

群馬大学 学生会員 若井明彦
 群馬大学 正会員 橋銅恵三

1. はじめに

上部構造物の設計が限界状態設計法へ移行するのを受けて、従来から非線形性の著しいことで知られていた杭の水平載荷問題についても、大変形時の挙動を解明する動きが活発化してきたため、筆者らはいくつかのケースの杭基礎について静的な室内水平載荷実験を行うとともに、それらを地盤の材料定数をそのまま用いた3次元弾塑性FEMによってシミュレートすることを試みた。

2. 解析手法

対象としたケースは単杭および3本直列杭（杭間隔2D）である。室内実験に用いた地盤は小名浜砂、杭はアルミ製の中空円筒杭（直径5cm、肉厚1.5mm、長さ175cmうち5cmは地盤上に突出）である。解析に用いた材料定数はすべて要素試験の結果に基づいた。解析領域の寸法も実験をできるだけ忠実に再現したが、簡単

化のため杭頭の地盤上突出部は省略して解析を行った。そのため以下の図中には実験との載荷位置高さの違い（5cm）による補正がなされている。杭は弾性体とした。地盤は弾完全塑性体・非関連流れ則を仮定し、降伏規準にはMohr-Coulomb、塑性ポテンシャルにはDrucker-Pragerを用いたMC-DPモデルを採用、過度な引張りが生じるのを防ぐために no tension 解析も行った。ヤング率Eは要素試験結果に合うよう深さの平方根に比例すると仮定し、三軸試験結果より $c=0$, $\phi=42^\circ$, $\phi=15^\circ$ とした。杭に接する要素は杭との滑りを考慮して強度定数を小さくした（ $\phi=25^\circ$, $\phi=0^\circ$ ）。反復計算には修正Newton-Raphson法を用いた。最大水平変位量は杭径の10%とし、ステップ数は5000とした。

3. 結果

図2は単杭の荷重-変位曲線である。図中には載荷位置補正をしたものも併記した。実験と解析はよく一致している。図3は杭内の曲げ歪の分布である。水平変位量が大きくなるにつれ歪ピーク位置の深部化が進むことがわかる。これは地盤内の塑性化が進行したため、浅い位置から地盤反力が低下していく

