

III-B 21 掘削の影響を受けた杭の水平抵抗に関する遠心模型実験と数値解析の比較

日建設計中瀬土質研究所 正 ○大石幹太 正 斎藤邦夫
東日本旅客鉄道(株) 正 栗山道夫 正 石川文雄

1. はじめに

近年、土地の有効利用のため既存の構造物に近接した工事が増加している。構造物が杭基礎で支持されている場合、杭に対する掘削の影響(水平地盤反力係数の低減など)を事前に検討する必要があるが、その評価手法は確立されてはいない。そこでこのような場合の評価方法の確立を目的として、一連の遠心模型実験を実施すると共に数値解析を行ったので報告する。

2. 遠心模型実験の概要

遠心模型実験は1/50に縮尺した模型を用いて、50Gの遠心加速度場で杭の水平載荷を行った。実験に用いた模型の形状を図-1に示す。検討対象とした杭は直径1000mmの場所打ちコンクリート杭で、地盤は密な砂地盤である。杭のモデル化に際してはその水平投影面積と曲げ剛性(EI)を指標に取り、矩形断面(8.4mm×20mm)の鉄製プレートに模型杭に用いた。地盤材料は豊浦標準砂で、相対密度80~85%となるように空中落下法により作成した。実験は、水平地盤並びに掘削シミュレート後の斜面地盤(以下、掘削地盤と称す)における杭の水平載荷実験で、杭の荷重-変位関係と曲げひずみを求めた(図-4、5参照)。実験ケースとしては、水平地盤および掘削地盤とも長杭と短杭を行っているが、解析の対象は長杭とした。実験についての詳細は、参考文献¹⁾を参照されたい。

3. 解析方法とモデル

(1)解析方法

解析は初段階としてまずFEM平面ひずみ解析を行った。解析手法は荷重増分法を用い、各荷重ステップにおける応力-ひずみの関係は平均応力法により設定した。掘削のシミュレートは実験(図-1参照)と同様に行った。解析に用いたメッシュ図を図-2に示す。

(2)材料のモデル化

杭は鉄製のプレート($EI=1.3 \times 10^{12} \text{kgf} \cdot \text{cm}^2$; 実物換算)を弾性体として解析した。

砂地盤のモデル化については、杭の荷重-変位曲線を求めることから砂地盤の変形に関して再現性の良い構成式を採用する必要がある。そのため、応力-ひ

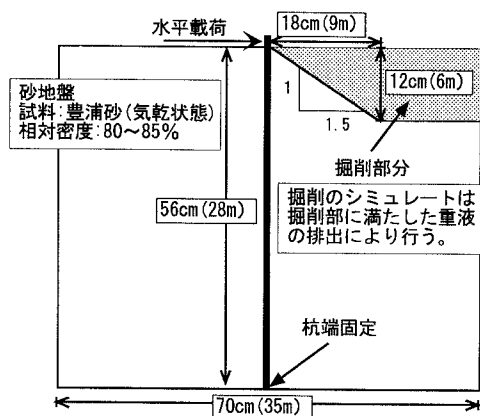


図-1 模型の形状〔()内は実物換算の値〕

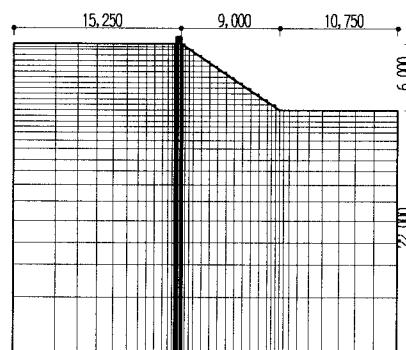


図-2 解析のメッシュ図(掘削後、単位mm)

表-1 砂地盤の双曲線パラメータ

双曲線パラメータ	
K	723
Kur	867
n	0.83
Kb	378
m	0.67
$\phi_0(^{\circ})$	42.7
$\Delta\phi(^{\circ})$	5.0
$c(\text{tf/m}^2)$	0.0
Rf	0.86

