

港湾・海岸におけるフラップゲート式陸閘技術マニュアル

平池 智広*・仲保 京一**・勝田 幸男**

*前（一財）沿岸技術研究センター 調査部 研究員

**日立造船(株) 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット フラップゲート部

フラップゲート式陸閘は、フラップゲート式可動防波堤の研究で確立された基礎技術を基に、陸上設置に伴う様々な課題を克服して実用化された新しい形式の陸閘であり、津波・高潮時に浸水時の浮力を利用し、動力及び人為操作無しに扉体が旋回起立・倒伏するものである。本稿は、フラップゲート式陸閘の設計・施工・維持管理の基本的な考え方を示した「港湾・海岸におけるフラップゲート式陸閘技術マニュアル」の概要を示したものである。

キーワード：陸閘、津波・高潮防災、設計、施工、維持管理

1. 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では、陸閘や水門の閉鎖に従事された多くの操作者の尊い命が失われた。このような悲劇を二度と起こさず、陸閘や水門を安全かつ確実に閉鎖するため、陸閘の統廃合や常時閉鎖、自動化や遠隔操作化が進められている。

フラップゲート式陸閘は、「沿岸域水門研究会(新世紀港湾ビジョン、2000 年度、国土交通省 を受けて発足)」に提案されたフラップゲート式可動防波堤の研究で確立された基礎技術を基に、陸上設置に伴う様々な課題を克服して実用化された技術である。

津波・高潮時に浸水時の浮力を利用し、動力及び人為操作無しに扉体が旋回起立・倒伏することで防潮堤開口部を自動的に閉鎖する新しい形式の陸閘であり、以下に示す特徴を有する。

- ①人が操作を行う必要が無く、操作者が危険に曝されることが無い。
- ②電力等の動力を必要とせず、停電時でも作動する。
- ③津波到達直前まで、避難路として使用可能である。
- ④遠距離地震津波や高潮に対しては、事前に、人力により簡易に起立することが可能である。

本稿は、海岸保全施設及び港湾施設に設置するフラップゲート式陸閘の設計・施工・維持管理に関する基本的な考え方を整理した「港湾・海岸におけるフラップゲート式陸閘技術マニュアル」の概要を示したものである。

2. フラップゲート式陸閘の構成

2.1 構成部材

フラップゲート式陸閘は、上部構造(機械設備)と下部構造(土木構造)で構成される(図-1)。

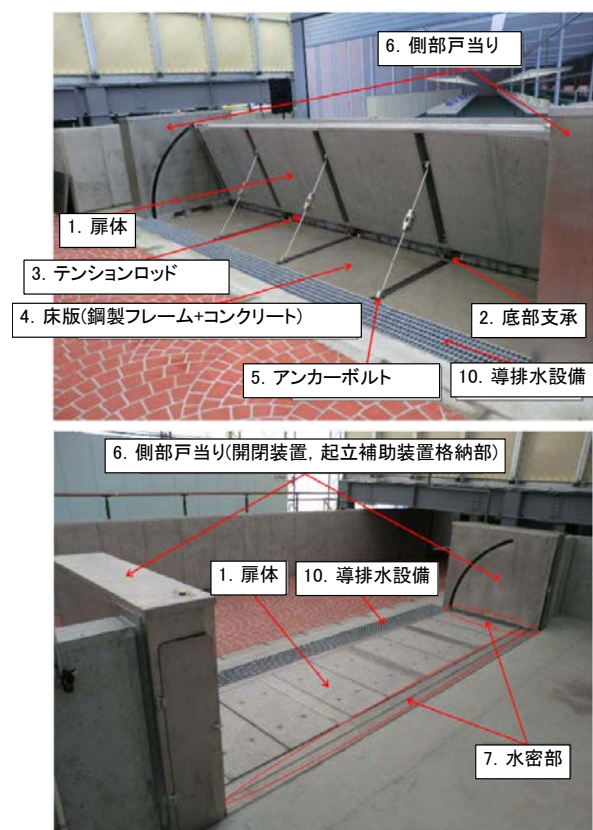


図-1 フラップゲート式陸閘の構成
(上：起立状態、下：倒伏状態)

