

フラップ式陸閘の技術的課題と対応

伊藤 義将*・八尋 明彦**・小泉 勝彦***・高木 裕子****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 審議役

*** 前 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 調査課 調査課長

**** 前 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 調査課 調査係長

撫養港の海岸部では、津波や高潮から背後を守るため陸閘の整備が計画されている。東日本大震災では、陸閘を閉鎖しようとして津波によって命を落とすケースが発生したため、大型の陸閘については閉鎖を無人・無動力化することが求められている。本稿では、浮力によって無人・無動力で自動閉鎖が可能なフラップ式陸閘について、撫養港海岸に設置する際の適用性及び技術的課題と解決方針の検討結果を報告する。

キーワード：陸閘、防潮堤、可動式、津波防災

1. はじめに

撫養港の海岸部では、津波や高潮から背後を守るため陸閘の整備が計画されている。東日本大震災では、陸閘を閉鎖しようとしている際に津波によって命を落とすケースが発生した。そのため、大型の陸閘については閉鎖を無人・無動力化することが求められている。

フラップ式陸閘は津波・高潮来襲時に浮体を用いて陸閘を稼働させる防潮堤構造で、港湾・海岸分野では新しい形式（可動式）である。本構造の扉体は交通荷重に耐える強度を有する必要があるが、一方で浮力を稼ぐために軽量化を図る必要がある。このように、浮力と重量のバランス調整や稼働部材の検討などについての技術的な経験は皆無に等しい。しかし、陸閘は防潮施設として社会的役割が大きいと、仮に役割を果たせなかった場合は背後地域に対して致命的な負の影響を及ぼす。

こういった背景から、新しい形式の構造物は詳細設計レベルの試設計を実施してはじめて課題が明確になり、その対応方針の検討が可能になると考えた。

本稿では検討方針の立案と試設計を踏まえて抽出した課題とその解決方針について報告する。

2. フラップ式陸閘の概要

フラップ式陸閘の構造イメージを図-1に示す。通常時は重力によって扉体が倒伏している状態で、扉体の上を車両等が通行することができる。大雨等による若干の浸水時は扉体が起立すると車両等の通行に支障をきたすため、適切な排水設備を設けることで不必要時の起立を防止する。

津波・高潮来襲時は扉体に作用する浮力および水圧を利用して陸閘を閉鎖させることで背後地を防護する。主要部材は扉体と底部戸当たり支承部、基礎工、テ

ンションロッドなどである。各主要部材の役割を表-1に示す。

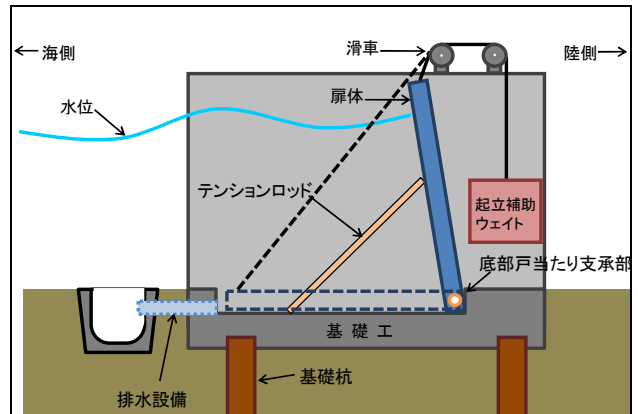


図-1 フラップ式陸閘の構造イメージ（閉鎖状態）

表-1 主要部材とその役割

部材名称	役 割
扉体	津波や高潮等が発生した際は水圧等の荷重を受け、通常時は交通荷重を受ける可動体。扉体は浮力を発生させるため、扉体中は空気を有している。
基礎構造	扉体を格納する構造体で、津波・高潮作用時は扉体の底部戸当たり支承部、テンションロッドからの荷重を受ける。
テンションロッド	扉体と基礎構造を連結し、扉体に作用する荷重を基礎構造に伝達する可動体。倒伏時は折りたたまれており、起立時に支点となることで扉体へ作用する荷重を分散する。扉体が小さい場合は省略することが可能。
底部戸当たり支承部	扉体を稼働させるためのヒンジ部分で扇の要となる部材。
起立補助ウェイト	少ない浮力で扉体の起立が可能となるよう、重量バランスを調整する。
排水設備	基礎構造への湛水による起立を防止する目的で設置される設備。

3. 現地状況

撫養港海岸では、7箇所の陸間について自動化を検討している。当該地域で検討している陸間で最大のものは計画幅8.00m、計画高さ2.51mである。各陸間は前面岸壁から背後地域へ貨物を運搬する目的で、荷役機械が頻繁に横断している。荷役機械は大型トラックをはじめ、フォークリフトやホイールローダーなどである。そのため、陸間は繰り返し荷重が作用する状況下で要求される閉鎖・止水性能を満足する必要がある。

