

東日本大震災を踏まえた河口堰・水門等のあり方について

(案)

平成23年 月 日

東北地方太平洋沖地震を踏まえた河口堰・水門等技術検討委員会

目 次

はじめに.....	1
1. 地震、津波の概要.....	2
(1) 地震の概要	2
(2) 津波の概要	2
(3) 河川津波	2
2. 検討にあたっての基本事項.....	4
3. 今後の設計・構造の考え方について.....	5
(1) 基本的な考え方	5
(2) 対応方針	6
4. 今後の操作の考え方について.....	11
(1) 基本的な考え方	11
(2) 対応方針	12
委員名簿.....	15
(参考)	
用語の定義.....	16
東日本大震災における河口堰・水門等の復旧に向けての緊急提言.....	18
(資料編)	

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、東北地方太平洋沖地震及び地震に伴う津波により、東北地方を中心に多くの河口堰・水門等の河川構造物が損傷を受けた。また、それらの施設では津波来襲時の操作に支障を来たしたものや、出水期を迎えるに当たっての応急復旧に困難を伴った施設もあった。

未曾有の規模の津波による被害は、かつて経験したことのないものであり、河口堰・水門等の管理に多くの課題を浮き彫りとした。また、大規模な地震、津波外力に対して具体的に取るべき措置についても検討する必要も生じたところである。

そこで、被災した河口堰・水門等について調査分析した結果を踏まえ、大規模地震やそれに伴う津波に対応した河口堰・水門等の設計や操作のあり方等について、本委員会が設置され検討を進めてきた。本報告は、今回の震災の経験を踏まえ、今後の設計、操作の考え方について、今回発生した事象を踏まえて速やかに対応すべき事項、及び技術的に確立されていないために今後、検討や研究・開発が必要な事項をとりまとめたものである。

本報告が、被災地の速やかな復旧・復興と今後の全国的な地震・津波防災に貢献することを期待するものである。

1. 地震、津波の概要

(1) 地震の概要

3月11日14時46分頃に三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生し、この地震により宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度6強など広い範囲で強い揺れが観測された。

地殻変動に伴い、北上川・旧北上川近傍の電子基準点で60cm（河北：石巻市小船越山畑）、鳴瀬川で51cm（矢本：東松島市矢本字大溜）、名取川で14cm、阿武隈川で15cm（白石：白石市太鷹沢三沢）それぞれ沈下する地表変位が観測された。〔資料1参照〕

(2) 津波の概要

太平洋沿岸を中心に大津波を観測し、特に東北地方から関東地方の太平洋沿岸では大きな被害が生じた。海岸での津波高は、震源域に近い地域を中心とした宮古から相馬において最も高く、3～8mあったと見られる。仙台平野では、平野部を遡上した津波により、内陸深くまで浸水範囲が及んだ。〔資料2参照〕

(3) 河川津波

【河川津波の遡上】

- 河川津波が確認された水位観測所及び津波の痕跡が確認された最上流地点のデータより、直轄河川における河川津波の到達地点を整理した〔資料3参照〕。東北地方太平洋沿岸における河川津波の到達地点は、馬淵川で河口から約10km、北上川で約49km、旧北上川で約33km、鳴瀬川で約17km、名取川で約7km、阿武隈川で約13kmであった〔資料4参照〕。

- 馬淵大堰(河口から 2.6km)、北上大堰(同 17.2km)、鳴瀬堰(同 4.8km)、阿武隈大堰(同 10.2km) では堰上流まで河川津波が遡上した。
- その他の地域の河川津波の到達地点は、北海道太平洋沿岸の河川では河口から 4～13km、鹿島灘沿岸の河川では 12～33km、東京湾の河川では 3～21km、遠州灘以遠から九州沿岸でも複数の河川で 10km 程度の河川遡上があった。

【河川津波高】

- 河口から一番近い水位観測所における第 1 波と最高の河川津波高について整理した〔資料 5 参照〕。直轄河川では、高瀬川、鳴瀬川、阿武隈川で第 1 波の河川津波高が大きく、その他の河川では第 2 波以降の河川津波高が大きかった。

