

名松樋門水密性確認の現地実験報告

森川 修¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 管理課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

平成24年9月30日～10月1日にかけての台風17号出水に伴う名松樋門のゲート操作時に、ゲート閉鎖後も内外水の連動が疑われる現象が発生した。この点について、原因調査、現地実験による検証を踏まえ、対策案を検討したので報告する。

キーワード 樋門操作、ゲート水密性、操作水位、土砂堆積

1. 名松樋門の概要

(1) 名松川樋門の位置

名松樋門は、木津川10.176km地点左岸に位置し、名松川15m³/s、および黒田川8m³/sの排水（降雨確率規模50年確率流量）を行うための2連構造の木津川本川逆流防止のための樋門である(図-2)。

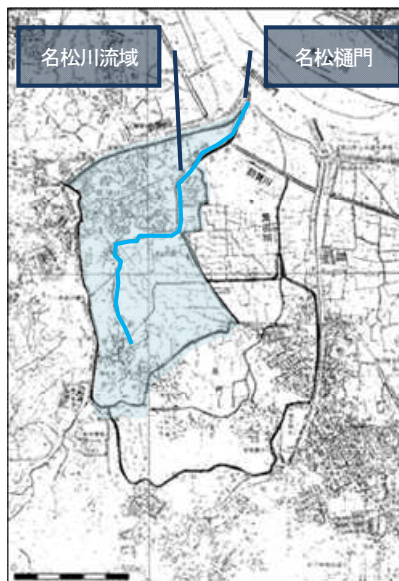


図-1 名松樋門の位置

(2) 名松樋門の特徴

名松川は、流域面積0.548km²、流路延長1350mであり、流域は地盤高がT.P.20～30mの範囲で平坦な地形を有している。また、土地利用は宅地と農耕地が主である。

名松樋門は、天井川である名松川を近接する黒田川と統合し整備された樋門である。このため、樋門敷き高が名松川河床高より3m程度低く、樋門操作水位3.1mもゲート扉体（約2mの高さ）が水没する高さに設定されている。

また、設計条件は「ダム・堰施設設計技術基準（案）」に準じている。

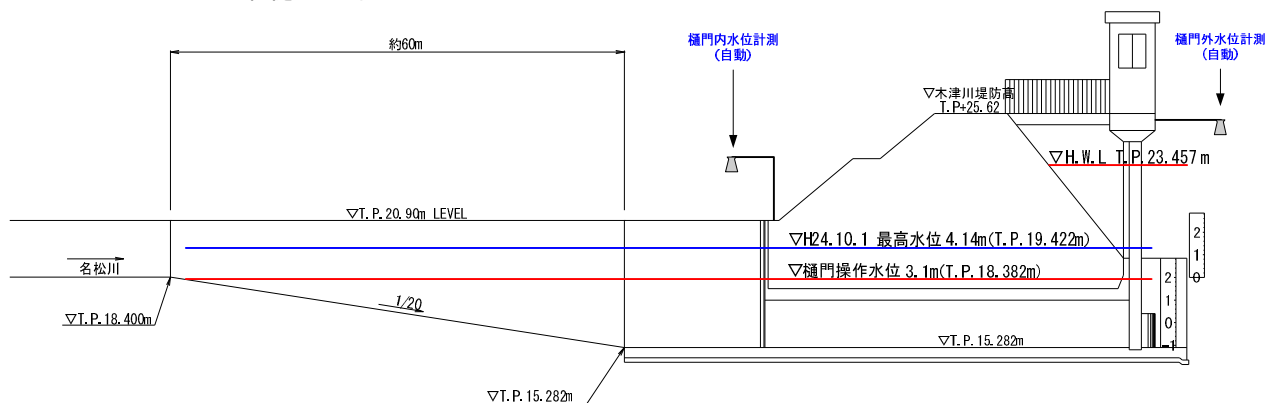


図-2 名松樋門の諸元

2. 出水時樋門操作現象についての要因分析

(1) 出水時の操作状況

通常であれば樋門操作後は内外水位差が明確に生じるところであるが、平成24年9月30日～10月1日の台風17号時の出水に伴う名松樋門操作では、樋門ゲート全閉後も内外水位差が明確に生じることが無く連動し、外水の堤内側水路への流入も疑われる現象が生じた。樋門ゲート全閉時に開度計メーターは1cm開の表示となった。この際の閉操作は、操作員の報告によれば、「9月30日21:16に開始したが、砂が噛んで閉鎖せず数回閉操作を繰り返し、9月30日23:42に完了した」となっている。