また、運搬する貨物は背後の利用者により種類が異なる。当該地域で特徴的な貨物は、業務用塩およびホイールローダーで運搬される土砂である。業務用塩はフレキシブルコンテナバッグおよび貨物用のパレットを用いて運搬しているため塩が運搬中にこぼれる可能性は少ない(図-2)。しかし、土砂についてはバラ荷で運搬されているため、運搬中に荷役機械からこぼれ、運搬作業で生じる活荷重により土砂が締め固まってしまう(図-3)。

そのため、当該箇所ではフラップ式陸間を採用するためには砂の除去といった通常時の維持管理に配慮する必要がある。また、土砂が堆積している状況下でもフラップ式陸間が閉鎖するかその適用性について検討する必要がある。



図-2 陸間を検討している場所の例(1)



図-3 陸間を検討している場所の例(2)

4. フラップ式陸間の要求性能

フラップ式陸間に必要とされる性能は、津波・高潮が発生した場合における背後地域の防護と、通常時における海岸の堤外地利用の両立である。

前者については、陸間の閉鎖状態であり、海岸整備事業における防護面での目的と合致しているため、要求性能はそれに従うことになる。ただし、地震発生時は倒伏状態で津波を防護するため起立する必要があるため、津波を発生させるレベル2地震動(海溝型)は使用性を満足する必要がある。

後者については、陸間の倒伏状態での要求性能を立案する必要がある。また、倒伏状態から閉鎖状態へ至る稼働状態についても考慮する必要がある。これらを踏まえ、各状態における性能規定を表-2に示す。なお、現段階では隣接する撫養港海岸の防潮堤整備基準に準じ、最大クラスの津波およびそれを発生させる地震動は考慮していない。

表-2 フラップ式陸間の要求性能

外力条件	設計状態	要求性能(波浪条件)	要求性能に対する性能規定
閉鎖時			
レベル1地震動	変動状態	使用性(高潮)	変位量が使用性(高潮)に対する許容変位量以下であること 構造的安定
レベル2地震動(海溝型)	偶発状態	使用性(津波)	変位量が使用性(津波)に対する許容変位量以下であること
レベル2地震動(直下型)	偶発状態	安全性(潮汐)	ある程度の損傷が発生するものの、損傷の程度が施設として致命的でないこと
倒伏時～閉鎖動作時			
活荷重	変動状態	使用性(—)	構造的安定
レベル1地震動	変動状態	使用性(高潮)	変位量が使用性(高潮)に対する許容変位量以下であること 構造的安定
レベル2地震動(海溝型)	偶発状態	使用性(津波)	変位量が使用性(津波)に対する許容変位量以下であること
レベル2地震動(直下型)	偶発状態	安全性(潮汐)	ある程度の損傷が発生するものの、損傷の程度が施設として致命的でないこと

5. フラップ式陸間の耐震性能

フラップ式陸間に求められる耐震性能は、レベル1地震動に対しては、損傷の程度が軽微であることであり、レベル2地震動(東南海・南海地震)に対しては、津波来襲時に陸間を閉鎖できなければならない。かつ、閉鎖後に津波波力に対して安全である必要がある。

ただし、レベル2地震動(中央構造線)に対しては、津波発生の可能性は無いことから人命の安全性が確保できればよいと考えられる。これらを踏まえ構造部材の照査基準を以下の通り設定した。

(1) 構造部材の耐力の照査基準

- ① レベル1地震動・レベル2地震動(東南海・南海地震)に対し、部材の応力が弾性限界以下。
- ② レベル2地震動(中央構造線)に対して、部材が降伏および座屈しないこと。

(2) 変形に対する照査基準

- ① レベル1地震動・レベル2地震動(東南海・南海地震)に対して、傾斜角や不同沈下量が門扉の開閉可能な限界値以下であること。水平変位量および鉛直変位量は防潮堤の基準値以下であること。
- ② レベル2地震動(中央構造線)に対して、倒伏状態で、交通を妨げるような変形をしないこと。

6. 構造諸元の設定と安定性照査の考え方

フラップ式陸閘は、閉鎖時(津波・高潮等の外力作用時)、倒伏時(活荷重作用時)、閉鎖動作時(津波来襲中)という状態が想定される。機能を確実に発揮させるためには、各状態における設計手法を検討する必要がある。