【河川津波の伝播速度】

- 北上川の各水位観測所における第 1 波の到達時刻及び第 1 波の立ち上がり時刻から河川津波の伝播速度を推定したところ、平均で約 8m/s であった。河口から 17.2km の北上大堰までは、地震後 68 分で到達した。〔資料 6 参照〕

2. 検討にあたっての基本事項

河口堰は、河川を横断して設置され、塩水の遡上防止、取水等の機能をもつ重要な施設であり、大規模な施設であることから一旦被災すると機能回復が極めて困難である。ゲートは、高水敷程度の高さまでしかなく、長径間の構造を有し、平常時は全閉し、洪水時には疎通能力の阻害とならないようにゲートを全開することが基本となっている。

水門等は、堤防を横断して設置され、堤防と同様に高潮、洪水防御の機能をもつ重要な施設であり、一旦被災すると機能回復が困難な施設である。ゲートは、堤防の高さまであり、高潮及び洪水時には、堤内地への逆流を防止するため全閉し、平常時は全開し内水の排除や船舶の通航が可能となっている。

今後の設計・構造のあり方や操作のあり方のとりまとめにあたっては、以下を前提としている。

- 「河川への遡上津波対策に関する緊急提言」（平成23年8月、河川津波対策検討会）の内容を踏まえたとりまとめを行うこととし、基本的に次の二つのレベルの津波を想定する。
 - ① 発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの河川津波。
 - ② 最大クラスの河川津波に比べて発生頻度は高く、河川津波高は低いものの大きな被害をもたらす河川津波。
- 地震に対する安全性については、「河川構造物の耐震性能照査指針（案）」の考え方を踏襲する。

3. 今後の設計・構造の考え方について

東日本大震災により被災した河口堰・水門等について、地震発生前後及び津波到達前後で整理し、被災の時期や形態及び機能の喪失状況の調査、分析を行った〔資料7、8参照〕。

(1) 基本的な考え方

- 自然災害は常に想定を上回る現象が生じる可能性があることを十分認識する必要がある。
- 河口堰・水門等については、地震や津波に対して、ゲート開閉機能の維持、●●、○○等の最低限の機能を確保するよう、設計することが望ましい。
- 施設の諸元等を定める場合の津波の設計外力には、最大クラスの河川津波に比べて発生頻度は高く、河川津波高は低いものの大きな被害をもたらす河川津波（以下、「計画河川津波」という。）を用いる。河川津波に対して河口堰・水門等が保持すべき性能や許容外力について、今次の経験を踏まえて施設設計の手法等を見直していく必要がある。
- 設計・構造のあり方は、堤内地の被害を最小限に抑えることを目的として操作と一体的に議論し、総合的に検討する必要がある。
- 河川津波に対する操作を行う必要がある施設では、操作員の安全確保のため、遠隔化、自動化、無動力化のための設備を可能な限り採用する必要がある。
- 個々の施設の設計にあたっては、維持管理の容易さ、操作性、耐久性、修復性なども考慮することが重要である。
- 河川津波が、ゲート操作前や操作中といった予定とは異なる状態で来襲することも想定し、様々な状況で河川津波の外力を受けることを想定しておく必要がある。

- 今回の地震・津波による被害状況と機能喪失の分析を踏まえると、危機管理を考慮した設備の設計にあたっては、多重化（部品の二重化等による機能確保）、多様化（別の設備を使用することで機能確保）、或いは独立性（まったく別の方法で機能確保）の観点が必要である。

(2) 対応方針

① 最小限の機能確保

-----〈発生事象〉-----

電源の喪失や、機側操作盤の水没等によりゲート操作不能となった水門においては、仮設電源と仮設油圧ポンプにより、ゲートの開閉機能を確保した事例があった。（月浜第一水門）

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 水門は、津波時に閉操作が確実にできることが基本であり、河川津波による本川水位上昇に伴う支川や水路への逆流を防止するため、設備に損傷が生じていても、強制的に閉めることができる機能が求められる。例えば、地震に伴い電源や制御設備が故障しても自重降下を可能とするなど、ゲートを確実に閉鎖できる機能を確保する必要がある。なお、強制的に閉鎖した場合の内水排除の道筋については併せて検討しておく必要がある。

