

東日本大震災後に整備する水門の設計手法について

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○高野和成 天野紀 西村学 芳賀堯
国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 技術開発課 河崎尚弘 藤倉永大

1. はじめに

東日本大震災で発生したM9 クラス地震時の津波は、海岸沿いに整備した一連の防護ラインを乗り越え、堤内地へ浸水被害をもたらすと同時に多くの海岸・港湾・河川構造物を破壊した。

中でも防潮水門・潮止め堰などの構造物は、地震発生直後の振動による損傷は致命的でないものの、津波波力や津波来襲後の越波によって電源・制御設備が浸水し、機能不全になったものや管理橋ごと流出した事例が確認された。さらに、ゲートに揚圧力が生じ、浮き上がりにより不完全閉鎖したものもあり、今次津波は設計外力以上であったことに加えて、超過外力に対して脆弱であることが明らかになった。



ここで紹介する施設は、直轄で整備予定の津波（東海・東南海・南海地震（；以下三連動地震）で発生する津波対策水門（水門幅 30m、高さ 9.5m と日本最大級クラス）であり、近い将来高い確率で発生すると想定されている地震を踏まえ、早期整備が求められている。ここでは、今次津波での被災実績、中央防災会議の方針、超過外力に対する防護方針などを踏まえ、三連動地震に備えることを念頭において設計手法を設定した。

2. 水門の設計手法

計画する水門は、和歌山下津港海南地区の津波防護ラインの一翼をなし、係留区域の港口部に整備される予定であり、港湾海岸保全施設として運用される。通常、港湾海岸保全施設の設計手法は、港湾の施設の技術上の基準・同解説（以下；港湾基準）によって設計する。しかし、信頼性設計によって構造物の安全性を確認する港湾基準では水門構造物に対して具体的な性能規定が明記さ

れていない。一方、河川では、平成 19 年に河川構造物耐震性能照査指針（案）（以下；河川基準）が発刊（H24.2 に一部改訂）され、水門構造物に対する要求性能を耐震性能という規定で整理されており、対象水門については港湾基準を準拠しつつも具体的な照査方法は、河川基準や道路橋示方書に基づいて照査する手法とした。

3. 外力ケース

対象水門は、三連動地震で発生する津波に対して防護する施設であり、大規模地震（海溝型、直下型）に対しても水門としての機能を確保することが前提となる。水門としての機能とは、大規模地震後もゲートの開閉が可能であり、防護ラインを確保するという機能である。また、大規模地震も海溝型と直下型に大別されるが、津波が発生しない直下型については海溝型に比べて要求性能を 1 ランク下げる計画（耐震性能 2→耐震性能 3）とした。

耐震性能表

耐震性能 1	健全性を損なわない性能
耐震性能 2	水門としての機能を保持する性能
耐震性能 3	水門としての機能の回復が速やかに行い得る性能

対象水門に作用する外力は、想定外の外力を考えないことを念頭にあらゆる外力を組合せて設定した。今回、東日本大震災で発生した地震の継続時間が長いことや本震以降の余震回数がこれまで発生した大規模地震に比べて多い結果を受け、津波と余震の同時生起も外力ケースとして設定した。その結果、照査した外力は、常時（風荷重）、地震時（L 1 地震）、高潮・波浪時、津波発生時、大規模地震（L 2 地震：海溝型、直下型）に加え、東日本大震災の実績を踏まえ、M9 クラス地震時とそれに伴い発生する津波、さらには津波と余震の同時生起、引波と余震の同時生起も考慮して安定性の照査を実施した。

3. 要求性能と性能規定

水門の機能は、地震時や津波来襲時にゲートの開閉が可能な状態であることを前提とするが、大規模地震時に対しても耐震性能 1（水門としての健全性を損なわない）を確保することは、施設の規模が大規模となり、コスト面を考えると現実的でない。

ただし、高い確率で発生すると推定されている三連動

キーワード 津波 水門

連絡先 〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町 2-3-13

kazunari.takano@os.pacific.co.jp

パシフィックコンサルタンツ(株)

