

大型水門の技術的検討

Technical Consideration on Large Scale Storm Surge Barrier

大下英治*・藤本憲久**

OSHITA, Eiji and FUJIMOTO, Norihisa

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** 国土交通省 関東地方整備局 港湾空港部 海域環境・海岸課 課長

As a countermeasure against storm surge construction of large scale movable barriers at the port entrances will be effective than that of seawalls along the coast. As there have been no experiences for large scale storm surge barriers in Japan, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and CDIT start to study relevant technologies for the construction of large scale storm surge barriers.

Key Words : storm surge barrier, design, method

1. はじめに

我が国の港湾都市は物流において大きな役割を果たしてきただけでなく、多くの人口を抱え社会資本が累積し経済活動が盛んである。

船舶の大型化や荷役の効率化、港湾関連産業の立地、ウォーターフロントの市民への開放など港湾都市における埋立地の造成が海域環境や水際線利用の重視から人工島の形態で行われてきた。このために埋立地の護岸延長はかなりの長さにも及ぶところもある。

これらの海岸保全施設（防潮堤や水門など）は昭和30年代後半より市街地の防護を目的に整備されたものや伊勢湾台風を契機に整備された施設が多く、従って、建設後の経過年数が40年にも及ぶものもあり施設の老朽化や大規模地震などによる耐震強化が求められている。

また、新たな防護ラインとして築造されたものも地球温暖化による海面上昇や、異常気象の影響で設計条件の見直しなどが必要となってきた。

これらに基づき既存の施設の見直しや耐震工事などを想定した場合、その延長は数十 km になり、費用と時間が大幅にかかることが予想される。

これに対し、水域・埋立地を含めた港全体を締め切ることになれば全体として防護ラインの短縮化が図られ、かつ防護ライン内側の内部埋立地の土地利用の変化にも柔軟に対応することが可能である。

大型水門建設の技術基準は現在存在してなく、設計法についても検討が始まったばかりである。

本論文では高潮時において大型水門による港入り口での締め切りのための検討を行った中で、新しい海岸防護の考え方としての大型水門の技術的検討方法と今後解決される課題について総論的に述べるものとする。

2. 設計条件

2.1 計画高潮位

大型水門は今後予想される地球温暖化による海面上昇を踏まえ外洋側の水位及び内水面の水位を下記の計算式で考えるのが望ましい。

$$\text{外洋水位} = \text{朔望平均満潮位} + \text{高潮による偏差} \\ + \text{温暖化による水位上昇 (1 m)}$$

$$\text{内水面水位} = \text{朔望平均干潮位} \\ + \text{温暖化による水位上昇 (1 m)}$$

特に外洋水位と内水面水位の差は大型水門の扉体の設計を行う上で重要な要素の一つであり、最大の水位差を考慮する必要がある。

さらに、計画高潮位は大型水門の開閉の動作に応じて次の3つのモードにおいてそれぞれ潮位条件を与える必要があると考えられる。

- (1) 閉鎖中：大型水門を完全に閉鎖した状態で外洋水位と内水面水位の差が最大になるとき。
- (2) 閉鎖動作中：大型水門の閉鎖作業は朔望平均干潮位で行うので作用する水位としては外洋水位及び内水面水位は等しく3つのモードの中で一番低い潮位を示す。
- (3) 開放動作中：大型水門の開放作業は干潮・満潮に限らず高潮の影響が無くなる時点での干潮に向かう外洋水位と内水面上昇に向かう内水面水位が等しくなるときである。

計画高潮位を考える場合に、海外事例では例えばオランダのデルタプランは再現期間 4,000 年や 10,000 年を考慮している。イタリアのモーゼ計画は 13 年の観測記録より 10,000 年の再現期間を考慮している。

2.2 高潮の継続時間

高潮の継続時間は、既往の調査により十分に検討された時間を使用する必要があると思われる。

東京浮標・芝浦・晴海などを例にとると図-1¹⁾のようになる。高潮の発生機構として、海面の上昇が始まる時間からピークに達するまでの時間は約 3 時間であり、水門の構造形式としては約 1 時間で水門閉鎖可能な形式を選定すべきであると考えられる。

