

フラップゲート式可動防波堤 実海域試験

最終報告書 (概要版)

平成 25 年 10 月

フラップゲート式可動防波堤開発グループ
日立造船(株)・東洋建設(株)・五洋建設(株)

— 目 次 —

1. はじめに	1
2. 開発経緯	2
3. 施設概要	4
3-1 フラップゲート式津波・高潮防波堤	4
3-2 フラップゲート式波除堤	5
4. 実海域試験	6
4-1 試験計画	6
4-1-1 目的	6
4-1-2 試験場所	6
4-1-3 試験装置	6
4-1-4 計測機器	7
4-1-5 試験項目	7
4-1-6 その他の調査項目	8
4-1-7 状態監視	8
4-1-8 工 程	8
4-2 試験結果（計測）	9
4-2-1 計測概要	9
4-2-2 定期計測結果	10
4-2-3 連続計測結果	14
4-2-4 その他の動作試験	14
4-3 試験結果（保守管理）	15
4-3-1 水中目視点検等	15
4-3-2 堆積物の調査	15
4-3-3 状態監視システム	15
4-3-4 フラップゲート式波除堤の海棲生物付着の影響調査	16
4-4 ま と め	16
5. あとがき	17
6. 学会発表論文等リスト	17
添付資料 : 「最終報告書」 - 目次 -	19

1. はじめに

日立造船株式会社，東洋建設株式会社，五洋建設株式会社からなる“フラップゲート式可動防波堤開発グループ”（以下，開発グループという）では，津波の発生時に確実に機能し，かつ日常生活への支障が小さく，維持管理の負担ができるだけ小さくなる津波防災・減災施設の実現を目指し，フラップゲート式可動防波堤の開発を進めてきた．本書はその開発の最終段階である実海域試験について，H22年度の試験計画段階からH25.3の試験終了までの3ヶ年の成果のとりまとめを行うものである．

本試験期間中には，宮城県沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生（2011年3月11日14:46）し，この地震により生じた大津波によって，北海道，東北地方および関東地方太平洋岸の広い地域が甚大な被害に見舞われた．この影響もあり，新焼津漁港には国土交通省や水産庁をはじめ，地方自治体の職員や大学等の有識者，漁業関係者等，延べ600人以上の方が訪れ，試験装置や動作状況を直接ご覧頂くとともに，貴重なご意見を頂く機会に恵まれた．

開発グループでは，本実海域試験で得られた知見を公表することで，今後，本技術が広く活用され，次に来襲する津波被害が少しでも軽減されることを期待したい．

2. 開発経緯

平成 12 年度、国土交通省より「新世紀港湾ビジョン」が発表され、平成 13 年度から平成 14 年度にかけて、一般財団法人沿岸技術研究センターを事務局とした沿岸域水門研究会にて、港口高潮を防御する大型水門の検討が行われた。このとき提案されたフラップゲート式可動防波堤は、平成 15 年度から本格的な研究・開発が開始され、各種実験等を通じた基本性能の把握ならびに性能の向上を経て、平成 21 年度までに実用化に必要な室内実験を概ね完了している。平成 22 年度からは一般社団法人 海洋産業研究会を事務局とする「フラップゲート式可動防波堤実海域試験検討委員会」のご指導をいただきながら、開発の最終段階となる実海域試験を通して、基本機能および信頼性の検証を行っている。開発経緯ならびに主要な室内実験を表-2.1、実海域試験全体工程を表-2.2、実海域試験委員名簿を表-2.3 にそれぞれ示す。

表-2.1 開発経緯

年度	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
沿岸域水門研究会	[Bar chart showing activity from H13 to H14]												
【研究開発】	[Bar chart showing activity from H13 to H14]												
1) 基本構造立案	[Bar chart showing activity from H13 to H14]												
2) 基本性能把握	[Bar chart showing activity from H15 to H19, with circled numbers 1-7]												
3) 性能改善	[Bar chart showing activity from H19 to H21, with circled numbers 8-10]												
4) 実海域試験	[Bar chart showing activity from H22 to H25]												
計画準備	[Bar chart showing activity from H21 to H22]												
試験装置製作	[Bar chart showing activity from H22 to H23]												
実海域試験	[Bar chart showing activity from H23 to H25, with circled numbers 11 and 12]												
運用データ蓄積	[Bar chart showing activity from H25 to H26]												

注記：表中番号は、6. 学会発表論文等リストの No.を示す。

表-2.2 実海域試験全体工程

年度	H22			H23			H24			H25		
	2010			2011			2012			2013		
委員会	○	○	○		○		○			○		
試験装置設置・撤去			○ 設置		☆ 実海域試験内覧会							○ 撤去(予定)
連続計測	[Bar chart showing activity from H23 to H24]											
状態監視	[Bar chart showing activity from H23 to H25]											
水 midpoint 検		○	○	○	○	○	○	○	○	○		
津波・高潮 定期計測		○	○	○	○	○	○	○	○			
長期倒伏期間	[Bar chart showing activity from H18 to H24]											
波除堤 定期計測		○	○	○	○	○	○	○	○			

表-2.3 フラップゲート式可動防波堤実海域試験検討委員会 委員名簿

(順不同・敬称略)

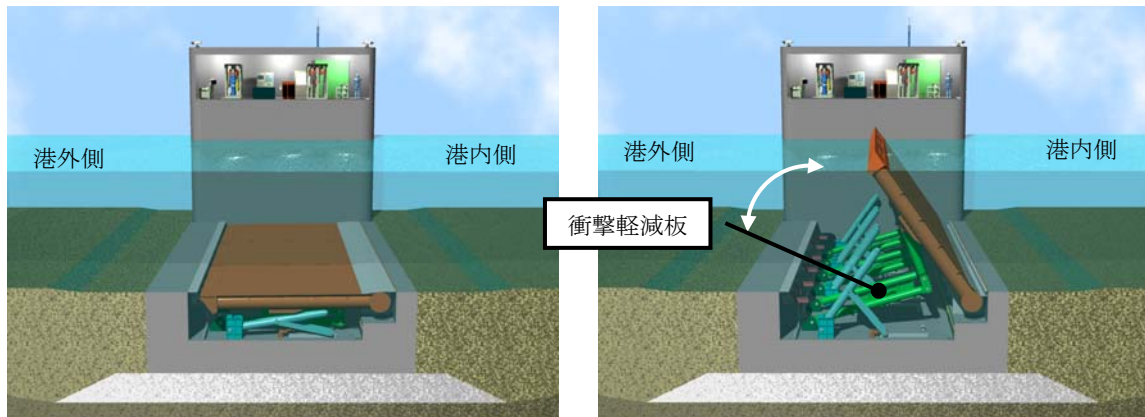
	氏名	所属	備考
委員長	清宮 理	早稲田大学創造理工学部社会環境工学科教授	
副委員長	田中 博通	東海大学海洋学部環境社会学科教授	
委員	高山 知司	京都大学名誉教授/ (一財) 沿岸技術研究センター沿岸防災技術研究所所長	
委員	長野 章	公立ほこだて未来大学名誉教授/ (一社) 全日本漁港建設協会会長	
委員	平石 哲也	京都大学防災研究所教授	
委員	菊池 喜昭	東京理科大学理工学部土木工学科教授	
委員	中山 哲巖	(独) 水産総合研究センター水産工学研究所 水産土木工学部長	
委員	下迫 健一郎	(独) 港湾空港技術研究所海洋研究領域長	
委員	大塚 浩二	(一財) 漁港漁場漁村技術研究所	H22-23 年度委員
委員	堀越 伸幸	(一財) 漁港漁場漁村技術研究所	H24 年度委員
委員	川福 茂	静岡県焼津漁港管理事務所所長	H22 年度委員
委員	松井 活夫	静岡県焼津漁港管理事務所所長	H23 年度委員
委員	小川 孝	静岡県焼津漁港管理事務所所長	H24 年度委員
委員	望月 良明	静岡県焼津漁港管理事務所所長	H25 年度委員
事務局	中原 裕幸	(一社) 海洋産業研究会常務理事	

3. 施設概要

フラップゲート式可動防波堤（以下、フラップゲートと呼称）は、津波または高潮による水位上昇を抑制する津波・高潮防波堤（以下、フラップゲート式津波・高潮防波堤と呼称）、あるいは、港内の静穏度を向上させる波除堤（以下、フラップゲート式波除堤）としての利用が想定される。ここでは、これら双方の施設の特長を述べる。

