

規則波中における超大型浮体式構造物の 構造応答解析法に関する研究 (第1報)

——1段階解析法——

正員 瀬戸 秀幸* 正員 河角 省治**
正員 越智 真弓*** 正員 太田 真****

Study on a Structural Response Analysis Method for Very Large
Floating Structures in Regular Waves (First Report)
— One step Analysis Method —

by Hideyuki Seto, *Member*, The National Defense Academy
Shoji Kawakado, *Member*, PAL Corporation
Mayumi Ochi, *Member*, Takasago R & D Center, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
Makoto Ohta, *Member*, Nagasaki R & D Center, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Summary

The detailed design of Very Large Floating Structures (VLFSs) necessitates the structural response analysis of the complicated hull structure with three-dimensional models. Some two-step algorithms have been proposed, composed of the first-step classical Ritz's approach based on the free free beam function expansions for the dynamic response analysis of the equivalent elastic rectangular plates and the second step finite element one for the detailed three-dimensional structural analysis based on the first-step output. However, they are rather intuitive. Scarce attention has been paid to their rationalization.

This paper deals with a one step approach for the structural response of VLFSs in waves, as an early stage of an alternative rational multi step approach. As an analysis tool, the general purpose computer program previously developed for three dimensional hydroelastic response of VLFSs in regular waves has been adopted, where NASTRAN for structural analyses is incorporated with the domain decomposition type hybrid finite/infinite element method for water wave analysis and the modal analysis for structure water wave interactions.

Test calculations for a full three dimensional finite element structural model of a 1200 m box like VLFS, composed of a deck, a bottom, side shells and bulkheads, have been conducted successfully and this has proved the applicability of the program to the structural response analysis. Comparative study for an orthotropic plate model and a sandwich grillage model has been conducted. Then, the sandwich grillage model, when appropriately adjusted, has shown to give a good approximation to the corresponding three dimensional model.

The results of these one-step analyses are also useful to validate the two step ones.

1. 緒 言

世界初の浮体式空港をめざすメガフロートは、全長5 km, 幅2 km, 深さ数 m (水線面積で超大型タンカーの数百倍) という規模まで想定される超大型扁平な浮体式構造物である。その設計に資するため、メガフロートPJでは、各種弾性応答解析プログラムの開発と並行して、大型

* 防衛大学校 機械システム工学科

** (株)PAL 構造 構造解析技術部

*** 三菱重工業(株) 高砂研究所

**** 三菱重工業(株) 長崎研究所

原稿受理 平成14年7月10日

秋季講演会において講演 平成14年11月14, 15日

模型を用いた水槽試験やフェーズI浮体（全長300 m）やフェーズII浮体（全長1 km）を用いた実海域実験が実施された。水槽実験における設備・装置・模型等の制約や実海域試験における環境条件を含む各種の制約のため、その結果は限定的にならざるをえなかったが、全体的挙動である浮体の弾性応答に対しては有用な検証データが得られ、残りを理論的な検討でカバーするアプローチを可能にした。

一方、超大型浮体の内部構造も関わる構造応答に関しては、実験データは極めて少ない。解析面では同PJに関連して「等価荷重法」¹⁾、「等価振動法」²⁾、「直接荷重法」³⁾と称される3つの計算法がそれぞれ提案され、試解析結果が示されてきた。それらは、超大型構造物を扱うことから2段階解析法を採用し、第1段階の弾性応答計算には一様矩形平板に古典平板理論に基づくリッツ法の使用をベースとし、その結果である流体力の一部を第2段階に取り込み、それぞれに更なる仮定と単純化を加え、有限要素法を用いて部材の構造強度評価に持ち込んでいる。直観的、実戦的アプローチではあるが、実績も実験データも極めて少ない新形式構造の設計への適用を考えると、第1段階と第2段階の整合性、各構造計算モデル間の力学的な等価性の確保、計算精度改善のためのモデル再調整の仕方、第2段階での更なる仮定による誤差範囲の捕捉等々に曖昧な点が多からず残されたままになっている。

本研究では、超大型浮体式構造物に対する一つの合理的な多段階構造応答解析法を提案すべく、構造部に有限要素法を用いる筆者らの詳細3次元弾性応答解析法^{4),5),6),7)}をベースに据えて、上記の課題に適う検証プロセスを備えたスキームの開発をめざしている。

本報はその前段階として、水波と弾性浮体との連成を踏まえ、余分な仮定を入れずに3次元構造物を1段階で解析する合理的方法を扱う。本アプローチは、計算規模の上から1 km級規模までの浮体式構造物という制約はあるものの、その範囲ではそのまま部材力まで一貫計算できるベストに近い方法であるだけでなく、構造モデル近似のみ変えた同一プログラムでの計算を通したモデル化の検証や2段階計算の精度比較のベースの提供が可能であり、以下ではその特徴を活かしたいくつかの数値的検討結果につき報告する。

なお、多段階解析法の工夫と検討結果については、続報にて論じてゆきたい。

2. 構造応答解析法の検討

超大型浮体式構造物が規則波中で変動荷重を受けながら弾性応答している場合を考える。(Fig. 1) 有限要素構造応答解析の計算自由度の規模は1200 m×240 m級浮体を例にとると、10 mメッシュの2次元等価平板モデルで略1万弱、数mメッシュの隔壁開口部なしの3次元板骨構

