I-251　海洋構造物の動的応答に関する一考察

東京大学工学部　正員　西岡　隆

土木学会海洋鋼構造物設計指針（案）によれば、波浪に対する海洋構造物の設計に確率統計的な手法を採用している。この手法によれば、構造物の周波数応答関数をあらかじめ明らかにしておくことによって、波浪のスペクトルをもとに与えられた設計波に対する構造物の応答を求めることができる。海洋構造物の多くは、波浪の周期と比較してその周期は短かく、一般に構造物の応答の影響を無視して波力のスペクトルを求めることができる場合が殆んどである。しかし比較的剛性が低く、深水域に設けられる構造物では波浪との共振により、特定の周期の波が構造物の応答に大きな影響を与えることが考えられる。したがって指針（案）においても、このような場合には波浪のスペクトル特性を考慮した応答解析を行うことを推奨している。

本報告は第28回年次講演会の報告に引き続いて、構造物の動的応答が波力のスペクトルに影響を与える場合の問題をとりあげ、等価線形化法を用いた解析手法により、波力の計算に構造物の動的応答を無視し得る限界を明らかにした。海洋構造物を多質点系におきかえ、マトリックス表示を用いてその運動方程式を表わすと、一般に以下のように与えられる。

$$\bar{\mathbb{M}}\ddot{\mathbb{X}}+\mathbb{C}\dot{\mathbb{X}}+\mathbb{C}_D\dot{\mathbb{X}}|\dot{\mathbb{X}}|+\mathbb{K}\mathbb{X}=\mathbb{M}\ddot{\mathbb{Y}}+\mathbb{C}\dot{\mathbb{Y}}+\mathbb{K}\mathbb{Y}\equiv\mathbb{P}(t) \qquad (1)$$

ここで$\mathbb{X}$, $\mathbb{Y}$はそれぞれ水粒子の相対変位ベクトル、変位ベクトルを表わし、$\bar{\mathbb{M}}$はMorison等の式で与えられる水の付加質量と構造物の質量を加え合せた質量マトリックスである。また左辺第三項の非線形項は水粒子の抗力による減衰マトリックスを表わしている。一般に不規則な外力がガウス過程であれば、線形な系では応答もガウス過程であるが、系に非線形要素が含まれると、応答はガウス過程ではなく、重ね合せの原理にもとずく確率統計的な手法を用いることはできない。この問題を近似的に解決するために、ここではPenzien等の用いた等価線形化法を用いて式(1)の左辺の減衰マトリックスを線形化した。線形化された減衰マトリックスを$\bar{\mathbb{C}}$で表わせば、$\mathbb{C}_D$が対角マトリックスであることを考えれば、

$$\bar{\mathbb{C}}=\mathbb{C}+\sqrt{8/\pi}\,\mathbb{C}_D\mathbb{D}_{\dot{x}\dot{x}} \qquad (2)$$

のように与えられる。式(2)の線形化された減衰マトリックスを用いて構造物の周波数応答関数を求めると、その結果は先回の報告の摂動法によるものと一致する。

計算に用いた波浪のスペクトルは卓越周波数0.125Hzの実測スペクトルをもとして、有義波高をそれぞれ1.35m, 2.70m, 5.40mに換算して用いた。一方構造モデルは波浪の卓越周波数に対する一次の固有振動数の比が1.15, 1.35, 8.00の三種類を用いた。

計算結果によれば、波浪の周波数に対する構造物の固有振動数の比が5.0以上の場合には、水粒子に対する構造物の相対変位は殆んど水粒子の変位に一致し、構造物は静止しているものと考えて波力のスペクトルを求めても問題ないことが明らかになった。運動方程式の中で抗力が非線形項で表わされるかぎり、構造物の周波数応答関数が波の振巾に影響されることは明らかである。図1は相対変位スペクトルと波浪の周波数の関係を図示したもので、有義波高が大きくなるにつれて、抗力の非線形項が相対変位スペクトルに与える影響は大きくなり、共振点附近では特に著しいことがわかる。しかし、周波数比が0.5以下あるいは1.5以上では、殆んどこの影響を無視し得ることも明らかである。

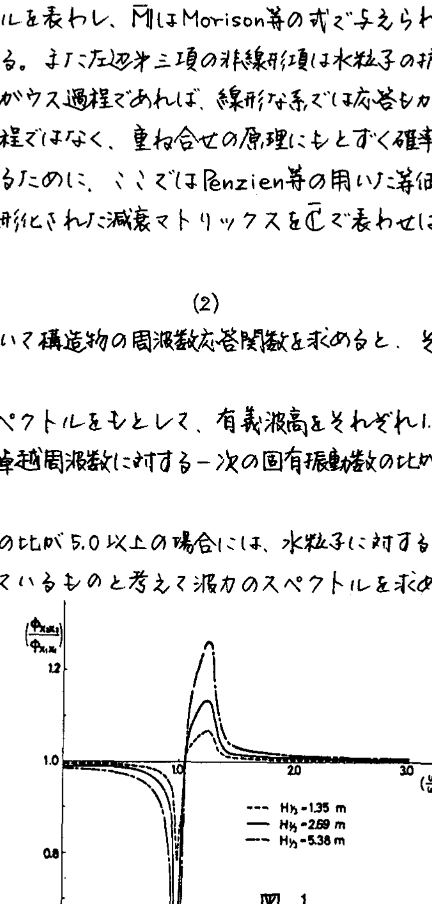

図 1

参考文献：第28回年次学術講演会概要集第一部門「海洋構造物の動特性に関する基礎的研究」奥村敏恵、西岡隆