名松樋門の操作状況と内外水位差を図-3に整理した。

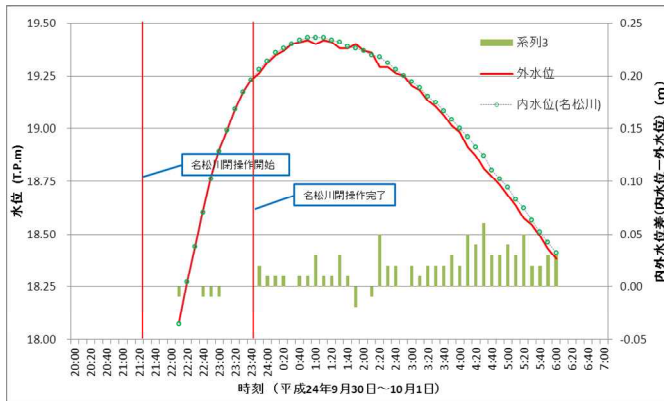


図-3 名松樋門の内外水位と操作状況

(2) 現地調査による課題の抽出

出水後の現地調査を踏まえ、内外水位が連動した現象の課題把握を行った。この結果、名松樋門における内外水位連動の課題が次の2点に集約できた。

課題a) 異物による閉鎖障害物（土砂堆積）

天井川である名松川からの土砂流入が顕著である。約名松川が1/20勾配のスロープで、ほぼフラットな勾配の函体へ接続していることから、スロープの下端部から函体全体にわたり土砂が堆積している(写真-1)。

ゲート戸あたり部においては、20cm程度の土砂が堆積している状況であり、試験閉鎖した際も、土砂堆積の影響で下端に約2cmの開口部が残り流水を遮断することはできなかった。これより、戸あたり周辺の土砂堆積により、ゲートが完全閉鎖できない可能性が考えられる。

課題 b) 開閉構造の特性（水密性不足）

門柱構造、扉体自体の歪みなどの問題はなかった。しかし、調査時は水位が無い状態であったことから、水圧が作用せず扉体の水密ゴムと戸あたりの間に隙間が生じることが確認された。

名松樋門は閉鎖水位が高く、ゲートが水没した状態で操作されるため、実際の閉鎖時に水密性が保たれず扉体の上端および側部から漏水し、内外水が連動する可能性

が考えられる。



写真-1 名松樋門現地調査時のゲート下部の状況

3. 実験方法の検討

樋門操作での課題を踏まえ、原因追及のための現地実験を検討した。

(1) 名松樋門現地実験の目的

樋門ゲートを内外水位が同程度の状態で閉鎖した後に、内水位<外水位に移行した際は十分な水密性を確保し、外水流入を防除可能なことを確認する必要がある。特に名松樋門は堤内地盤高に対応して操作水位が3.1mと高く、2.2mの高さのゲートが完全水没した状況での操作となることから、このような状態確認はより重要となる。

また、ゲートの水密性がどの程度の内外水位差で確保されるかについては、既往データも無いため、今後の操作水位の妥当性検討に基礎データ収集が必要となる。

本実験の目的を、課題b)：開閉構造の特性（水密性不足）について関連データを得るため、次の2点とした。

目的Ⅰ：樋門操作水位3.1mで内水位≒外水位の状態から外水位上昇時のゲート水密性

目的Ⅱ：樋門内外水位差と水密性の関係性把握

(2) 実験施設

実験は、木津川約10km左岸に位置する名松樋門現地において実施した(写真-2)。

今回実験は、課題a)の状況を排除するため、ゲート閉塞の妨げとなる樋門および函体内の土砂については事前に排出した状態で実施した。また、内外水位は土嚢積みで排水路を閉塞し、名松川、黒田川の自流の貯水およびポンプ車で木津川本川から注水し調節した。