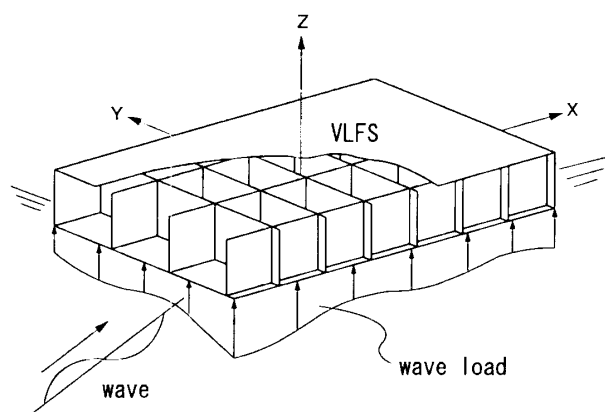


Fig.1 Schematic configuration of VLFS and wave load

造モデルで略25万、隔壁開口部ありでは1オーダー大、局部強度解析用の詳細メッシュでは2オーダー大と試算される。構造解析にNASTRANを用いるとして、設計用のパラメトリック・スタディのための規模を、現状では静解析で200万自由度、動解析で50万自由度程度までが妥当な線と考えると、この規模の浮体構造物においてすら開口部なしの板骨構造モデル程度が1段階解析としては現実的と思われる。隔壁開口部ありの板骨構造モデルやさらに大きな構造物に対しては、等価な構造モデルへの置換に加え、さらに多段階解析に帰着させざるをえないことは自明であり、いかに整合的で合理的な多段階のアプローチを構築するかがポイントになる。

本研究では、超大型浮体式構造物の構造強度の実機データも実験データも殆どないことに鑑み、経験的・直観的なアプローチではなく、理論的で、計算の各段階で結果の点検ができ、それをモデルの補正にフィードバックできるアプローチを試みる。それには、多段階解析の整合性や各段階の各計算ステップでの結果を判断し、導入した仮定の結果への感度も考慮してフィードバックする仕組みに加えて、それを保証し、以降の段階の計算結果の品質を極力損なわない1段階解析法の整備が必要となる。

本報では、前段としての1段階解析法について専ら論じ、上述の条件に適うものとして、筆者らの詳細3次元弾性応答解析法^{4),5),6),7)}を取り上げる。その特徴は、構造解析部に有限要素法 (NASTRAN)、水波解析部に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、計算機やソフトの制約から計算規模に制限は伴うものの、構造、流体とも実機に近い複雑なモデルが取り扱える点である。

標準的なモード法である本解析法の計算のフローのうち構造解析に関連した主要手順を以下にまとめる。なお、言及はしないが、暫定付加慣性行列を入れる定式化でもほぼその同様の展開となる。

1) 超大型浮体式構造物の有限要素法によるモデル化

構造モデルには、板骨構造、サンドイッチ格子、等価平板モデルが使用できる。構造減衰や平板要素ではせん断変形の影響も考慮できる。

2) 構造物の振動方程式

変位法に従えば、有限要素方程式は、

$$[m_0]\{\ddot{d}_i\} + [n_0]\{\dot{d}_i\} + ([k_0] + [S_0])\{d_i\} = \{F_i\} \quad (1)$$

ここに、 $[m_0]$ 、 $[n_0]$ 、 $[k_0]$ 、 $[S_0]$ はそれぞれ NASTRAN を用いて決定される全体の慣性行列、減衰行列、剛性行列および浮力復原行列、 $\{d_i\}$ は結果として決定すべき全体の一般化節点変位ベクトルである。

右辺の $\{F_i\}$ は静水圧の寄与を除いた変動水圧分布による一般化節点外力である。まだこの段階で具体的表示や数値は必要としない。超大型浮体実機への適用には、構造と流体の極力独立した処理を含む未知自由度の徹底した圧縮が不可欠で、構造・流体同時解析的アプローチは実用に馴染まないと判断する故である。

3) 構造物の固有値・固有モード解析

NASTRAN の固有値解析機能を活用すると、固有値 Ω_k^2 、固有モード $\{\psi_j\}_k$ 、 $k=1, 2, \dots$ をつぎの固有値問題より計算できる。

$$([k_0] + [S_0])\{\psi_j\}_k = \Omega_k^2 [m_0]\{\psi_j\}_k, \quad k=1, 2, \dots \quad (2)$$

このとき、一般化節点変位ベクトル $\{d_i\}$ は未定のモード座標 $\{c_k\}$ 、 $k=1, 2, \dots$ を用いてつぎの形に仮定できる。

$$\{d_i\} = [\{\psi_j\}_1, \dots, \{\psi_j\}_k, \dots] \{c_k\} \equiv [\psi_{jk}]\{c_k\} \quad (3)$$

4) モード法の適用

式(3)を式(1)に代入し、固有モード $\{\psi_j\}_k$ 、 $k=1, 2, \dots$ の直交性を利用するとモード表示の振動方程式がつぎの形に得られる。

$$[\hat{m}_{ik}]\{\ddot{c}_k\} + [\hat{n}_{ik}]\{\dot{c}_k\} + ([\hat{k}_{ik}] + [\hat{S}_{ik}])\{c_k\} = [\psi_{ik}]^T \{F_i\} \quad (4)$$

