

海底地盤の波浪に対する有効応力応答を考慮した杭のたわみ解析

豊橋技術科学大学 学生会員 ○安東一輝 非会員 和田夢翔
豊橋技術科学大学 正会員 松田達也, 三浦均也

1. はじめに

海洋構造物の安定性は、第一義的には構造物に直接作用する水圧とその変動挙動に依存する。波浪荷重を合理的に設定することは重要であり、設定した荷重に対して荷重耐力を照査する必要がある。現在の海洋構造物の設計の実務はこのような考えに基づいて行われる。しかし、離岸堤等で用いられる消波ブロックは海底地盤の支持力の変化によって沈下したことを示す事例が報告されている。¹⁾

近年、杭基礎を採用した有脚式離岸堤が消波ブロックに変わり設計法や施工法の研究が精力的に進められている。海洋での杭基礎の施工では波浪荷重は構造物だけでなく同時に海底地盤へも作用するため、地盤工学的知見から海底地盤の挙動を評価する必要がある。

本研究の目的は、波浪によって海底地盤の有効応力状態が周期的に変化することを考慮して、有脚式構造物の杭基礎の荷重支持特性を定量的に明らかにすることである。

2. 研究概要

2.1 検討杭基礎モデル

研究対象とする杭基礎モデルは杭径 $D=1600\text{mm}$ 、肉厚 $t=30\text{mm}$ 、杭長 $L=10\text{m}$ とし、実験条件では水深 $h=7\text{m}$ 、最大外力を $F=1000\text{kN}$ とする調和振動関数(周

期 $T=13\text{sec}$)の外力を杭上端の位置に生じさせて杭の挙動を確認する。一様水深 $h=20\text{m}$ における波高 $H=10\text{m}$ 、周期 $T=13\text{m}$ を想定した。海底地盤は緩い砂で構成される無限層厚地盤とした。

2.2 検討条件モデル

支柱を含めた杭たわみ挙動は、地盤反力をバネでモデル化した応答関数法で解析した。²⁾ 海底面に水圧変動が作用することによる海底地盤内の有効応力変動は $u-p$ モデルを用いた準動的の一次元解析で実施した³⁾。得られた海底地盤の有効応力分布をたわみ解析に反映させるために、地盤反力バネ定数 k が深度方向に上昇するため次式のように k を仮定した。

$$k = k_0 \sqrt{c \frac{\sigma_v}{\sigma_a}}$$

k_0 : N 値から算出される地盤反力バネ定数, σ_v : 地盤内深度方向に分布する有効応力, σ_a : 大気圧 (101.3kN/m^2), c : 無次元係数であり、静水圧状態における杭長 $L=10\text{m}$ の杭の杭頭変位が通常のモデルと

表-1 検討ケース

	支持地盤面変化	地盤反力バネ定数
Case1	なし	一定, k_0
Case2	あり	一定, k_0
Case3	あり	深度方向に上昇, k

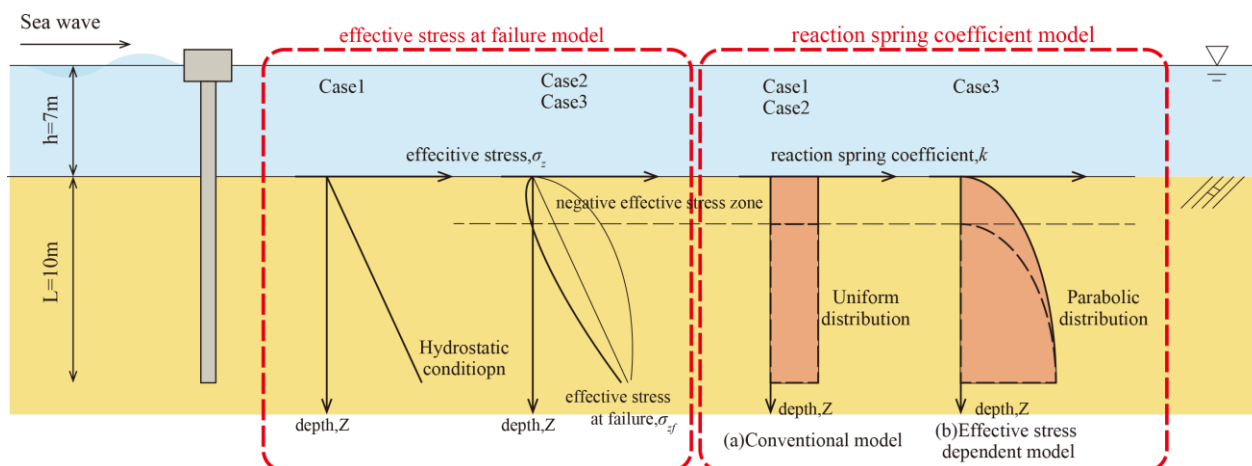


図-1 各ケース条件

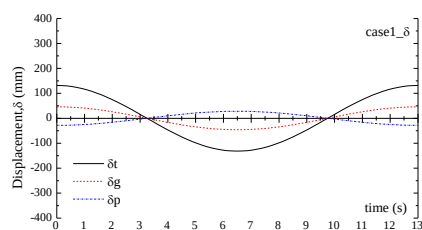


図-2 変位(Case1)

