査

貫通クラックを含め、多数のクラックが生じている。函渠の沈下に伴い、クラックは下側に生じている。最低限このクラック箇所は撤去・新設する。



図-20 函渠外側の状況



##### (2) 函渠底版・埋戻し部の空洞・水みち調査

函渠下部にはグラウトが充填されており、空洞は生じていなかった。また、グラウトは函渠周辺の埋戻し部の水みちまで浸透している。グラウトは有効な対策であると思われるため、本工事でも実施する。



図-21 函渠周辺の状況

(3) 函渠底版・埋戻し部の空洞・水みち調査

a) 左岸側

函渠側面は過去にグラウトが充填されており、函渠に付着している。貫通クラック部周辺でも水みち痕跡は確認されなかった。



図-22 杭頭部の状況

b) 右岸側

函渠側面は過去にグラウトが充填されており、函渠に付着している。ただし、貫通クラック部には本工事で実施したジェット攪拌改良時の排泥が回り込んでおり、その箇所は空洞もしくは緩んでいたと思われる。過去のグラウト工事（1996年）から20年以上が経過しており、漏水等で水みちが形成されていた可能性が高い。

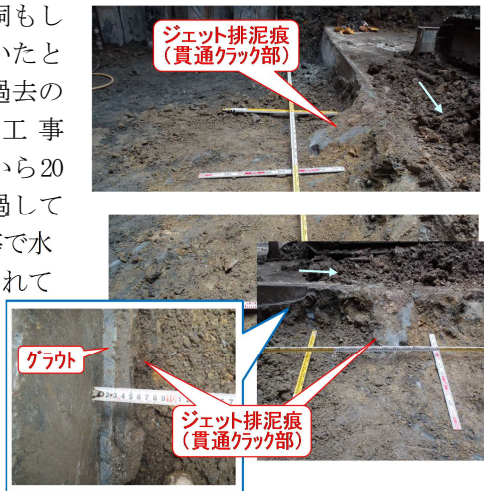


図-23 杭頭部の状況

(4) 支持杭の状況調査

函渠底版の押し抜き破壊は生じておらず、杭本体（杭頭）が沈下していることを確認した。



今回の調査は最も沈下している位置であり、この位置で押し抜き破壊していないことから、他の杭も押し抜き破壊はしていないと判断した。

今後、地質調査（事項に記載）が終了した段階で、支持力・座屈計算を行い、杭本体の沈下・強度を検証する。

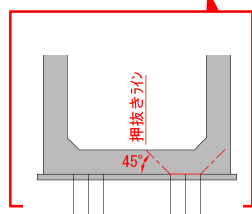


図-24 函渠底版の状況



図-25 杭頭部の状況の状況

6. 今後の調査・モニタリング計画

(1) 追加地質調査

対策工検討時に地質調査を1箇所実施しているが、対策工事と併せて追加ボーリングを2箇所行う。今回調査は、前回調査より川側に行い堤体全体の土質状況を把握する。調査深度は、支持層下部の地質状況も把握できるよう55mとする。

また、今回調査ではサンプリング・室内試験・現位置試験等を行い、今後の杭支持力・沈下計算等に使用する。

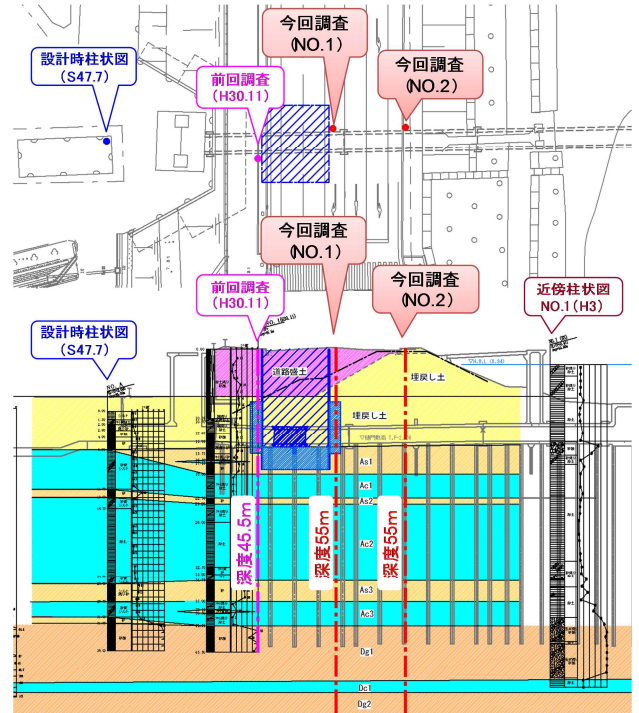


図-26 追加ボーリング位置

(2) 堤体内の地下水調査

今回ボーリング孔を極力兼用し、水位計を設置する。水位計で常時データ集積し、平常時～洪水時の堤体内水位を観測して浸潤線や水みちの状況を確認する。水位計は3箇所×2側線とする。

水位計モニタリング計画は以下のとおりとした。

- ①計測期間：2ケ年を想定（昨年7月豪雨相当水位を数回計測できるまで）
- ②計測頻度：現地データロガーで30分毎に計測・保存（月1回データ収集）
- ③分析方法：外水位と堤体内水位の比較（水みちの有無・グラウトの効果検証）