ここに、 $[\hat{m}_{ik}]$ 、 $[\hat{n}_{ik}]$ 、 $([\hat{k}_{ik}] + [\hat{S}_{ik}])$ はそれぞれ $[m_0]$ 、 $[n_0]$ 、 $([k_0] + [S_0])$ に対応するモード表示の慣性行列、減衰行列、剛性+浮力復原行列であり、 $[\hat{m}_{ik}]$ と $([\hat{k}_{ik}] + [\hat{S}_{ik}])$ は理論的には対角行列となる。

一方、右辺はモード表示の一般化外力ベクトルでつぎの形に与えられる。

$$[\psi_{ik}]^T \{F_i\} = \{\hat{E}_i\} - [\hat{M}_{ik}]\{\ddot{c}_k\} - [\hat{N}_{ik}]\{\dot{c}_k\} \quad (5)$$

ここに、 $[\hat{M}_{ik}]$ 、 $[\hat{N}_{ik}]$ および $\{\hat{E}_i\}$ はモード表示の付加慣性行列と造波減衰行列および波強制力ベクトルであり、微小振幅の定常周期運動の仮定の下で汎用な詳細3次元流体力解析プログラム^{4),5)}を用いて計算できる。

したがって、式(4)および(5)より、モード表示の超大型浮体の運動方程式は、

$$([\hat{m}_{ik}] + [\hat{M}_{ik}])\{\ddot{c}_k\} + ([\hat{n}_{ik}] + [\hat{N}_{ik}])\{\dot{c}_k\} + ([\hat{k}_{ik}] + [\hat{S}_{ik}])\{c_k\} = \{\hat{E}_i\} \quad (6)$$

ここに、大文字は流体からの寄与分を示す。

定常周期運動を仮定して、モード座標 $\{c_k\}$ 、 $k=1, 2, \dots$ が決定されると、式(3)より一般化節点変位ベクトル $\{d_i\}$

が求まり、それらを要素に戻すことにより部材力も同時に計算できる。更に、モード座標 $\{c_k\}$ 、 $k=1, 2, \dots$ を用いて弾性応答状態での変動水圧分布から静水圧の寄与を除く一般化節点外力ベクトル $\{F_i\}$ も計算できる。

ちなみに、モード法によらずに、変位法に対応するつぎの形の流体外力を直接計算し、一般化変位ベクトル $\{d_i\}$ を式(1)より直接求める定式化も可能である。

$$\{F_i\} = \{E_i\} - [M_0]\{\ddot{d}_i\} - [N_0]\{\dot{d}_i\} \quad (7)$$

しかし、この処理では、5 km 級浮体まで想定したとき、流体力計算の計算量だけでなく、結果の付加慣性行列や造波減衰行列を用いる弾性応答計算で数千～数万元の密行列処理が不可避となるため、その記憶場所と連立方程式の数値処理の両面の制約より、大規模計算では実用に難がある。

換言すれば、モード法に頼る理由は、構造と流体との略独立した処理が許され、両有限要素メッシュも独立して定義でき、計算のサイズも変位法そのものよりも1オーダー小さく押さえることができる利点のためである。

上述の取扱いは標準的なモード法の取扱いであるが、NASTRAN や有限要素法による汎用水波解析プログラムから自在な出力の取り込みが可能になったことにより、以下のことが可能になった。すなわち、

- ・非矩形の一般形状浮体構造物の構造応答の部材力まで含めた一貫解析。
- ・要素や構造モデルのみ変えた同一プログラムでの比較解析
- ・モデル化の違いによる計算結果への効き(感度)の把握と検証
- ・構造の静的および動的等価モデルのための修正と検証
- ・2段階解析の精度比較やズームングの適用性の検証のベースの提供
- ・多段階解析における各段階の構造解析法の整合性の確保

等

これらは、通常規模の構造物では全く当たり前のことながら、超大型浮体ではその計算の難しさ故あまり十分な検討がなされてこなかった点であり、この特徴を活かして多段階解析につながる数値実験を以下で試みる。

有限要素としては NASTRAN に備わったはり要素、平板要素を主に用いた。

少ない自由度での力学的な近似精度を確保するため、デッキとボトムの振れによるせん断変形を考慮できる藤久保らのサンドイッチ格子⁶⁾に倣い、それに相当する要素を NASTRAN の DMIG 入力を用いて取り込み、自由度の増加も抑えて処理する工夫も加えた。

構造モデルは、3次元板骨構造モデルおよびそれに対する2次元簡略構造モデルとして等価異方性平板モデルとサンドイッチ格子モデルを揃え、力学的等価性を確認しつつ

検証計算に供した。

3. 試解析および考察

実験と計算の両面で弾性応答の比較検証が数多くなされてきた長さ 300 m および長さ 1200 m の浮体を例に、内部構造を考慮した 3 次元構造モデルと対応する 2 次元簡略構造モデルの構造応答を試解析し、構造モデル化と計算精度について検討を加える。

