

メガフロートとその利用に関する技術展望

Overview of Mega-Float and Its Utilization

船舶・海洋事業本部 珠久正憲*¹ 堀場伸*²
 井上俊司*³
 技術本部 小林英一*⁴
 横浜製作所 島宗誠一*⁵

メガフロート（超大型浮体式海洋構造物）は、海洋環境保全の重視、循環型社会の構築などの新時代の社会要求に適合した社会資本整備手法と考えられ、現在、長さ1000mの実験浮体を用いた実証試験が、メガフロート技術研究組合〔理事長：相川賢太郎（当社相談役）〕で行われている。メガフロートの用途としては、空港、防災拠点などが考えられる。その実現のために、当社は、耐波性能向上技術、浮体ユニット接合技術、環境影響評価技術、超長期耐用技術、及び各要素技術の統合による最適トータルデザインの追求を重点課題と位置付け、独自の研究開発に取り組んでいる。

The Mega-Float, a very large offshore floating structure, is regarded as material for structuring of social capital in the new future. An actual-scale model 1000 m long has been under going demonstration experiments by Technological Research Association of Mega-Float under Director-General Kentaro Aikawa, Senior Corporate Advisor of Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Examples of Mega-Float use include as an airport and as a rescue base for disaster. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., is conducting unique studies and development in antiwave performance, joining technology for floating units, environmental assessment, very-long-term endurance, and the pursuit of total design by synthesizing respective technologies considered to be keys for realizing practical Mega-Float use.

1. はじめに

四方を海に囲まれて長い歴史をはぐくんできた我が国の人々に、海は古来多くの恩恵を与えてきている。例えば、比較的安定した気候、多くの水産資源、浮力利用による海上輸送などである。

一方では、急速に増大・発展した人口や産業に対応するため、国土に平野が少ない我が国は、ウォータフロントへ新領域を求めてきた。そこでは、技術開発の進展とともに水際線の多様なデザインが可能となり、時代の要請に応じた多くの社会基盤構築に成功している。

今、21世紀を迎えるに当たって、新しい価値観へと舵を切る局面が徐々に増えている。ウォータフロント利用においては、人と海とのかかわりの原点に立戻って海の恩恵をできる限り温存することや、合理的な重量支持法である浮力利用を考え、加えて、時代ごとの使いやすい形や大きさに造成地形を変え、遠い将来の可能性として土地の自然還元（海面復元）や造成材料のリサイクルにも思いを及ぼせるとき、そこに超大型浮体式海洋構造物（メガフロート）がある（図1参照）。

本報では、この新しい社会資本整備手法・メガフロートについての技術展望を述べる。

2. メガフロートの特徴と安全性

メガフロートとは、ギリシャ語で巨大という意味の“MEGA”と英語で浮体という意味の“FLOAT”を組合せた造語で、超

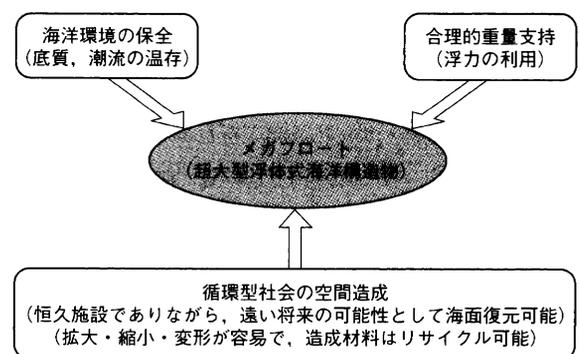


図1 メガフロートの社会的特質 メガフロートの特長が新時代に適合していることを示す。
Feature of Mega-Float

大型浮体構造物を意味するが、係留施設や陸地からのアクセス（橋梁等）も含めた全体システムを指す用語である。

当社も参加しているメガフロート技術研究組合〔理事長：相川賢太郎（当社相談役）〕が平成7～12年度の6箇年で研究開発を実施し、現在は横須賀市において長さ1000mの実証試験浮体を製作して空港として利用する場合の技術データを収集している。実証試験浮体の全景を図2に示す。

