

シミュレーション法による海洋ジャケットの波浪応答解析

大阪大学工学部 正 員 前田 孝雄

大阪大学工学部 正 員 大倉 一郎

大阪大学大学院 学生員 〇藤原 要

1. まえがき 海洋ジャケットは波浪により常時繰返し荷重を受けているため、耐用期間中に疲労破壊が生じないように設計しなければならない。疲労設計においては動的な取扱いの必要性から、しばしばスเปクトル法による不規則振動解析が行われ、疲労が問題となる点の応力は応力スเปクトルとして求められる。しかし、スเปクトル法では波力が持つ非線型因子を導入できない。このような非線型の振動問題にはシミュレーション法による不規則振動解析が有効である。本報告では、非線型因子の1つであるモリソン波力の非線型波力に注目し、その非線型効果が応答に与える影響について検討する。

2. シミュレーション法による不規則振動解析法 シミュレーション法による解析手法では、波力の逐次計算において計算時間が非常に長くなるため、図-1に示すような1自由度円柱モデルに対して計算を行うことにした。1自由度モデルの振動方程式は、変位の代表値としてモデルの頂部変位 $X(t)$ を選び、たわみ形状関数を $\phi(z) = \frac{1}{2} \left\{ 3 \left(\frac{z}{l} \right)^2 - \left(\frac{z}{l} \right)^3 \right\}$ とすれば、仮想変位の原理を用いて次のように求めることができる。

$$\tilde{M}\ddot{X} + \tilde{C}\dot{X} + \tilde{K}X = \int_0^l \frac{1}{2} C_d \rho_v D |U - \phi\dot{X}| (U - \phi\dot{X}) \phi dz + \int_0^l C_m \rho_v \frac{\pi D^2}{4} \ddot{U} \phi dz \quad (1)$$

ここに $\tilde{M} = M + \int_0^l m \phi^2 dz + \int_0^l C_m \rho_v \frac{\pi D^2}{4} \phi^2 dz$; 付加質量を考慮した一般化質量, $\tilde{C}$; 一般化減衰(減衰率の形で与えられる), $\tilde{K}$; 一般化剛性, ρ_v ; 流体の単位体積重量, C_d, C_m, C_u ; それぞれ抗力係数, 質量係数, 付加質量係数, D ; 円柱の直径。式(1)の右辺はモリソン式¹⁾による一般化波力で、第1項は非線型抗力、第2項は慣性力、 $U \cdot \dot{U}$ は波力作用点における水粒子速度および加速度である。 $U \cdot \dot{U}$ は微小振幅波理論を適用すれば、Pierson-Moskowitzの波高スเปクトル²⁾より、モンテカルロ法を用いてシミュレートした不規則波形から求まる。また、高さ方向の積分はガウスの数値積分によって行った。逐次積分による振動解析にはNewmarkの β 法を用いたが、式(1)の右辺には応答速度 $\dot{X}(t)$ が含まれているため、ステップごとに反復収束計算を行う必要があった。

3. 不規則振動解析 解析対象としたモデルは全高115m、水深80mの単一円柱モデルである。モデルの固有振動周期は、このフラスの実構造物に基づいて剛性および質量を定めた結果、約3.0秒となった。このモデルに対し、4とわりの有義波高について解析を行った。総計算時間約2000秒のうち計算開始後300秒は初期条件の影響を避けるために除き、残りを有効計算とした。

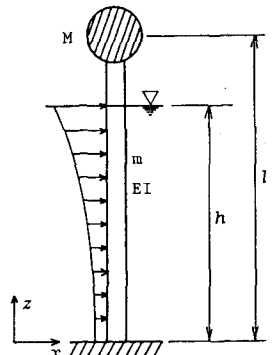


図-1 解析モデル

また、減衰率は 0.02 とした。頂部変位の最大値を図-2 に示す。図には比較のため、スペクトル法によって得られる最大値の推定値を同時に示している。図から、波高が大きくなるに従って、シミュレーション法による結果がスペクトル法によるものを大きく上回るようになることがわかる。有効波高 3.0m および 10.0m

