

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

骨子(たたき台)

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. 被害の概要.....	2
(1) 地震の概要	2
(2) 津波の概要	2
(3) 河川津波の概要	2
2. 河口堰・水門の今後の設計・構造のあり方.....	4
(1) 基本的な考え方	4
(2) 今回明らかになったことを踏まえた提案.....	5
(3) 今後、検討や研究・開発が必要な事項	8
3. 河口堰・水門の今後の操作のあり方.....	9
(1) 基本的な考え方	9
(2) 今回明らかになったことを踏まえた提案.....	10
(3) 今後、検討や研究・開発が必要な事項	13
おわりに.....	14

(参考)

- ・用語の定義..... 15
- ・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 17

(資料編) 20

-
-
-
-

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震及び当該地震に伴う津波により、東北地方を中心に多くの堰、水門等の河川構造物が損傷を受けた。

このため、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する河口堰・水門等の設計や操作のあり方等について、「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」を設立して検討し、考え方をとりまとめた。

1. 被害の概要

(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・旧北上川で60cm、鳴瀬川で51cm、名取川で14cm、阿武隈川で15cmそれぞれ沈下する地表変位が観測された。

(2) 津波の概要

- 太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し、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。
- 津波高は、震央に近い地域を中心とした三陸海岸～相馬において最も高く、7～8mと見られる。
- 浸水深は、震央に近い大船渡と女川漁港では10mを大きく越えている。茨城県・千葉県の海岸部でも4～5mの浸水深となり、宮城県の海岸並の高さとなっている。
- 仙台平野では、海岸の背後にある低地を遡上した津波によって浸水範囲が内陸深くまで及んでいる。

(3) 河川津波の概要

【河川津波の到達地点】

- 河川津波が確認された水位観測所および津波の痕跡が確認された最上流地点より、直轄河川における河川津波の到達地点を整理した。東北地方太平洋沿岸の河川では、河川津波の到達地点は、馬淵川で約9km、北上川で約49km、旧北上川で約33km、鳴瀬川で約25km、

名取川で約 7km、阿武隈川で約 10km であった。

- 馬淵大堰、北上大堰、鳴瀬堰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 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 程度の河川が複数あった。

【河川津波高】

- 河口から一番近い水位観測所における河川津波高について整理した。河口からの距離や河口砂州の状態により一概には言えないが、高瀬川、鳴瀬川、阿武隈川では、第 1 波の河川津波高が大きく、それ以外の河川では第 2 波以降の河川津波高が大きかった。(注：名取川は地震により水位観測データが欠測)

【河川津波の伝播速度】

- 河川津波の伝播速度については、北上川の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ともに平均で約 8m/s であり、河口から 17.2km の北上大堰まで地震後 69 分で到達した。

2. 河口堰・水門の今後の設計・構造のあり方

東北地方太平洋沖地震及び当該地震により被災した河口堰・水門について、地震発生前、地震発生時、地震発生後から津波到達前、津波到達時、被災後の時系列で整理し、被害状況および機能の損失状況の調査分析を行った。

その結果、現時点で明らかになったことを踏まえて、今後の設計・構造のあり方について提案する。

(1) 基本的な考え方

- 自然現象は常に想定以上のことが生じる可能性があることを十分認識すべきである。
- 河口堰や水門がどのような状態のときに地震や津波が発生するかは予測できず、特に、近地津波の場合には津波到達までの時間が短いので、必ずしも想定していたゲート操作を行うことが困難であることも念頭に、開閉いずれの状態でも最低限の機能は維持できるような構造とすることが望ましい。
- 今後の設計・構造の検討にあたっては、操作性、危機管理、耐久性、維持管理の容易さ、修復性などの総合的なバランスが重要である。
- 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、ゲートの危機管理について多重化・多様化・独立性の観点から整理する必要がある。
-
-

(2) 今回明らかになったことを踏まえた提案

【停電による影響】

- 震度 5 以上の区域では、地震による停電により、遠隔操作設備に予備電源設備がない水門（月浜防潮水門、市柳川水門）では遠隔操作ができず、機側操作での対応しかできない事例があった。



- 常用電源（商用電源）が必ずしも期待できないという状況も念頭に、ゲートの危機管理対策を検討しておく必要がある。
- 非常時においても操作が継続的にできるよう、動力の二重化並びに燃料の確保を図る必要がある。
- 予備電源の自動起動化を検討する必要がある。
-
-

