

円柱構造物の近傍における波浪挙動の解析と可視化

豊橋技術科学大学 学生会員 ○澤田弥生
豊橋技術科学大学 正会員 三浦均也, 松田達也

1.目的

本研究の目的は波浪を受ける構造物の挙動とその安定性について海底地盤を含め、地盤工学的な観点から検討することである。本研究では円柱構造物周辺の波浪による挙動を厳密解によって検討した。具体的には厳密解の誘導過程を精査することと、得られた解に基づいて挙動を計算するプログラムを開発した。さらには解析結果を可視化するためのプログラムも開発した。スペースの関係で、ここでは波浪に対する厳密解の誘導過程を簡単に示すとともに、海底地盤の応答解析のための基礎式も示す。そして波浪の解析結果の一部を示して説明する。

2.入射波と散乱回折波の速度ポテンシャルの誘導

理想化した等水深海底の微小振幅波理論による解析手法は、MacCamy が示したように、Bessel 関数を援用して円柱構造物との相互作用で生じる散乱波の解析に適用することが可能である。

波浪場は以下の微小振幅波理論が成り立っている。

1. 完全流体(非圧縮, 非粘性)
2. 外力は重力のみ(表面張力, 引力は無視)
3. 水面の圧力はゼロとする
4. 一定水深, 不透過な水底
5. 波高は波長よりも十分に小さい
(微小振幅の仮定): $H/L \ll 1$
6. 保存波(定型波) $\cos, \sin, e^i$ で表す。
7. 渦なし, 速度ポテンシャル $\phi(\phi_i, \phi_s)$ が使える
8. 一方向に進む, 鉛直 2 次元的な波

入射波の速度ポテンシャル ϕ_i は基礎方程式(ラプラス方程式)と自由水面・海底面における境界条件から以下のように求められる。また同様に散乱・回折波の速度ポテンシャル ϕ_s が得られる。

添え字 i, s は入射波, 散乱波を意味する。

$$\phi_i(r, \theta, z, t) = i \frac{ga}{\omega} \frac{\cosh \lambda(h+z)}{\cosh \lambda h} \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\lambda r) (ie^{i\theta})^n \right] e^{-i\omega t}$$

$$\phi_s(r, \theta, z, t) = -i \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh \lambda(h+z)}{\cosh \lambda h} \times \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} i^k \frac{J'_k(\lambda r_0)}{H_k^{(1)'}(\lambda r_0)} H_k^{(1)}(\lambda r) (e^{i\theta})^k \right] e^{-i\omega t}$$

3.海底地盤における有効応力変動と不安定化の評価

海底地盤と波浪の相互作用は、力学的には多孔質体と流体の相互作用であり、海底地盤の多孔質体としてのモデル化および定式化が必要である。既往の研究で対象とする海底地盤の深度が波長の 10 分の 1 より小さい場合には、u-p formulation による一次元擬似動的条件下における解析で十分な精度の応答が計算できることを示している。この手法で海底地盤内の鉛直有効応力変動 $\Delta\sigma_z'$ および鉛直有効応力 σ_z' は以下の式より得られる。

$$\Delta\sigma_z' = p_0 e^{i\omega t} - \Delta p = p_0 \left[(1-B')(1-e^{-\zeta z}) \right] e^{i\omega t}$$

$$\sigma_z' = (\rho_t - \rho_w)gz + \Delta\sigma_z'$$

底質移動の研究の要点に基づくと、特定の海底地盤材料(粒径, 形状や摩擦係数が変わらない場合)については、底質移動量を定性的に推定することができる。また、これらの推定から底質移動量を定性的に議論するためのパラメータは式 (3-1) より得られる。

$$q_n = \frac{v_x^3}{(\rho_s - \rho_w - i\rho_w)g} \quad (3-1)$$

4.海底地盤における底質移動の評価法

波の解析条件を表 4-1, 波浪場の定義を図 4-1 に示す。

表 4-1 波浪条件

	波高(進行波)	周期	水深	波長	海底面での水頭
wave type	10.0 [m]	13 [s]	20 [m]	167.6 [m]	7.7268 [m]

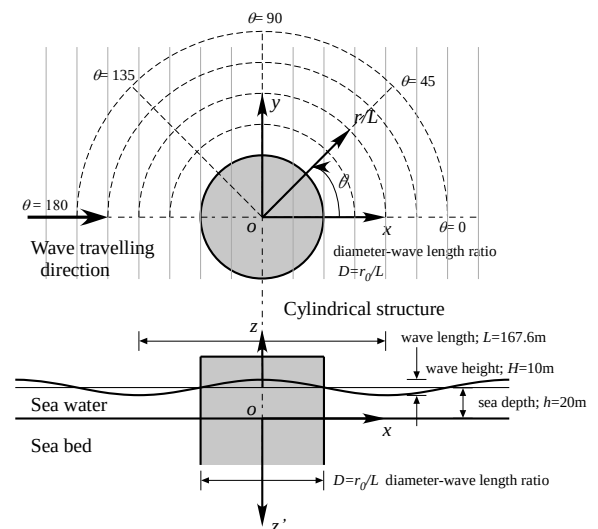


図 4-1 波浪場の定義

5.平面波における解析結果

ここで r_0/L , r/L はそれぞれ波長に対する円柱構造物の半径に対する構造物の半径の比, および原点からの距離の比を示している. 図 5-1~5-2 は構造物の半径が入力波の半波長に等しい条件 ($r_0/L=0.5$) の条件で解析した結果を, 円柱構造物の側面 ($r/L=0.5$) で示したものである.