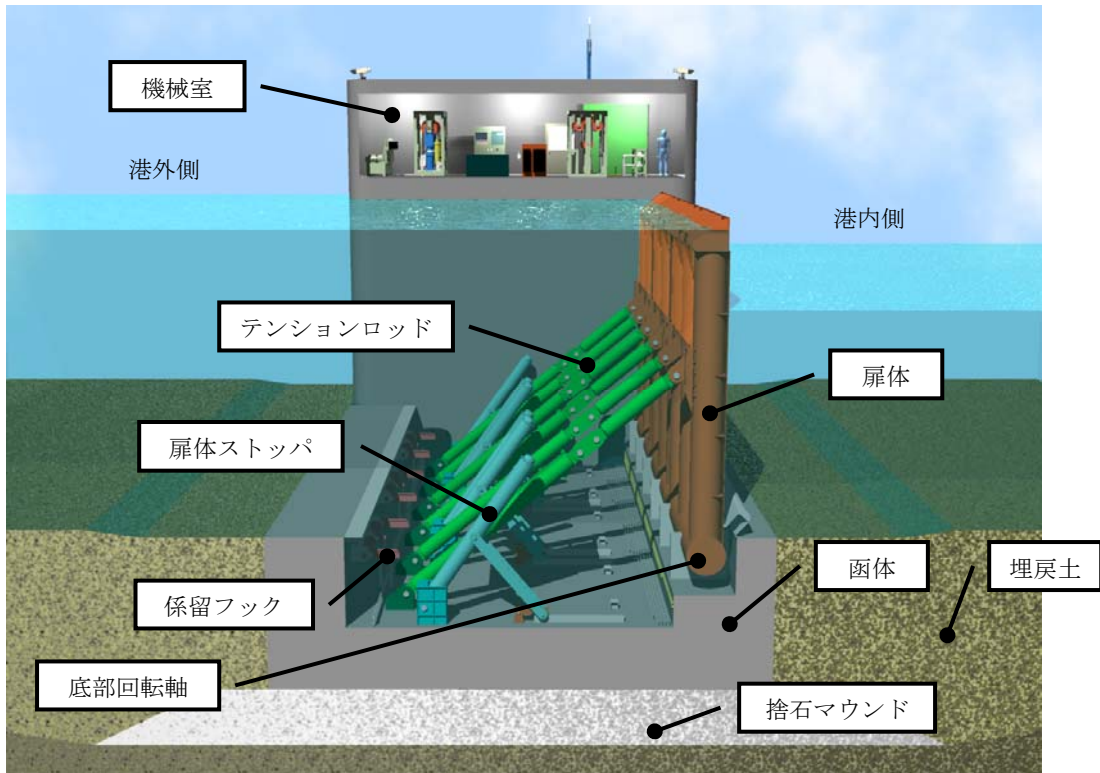
3-1 フラップゲート式津波・高潮防波堤

フラップゲート式津波・高潮防波堤の設備構成を図-3.1 に示す。この施設は、扉体、扉体を格納する函体、および、扉体起立時に扉体作用荷重を函体に伝達するテンションロッドを主部材として構成される。港口部を横断する方向に一列に並べて配置される扉体は、隣接する扉体同士が先端部にて緩く連結されており、底部回転軸を中心に旋回起立することで連続した防波堤を形成する。扉体の浮上に必要な浮力は、平常時に扉体空室内への給気を完了しておくことにより確保されており、常時は扉体が浮上しないよう、函体に設けた係留フックにより扉体先端を係留している。津波・高潮の発生が予想される時、フックを解放することで、扉体は自身の浮力により先端が水面に出る高さまで浮上する。その後、津波・高潮による潮位上昇に伴う水位差を利用して、所定の高さ（角度）まで無動力で起立する。扉体に作用する荷重は、テンションロッドと底部回転軸を介し函体基礎に伝達され、函体と捨石マウンドとの摩擦抵抗等により施設の安定性が保持される。



(a) 平常時倒伏状態

(b) 浮上完了状態



(c) 津波・高潮来襲時扉体起立状態

図-3.1 フラップゲート式津波・高潮防波堤の設備構成

3-2 フラップゲート式波除堤

フラップゲート式波除堤の設備構成を図-3.2 に示す。この施設は、扉体、扉体を格納する函体、および、扉体起立時に扉体作用荷重を函体に伝達するサポートロッドを主部材として構成される。所定の幅で分割された扉体は、底部回転軸を中心に旋回起立することで連続した波除堤を形成する。海面が静穏な場合には、扉体は自重によって函体上に倒伏しており、船舶荷役作業に影響をおよぼすような波浪が生じた場合、扉体空気室内に空気を供給することで、所定の高さ（角度）まで起立し、扉体起立状態固定装置（サポートロッド等）により固定される。扉体に作用する荷重は、サポートロッドと底部回転軸を介し函体基礎に伝達され、函体と捨石マウンドとの摩擦抵抗等により設備の安定性が保持される。扉体の起立・倒伏に必要な駆動装置および制御装置は側壁内に設けた機械室内に配置される。機械室配置例を図-3.3 に示す。

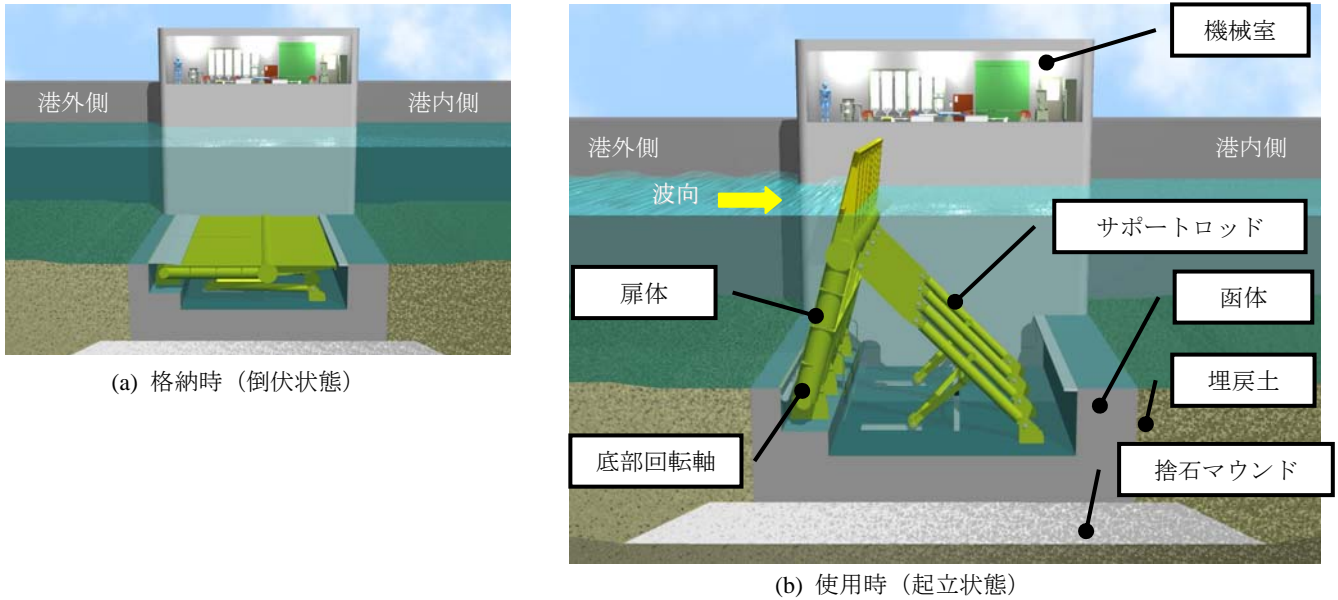


図-3.2 フラップゲート式波除堤の設備構成

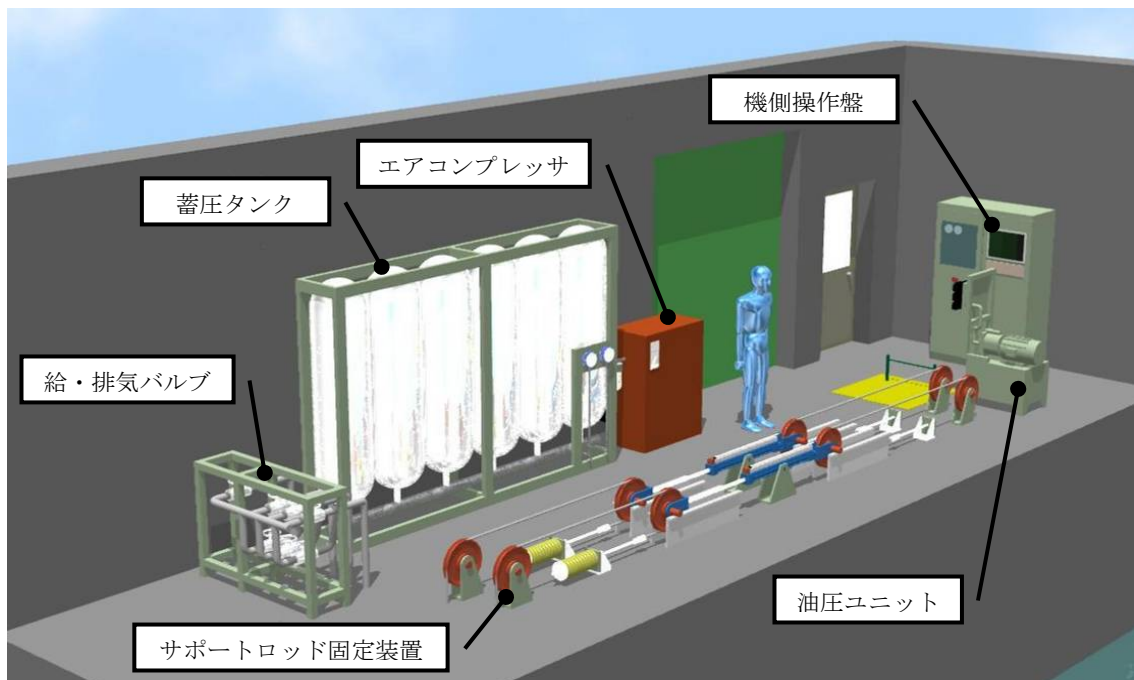


図-3.3 機械室機器配置例（フラップゲート式波除堤用）

4. 実海域試験

4-1 試験計画

本実海域試験は、フラップゲート式津波・高潮防波堤およびフラップゲート式波除堤の、双方を対象として実施したものである。以下、試験計画の概要を記す。

4-1-1 目的

フラップゲートを対象とした実海域試験では、次の項目について確認を行っている。

- 1) 扉体倒伏格納時の係留特性（常時、連続計測）
- 2) 基本動作特性（浮上・起立・倒伏）およびその操作性
- 3) 保守管理運転（寸動操作）および状態監視の有効性
- 4) 水中保守作業の作業性および安全性

全試験期間は3年間とし、2年目までに浮上等の動作試験を完了する（工程表：表-4.4 参照）。本実海域試験では、得られた結果を、従来の室内模型実験結果等とも比較し、当該施設の設計法の検証を行うとともに、実用に向けた検討を行う。状態監視システムを通じた運用データの蓄積については、3年間に渡って継続する。

