

論文の内容の要旨

論文題目: 大型浮体の流力弾性応答に対する時間領域解析の適用

氏名: 遠藤久芳

1. はじめに

大型浮体(VLFS)の弾性応答について、波浪中応答のみならず種々の過渡的外力に対する応答を推算する手法として時間領域解析法を適用した。この研究の最大の目的は、浮体式海上空港における航空機の離着陸時応答の解明であった。しかし、波浪中応答の推算においても、非線形流体力の影響や、固有振動の励起に起因する“うなり振動現象”の発生等の解明には時間領域解析が有効であることが判明した。本論文においては、VLFSとしてポンツーン型及びセミサブ型を取り上げて、それぞれの弾性応答に特有な現象解明に焦点を当てた。

2. 動荷重を受ける弾性浮体の過渡応答解析法(第2章)

VLFSの動的応答を、流力弾性挙動として時間領域で解析した。外力としては、波浪荷重のみならず水平移動荷重や落下衝撃荷重等による様々な動的荷重を想定した。浮体構造物をFEMでモデル化し、多自由度の運動方程式にメモリー影響関数を導入して方程式の解法にはウィルソンの θ 法を適用した。

3. ポンツーン型VLFSの時間領域解析(第2章～第4章)

ポンツーン型VLFSの弾性挙動を実験する目的で、300m長のメガフロート実証モデル(MF-300)の約1/30縮尺モデルVL-10を作製し水槽実験に供した。VL-10は継ぎ目の無い一様な平面構造模型であり、水槽実験において種々の外力に対する精度良い実験結果を得ることができた。VL-10のFEM解析モデルをFig.1に示した。

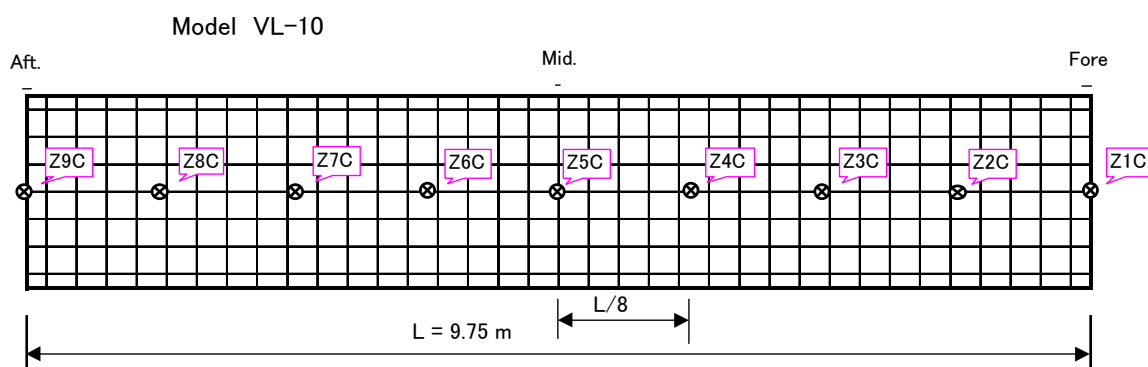


Fig.1 Arrangement of Displacement Pickups

3.1 規則波中応答(第2章)

この解析法の精度を検証するために、先ず、規則波中の上下振動応答解析結果(TD)をVL-10の水槽実験結果(EXP)及び周波数領域解析結果(FD)と比較した。この時間領域解析法の解析精度が十分信頼できることが確認できた。

3.2 落下衝撃試験(第3章)

航空機が浮体空港上に離着陸する場合を念頭に置いて、VL-10の表面に重錘を落下衝突させる試験を実施した。落下衝撃時に浮体が受ける衝撃力を、重錘の加速度変化の検出結果から求めた。浮体前部に重錘を落下させた例について、浮体前部の上下変位応答時系列の実験結果(EXP)と解析結果(CAL)を比較してFig.2に示した。落下衝撃時の過渡的応答に対して、本解析法の有効性が確認できた。

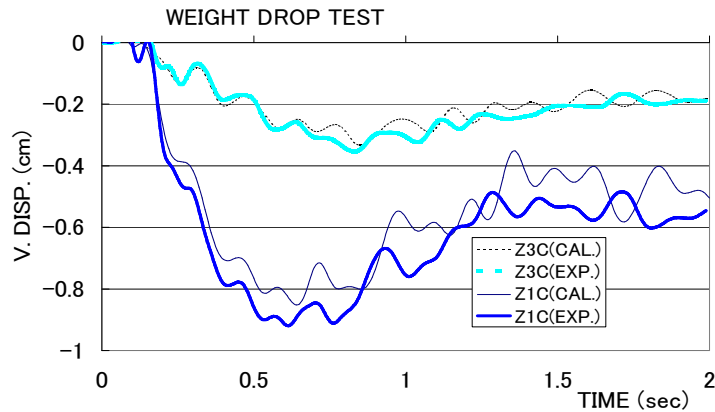


Fig.2 Time History of Vertical Displacement

3.3 移動荷重試験 (第3章)