実験時の施設配置および観測員の状況を、図-4の施設配置計画図に示す。



写真-2 樋門と水路末端の土嚢と注水状況

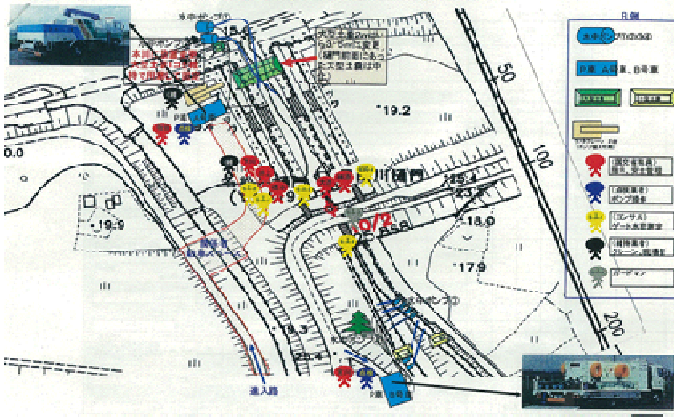


図4 現地実験配置計画

(3) 実験工程（平成25年1月24日）

実験目的を達成するために、図-5に示すとおり実験段階をSTEP1～5の5段階で実施した。

a) STEP1～2

初期状態として、内外水位0.35mの水路内に流れの無い状態でゲートを閉鎖し、水密状態を観測した。

b) STEP3

内水位を0.4mとして基本的に固定し、外水位を0.45～2.2mまで上昇させ、内外水位差毎の水密状態を観測した。※内水位は、実際は河川流入や漏水により0.4～0.71mまで上昇（STEP4と合わせ実験目的Ⅱ対応）

c) STEP4

ゲートを開放し内外水位1.8mの状態からポンプ注水により河川から堤内側の流向を形成しながらゲートを閉鎖した。

内水位を約1.8mに固定し、外水位を1.84～2.25mまで上昇させ、内外水位差毎の水密状態を観測した。（実験目的Ⅰ対応）

d) STEP5

内水位約1.8m、外水位約2.5mの状態から内水位が上昇した場合の水密状態を観測した。（一度水密状態が確保された後の推移観測）

※当初実験計画では、STEP5の次に、操作水位である3.1mまで外水位を上げ水密性を確認する予定であった。しかし、現地における土のうの状態を観察し、土のうの安定性等安全面の配慮から実験を中止した。

(4) ゲート水密性の確認方法

ゲートの水密性は、次の2つの方法により確認した。

- ①体内からのゲートの隙間及び漏水状態の目視観察、上部からゲート隙間及び流出状態の目視観察・記録
- ②ゲート天端戸当り開き量（水密ゴムの圧縮量）計測：メーカー実験資料より荷重とゴム圧縮量の関係を把握し、さらに名松樋門構造より、ゲート上部戸当りゴム（φ40mm）は最大圧縮量が3mmと確認した。

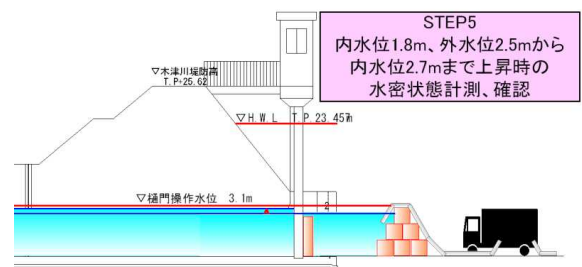
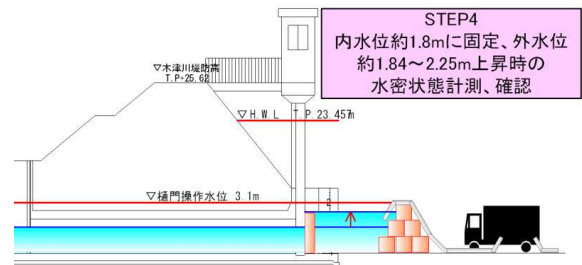
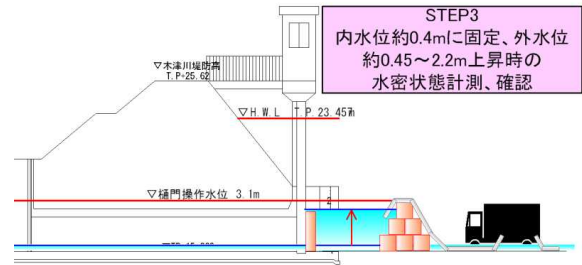
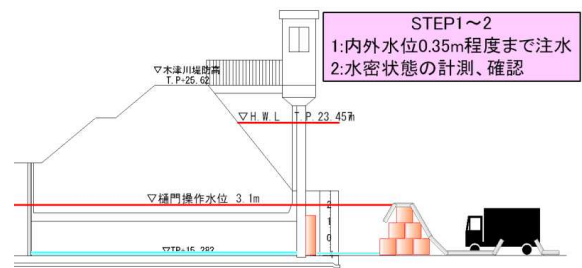