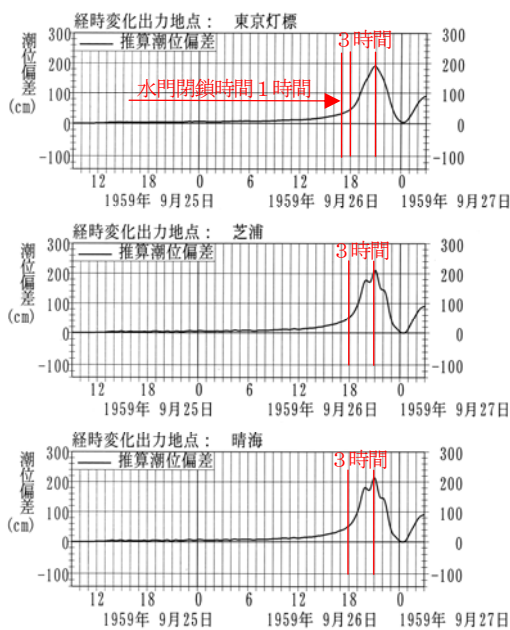


図-1 高潮の継続時間（東京灯標・芝浦・晴海）

2.3 風荷重

風荷重は純投影面積に作用するものとして、単位面積荷重の値に形状係数を乗じた値である。

風荷重についても大型水門の動作に応じて 3 つのモードを考慮する必要があり下記の条件を与える必要があると考えられる。

- (1) 閉鎖中：台風が通過する時点での予想する最大の風速。
- (2) 閉鎖動作中：閉鎖動作を行う時点での予想される風速。
- (3) 開放動作中：開放動作を行う時点での予想される風速。

2.4 設計震度

設計震度は近傍施設設計時のものを使用することが

考えられ、下式によって与えられる。

$$\text{設計震度} = \text{地域別震度} \times \text{地盤種別係数} \times \text{重要度係数}$$

また、この時は地震と高潮の同時生起は考慮しないとするが、今後再検討を行う必要がある。

2.5 内部水域の水理機能

大型水門方式は港全体を締め切るため河川からの流入、海域・埋立地への降雨、下水処理場・排水機場からの排水、防波堤目地からの流入等により、内部水域の水面上昇を考慮する必要がある。

1) 対象範囲

対象範囲は図-2²⁾のように締め切りが行われる水域を考えその面積を算出する。

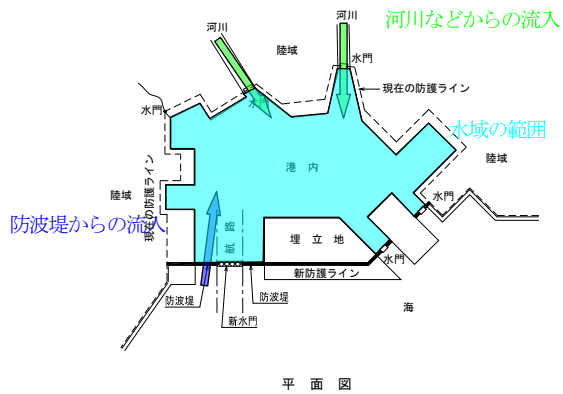


図-2 水門締め切りイメージ

2) 計画降雨量

高潮発生時における時間降雨量のデータ（アメダスデータなど）を抽出し、高潮の発生に対応した確率時間降雨量を、統計解析によって算出する。

3) 海域の降雨量

2) で求められた時間降雨量を 1) で求められた面積に乘ずる。

4) 河川流入量

対象海域に流入する河川がある場合は、河川の計画流出ハイドログラフに基づき流入量を算出する。

5) 下水処理場からの流入量

対象海域に下水処理場からの流入がある場合は、各自自治体より入手した放流量を使用する。

6) 防波堤目地部からの流入量

防波堤からの流入量は防波堤の目地より外水面から内水面へ流入するものと仮定し、標準的には目地間隔2.0m・目地幅0.1mとして、各防波堤延長より算出する。

以上の項目により算出された流入量より内水面変化の試算を行うと図-3¹⁾の様になる。図中青線は天文潮を、赤線は天文潮+偏差を表している。干潮時に水門を締め切ることにより本来ならば内水面水位は上昇しないが、各種流入量の和より1.5m内水面が上昇するのがわかる。