3.1 3次元板骨および2次元簡略構造モデル

Fig. 2 に計算に使用した 1200 m × 240 m × 3 m/1 m 浮体の設置状況およびユニット・桁配置を示す。構造は 16 ユニットより構成され、各ユニットは同一サイズの 300 m × 60 m でデッキ・ボトム板厚は 15 mm、縦桁・横桁・サイドシェル板厚は 9 mm、桁は図のように横桁が 4 m ピッチ、縦桁が 14 m, 26 m, 34 m, 46 m の位置に配置されていると仮定した。

Fig. 3 は、当該浮体構造物の 1 ユニット部分の 3 種類の構造モデルを示したものである。上の図は 1 ユニット部の 3 次元板骨構造モデルで、円内は同モデルの外側および内部の桁のメッシュ分割の一部を示している。その剛性は通常の鋼板として評価した。残る 2 次元簡略構造モデルのうち、下の図が 1 ユニット部の等価異方性平板モデルで、10 m × 10 m 要素によるメッシュ分割を表わし、中の図が対応する相隣る 2 要素部分のサンドイッチ格子モデルを示している。2 次元簡略構造モデルでは、x 方向剛性は短辺の全断面から、y 方向剛性は横桁と上下板全幅有効として評価し、断面 2 次モーメント I_x , I_y としてそれぞれ 0.06927 m⁴/m, 0.07256 m⁴/m を用いる。

質量のモデル化は、海水の密度を 1.025 tonf/m³, 設定喫水を 1 m としたときの構造重量 295.2 ktonf に相当する

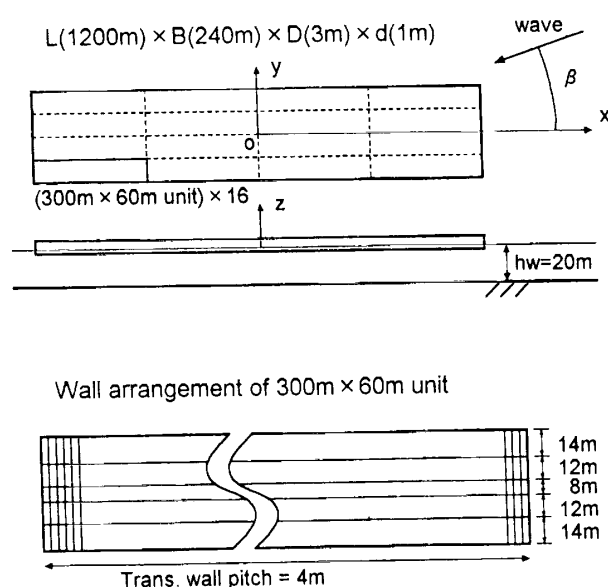
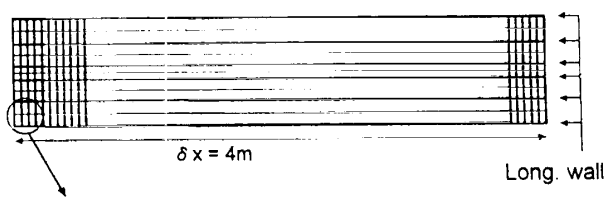


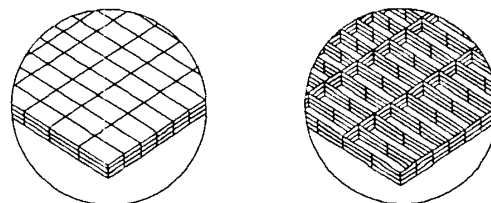
Fig. 2 A 1200 m rectangular VLFS and structural arrangement

3D-model (plate element)

deck & bottom plate mesh of 300m × 60m unit

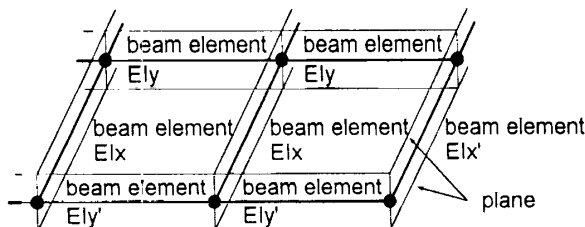


bird-eye view of surface mesh trans. & long. wall mesh



2D-sandwich grillage model

(grillage mesh is same as equivalent plate model)



2D-equivalent orthotropic plate model

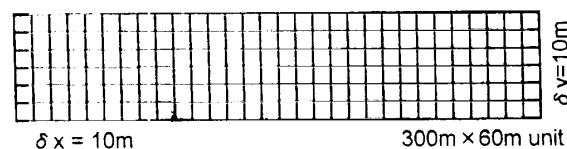


Fig. 3 Three types of structural finite element models for a unit (300 m × 60 m) of a 1200 m rectangular VLFS

量をそれぞれの板要素に均等に分布させた値として、3 次元構造モデルで 2.5028 tonf s²/m⁴, 2 次元簡略構造モデルで 3.4864 tonf s²/m⁴ を仮定した。

以下では、3 次元板骨構造モデルを基準に、2 次元簡略構造モデルの静的および動的な等価性についての検証、ついで 1 段階構造応答計算結果の比較を試みる。

3.2 2次元簡略構造モデルの検討

a) 静的等価性

Fig. 4(a), (b) は、2 次元簡略構造モデルの静的な構造特性を見るため、1200 m 浮体の中心線上に静的な正弦波荷重 $q(x) = q_0 \cos\{(2\pi/\lambda)x\}$, $q_0 = 1$ tonf/m, $\lambda = 120$ m が作用するとしたときの、そこでのたわみの計算結果の比較である。計算には NASTRAN を使用した。Fig. 4(a) より、せん断変形の寄与を無視した 2 次元簡略構造モデル ($k_x = \infty$) のたわみは、3 次元板骨構造モデルのたわみと傾

