

軟弱粘土地盤中の杭基礎橋台の裏込め築造後の長期的挙動について

港湾技研 正会員 ○渡部要一 東京工大 正会員 竹村次朗
東京工大 正会員 廣岡明彦 東京工大 正会員 木村 孟

1. はじめに 軟弱粘土地盤中の杭基礎橋台背面に裏込め盛土を施すと、粘土地盤は裏込め築造とともに発生する即時変形後も応力一定の状態では生じる非排水クリープや圧密変形を生じる。本研究では、裏込め築造後の粘土地盤の非排水クリープや圧密といった現象が杭基礎の変形挙動に与える影響について調べることを目的として、遠心模型実験ならびに有限要素解析を行った。

2. 実験条件と方法 遠心模型実験に用いた杭基礎橋台模型の詳細を図1に示す。実験に用いた模型杭は外径10mm, 肉厚0.17mmのステンレス製パイプで、杭頭部分は模型橋台に剛結され、杭の内側には杭軸方向に20mm間隔でひずみゲージが貼付してある。この模型杭を100gの遠心加速度場で用いた場合、実物換算で外径1m, 肉厚17mmの鋼管杭に相当する。杭先を下部支持砂層に根入れしたケースと杭先を実験容器底面と剛結にして杭先端の境界条件を明確にしたケースについて実験を行った。実験では、表1に示す諸特性を有する塑性指数約30の川崎粘土を用いて正規圧密粘土地盤(軟弱層厚は杭径の14倍)を作成し、図2に示す実験システムを組み上げ、これを100gの遠心加速度場に置いて粘土の自重圧密を完了させた後、30秒毎に約10mmの裏込めの築造を行った。高さ約45mm(地盤が破壊に至る裏込め高さの3分の2程度¹⁾)まで裏込めの築造を完了した後、過剰間隙水圧が消散するまで100gの遠心加速度場で放置して杭基礎橋台の長期挙動を調べた。

3. 有限要素解析 本研究で用いた解析コードはCRISP²⁾であり、図3に示す有限要素メッシュを用いて、上記の遠心模型実験のうち杭先固定ケースのシミュレーションを行った。粘土地盤には修正カムクレイモデルを、また裏込め材には弾完全塑性体を適用した。地盤材料の入力パラメータは表2に示す通りである。解析では、30秒毎に10mmずつ裏込めの要素を追加していく方法により高さ40mmまで裏込めを築造し、その後長期間放置する計算を行った。高さ40mmまでの裏込め築造過程を計20ステップ、約10⁵秒(実物換算で約32年)の長期放置期間是对数軸上で時間間隔がほぼ等間隔になるようにして12ステップで計算した。解析条件ならびに上記の実験条件を合わせて表3に示す。

4. 結果と考察 図4は地盤内に発生する過剰間隙水圧の経時変化を示したものである。杭先砂層ケースは杭先固定ケースに比べ杭基礎構造物の水平変位が大きいために、より大きな応力が構造物前面側の地盤に伝播していることがわかる。計算により求められる橋台前面側の過剰間隙水圧は実験結果に比べ非常に小さく、逆に裏込め側の地盤に発生する過剰間隙水圧は実験結果に比べ非常に大きくなっているが、経時変化の傾向に関しては、計算結果は実験結果を非常に良く再現できているといえる。

図5は橋台上面の水平変位の変化を示したものである。杭先を砂層に根入れしたケースでは杭先付近の拘束がやや

表1 川崎粘土の特性

Wt %	52.4
Wp %	23.1
Ip	29.3
ρs g/cm ³	2.69
Cc	0.327
Cs	0.046
e at σv' =98kPa	1.040
cu/σvc'	0.400

表2 実験および解析条件

Case	Pile spacing (mm)	Depth of clay (mm)	Pile tip condition	Backfill height (mm)
Sand	35	140	Sand	43
Fixed	35	140	Fixed	45
FEM	35	140	Fixed	40

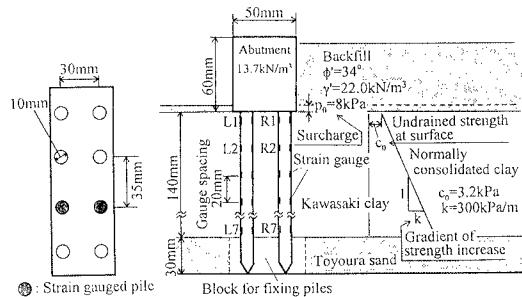


図1 杭基礎橋台模型

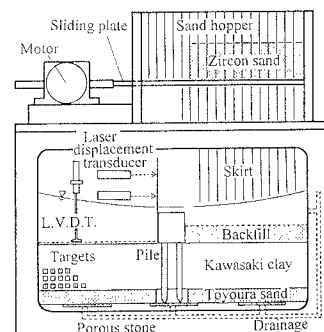


図2 実験システム

表3 入力パラメータ

Material	κ	λ	c _{cs}	M	v	k _v (m/sec)	k _s (m/sec)	γ(kN/m ³)
Clay	0.02	0.145	1.545	1.60	0.35	5.0×10 ⁻¹⁰	5.0×10 ⁻¹⁰	17.3
Material	E(kPa)	v	c(kPa)	φ(deg)	γ(kN/m ³)	Yield criterion		
Backfill	10000	0.35	5.0	34.0	21.95	Mohr-Coulomb		