航空機が滑走路やエプロンを走行する場合を想定して、VL-10の表面において台車(CAR)を走行させる水槽実験を実施した。走行速度を変えた場合について、速度影響を調べた。VL-10の上下変位応答の解析結果と実験結果とは良好な一致を示した。

3.4 航空機の離着陸荷重を受けるVLFSの動的挙動 (第4章)

本時間領域解析法を航空機の離着陸挙動のシミュレーション解析に適用した。浮体空港モデルとして、VL-10の想定実機である300m長メガフロート実証試験モデルMF-300 (Fig.3 参照) 及び、さらに長大な1200m長メガフロート実証試験モデルMF-1200を解析対象として取り上げた。

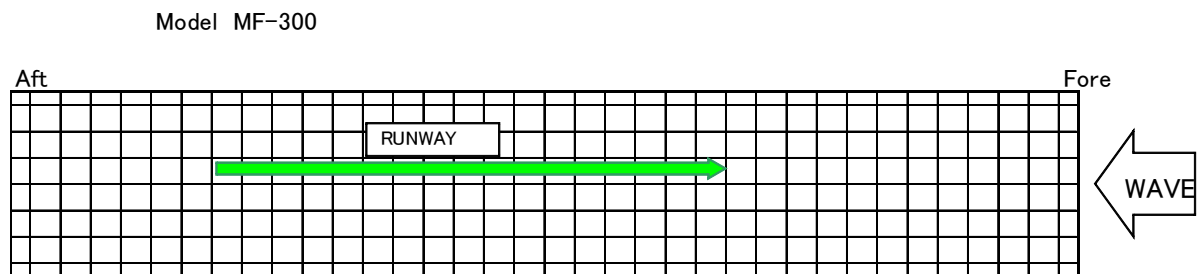


Fig.3 The Runway in Head Sea Condition

3.4.1 平水中離着陸時の挙動

平水中に航空機が離着陸する場合について、浮体空港上面の動的変形挙動を解析した。走行中の航空機は、その前後位置に弾性変形の山と谷を伴っており、常に上り坂を駆け上がらなければならない状況が現れる。この坂登りの姿勢のために、離陸時に若干の付加馬力が必要となることを示した。

3.4.2 波浪中離着陸時の挙動

入射する規則波中で動揺している浮体空港MF-300上で離着陸する場合を想定して、航空機の挙動を推算した。向かい波を受ける場合と追い波を受ける場合の応答特性について比較検討した。浮体波の伝搬速度が速いために、航空機の最大滑走速度に近づくので、向かい波中では進行速度の速い多数の浮体波を乗り越える挙動が、追い波中では浮体波と航空機が併走に近い“サーフィン挙動”が現れることが判明した。

航空機の離着陸荷重に起因する撓み成分は、波浪による浮体の撓み(浮体波の振幅)成分に比べるとはるかに小さい。また、滑走路周辺における浮体波の波高(撓み)は最大でも入射波の数分の一程度であり、通常波浪下では離着陸滑走の障害となるまでには至らないことが確認された。

4. セミサブ型VLFSの時間領域解析(第5章、第6章)

セミサブ型VLFSとして、多数の要素支持浮体を有する一様な平面構造を取り上げた。正面から波周期の異なる規則波を受ける場合についてその弾性応答特性を比較検討した。

4.1 フーティング付きカラム型要素浮体を有するVLFS(第5章)

解析モデルでは構造物を一系列の梁構造に簡略化した(Fig.4参照)。この構造では、要素浮体が比較的細長体であることから、Morison式で表される抗力の影響が顕著となることが予想されるのでこの非線形項を算入した。構造長を変えて、相対的曲げ剛性の変化に対する応答特性の違いを調べるために、フーティングが11本、25本及び97本連なったモデル(F11, F25, F97)についてその応答特性を比較した。モデルF11, F25については、過去に著者らが水槽実験に供した構造模型(フーティング:25×11本)の実験結果を参照して解析結果と比較検証した。

曲げモーメント応答の大きさと、構造長/波長比(L/λ)の値との関係を詳細に検討した。非線形流体力である粘性抵抗の影響により、第3次の高次調波振動が顕著となる場合があることを実験結果及び解析結果から明らかにした。

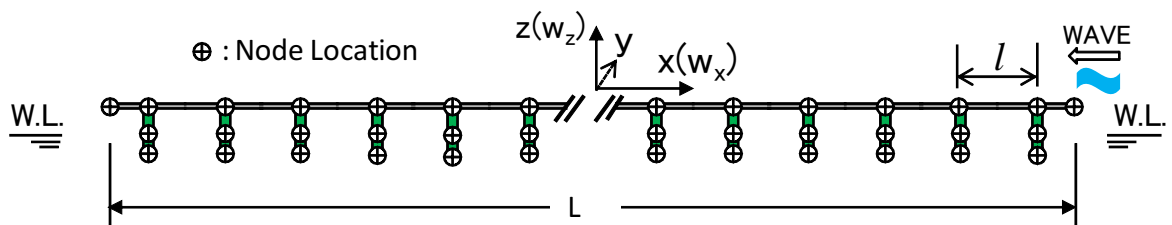


Fig.4 Simplified Beam-like Model for the Analysis

4.2 ローハル型要素浮体を有するVLFS(第6章)

