

メガフロート詳細 3次元弾性応答解析システム

防衛大学校 機械システム工学科
(財)日本造船技術センター浮体技術部
(株)PAL 構造 構造解析技術部
三菱重工業(株) 高砂研究所

正会員 ○瀬戸 秀幸
非会員 太田 真
正会員 河角 省治
非会員 越智 真弓

1. はじめに

世界初の浮体式空港をはじめ海洋空間の有効利用をめざすメガフロートは全長数 km が想定される長大扁平な浮体式構造物で、実機詳細設計のための波浪中弾性挙動の推定には、複雑な大規模構造モデルと周囲を自然地形と防波堤に囲まれた複雑水域における大規模波動場との連成解析が必要である。

本報では、メガフロート PJ において開発した、構造解析に NASTRAN、水波解析に領域分割型有限・無限要素法、連成解析にモード法を用いる詳細 3 次元弾性応答解析システムを紹介し、メガフロートフェーズ II 実証浮体モデル実機に対する解析例を示す。

2. 詳細 3 次元弾性応答解析法

Fig. 1 に陸岸と防波堤に囲まれた海底起伏のある水域におけるメガフロートの概念図を示す。

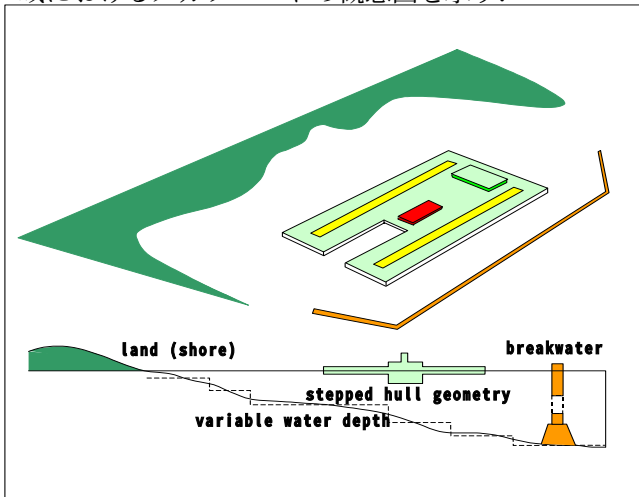


Fig. 1 Artistic concept of MEGAFLOAT

メガフロート実機の詳細設計のための構造・水波連成解析に要請されていることは、実績も殆どなく実験も設備・装置等の制約から限定的にならざるをえない分、多くを数値シミュレーションでカバーしてそのまま実用に耐えうる結果を出すこと、すなわち本来的な意味での Design by Analysis である。それも想定対象が全長数 km と桁外れに大きく、汎用構造解析コードをもってしても構造物単独の解析さえ重荷である上、それに劣らぬ大規模の水波解析に加え、相互の連成解析を普通の EWS または PC の計算環境でいかに実現するか、しかも計算精度を保持しつつ自由度をいかに圧縮するかという課題が伴う。

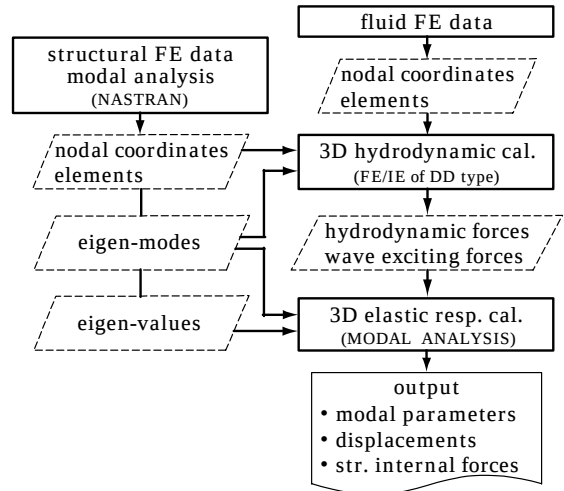


Fig.2 Flow chart of the present 3-D analysis

メガフロート詳細 3 次元弾性応答解析法では、平板浮体だけではなく、実機に近い 3 次元浮体構造モデルを取り扱うべく、構造解析部に有限要素法(NASTRAN)、水波解析部に新規に開発した領域分割型ハイブリッド有限・無限要素法、構造・水波連成解析部にモード法を用いる解析法を採用し、対応した(Fig.2). 構造モデル化から固有値・固有モードまでの計算にサブルーチン的に NASTRAN を採用した理由は、高機能に加え、船体構造設計者が結果を見慣れていて入力ミスを防ぎ、結果を的確に判断することを期待した故である。また連成解析に直接法ではなくモード法を採用した理由は、構造解析と水波解析の略独立した処理を可能にし、かつ各解析においても 1 オーダー少ない自由度で計算精度を何とか損なわずに済むメリットの故である。