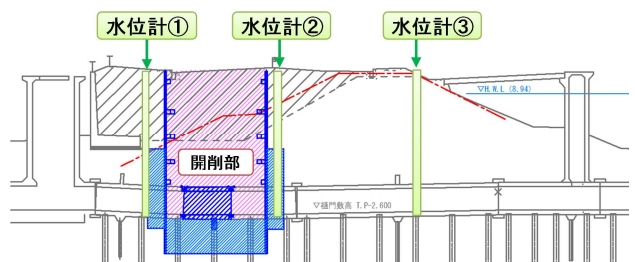


図-27 水位計設置位置

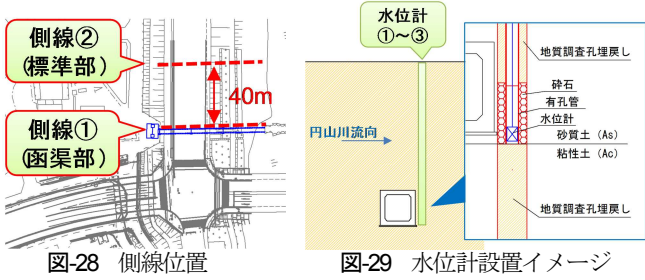


図-28 側線位置

図-29 水位計設置イメージ

### (3) 層別沈下計による沈下計測

最も沈下が大きい箇所付近かつ、一般利用に支障のない箇所(歩道端部)に層別沈下計を設置する。層別沈下計設置時のボーリングでもサンプリング・室内試験・現位置試験等を行う。

層別沈下計下端は先行掘削する追加ボーリングNO.1・NO.2の結果を反映させて最終決定するが、最低限Dc下端までの沈下を計測する。

層別沈下計モニタリング計画は以下のとおりとする。

- ①計測期間：最低2ヶ年程度最終沈下予測が可能な沈下収束状態を確認するまで)
- ②計測頻度：月1回とする<sup>1)</sup>
- ③分析方法：・双曲線法による最終沈下予測  
・圧密沈下計算との比較  
・広域地盤沈下量の把握

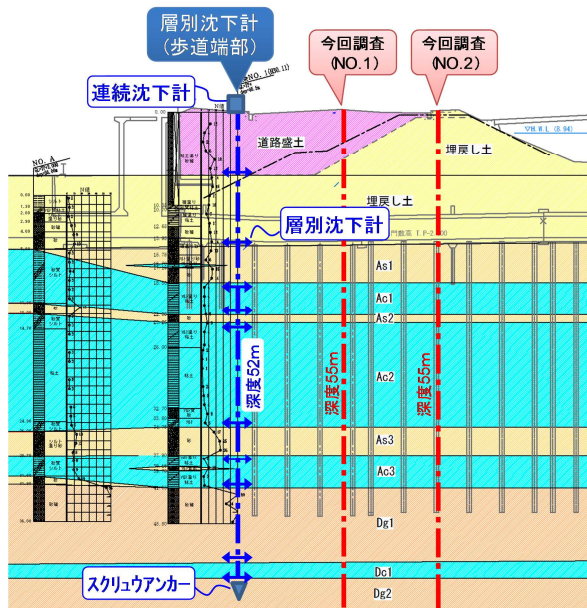


図-30 層別沈下計の設置位置・計測位置

### (4) 構造物・堤防のモニタリング計画

#### a) 定期点検

当樋門及び周辺堤防では、出水期前・出水期後・出水後において、毎年点検を行う<sup>2)</sup>。なお、函内点検は水替えポンプにより函内の水を排水して行う。

#### b) 詳細点検

詳細点検は10年に1回<sup>3)</sup>とするが、定期点検で必要と判断された場合は適宜実施する。

### c) 漏水調査

洪水時・排水機場稼働時・洪水後等において、周辺堤防や機場施設等の各箇所において、漏水の有無(痕跡)等を調査する。

### d) 定点観測

樋門敷高・擁壁天端・路面等に定点を設け、測量による高さ観測を行う。また、据え置き型3Dレーザー測量によって川表法面全体の変形量を把握する。

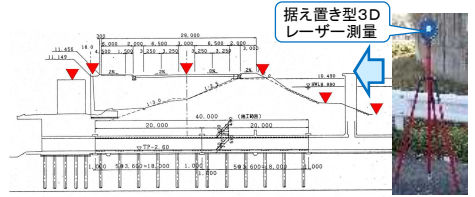


図-31 定期点検位置

## 7. おわりに

排水機場や樋門等の河川管理施設は、河川巡視や点検等による状態把握、対策を長期間にわたり繰り返し、それらの一連の作業の中で得られた知見を分析・評価して、次回の実施内容に反映していくというPDCA型の維持管理体系を実施していく必要がある。

また、重要度の高い施設は軽微な状態で補修を行い建設時の機能を維持しながら延命化を図る予防保全の観点で維持管理していく必要がある。

当樋門は、常時水没しており函内点検が容易でないことや、杭基礎のため函体が沈下しにくく、函体自体の変状は生じにくいとの予想から函内点検を実施しておらずクラックや継手開きの発見に至らなかった。結果として、その変状に起因して漏水が生じ、大規模な対策工事が必要となった。

今回の事例により、定期的な点検による早期発見・早期補修(予防保全)の重要性が再認識できた。また、当施設以外でも軟弱地盤上に建設された排水機場・樋門が多数存在するため、他施設についても、点検・評価・分析を行い必要な対策を実施していく所存である。

**謝辞：**八条排水機場(樋門)漏水対策における調査・研究に際しては、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所に指導・アドバイスを頂きました。本文を終えるにあたり、ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：「道路土工軟弱地盤対」, H24.8
- 2) 国土交通省：「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」, H31.3
- 3) 国土交通省：「樋門等構造物周辺堤防詳細点検要領」, H24.5