② ゲート開閉部

-----〈発生事象〉-----

地震動により、上部戸当たり（軽構造部）のレール曲がりやアンカー部損傷によりローラがはずれ開閉操作不能となり、河川津波を迎えた事例があった。（真野川水門）

【今後の課題】

- ゲート開閉操作機能の確保に関しては、重要な部分や修復が困難な部分が損傷するより先に修復が容易な部分が損傷するような構造にするなど、設備・部位毎にレベルを分けて設計を行う考え方を検討する必要がある。

③ ゲート構造

〈発生事象〉

河川津波によりゲートが浮き上がり（北上大堰、阿武隈大堰）、メッセージワイヤの乱巻き、戸当たりの変形、開閉装置の損傷が発生し、その後の操作に支障を来した事例があった。（北上大堰）

【今後の課題】

- 河川津波による堰のシェル型ゲートの浮き上がりを抑制するためには、ゲートの基本構造を変更する必要がある。現時点では既存施設に有効な浮き上がり対策を施すことは困難であり、今後技術開発を行っていく必要がある。なお、今後の新設や更新時期に対応できるよう、浮き上がり防止のための施設設計の考え方を整理しておく必要がある。

④ 電気通信設備

〈発生事象〉

河川津波により、予備発電設備が水没、流失（月浜第一水門、閑上水門、野蒜水門）したり、機側操作盤が水没、流失、損傷（月浜第一水門、月浜防潮水門、閑上水門）するなどの事例があった。

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 河川津波による電源や制御設備の水没、流失に起因して施設の監視、制御機能に支障が発生していることを踏まえ、施設計画上の津波に対しては、電源や制御設備の高所設置や耐水化により水没、流失しない構造とする必要がある。また、最大クラスの津波に対しても、操作が可能となるよう、電源や制御設備の高所設置や耐水化に努めることが望ましい。

⑤ 遠隔操作設備

-----〈発生事象〉-----

遠隔操作を導入していた水門施設のうち、2施設（月浜第一水門、野蒜水門）では今回の津波時に遠隔操作を実施できたが、6施設（月浜第二水門、月浜防潮水門、市柳川水門、野蒜水門、関上水門、新浜水門）では、地震による商用電源の停電により、遠隔操作によるゲート操作ができなかった。光ファイバーケーブルが切断し、遠隔操作が不可能となった事例があった（月浜第二水門）。また、監視カメラが流出した事例もあった（月浜第一水門、月浜第二水門、月浜防潮水門）。

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 地震に伴い商用電源が停電した場合においても操作ができるよう、予備発電設備の設置とともに、その自動起動化や遠隔起動化等の対策を行う必要がある。
- 遠隔操作の通信設備を二重化することが望ましい。
- 遠隔操作に必要な光ファイバーケーブルや監視カメラについては、計画河川津波において切断されない構造とする必要がある。また、最大河川津波に対しても、補強対策を検討することが望ましい。

【今後の課題】

- 遠隔化により操作する際の河川利用者等の安全確認の考え方や、そのための制御システムについて検討する必要がある。自動化の場合も同様である。

⑥ 漂流物対策

〈発生事象〉

河川津波の遡上に伴い下流からボートが流され、ゲートに接触した事例があった（阿武隈大堰）。また、他の河川でも船舶や流木など多数の漂流物が確認された。

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 河川津波の遡上に伴い、漂流物となり得るものは、河口や河口付近の港湾、漁港などに係留されている船舶が主であり、漂流船が施設損傷の原因になる可能性もあることから平常時の船舶の係留状況を把握しておく必要がある。

⑦ 堤防との接合部

〈発生事象〉

水門と接続する堤防が局所的に決壊した事例があった。（月浜第二水門、釜谷水門）

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 河川津波に対し、水門等と堤防との接合部が弱点個所とならないように、施設と堤防の接合部における河川津波の挙動を考慮して堤防を補強する必要がある。堰においては、河川津波のせき上げによる水位上昇についても留意する必要がある。

