

I-557

不規則波力と地震力を同時に受ける
海洋構造物の動的応答解析

京阪電鉄 正員 高橋正浩 京都大学工学部 正員 渡邊英一
 京都大学工学部 正員 古田 均 京都大学工学部 正員 杉浦邦征
 京都大学工学部 正員 杉戸真太

1. 概要

近年、新しい開発・利用空間を海洋に求める動きが盛んで、これら海洋構造物の安全性・快適性を評価することは非常に重要であり、特に、構造物の巨大化、可撓化にともない波浪・地震による動的応答を明らかにする必要がある。本研究ではモデルに平面ラーメン構造物を考え、これを有限要素法で定式化し、外力には不規則波と地震力を同時に作用させ、モデルタイプを4通り設定し、各パラメータを変化させ設計に有利なタイプ・パラメータを提案する。なお、より厳密な波力算定法として、回折理論による波力と等価な等価モリソン式を著者らが提案しているが、この式により波力算定を行った。

2. 解析方法

流体の乱れを考慮するため回折理論に基づき、モリソン式に修正を加えた等価モリソン式を下に示す。ただし、 dF は円柱微小高さ dZ についての波の進行方向に作用する力である。

$$dF = C_M \cdot \pi \rho r_0^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial t} dz + C_D \cdot \rho r_0 \cdot (u - \frac{\partial x}{\partial t}) |u - \frac{\partial x}{\partial t}| dz - C_m \cdot \pi \rho r_0^2 \cdot \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} dz - C_r \cdot \omega \pi \rho r_0^2 \cdot \frac{\partial x}{\partial t} dz \quad (1)$$

ここで、 ρ は流体密度、 r_0 は円柱の半径、 u は水粒子速度、 x は円柱の絶対変位、 ω は円柱の角振動数を表す。 C_M は慣性力係数で2と、 C_D は抗力係数で1としている。 C_m 、 C_r はそれぞれ付加質量係数、減衰抵抗係数であり、角振動数 ω で定常振動する剛体構造物に回折理論を適用して求める。

$$C_m = \frac{\cosh k(h+z)}{n \cosh kh} R_{JY} + \sum_j \frac{\cos k_j(h+z)}{n_j \cos k_j h} R_j \quad C_r = \frac{\cosh k(h+z)}{n \cosh kh} I_{JY} \quad (2)$$

$$R_{JY}(k\tau_0) = -\frac{J_1(k\tau_0 J_0 - J_1) + Y_1(k\tau_0 Y_0 - Y_1)}{(k\tau_0 J_0 - J_1)^2 + (k\tau_0 Y_0 - Y_1)^2} \quad I_{JY}(k\tau_0) = \frac{2}{\pi} \frac{1}{(k\tau_0 J_0 - J_1)^2 + (k\tau_0 Y_0 - Y_1)^2}$$

$$\frac{K_1(k_j \tau_0)}{K_1'(k_j \tau_0)} = -k_j \tau_0 \frac{K_1}{k_j \tau_0 K_0 + K_1} = -k_j \tau_0 R_j(k_j \tau_0) \quad (3)$$

$$k \tanh kh = \frac{\omega^2}{g} \quad k_j \tan k_j h = -\frac{\omega^2}{g} \quad (4)$$

J_n は n 次の第1種ベッセル関数、 Y_n は n 次の第2種ベッセル関数、 K_n は n 次の第2種変形ベッセル関数である。 g は重力加速度である。

波浪スペクトルは従来からよく用いられてきたPierson-Moskowitzスペクトルを用いる。不規則波を構成する個々の成分波がこのスペクトルに従うとして、この成分波をランダムに重ね合わせることで不規則波をシミュレートした。

地震波には1968年の十勝沖地震のNS成分の時刻歴データを用いた。これの最大加速度は264.05galである。

運動方程式はつぎのようになる。 x は構造物の変位、 y は地盤変位を表す。 $[C_M]$ 、 $[C_D]$ 、 $[C_m]$ 、 $[C_r]$ はそれぞれ、等価モリソン式の C_M 、 C_D 、 C_m 、 C_r に関する項であることを意味している。

$$[M+C_m]\{\ddot{x}\} + [C+C_r]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = [C_m]\{\dot{u}\} + [C_r]\{(u-\dot{x}-\dot{y})|u-\dot{x}-\dot{y}|\} - [M+C_m]\{\ddot{y}\} - [C_r]\{\dot{y}\} \quad (5)$$

