

組杭の水平拳動における杭の傾斜角の影響

三菱重工業（株）正会員 大川賢紀 亀井宏之
 岐阜大学 正会員 張 鋒
 京都大学大学院 正会員 木村 亮

1. はじめに

従来から、設計荷重として波力などの水平外力が主体となる港湾、沿岸構造物では、ドルフィン、棧橋などで斜杭を組み合わせた構造が適用されている¹⁾。組杭構造は、杭頭部の固定度を十分確保すれば水平力を杭の軸剛性で抵抗しやすくなるため、水平支持において有利となる。組杭は斜杭の傾斜を大きくするほど水平抵抗は大きくなるが、一般に杭打ち機の限界とされている 25 度程度まで大胆に傾斜させた斜杭の実績はほとんどなく、傾斜角を大きくした場合の組杭の支持機構は十分把握されていない。そこで本研究では、遠心模型実験手法を利用し、大変形域まで組杭の水平拳動を調査するとともに、3次元弾塑性有限要素解析コード GPILE-3D による解析評価を行った。

2. 検討内容

2.1 遠心模型実験

模型を図-1に示す。内寸幅 75cm × 奥行 54cm × 高さ 70cm の土槽に組杭を設置後、乾燥状態の豊浦標準砂を密度 1.5g/cm³（相対密度 55%）、層厚 40cm になるよう気中落下法で均質な地盤を作成した。杭頭部は杭が所定の角度（10、20、30度）になるよう剛結した。荷重装置はモータの動力をスクリュウギヤに伝達し、スクリュウギヤに固定された荷重部で組杭を速度 2mm/min で水平に荷重する。模型杭は外径 20mm、板厚 1mm の真鍮パイプを使用した。模型の緒元を表-1に示す。計測項目は荷重点の変位と荷重、杭頭部の曲げ、軸ひずみ、地中部の杭の曲げひずみとした。ひずみの計測位置は図-1に示した。遠心加速度は 50G とした。

2.2 3次元弾塑性有限要素解析²⁾

本解析では、地盤を弾完全塑性体と仮定し、塑性構成式は Drucker-Prager の破壊基準を降伏関数として関連流れ則を適用して求めている。杭周辺地盤の引張り領域は No-Tension 解析を行った。また水平荷重下での地盤と杭の相互作用を適切に取り扱うため、杭にはハイブリッド要素を用いて地盤中の杭の体積効果を表現した。なお、杭は弾性要素とした。組杭の有限要素メッシュを図-2に示す。節点数は 9355、要素数は 7020 である。解析に用いた物性値を表-2に示す。模型地盤のヤング率の勾配はあらかじめ単杭の水平荷重試験でパラメータ同定した値である。なお、解析領域は境界の影響がないよう十分大きくした。

キーワード：防波堤、鋼管杭、斜杭、水平拳動、遠心模型実験

連絡先：〒676-8686 高砂市荒井町新浜 2-1-1 三菱重工業(株)高砂研究所 TEL：0794-45-9713，FAX：0794-45-9915

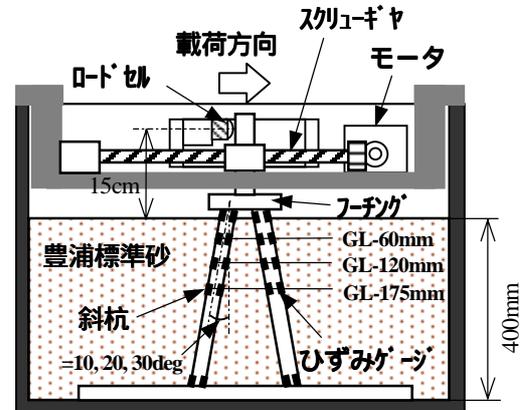


図-1 組杭の実験模型

表-1 実験模型の緒元

項目	単位	模型	プロタイプ [°]
杭径	m	0.020	1.0
板厚	m	0.001	0.05
曲げ剛性	kNm ²	0.297	1.857 × 10 ⁶
ヤング率	GPa	110	110

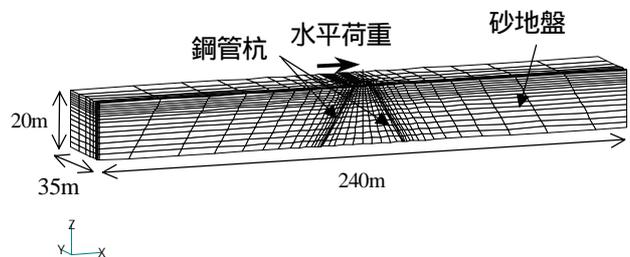


図-2 有限要素メッシュ（30度の斜杭の場合）

表-2 解析入力パラメータ

項目	単位	諸値
密度	kN/m ³	15
ポアソン比	-	0.33
内部摩擦角	deg	39
粘着力	kN/m ²	0
ヤング率の勾配	MN/m ³	1.47
静止土圧係数	-	0.37

3. 結果

図-3に荷重と変位の関係、図-4に変位と杭固定部の回転角の関係を示す。微小変形域では、斜杭の傾斜角が大きいほど組杭の水平変位、回転角は大幅に低減される。杭の傾斜角が30度の場合には、大変形時には反りあがるため、押し込み側の杭頭部に大きな負担がかかると考えられる。また、押し込み側の杭の荷重分担が大きかったため、その杭に着目し、図-5に杭の曲げモーメント分布、図-6に杭の傾斜角と最大断面力の関係を実験と解析を比較して示す。これらの結果は水平荷重1000kN作用時の値で比較した。曲げ応力はGL-6m付近で最大、軸応力は押し込み側杭頭部で最大となる。設計的に考慮する変形領域（杭径の1~2%程度）では、解析と実験はほぼ良好に対応した。また、傾斜角10度の場合、曲げ応力と軸応力が同程度で、水平抵抗として寄与できる支持機構になっているが、傾斜角が20度以上になると、軸応力が卓越するため、引抜き側でクリティカルな支持機構となる。

