

船舶技術研究所報告（第27巻第4号）に掲載の論文等の紹介

研究論文の紹介

Nonlinear Response of Moored Floating Structures in Random Waves and its Stochastic Analysis

加藤 俊司, 木下 健 (東京大学生産技術研究所)

チェーンあるいは索等で緩く係留された浮遊式海洋構造物は、不規則波中において長周期運動と呼ばれる大振幅かつ長周期の水平面内の運動が励起され、係留チェーンの破断といった災害を招く可能性がある。そのため、この運動の予測は、係留系を安全に設計する上で非常に重要である。この運動の原因は、数多くの研究者によっていままで研究され、変動漂流力と係留系との同調現象にあるとされている。この力の発生および長周期運動の原因は次のように説明される。

物体表面の圧力条件及び自由表面条件はもともと非線形であるために、もし、波高の自乗のオーダーまで考えた場合、連続スペクトルを有する不規則波中では、2成分波の和と差の周波数成分を有する波力（2次の波力と呼ぶ）が生ずる。その他に時間に依存しなき定常的な力（定常漂流力と呼ぶ）も発生する。このうち、差の周波数成分を有する非線形波力が変動漂流力である。この力は、波高に比例する線形波力に比べてかなり小さい量であるが、緩係留構造物のように係留系による復原力が浮体の質量に比べて小さい場合には、水平面内運動の固有周期は非常に長くなり、周期が長くなると造波減衰力も減少するので、いくら外力が小さくても構造物の固有周期付近における運動の同調現象によって変動漂流力に対する運動応答は有意なものとなる。

長周期運動のみの応答の統計予測理論は、すでに Naess によって開発されているが、実際の係留浮体の水平面内の応答には、長周期運動成分ばかりでなく波周波数と同じ周波数成分をもつ線形応答も含まれており、線形応答と長周期運動を含む非線形応答の統計的予測、即ち、線形応答と長周期運動との統計的干渉影響を考慮した統計予測理論が必要である。しかし、その理論は開発されておらず、もっぱら決定論的方法（即ち、Time Simulation）に頼っているのが現状である。Time Simulation で求められる統計量は一つのサンプルにす

ぎず、それから統計予測することは無限大に至る Simulation 結果がない限り不可能に近い。

本論文では、まず、線形応答と長周期運動を含む非線形応答（以後全二次応答と呼ぶ）の時系列を表す数学モデルはどのようなものかを調べるため、実験結果とシステム汎関数モデルとを比較し、その非線形応答が二項 Volterra 汎関数級数で表されることを示す。また、その級数の核関数の物理的意味を調べ、この関数が変動漂流力のインパルス応答関数であることおよび高次スペクトルの一種であるバイスペクトルによって実験データから推定できることを示す。次に、二項 Volterra 級数で表された全二次応答の確率密度関数を求める理論を新たに開発し、Naess が開発した長周期応答のみの場合の厳密解と比較し本理論の有効性を調べる。また、本理論を用いて全二次応答の確率密度関数を求め、浮体の減衰力係数および復原力係数を変化させた時の線形応答と長周期応答との統計的干渉影響を調べる。さらに、全二次応答とそね時間微分応答は独立であるという仮定を導入し、極値分布および $1/n$ 最大値の平均値や最大極大値の期待値等の極値統計値が瞬時値の確率密度関数のみから得られることを示す。最終的に本統計理論の適用性を調べるために、模型実験結果と予測結果を比較する。