すなわち、最終的に取扱うべき超大型浮体の規則波中弾性応答に対応するモード表示の運動方程式は、

$$\left[\begin{array}{c} -\omega^2 \left(\hat{m}_{ik} \right) + \left[\hat{M}_{ik} \right] + i\omega \left(\hat{n}_{ik} \right) + \left[\hat{N}_{ik} \right] \\ + \left(\hat{k}_{ik} \right) + \left[\hat{S}_{ik} \right] \end{array} \right] \{c_k\} = \{ \hat{E}_i \} \quad (1)$$

ここに、 $\left[\hat{m}_{ik} \right], \left[\hat{n}_{ik} \right], \left(\hat{k}_{ik} \right) + \left[\hat{S}_{ik} \right]$ はそれぞれモード表示の慣性行列、減衰行列、剛性+浮力復原行列、また $\left[\hat{M}_{ik} \right], \left[\hat{N}_{ik} \right]$ および $\{ \hat{E}_i \}$ はモード表示の付加慣性行列、造波減衰行列および波強制力ベクトルで、後述の水波解析により決定される。 $\{c_k\}, k=1,2,\dots$ は未定のモード

キーワード 超大型浮体、メガフロート、詳細 3 次元解析、波浪中弾性応答、連成解析、大規模波動解析

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校機械システム工学科 TEL.046-841-3801 (内線 3435) E-mail : seto@nda.ac.jp

座標で、流体影響として浮力復原力のみ考慮したときの固有モードベクトル $\{\Psi_j\}_k$, $k=1,2,\dots$ を介して、FE 一般化節点変位ベクトル $\{d_j\}$ と次式で結ばれている。

$$\{d_j\} = [\{\Psi_j\}_1, \dots, \{\Psi_j\}_k, \dots] \{c_k\} = [\Psi_{jk}] \{c_k\} \quad (2)$$

式(1)を解いてモード座標 $\{c_k\}$ が求まれば、式(2)より一般化節点変位ベクトル $\{d_j\}$ が決定され、それを要素に戻すことにより構造内力が同時に計算できる。なお、式(1)中のモード表示の付加質量、造波減衰および波強制力を導く波圧の計算には最も腐心した。通常、浮体周りの水波解析は、境界要素法(BEM)や有限要素法(FEM)に基づく汎用解析法によりこと足りるが、複雑なメガフロート実機の場合、BEMでは自由度が $O(10^4) \sim O(10^5)$ となり、また FEM ではメッシュ分割の煩雑さや開境界処理、さらに 1 オーダー程度大きくなる計算規模がネックとなるためそのままの適用は難しい。

本研究では、Fig.3 に示すように領域分割した外部領域にハイブリッド無限要素、内部領域でも部分領域毎に水深方向に固有関数展開、水平方向に有限要素近似を用いるハイブリッド近似とマッチングの工夫、有限要素の階層化とサブストラクチャ処理による自由度の縮合等により、係数行列が対称なブロックバンドで $O(10^4)$ 規模の離散化方程式へ帰着させ、FEM の優れた大規模解析特性を保持しつつ、メッシュ分割が容易で自由度を BEM 並みに抑えた“BEM よりの FEM”である「領域分割型ハイブリッド有限/無限要素法」を開発して実機に則した Design by Analysis の解析を可能にした。