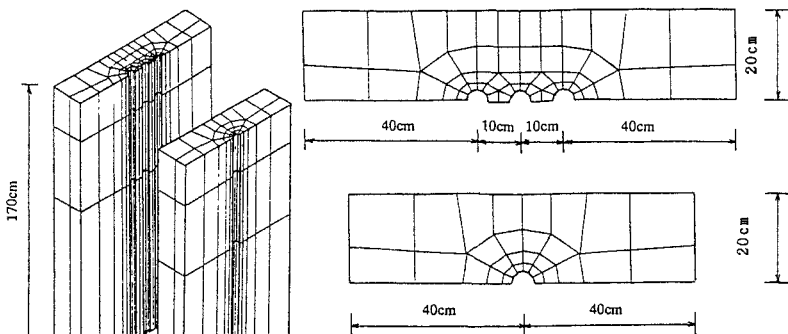


図1 メッシュ分割図

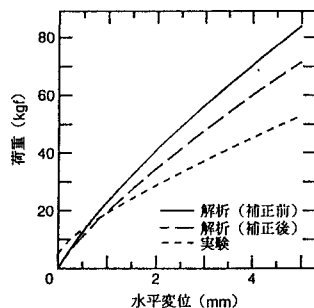


図2 荷重-変位曲線（単杭）

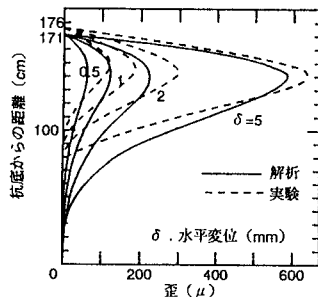


図3 曲げ歪分布曲線（単杭）

ことを意味している。

図4は3本直列杭の各杭の荷重－変位曲線、図5は解析値のみを荷重分担率（前方杭を1.0とした）で表したものである。初期には前方杭、後方杭の荷重が一致し、その後急激に後方杭の分担率は下がっていくことがわかる。荷重分担率の低下はその杭の受動側地盤の抑え効果が弱まったことによるもので、これは図6に示した曲げ歪分布図（解析値）で、各杭の歪ピーク位置深部化の進行の度合いがそれぞれ異なることから容易に推察される。図7は最大水平変位時の地盤表面の変形状（解析値）で、向かって左方が載荷方向である。前方杭の前面に大きな隆起、後方杭の背面に大きな沈下が見られるが、それらと比較して杭間部地盤の隆起は顕著でない。図8は同じ時点の地盤内せん断歪分布（解析値）の平面図である。やはり載荷前面地盤（左方）内の塑性化が著しい。群杭を取り囲む形で滑り線が見られる一方で、杭間部地盤の歪が特に小さいことは、この部分の地盤が杭体と一体となって移動することを意味している。

4. おわりに

要素試験結果をそのまま用いた3次元弾塑性FEMにより、単杭・群杭の水平載荷時挙動を十分にシミュレートすることができた。筆者らは今後これを動的問題にも応用する予定である。

参考文献

- 1) D. A. Brown, C. F. Shie, Numerical experiments into group effects on the response of piles to lateral loading, *Computers and Geotechnics*, 10, 211-230, 1990

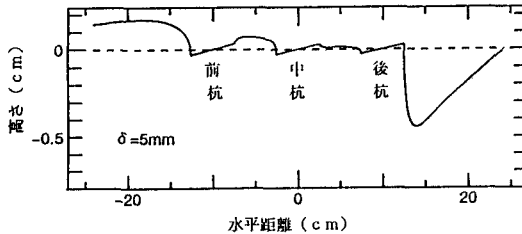


図7. 地盤表面の変形状（3本杭；解析）

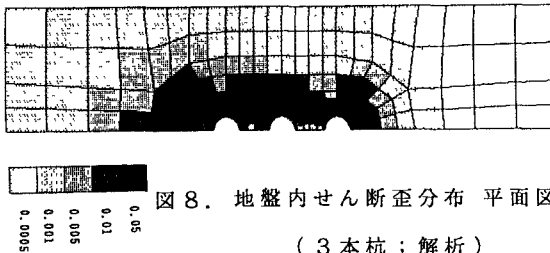


図8. 地盤内せん断歪分布 平面図
（3本杭；解析）

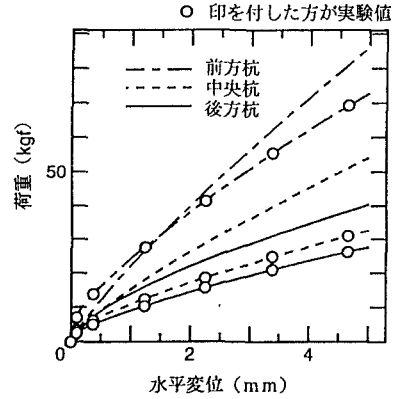


図4. 各杭の荷重－変位曲線（3本杭）

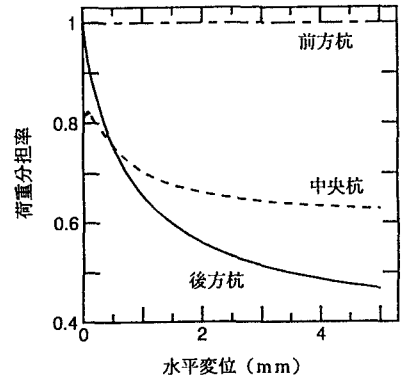


図5. 各杭の荷重分担率曲線（3本杭；解析）

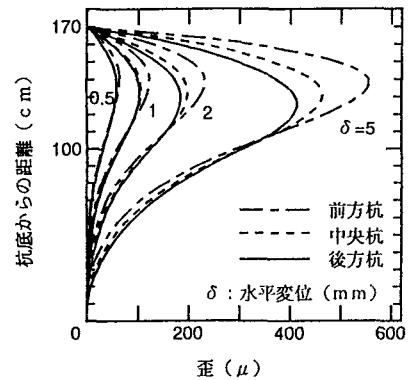


図6. 各杭の曲げ歪分布曲線（3本杭；解析）