4-1-2 試験場所

本実海域試験は、静岡県焼津市の焼津漁港における、図-4.1(b)記載の地点Aにおいて実施する。

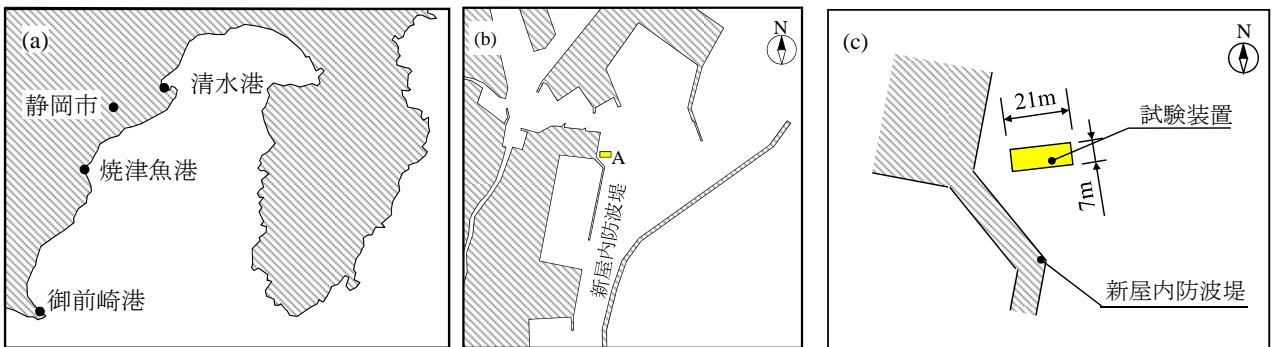


図-4.1 実海域試験の場所

4-1-3 試験装置

試験装置の全体配置イメージを図-4.2に示す。試験装置において、津波・高潮用可動部を岸側、波除堤用可動部を沖側として、両可動部は縦方向に並べて配置される。このような配置とすることで、津波・高潮用と波除用をそれぞれ独立して試験を行うことができるとともに、波除堤用可動部が受ける護岸あるいは内防波堤からの反射波の影響を軽減できる。

ここで、可動部とは、両扉体、テンションロッド、サポートロッド、扉体ストッパ、および係留フックなど、扉体の浮上に伴って動作する構成設備を指す。機械室は、両可動部の中央に配置し、ロープダクト兼ダイバー通用孔としても使用される2本の支柱によって支持される。

表-4.1 試験装置基本寸法

共通	津波・高潮用可動部	波除堤用可動部
・ 函体設置面標高 : D.L. -6.0m	・ 扉体幅: 4.8m	・ 扉体幅: 4.8m
・ L.W.L. D.L. ±0.0m	・ 扉体有効高: 5.75m	・ 扉体有効高: 6.3m
・ H.W.L. D.L. +1.7m	・ 函体天端標高: D.L. -2.75m	・ 函体天端標高: D.L. -3.3m
	・ 扉体起立角度: 90度	・ 扉体起立角度: 75度

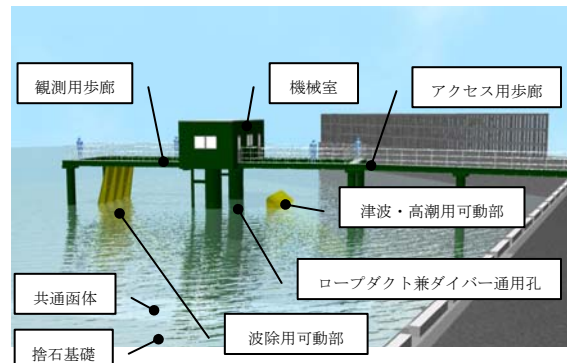


図-4.2 試験装置全体配置イメージ

4-1-4 計測機器

試験に使用した計測機器を表-4.2, それらの配置を図-4.3に示す.

表-4.2 計測機器一覧

No.	計測機器	センサ型式	台数	設置箇所	No.	計測機器	センサ型式	台数	設置箇所
1	超音波式波高計	UH-401 (ケネック製)	1	試験設備の歩廊より張出した梁	5	圧力計	BER-A-200KP-12 (共和電業製)	10	・津波・高潮用扉体×8 ・衝撃軽減板×2
2	水中テレビカメラ	FM-4100 (ノダック製)	1	・津波・高潮用扉体の下側 ・機械室直下の扉体上	6	ロードセル	LTF-A(100kN) (共和電業製)	1	・機械室津波・高潮用扉体係留ユニット
3	傾斜角センサ	UV-00H (録測器製)	5	・扉体×2 ・係留フック ・扉体ストッパ×2	7	ロードセル	LCW-C-300KN60SB38 (共和電業製)	4	・波除用扉体軸受部×4
4	容量式水位計	CHT5-500DC (ケネック製)	1	・津波・高潮用扉体の空気室	8	歪みゲージ	KFG-5-350-CI-11 (共和電業製)	8	・波除用扉体サポートロッド×8

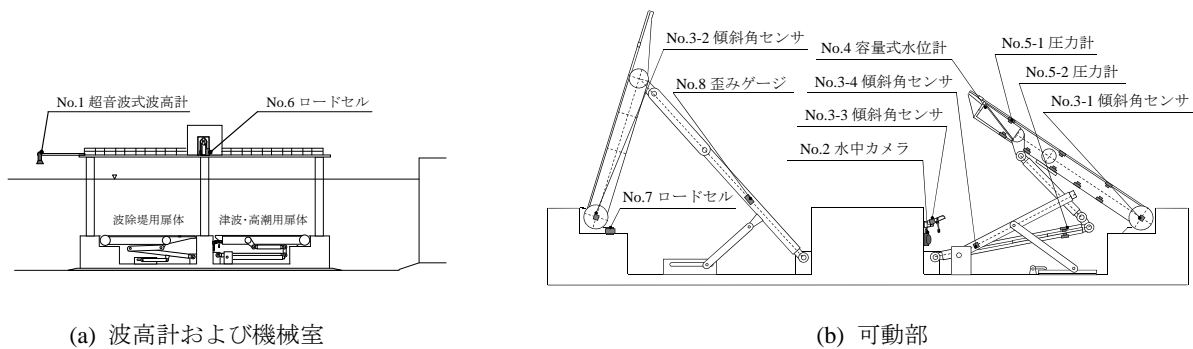


図-4.3 計測機器の配置

4-1-5 試験項目

本実海域試験では、倒伏状態あるいは浮上状態など可動部の状態に応じて、主として以下の6種類の試験を行う。こうした試験は、約3ヶ月に1回の頻度で実施し、経時変化についても評価を行う。また、津波・高潮用フラップゲート試験装置については、実施の運用を想定し、長期間倒伏状態に保持した試験も実施する。各試験において使用する計測機器の一覧を表-4.3に示す。

(1) 津波・高潮用フラップゲート 浮上倒伏試験

津波・高潮用扉体の浮上・倒伏に要する時間を計測し、潮位あるいは扉体が有する浮上力の違いが動作時間に与える影響について比較を行う。扉体ストッパの浮上・倒伏試験についても、同時に実施する。

(2) 津波・高潮用フラップゲート 動揺試験

浮上状態にある津波・高潮用扉体の常時波浪に対する応答特性を確認する。扉体の動揺特性および波圧特性は、室内模型実験において確認されており、本試験により得られた計測結果と模型実験結果とを比較し、その整合性を確認する。

(3) 津波・高潮用フラップゲート 係留試験

常時浮力を有した津波・高潮用扉体は、係留フックにより海底に倒伏した状態で保持される。本試験では、海底倒伏状態の扉体を保持する係留フックへの作用荷重(係留力)を計測し、その係留特性を評価する。

(4) 津波・高潮用フラップゲート 寸動動作試験

寸動動作とは、可動部の固着防止を目的として、定期的に行われる設備運用上の点検作業である。本試験では、津波・高潮用フラップゲートの扉体、扉体ストッパおよび係留フックの寸動操作を行い、この有用性を確認する。

(5) 波除堤用フラップゲート 起立倒伏試験

波除堤用扉体の浮上・倒伏に要する時間を計測し、潮位の違いが動作時間に与える影響について比較を行う。

(6) 波除堤用フラップゲート 起立保持試験

フラップ式波除堤の実際の運用を想定した条件の下で、波除堤用扉体をサポートロッドにより固定し、設備を構成する部材に作用する荷重を計測する。長期間におよぶ波除堤の使用も想定し、数日間、起立状態を保持する試験も実施する。

表-4.3 各試験で使用する計測機器一覧

試験項目	計測機器 No.	試験項目	計測機器 No.
(1) 浮上倒伏試験 (津波・高潮用)	1, 2, 3-1, 3-3, 3-4, 4, 5-1, 5-2	(4) 寸動動作試験 (津波・高潮用)	1, 2, 3-3, 3-4, 4, 6
(2) 動揺試験 (津波・高潮用)	1, 3-1, 4, 5-1, 5-2	(5) 起立倒伏試験 (波除堤用)	1, 3-2, 7, 8
(3) 係留試験 (津波・高潮用)	1, 2, 3-3, 4, 5-1, 6	(6) 起立保持試験 (波除堤用)	1, 7, 8

4-1-6 その他の調査項目

前項に記した試験装置可動部の基本動作を検証する各種試験と合わせて、水中における目視点検、部品交換作業の作業性確認、ならびに、底質の堆積状況等の調査を行う。

4-1-7 状態監視

津波・高潮堤用可動部は、長期間倒伏状態で保持される一方で、地震発生後には確実に作動することが要求される。しかし、当該施設は、港口部を閉鎖するように配置されていることから、容易に浮上動作確認を行うことはできない。そこで、トレンド管理による状態監視システムを構築・導入し、可動部の状態を常時把握する。主要な状態監視項目を以下に示す。