フラップ式陸閘の設計手法は、全体の安定性及鉄筋コンクリート部材については港湾・海岸施設の類似事例を参考にすが、主要部材である扉体や可動構造についての設計手法は本検討において立案する必要がある。特に、津波浮遊物の作用や、確実な閉鎖を目的とした機構の維持管理について検討する必要がある。

閉鎖時については、扉体を受ける津波・高潮の水圧や漂流物等の衝撃荷重が底部戸当たり支承部とテンションロッドを介して基礎構造に伝達するため、基礎構造の安定性(滑動、転倒など)は重力式または杭式構造物の設計の考え方を準用することができる。

一方、浮体式防潮堤の主要部材である、扉体・支承部・テンションロッド等については、設計条件・構造条件・安定性の照査方法が「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に明確な規定が無いため、照査方法を新たに立案した。立案するにあたっては「ダム・堰施設技術基準(案)」を参考に立案した。主要部材に対する設計条件・構造条件・安定性の照査方法の案を表-3に、構造諸元を表-4に示す。

表-3 主要部材に対する検討条件および照査方法

設計条件・構造条件
● 基本寸法 (純径間×有効高×扉体厚) ● テンションロッド間隔 (補助ロッド) ● 可動構造 (維持管理方針, 点検方法) ● 基礎構造 (導水経路・能力, 排水経路・能力) ● 作用外力 (津波・高潮波力, 津波浮遊物)
安全性照査方法等
● 扉体構造各部 (倒伏時, 閉鎖時の部材照査) ● テンションロッド (最適間隔での部材照査) ● 底部戸当たり支承部 (維持管理への配慮) ● 浮上補助装置 (設計の考え方, 事例の提示) ● 浮力補助力 (扉体浮力の計算, 不足浮力算出)

表-4 構造諸元 (一部抜粋)

項目	設定内容
基本寸法	対象地区の最大寸法を適用
水の単位体積重量	想定される濁度より設定
テンションロッド間隔	純径間および外力の増大に対し、扉体の安定性が保たれない場合に配置する。
排水構造	当該地域で想定される最大流入量に対し排水できる構造とする。

7. 試設計

試設計を行うための基本条件を表-5に示す。今回は自動化を予定している陸閘7基のうち、最大寸法の陸閘を対象とし試設計を実施した。津波の水位は、別途検討が行われた津波数値シミュレーションの結果を用いた。また、構造物の天端高はシミュレーション結果を基に防潮堤直近位置における最大津波水位に地震による地殻変動量および余裕高を考慮して設定した。今回は主要部材の材質をステンレス (SUS304) で検討を実施した。

試設計を踏まえて作成した構造断面図(テンションロッド無しの場合)を図-4に示す。

表-5 基本条件

純径間	8.0m
現地地盤前面水深	-6.8m
天端高	+5.6m
耐用年数	50年
設計潮位	H. H. W. L. +3.60m H. W. L. +1.80m L. W. L. ±0.00m
設計波	$H_{1/3} = 0.9\text{m}$ $T_{1/3} = 14.7\text{s}$
津波または高潮高さ	堤外水位または2ai m ai: 津波波高

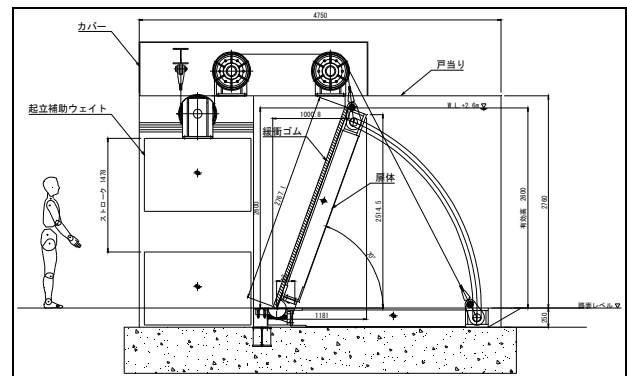


図-4 フラップ式陸閘の試設計断面

試設計を実施した上で課題となったのは以下の通りである。

- ① 今回は扉体を閉鎖(起立)させた状態で衝突荷重を検討したため、底部戸当たり支承部への作用は小さいが、完全に起立しない状態では扉体の軸方向に荷重がかかるため、その荷重に対する扉体および底部戸当たり部の照査が必要である。
- ② テンションロッドは荷重を分散させることが出来るため、全体重量を小さくすることが出来るが、