⑧ 観測設備

〈発生事象〉

河川津波に関する施設設計の設計外力となる流速が測定されていない。

【今後の課題】

- 監視カメラの画像解析など、河川津波による流速を求める手法を検討する必要がある。また、ゲート設計を行う際に必要となる河川津波の流体力を求める計算手法等の開発を進める必要がある。

4. 今後の操作の考え方について

東日本大震災により被災した河口堰・水門等について、地震発生前後及び津波到達前後で整理し、操作規則等や実際の操作等の調査、分析を行った〔資料 7、8 参照〕。

(1) 基本的な考え方

- 堰と水門は機能が異なるので、考え方、操作は明確に区別して考えることが必要である。
- 堤防の機能を有している水門は、河川津波の際には高潮の際と同様に、ゲートを閉めることが基本となる。
- 堰は多目的施設であるため、堰上流への塩の混入による利水障害が頻繁に生じないように、津波の規模が小さいと予想される場合には、平常時の状態のまま操作を行わず、津波の規模が大きいと予想される場合には、ゲートを全開することを基本とする。ただし、個別施設の操作については、想定される状況毎に津波防御効果、利水障害等の社会的影響、施設の構造的特徴、施設の損傷や復旧に要するコスト・時間等を総合的に評価して判断することとする。
- 特に、利水を目的に持つ堰においては、利水障害が生じないように十分検討する必要がある。予想通り河川津波が来襲する場合のみならず、予想に反して大きな河川津波が来襲する場合（見逃し）や、予想に反して河川津波が来襲しない場合（空振り）も念頭において検討することが必要である。
- 操作については、構造物の動作特性、通常時の構造物（ゲート）の状態、想定される津波の規模、発令される警報の種別（津波注意報、津波警報、大津波警報）、到達予想時間等を総合的に勘案し、でき

る限り事前に操作規則等に反映しておく必要がある。

- 操作規則については、背後地の土地利用の変化や堤防の改修の進捗等の時間的な変化や河川津波の予測など今後の技術開発の状況を考慮し、時点において最適な操作となるよう、適宜見直す必要がある。
- 操作員の安全確保のため、機側操作を行うことが不適切な場合は遠隔操作を原則とし、その旨、操作規則等に記載する必要がある。

(2) 対応方針

① 状態把握

〈発生事象〉

大津波警報が発令されたため、津波に備えて遠隔操作をしようとしたところ、地震動により開度計のメッセージワイヤの取付金具が破損するなど水門扉の状態監視ができなくなっていたため、ゲート両端の同調が取れず、操作した結果として片吊りの状態となってしまった事例があった。故障した場合に動かなくなった施設は表示されるが、故障の箇所や状況が分かるようなシステムになっていない。(馬淵大堰)

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 地震発生後の堰・水門等には、設備に何らかの損傷を受けている可能性があるため、可能な限り状態を把握した上で操作を開始するとともに、操作中においても可能な限り慎重な状態把握を行いつつ、事態を悪化させないように努める必要がある。

【今後の課題】

- 操作盤の表示について、故障が発生した際にもその状況下で最適な判断や操作を行うことができるよう、故障箇所や状況を特定する故障表示機能の向上を図る必要がある。一方、過度に複雑なシステムとする

と、復旧が困難になったり、操作が煩雑になることから、操作性、復旧性、信頼性を総合的に考慮した制御システムのあり方について検討する必要がある。

② 操作開始時間

〈発生事象〉

操作開始時間よりも早く河川津波が到達する可能性がある施設がある。

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 河川津波が到達するまでの時間が短いと想定される施設では、自動化等、操作時間の短縮に努めることが重要である。
- 操作に伴う河川利用者等の安全確保のための時間をできる限り短縮するため、あらかじめ関係者との調整を図り、操作規則に反映する必要がある。
- 現在においても操作の体制確保が厳しい状況にあるが、河川津波に対する確実な操作に向けて体制強化に努める必要がある。また、河川津波に対する操作のマニュアル化や操作訓練を行うことが必要である。