2.2 設計基準及び設計手法

本マニュアルでは、津波や高潮、地震に対する要求性能と性能規定を整理した上で、フラップゲート式陸閘の性能照査、部分係数、構造解析係数及び設計で考

慮する荷重と主な使用材料を示している。

フラップゲート式陸閘の設計は、海岸保全施設及び港湾施設として使用するため、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」及び「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に準じる。但し、機械設備に分類される扉体・側部戸当り・床版等の上部構造の設計は、「ダム・堰施設技術基準(案)」に準じる(表-1)。

表-1 構成部材と設計基準・設計手法

部材		仕様	設計基準	設計手法
上部構造	機械設備	扉体	鋼構造	ダム・堰施設技術基準(案) (許容応力度設計法)
		側部戸当り		
		底部支承		
		テンションロッド		
		カウンターウエイト		
下部構造	土木構造物	床版	鋼構造 (コンクリート充填)	海岸保全施設の技術上の基準・同解説 および 港湾の施設の技術上の基準・同解説 および 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (限界状態設計法)
		躯体	鉄筋 コンクリート造	
		基礎	鋼構造 または 鉄筋 コンクリート造	
		支持地盤	必要に応じて、 液状化対策や 軟弱地盤対策 等を実施する	

2.3 要求性能及び性能規定

フラップゲート式陸閘は、津波や高潮時に自動的に起立して開口部を閉鎖し、背後地への浸水防止を目的としたものであり、津波及び高潮、地震に対して以下の要求性能を確保する必要がある。

- ①発生頻度の高い津波及び高潮に対しては、陸閘としての機能を損なわず、継続して使用できること。
- ②発生頻度が極めて低い最大クラスの津波に対しては、津波に対して倒壊しにくい「粘り強い構造」を目指すものとする。但し、施設の要求性能に応じて、使用性や修復性、安全性を考慮した設計をしても良い。
- ③レベル1地震動に対しては、陸閘としての健全性を損なわず継続して使用できること。
- ④津波に先行するレベル2地震動(海溝型)に対しては、陸閘としての機能を損なわないこと。
- ⑤津波に先行しないレベル2地震動(内陸型)に対しては、損傷が軽微であり、早期の復旧が可能であること。

3. 下部構造の設計

3.1 基本事項及び荷重の組合せ

下部構造は、地形及び地質条件、構造物の特性、施工条件、環境条件等を考慮して、基礎の形式(直接基礎、

杭基礎)を選定する。

また、フラップゲート式陸閘は津波来襲時に機能することが前提であることから、先行する地震による液状化対策についても検討する必要がある。

下部構造の設計は、永続状態(常時)、変動状態(レベル1地震時、高潮による波浪作用時)、偶発状態(レベル2地震時(海溝型)、発生頻度の高い津波作用時、最大クラスの津波作用時、必要に応じて余震時)についてそれぞれ安全性を照査する必要がある。

設計に用いる荷重の組み合わせを表-2に示す。

表-2 下部構造の設計に用いる荷重の組合せ

		死荷重	静水圧	波圧	津波波力	地震の影響	上載荷重	衝突荷重	浮力または揚圧力	土圧
永続状態	常時	○					△		△	△
変動状態	レベル1地震時	○				○			△	△
	高潮による波浪作用時	○	○	○					○	△
偶発状態	レベル2地震時(海溝型)	○	△			○			△	△
	発生頻度の高い津波作用時	○	○					△	○	△
	最大クラスの津波作用時	○			○			△	○	△
	余震時	○	○			○			○	△

※ ○は考慮する荷重、△は必要に応じて考慮する荷重を示す

3.2 導排水構造の設計

導排水構造は、浸水時に扉体下面へ確実に導水し、その浮力により、扉体を速やかに浮上させることと、常時に扉体天端を路面として利用する場合、降雨等が扉体下面に滞水することによる不要な浮上を防止することを目的に設置する。

施工例としては、扉体前面や側面にグレーチングを設置した構造や、扉体下面の床版部に排水管と排水枳を設置する構造がある。

4. 上部構造の設計

4.1 基本事項及び荷重の組合せ

扉体や側部戸当り、床版等、上部構造を構成する機械設備の設計は、「ダム・堰施設技術基準(案)」に基づき設計する。基本事項となる設置位置、純径間は、施設の利用形態を考慮し適切に設定する必要がある。すなわち、敷高、有効高さは地域防災計画、地盤沈下の影響、接続する道路や隣接する防潮堤の高さの他、津波・高潮の設計浸水高さを考慮する。

