

控え杭の傾斜角に対する地盤反力係数変化率の深度分布に関する実験的研究

中央復建コンサルタンツ株式会社 神戸大学 学生会員 ○小田 隼也
神戸大学 正会員 長尾 毅

1. 目的

鉛直荷重の支持を主目的とする杭は、基盤まで根入れされることが一般的である。一方で、土圧や地震荷重等の水平荷重に抵抗するために岸壁等で用いられる控え杭は、鉛直荷重に対する支持性能は期待されないため、基盤まで根入れされることは少ない。杭には打設角度の違いにより直杭と斜杭が存在し、鉛直荷重支持を主目的とする場合は直杭が採用されることが多いが、水平荷重への抵抗性能は斜杭が優れている¹⁾。杭基礎の耐震設計では、水平荷重作用時の杭の変位量に比例して生じる地盤反力を適切に評価する必要がある。地盤反力と杭の変位量の比は地盤反力係数(SRM)と定義される。直杭のSRMに対する対象杭のSRMの比率(SRM比)は、杭傾斜角の増加に伴い減少する²⁾。しかし、傾斜角に対するSRM比の変化率の深度による違いを検討した事例はない。本研究では、控え杭に着目して水平載荷模型実験を行い、傾斜角ごとにSRMの深度分布を求めた。そして、傾斜角に対するSRM比変化率の深度分布を整理した。さらに、地盤の変形係数に着目して、傾斜角に応じたSRMの算出方法を提案し、傾斜角とSRM比の関係、傾斜角に対するSRM比変化率の深度分布について実験結果と比較した。

2. 実験方法

本実験では、図-1に示す幅600mm、奥行500mm、高さ600mmの土槽を使用した。表-1のように杭の初期傾斜角が異なる4ケースを対象とし、メガトルクモーターを使用して杭頭部に水平に載荷した。

杭下端を実験装置に固定しない条件とするため、土槽下端から100mmの高さまで砂を投入した後に、杭を設置した。その後、土槽下端から600mmの高さまで砂を投入した。乾燥した東北珪砂6号を使用し、空中落下法により相対密度が約75%の地盤を作成した。

杭諸元は表-2に示す。実物の杭高さは22mを想定し、土槽の大きさを考慮して、長さの縮尺比(実物/模型)を40に設定した。実物杭は外径400mm、板厚2mmを想定し、模型杭の外径は相似則より10mmとし、板厚は実物と模型の曲げ剛性が一致する1mmと設定した。1g場における地盤・構造物系の模型振動実験の相似則³⁾を適用した。

実験の載荷速度は0.5mm/s、杭頭部の最大水平変位は20mmとした。相似則より実物の載荷速度は7.95cm/s、杭頭部の最大水平変位は5mとなる。

データロガーを用いて、荷重、水平変位、ひずみの時刻歴データを記録した。各計測機器の取付位置は図-1に示す。杭頭が変位する方向を杭前面、その反対側を杭背面として、ひずみゲージは両面に取り付けた。

3. 実験結果と考察

Case4を例に、水平変位、ひずみの時刻歴を図-2に示す。杭頭変位は計画した速度で増加し、杭中央、下端付近では変位がほとんど生じていない。ひずみは杭前面と背面で絶対値が概ね同じであり、杭下端を固定していないため軸力が生じていないことを意味する。これ以降、杭頭変位5mm時点为例に結果を示す。

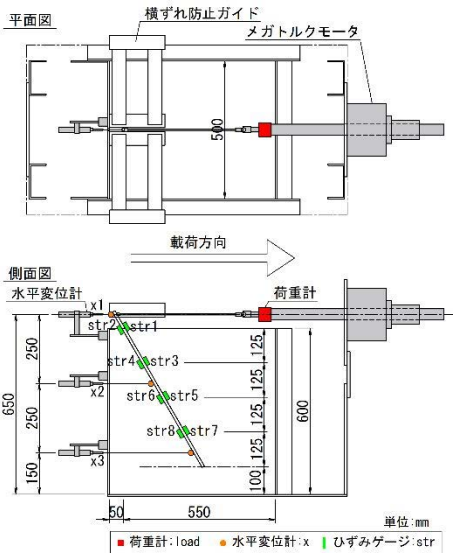


図-1 実験概要図(Case 4)