- 1) 扉体係留力 (機械室ロードセル)、係留フック動揺量 (機械室ストロークセンサ)
- 2) 扉体寸動動作 (排気開始～着床、および給気開始～常時状態復帰に要する時間)
- 3) 扉体ストップ浮力 (シリンダ油圧力)

4-1-8 工程

本実海域試験の全体計画工程を表-4.4 に示す。

表-4.4 実海域試験の全体工程

	H22年度						H23年度						H24年度						H25年度														
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
委員会	◎																																
試験装置 設置・撤去									○																								○
実海域試験																																	
報告書																																	

4-2 試験結果（計測）

本試験では、2011年3月に試験装置を設置して以来、2013年3月までに、**津波・高潮防波堤は合計151回、波除堤は合計188回におよぶ浮上・倒伏操作**をそれぞれ実施したが、この間、駆動・制御装置、状態監視装置を含め、運用上大きな支障となる事象は生じていない。こうした2年間におよぶ試験期間において、およそ3ヶ月毎に実施した定期計測、台風6号接近時に実施した不定期計測、および、14ヶ月間の津波・高潮防波堤用フラップゲートの長期倒伏試験を通して、扉体の動作特性、倒伏状態あるいは浮上状態における波浪応答特性、ならびに保守管理手法等に関して、一定の評価を行えるだけのデータを蓄積できた。ここでは、ダイバーによる水中作業、海底の堆積物調査、ならびに状態監視システムの運用状況に加え、これらのデータより評価されるフラップゲートの水理特性に関して、過去に実施した室内模型実験結果との比較を含めて述べる。

4-2-1 計測概要

(1) 計測日程

- 1) 第1回計測：2011年3月24日～28日（ダイバーによる潜水作業：3月24日）
- 2) 第2回計測：2011年5月30日～6月3日（ダイバーによる潜水作業：6月3日）
- 3) 第3回計測：2011年8月26日～30日（ダイバーによる潜水作業：8月26日）
- 4) 第4回計測：2011年11月24日～28日（ダイバーによる潜水作業：11月24日）
- 5) 第5回計測：2012年2月20日～22日（ダイバーによる潜水作業：2月20日）
- 6) 第6回計測：2012年5月21日～23日（ダイバーによる潜水作業：5月21日）
- 7) 第7回計測：2012年8月20日～22日（ダイバーによる潜水作業：8月20日）
- 8) 第8回計測：2012年11月7日～8日、24日～25日（ダイバーによる潜水作業：11月24日）
- 9) 第9回計測：2013年2月12日、2月25日～28日、3月27日～28日（ダイバーによる潜水作業：3月25日）
- 10) 不定期計測：2011年7月19日（台風6号接近のため）

(2) 計測内容

各計測時において、下表に示すように、潮位に応じて2～5回ケースの試験を実施した。また、浮上状態あるいは起立状態等、一定時間その状態を維持した上で継続的に計測を行い、統計的な評価を行うための試験についても実施している。

1) 第1回計測

(a) 浮上倒伏試験	5 ケース
(b) 動揺試験	5 ケース
(c) 係留試験	5 ケース
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	24 時間連続

2) 第2回計測

(a) 浮上倒伏試験	5 ケース
(b) 動揺試験	5 ケース, 24 時間連続
(c) 係留試験	5 ケース, 12 時間連続
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	24 時間連続

3) 第3回計測

(a) 浮上倒伏試験	5 ケース
(b) 動揺試験	5 ケース, 36 時間連続
(c) 係留試験	5 ケース, 8 時間連続
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	36 時間連続

4) 第4回計測

(a) 浮上倒伏試験	5 ケース
(b) 動揺試験	5 ケース, 17 時間連続
(c) 係留試験	5 ケース, 24 時間連続
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	24 時間連続

5) 第5回計測（津波・高潮防波堤用は長期倒伏中）

(c) 係留試験	5 ケース, 17+11 時間
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	21 時間連続

6) 第6回計測（津波・高潮防波堤用は長期倒伏中）

(c) 係留試験	5 ケース, 21+6 時間
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	22 時間連続

7) 第7回計測（津波・高潮防波堤用は長期倒伏中）

(c) 係留試験	5 ケース, 7+17 時間
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	20 時間連続

8) 第8回計測（津波・高潮防波堤用は長期倒伏中）

(c) 係留試験	5 ケース, 6+17 時間
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	16 時間連続

9) 第9回計測

(a) 浮上倒伏試験	5 ケース
(b) 動揺試験	5 ケース, 15 時間連続
(c) 係留試験	5 ケース, 16+5 時間
(d) 寸動動作試験	2 ケース
(e) 起立倒伏試験	5 ケース
(f) 起立保持試験	17 時間連続

10) 不定期計測

(a) 浮上倒伏試験	-
(b) 動揺試験	1 ケース
(c) 係留試験	-
(d) 寸動動作試験	-
(e) 起立倒伏試験	-
(f) 起立保持試験	-

※ 上記の(a)~(d)の試験は津波・高潮防波堤用フラップゲート, (e)および(f)の試験は波除堤用フラップゲートを対象とする。

4-2-2 定期計測結果

(1) 津波・高潮防波堤用フラップゲート 浮上倒伏試験

a) 基本動作性の検証

目的：実機における浮上および倒伏時間を合理的に推定するため、潮位ならびに扉体が倒伏状態において有する浮上力が、扉体浮上動作に与える影響について検証する。

結果：実海域試験，および実海域試験スケールに換算した室内模型実験による扉体の浮上時間を図-4.4 に示す。図中，縦軸には浮上状態における扉体の角度，横軸には浮上時間を示す。双方の結果に 20~30 % 程度の差がみられるが，これは，実海域試験のスケールでは粘性による影響が小さくなるためと，扉体の浮上に伴って浮力室内の空気の膨張により扉体の浮上力が増大するためである。これらの影響を勘案すると，双方の試験結果の間には十分な関連性，整合性があるといえ，室内模型実験結果を用いた扉体動作時間の推定法が安全側の検討であることがわかる。模型実験結果より導出した実海域試験装置スケールの扉体の浮上および沈降に要する時間を図-4.5 および図-4.6 に示す。図中，縦軸は扉体の水中重量を基準とした倒伏状態の扉体が有する浮上モーメント，横軸は浮上あるいは沈降に要する時間，各プロットは浮上状態における扉体の角度を示す。扉体の浮上あるいは沈降時間には，扉体が有する浮上力および扉体高さと水深との比に起因する扉体浮上角度に対して一定の関係性があることが確認できる。これらの結果をもとに，扉体の両側に構造物（隣接する扉体あるいは側壁）が存在する場合の影響を十分安全側に取り扱った上で，扉体寸法に応じた扉体浮上時間を図-4.7 に示す。この図より，海底に倒伏した扉体が水面まで浮上するための時間を推測できる。

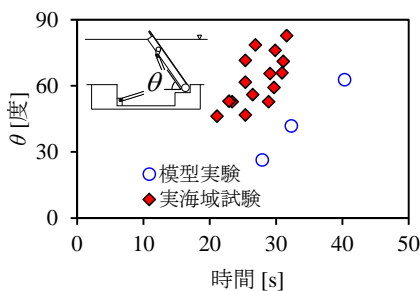


図-4.4 浮上に要する時間

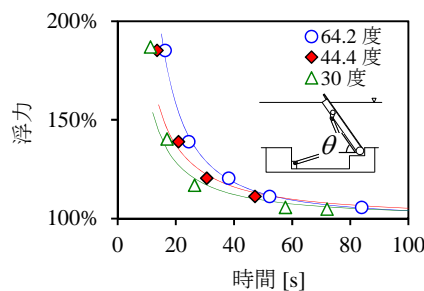


図-4.5 扉体浮力と浮上時間の関係

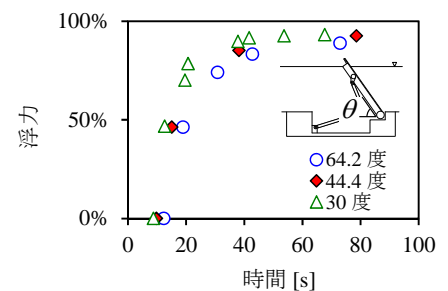


図-4.6 扉体浮力と沈降時間の関係

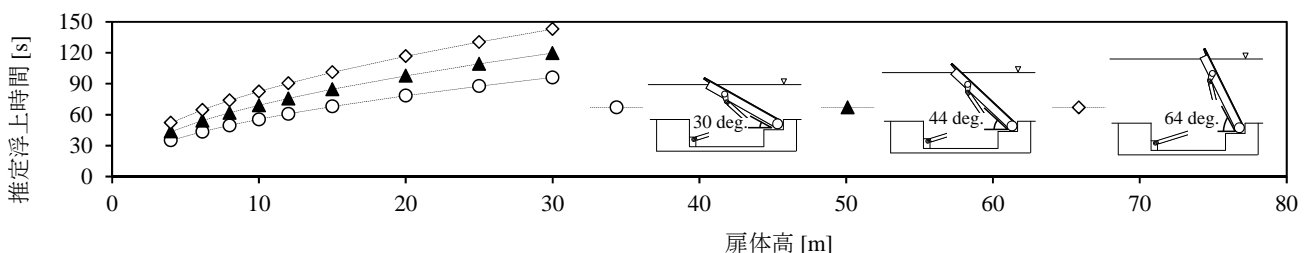


図-4.7 扉体の寸法に応じた扉体浮上時間

b) 長期倒伏後の再浮上試験

目的：長期倒伏試験（2011年12月～2013年2月）後に再浮上試験を実施し，浮上動作の確実性を検証する。

結果：図-4.8に長期倒伏試験前後の扉体浮上試験における扉体角度の時間変化を示す。図中の直線は，浮上する扉体の角度変化を近似したものであり，破線は他の試験ケースにおける角度変化を投影したものである。これらの近似線を比較すると，海中を浮上途中の扉体の角速度に大きな差はないが，長期倒伏後のケースでは，浮上を開始するまでに時間を要している。浮上時間増加の要因としては，海棲生物の付着による浮上動作時の海水の流動抵抗が増大と，係留フックの動作抵抗の増大が挙げられる。係留フックは，長期倒伏期間中も定期的な寸動動作試験による動作確認を実施していたが，配置上の制約により一部動作範囲が制約されるため，倒伏状態長期化に伴い，若干の抵抗増大が生じていた。ただし，係留フック清掃後の図-4.8(d)においても浮上時間は完全には回復しておらず，海棲生物の付着による影響も浮上時間増加の一因として挙げられる。これらの現象により，扉体の浮上に若干の遅れが生じることが確認されたものの，各設備は問題なく作動しており，機能上の問題はない。

