水門の耐震対策について
－設計業務の円滑な執行の工夫－

橋本　佳奈

兵庫県　県土整備部　土木局　河川整備課　（〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1）

近い将来，発生が懸念される南海トラフ地震では，兵庫県は，沿岸部を中心に津波による浸水被害が想定されている．津波対策において，防潮水門は，地震が起こった際に，津波の河川への遡上を防ぐため，水門機能を喪失させない必要がある．このため，兵庫県では，第一線防潮堤となる18基の防潮水門の耐震補強を2018年度までに完了する計画を策定した．この目標を達成するには，耐震補強設計を早期に終え，耐震補強工事期間や事業費を確保していく必要がある．本論では，耐震補強設計を短期間に確実に実施するため，業務の効率化を図り，工夫した取り組みを紹介する．

キーワード　防潮水門，耐震補強設計，津波対策，業務効率化

1. はじめに

東日本大震災で，計画規模を超える巨大津波によって沿岸部の市街地は，広範囲にわたり水没するなど甚大な被害が発生した．近い将来，南海トラフ地震が発生する懸念があり，本県でも津波による浸水被害が想定されている．このため，本県では2015年6月に沿岸部の特性に応じた津波対策を効果的かつ効率的に推進するため，津波防災インフラ整備計画を策定した．

津波防災インフラ整備計画は，2013年度～2023年度までに南海トラフ地震に備え，最大クラスの津波に対する防潮施設，避難支援施設，防災意識啓発施設を対象として，整備の考え方を明らかにし，計画的・重点的に津波対策を推進するものである．（図-1）

その中で，防潮水門の耐震対策については，地震が起こった際に，津波の河川への遡上を防ぐため，水門機能を喪失させない，第一線防潮堤となる県内の18基の防潮水門の耐震補強を2018年度までに完了する計画である．

本論文は，そのうち耐震補強工事が完了した1基，耐震補強設計を2016年度実施する1基を除き，2015年度より設計に着手した16基の防潮水門の耐震対策を2018年度までに完了させるため，耐震性能照査および耐震補強設計において工夫した取り組みを報告するものである．

3　防潮水門の耐震対策

河川の防潮水門は、津波が河川を遡上することによる堤防からの越流を防ぐことができます。このため、平成26年度の耐震診断の結果に基づき、耐震対策が必要な防潮水門18基について津波発生時に防潮水門の機能が維持できるよう、５年間（平成30年度まで）で門柱の耐震補強等の対策を完了します。

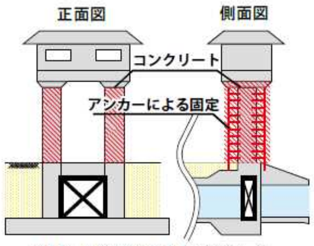


図5.10　防潮水門の門柱耐震補強のイメージ

表5.10　防潮水門の耐震対策実施数

沿岸	耐震対策実施数	主な事業箇所
大阪湾沿岸	3基	堀切川水門（西宮市･芦屋市）等
播磨沿岸	14基	加里屋川水門（赤穂市）等
淡路沿岸	1基	孫太川樋門（南あわじ市）
合　計	18基	

図-1　兵庫県津波防災インフラ整備計画抜粋

2. 設計業務を進める上での目標と課題

(1) 設計業務の目標

津波防災インフラ整備計画では，防潮水門の耐震対策を2018年度までに完了するために県内の18基の防潮水門の耐震対策が位置づけられている．計画を進めるための問題は，以下の3つが挙げられる．

①最も期間を要すると考えられる耐震補強工事は，非出水期施工の必要性がある．

②事業規模によって，2～3年の期間を要することが考えられ，工事期間を確保する必要がある．

③予算を把握するために概算事業費をつかみ，事業費を確保する必要がある．

問題解決のための目標は，設計業務を2015年度の一年間に終えることであると考えた．

(2) 目標達成に向けて

耐震補強設計を一年間で終えるという目標を達成するための課題は，以下の3点である．

a) 指針の解釈の違い

水門の耐震対策については，国より河川構造物の耐震性能照査指針が出されている．これに基づいて設計を行うと，例えば，耐震補強設計に対する要求性能を決めなければならず，指針の解釈に違いが生じる可能性がある．防潮水門ごとにそれぞれ検討を始め，計画で設定している耐震補強設計について，どのように考えるか土木事務所から相談があるごとに，方針決定していては，その他の防潮水門で，手戻りが生じ，一年間での設計完成が困難と想定される．