図-5 名松樋門現地実験ステップ

4. 観測結果概要

(1) STEP3の実験状況

実験は内外水位約0.4mの平衡状態から開始した(写真-2,3)。ゲート天端開き量は、当初の約3mmから、外水位1m（内外水位差0.51m）付近では約10mmに拡大し（写真-4）、漏水が生じていた。

その後、ゲート天端開き量は縮小し、外水位1.7m（内外水位差1.06m）でゲート天端が戸当りに密着したが漏水は継続していた(表-1の上段写真)。さらに、外水位2.2m（内外水位差1.5m）でゴムが2mm以上圧縮されたが漏水は継続していた。表-1の上段写真は、函体内水面部での漏水だが、ダイバー目視では水中のゲート側部、底部共に漏水が確認された。つまり、STEP3実験では、内外水位差確保によりゲート上部の水密ゴムは圧縮されたものの、水密状態は確保できなかった。

表-1 STEP3の実験状況の概要

内水位(m)	外水位(m)	内外水位差(m)	ゲート天端開き量(mm)	実験状況
0.40	0.45	0.05	3.3	実験開始時は、内外水位がほぼ平衡しており、上部光漏れ、漏水も見られない。 STEP3-1(8:02)
0.71	2.22	1.51	-2.7	ゲート天端水密ゴムが2mm以上圧縮し光漏れなし。漏水は継続 STEP3-11(10:48)

表-2 STEP4の実験状況の概要

内水位(m)	外水位(m)	内外水位差(m)	ゲート天端開き量(mm)	実験状況
1.79	1.84	0.05	11.0	実験開始時は、内外水位がほぼ平衡状態からポンプ注水し、外水位を上昇させながらゲートを閉鎖した。 浮力により、ゲート自体はSTEP3実験時よりフリーで動いた STEP4-1(12:45)
1.80	2.14	0.34	-1.0	ゲート天端水密ゴムが1mm圧縮された時点で、光漏れ、側部漏水もなくなりゲートの水密状態が確保された。 STEP4-3(13:20)

(1) STEP4の実験状況

内外水位が1.8mのほぼ平衡状態からポンプ注水し(表-2の上段写真)、外水位を上昇させながらゲートを閉鎖した。水位が1.8mとほぼゲートが水没する状況下の浮力により、ゲート自体はSTEP3実験時よりフリーで僅かな作用で動いた。実際のゲート天端開き量計測時も、数値が大きく変動した。

その後、外水位2.0m(内外水位差0.2m)と僅かな水位差でゲート天端水密ゴムは戸当りに密着したが、やや側部漏水が見られた。次に、外水位が2.14m(内外水位差約0.34m)で水密ゴムが1mm圧縮され、側部漏水もなくなりゲートの水密性は確保された(表-2の下段写真)。

5. 実験結果概要

(1) 内外水位差と水密ゴムの圧縮量の関係

内外水位差と水密ゴム圧縮量の関係を整理した。

a) 計測箇所

ゲート上部戸当りの水密ゴムは、ゲート端部から1mの2箇所を計測点とした(図-6)。A,C点はノギスで0.1mm単位の計測を行い、B点は隙間ゲージでゴムの戸あたりへの密着状況を確認した。

名松樋門は、扉体主ローラと水密ゴムとの遊間が構造上3mmである。従って、水密ゴムが3mm圧縮時に主ローラが戸当りと接触するため、これが上限圧縮量となる。

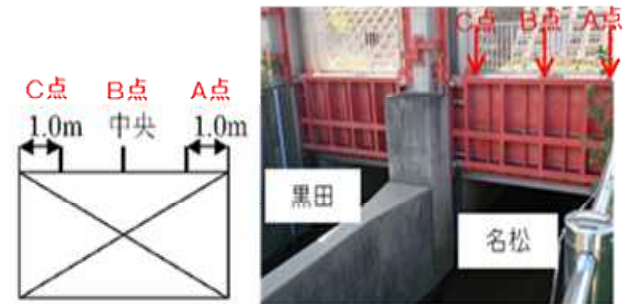


図-6 計測箇所

b) 内外水位差と水密ゴム圧縮量(実験目的Ⅱ)