メガフロートは浮体上面が土地と類似の用途に使用可能という点で船舶と異なり、おのずと浮体の平面積が大きくなるため、洋上で複数の浮体ユニットを接合して製作される。製作の流れの一例を図3に示す。

*1 船舶技術部長 工博

*2 船舶技術部海洋計画グループ長

*3 船舶技術部海洋計画グループ主席

*4 長崎研究所船舶・海洋研究推進室主席

*5 修繕部主席

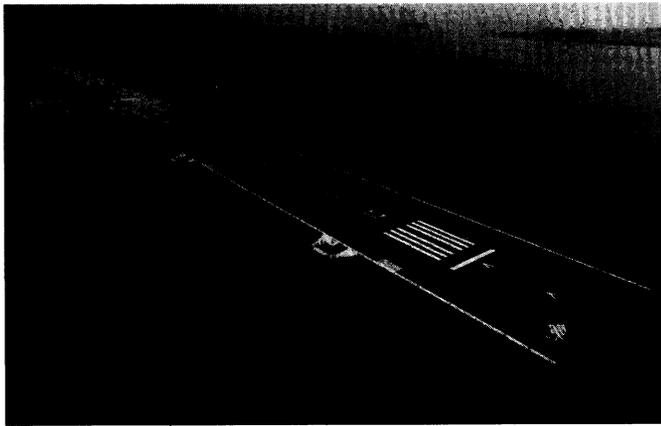


図2 メガフロート実証試験浮体全景 全長1000mの浮体を横須賀市沖に設置して、空港として利用する場合の基礎データを集積している。
Overview of Mega-Float model

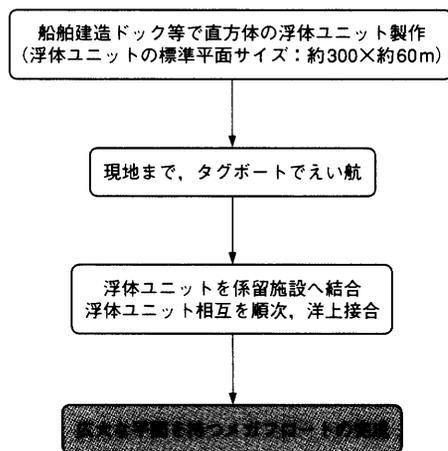


図3 メガフロートの製作の流れ 洋上で複数の浮体ユニットを接合して製作することがメガフロートの大きな特徴である。
Flow of construction of Mega-Float

メガフロートの計画・建設面での特長には以下がある。

- 建設による底質・潮流等の環境変更が少なく、環境負荷の低減が図れる。
- 建設費用は、水深・地盤条件等の影響をほとんど受けない。
- 地盤沈下がない。
- 耐震性（水平震度0）があり、上載建築物の耐震補強の軽減が図れる（上載建築物の意匠やレイアウトの自由度が大きい）。
- 浮体ユニットの接合で製作するため、現地工事期間の短縮が図れ、全体工期も短縮できる。
- 拡大・縮小・移動が容易であり、将来の都市計画・港湾計画への追従が容易である。
- 広大な内部空間の有効活用が図れる。

一方では、幾つかの点について社会の理解・認知を得ていく必要があるが、主なものを以下に示す。

(1) 沈まないのか？

メガフロートは、その大きさの効果により、船舶のよう

に転覆することはあり得ない。また、万一の不測の浸水被害に対しては、浮体内部が多数の浮力用空気室に分割されていることで対応している。1～2個の空気室に浸水しても隣接する空気室が浮力を肩代りする余力を持っているので、全体としてはびくともしない⁽¹⁾。

(2) 波に対して揺れないのか？

船舶や浮きん橋では、浮体全体が波による水面上下動や水面斜面上に乗ってしまって大きな動揺が生じる場合がある。一方、メガフロートではその大きさの効果により、浮体の範囲内に波の山と谷が無数に入り、その各々の力が互いに打消し合うので、浮体全体の上下動や傾きは一切生じない。