a) 構造物有無による周方向の水位変化

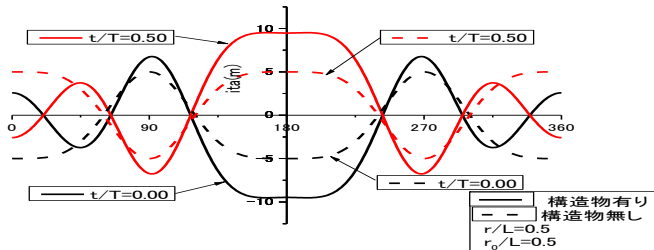


図 5-1 振幅の増幅(周方向)

構造物が存在することで構造物の波浪に対する正面 $\theta=180$ では構造物による反射波により波の振幅が約 2 倍に増幅していることが分かる, 一方, 波浪に対する構造物の裏側 $\theta=0, 360$ で波の振幅は, 構造物を回り込む回折波により約半分の波長に減衰していることが分かる.

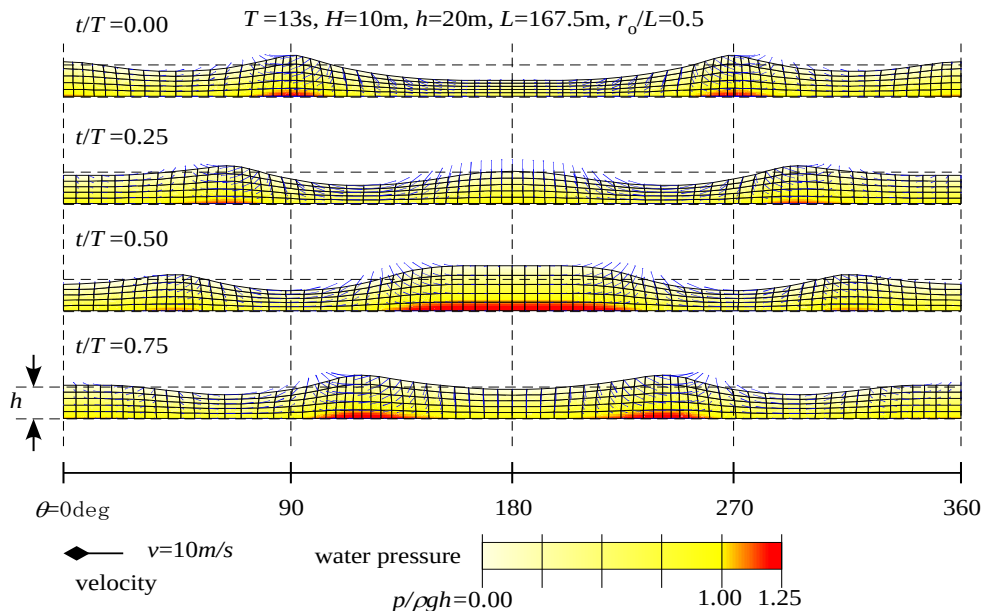


図 5-4 円柱構造物外壁の波浪状況

図は波浪を受ける円柱構造物外壁に沿った波浪の状況を示したものであり, 時刻の変化を追って示している. 波による海水の移動をメッシュで示すとともに, 水圧の変化をグラデーションで, 流速はベクトルで示している.

参考文献

- 1) MacCamy, R. C. and R. A. Fuchs : Wave forces on piles (A diffraction theory), Tech. Memo., No. 69, B.E.F., 1954.
- 2) 斉藤裕也: 豊橋技術科学大学平成 26 年度修士論文, 「円柱構造物周辺における波浪による海底地盤の不安定化に関する解析的研究」

b) 半径方向における水位波形の変化

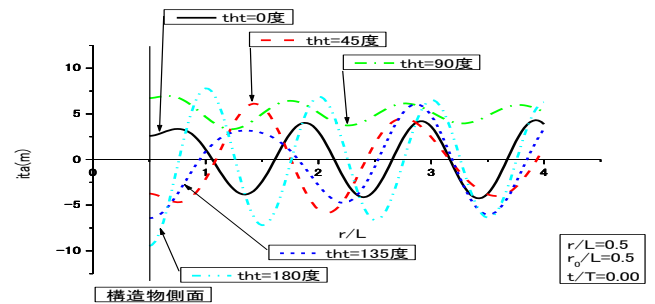


図 5-2 水位波形の変化(放射方向)

水位波形の振幅は構造物から距離が離れるにつれて片振幅が $\pm 5m$ に収束していく様子がわかる. ただし, 入力波の進行方向と垂直な方向 $\theta=90$ では, 波高が山の位置に相当する $\lambda=+5m$ に収束していることがわかる.

あとがき

本研究ではベッセル関数を用いた円柱構造物周辺の波浪解析を行った. 計算の精度を慎重に検討しつつ解析プログラムを開発し, また, 解析結果を可視化することもできた. 今後はこの可視化技術を利用して, 海底地盤との相互作用についても検討を進める予定である.