この式には外力項に非線形の抗力項を含んでいるため、まずモード解析することにより、モードごとの式に分け、それぞれの式をWilsonの θ 法により解き、時刻歴応答を求める。

3. 解析モデル

モデルは平面ラーメン構造とし、Fig. 1に示すように4通りのモデルを考えた。ストラットは、コラムを柱頭から柱底を5等分し、下から順に配置している。大型の海洋構造物を想定し、管径8m、肉厚5cm、コラム間スパン長50m、構造物の高さ125m、デッキ荷重4000tf/15m²とした。また、海底では構造物は剛地盤支持と考えた。減衰定数は0.05とし、波浪シミュレーションの時の風速は頻度の高い暴風を想定して20mとした。

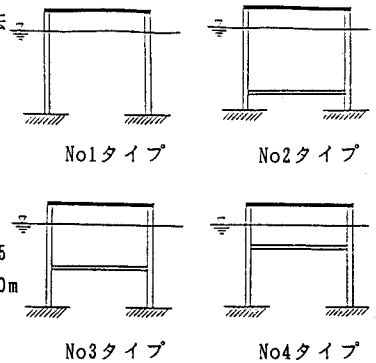


Fig. 1 解析モデル

4. 解析結果

Fig. 2にモデルタイプによる応答の比較を示している。ここで、○は波が作用したときの応答を、×は地震が作用したときの応答を、□は両方が同時に作用したときの応答を示している。縦軸は変位応答の標準偏差を示している。Fig. 3からはNo3タイプの応答が一番小さいことがわかる。Fig. 3, Fig. 4にNo3タイプについてそれぞれデッキの剛性、ストラットの剛性を変化させたときの応答の変化を示してある。

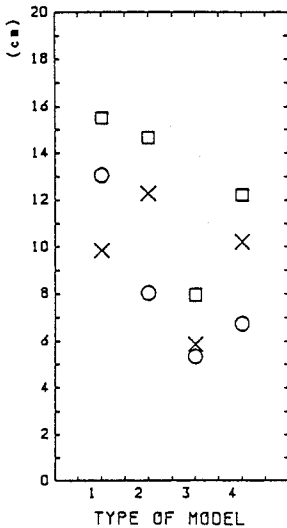


Fig. 2 タイプの比較

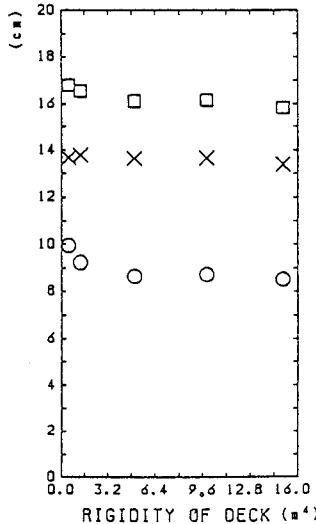


Fig. 3 デッキ剛性による変化

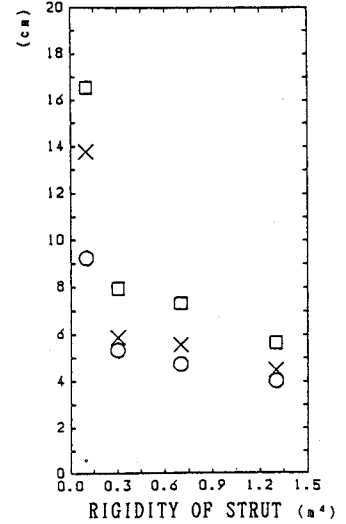


Fig. 4 ストラット剛性による変化

4. 結論

- (1) 同時に作用したときの応答は、地震のみの場合および波のみの場合の応答より大きくなる。
- (2) 有脚式海洋構造物はNo3タイプ(水深中央部にストラットを配した構造)が有利な形式である。
- (3) デッキの剛性とストラットの剛性のどちらをあげても変位応答は小さくなるが、ストラットの剛性をあげた方が、効率よく応答を抑えることができる。

参考文献

- 1) 渡邊英一・松本敏克・酒井哲朗・杉浦邦征: 高次振動時の水中弾性円柱の付加質量係数について, 構造工学論文集, Vol. 37A, pp. 39~52, 1991. 3.