【地震動による損傷】

- 地震によりメッセンジャーワイヤの取付金具が破損した（馬淵大堰、真野川水門）ため、遠隔操作等により津波に備えて操作しようとしたが、ゲート両端の同調が取れない事例があった。また、いずれの時点においてかは明らかとなっていないが、ゲートが片吊り状態となり、半開状態で河川津波を迎えた事例があった。（馬淵大堰）
- 地震により、上部戸当たり（軽構造物）のレール曲がりやアンカー一部損傷によりローラがはずれ開閉操作不能となり、津波を迎えた事例があった。（真野川水門）



- 今回の津波のように設計外力を超える外力が発生した場合も考慮して、重要な部分の変形するより先に速やかに修復が可能な部分が壊れるような構造にするなど、各設備毎に耐津波性能レベルを分けて設計を検討する必要がある。
- 戸当たりなどの軽構造物の損傷に留めることにより、躯体及びゲートの損傷を防ぐことに加え、戸当たりが損傷してもゲートを閉操作するための構造的な工夫が必要である。
-
-

【津波による損傷】

- 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、機側操作盤の一部が水没、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。
- 景観に配慮した上屋が越流により損傷し、被災を拡大、あるいは復旧を難しくしたと推察される事例も見られた。
- 河川津波によりゲートが浮き上がり、ゲートワイヤの乱巻き、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、阿武隈大堰）
- 直轄河川では、河川津波による漂流船が施設の損傷の原因となることが少なかったが、県管理河川では漂流物も多く見られた。
- 津波の到達までに操作が間に合わない施設があった。



- 河川津波により電源や制御設備の水没や流失が発生していることを

踏まえ、常用電源を喪失したとしても最低限の機能を維持するための設計が重要であり、電源や制御設備の高所設置や耐水化を図る必要がある。また、上屋についても、平常時の景観のみならず、越流しない高さとするなど、津波時を考慮した構造とする必要がある。

- シェル型ゲートを河川津波により浮き上がらないようにするには、応急的な補強等の対応では難しいが、ゲートの浮き上がり等が発生しても甚大なトラブルが起きないようにする必要がある。そのため、復旧時に対応することと更新時等に対応することを分けて整理する必要がある。
- 河川津波による漂流船が施設損傷の原因になる可能性もあるので、港湾、漁港の有無など、河口や河口付近等の水面利用を調査しておく必要がある。
- 震源からの距離や海浜地形、河口部の形状、河口から水門や堰までの距離等により津波の到達時間は異なるので、想定される河川津波の到達前に操作が間に合うよう、各設備の設計にあたっては、ゲートの巻き上げ速度の向上など、津波到達時間に応じた性能を確保する必要がある。
- 大地震後の水門、河口堰は、操作設備に何らかの損傷を受けている可能性があるため、さらに状況を悪化させないよう可能な限り状況を確認の上、ヒューマンエラーの防止を念頭に単純な操作となるようにすべきである。このため、設備の構造もできるだけ簡素な構造が望ましい。
-
-

(3) 今後、検討や研究・開発が必要な事項

【設計外力の考え方】

- ゲートの設計荷重については、設置条件等を踏まえゲート毎に検討する必要がある。その際、津波を短時間の衝撃荷重として見た場合、どのように安全率を見込むか検討する必要がある。
- 水門及び堰に到達する河川津波の外力は、津波の規模、河床勾配や河口砂州などの河道形状、河口から水門や堰までの距離等により異なることに留意し、ゲートへの荷重の設定方法を基準化に向けて検討する必要がある。
-
-

【河川津波の流速の算定手法の考え方】

- 河川津波を考慮したゲート設計を行う際に必要となる波圧計算のための流速に関する知見が確立されていないことから、河川津波の位相速度を検証に用いるには問題ないが、そのまま設計に用いるのは妥当ではない。今後の設計にあたっては、流体力（流速を介した流体力）としての検討が必要なので、ビデオ解析等による津波の位相速度について分析を進め、流体力について研究していく必要がある。
-
-

3. 河口堰・水門の今後の操作のあり方

東北地方太平洋沖地震及び当該地震により被災した河口堰・水門について、地震発生前、地震発生時、地震発生後から津波到達前、津波到達時、被災後の時系列で整理し、操作規則や実際の操作等の調査分析を行った。