そのため，建設年次，設置場所のような各防潮水門の諸条件が異なっているが，策定した計画の目標を達成するためには，耐震補強設計の方針を統一する必要がある．

b) 工法の絞り込みのずれ

耐震補強の工法は，多くの種類がある．同じ耐震性能照査結果となった場合の工法の比較は，同条件において行う必要がある．しかし，耐震補強の工法比較の選択を行う際に，防潮水門ごとに判断すると，比較する工法がまちまちになることが想定される．

そのため，耐震補強工法の比較は，同じ考え方で行う必要がある．

c) 技術力の違い

防潮水門ごとで所管する土木事務所が異なり，担当する職員も異なる．また防潮水門それぞれの受注業者も異なる．そのため，複数の人がそれぞれ耐震補強設計に同時に関わることとなり，多角的に検討できる一方で，設計を受注した会社やその社員，土木事務所の担当者という個人によって経験や知識といった技術的な力量に差があることは否めない．よって，耐震補強設計の検討レベルに差が生じることが想定される．

そのため，耐震補強設計の方針を統一し，検討水準を統一する必要がある．

3. 課題に対する取り組み

前項の3点については，通常，土木事務所ごとに個別に県庁と協議を行うことから発生する課題であり，その解決に土木事務所間さらには受注業者との横断的な連携を図ることを考え，次の取り組みを行うこととした．

(1) 調整会議の開催

16基の防潮水門の設計に係わる関係者が多く，課題や意見の収集，回答に時間を要する．また防潮水門の地震に対する安全性を統一するため，受注業者による技術の差を埋める必要がある．そこで，着手前に土木事務所担当者および設計業務の受注業者に一同に集まってもらう場を設け，メーリングリストを用いた情報の共有方法や，指針に基づく具体的な技術基準の作成について説明を行った．

これにより，県庁，土木事務所，受注業者の顔合わせを行い，情報共有しやすい関係を作ることが可能となった．

(2) 情報共有

事業を進めると，過去の業務報告書，会議資料，事務連絡など扱う資料が多い．そのため，資料がいつでも，分かりやすく見られる方法として県職員が利用しているメール機能の掲示板を利用して，図-2のように耐震補強設計の掲示板を新設し，業務に関係する県職員全員で資料を共有することとした．また，受注業者との連絡は，メーリングリストで，受注業者の中の代表業者から一斉送信することとした．

県庁において，すべての防潮水門の受注業者との打合せや内容を把握することは難しい．そのため，毎月業務の工期や耐震補強工事の概算費用を調査することで，検討状況の進捗を把握した．

また，業務を行う中で問題が発生していれば，土木事務所と相談し，県庁で他の防潮水門がどのように検討しているかを確認する必要があれば，情報共有を行い，より効率的に業務が進行できるようにした．

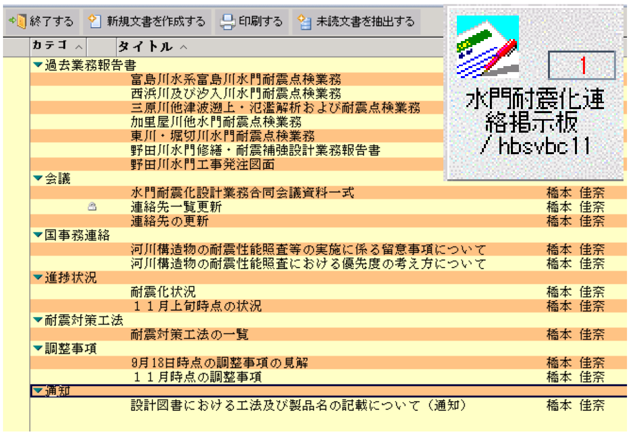


図-2　情報共有のための掲示板

(3) 技術基準の作成

耐震補強設計を進めるにあたり，受注業者の中から代表業者を一社決め，そこを中心として，受注業者に指針を解釈する際に意見が異なると考えられることを挙げてもらった．それに対する各社の考えを回答してもらい，その資料を基に県庁でとりまとめた上で方針を決め，16基の防潮水門の耐震性能照査および耐震補強設計に対する15項目にわたる技術基準を作成した．（表-1）