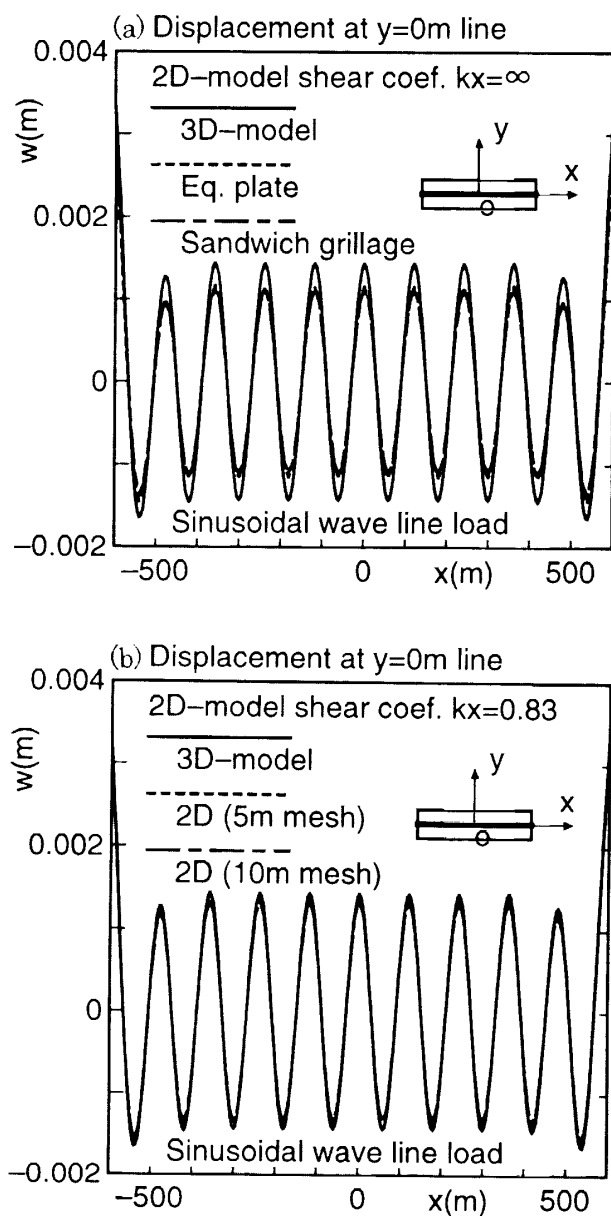


Fig. 4 Deflections for 3 structural models with or without shear effect under a static, sinusoidal test line load along the center line ((a) without shear effect, (b) with shear effect)

向的に近いものの、ピーク付近のたわみでは1割程度の差が生じていることがわかる。このことは、超大型浮体の第1段の計算にせん断変形の入らない一様平板モデルを使用する場合、このような単純と思われる静解析においてすら無視できない精度低下が生じうることを示している。Fig. 4(b)はせん断変形の寄与を考慮すべく、せん断係数 k_x の値に調整を加え、 $k_x=0.83$ とおいたときの比較図である。メッシュサイズによらずにほぼ一致した結果を与えており、以降は主にこのモデルを2次元簡略構造モデルとして用いることにする。

b) 動的等価性

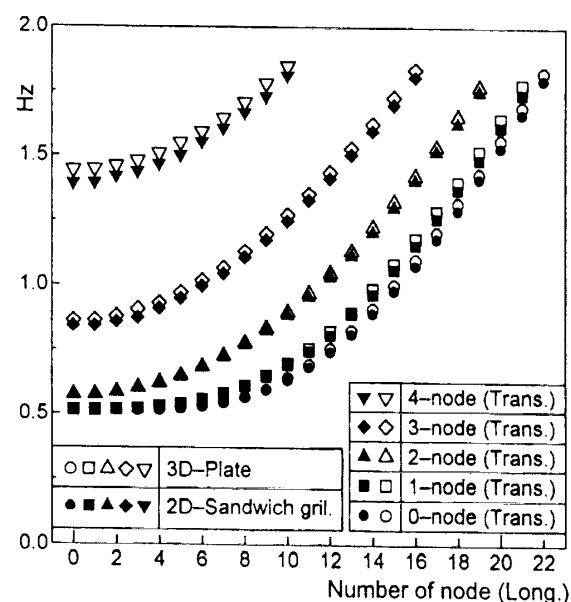


Fig. 5 Comparison between eigen frequencies of a 1200 m rectangular VLFS by a 3-D model and a 2-D counterpart