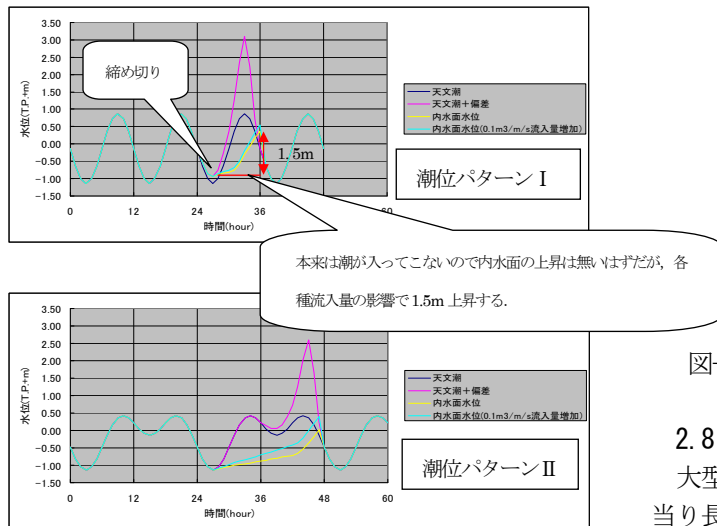


図-3 内水面水位変化の試算例

2.6 空港の空域制限への考慮

臨海部には空港が配置されている場合があり、空域制限に関しては、一般に水平表面と侵入表面の空域が設定されており、各々の制限に関して抵触するかどうか確認する必要がある。

また、各制限については完成時のみでなく、施工段階においても関係があるので施工方法の詳細な検討が必要である。特に昨今は長大径間の大ブロックを大型起重機船等で一括施工することもあり、この点については検討を要する。

図-4¹⁾に東京港の場合を例として示す。

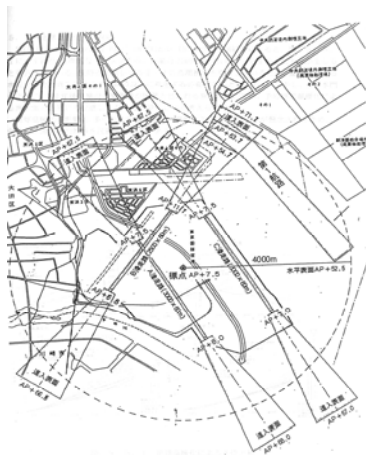


図-4 空港の空域制限

2.7 水域施設の開発制限

大型水門は通常航路に設置することが考えられるが、航路には航路区域・泊地区域が設定されており、水門構造が閉鎖時において水域施設に抵触しないよう検討しなければならない。

図-5¹⁾に東京港第一航路の例を示す。



図-5 第一航路港口付近の航路区域・泊地区域

2.8 環境影響

大型水門の閉鎖については年に5～6回程度、1回当たり長くて20時間程度と考えられているが、水門を閉め切ることによる海域環境への影響を検討する必要がある。具体的には、①化学的酸素要求量(COD)、②溶存酸素量(DO)、③全窒素(T-N)、④全燐(T-P)、⑤塩分濃度などについて検討を行うことが考えられる。

2.9 地球温暖化への対応

IPCC(International Panel on Climate Change)の第三次評価報告書では、温室効果ガスやその他の人間活動に関する排出の種々のシナリオに対する気候変動の応答を予測している。

通常の防護ラインは地球温暖化による海面上昇の速度が緩慢で段階的に対応できるが、図-6³⁾より大型水門の場合は補修・修理・嵩上げが容易でないことより最も海面の上昇する場合の西暦2100年時点での上昇量1mを使用するのが妥当であると思われる。

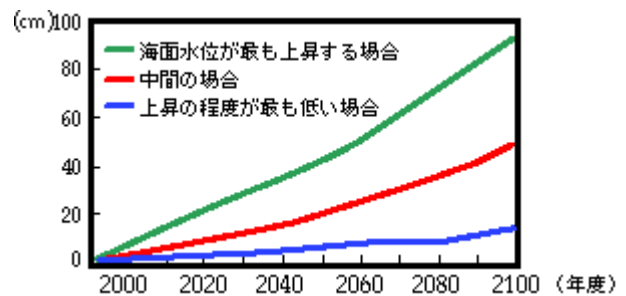


図-6 全球平均海面水位の変化の幅の予測

3. 設計条件に係る課題点

3.1 流水中での大型水門の操作性

今回の検討ではゲート操作中での流速については干潮時の潮止まりで作業を行うことを前提としているので、潮流などを設計条件として考慮していなかったが開閉の作業時間が1時間程度ずつかかること、突発的な事故により開閉時間が延長する可能性があることを考慮すると流水中での開閉作業を余儀なくされる場合がある。港の入り口付近の潮流(水流)は上層と下層で流向が逆転する現象もみられ複雑な流況を呈している。今後、港全体の流況を把握するためにも各種シミュレーションの実施や模型実験、現地観測等が望まれる。