また、起立時(全閉状態：扉体が最大波圧を受ける状態)及び倒伏状態(全開状態：扉体が道路交通の障害とならない位置に格納されている状態)に対して、安全性を照査する必要がある。

各状態の設計に用いる荷重の組み合わせを表-3に示す。

表-3 上部構造の設計に用いる荷重の組合せ

(倒伏時)		死荷重	静水圧	波圧	津波波力	地震の影響	上載荷重	風荷重	温度変化の影響	衝突荷重	許容応力度の割増係数
常時		○					○	△	△		1.0
地震時		○				○					1.5

(起立時)		死荷重	静水圧	波圧	津波波力	地震の影響	上載荷重	風荷重	温度変化の影響	衝突荷重	許容応力度の割増係数
津波時	津波時	○	○								1.0
	津波波力最大時	○			○						1.5
	(津波越流時)	○			○						(1.7)
	高潮時	○	○	○							1.0
衝突時		○	○		△					○	1.5
余震時		○	○			○					1.5
無水起立時		○						△			1.0

※ ○は考慮する荷重, △は必要に応じて考慮する荷重を示す

4.2 テンションロッド

テンションロッドは、扉体に作用する荷重を分散し、基礎構造に伝達する部材である。荷重分散効果により、扉体架構部の厚さを薄くでき、これにより輪荷重に対する縦主桁及び水平主桁のウェブ座屈強度が向上する。その結果、扉体自重が軽減され、起立補助装置及び側部戸当りの重量も軽量化される(図-2)。

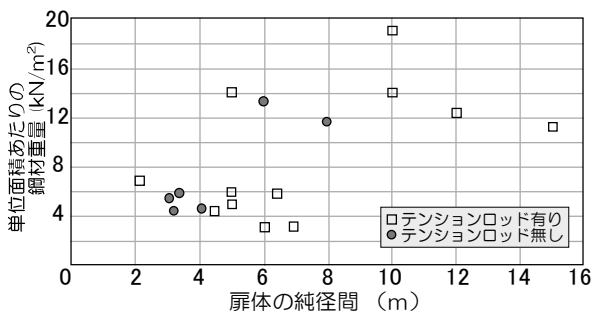


図-2 テンションロッド有無による扉体純径間と鋼材重量の関係(施工実績より)

なお、テンションロッド方式を採用する場合は、以下の点に留意する必要がある。

- ①扉体に作用する水圧に対して十分な強度を有するよう、本数とサイズを適切に決定する。
- ②漂流物等の衝突の影響を直接受けたくないよう、起立角度と水位の関係を踏まえ、取付け位置を決定する。
- ③扉体の起伏動作の妨げにならない構造、配置とする。
- ④施工誤差を調整できる構造とする。

4.3 起立補助装置

フラップゲート式陸閘の開発において、浮力のみで扉体を起立させる場合、加速度的に起立し、完全起立時に急停止する可能性があった。このことから、衝撃力を考慮した設計によるコスト増の懸念、急倒伏動作による安全面の問題が生じた。

この問題を解決するため、カウンターウエイト、ワイヤーロープ、シーブ(滑車)からなる「起立補助装置」を採用した(図-3)。起立補助装置は、扉体を速やかに起伏させ、かつ起立完了時の衝撃を緩和するように設計する必要がある。

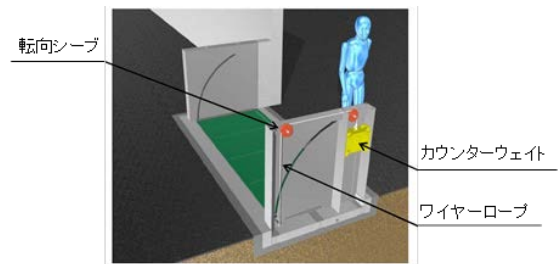


図-3 起立補助装置の基本構造

起立補助装置は、浮上開始時には、カウンターウエイトの自重が上向きに作用することで起立補助力となる。中間起立時には、カウンターウエイト自重が起立補助力から制動力に切り替わる状態となり、起立完了時には、カウンターウエイトの重量が倒伏方向に作用し、制動力となる(図-4、図-5)。