③ 操作員の安全

〈発生事象〉

水門・樋門操作員の被災事例があった。また、遠隔操作設備を導入していたが、設備の更新作業中であったため、遠隔操作できず、機側操作を実施した事例もあった。（真野川水門）

【発生事象を踏まえて対応すべき事項】

- 操作員の安全確保の観点から、情報伝達システムの強化や操作施設の安全対策など、操作環境の改善が必要である。

- 今回得られた知見を活かした研修・技能訓練等の実施など、確実に操作を行うための取り組みを進めていく必要がある。
- 施設点検や補修・更新工事を行う場合は、河川津波来襲時の関係者の安全確保策や、点検・工事中の操作方法について、あらかじめ定めておく必要がある。

④ 総合的な機能確保の工夫

-----〈発生事象〉-----

津波警報が発令されたとき、内水の自然排水に影響がない範囲までゲートを降下させ、津波に備えることを操作細則に定めている事例があった。(高松川水門)

【今後の課題】

- 水門等のゲート操作については、津波による氾濫を防止するとともに内水被害も軽減できる効率的な手法として、中間的な開度を設定する手法がある。操作方法について検討することは有効である。
- また、内水排除のためにフラップゲートを内包するなど、構造的な対応についてもフィードバックすることも必要である。

委員名簿

委員長	山田 正	中央大学理工学部都市環境学科	教授
委員	角 哲也	京都大学防災研究所水資源環境研究センター	教授
委員	芹澤 富雄	社団法人ダム・堰施設技術協会	審議役
委員	高見 勲	南山大学情報理工学部システム創成工学科	教授
委員	田中 仁	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻	教授
委員	服部 敦	国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部	河川研究室長
委員	藤田 光一	国土交通省国土技術政策総合研究所	河川研究部長
委員	藤野 健一	独立行政法人土木研究所技術推進本部(先端技術)	主席研究員
委員	藤間 功司	防衛大学校システム工学群建設環境工学科	教授
委員	渡辺 博志	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ	基礎材料チーム 上席研究員

五十音順

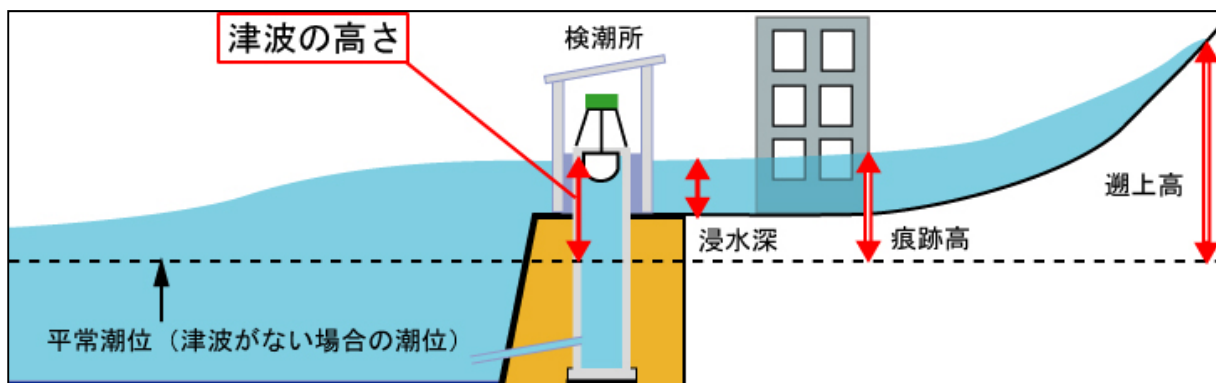
(参考) 用語の定義

本委員会においては、「津波」と「河川津波」を下記のように定義し、「津波」に関する用語は気象庁による定義を、「河川津波」に関する用語は委員会による新たな定義を用いる。

○津波：「津波」とは津（港）に押し寄せる、異常に大きな波。津波は、海底で発生する地震に伴う海底地盤の隆起・沈降や海底における地滑りなどにより、その周辺の海水が上下に変動することによって引き起こされる。（国土交通省HPより）