ずみ関係には Duncan ら(1980)²⁾の双曲線関数を用いて非線形弾塑性解析を行った。砂地盤の双曲線パラメータは、相対密度 80%及び 85%の豊浦砂の三軸CD試験(それぞれ 3 種類の拘束圧、計 6 本)の結果から Duncan ら(1980)²⁾の方法により設定した。解析に用いた砂地盤の双曲線パラメータを表-1 に示す。また、このパラメータによる応力-ひずみの近似曲線と三軸試験の結果の比較を図-3 に示す。この図から砂の応力-ひずみ関係がこの方法により十分に再現できていると言える。なお、砂地盤の静止土圧係数 K_0 は 0.75 と仮定した。

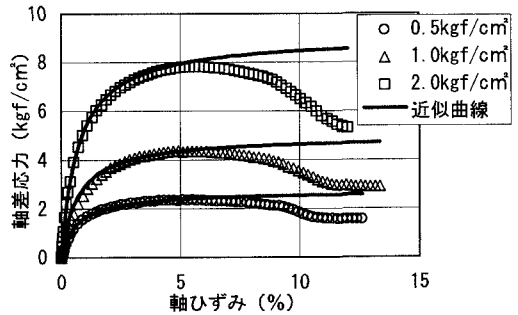


図-3 豊浦砂の応力-ひずみ関係 ($D_r=80\%$) と双曲線パラメータによる近似曲線

4. 解析結果

図-4 に実験結果と解析結果から求められた杭の荷重-変位関係を示す。なおここには、解析結果として傾斜地盤とあるが、これは掘削を行わず最初から掘削後の形状を呈している地盤を指している。解析結果は水平地盤、掘削地盤とも比較的良好に実験結果を再現している。また掘削のシミュレートについても、掘削地盤と掘削を考慮していない傾斜地盤との比較より、掘削による影響が再現されていると言える。しかしながら、荷重が大きくなるにつれ、実験結果と解析結果の水平変位の差が開いていく傾向にある。これは砂地盤の K_0 値が 0.75 と比較的大きな値を仮定したため、結果として地盤を強めに評価したことが原因と思われる。

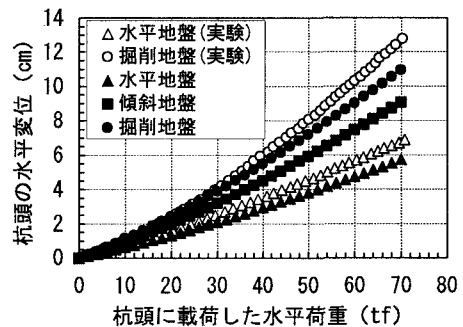


図-4 杭の荷重-変位関係(値は実物換算)

図-5 は、掘削地盤において水平載荷荷重が 10tf(実物換算)のときの杭に発生した曲げひずみの実験結果と解析結果を示している。これらは掘削後の水平載荷による曲げひずみを表しており、掘削に伴って発生した分の曲げひずみを含んではいない。この図より、解析は杭の曲げひずみについてもほぼ実験結果を再現することができたと言える。

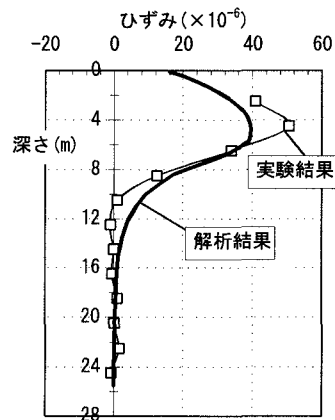


図-5 杭の曲げひずみ分布(水平載荷荷重10tfのとき)

5. まとめ

今回の解析に用いた Duncan らの方法による双曲線パラメータは、三軸試験で得られた応力-ひずみ関係と非常に良い対応を示し、またこのパラメータを用いた長杭に対する平面ひずみ解析は、比較的良好に実験を再現した。今後は短杭も含めた検討をするために 3 次元解析を行う必要があると考えられる。

参考文献 1) 佐藤ら(1996)：掘削後の杭基礎の水平抵抗に関する実験研究、土木学会第 51 回年次学術講演会。

2) Duncan ら(1980)：Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses of Stress and Movements in Soil Masses, Geotechnical Engineering Research Report No. UCB/GT/80-01 U. C. Berkeley, August, 1981.