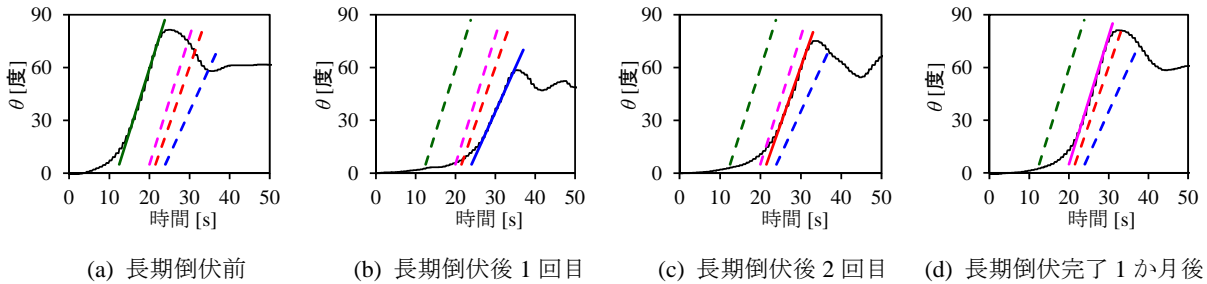


図-4.8 長期倒伏前後の扉体浮上試験における扉体角度の時間変化

c) 扉体浮上時間予測計算

目的：簡易な運動方程式を数値的に解くことにより，扉体の浮上に要する時間の予測手法を提示する。

結果：扉体は，一定の角度までは非常にゆっくりとした速度で浮上し，その後水面まで速度を上げて浮上する。これは，扉体と函体との開口が制約されており，扉体下方の空間に海水が供給されにくいからである。こうした扉体の動作特性を考慮し，図-4.9に示すモデルをもとに，倒伏状態から浮上する扉体の運動方程式を式(1)にて与えた。この式は，浮力（右辺第1項），自重（右辺第2項），底部回転軸の摩擦（右辺第3項），および，扉体と函体との隙間を海水が流れることによる圧力損失の影響（右辺第4項）を考慮している。

$$(I+J)\frac{d^2\theta}{dt^2} = Bl_B \cos\theta - Wl_G \cos\theta - F_s l_s - \int \Delta P \cdot x dx \quad (1)$$

図-4.10に，上式による計算結果（破線）と浮上試験結果（実線）とが概ね一致するよう，付加慣性モーメントを調整した結果を示す。図中の凡例は，倒伏状態の扉体を係留するための係留力を示しており，扉体が有する浮上力に相当する。ここでは，付加慣性モーメント J を扉体の慣性モーメント I の18倍とした。この付加質量は，一般的な構造物と比較して大きい，扉体は面積のわりに水中重量が軽いからである。参考のため，付加慣性モーメント J を慣性モーメント I の10倍，15倍および20倍として与えた結果を図-4.11に示す。この図より，付加慣性モーメントの設定値を多少変化させた場合であっても，特に，扉体が十分な浮上力を有するケースにおいては，浮上時間に与える差異は小さいことがわかる。また，扉体内に備えられる機器は，想定される実機と同様の位置に配置されており，ここで示した付加慣性モーメントは，施設のスケールが変わった場合でも使用できる。（※式中および図中の記号については，本章末尾にて追記する。）

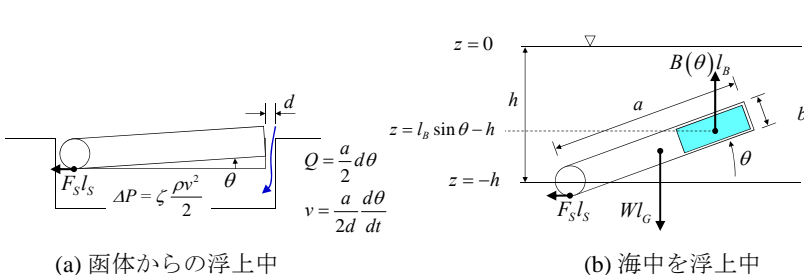


図-4.9 扉体浮上モデル

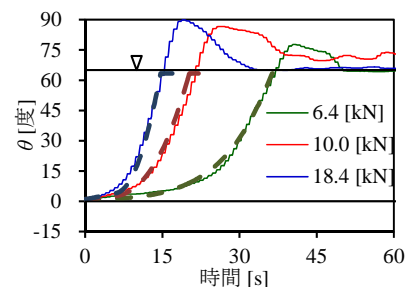


図-4.10 扉体浮上時間

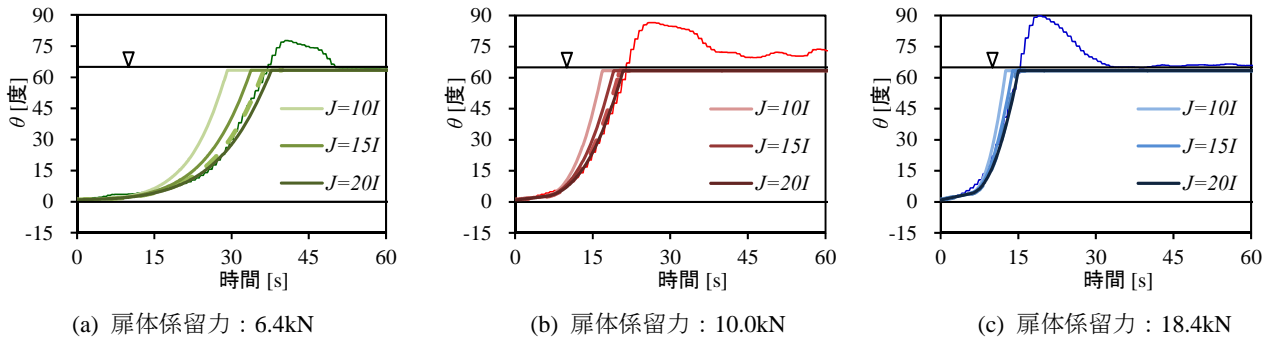


図-4.11 付加慣性モーメントの違いによる扉体浮上速度の変化

(2) 津波・高潮防波堤用フラップゲート 動揺試験

目的：浮上状態における扉体動揺の固有周期を推定し、施設の安定性への影響について検証する。

結果：低潮位（扉体の動揺中心角：53.3度）、中潮位（同：65.9度）および高潮位（同：80.0度）の、3 ケースの潮位の下で実施した動揺試験について、単位波高あたりの扉体動揺角度の周波数応答を図-4.12 に示す。これらの図より、低潮位時における単位波高あたりの動揺角度は比較的小さいものの、中潮位時および高潮位時における同動揺角度は、それぞれ 0.058Hz および 0.053Hz でピークをとっており、これらの周期は、それぞれ 17.2s および 18.7s に相当した。図-4.13 に示すような簡略化した扉体の運動モデルをもとに算定した扉体動揺の固有周期は 6.0 および 14.7s となった。双方の間に比較的大きな差があるが、これは、扉体の動揺に伴い一体となって運動する海水の付加質量あるいは粘性等の影響によるものと考えられる。前節では、扉体の付加慣性モーメントは、その慣性モーメントの 18 倍とした。浮上試験では、扉体の前面および背面に接する流体を扉体の浮力のみで駆動するが、動揺試験では、一方が駆動流体となる。これより、動揺試験における付加慣性モーメントを浮上試験における同モーメントの半分と仮定すると、付加質量を考慮した固有周期は、その平方根として 3 倍程度になる。この値は、上記の結果と比較して大きく乖離するものではない。本試験装置の扉体動揺振幅がピークとなる周期をもとに、フルード則を用いて算出した扉体高さに対する動揺ピーク周期の関係を図-4.14 に示す。この図より、実機スケールの扉体の固有周期は、常時波浪や高波の波周期とは十分に離れており、扉体の動揺と波浪との共振は生じないものと推定される。