船舶では全体動揺に隠れて目立たなかったわずかな局部たわみ現象が、元々わずかとはいえメガフロートでは顕在化する。その現象は弾性応答^{(2)~(5)}と呼ばれるもので、図4に示すように、浮体端部が波で揺らされ、浮体内を振動状に伝ばする現象である。これは、知覚的にはほとんど感じないレベルの揺れであるが、それを評価して上載物の機能確保に万全を期することとしている。また、微小な応力の繰返しによる金属疲労についても、超長期の供用に対応する強度を確保する設計とする。

(3) 波で一番厳しいのは津波と思うが津波に対して安全か？

一般に津波は海岸に打上げるときに浅水効果により波高が最大となり、その運動エネルギーの大きさから陸上高くまで遡上して甚大被害を及ぼす。一方、メガフロートは浮体の特性を生かす観点からもおのずとある程度の水深の地点に設置されるため、通過する津波は数十min周期の穏やかな水面上下動として浮体に作用する。浮体は水面の上下に追従して穏やかに動くため、浮体上に海水が遡上することもなければ、浮体が過大な変形作用を受けることもない。

(4) それでは、メガフロートの安全にとってクリティカルな状況とは何になるのか？

想定して得る気象や海象、想定し得る事故に対する設計安全性は確保できると考えられている。しかし、メガフロートが色々な意味で新規の製品であり、未経験の分野を内包していることを考えると、問題は想定を超える現象に対する備えである。これについては、大きく分けて、以下の2種類の対策・考え方で臨むこととしている。

① 多重信頼性

設計条件下での適正安全率確保、フェイルセーフの思想によるカストロフィックな事態の回避、点検・補修活動による状況のリカバー、を適宜組合せて、二重又は三重の信頼性を確保するものである。

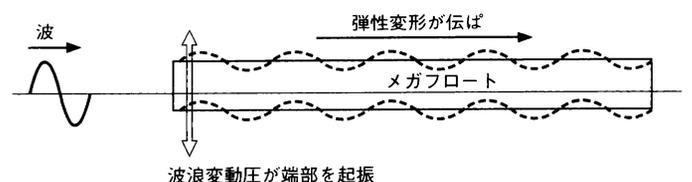


図4 弾性応答のメカニズム（概念側面図） 弾性応答とは、構造の動的な弾性変形を指す。
Mechanism of elastic response (conceptual profile)

空港としてのメガフロートの航空機墜落事故に対する多重信頼性の考え方の一例を図5に示す。

② モニタリングとフィードバック

メガフロートの新規性を考えると、供用開始後に追跡調査を行い、そのフィードバックにより補修や運用方法改善を行うことが、最終的な安全性確保に対して非常に効果大きい。この活動プログラムの基本的考え方をあらかじめ綿密に立案することとしている。

また、当社は表1に示すような豊富な長期耐用浮体の建造経験を有しており、長期耐用の観点からは、実績データに基づく判断をメガフロートの計画に織込んでいく考えである。

3. 適応する用途

施設と工法のマッチングは、一般に、設置場所ごとに、経済的条件、技術的条件、環境保全条件等を総合的に考慮して判断されるが、メガフロートの適用が想定し得る施設の主な

ものには以下が挙げられる。

① 大型空港

大都市圏での空港新設においては、居住地への騒音問題や既存空港との空域調整の問題などから、海上のやや沖合が立地として有利になる場合が多い。一方、埋立がかなり進んだ地先は水深が深く、また軟弱地盤の場所もある。このようなケースでは、メガフロートが有力な工法になり得る。

② 地方空港・離島空港

必ずしも平野部が広くない場所においては、立地は山地か海上かになるが、自然環境保全の観点から、メガフロートが有力な工法になるケースがあると考えられる。

③ 防災拠点

地震に対する絶対安全性、甚大災害地域への移動性等の観点より、新しい運用のコンセプトにメガフロートの防災拠点が有効である可能性がある（小規模ながらパイロット事業が東京湾・伊勢湾・大阪湾で実現している）。