また，表-1に挙げた3項目について，以下に述べる．

表-1　技術基準の抜粋

番号	調整項目	理由	決定事項
1	耐震設計の業務範囲について	参考資料に示す通り，全国的にも門柱，堰柱を優先して実施。これは暗に基礎の補強が現実的では無いこと，財政的にもその予算が無いことから右記に示す施設を対象とする。	【土木施設】 照査 ： 門柱，堰柱，床板，基礎 設計 ： 門柱，堰柱，床板 【機械設備】 照査 ： 扉体本体，戸当り 設計 ： 扉体本体，戸当り 【対象外】 開閉装置，制御盤等　機械・電気設備，上屋
2	耐震性能	津波防災インフラ整備5箇年計画参照	レベル2地震動は全ての水門で耐震性能2とする。
3	対象地震動	津波防災インフラ整備計画に示す通り，南海トラフ巨大地震（L2津波相当）相当の津波に対して、18基の防潮水門は耐震対策を行うこととしている。そのため，L2津波相当の地震動に対しても施設の設計を行う。なお，設計においてL2-1地震動は、H14道示が最も大きくならない場合は、理由の整理が必要なため、兵庫県河川整備課と相談する。	照査 ： L1 L2-1（H14道示，L1津波対応（H15中央防災会議）の大きい方，L2津波対応（H24内閣府南海トラフ）） L2-2（H14道示） 設計 ： L1 L2-1（H14道示，L1津波対応（H15中央防災会議）の大きい方，L2津波対応（H24内閣府南海トラフ）） L2-2（H14道示） ※H24道示は使用しない

a) 耐震対策を行う範囲

現時点では防潮水門の基礎の耐震補強は費用がかかり，技術的に高度である．また防潮水門等の地震時挙動は必ずしも十分に解析手法が確立されておらず，計算上は許容値を超える施設でも，既往の震災事例では基礎に損傷が確認されていない場合もある．そのため，今回の耐震補強設計において基礎は対象外とし，門柱・堰柱の耐震化を優先的に実施する基準とした．

b) 耐震性能

国の指針では，防潮水門について，表-2に示す耐震性能を区分しており，レベル1地震動に対しては，耐震性能1を確保し，レベル2地震動に対しては，防潮水門の機能によって耐震性能2または耐震性能3を確保するものとしている．

16基の防潮水門の要求性能について，第一線防潮堤であり治水上又は利水上重要な水門であるため，地震後においても防潮水門としての機能を保持する「耐震性能2」と決定した．

表-2　耐震性能と地震後に求める機能

耐震性能	地震後に求める機能
耐震性能１	地震によって水門・樋門又は堰としての健全性を損なわない性能
耐震性能２	地震後においても水門・樋門又は堰としての機能を保持する性能
耐震性能３	地震による損傷が限定的なものにとどまり，水門・樋門又は堰としての機能の回復が速やかに行い得る性能

c) レベル2地震動

レベル2地震動を用いて設計すると，L2津波を引き起こす地震動を用いることとなり，現実的な対策を行うことができないため耐震補強設計の際に対象地震動から外している事例もある．しかし本県では，先行実施した耐震性能照査結果で，L2津波を引き起こす地震動はその他の地震動より小さかった．そのため，耐震補強設計におけるレベル2地震動について，H14年道路橋示方書の地震波形，L1津波を引き起こす地震動およびL2津波を引き起こす地震動の3つを用い検討する方針とした．

(4) 耐震性能照査結果の確認

作成した技術基準に基づき，防潮水門の耐震性能照査を実施した．結果を防潮水門ごとに，わかりやすく確認し，比較できるよう統一した記載方法で，一覧表に取りまとめた．（表-3）

表-3　耐震性能照査結果まとめの一例

施設概要			機能　：高潮防御 構造形式　：水門 ゲート　：鋼製ローラーゲートB12.7m×H6.06m×2門 基礎　：杭基礎（鋼管杭φ600，L=37.0m） 設置年　：S59年
耐震照査結果	水流方向	L2-1	端部：OK（曲げせん断移行型） 中央：OK（せん断破壊型）
		L2-2	端部：OK（曲げせん断移行型） 中央：OK（せん断破壊型）
	水流直角方向	L2-1	端部：門柱NG（曲げ破壊型） 中央：OK（曲げ破壊型）
		L2-2	端部：門柱NG（曲げ破壊型） 中央：OK（曲げ破壊型）