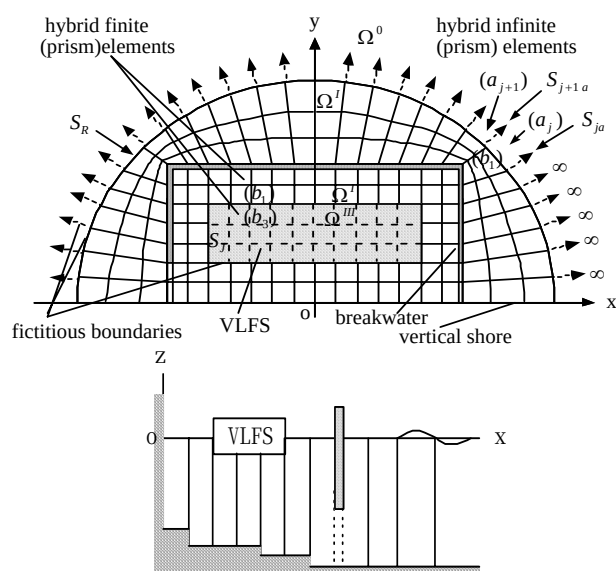


Fig. 3 Hybrid finite/infinite element discretization of Domain Decomposition type

3. 数値計算例

Fig.4 に横須賀沖、実際の防波堤で遮蔽されたメガフロート Phase-II 実証浮体モデル（全長 1200m, 最大幅 120m）の水深 20m, 波周期 10 秒, 波方向 75° , 単位波高の規則的入射波に対する波の散乱による波高分布計算結果の一例を示す。防波堤による波の遮蔽と反射、堤の破れよりの波の進入等よく見て取れる。

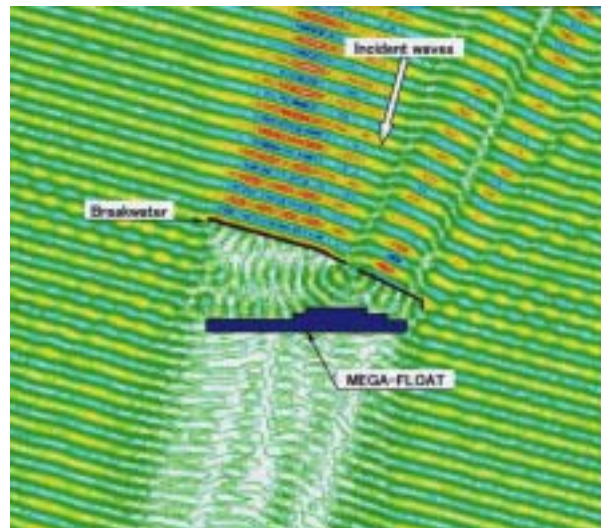


Fig.4 Wave height distribution around Phase-II model

Fig.5 は対応する Phase-II 実証浮体モデルの波周期 5 秒, 波方向 $0^\circ, 60^\circ$ における上下変位振幅の鳥瞰図である。 60° では防波堤の遮蔽効果による顕著な応答低減が見て取れる。

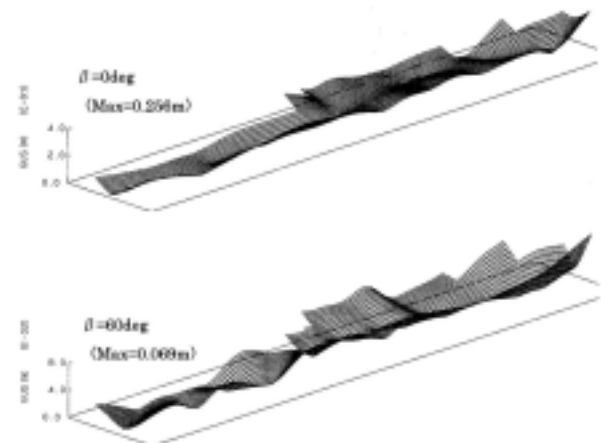


Fig.5 Vertical displacement amplitude of Phase-II

4. 結び

メガフロート実機の詳細設計用 Design by Analysis ツールとして開発した詳細 3 次元弾性応答解析法を紹介し、防波堤を含む実海域 Phase-II 実証浮体のシミュレーション結果によりその有効性の一端を例証した。

参考文献

- 1) 瀬戸秀幸, 越智真弓, 太田 真, 河角省治: 超大型浮体構造物における規則波中弾性応答の理論解析解析 (第四報), 日本造船学会論文集, 第 189 号, pp.47-54, 2001 他