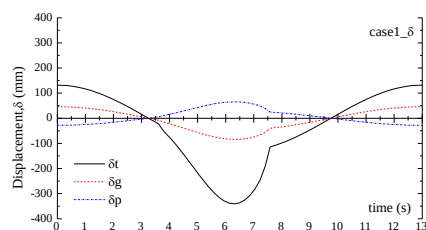


図-3 変位(Case2)

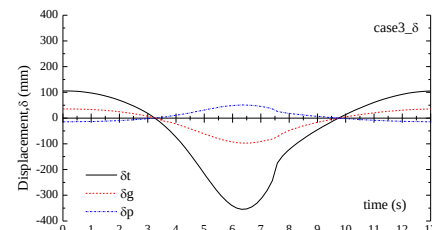


図-4 変位(Case3)

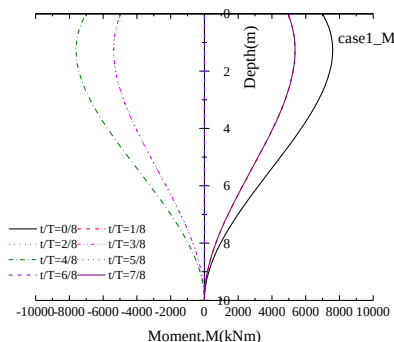


図-5 曲げモーメント(Case1)

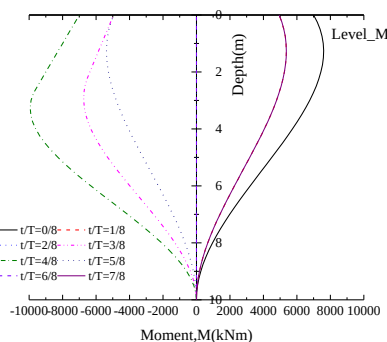


図-6 曲げモーメント(Case2)

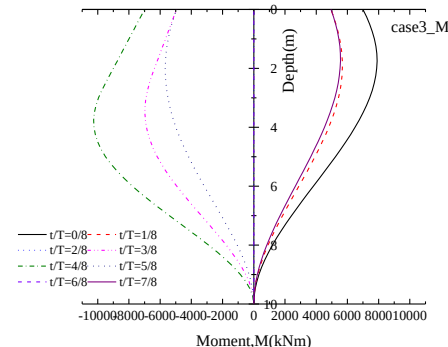


図-7 曲げモーメント(Case3)

同等の値となるように暫定的に $c=6$ とする。

今回の検討ケースは表-1 に示す通り、液状化した表層は荷重を支持できないものとして除去した海底地盤面の変動を考慮する。地盤反力バネ定数を深度方向に変化させたもの。表-1 に示す二通りの変化を加えた3つのケースで比較検討し、図-1 に各ケースの条件を示した。

3. 検討結果

図-2~4 に1周期における杭上端(δt)、杭頭(δg)、杭下端(δp)の変位を、図-5~7 に1周期を8分割し各位相における曲げモーメントを示した。

変位では Case2, Case3 は同様な挙動を示しており Case1 と比較し全ての杭位置で大きくなる結果が得られた。

曲げモーメントでは Case1 は最大曲げモーメント M_{max} : $\pm 7601 \text{ kNm}$ 、最大曲げモーメント深さ l_m : 1.25m, Case2 は M_{max} : -9933.9 kNm , l_m : 0.635m(3.25-2.615 : 2.615 は液状化深さであり支持地盤と考えるものとする), Case3 は M_{max} : -10259.835 kNm , l_m : 1.135m(3.75-2.615)となった。変位同様 Case2, Case3 は似たような挙動を示しており、水位が下がり支持地盤が減少したタイミング($t/T=4/8$)で最大曲げモーメントが Case1 に比べ大きくなる結果が得られた。

4. おわりに

本研究では支持地盤面と深度方向への地盤反力バネ定数を有効応力解析の結果と連動して変化させる条件で比較検討した。通常的设计, 施工で採用されている支持地盤面の変化を考慮しない Case1 に比べ変位, 最大曲げモーメントは共に格段に大きくなっていることが確認された。ここでの条件では変位は約 2.7 倍, 曲げモーメントは約 1.3 倍であった。これは海洋構造物において通常的设计方法では危険側に設計してしまうことを示している。

地盤内深度方向に地盤反力バネ定数を変化させる影響を比較した Case2 と Case3 で多少のずれはあるものの変位, 最大曲げモーメント等に大きな変化は見られなかった。

参考文献

- 1) 西田ら：孔間弾性波探査法による離岸堤の埋没状況に関する考察, 第32回海岸工学講演会論文集, pp.365-369, 1985.
- 2) 高木ら：地盤反力の非線形性を考慮した横荷重を受ける杭のたわみ解析, 地盤工学学会中部支部, 地盤工学シンポジウム, 2015.
- 3) 三浦ら：波浪に対する海底地盤応答の連成解析のための地盤の定式化, 第49回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 233-240, 2004.