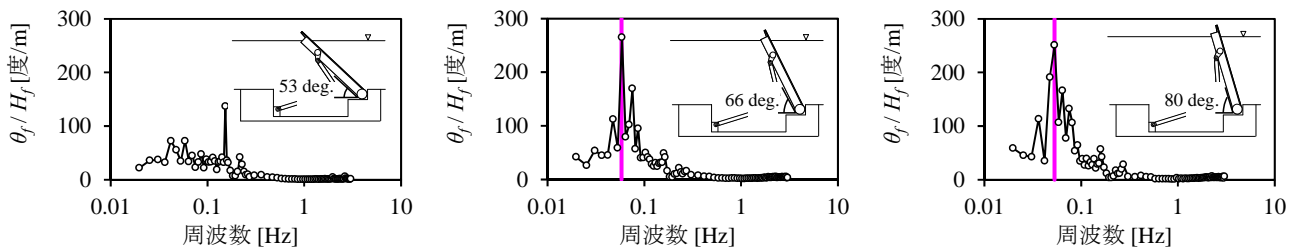


図-4.12 単位波高あたりの扉体動揺角度の周波数応答（左：低潮位，中央：中潮位，右：高潮位）

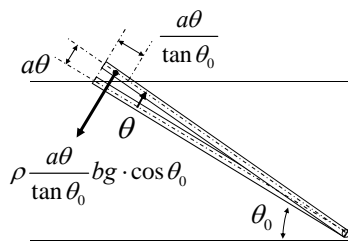


図-4.13 簡略化した扉体動揺モデル

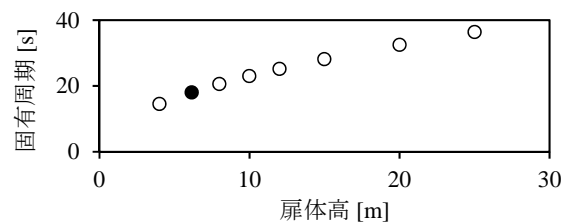


図-4.14 扉体固有周期と扉体寸法との関係

(3) 津波・高潮防波堤用フラップゲート 係留試験

目的：扉体係留装置に関して合理性の高い設計手法を確立するため、実海域において当該係留機構に生じる荷重を適正に評価し、室内模型実験結果との整合性を検証するとともに、状態監視システム構築のための運転データを蓄積する。さらに、簡易な運動方程式を用いることで、波浪の作用によって生じる係留力の変動を予測する手法を提示する。

結果：扉体浮力室内の空気は、潮位に応じて容積が変化するため、低潮位時には係留力増大し、高潮時には減少する。また、扉体上を通過する波浪による水位変動によっても係留力は常時変動する。ここでは、日変動的な潮位に応じて変動す

る係留力を静的な係留力、風波による水面の勾配に応じて変動する係留力を動的な係留力と呼ぶ。動的な係留力（縦軸）と、扉体上下面に設置した圧力計より推定した扉体に作用する流体力（横軸）との関係を図-4.15 に示す。この図より、扉体を動的に係留するために必要な荷重は、扉体に作用する流体力より算出した荷重と比較して小さく、両者の比はおおよそ 1 : 5.7であることが確認された。係留状態の扉体は、所定の範囲内で動揺することができる。扉体に作用する流体力の一部は、扉体
が得る運動量として消費されているため係留力は軽減される。さらに、図-4.16 のように、扉体先端の開口を小さくして扉体の運動を制約することで、扉体の運動抵抗が増大するため、係留力の軽減効果は促進される。室内模型実験の結果を図-4.15 中に併記する。両者の結果の間に、おおよその整合性を確認することができた。

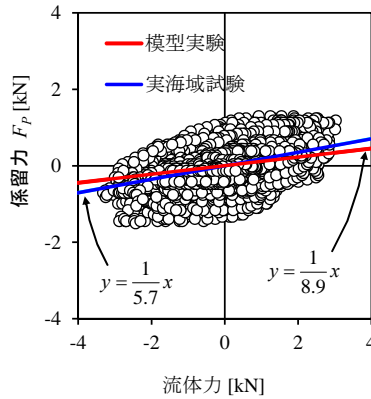


図-4.15 係留力と流体力との関係

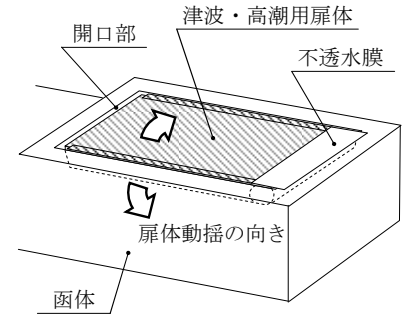


図-4.16 係留力低減メカニズム

さらに、簡易な運動方程式を用いた扉体係留力の予測手法を示す。ここでは、係留状態の扉体の運動に関する運動方程式を図-4.17 に示すモデルに基づいて、式(2)にて定義した。この式は、波浪によって扉体上面に作用する圧力（右辺第1項）、波浪と扉体動揺とによって扉体下面に作用する圧力（右辺第2項）、係留機構による係留力（右辺第3項）、および、底部回転軸の摩擦（右辺第4項）を考慮している。また、扉体の動揺によって生じる圧力の変動 ΔP は、式(3)のように、扉体と函体との間を通過する海水の流動抵抗によって与える。

$$(I + J) \frac{d^2\theta}{dt^2} = - \int P_{upper}(x,t) x dx + \int (P_{lower}(x,t) - \Delta P) x dx - F_{moor} l_m - F_S l_s \quad (2)$$

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (3)$$

扉体の付加慣性モーメント J を、扉体の浮上計算と同様とした場合における計算結果を図-4.18 に示す。図中、横軸は波周期、縦軸は流体力に対する係留力の比率を表しており、実海域試験結果については、当該海域において卓越する波周期帯において破線にて表記した。この図より、双方の係留力の軽減効果は、概ね類似したものである考えられる。以上より、通水部を制約した函体内に扉体を格納係留することで、係留機構に作用する波浪流体力が軽減できることが確認できた。実機における係留機構は、こうした係留力の軽減効果を見込まずに設計することにより、疲労破壊などの問題は生じない。（※式中および図中の記号については、本章末尾にて追記する。）

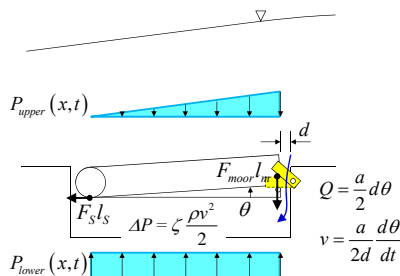


図-4.17 扉体係留モデル

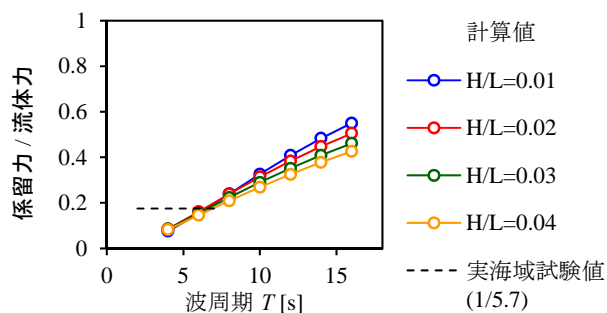


図-4.18 実海域試験結果と計算結果の比較

(4) 津波・高潮防波堤用フラップゲート 寸動動作試験

目的：海底に倒伏したフラップゲートを水面まで浮上させることなく保守点検を実施するための寸動動作試験について、その有用性を検証する。

結果：第1回～第4回計測時、および、長期倒伏期間中に実施した第5回～第9回計測時において試験を行い、状態監視（トレンド管理）を行うための基礎となるデータを蓄積できた。一連の寸動動作試験（点検）に要する時間は10分程度であり、今のところ、得られたデータに不具合の兆候はみられない。

(5) 波除堤用フラップゲート 起立倒伏試験

目的：波除堤用フラップゲートの起立方法、起立状態の保持方法ならびに倒伏方法の成立性について検証し、各構成部材に作用する荷重を評価する。

結果：潮位に応じて給気した空気の容積は変化するため、浮上までの時間に若干の差異はみられるが、第1回～第9回計測において、概ね6分前後で扉体は起立することが確認された。扉体起立動作時において、サポートロッド、扉体回転軸および起立保持装置に特異な荷重が作用している様子はなく、起立状態の保持方法に、運用上問題となる現象は生じないことが確認できた。

(6) 波除堤用フラップゲート 起立保持試験

目的：波除堤用フラップゲートを一定時間起立状態で保持した際、扉体前面と背面とに作用する波浪の位相差などによって、各構成部材に対して設計荷重を上回る外力が生じないことを確認する。

結果：背面からも波浪が作用する本試験装置においても、一定期間の連続計測中、扉体を保持する部材に対して特異な荷重が作用する様子はみられなかった。

4-2-3 連続計測結果

本試験装置設置以降、波高や波周期等の海象条件および扉体の係留力を継続的に観測している。長期倒伏試験期間中における有義波高、有義波周期および扉体係留力の時間変化を図-4.19に示す。波の条件を示す図に表示した水色の直線は、台風4号および台風17号が通過した時期を示す。これらの時期に波高がやや大きくなっている様子がわかる。扉体係留力を示す図において、黒色の破線は寸動動作試験を行った日時、緑色の直線は自動給気を行った日時を示している。これらの給気操作により扉体の浮上力は回復しており、状態監視システムが適切に機能していることが確認できた。