内外水位差とゲート天端開き量(水密ゴム圧縮量)の関係を図-7に整理した。横軸が+値はゲートと戸当りの隙間、マイナス値は水密ゴム圧縮量を示す。圧縮量は、水密ゴムが戸当りに密着し隙間が無くなった状態を示す。

■STEP3: 実験開始時に3~4mmであった開き量が、内外水差0.4m付近(内水位0.46m、外水位0.86m)まで拡大しそれ以降は縮小した。約1.5mの内外水位差(内水位0.71m、外水位2.22m)で水密ゴム圧縮量が2mmを超過した。この状態でもゲートの漏水は解消されていない。

■STEP4: 内外水1.8m付近から開始したため、浮力の影響で天端開き量は11~12mmであった。しかし、内外水位差拡大に伴う天端開き量の縮小および水密ゴムの圧縮はSTEP3より顕著であった。内外水が共にゲート高2mに近い1.8m以上としたこのケースでは、0.34mの内外水位差で水密ゴムが1mm圧縮され、水密性が確保された。

以上から、ゲートの水密確保には内外水位差だけでなくゲート閉鎖水位が関係することが推定された。

(2) 実験結果を踏まえた名松樋門の特性の考察

a) 名松樋門の水密特性

実験より、名松樋門の水密特性は次の3点である。

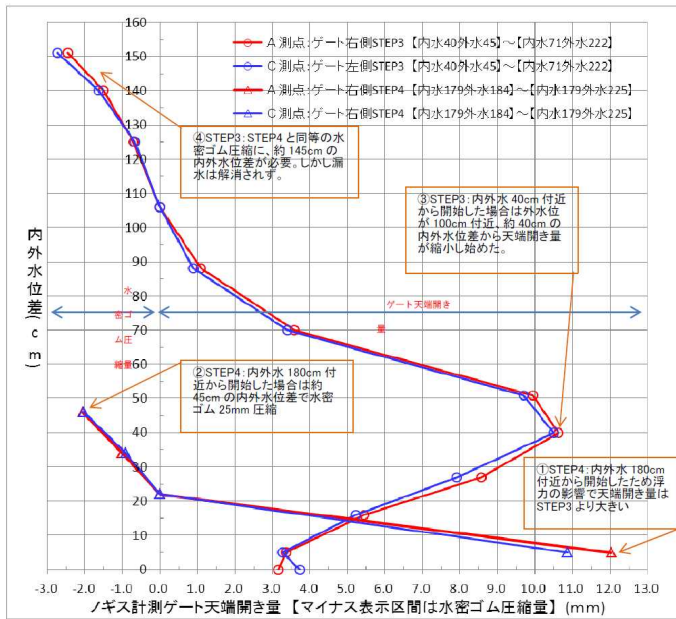


図-7 内外水位差とゲート天端開き量・水密ゴム圧縮量

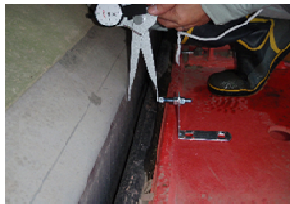


図-8 ゲート天端開き量の関係

①内水位が低い状態（水深0.5m前後）では、内外水位差が1.0mを超えるとゲート上部の水密ゴムは戸あたりに密着した（実験STEP3）。しかし、外水圧の作用点がゲート高中心より低いため押付力が一様に作用せず、ゲート側部の水密は確保されない。

→外水位が低い状態でゲート閉鎖の効果は低い

②ゲートがほぼ水没する状態（水深2.0m前後）では、内外水位差0.2～0.3mでゲートの水密性が確保される状態となる（実験STEP4）→外水位がゲート天端付近で全閉する場合、操作の妥当性有り