(5) 耐震補強の工法比較の統一

耐震性能照査結果に基づき，表-4のように図面を用いてわかりやすく補強箇所をまとめ，この箇所の耐震補強工法を決めていくが，その工法は，多種多様である．そのため，補強対象部位，破壊形態が同様であるのにも関わらず，防潮水門ごとに比較する補強工法が異なるようになると，同時期に実施した耐震補強が同じ進め方で実施できていないことになる．そのため，耐震補強工法についても表-5のように一覧表を作成し，県庁，土木事務所，受注業者で共有し，同じ比較で工法が検討されているか確認した．

表-4　耐震補強箇所まとめの一例

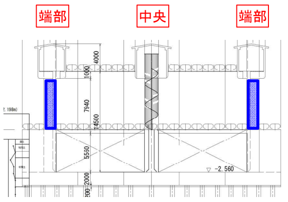
<table>
<tr><td rowspan="2">補強箇所</td><td>部位</td><td>端部門柱（曲げ補強）</td></tr>
<tr><td>概要図</td><td></td></tr>
</table>

表-5　耐震補強工法まとめの一例

<table>
<tr><td rowspan="6">補強工法</td><td colspan="2">工法名</td><td>①コンクリート増厚工法（曲げ補強）</td></tr>
<tr><td colspan="2">工法概要</td><td>①コンクリートの増厚打設により断面の拡大を行い，耐力を増加させる工法。曲げ補強を対象とする場合最も安価となる。</td></tr>
<tr><td colspan="2">概算工費
（直工×1.5）</td><td>①コンクリート増厚工法：
○○千円</td></tr>
<tr><td rowspan="3">選定理由</td><td>対策工法の抽出
（耐震対策工として考えられる全ての工法を抽出）</td><td>①破壊形態（曲げ）
a.軽量部材への変更（上屋の軽量化）
b.増厚工法
d-1鉄骨ブレース工法
d-2コンクリート梁工法</td></tr>
<tr><td>一次選定
（破壊形態，施設構造から適用可能な工法を選定）</td><td>①破壊形態（曲げ）
b.増厚工法
（比較工法：コンクリート増厚，PP工法，乾式吹付耐震補強工法）</td></tr>
<tr><td>二次選定
（一次選定の工法に対してそれぞれの対策規模を検討し対策工法を決定）</td><td>①施工性，経済性に優れ，施工実績の多い<u>コンクリート増厚工法</u>を採用した。</td></tr>
</table>

4. 取り組みの結果

3. の取り組みを行った結果を述べる．

(1) 耐震性能照査

耐震性能照査は，十分に議論し，技術基準を決め，業務を進めたが，何度か耐震性能照査の条件を確認し，調整する必要があった．しかし，業務を進めながら疑問点や技術基準と異なる見解となる場合は，土木事務所を通じて県庁に報告をしてもらう様にしたため，手戻りの発生や業務が滞ることなく実施できた．一部の防潮水門は，劣化状況を見ながら調査を進めているが，おおむね全ての防潮水門について，耐震性能照査の結果は門柱・堰柱の対策を行わなければならない．

反省点として，調整会議は当初の１回で，その後は省力化のため掲示板やメーリングリストのみで連絡することとしていた．しかし文章だけでは，考えが伝わっていないことが度々あった．例えば，県庁では技術基準について回答済みと考えていても，基準が決っていないと思い回答を待っている受注業者があった．その過程で，直接話しをし，相互の意思を確認するということが重要であると改めて認識した．

(2) 耐震補強工法

耐震補強工法の選定は，調整会議や技術基準の作成当初に比較する耐震補強工法を統一することを確認しており，実施した防潮水門から順次情報を共有することにより，円滑に進める事ができた．

5. おわりに

今回，防潮水門の耐震対策について統一した技術基準により設計しているが，改築や新設などを行う防潮水門についても同じ基準に基づき行うことで，その他の防潮水門の設計を円滑かつ効率的に進める事が出来ると考えている．そのため，今回の防潮水門の耐震補強設計で作成した技術基準および耐震補強工法一覧については，本県で使用している社会基盤整備に関する知識や技術を集約・共有できる情報掲示板を利用して，県職員へ周知していく．

また今後は，耐震補強工事を実施していく．これまでと同様に土木事務所と連携を図り，発注仕様書，見積りや工事の進捗など情報共有し， 2018年度までに耐震対策の完了を目指していく．