なお、浮上開始水深とカウンターウエイト重量は、扉体自重と水密ゴムの抵抗に対して25%以上の余裕を確保して決定する。

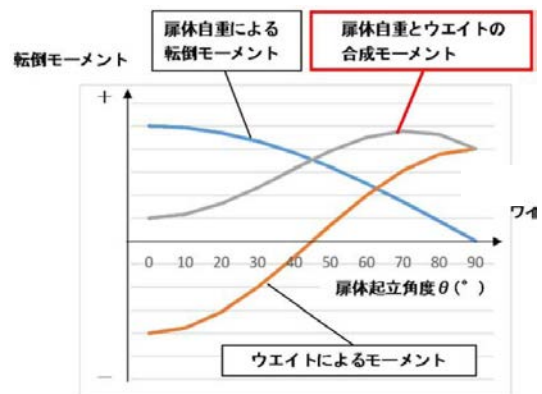
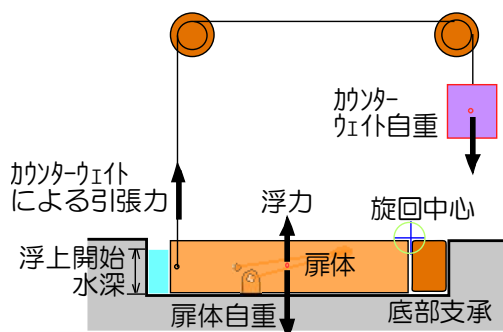


図-4 扉体起立角度と扉体自重による転倒モーメントの関係

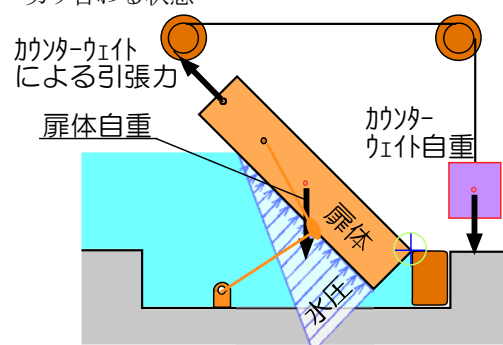
【浮上開始時】

カウンターウェイトが起立補助力として作用



【中間起立時】

カウンターウェイトが起立補助力から制動力に切り替わる状態



【起立完了時】

カウンターウェイト自重が制動力として作用している状態

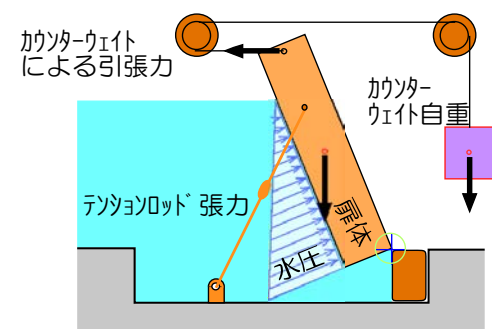


図-5 カウンターウェイトの作用

5. 上部構造の施工・維持管理

上部構造の施工では、上部構造の製作、輸送、現地据付に関する留意事項と、機能検査や出来形検査等、所定の機能・性能を発揮する上で必要な検査項目や管理項目を示している。

上部構造の維持管理では、維持管理の基本方針を示した上で、巡視、定期点検、緊急巡視、臨時詳細点検、精密調査の具体的な実施内容を示している。

6. おわりに

本マニュアルでは、フラップゲート式陸開の設計・施工・維持管理等について示した。本マニュアルが、海岸保全施設及び港湾施設に設置される陸開を設置する際の一助となり、操作者の安全確保と地域の防災・減災に寄与することを期待する。

また、設計・施工・維持管理の実務に携わる技術者や管理者に本マニュアルをご活用頂き、フラップゲート式陸開の設計・施工・維持管理が適切に実施されることを期待する。

謝辞

本マニュアル作成にあたっては、港湾・海岸におけるフラップゲート式陸開技術マニュアル作成委員会（委員長：早稲田大学理工学術院 清宮教授）を設置し、内容を審議して頂きました。

また、各委員及び関係者から貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。



写真-1 港湾・海岸におけるフラップゲート式陸開技術マニュアル

（沿岸技術ライブラリーNo. 46，平成28年6月，沿岸技術研究センター）