ブラジル沖合等の外洋への展開を目指して、耐波浪特性に優れ、稼働面積やペイロードに余裕のあるVLFSとして、ローハル型要素浮体を有するVLFS(LH-600)を試

設計した (Fig.5 参照)。簡単のために、要素浮体は総てローハル型とし、7列×7行のローハルが等間隔で一様に分布していると想定した。

ローハル型支持浮体の形状は、想定海域において統計的に50年最大と予想される波浪の波周期においていわゆる「波無し周期」となるように設計した。LH-600の複数の低次モード固有振動の周期が、実在する波周期と近接しているために、多くの波周期の規則波に対して“うなり振動現象”を伴うことが確認された。50年最大波浪 ($T_w=15.1\text{sec}$, $H_w=17.8\text{m}$) に相当する規則波を連続して受ける場合を想定して、LH-600の前端 (FORE) 及び後端 (AFT) における上下振動応答の時系列を計算した結果を Fig.6 に示した。この場合には、長周期 (242sec) の“うなり振動現象”が現れた。Pitchモードの固有振動周期 (16.04sec) と入射波の周期が近接しているために、Pitchモード振動が長周期で繰り返し励起される現象であることが判明した。うなり振動現象の発生メカニズムについて詳細な検討を加えた。

試設計したモデル LH-600 の、想定した実海域における健全性を検証した結果、うなり振動の存在を考慮しても、上下変位応答の大きさ及び応力応答の大きさ共に浮体構造の安全や機能を損なうほどではないと予想された。波無し設計が十分に功を奏したといえよう。

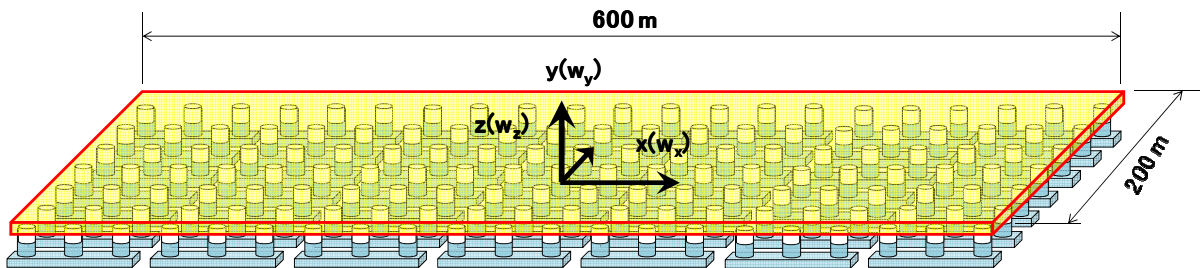


Fig.5 Perspective View of LH-600

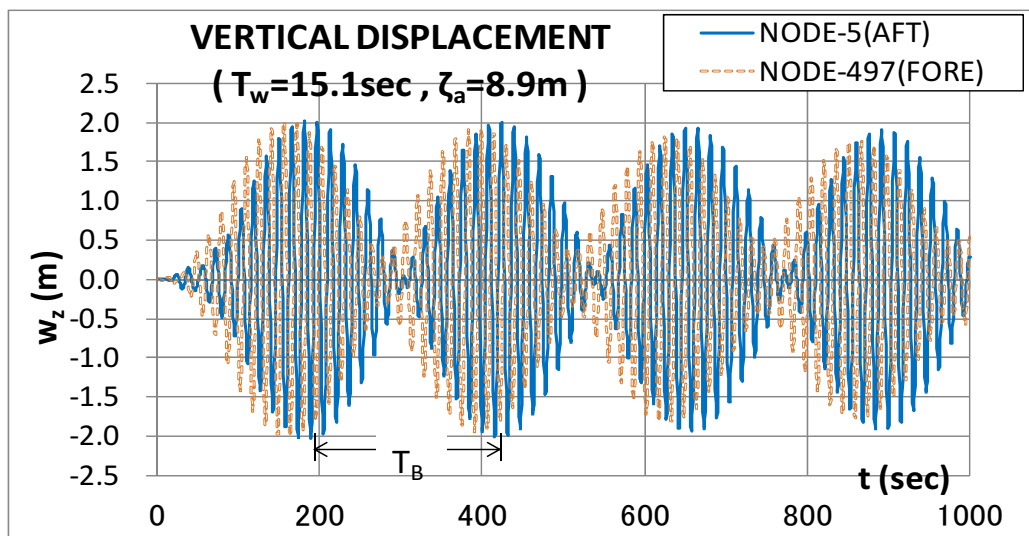


Fig.6-10A Time History of Vertical Displacement for LH-600

以上