Fig. 5は、3次元構造モデルと2次元簡略構造モデルとのdry状態での固有値計算結果の比較である。計算にはNASTRANを使用した。2つの構造モデルに対する固有値・固有モード解析結果の相対対応する固有モードを対照、確認しながら、横方向の振動の節数をパラメータに、縦方向の振動の節数と対応する固有周波数の関係をプロットしたものである。2次元簡略構造モデルに対して前述の剛性の調整に加え、質量を慎重に配分した結果、2つの構造モデル化に対する周波数は、図に示した低次の範囲では、この程度よく一致させることができ、この範囲で動的に等価なモデルが実現されているといつてよい。なお、結果は省くが、単に形通りのモデル化では10次前後ですぐに乖離が生じてしまう。したがって第1段の弾性モデルが実機に対してどの程度の動的等価性を持つものになっているかの裏付けは不可欠であろう。

動的に等価な構造モデルは、固有値・固有モードを低次より極力一致させることにより実現できるが、超大型浮体構造物に要求されるような数十次、数百次まで逐一一致させることは一般に極めて難しい。次善の策として、適当な荷重分布を仮定した構造応答計算を実行し、その計算結果の一致度から構造モデルの動的な等価性を判断してもよからう。ここではこれを推奨しておきたい。固有値・固有モードを得るよりも、浮体としての構造応答の把握が要求されるケースも多く、その方が固有値計算より計算面で楽な故である。しかもこれはdry状態の検証で十分である。

弾性応答解析については次節で言及する。

3.3 1段階構造応答解析例

a) 300 m 構造モデル

Fig. 6は1ユニットに相当する300 m×60 mの浮体の3

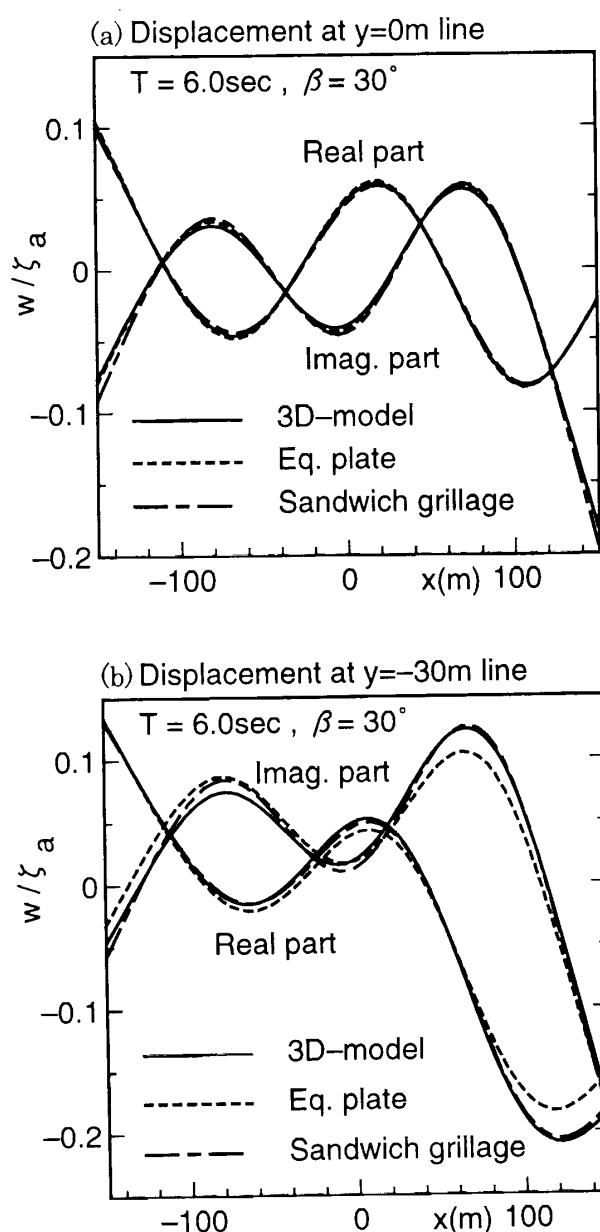


Fig. 6 Comparison among vertical displacement amplitudes of a 300 m rectangular VLFS by 3 structural models ((a) on the center line, (b) on the starboard)

次元板骨構造モデルと2次元簡略構造モデルによる規則波中での弾性応答計算結果のうち、浮体中心線上と右舷上での弾性応答変位の実部と虚部の計算結果を比較したものである。

なお、2次元簡略構造モデルとしては、前節に従い、慎重に調整を施したモデル化を使用している。計算条件は、水深20m、波周期6s、波方向 $\beta=30^\circ$ である。2種類の変位の計算結果は全般的に概略一致しているが、仔細に見ると、(a)の中心線上よりは(b)の右舷上で差が大きく、2次元簡略構造モデルのうち、サンドイッチ格子の結果が3次元板骨構造モデルの結果とほぼ一致するのに、等価異方性平板モデルの結果は幾分食い違う傾向が見られる。