小さく杭先での回転が生じるため、杭先を固定したケースに比べ水平変位が大きく、裏込め築造時には1.5倍程度、長期放置後の最終変位では2.5倍程度の水平変位が生じている。裏込め完了後の放置期間に着目すると、杭先を砂層に根入れしたケースでは、非排水クリープの影響により時間の経過とともに橋台の水平変位は著しく増加していき、その後圧密が卓越するようになると最終的にほぼ一定値となっている。一方、杭先を固定したケースでは、裏込め築造後、時間とともに橋台の水平変位は徐々に増加していくが、その増加量は杭先砂層のケースに比べ非常に小さい。また、ある程度時間が経過し、圧密が卓越するようになると水平変位は減少に転じている。過剰間隙水圧が減少し始める時刻の方が橋台の水平変位が減少し始める時刻より早いことから、構造物の変形挙動に圧密の影響が現れるのは、圧密がある程度進行してからであることがわかる。杭先固定ケースの実験結果と解析結果との対応に着目すると、計算により求められる水平変位は、実験の計測値の半分程度と非常に小さいものの、圧密が卓越するようになると水平変位が減少して構造物の挙動が安全側に向かうことを計算によって評価できている。しかし、今回用いた修正カムクレイモデルが粘土地盤の非排水クリープを表せないことから、本解析では、裏込め築造後に橋台の水平変位が一旦増加する現象を表すことはできない。

図6は実験で計測された杭に生じる曲げモーメントの変化を示したものである。杭先を砂層に根入れしたケースでは、橋台の水平変位は放置期間中に著しく増加していたが、曲げモーメントの変化においてはほとんど増加は見られない。一方、杭先を固定したケースでは曲げモーメントは橋台の水平変位に対応した変化をしており、裏込め築造後曲げモーメントが一旦増加し、その後減少に転じている。このため杭が最も危険になるのは、放置後しばらくして曲げモーメントがピーク値に達する時点であるといえる。

5. まとめ 杭先の拘束が大きい場合には、橋台の水平変位はそれほど重大な問題とはならないが、杭に発生する曲げモーメントにより杭の安全性を考慮する必要がある。一方、杭先の拘束が小さい場合には、杭に発生する曲げモーメントはそれほど大きくならないが、裏込め築造時のみならず長期的にも橋台の水平変位が非常に大きくなることに対する考慮が必要である。いずれの場合においても、十分に時間が経過して圧密が進行すると杭基礎構造物の挙動は安全側に向かう。圧密の進行により安全側に向かう挙動は、有限要素解析によっても確認できた。

参考文献 1)渡部ら(1994); 裏込め荷重を受ける軟弱地盤中の杭基礎橋台の長期挙動について, 第49回土木学会年次学術講演会。
 2)日下部(1994); カムクレイと数値解析, 土と基礎, Vol.42, No.2, pp.63-70.

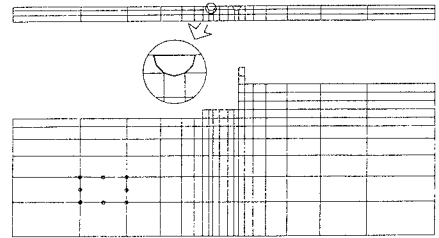


図3 有限要素メッシュ

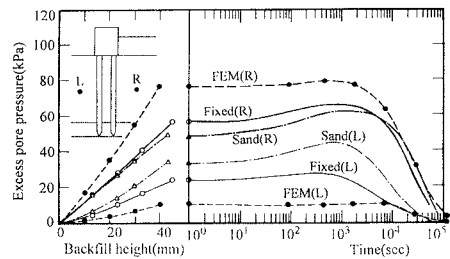


図4 過剰間隙水圧の変化

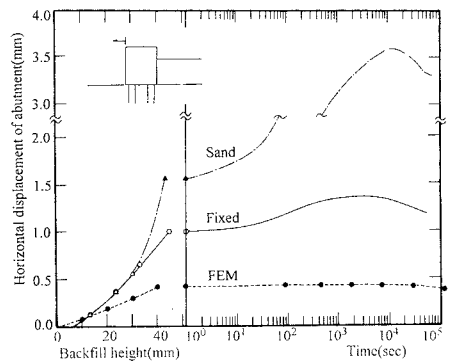


図5 橋台の水平変位の変化

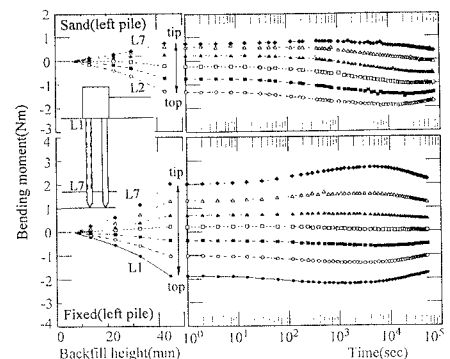


図6 曲げモーメントの変化