④ その他の海上立地が想定し得る施設

物流基地、プラント施設、レジャー施設などが想定される。従来に海上立地でありながらメガフロート以外の工法が採用されてきたものについても、メガフロートが技術開発のめどを付けつつある状況で、今後はメガフロートが工法選択肢の一つになっていくと考えている。

4. 洋上施工技術

メガフロートの洋上施工は、我が国が培ってきた海洋土木技術と船舶建造技術を糾合して実現されるが、特にメガフロートで特徴的な技術は浮体ユニットの洋上接合技術である。規模は小さいながら船舶建造での類似の既往工事例がない訳ではないが、大規模なメガフロートにおいて、より海象条件の厳しい海域で合理的な施工を実施していくために種々の研究開発を実施している。

図6に示すように洋上接合は幾つかの段階に分けて施工されるが、各々の段階でのキー技術は以下のとおりである⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

(1) 引寄せ～固着

浮体ユニット相互の運動を徐々に拘束していくと、その拘束度合いに応じて、拘束機構に掛かる荷重は増していく。そのような段階的な拘束を合理的に行う拘束機構の開発が良好な施工性を実現する。

また、波浪による浮体ユニットの運動や太陽熱による浮

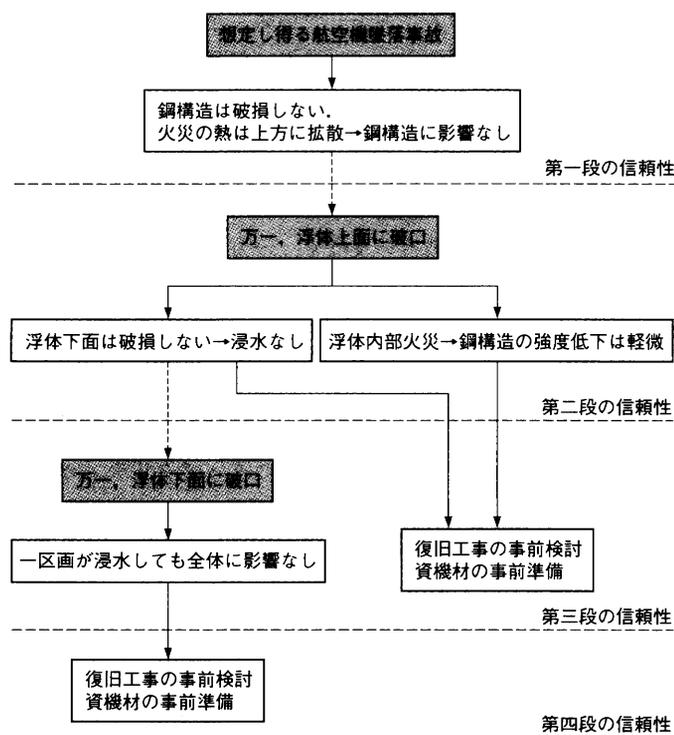


図5 多重信頼性のコンセプト例（メガフロート上での航空機墜落対策の例）
 Conceptual example of multi-reliability
 メガフロートの新規性にかんがみ、“万一”を考慮して、十分な安全性を確保する考え方を示す。

表1 当社建造の長期耐用係留浮体の例
 Examples of floating structure built by MHI

名称	形式	建造年	係留開始年	係留地	用途
氷川丸（外航客船）	船舶	1930	1961	横浜港	保存船
八甲田丸（青函連絡船）		1964	1990	青森港	メモリアルシップ
摩周丸（青函連絡船）		1965	1991	函館港	メモリアルシップ
大雪丸（青函連絡船）		1965	1996	長崎港	ホテルシップ
アクアポリス（沖縄海洋博）	海洋構造物		1975	沖縄県	海上都市モデル
上五島・石油貯蔵船			1986	長崎県上五島	洋上石油備蓄システム