③内水位が高くなれば密閉状態が解放され、ゲート上部、側部から内水流出が生じる。→ゲート水密は内外水バランス（内水流出と木津川水位上昇）で逐次変化する。

上記結果を踏まえ、近年の実績樋門操作時の水位変動特性を考察する。

b) 平成24年9月樋門操作時水位動向の考察

I 段階では名松川流出により内水>外水の状態であり、II 段階で木津川水位が上昇すると内水位<外水位の状態となった。さらにIII段階(図10)に示すとおりゲート閉鎖直後に内水位<外水位状態となったが、IV段階(図10)で木津川水位が低下すると内水位≒外水位の状態が継続した。

IV段階で内外水が連動して見えるメカニズムとしては、次の二つの可能性がある。

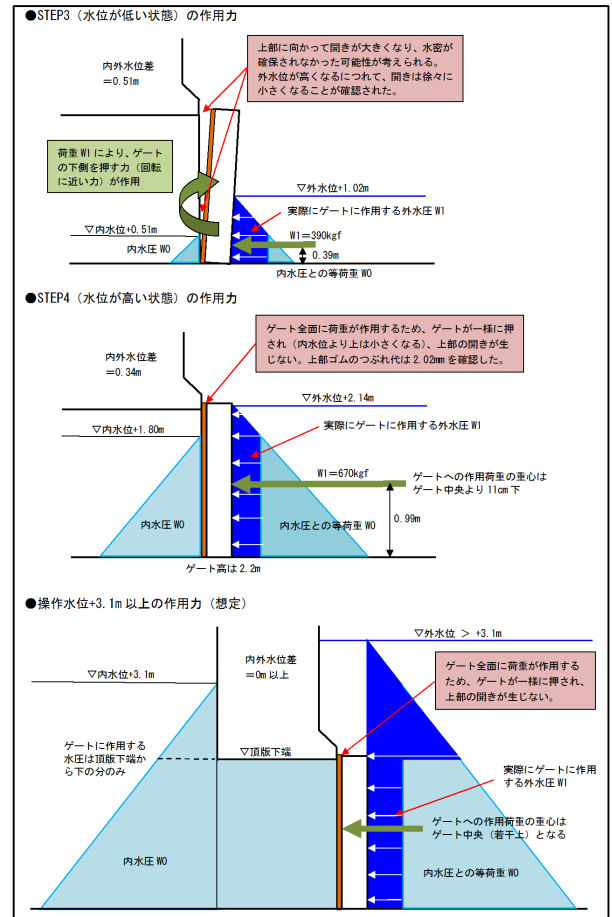


図-9 ゲートへの作用力説明

①外水位変動と内水流出に伴う内水位の変動傾向が一致した結果、内外水が連動して見えた可能性。内水流出量が0.02m³/s程度でこの関係が成立する。

②ゲート下部に土砂等を挟み込み又はゲート上部に隙間ができた状態のままでゲート水密が未確保となり、内水流出が低減したことも重なり、外水が堤内側に流入し内外水が連動した可能性

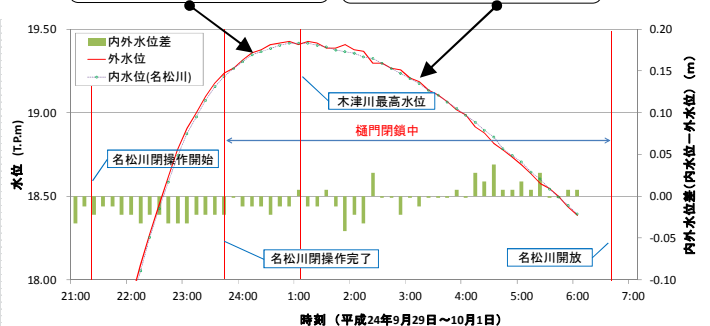
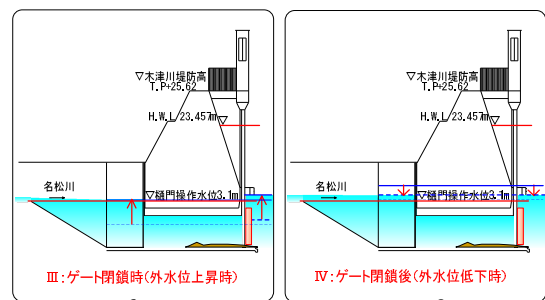