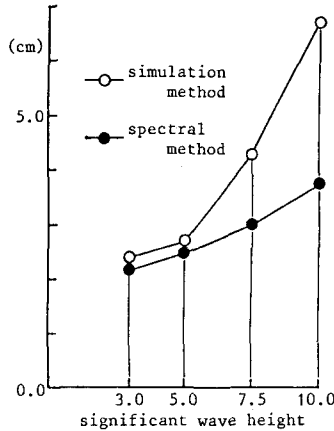


図-2 頂部変位の最大値

について、頂部変位の極大値の確率分布を図-3、図-4 に示す。曲線はガウス過程を仮定した場合の極大値の理論分布である。図から波高が 3.0m の場合、2つの分布がよく合っているが、10.0m の場合には、理論分布では決して発生しない大きな極大値の発生が見られる。

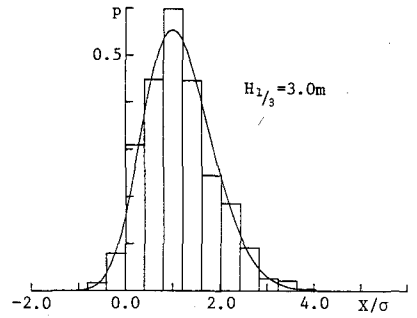


図-3 変位の極値分布

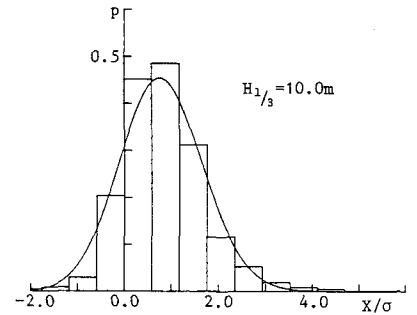


図-4 変位の極値分布

4. 考察 図-5 は有効波高が 7.5m の場合の水位、波力、変位の時間変動を示すものである。図から、このモデルの応答が広帯域であることがわかる。一般に海洋ジャケットの応答も広帯域となるが、このような場合、マイナース則を適用して疲労被害を算定する際に必要な応力振幅およびそのサイクルは、応力の時系列から雨だれ法などの方法によって求めなければならない。スペクトル法においても応力スペクトルから時系列をシミュレートする方法とすれば、疲労被害の算定は可能であるが、上記のような波力の非線型性の影響を無視できない。また、信頼性設計に必要な極大値の分布が、波力の非線型性を考慮した場合、特に重要な分布形のうちの付近で特異となるため、シミュレーション法による照査は是非必要である。

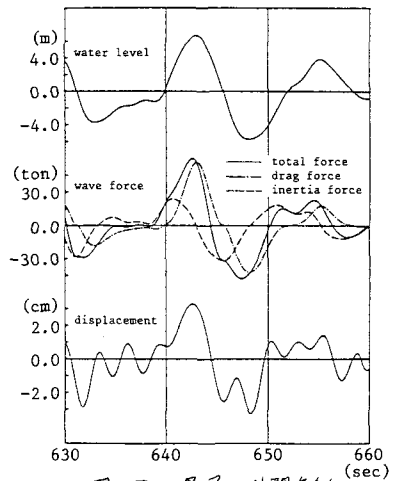


図-5 各量の時間変動

5. あとがき 本報告では計算時間の制約から 1 自由度の単一円柱モデルによる解析を行ったが、海洋ジャケットの波浪応答解析を行う場合、レグ間隔に帰因する波力の空間的位相差を考慮しなければならない。シミュレーション法によって応力算定まで行う場合には、この波力の位相差を導入すると同時に、第 2 次モードの影響を考慮することが望ましい。最後に、スラミング力による水面付近のブレース材の動的問題を取り扱う場合、シミュレーション法が有効であるが、困難な問題も残されており、今後、研究を進めて行く必要があると思われる。

1) Morison J. R., Petrol. Trans. AIME, 189, 1950.

(参考文献)

2) Pierson W. J., L. Moskowitz: J. of Geografic Res. vol. 69, 5181, 1964.