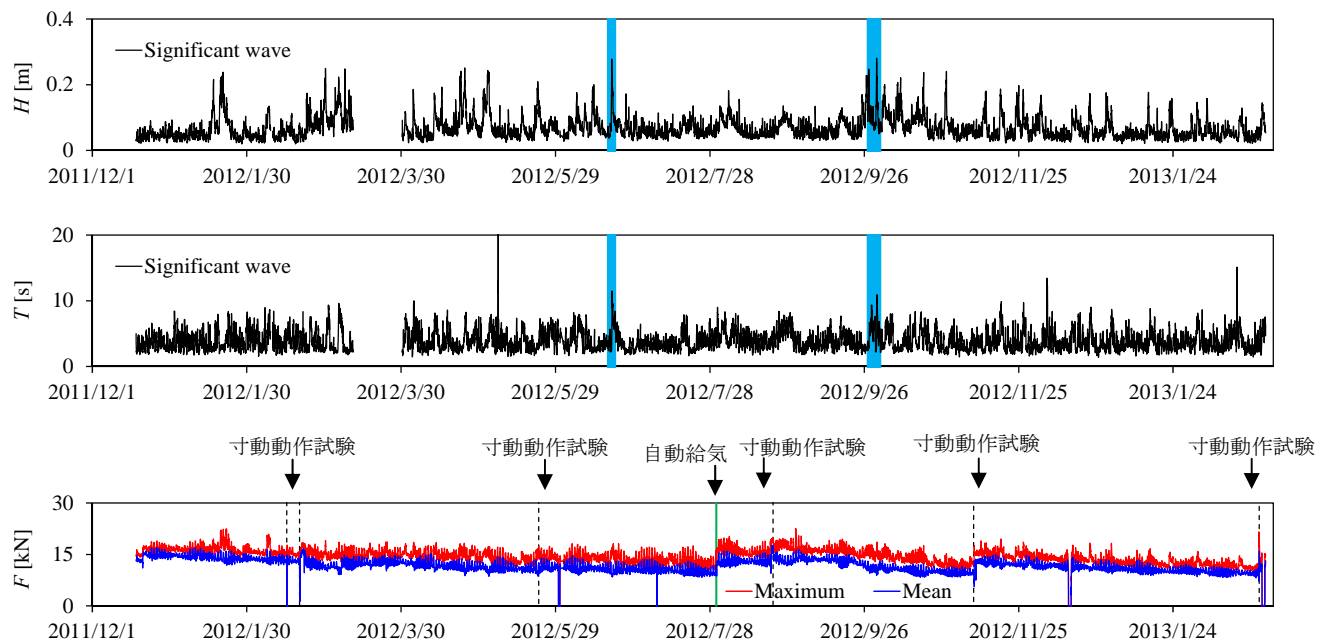


図-4.19 長期倒伏試験中における有義波高（上段）、有義波周期（中段）および扉体係留力（下段）の時間変化

4-2-4 その他の動作試験 一津波・高潮防波堤用フラップゲート 緊急排気試験

目的：倒伏保持状態において係留フックが誤って開放された場合に、扉体の誤浮上を抑止するための緊急排気操作に求められる制御方法を確認する。

結果：図-4.20は、扉体角度が5度に達した時点で排気を行った場合における扉体の動作の様子を示す。通常、係留状態における扉体の動揺範囲は0.5度前後であるが、扉体の誤浮上動作の初期の時点で緊急排気操作を行うことで、扉体の水面までの浮上を抑止できることを確認した。

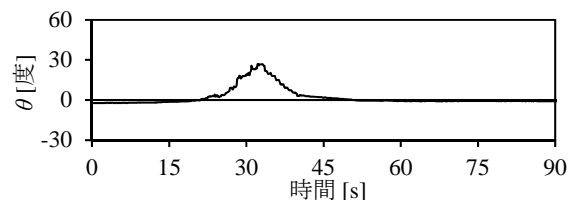


図-4.20 緊急排気試験における扉体角度の時間変化

4-3 試験結果（保守管理）

4-3-1 水中目視点検等

定期計測時に合わせてダイバー潜水作業による水中設備の目視点検を行っている。津波・高潮防波堤と波除堤の扉体底部軸受部の状況について図-4.21 および図-4.22 に示す。常時の格納状態の違いにより、両装置には大きな差異が生じており、津波・高潮防波堤では波除堤に比較して、海棲生物の付着が非常に少ないことが確認できる。



図-4.21 津波・高潮防波堤 扉体底部軸受（2013.2.28 撮影）

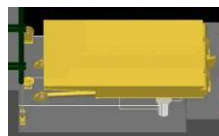


図-4.22 波除堤 扉体底部軸受（2013.3.26 撮影）

4-3-2 堆積物の調査

一旦乾燥させた底質を対象とした粒径分布の測定では、 $50\mu\text{m}$ 、 $106\mu\text{m}$ 、 $250\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ および 1mm のふるいを使用した。調査地点および捕捉容器の形状によらず $106\mu\text{m}$ 以下の細砂が比較的多く捕捉されたが、堆積量および堆積深さに関して顕著な傾向は確認できなかった。

また、周囲の海底の底質、および、海底の補足容器内の堆積物を比較するため、湿潤な状態でこれらの粒径分布を測定した。ここでは、 $50\mu\text{m}$ 、 $63\mu\text{m}$ 、 $106\mu\text{m}$ 、 $250\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ 、 1mm および 2mm のふるいを使用した。計測に使用したサンプルを図-4.23 および図-4.24 に示す。両図より、補足容器内の底質は黒色の汚泥状であり、粒径測定の結果、その大部分が $50\mu\text{m}$ 以下であり、容器外の海底の底質は $250\sim 500\mu\text{m}$ および 2mm 以上の砂礫が中心であった。以上より、容器内の底質は、周囲の砂礫の進入によるものではなく、海棲生物に起因する有機物であると推定できる。



図-4.23 補足容器内の堆積物



図-4.24 海底の底質

4-3-3 状態監視システム

フラップゲート式可動防波堤は常時海底に格納されるため、従来水門と同様の保守管理手法を採用すると、水中点検にかかる負担が過大となる。本試験装置には、水中点検の負担軽減を目的とした状態監視システムが搭載されており、現地および遠隔地（日立造船株式会社 堺工場内）において、リアルタイムで設備状態のモニタリングが可能となっている。また、本システムで得られたデータはすべて蓄積されており、これらをトレンド管理することにより設備状態を見える化でき、異常状態の早期発見およびその要因の解明を容易にしている。

4-3-4 波除堤用フラップゲートの海棲生物付着の影響調査

波除堤用フラップゲートは、津波・高潮防波堤用と異なり常時定位置で倒伏しているため、軸受部等が固着しないよう定期的な管理運転や清掃が必要となる。実証機によりこれら維持管理に必要な知見を得るべく、倒伏期間や清掃状態の違いにおける起立時間の検証を行った（ここでは、起立時間を、操作開始から扉体角度が20度に達するまでの時間と設定した）。検証の結果、1、2週間程度の倒伏期間では起立時間の差は僅かであった（**図-4.25**、**図-4.26** 参照）。1ヶ月間の倒伏では起立時間が20%程度遅延することが確認されたが、特に清掃等を実施しなくても、一度の起立操作で起立時間がほぼ初期状態に回復することが確認できた（**図-4.27** 参照）。

以上の結果から、本設備の設置環境では、一般的に想定されるような**通常運用での運転により海棲生物による抵抗増大を抑制することが可能**であるが、海棲生物等の付着状況は設置場所により異なるため、維持管理においては、起立時間をトレンド管理することにより、適切な管理運転間隔を設定するのが望ましい。

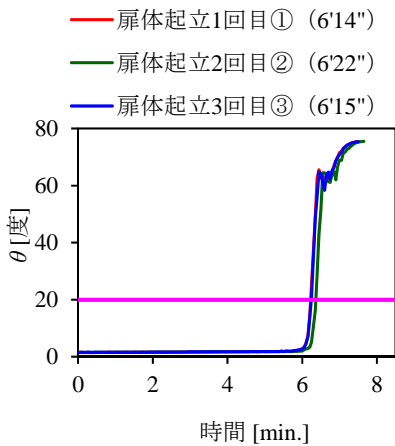


図-4.25 計測 No.1 (1週間倒伏後)

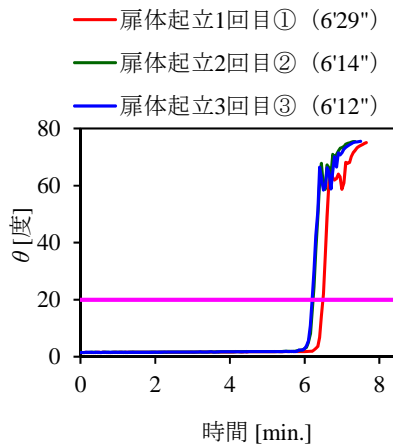


図-4.26 計測 No.2 (2週間倒伏後)

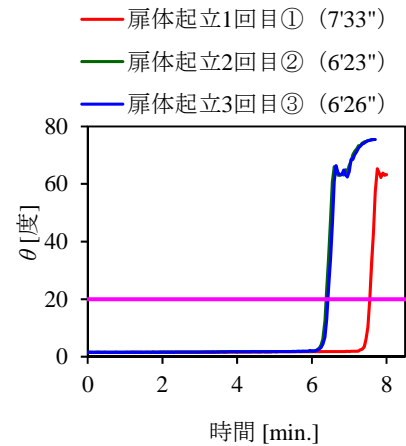


図-4.27 計測 No.3 (1ヶ月間倒伏後)

4-4 まとめ

津波・高潮防波堤用フラップゲートについて、扉体係留力の常時監視や寸動動作試験により、**扉体は常に浮上可能な状態を保持できていることが確認され、使用頻度が極めて低い津波対策可動防波堤としての適応性の高さが確かめられた**。また、本実海域試験によって確認された扉体の浮上時間や係留力は、これまでに実施した**室内模型実験の結果と比較して十分な整合性を有しており、実機設計を行う上での指標となることが実証された**。

波除堤については**起立状態の支持方法に問題は認められなかった**。また、海棲生物付着等による重量や抵抗の増大により、起立完了に要する時間が徐々に長くなる傾向が見られたが、一度の起立操作により、起立時間がほぼ回復することが分かった。

本実海域試験を通して、津波・高潮防波堤用フラップゲートおよび波除堤用フラップゲートの実機適応性を実証することができた。

捕捉 一記号の説明一

I : 扉体慣性モーメント	l_s : 扉体回転軸の半径	h : 水深
J : 付加慣性モーメント	ΔP : 扉体が浮上することによる扉体下部空間の圧力低下	$P_{upper}(x,t)$: 扉体上面の圧力
θ : 水平を基準とした扉体の角度	x : 回転軸からの距離	$P_{lower}(x,t)$: 扉体下面の圧力
t : 時間	ζ : 損失係数	F_{moor} : 係留力
B : 扉体浮力	ρ : 海水の密度	l_m : 回転軸から扉体係留ピンまでの距離
l_B : 回転軸から浮心までの距離	a : 扉体の長さ	H : 波高
W : 扉体重量	d : 閉塞部の幅	L : 波長
l_G : 回転軸から重心までの距離	b : 扉体の厚さ	
F_S : 扉体回転軸と軸受との摩擦力		