その結果、現時点で明らかになったことを踏まえて、今後の操作のあり方について提案する。

(1) 基本的な考え方

- 河川津波の水位上昇は急激なので、各施設の置かれた条件を基に事前にシナリオを想定し、シナリオ毎の操作を検討しておく必要がある。
- 堤防の一部である水門は、原則として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を基本とする。
- 堰は多目的施設なので、河川津波の際には、利水障害など社会的影響、ゲートの開閉状態による被害想定、津波到達時間とゲート開閉時間の関係等を考慮して、ゲートの開閉について決めておくことを基本とする。特に、利水を目的に持つ堰の操作については、津波の予想がなく来襲する場合（見逃し）や津波が来襲しない場合（空振り）を想定し、堰の開放操作が治水、利水、環境など社会に及ぼす影響について総合的に検討する必要がある。
- 河川津波の遡上による被害想定については、地震による被災状況とあわせて、堰のゲートを開ける場合には、堰上流の堤防の整備状況や河川津波の反射波について、また、堰のゲートを閉める場合には、河川津波のせき上げ、堰下流の堤防の整備状況、堰による反射波について留意する必要がある。

○

○

(2) 今回明らかになったことを踏まえた提案

【故障時の緊急操作】

- 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、油圧シリンダの油圧を開放することによりゲートを自重降下させ、ゲートの閉機能を確保した事例があった。
- 堰のゲートが片吊り状態となり、半開状態で河川津波を迎えた事例があった。(馬淵大堰)



- 水門については、津波遡上時の本川の水位上昇に伴う支川や水路への逆流による氾濫・浸水を防止するため、「閉操作が確実にできること」が津波操作の基本であるため、万一設備の一部が機能しない場合にも、強制的に閉めることができる機能が求められる。このため、閉めるべきゲートについては、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。
- 地震発生後から津波到達前までに片吊りなどの障害が発生した場合に備えて、想定していた操作に拘らず、安全を優先した対応をあらかじめ検討しておくとともに、そのような状況を想定した訓練を実施することが有効である。

○

○

【故障、異常箇所早期発見】

- 水門扉の開度を確認するための開度計が故障し、水門扉の状態監視ができない事例があった。(馬淵大堰、北上大堰)



- 故障時のバックアップを実施する上で、故障箇所や異常箇所の早期発見は非常に重要であるが、操作盤に故障箇所と故障原因まで表示するのは難しいのが実態である。そのため、危機管理の観点から、現有の設備で自動的に得られる情報、得られない情報を把握しておくとともに、故障箇所や異常箇所を推定する方法についても整理しておくことが望ましい。
-
-

【津波到達までの操作時間】

- 月浜第一水門では地震発生後 39 分で津波が到達したが、操作開始前の安全確認に 3 分、操作に要した時間は 5 分であり、津波到達前に全閉操作を完了している。野蒜水門でも地震発生後 64 分で津波が到達したが、操作開始前の安全確認に 3 分、操作に要した時間は 30 分であり、津波到達前に全閉操作を完了している。真野川水門では、地震発生後 55 分で津波が到達したが、操作開始前の安全確認時間に 3 分、操作に 57 分を要しており、全閉操作を完了することはできなかった。
(なお、真野川水門では地震により戸当りが損傷し、ゲート 1 門が閉操作できなかった。)

- 北上大堰では地震発生後 69 分で津波が到達、阿武隈大堰では 86 分で到達しているが、いずれも操作はせず全閉状態のまま津波を受け、津波によるゲートの浮き上がりが生じた。なお、地震発生後 64 分で津波が到達した馬淵大堰では、一部のゲートは 37 分で全閉したが、ゲート設備の損傷により全ゲートを全閉することはできなかった。



○

○

【操作環境、操作員の安否】

- 遠隔操作を導入していた施設は、馬淵大堰、月浜第一水門、月浜第二水門、月浜防潮水門、真野川水門、市柳川水門、野蒜水門の 8 施設であり、このうち 3 施設（馬淵大堰、月浜第一水門、野蒜水門）では今次の津波時に遠隔操作によりゲート操作を実施した。それ以外の水門では、地震による商用電源の停電、外部電源の寸断、光ケーブルの切断等により、遠隔操作によるゲート操作ができなかった。なお、真野川水門においては、点検中であったため、機側操作によるゲート操作を実施することができた。
- 水門・樋門操作員の被災事例が報告されている。



- 津波警報発令中に操作員が機側で操作することは回避すべきであり、機側操作が基本の施設にあつては、遠隔操作、遠方操作、地震計等による自動操作を可能とするなど、操作の二重化を図る必要がある。

- 小規模な施設の場合は、フラップゲートなどによる無動力化などの対応を図るべきである。
- 操作員の安全確保の観点から、操作環境の改善が必要である。
- 非常時においても、無線などを用いて操作員との連絡が確実に取れる体制を構築する必要がある。
-
-

