波エネルギー吸収装置によるメガフロート浮体の動揺低減技術

海洋開発研究領域	海洋空間利用研究グループ	*正信	聡太郎、	加藤	俊司
		佐藤	宏		
	深海技術研究グループ	前田	克弥		
	海事局技術課	難波	康広		

1. はじめに

「メガフロート情報基地機能実証実験」¹⁾では、 メガフロートの内部空間に情報バックアップ基地を 作り、そこに設置したコンピュータ機器がどのよう な海象でも瞬断なく稼動するために必要となる技術 開発を行っている。

本論文では、当所が国土交通省より受託した本実 証実験の主要な研究開発の一つである波エネルギー 吸収装置による動揺低減技術について報告する。

メガフロートの強度上及び機能上の観点から最も 重要であるのが弾性応答である。設置海域によって は、防波堤を設置して静穏海域を設けたり、没水部 の形状を変化させるなどして弾性応答を低減する措 置をとることが考えられるが、コスト的に不利にな る場合があり、また前者については環境影響に関し て浮体構造物である利点を失うことにつながる。

本実証実験では、浮体沖側側面に深さ1.5mの波エ ネルギー吸収装置(鋼製のカーテンウォール式消波 機構)を設置することによって弾性応答を低減する 方式を採用することになっている。しかし、付加構 造物が設置されると、弾性応答が低減する一方で波 漂流力が増大する。そこで本研究では、弾性応答の 低減と波漂流力の増大抑制の点から有効な波エネル ギー吸収装置について調査を行った。

さらに、波エネルギー吸収装置付きメガフロート 実証実験浮体の規則波中弾性応答解析を行って上下 変位周波数応答関数を求め、同浮体の上下加速度の 有義値を推定して実測値と比較・検証した。

2. 波エネルギー吸収装置の調査

一般に、浮体に付加構造物を取り付けると波漂流

カが増加する。したがって、弾性応答の低減と係留 系への影響を考慮して波エネルギー吸収装置の形状 を選定することが重要となる。

そこで、図-1に示した5種類の波エネルギー吸収装 置に関して縮尺1/50の部分模型を用いた水槽実験を 行い、弾性応答の低減及び波漂流力増加抑制の両面 で有効な波エネルギー吸収装置の形状選定を試みた。

その結果、設置海域の通常波である波周期3~5秒 の範囲において、逆L型は他の形状に比べ弾性応答 の低減効果が小さく、それ以外の形状はほぼ同程度 の低減効果があることがわかった。一方、定常波漂 流力の増加が小さいのはスリットがあるタイプであ り、スリットが0.25mを超えるとほぼ一定値に収束す るようであった。以上のことから、0.25mのスリット が付いたカーテンウォールが有効であると判断した。





3. 総合模型実験

3.1.目的

本実験の目的は、前節で選定した波エネルギー吸 収装置の有効性の検証と、波エネルギー吸収装置付 きメガフロートの弾性応答解析結果の検証である。 実験は、海洋構造物試験水槽(長さ40m×幅27m× 試験時水深0.1~0.8m)において行った。なお本実験 では、浮体・係留システムの安全性評価、自由動揺 試験も行っている。

3.2.供試模型

3.2.1.浮体模型

模型縮尺は1/50とした。実証実験浮体及び浮体模型の主要目を表-1に示す。模型の主構造には厚さ5mmのアルミ板を用いたので、曲げ剛性は実機の約1/4相当となっている。アルミ板下面に浮力材として発泡ウレタンを接着して喫水を実機に合わせた。

図-2に示す波エネルギー吸収装置を浮体模型側面 に取り付けている。

		実証浮体		模型(縮尺1/50)	
長さ(公称)	L	200	m	4,000	mm
幅	В	100	m	2,000	mm
深さ	D	3.0	m	70	mm
喫水(浮体主要部)	d	1.0	m	20	mm
喫水(波エネルギー吸収装置含)	ď	2.5	m	50	mm
曲洋岡山井	EI/B	$2.08 imes 10^9$	kgf•m	73	kgf•m
曲け両門生	EI/L	1.69×10^{9}	kgf•m	11	