表-1 検討ケース

	初期傾斜角
Case1	0°
Case2	10°
Case3	20°
Case4	30°

表-2 杭諸元

外径 (mm)	10
肉厚 (mm)	1
ヤング係数 (kN/m ²)	7.00×10 ⁷
断面積 (m ²)	2.83×10 ⁻⁵
断面二次モーメント (m ⁴)	2.90×10 ⁻¹⁰
曲げ剛性 (kNm ²)	2.03×10 ⁻²

キーワード 地盤反力係数, 控え杭, 水平載荷模型実験, 耐震性能, 変形係数

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) TEL06-6160-2162

ひずみ、杭軸直角方向変位、地盤反力、SRM の深度分布を図-3 に示す。杭頭の変位方向に凸となるひずみを正とする。ひずみの深度分布は、計測した4点間を4次 spline 補間、地表面から杭頭の間は地盤反力が作用しないため線形補間して求めた。4次 spline 補間では、地表面で地盤反力が0となり、地表面の上と下でひずみの傾きが等しくなる2つの境界条件を与えた。ひずみを2回積分して水平変位を求め、傾斜角に応じて杭軸直角方向の変位に換算した。地盤反力は、ひずみより計算した曲げモーメントを2回微分、SRM は地盤反力を変位で除して求めた。SRM は深度方向に概ね線形で増加するが、深度130mm以深では変位が小さいために、SRM が極端に大きい、もしくは小さい値となった。

杭傾斜角とSRM比の関係を図-4 に示す。凡例は深度を示す。傾斜角の増加に伴いSRM比は減少する。同図の切片を1として線形近似を行い、その傾きを杭傾斜角に対するSRM比変化率とする。図-5 にSRM比変化率の深度分布を示す。深度の増加に伴いSRM比変化率は小さくなる。

図-6 にSRMに寄与する地盤のイメージを示す。特定の深度に着目して杭から杭軸直角方向に直線を引くと、杭傾斜角が大きいほど変形係数の小さい地表面付近の地盤がSRMに寄与することが分かる。

これが傾斜角の増加に伴うSRM比の減少要因である。地盤の変形係数に着目して、杭傾斜角に応じたSRMの算出手順を示す。①SRMに寄与する地盤長 L を、傾斜角によらず、傾斜角 30° の杭から地表面までの杭軸直角方向の長さとして仮定し、それを n 個に分割して分割片長さを $l_i=L/n$ とする。②杭の変位により地盤に等分布荷重 q が作用すると仮定し、ニューマーク法⁴⁾により地中応力 σ_i を求める。③変形係数 E_i を用いて、 $\sigma_i=E_i\Delta l_i/l_i$ の関係式より地盤圧縮量 Δl_i を求める。④杭の変位量は $x=\sum \Delta l_i$ と考え、作用荷重 q を変位量 x で除してSRMを求める。

杭傾斜角と上記手法で求めたSRM比の関係を図-4 に、SRM比変化率の深度分布を図-5 に示す。実験と同様に、傾斜角の増加に伴いSRM比が減少し、深度の増加に伴いSRM比変化率が減少する。しかし、実験ではSRM比変化率が地表面付近で急激に減少する一方、計算では深い位置で急激に減少する。SRMに寄与する地盤長を傾斜角 30° の杭から地表面までの長さとして仮定したこと、地盤への作用荷重を等分布と仮定したことが要因と考えられる。