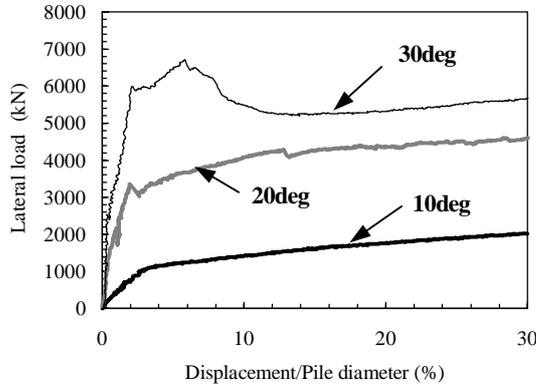


図-3 荷重と変位の関係

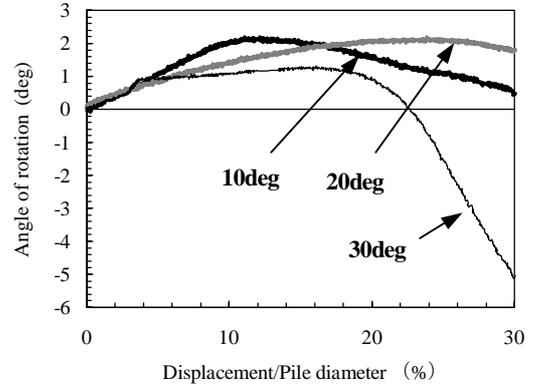


図-4 変位と回転角の関係

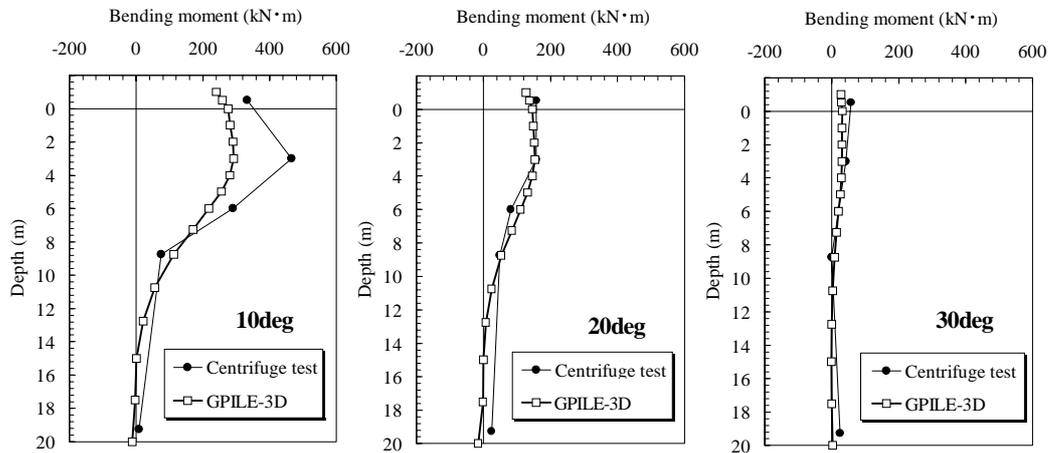


図-5 水平荷重1000kN作用時の杭の曲げモーメントの実験と解析の比較

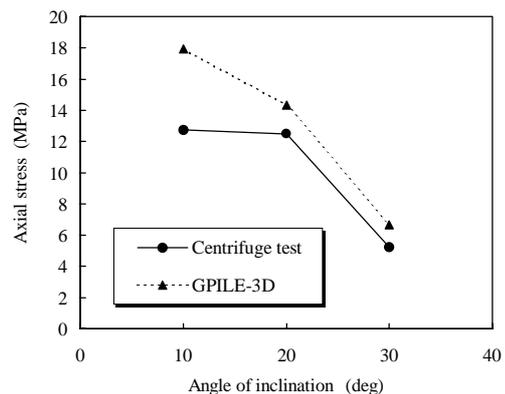
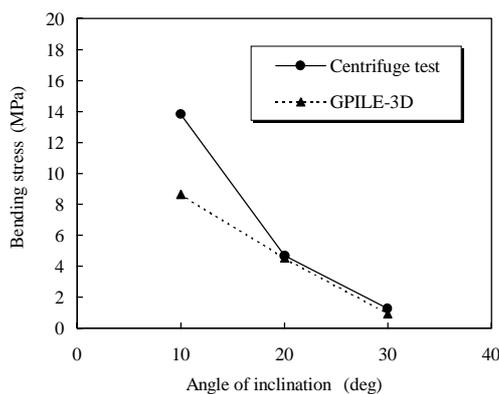


図-6 水平荷重1000kN作用時の杭の傾斜角と最大断面力の関係

4. まとめ

杭の傾斜角をパラメータとした組杭の水平挙動に関する遠心模型実験と3次元有限要素解析を行った。傾斜角が10度程度であれば、ある程度曲げ抵抗が発揮されるが、20°以上になると主に軸力で抵抗する支持機構となるため、引抜きで一気に降伏に至る危険性がある。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同開設，1999。
- 2) Kimura, M. and Zhang, F.: Seismic Evaluations of Pile Foundations with Three Different Methods Based on Three-Dimensional Elastic-Plastic Finite Element Analysis, Soils and Foundations, Vol.40, No.5, pp.113-132, 2000.