（注）その他に、最近建造の大型浮体の実績として白島・石油貯蔵船（福岡県）がある。

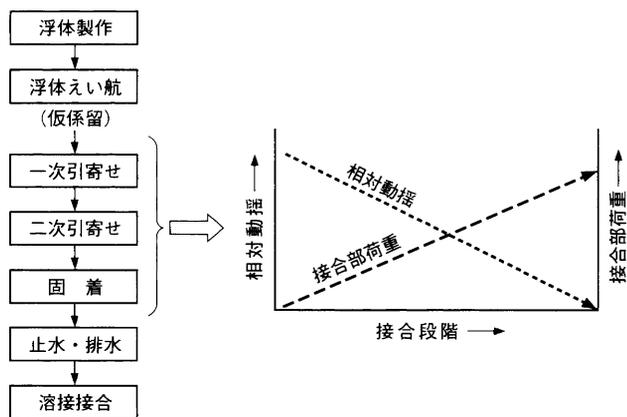


図6 洋上接合のフロー及び相対動揺と接合部荷重の推移
 浮体ユニットの相互運動を拘束していくと、拘束機構に掛かる荷重は増していく。
 Afloat joining procedure

体ユニットの熱変形を精度良く評価して施工法に反映させることも重要である。

(2) 止水・排水

海水面より低位の構造の溶接は、より高い品質を確保するため、何らかの仕組で排水を行った後に空気中で行うこととしている。

(3) 溶接接合

特殊な作業環境下で施工される溶接継手の品質管理のための工事・検査手順を検討している。

なお、これらの要素技術は、すべて基本的には実証試験浮体の建設で実証されているが、更なる改良開発を継続している。

5. 環境影響評価技術

超大型浮体式海洋構造物は広大な面積を有しているが水深に比して喫水が小さいため、浮体の存在による周辺水域への流況影響は比較的小さいと考えられている。また生態系については、浮体設置域で十分な流れがある場合、植物プランクトンは浮体直下で活動がいったん低下しても、流れに乗り再び底部から出た時点で活性化される。さらに浮体直下の水質や底質も流れがある場合ほとんど変化しないと考えられる。

このような環境影響は浮体の大きさ、設置海域の海底地形、設置場所付近の現状流況なども深く関連するがこの浮体設置による環境影響を事前に予測するためには、まず浮体設置による周辺水域の流況影響を実験⁽⁸⁾⁽⁹⁾や計算により把握することが必要になる。実験的手法は直接的ではあるが設備と時間を要することから、近年目覚ましい進歩を見せた計算機能力を活用して比較的短時間で対応できる数値計算^{例えば(10)}による場合も多い。

また生態系については図7に示すように海域での種々の生態系にかかわる項目の相互のやり取りを各分割領域ごとに解くことにより生態系諸現象の予測・評価が可能である。東京湾奥にメガフロートが設置された場合の植物プランクトンの計算結果⁽¹¹⁾を図8に示すが、メガフロート設置の影響は軽微である結果が得られている。

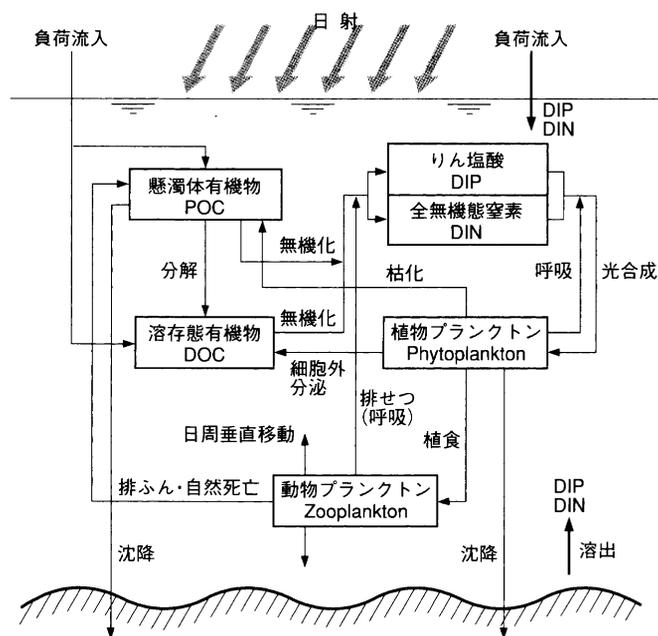


図7 生態系概念 各コンパートメントでの生態系モデルの相互の関係を示す。
 Concept of coastal marine ecosystem model

植物プランクトン由来の炭素量 (mg/m³)