【津波に関する用語の定義】

- 津波高（津波の高さ）：津波がない場合の潮位（平常潮位）から、津波によって海面が上昇した高さ（極値）の差。観測値からは、第1波の津波の高さ、第2波の津波の高さなど、複数の高さが求められる。
 - 痕跡高（浸水高、遡上高）：津波がない場合の潮位（平常潮位）から津波痕跡までの高さ。痕跡高の中に浸水高と遡上高が含まれる。
- 浸水深：地盤から津波痕跡までの高さ。



検潮所における津波の高さと浸水深、痕跡高、遡上高の関係（出典：気象庁HP）

- 河川津波：河川を遡上した津波をいう。

【河川津波に関する用語の新たな定義】

- 河口における津波高：河口における津波がない場合の潮位（平常潮位）から、津波によって水位が上昇した高さ（極値）の差。
- 河川津波高：各観測地点において、河川津波がない場合の水位（平常水位）から、河川津波によって水位が最も上昇した高さ（極値）の差。「○○水位観測所における河川津波高」として用いる。

※河川津波は最初の波が一番大きいとは限らず、第1波に限定する場合には、「第1波

の河川津波高」とする。

○河川痕跡高：ある地点において、河川津波によって水位が最も上昇した高さを基準面から表した値。基準面としては河口における津波高と同様、平常潮位とする。

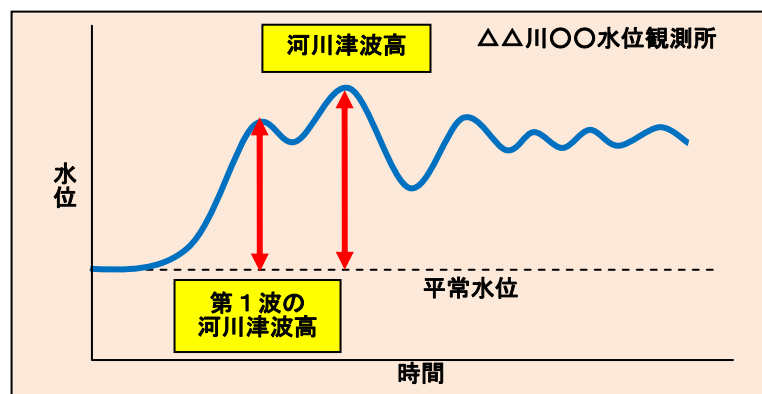
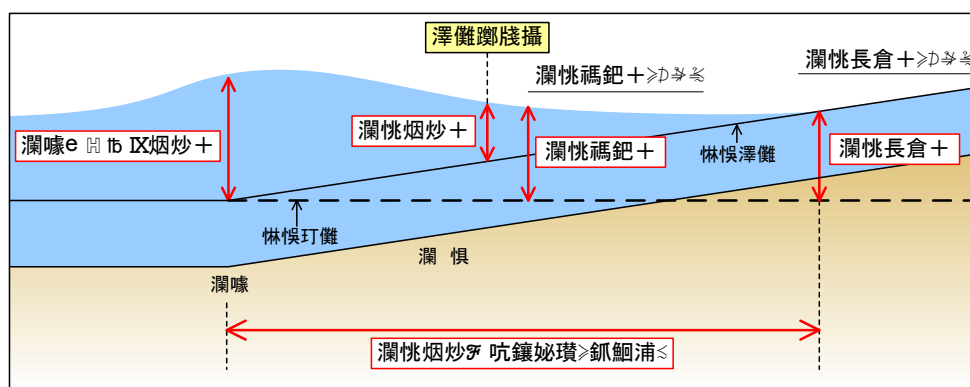
※河川痕跡高を T.P. で表す場合は「河川痕跡高 (T.P.)」と表示する。

○河川津波の到達地点：河川津波が到達した地点 (距離標)。

○河川遡上高：河川津波の到達地点における基準面からの高さ。基準面としては河口における津波高と同様、平常潮位とする。

※河川遡上高を T.P. で表す場合は「河川遡上高 (T.P.)」と表示する。

注) 河川痕跡高と河川遡上高の表示については、河川管理施設等との相対的な高さ関係を把握する上で、東京湾平均海面 (T.P.) や各河川の基準面 (特殊基準面) で表す。