テンションロッドを設けることによって、その損傷リスクが高まることから、総合的に評価しテンションロッドの有無を決定する必要がある。

- ③ テンションロッドなしの場合は、構成部材の断面寸法が大きくなり、それに伴い必要とする浮力が大きくなるため、起立補助ウェイトの大きさが7 t程度になった。
- ④ 基礎が重力式の場合は、安定を確保するために基礎の部材断面が大きくなり、狭隘な箇所では敷地面積内に収まるか十分に検討する必要がある。
- ⑤ 基礎が杭式の場合は隣接する重力式防潮堤との不同沈下が生じないか検討する必要がある。
- ⑥ 主要部材をステンレス (SUS304) で設計を行ったが、鋼材の特性、防食性、維持管理の容易さ等を踏まえて採用する材質の総合評価を実施する必要がある。

8. フラップ式陸閘の課題と解決方針の提案

防潮堤に要求させる性能は、津波・高潮に対する背後地の浸水防護であり、そのためには地震・津波・高潮に対して安定な構造としなければならない。また、フラップ式陸閘は倒伏時には車両等の通行があるため、通常時の確実な倒伏と活荷重等に対して安定性を確保する必要がある。これらを踏まえて考えられる技術的な課題を整理し、解決方針 (案) を提案した。

◇技術的課題

- (1) 津波・高潮作用に対する技術的課題
 - ① 津波・高潮に対する閉鎖性能の確保
 - ② 頻度の低い最大クラスの津波に対する閉鎖性能の確保
 - ③ 低水位の津波に対する止水性の確認
 - ④ 漂流物、堆積物に対する閉鎖性能の確保
 - ⑤ 漂流物を含む津波作用に対する構造耐力の確保
- (2) 車両利用に対する技術的課題
 - ① 繰り返し荷重に対する構造耐力の確保

◇解決方針

- (1) 津波・高潮作用に対する技術的課題は水理模型実験を実施する。
- (2) 車両利用に対する技術的課題は実績の多い橋梁等の基準を準用し机上検討を実施する。

前述した課題を解決するための水理模型実験について検討内容(案)について、表-6 に示す。

表-6 水理模型実験による検討項目と検討内容(案)

検討項目	検討内容
津波高潮来襲時の閉鎖性能	津波や高潮が来襲した際に、扉体が確実に閉鎖するか確認する。
不完全浮上時の止水性能	津波や高潮の水位が低い状態を再現し、漏水の有無を測定し止水性能を確認する。
堆積物上載時の閉鎖性能(図-5)	フラップ式陸閘の上に土砂等が堆積した場合で閉鎖が可能か確認する。
陸閘に作用する荷重分布(図-6)	津波等の水圧作用時にフラップ式陸閘の挙動と荷重分布を確認する。
漂流物の衝突荷重	漂流物が衝突する際のフラップ式陸閘に作用する衝突荷重を測定し、設計のための基礎資料とする。
フラップ式陸閘の傾斜時における閉鎖性能	地震によりフラップ式陸閘が傾斜した状態で、閉鎖が可能であるか確認する。傾斜状態は模型の初期状態で人為的に作り出す。

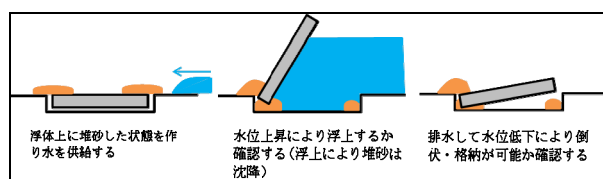


図-5 堆積物上載時の閉鎖性能検証試験のイメージ

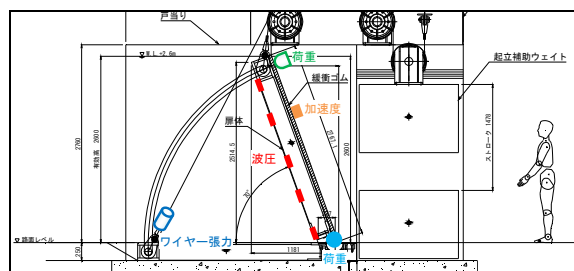


図-6 津波の水力作用時における測定項目 (案)

9. おわりに

本稿ではフラップ式陸閘の試設計の結果より明らかとなった課題及び解決方針について報告したが、フラップ式陸閘の実用化に向けて水理模型実験を踏まえて詳細な検討を進めていく所存である。

謝辞

本稿は、国土交通省四国地方整備局高松港湾空港技術調査事務所発注の撫養港海岸陸上設置型浮体式防潮堤検討調査の成果の一部をまとめたものである。

調査にあたっては、撫養港海岸陸上設置型浮体式防潮堤技術検討会 (委員長: 早稲田大学 清宮教授) の各委員、四国地方整備局港湾空港部の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省四国地方整備局高松港湾空港技術調査事務所：撫養港海岸陸上設置型浮体式防潮堤検討調査報告書，平成 25 年 3 月。