500 1500 2500 3500 4000

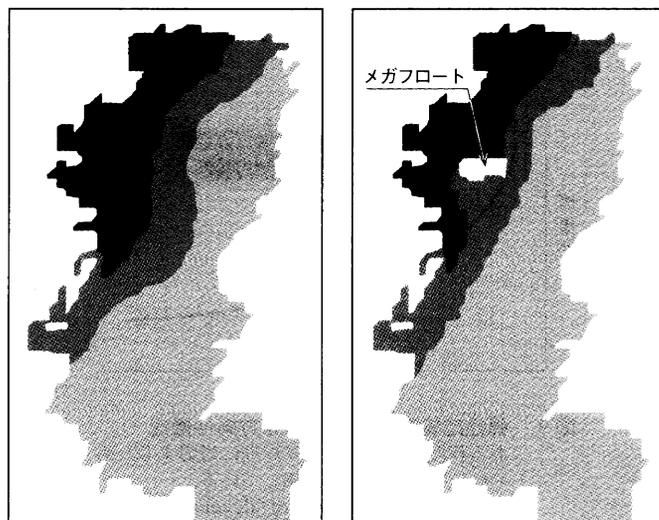


図8 メガフロートが生態系(植物プランクトン)に与える影響
 メガフロートが与える影響が小さいことを示す。
 Effect of Mega-Float installation on horizontal distribution of phytoplankton

このような予測計算手法は水理実験や実海域実験結果との比較により実用上十分な精度を有することが実証されており、今後新たな水域にメガフロートが設置された場合などについても事前に環境影響評価を行うことが可能である。

6. 新しい技術開発の動向

6.1 適応海域の拡大

メガフロートでは、前述の弾性応答が、強度上、機能上の

重要な観点である。設置海面の海象次第では、防波堤を設置して、弾性応答を軽減する措置を取るが、防波堤による海水置換の阻害や、防波堤コストの水深・土質条件依存性は、メガフロートの特長を相殺する要因となっている。

そこで、メガフロートの特長を最大限に生かすため、浮体側に付加的な構造物（減揺構造）を設置することにより、弾性応答を軽減し、ある程度の高波高かつ長周期の波が入射する条件で防波堤の設置を省略あるいは最少化する可能性について、研究を進めている⁽¹²⁾。開発の方向性の概念を図9に示す。

また、浮体の係留においては、浮体を所定の場所に精度良く保持できることが重要な課題であり、水際付近の水域における係留方式としては、上五島や白島の洋上石油備蓄システムでも採用されたドルフィンフェンダ方式があるが、この方式は水深がおおむね30mを超えるようになると土木工事の制約もあり経済性が大きく低下する傾向にある。一方、水深がおおむね100m以上の沖合の海域では、カテナリー（懸垂チェーン）係留方式が石油掘削リグ等の係留方式として一般的であるが、この方式では、水深がそれ以下に浅くかつ厳しい海象下においては係留系に過大な力が掛かり、安全性の十分な確保が困難な状況にある。

当社では、このような係留技術の現状から、浮体の新しい立地の可能性を持つ水深30mから100m程度の浅海域で、かつ、外洋波浪が侵入する水域に適した、経済性と信頼性に優れた次世代係留技術の確立を目指すことにしている⁽¹²⁾。開