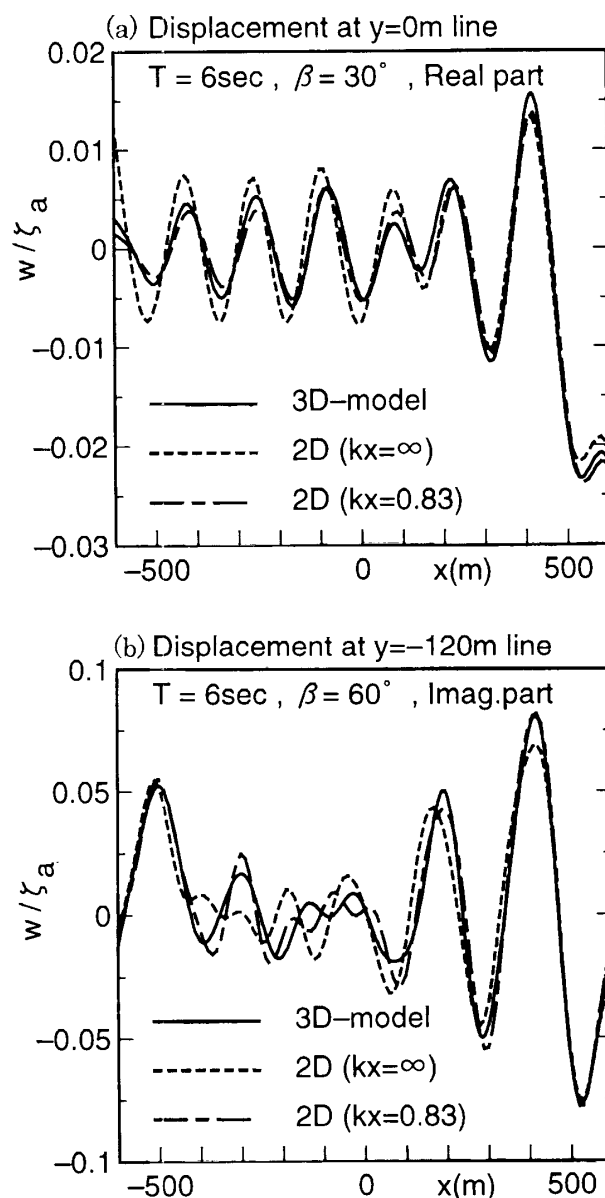


Fig. 7 Comparison among vertical displacement amplitude of a 1200 m rectangular VLFS by 3 structural models ((a) on the center line, (b) on the starboard)

b) 1200 m 構造モデル

Fig. 7は1200m×240mの浮体の3次元板骨構造モデルと調整を施したサンドイッチ格子モデルによる規則波中での弾性応答計算結果のうち、波方向 30° の浮体中心線上および波方向 60° の右舷上の弾性応答変位の実部または虚部の計算結果を比較したもので、計算条件は水深20m、波周期6sである。比較結果は、300m浮体ほどではないもののほぼ近い値を与えているが、仔細に見ると、(a)の波入射角 30° の中心線上の応答変位の実部の結果より、(b)の波入射角 60° の右舷上での応答変位の虚部の結果に差が大きく、サンドイッチ格子モデルでも、せん断変形による補正を加えた結果は加えない結果よりその差が半分以

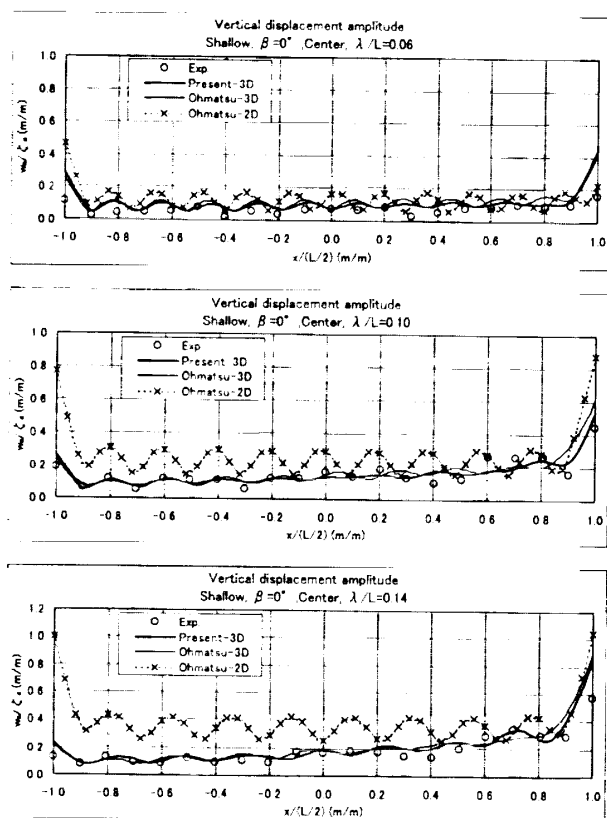


Fig. 8 Comparison of 2 D and 3 D calculated vertical displacement amplitudes for a uniform rectangular plate with measured counterparts ($L=1200$ m, $B=240$ m)

下に縮まっていることが見てとれる。

なお、3次元モデルの計算結果は、詳細3次元弾性応答解析プログラムの構造計算部に平板モデル以外の内部構造を含む板骨構造モデルを用いた1段階計算結果に当たり、計算規模の制約はあるものの、同プログラムが超大型浮体の構造応答の1段階計算法として有効であることが確認された。

計算自由度の圧縮のため余儀なく2次元簡略モデルを使用する場合でも、適切なモデル化を行えばボトムの変位については3次元板骨構造モデルによる結果に近い結果を得ることができ、有用である。2次元簡略モデルとしては、等価平板モデルよりもサンドイッチ格子モデルが優れ、その場合もせん断変形の寄与について補正を入れたモデルがよりよい結果を与えている。2次元簡略モデルの計算結果は、浮体中心線上よりも舷側で基準の3次元計算結果との食い違いが大きく、浮体中心線上の結果の検証のみでは必ずしも十分ではない場合もあることに注意を要する。