表-1 実証実験浮体主要目



図-2 波エネルギー吸収装置模型

3. 2. 2. 水理模型

実証実験浮体の設置海域には、図-3に示したよう に、複雑な海底地形及び岸壁が存在する。そこで本 実験では、アルミ板と鋼材を用いて設置海域の海底 地形を再現した。

3. 2. 3. 係留装置模型

実証実験浮体の係留にはドルフィン-フェンダー 方式が採用されている。SURGE方向は空気式フェン ダー(ABF800H)とゴムフェンダー(SUC1600H) を利用した縦列ハイブリッドフェンダーを、SWAY 方向はゴムフェンダー(SUC1700H)2基による縦列 フェンダーを用いているため、これらフェンダー特 性を模擬した係留装置模型を用いた。二種類の特性 の異なる線形ばねを組み合わせることによって実機 係留装置の反力特性を再現した。ハイブリッドフェ ンダーの反力特性を図-4に示す。実機を忠実に再現 できていることがわかる。また図-5に示すように、 係留装置模型は上下変位を拘束しないよう浮体模型 を係留している。



図-3 実証実験浮体の設置海域



^{3. 3.} データ計測

3.3.1.計測項目及び計測装置

表-2に計測項目及び計測装置を示す。浮体模型の 上下変位は、ポテンショメータとプーリーを用いた 多点弾性応答計測装置を製作し、それにより計測を 行った。図-6に計測位置を示す。

3.3.2.計測条件

実験は、①開水域(水深が実機相当で20m)の場 合、②岸壁が平板の場合、③岸壁が実機と同じく円 筒ケーソンの場合、の3通りの状態で行った。また各 状態について、波エネルギー吸収装置がある場合と ない場合で計測を行った。波エネルギー吸収装置と して、スリット(0.25m)付きカーテンウォールとス リットのないものを準備した。図-7に③の状態にお ける実験風景を示す。

表-3に計測条件を示す。表中の不規則波は、左から 順に設置海域における2、10、50年確率波である。ま た、設置海域における波の主方向は 63.8° である(波 向き χ の定義については図-6を参照)。



図-5 係留装置模型設置状況

表-2	計測項	目及び	针測調	麦置

計測項目	計測装置
浮体模型の水平変位	ポジションセンサー
浮体模型の上下変位	ポテンショメータ
浮体模型の上下加速度	三軸加速度計
入射波高	サーボ式波高計
係留反力	ロードセル型検力計
係留ばね水平変位	ポテンショメータ
浮体周辺の相対波高	容量式波高計
浮体模型の歪み	歪みゲージ





図-7 試験模型全景(岸壁有:円筒ケーソン)

表-3 計測条件

岸壁の状態	減揺板	スリット	波の種類	波周期	波高	波向き	
	無し			3.2~6.4秒	0.5~2m		
なし(開水域)	有り	無し	規則波			$0, 63.8, 75, 90^{\circ}$	
	有り	有り					
	無し		相目的性	2.22.6.4形	$0.5{\sim}2m$	63.8°	
平板	有り	有り	况则収	3.2 0.449			
	無し			4.5、5.5、6.2秒	1.8、2.6、3.4m	63.8°	
	有り	無し	不規則波				
	有り	有り					
円筒ケーソン	無し		不規則波				
	有り	無し		不規則波 4	4.5、5.5、6.2秒 1.8、2.6、3	1.8、2.6、3.4m	63.8°
	有り	有り					

3. 4. 数値計算

本実証実験において開発される長期健全性予測診 断システムでは浮体の疲労被害度を評価するために 上下変位及び変動圧周波数応答関数を用いるが、こ れらは詳細3次元弾性応答解析プログラム²⁾(以下、 詳細3次元PGM)によって求めることになっている。 詳細3次元PGMは、防波堤・岸壁に挟まれた閉鎖性 水域での超大型浮体の規則波中の弾性応答解析プロ グラムで、複雑な浮体形状、剛性・重量変化、喫水 変化まで含めた実機対応モデルの解析が可能である。

詳細3次元PGMの検証はこれまで多く行われてお り、その妥当性は確認されているが、海底起伏があ る海域での計算は、単純な海底地形についてのみし か検証されていない。本実証実験では、図-3に示し たとおり複雑な海底地形を有しているので、本実験 によって海底地形モデルの妥当性についても検討し なければならない。

3.5.実験結果

3.5.1.上下変位

開水域中での上下変位の周波数応答関数を図-8に 示す。グラフ中には計算結果も示した。実験と計算 は良い相関を示していることがわかる。波周期4秒以 下ではほとんど動揺していない。







岸壁が平板の場合の結果を図-9に示す。開水域の 場合に比べ、全体として応答が小さくなっている。 これは、複雑な海底地形及び岸壁の影響であると考 えられる。計算結果は実験と良い相関を示しており、 詳細3次元PGMが複雑な海底地形も扱えることが確 認できた。