本委員会における河川津波高等の定義

なお、河川津波がない場合の水位 (平常水位) は、河川津波が到達する前の安定した水位とするが、河川津波は潮位や河川の流量の変化を受けやすいことに留意する必要がある。

(参考) 東日本大震災における河口堰・水門等の復旧に向けての緊急提言

緊急提言は、東日本大震災において被災した河口堰・水門等について、出水期を迎えるにあたって留意すべき事項、及び今年度の出水期明けに行われる本復旧に向けて考慮すべき事項を緊急的にとりまとめたものである。

【今出水期に向けて】

○施設状態の詳細な把握と最低限必要な機能の確保

堰・水門等施設の背後地、関連施設の復旧状況等にも十分に配慮した上で、施設の機能がどこまで発揮できるか詳細に把握し、当初の機能を発揮できない状態であれば求められる最低限必要な機能を確保できるような措置を講じること。特に、開度計等による操作状態の把握、代替電源あるいは代替制御設備の確保、暫定操作方法への変更が重要である。

なお、代替手段をとる場合には必要な動作確認を行うとともに、操作訓練等を十分に実施することが重要である。

○周辺状況を踏まえた暫定操作

背後地の地盤、施設及び関連施設の沈降を考慮して、今出水期において必要に応じて暫定操作の検討が必要である。

○瓦礫、木材等の除去

津波の河川遡上により運ばれた瓦礫、木材等が、出水により移動し堰・水門等の機能に影響を及ぼすことが想定されるので、除去等の対策に努めることが重要である。

○関係機関との連携体制強化

さらなる地震、津波等により、堰・水門等の操作に関する不測の事態も想定し、関係機関との連携体制の強化、資機材の備蓄、緊急的な整備体制の確保等に努めることが重要である。

○関係機関との情報共有

現時点での復旧による機能回復状況及び今出水期の洪水対応（特に従前と異なる部分）について、地方自治体、水防団、地元住民、利水者、河川利用者等との情報共有が必要である。

○被災実態の調査分析

被災痕跡の残存及び今後の本復旧に向けての重要な基礎情報として、早急に被災実態の詳細調査及び分析を行う必要がある。調査分析にあたっては、堰・水門等の本体部分の損傷なのか、開閉装置の損傷なのか、電源設備の損傷なのかなど、被災した部分の特定及びそれらの損失機能について、動作確認等を通じて把握する。その際、「ゲート設備の危機管理対策の推進について 提言（平成 19 年 8 月）」を踏まえながら分析することが重要である。

【被災施設の本復旧に向けて】

○被災原因を踏まえた復旧

復旧にあたっては、単に被災箇所を修復するというのではなく、地震動による被災なのか、津波による被災なのかなど被災の原因を分析したうえで、復旧内容を検討する必要がある。

○周辺施設と整合した復旧

堰・水門等の復旧にあたっては、堤防等の周辺の施設の復旧と合わせて、地盤沈下に対応した嵩上げ等の対策について検討する必要がある。

○電源・制御設備の多重化及び代替設備確保

今回の被災状況を踏まえ、電源設備や制御設備等、浸水や流水に対して被災しやすい設備については、高所への設置や耐水化を図るなど現地構造物を含めて検討をすること。また、従来の予備発電機に加え、可搬式発動発電機の取り込みを可能とするなど、電源や制御設備の多重化や代替設備との接続を容易にするなどの対策もあわせて検討する必要がある。

○非常時における機能確保

外部電源が喪失しても制御電源のバックアップ機能により油圧バルブを開いてゲートを閉める等、今回の現地での被災事例を踏まえ、非常時においても最低限のゲート機能が確保されるような設備のあり方を復旧に反映するよう努めることが重要である。

○操作を考慮した復旧

近地津波では津波到達時間が短いことや操作に時間を要すること、また、操作員の安全確保などの視点も踏まえ、現実的なシナリオを想定し、安全で確実な操作ができるよう、できる限りの配慮を行うことが望ましい。