4. まとめ

杭の水平載荷模型実験により、傾斜角ごとにSRMの深度分布を求め、傾斜角とSRM比の関係、SRM比変化率の深度分布を示した。さらに、傾斜角の違いを評価できるSRMの算出手法を示し、実験結果の再現を試みた。実験と同様に、SRM比変化率は深度方向に減少する結果となったが、SRM計算時に地盤への作用荷重を等分布と仮定したこと等により、実験値と計算値の不一致も確認されたため、本手法の精度向上が今後の課題である。

参考文献 1) Roth W.H., et al., Batter piles and the seismic performance of pile supported wharves, Proceedings of Ports'92, ASCE, Seattle, WA, 1992, pp. 336-349., 2) 久保浩一, 杭の横抵抗に関する実験的研究(その3)一斜杭および頭部固定杭の横抵抗一, 運輸技術研究所報告, Vol. 12, No. 2, 1962, pp. 182-190., 3) S. Iai, Similitude for Shaking table test on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field, Soils and Foundations, Vol. 29, No. 1, 1989, pp. 105-118., 4) 澤孝平, 地盤工学(第2版), 森北出版, 2009, pp. 142-144.

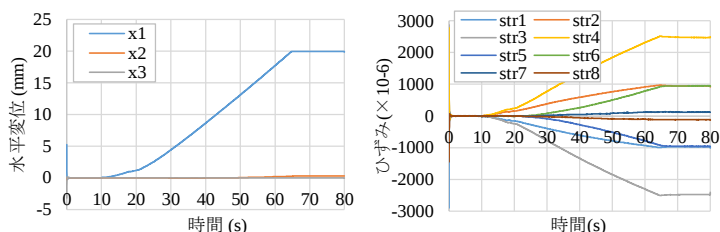


図-2 水平変位、ひずみの時刻歴(Case 4)

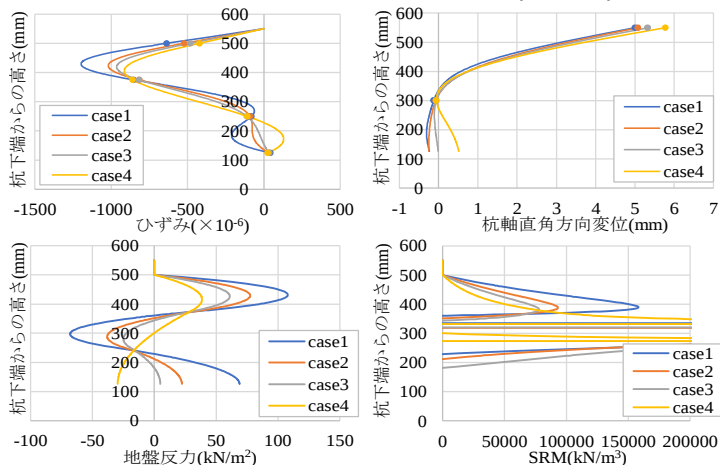


図-3 ひずみ、変位、地盤反力、SRMの深度分布

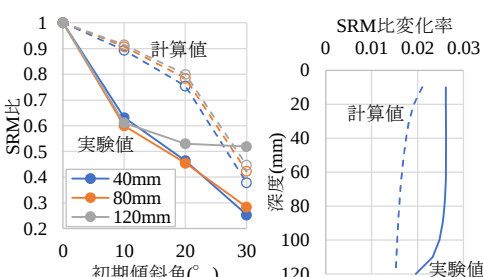


図-4 杭傾斜角とSRM比の関係

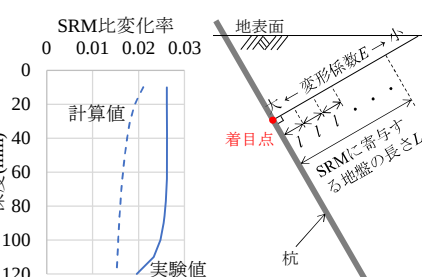


図-5 SRM比の変化率

図-6 SRMに寄与する地盤イメージ