5. あとがき

本最終報告書（概要版）では、フラップゲート式可動防波堤実海域試験において、主に平成23年度および24年度に得られた試験結果について報告を行った。また、これとは別に「最終報告書」では、試験結果の他、試験装置に関する設計・施工概要や基本動作に関する信頼性検討等についてもとりまとめを行っている。巻末に添付する「最終報告書」の目次により、参照希望の方は、日立造船株式会社 HP (<http://www.hitachizosen.co.jp/products/products026.html>) より問い合わせ頂ければ幸いである。

最後に本試験の実施に際し、試験場所を提供頂くとともに、終始熱心にご指導いた静岡県ならびに焼津漁業共同組合、小川漁業共同組合の方々、試験計画から結果の評価に至るまでご指導、ご助言を頂いたフラップゲート式可動防波堤実海域試験検討委員会の委員ならびに事務局の皆様、この場をお借りして心より厚く御礼申し上げます。

6. 学会発表論文等リスト

- 1) 高潮・地震津波用フラップ式水門の越波及び波力特性について
海洋開発論文集, 第21巻, 2005, pp.103-108.
清宮 理, 下迫健一郎, 仲保京一, 大久保寛, 長谷川巖
- 2) 高潮・津波対策用のフラップ式可動ゲートの開発
海洋開発論文集, 第21巻, 2005, pp.109-114.
白井秀治, 永田修一, 藤田 孝, 新里英幸, 仲保京一, 高橋和夫
- 3) フラップ式水門に作用する段波津波の特性
海洋開発論文集, 第22巻, 2006, pp.571-576.
清宮 理, 下迫健一郎, 仲保京一, 高木芳朗, 木村秀雄, 岡田晃佳
- 4) フラップ式可動ゲートの津波低減性能に関する模型実験
海洋開発論文集, 第22巻, 2006, pp.577-582.
白井秀治, 藤田 孝, 木村雄一郎, 山口映二, 仲保京一
- 5) フラップ式構造物の波浪および津波に対する水理特性
港湾空港技術研究所資料, No.1155, June 2007.
下迫健一郎, 清宮 理, 仲保京一, 大久保寛, 由井孝昌
- 6) フラップ式可動ゲートの津波低減性能に関する模型実験（その2）
海洋開発論文集, 第23巻, 2007, pp.93-98.
木村雄一郎, 仲保京一, 伊墻昭一郎, 柳 浩敏
- 7) フラップゲート式可動波除堤の透過特性に関する研究
海洋開発論文集, 第25巻, 2009, pp.719-724.
新里英幸, 木村雄一郎, 仲保京一, 藤田 孝
- 8) 倒伏状態の津波・高潮対応フラップ式可動ゲートの係留特性に関する実験的研究
海洋開発論文集, 第25巻, 2009, pp.93-98.
木村雄一郎, 新里英幸, 仲保京一, 安田誠宏, 間瀬 肇
- 9) フラップゲート式可動防波堤の波圧応答特性に関する実験的研究
土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.65, No.2, 2009, pp.806-810.
木村雄一郎, 新里英幸, 仲保京一, 安田誠宏, 間瀬 肇
- 10) 波浪中フラップゲート式可動防波堤の平面水槽実験
土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.65, No.2, 2009, pp.851-855.
新里英幸, 木村雄一郎, 仲保京一, 藤田 孝
- 11) フラップゲート式可動防波堤の実海域試験
土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, 2012, pp.240-245.
木村雄一郎, 近本 武, 吉田宏志, 下迫健一郎, 清宮 理

- 12) 海底に倒伏したフラップゲート式可動防波堤の扉体係留力の検証
土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, 2013, CD-ROM.
木村雄一郎, 仲保京一, 板垣 暢, 森井俊明

添付資料 : 「最終報告書」 ー目次ー

1. はじめに	1
2. 開発経緯	2
3. 施設概要	4
3-1 フラップ式津波・高潮防波堤	6
3-1-1 施設特性	6
3-1-2 設備構成	6
3-1-3 基本操作	11
(1) 浮上操作	11
(2) 倒伏操作	12
(3) 寸動操作	13
3-1-4 異常検出と状態監視	14
(1) 異常検出	14
(2) 状態監視	14
3-1-5 設備の保全	18
3-2 フラップ式波除堤	20
3-2-1 施設特性	20
3-2-2 設備構成	20
3-2-3 基本操作	23
(1) 起立操作	23
(2) 倒伏操作	24
3-2-4 異常検出と状態監視	25
(1) 異常検出	25
(2) 状態監視	25
3-2-5 設備の保全	27
4. 実海域試験	28
4-1 目的	28
4-2 試験計画	29
4-2-1 試験海域	29
(1) 場 所	29
(2) 水象条件	30
(3) 現地海底地盤	32
4-2-2 試験装置	33
(1) フラップゲート式可動防波堤の概要	33
(2) 試験装置の構造	34
(3) 試験装置における制御および状態監視	36
4-2-3 試験内容	38
(1) 計測仕様	38
(2) 収録システム	43
(3) 試験項目	47
(4) 水中保守作業	57
(5) その他調査項目	58

4-2-4	状態監視	61
4-2-5	試験工程	62
4-3	試験結果	63
4-3-1	計測概要	63
(1)	日程	63
(2)	気象状況	63
(3)	潮位変化	67
(4)	計測内容	70
(5)	試験計画との変更点	73
(6)	試験計測用機器の故障	73
4-3-2	計測結果	75
(1)	計測時の海象状況	75
(2)	定期計測結果	80
(3)	連続計測結果	107
(4)	その他の動作確認試験	114
4-3-3	水中保守作業	117
(1)	部品交換作業性の確認	117
(2)	目視点検	121
(3)	その他の調査項目	126
4-3-4	堆積物の調査	133
(1)	底質捕捉容器の設置状況	133
(2)	乾式粒径測定	138
(3)	湿式粒径測定	144
4-3-5	状態監視システム	147
(1)	状態監視画面	147
(2)	映像監視システム	148
(3)	津波・高潮防波堤用フラップゲートの状態監視およびトレンド管理	149
(4)	波除堤用フラップゲートの状態監視およびトレンド管理	153
4-3-6	波除堤用フラップゲートの海棲生物付着の影響調査	155
(1)	倒伏期間の違いにおける浮上開始時間の計測結果	155
(2)	清掃による浮上開始時間改善効果の調査	156
4-4	まとめ	159
5.	設計概要	160
5-1	設計フロー	160
5-1-1	全体設計フロー	160
5-1-2	詳細設計フロー	161
(1)	可動構造部	161
(2)	函体構造部	162
(3)	津波・高潮防波堤用駆動装置	163
(4)	波除堤用駆動装置	165
(5)	制御装置	166
(6)	状態監視装置	166
(7)	配置・配管・配線	166
5-2	試験装置設計概要	167
5-2-1	要求性能	167
5-2-2	設計条件	167

5-2-3	設計外力	168
5-2-4	構造諸元	168
5-2-5	性能検討	169
5-2-6	安定検討	170
5-2-7	函体基礎全体の耐震検討	170
5-2-8	詳細設計	171
(1)	可動構造部	171
(2)	函体構造部	173
(3)	駆動装置	174
(4)	制御装置および状態監視装置	178
6.	施工概要	181
6-1	準拠基準	181
6-2	製作	181
6-2-1	一般	181
6-2-2	部材加工	181
6-2-3	溶接・組立	181
6-2-4	製品検査	181
6-2-5	保管	181
6-2-6	施工手順	182
6-3	浜出し・輸送	184
6-3-1	一般	184
6-3-2	浜出し	184
6-3-3	輸送	184
6-3-4	輸送方法	184
6-4	現地据付	185
6-4-1	基礎工	185
6-4-2	据付	185
6-4-3	据付方法	186
6-4-4	函体充填	186
6-4-5	付帯設備	186
6-5	検査	187
6-5-1	一般	187
6-5-2	検査の基本	187
6-5-3	工場検査	187
6-5-4	据付検査	187
6-5-5	設備総合検査	187
6-5-6	検査記録	187
6-6	保守管理	188
6-6-1	一般	188
6-6-2	保守管理計画	188
6-6-3	点検・整備の方法	188
6-6-4	機能および安全の確保	188
6-6-5	巡視・点検	188
6-6-6	整備	188
6-6-7	保守管理記録	189
6-7	撤去	189

7. フラップ式津波・高潮防波堤の基本動作に関する信頼性検討	190
7-1 浮上信頼性改善の経緯	190
7-1-1 システム構成	190
(1) 初期の方式	190
(2) 給気方式の見直し	190
(3) 現在の方式	190
7-1-2 浮上操作フロー	191
(1) 初期の方式	191
(2) 給気方式の見直し	191
(3) 現在の方式	191
7-2 失敗シナリオ (F T図)	192
7-2-1 扉体が浮上しない	192
7-2-2 扉体が倒伏しない	193
7-2-3 扉体の事故浮上	194
7-3 不具合対応	195
7-3-1 扉体が浮上しない	195
7-3-2 扉体が倒伏しない	196
7-3-3 扉体の事故浮上	197
7-4 長期整備計画例	198
8. あとがき	199

- 別添資料1 実海域試験 計測結果データ集
- 別添資料2 実海域試験 水中目視点検写真集
- 別添資料3 実海域試験装置 設計計算結果一覧
- 別添資料4 実海域試験装置 設計図面 (一般図抜粋)
- 別添資料5 学会発表論文等リスト