水門に作用する現象	外力ケース	要求性能	性能規定
地震なし	永続状態 常時	許容応力度以下	応力度が許容応力度を超えない状態
地震単独ケース	変動状態 レベル1 地震時	耐震性能 1	・塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形がゲートの開閉を妨げない範囲内（許容塑性率以内）。 ・残留変位はゲートの開閉が可能な変位以下
	偶発状態 レベル2 地震時（直下型と海溝型）	耐震性能 2[海溝型] 3[直下]	
	偶発状態 M9 地震動	耐震性能 2	
津波単独ケース	偶発状態 津波作用時（東海・東南海・南海地震）	耐震性能 2	・塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形がゲートの当該部材の修復を容易に行いうる範囲内（許容塑性率以内）。 ・残留変位はゲートの開閉が可能な変位以下
	偶発状態 津波（東海・東南海・南海地震）+漂流物の衝突	耐震性能 2	
	偶発状態 津波作用時[M9 クラス地震]	耐震性能 3	
津波+余震の同時生起ケース	偶発状態 津波（東海・東南海・南海余震）+東海・東南海・南海余震時	耐震性能 2	・塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形がゲートの当該部材の修復を容易に行いうる範囲内（許容塑性率以内）。 ・残留変位はゲートの開閉が可能な変位以下
	偶発状態 津波[M9 クラス余震]+M9 クラス余震時	耐震性能 3	
引波+余震の同時生起ケース	偶発状態 津波（東海・東南海・南海余震）+東海・東南海・南海余震時	耐震性能 2	・塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ、その塑性変形がゲートの開閉を妨げない範囲内（許容塑性率以内）。 ・残留変位はゲートの開閉が可能な変位以下
	偶発状態 津波[M9 クラス余震]+M9 クラス余震時	耐震性能 3	

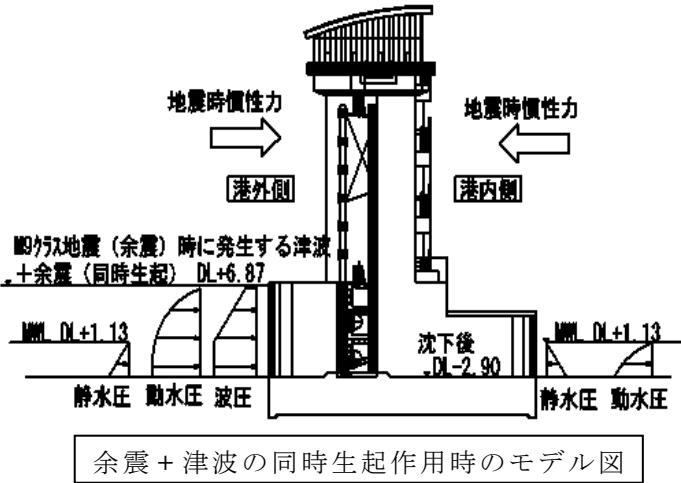
着色は、クリティカルなケース

地震及び三連動地震に伴う津波に対しては、所定の機能を発揮すべきであり、耐震性能 2（塑性変形を生じてもゲートの開閉に支障をきたさない）を確保することとした。しかし、1000 年に 1 回程度の確率で発生するとされる M 9 クラス地震及び M9 クラス地震に伴う津波に対しては、すべてをハード対策で乗り切ることが困難であるため、越波を許容するものの水門としての機能は確保（閉鎖だけでなく、その後継続的に利用できるよう開門も可能）することを前提に耐震性能を設定した。

4. 照査方法及び照査結果

水門は、土木・機械・建築により構成される構造物であり、各分野に応じて照査方法は異なる。今回、大規模であることや湾内に位置した構造物であるため、容易に修復することは困難であることを踏まえ、あらゆる外力に対しても弾性領域内におさまるよう許容応力度法にて照査を行った。但し、偶発状態については弾性領域内の中でも降伏点の 90% 以内とすることを目標とした。照査した結果、各ケースの中でももっともクリティカルになるケースは、

M9クラス地震（余震）時の津波+余震



M9 クラス地震で発生する余震動と津波が同時に外力として作用するケースであり、水門として必要となる重量は250tクラスになる。仮に M9 を考慮しなければ、200t程度となり、津波波力の大小により、ゲート重量が大きく変化することがわかった。

水門本体は、永続状態や変動状態を、許容応力度法にて照査し、偶発状態を地震時保有水平耐力法により静的に照査するとともに地震で生じる外力を段階的に作用させる動的解析でも照査を行った。照査の結果、永続状態や変動状態で決定した土木施設寸法に対して、偶発状態については鉄筋量（径D32→D35、本数）を増強することで、必要となる安全性を確保した。

水門基礎は、偶発状態において液状化を考慮した場合、すべて降伏する結果となったが、許容塑性率以内であったため、性能規定を確保できる結果となった。

5. 最後に

M 9 クラス地震を考慮した設計手法は、現時点で明確にされたものはない。しかし、M 9 クラス地震で発生した津波により数多くの水門が損傷を受けた状況であり、ゲートの開閉に支障をきたしたため復旧・復興が遅れている。この状況を踏まえ、基本設計では、粘り強くなる構造として水門本体の形式を U 形で提案するとともにすべての電源・制御施設を操作室内に配置し、駆動方式を 1M2D で提案した。さらに遠隔制御監視が可能なシステムを導入するとともに地震や津波により常用電源による操作が不可能となっても発電機により操作可能となるようリスクの軽減を図る提案を行った。

<参考文献>①港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 19 年 7 月 ②河川構造物耐震性能照査指針（案）平成 19 年 3 月