(3) 今後、検討や研究・開発が必要な事項

- 河川津波によるゲートの浮き上がりに対する操作として、ゲート下部をパーシャルオープンして運用することについて検討する必要がある。
-
-

おわりに

(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。

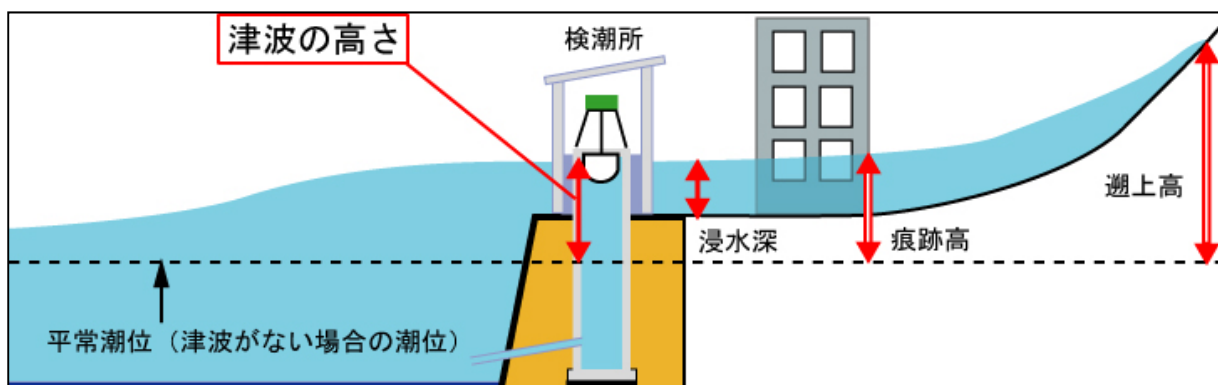
○津波：「津波」とは津（港）に押し寄せる、異常に大きな波。津波は、海底で発生する地震に伴う海底地盤の隆起・沈降や海底における地滑りなどにより、その周辺の海水が上下に変動することによって引き起こされる。（国土交通省HPより）

【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

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。

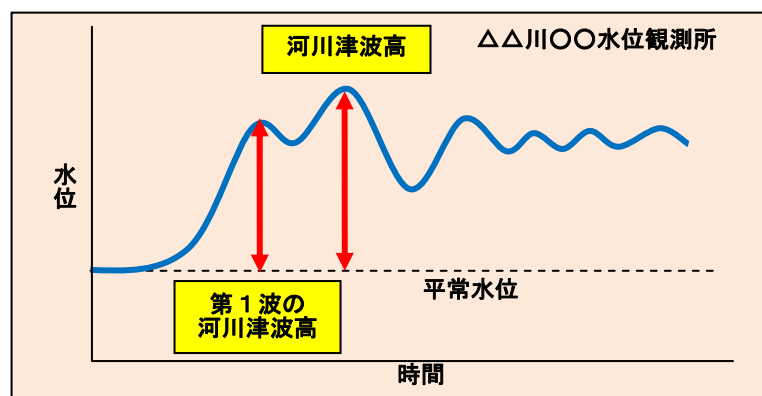
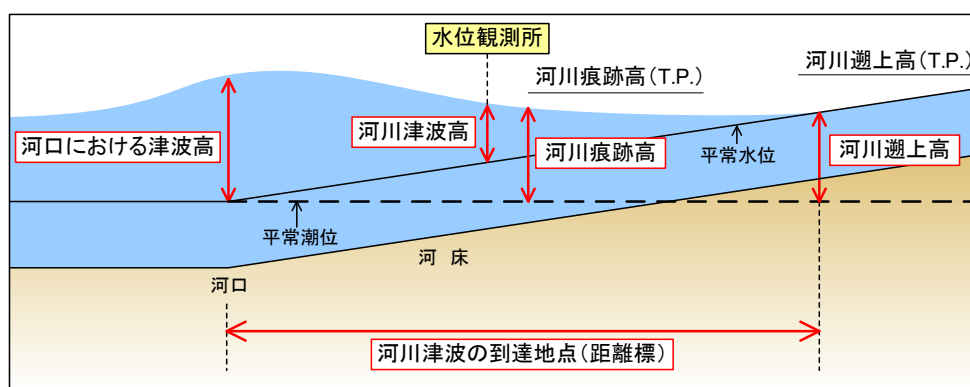
※河川痕跡高を T.P. で表す場合は「河川痕跡高 (T.P.)」と表示する。

○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。

(1) 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。

(2) 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。

(資料編)