図-10 平成24年9月出水時の名松樋門ゲート水密特性の推定

6. 名松樋門の対策

名松樋門におけるゲート水密性確保についての対策案を検討する。

(1) 名松樋門操作におけるリスク要因分析

名松樋門は操作水位が高く、閉鎖時にゲートが水没する特徴を有している。そのため、現行施設操作で予想されるリスク要因を、平成23、24年の操作実績および、実験で把握した名松樋門の特徴を踏まえて整理した。

ゲートが土砂をかみ水密が確保されないことにより、木津川外水が樋門から逆流し堤内が浸水する非常事態が発生する。リスク回避のためには、内水位＜外水位状態での外水の大規模な流入を抑制する方策が必要となる。

(2) 対策案の検討

リスク要因分析を踏まえ、対策案を検討した。

a) 対策案の方向性

第一に、土砂堆積等を防ぎ操作時にゲートでの異物挟み込みの回避が重要となる。この結果、木津川水位が被害発生水位まで上昇した場合もゲートの水密性が確保され、外水侵入などのリスクは回避できる。

これより、土砂堆積防除を今回対策の基本方針とし、対策案を整理した。

b) 土砂堆積対策

土砂堆積対策で今回の問題解決が図れることから、対策案として採用した。また、維持掘削、簡易フラッシュ放流は、現有施設の改造不要で実施可能である。

7. 今後の対策

名松樋門の水密性確保対策として、3つの「土砂堆積対策」を選定した。これらを実現していくために必要となる、今後の検討事項を整理する。

(1) 維持掘削

樋門函体内、およびゲート付近に堆積する土砂の維持掘削を計画的に実施するには、流域からの流出土砂量の把握が不可欠となる。このため、次のとおり土砂流出量推定を目的としたモニタリングを実施する必要がある。

(2) 簡易フラッシュ放流操作方法検討

ゲート操作により函体内に流水を貯留して実施する簡易フラッシュは、現在、平常時管理でも実施されている。今後は、出水時の操作前に簡易フラッシュを実施する方法について、操作の可能性および操作規則の変更を含め検討する。

(3) 土砂溜の設置

名松川樋門ゲート付近への土砂堆積量を抑制する施設としての土砂溜設置については、設置位置、規模について、名松川からの土砂流出量をモニタリングし土砂溜検討が必要となる。

8. 今後の課題

今回の実験では、課題b)：開閉構造の特性（水密性不足）に関して最終的な結論に至っていないが、操作水位が低い段階では水密性を確認することができた。そのため、樋門への土砂の動向に注意しながら、次回出水に際して樋門内外水位を注視し、対応方策を含めて再検討を行う等万全な管理に努めたい。

表-3 名松樋門対応策案の比較

対策目的	対策案	概要	実施時の 利点（○）・課題（△）
土砂堆積対策によるゲート閉鎖阻害防止	□維持掘削 □出水前簡易フラッシュ	□樋門の水密性確保の前提として、ゲート戸当り付近の土砂、ゴミの排除が不可欠である。 □ゲート閉鎖により函体内に湛水し、簡易的なフラッシュ放流でゲート戸当り付近の土砂を排出する（現在実施の定期点検時に加え、出水前も実施する）。	○：ハード整備不要 ○：フラッシュは運用上対応で実施可能 △：定期的維持掘削のコスト △：操作規則の改定（出水前の操作によりフラッシュ放流を行う場合） （平成25年度の出水時モニタリング）
	□土砂溜設置	□名松川の樋門函体流入部付近に土砂溜となる横断構造物を配置し、土砂排出効率を高める。	○：ゲート付近到達土砂の抑制 △：土砂溜効果の水理的解析（平成25年度に堆積量をモニタリングし検討予定）
操作時水密確保	□名松川の内水位低下	□外水位が高くなる状況（内外水位差）を早く確保し、水密を確保する。 □名松樋門の水密機能を早期に発現させる必要から、排水ポンプ車を名松川に待機させ（または救急排水ポンプを設置して）、樋門を閉めた後に、本川へ放水して一時的に内水位を下げる。	△：排水ポンプ車の出動は検討可能 △：手原川の水位状況の確認 △：出動要員の確保 △：内水位＞外水位状態が継続する場合はポンプ運転 △：土砂排出用の坂路整備