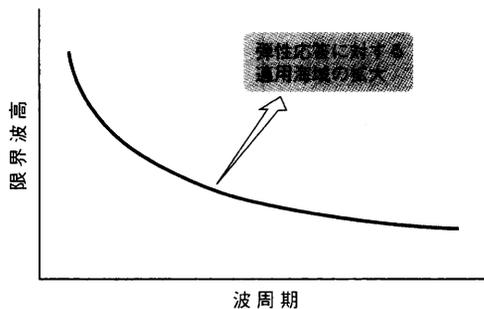


図9 弾性応答軽減対策の開発方向性概念
ある程度の高波高かつ長周期に対応するための減揺構造の開発を目指している。
Conceptual direction of development on countermeasure for reduction of elastic response by attached structure

発の方向性の概念を図10に示す。

6.2 複数浮体の結合運用

6.2.1 結合機構

メガフロートが浮体ユニットを洋上接合して建設されることは前述のとおりであるが、その洋上接合部の一部又は全部を、必要時に分離できる機構とする検討も行っている。

基本的な発想は、洋上接合工程中の引寄せ時に使用する浮体ユニット相互運動拘束機構を強化し、溶接接合を省くものである。

複数の浮体を溶接接合によらず機械的に接合する技術については既往例も多いが、ある程度の高波高状態での容易な離合運用は必ずしも想定されていない。それに対し今般開発中の技術は、浮体を容易に結合あるいは分離して運用することを念頭においたものであり、浮体用途の新しい可能性を拓くものと期待している。

具体的なメカニズム例として、実証試験浮体を用いて実験に成功した結合機構⁽⁹⁾を図11に示す。

6.2.2 防災拠点としての運用例

前項で述べたように、浮体を結合あるいは分離する技術の開発が進んでいる。これに、浮体の移動性の特長を併せて、防災拠点を例とした新しいコンセプト例を示す。超大型のメガフロートが一体のままでは困難であるような移動も、浮体の結合・分離の技術が確立すれば実現する。この意味において、移動性と結合・分離技術は表裏一体のものである。

表2に示すように、結合・分離の運用には大きく分けて3

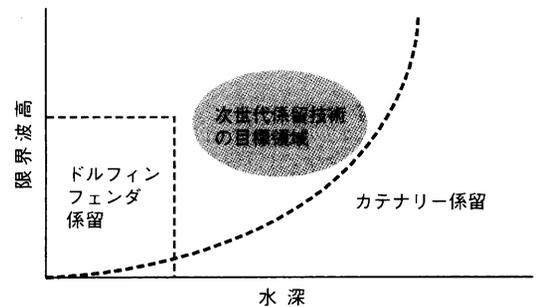


図10 次世代係留技術の開発方向性概念 水深30~100m程度で外洋波浪が侵入する水域に適した、経済性と信頼性に優れた次世代係留技術の確立を目指している。
Conceptual direction of development on mooring technology in next generation

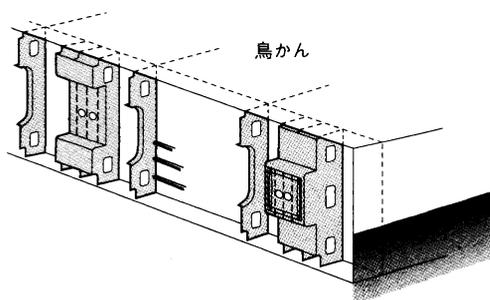
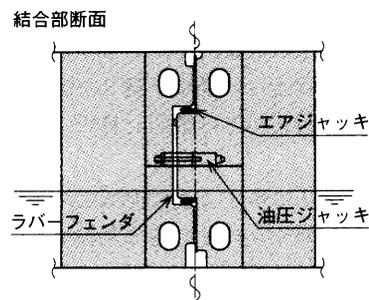


図11 離合式浮体ユニット結合機構を示す。
Proposed joining method



実証試験浮体を用いて離合実験に成功した結合機構の例

表2 結合・分離の運用パターン例
Pattern of joining and separation

運用パターン	平時	分離	結合	結合
	移動時	分離	分離	分離
	災害時	結合	分離	結合
模式図				
コンセプト例	概要	平時は適切なサイズの海上公園等として、複数都市に配置。災害時に甚大被災地域に結集して広域支援拠点を形成。	平時は全体をグラウンド等に使用。災害時には、各ユニットが河川等を遡上し、地区ごとの支援拠点として機能。内部空間には、発電・造水プラントや支援物資等を積載。	高度な広域防災拠点としての機能を平時より維持・訓練しつつ、災害時の甚大被災地区への移動、他地方への移動等の高度な機動性を併せ持つ。
	平時利用の多様性	○	○	
	災害時の最適点への接岸	○	○	○
	他地方への派遣	○		○