図-10には、開水域中での上下変位の低減率(=波 エネルギー吸収装置を付けたときの上下変位/波エ ネルギー吸収装置を付けないときの上下変位)を示 した。短周期側で低減効果が顕著である。



 [○] exp: 波エネルギー吸収装置あり(スリットなし) ― cal: 波エネルギー吸収装置あり(スリットなし)







これはカーテンウォール式消波機構の特長であり、 本実証実験の設置海域では特に有効な形状であるこ とがわかる。スリットのない場合のほうが、スリッ トが付いている場合よりも低減効果が大きいが、そ れほど差異はない。波向き75°、90°のとき低減効 果が大きく波向きが小さくなるに従って低減効果も 小さくなっていた。波向きが小さくなると波エネル ギー吸収装置のない浮体側面からの波入射が増える ためである。設置海域における波の主方向を勘案し て波エネルギー吸収装置の方向を決定すれば、更な る効果が期待できる。実験結果のほうが全体として 波エネルギー吸収装置の効果が顕著であり、これは 計算では考慮していない粘性影響等が原因であると 考えられる。

3. 5. 2. 定常波漂流力

図-11に定常波漂流力の周波数特性を示す。スリットの存在によって、ほとんどすべての波周期で波漂流力が減少していることが確認できる。また、ある 波周期では波エネルギー吸収装置を設置しない場合 よりも波漂流力が減少していることが確認できる。 これらの原因として、投影面積の減少や粘性の影響 等が考えられるが、上下変位の低減効果との関係も 含めて更なる詳細な検討が必要である。



図-11 定常波漂流力(開水域の場合)

4. 実海域実証実験

4.1.波エネルギー吸収装置の概要

図-12に実証実験に用いた波エネルギー吸収装置 を示す。実証実験浮体に設置された波エネルギー吸 収装置は深さ1.5mで、ユニットと浮体底面との溶接 接合部の下に幅0.25mのスリットを設けている。この 形状の有効性は前節までの一連の模型実験で既に確 認している。構造は、単板構造として、適切な箇所 に補強材を配置している。

4.2.推定値との比較

詳細3次元PGMを用いて得られた実証実験浮体の 上下変位周波数応答関数から、短期海象における上 下加速度の有義値を推定した。

上下変位の応答関数は、波周期3~9.75秒(0.25秒 ビッチ)、波向き0~90°(22.5°ビッチ)の条件下 で求めた。波周期3秒以下は周期0秒で応答が0になる よう直線補間し、周期10秒以上は0とした。波スペク トルには設置海域の水深、風の吹送距離を考慮してJ ONSWAPスペクトル、方向分布関数には cos⁴型を採 用した³⁾。





図-12 実証実験浮体に設置された 波エネルギー吸収装置

構造モデルに関しては、実機モデルを参考に、ロ ンジやスティフナを考慮した等価なパネルでデッキ、 ボトム、隔壁をモデル化して、全体として表-1の浮 体諸元を満足するように設定した。バラスト重量、 内部空間、IT実験棟等による重量変化も考慮した。 また、海底地形モデルに関しては、模型実験で妥当 であることを確認している。

上下加速度の推定値と実測値の比較結果を図-13 に示した。G3、G4の位置は、それぞれ図-6に示して いる。推定値と実測値は良い一致を示しており、本 推定法が妥当であることがわかる。



図-13 上下加速度の有義値の比較

5. おわりに

「メガフロート情報基地機能実証実験」において、 当所が国土交通省より受託した研究開発の一つとし て、波エネルギー吸収装置の開発を行った。

鋼製のカーテンウォール式消波機構に適切な幅の スリットを設けることにより、上下変位の低減効果 を維持しつつ定常波漂流力の増大を抑制できること を実験的に確認した。今後、詳細なメカニズムについて研究を進めていきたい。

また、詳細3次元弾性応答解析プログラムによって 求めた上下変位周波数応答関数を用いて推定した上 下加速度応答の有義値が実測値と良い一致を示し、 本推定法が実証実験浮体においても有効であること が確認された。

最後に、本研究にご協力くださった多くの方々に 深く謝意を表します。

参考文献

- 吉元博文:メガフロート情報基地機能実証実験
 ーメガフロートの後利用(Ⅲ)一、日本造船学
 会誌、第867号、pp.68-70、2002
- 瀬戸秀幸、越智真弓、太田真、河角省治: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(第四報)、日本造船学会論文集、第18 9号、pp.47-54、2001
- 3)メガフロート技術研究組合、(財)沿岸開発技 術研究センター:メガフロートの総合安全性評 価手法に関する研究、pp.115、2001