Fig. 8は長さ1200 mの一様矩形平板に対する水槽試験結果と2次元（一様はり）および3次元（一様平板）弾性応答計算結果を比較したものがある。一様はりに対する2次元解析結果は長波長側で、実験や3次元計算結果と明らかな乖離がある。その用途にもよるが、簡便の故をもって、

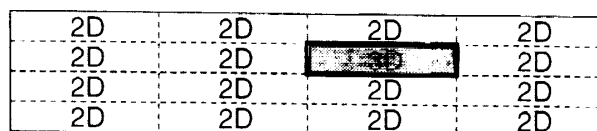


Fig. 9 Schematic concept of a 3D 2D mixed model

これを2段階解析の第1段階の解析結果として流用すると、過大な結果となる可能性に留意しておく必要がある。

以上のように、詳細3次元弾性応答解析法に基づく1段階解析法はそのまま推算や検証に有効であるだけでなく、多段階解析の比較ベースを提供するという点でも有用である。その許容規模の制約も計算機ハードの急速な高速化・大容量化、廉価化により数年を経ずして緩和されよう。用法面からも、着目部に3次元板骨構造モデルを配し、結合部に留意してそれ以外はサンドイッチ格子モデルを用いる混合モデル (Fig. 9) 等の工夫も有効であり、続けて検討したい。

2次元簡略構造モデルを第1段階解析に用いる2段階解析法は、そのモデルが静的にも動的にも等価な構造モデルとなっているとき、3次元解析結果に対するよい近似を与える。それには、検証結果をモデル化にフィードバックする仕組みを用意して、改良を積み上げていくことが必要であるが、NASTRANとの連成により、同一プログラムでは、平板のようなラフなモデルから板骨構造のような複雑なモデルまで各種要素の自在な組合せが可能となり、構造モデルの違いによる影響の検討に有効であった。逆に、適切な1段階計算とその結果の適切な処理が担保されない解析では、多段階計算の結果の精度はかなり割り引いて考える必要がある。

なお、上記では構造応答を検討するのに部材力や応力まで入らずに、専ら変位ベースで論じた。異なる構造モデルの異なる要素間での部材力や応力の比較が難しいこともあるが、構造モデル化に伴う計算精度に関する限り、変位レベルの比較で足りるとの判断からである。構造計算に有限要素法の変位法を用いるかぎり、モデル間で変位の一致なしには応力の一致は望めない故である。

4. 結 言

本研究では、超大型浮体式構造物に対する合理的な多段階構造応答解析法の前段として、詳細3次元弾性応答解析法に基づく1段階解析法について検討し、以下の知見を得た。

1. 詳細3次元弾性応答解析プログラムは、計算規模の制約は伴うものの、超大型浮体の3次元板骨構造の構造応答解析に対しても有効である。
2. NASTRANとの連成機能により、同一プログラムベースでの構造モデル化のみを変えた検証計算ができ、静的および動的に等価な構造モデル化の量的な

チェックとその構造モデル化へのフィードバックを可能とした。その結果、剛性や質量分布を慎重に調整した2次元簡略構造モデルによる計算結果は、3次元解析による変位のよい近似を与えることを確認した。

3. サンドイッチ格子モデルのDMIGによるNASTRANへの取り込みを自由度を増やさない形で可能にするとともに、2次元構造モデルとしては、同モデルが異方性等価平板モデルよりも優れていることを数値例で示した。

詳細3次元弾性応答解析法に基づく本1段階解析法は、上記に加え、多段階解析の比較解やズーミング等の経験的な処理の適用性検証のベースを提供する点でも有効である。ただし、3次元構造モデルを用いる本1段階計算法は、部材力や応力の整合的な評価のための糸口を与えたものの、まだメッシュ分割も十分ではなく、多段階解析法と絡めた更なる検討については次報にて論じてゆきたい。

参 考 文 献

- 1) 井上 清：波荷重を受けるメガフロート浮体の構造解析法，日本造船学会論文集，第187号（2000/6），pp. 277-285
- 2) 賀田和夫，池淵哲朗，浅尾元秀，藤田卓也，北林研一：FEM振動解析モデルを用いたメガフロートの剛性変化部の応力解析，日本造船学会論文集，第187号（2000/6），pp. 287-294
- 3) 笹島 洋：大型浮体構造物の直接荷重法による局部強度解析，日本造船学会 論文集，第187号（2000/6），pp. 295-300
- 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（第一報），日本造船学会論文集，第184号（1998/12），pp. 231-241
- 5) 瀬戸秀幸，越智真弓：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（第二報），日本造船学会論文集，第187号（2000/6），pp. 265-276
- 6) 瀬戸秀幸，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（第三報），日本造船学会論文集，第188号（2000/12），pp. 303-310
- 7) 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189号（2001/6），pp. 47-54
- 8) 藤久保昌彦，矢尾哲也，和田優：超大型の全体構造解析のための構造モデル化に関する研究，日本造船学会論文集，第182号（1997/12），pp. 399-406