種類のパターンがある。すなわち、平時に分離しておいて災害時に分離するパターンと、逆に、平時に結合しておいて災害時に分離するパターン、そして、平時・災害時共に結合して使うが設置場所を変えるための移動中のみ分離するパターンである。各パターンの特長は表中に示しているが、“広域支援の在り方”“平時利用の考え方”等の議論の中で、メガフロート利用の新しいコンセプトが、防災拠点整備の有力な選択肢になり得ると考えている。

7. む す び

以上述べた内容を中心に、当社では以下の要素技術を重要課題と位置付け、メガフロート技術研究組合に参画しての研究⁽¹³⁾とは別に、独自の開発に取り組んでいる。

●耐波性能向上技術

- 浮体ユニット接合技術
- 環境影響評価技術
- 超長期耐用技術

加えて、要素技術を統合して社会の要求にこたえる最適なトータルデザインを追求することが極めて重要と考えている。既存の概念にとらわれない新時代の社会資本を整備していくに当り、技術開発サイドに求められるのは、夢の構想力、従来技術を最大限生かしつつ更なる一步を築く着実な総合技術力、及び、実現のための社会との対話力であろう。

当社は、これらの点に留意しつつ、今後も関係諸機関への協力を通して、メガフロートの実現に貢献していきたいと考えている。

なお、本報中では、一部にメガフロート技術研究組合での研究成果を使わせて頂いた。ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 廣田一博ほか、メガフロートの浸水時安全性に関する研究、第14回 海洋工学シンポジウム(1998) p.385~390
- (2) 太田 真ほか、超大型浮体式海洋構造物の波浪中応答に関する実験的研究、西部造船会会報、第95号(1998) p.99~108
- (3) 太田 真ほか、超大型浮体式海洋構造物の波浪中弾性応答解析と実験的検証、第14回 海洋工学シンポジウム(1998) p.475~481
- (4) 瀬戸秀幸、超大型浮体式構造物における規則波中弾性応答の理論解析(第1報)、日本造船学会論文集、第184号(1998) p.231~241
- (5) 瀬戸秀幸ほか、超大型浮体式構造物における規則波中弾性応答の理論解析(第2報)、日本造船学会論文集、第187号(2000) p.265~275
- (6) 島宗誠一ほか、大型浮体構造物の洋上接合方法とその接合モデルによる動揺解析、第14回 海洋工学シンポジウム(1998) p.487~494
- (7) 島宗誠一ほか、大型浮体構造物の洋上接合方法とその接合モデルによる動揺解析(続報)、第15回 海洋工学シンポジウム(2000) p.167~172
- (8) 小林英一ほか、大型浮体式海洋構造物の水域環境影響評価に関する実験的研究、Proc. of Techno Ocean '98 International Symposium(1998) p.445~448
- (9) 小林英一ほか、大型浮体式海洋構造物の流況影響評価に関する実験的研究、三菱重工技報 Vol.35 No.6(1998) p.424~427
- (10) Kobayashi et al., A basic Study on the Environmental Assessment of Coastal Area Meaga-Float Structure by Two Dimensional Tidal Analysis, Proc. of 16th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'97), Vol VI p.37~46
- (11) メガフロート技術研究組合、超大型浮体式海洋構造物(メガフロート)平成9年度研究成果報告書一概要一(1997) p.251~315
- (12) 尾崎雅彦ほか、耐波型メガフロートの開発、三菱重工技報 Vol.37 No.5(2000)
- (13) メガフロート技術研究組合、超大型浮体式海洋構造物(メガフロート)平成7~11年度研究成果報告書一概要一(1996~2000)