3.2 船舶衝突・漂流物への対応

今回の検討ではゲートへの船舶の衝突は考慮していないが、海外の事例によると実際に大型水門への衝突事故が報告されている。制度上は3000GT以上の船舶は港外避難勧告が出されるが、海外の事例も参考にして条件を設定していく必要がある。

3.3 高潮発生時の降雨について

今後地球温暖化の進行により、高潮と豪雨の同時生起など異常気象の発生頻度の増加が懸念される。高潮発生時の降雨は、数値統計解析の結果、ピーク降雨量30mm/hを想定している。

しかし、例えば、2000年9月に名古屋地方を襲った集中豪雨はピーク降雨量90mm/hとなっており、今後高潮と集中豪雨が同時生起する異常事態発生の可能性もゼロではなく、万が一のリスクを回避する策を検討しておく必要がある。

タイムエリア法による簡便な検討では、高潮ピーク発生時刻と河川ピーク流量の発生時刻との遅延時間を3時間と推定しているが今後さらなる検討が必要である。

3.4 操作の信頼性の確保

大型水門は高潮時に全閉することで水門としての機能を果たす。したがって、高潮時に「確実に閉じる」ことが重要であり、操作の信頼性を特に高める必要がある。また、高潮終了時には港湾機能回復のため「確実に開く」ことも重要である。確実な開閉作業は極力開閉に係る手続きを簡素化することが必要で、複数のシステム上で稼働する方式についてはその手順を必要最小限に押さえることが重要である。

また、危機管理の一つとして故障時には容易に対処できるような構造とし、短期間で修理可能とするために用いる部品・材料については市場性のあるもの、もしくはストックしておくことが重要である。

3.5 水門機能の保全

大型水門は一度築造すると改修などが容易でなく長期にわたり共用する施設であることから、用いられる各種構成部材・部品に適切な寿命を想定し、材質や機構を選択するとともに、必要な点検・整備・補修(修理)・更新が行えるようにすることが重要である。

3.6 底泥(堆砂・泥)対策、海中生物付着対策

大型水門の構造形式によっては底泥対策が必須となり、対象地域での底泥の分布・移動についての調査を行い、期待堆積量などを算出し荷重条件として考慮するとともに、排泥機構についても検討を行うことが必要である。

3.7 地下施設の資産評価

東京などの都市部港湾では、臨港道路や鉄道等の主要な地下施設が存在している。これら地下施設がもし浸水した場合の被害は、現在マニュアル等に記載の費用対効果分析では考慮されておらず、今後マニュアルの高度化も含めた検討が必要であろう。

4. おわりに

大型水門関連調査は、平成12年度より始まり平成13年度に引き続いて平成14年度以降も調査を継続する予定である。平成13年度調査においては仮想の航路における仮想条件により概略設計を行い、構造様式別には①フラップゲート、②アーチ式ゲート、③スライドゲート、④ハイブリッドスライドゲート、⑤膜構造ゲート、⑥セクターゲート、⑦ドラムゲート、⑧締切膜ゲート、⑨浮上門扉式ゲートなどの案を提案している。各構造様式についてはそれぞれ、長所・短所、課題点があり今後の設計条件の照査によって、設計に反映される予定である。

なお、大型水門の技術的な検討にあたっては、「水門技術検討委員会(委員長:清宮 理 早稲田大学理工学部土木工学科教授)」が設置され、ご助言及びご指導をいただいている。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 財団法人沿岸開発技術研究センター:平成13年度東京湾水門建設技術報告書 p18,19,21,22
- 2) 財団法人沿岸開発技術研究センター:大型水門に関する海外調査報告書 p1
- 3) IPCC(1995)気象庁訳 H.P より