

浸透力を用いた相似模型実験による杭の引き上げ実験(その2)

～ひずみゲージによる杭の軸力分布の測定～

中央大学理工学部土木工学科 正会員 國生 剛治, 原 忠

学生会員 ○石口 隆志, 須田 昌矢

1. はじめに

従来, 杭の模型実験を行うために遠心载荷装置が用いられてきた. しかし, 遠心载荷装置は地盤の拘束圧を正確に再現可能な反面, 特殊な装置ゆえに手軽に実験が行えないなどの問題を有している. 本研究ではそれに代わり, 浸透力を用いた重力場での簡便な相似模型実験方法を適用し, 杭の引き上げ実験を行っている. 引き上げ実験では杭の引き上げ支持力に与える载荷速度の影響を検討することを目的としている. ここでは, ひずみゲージにより杭の軸力分布を調べた.

2. 実験方法

図-1 は実験装置の概略, 図-2 はひずみゲージを有する模型杭の概略を示す. ゲージは杭の内側に 図に示すように 40(mm)間隔で 6ヶ所に貼り付けられている. 杭は外径 11(mm), 肉厚 0.5(mm), 長さ 250(mm)の真ちゅう製で, 摩擦力を増加させるため杭周面に接着剤で豊浦砂を貼り付けた. アクリル製円筒セル内部にはシンフレックスチューブが杭周辺地盤の間隙水圧を計測するために取り付けられている<sup>1)</sup>. 円筒セル底面と杭先端とを 40(mm)離して設置し, 円筒セルの中に模型地盤を作製し, それに下向きの浸透力を加える. 水圧が一定になり圧密が終了するまで 120 分ほど時間を置いてから, 杭の引き上げ実験にかかる. 杭の引き上げは変位制御で行い, 载荷速度を 2~20(mm/s)まで調節できるモーターを用いた. 地盤材料には実験時間を長くさせるために, 砂より透水係数の小さなシルト粒径の非塑性石粉を用いた.

表-1 に実験ケースを示す.  $D_r(\%)$ は圧密後の相対密度,  $L(\text{mm})$ は圧密後の模型地盤の高さ,  $\rho_{\text{sat}}(\text{g}/\text{cm}^3)$ は地盤の密度,  $\rho_m(\text{g}/\text{cm}^3) = (i_w + (\rho_{\text{sat}} - \rho_w))$ は地盤のみかけの密度<sup>2)</sup>,  $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$ は石粉の湿潤密度,  $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ は石粉の乾燥密度,  $T(\text{min})$ は圧密時間を示している. 表-1 より  $\rho_m = 57(\text{g}/\text{cm}^3)$ なので, 実地盤が地表まで飽和した砂地盤と仮定し  $\rho_{\text{sub}} = 0.8(\text{g}/\text{cm}^3)$ とすると長さの縮尺は  $n = 57/0.8 = 71$  となり, 杭長 18(m)の実験に相当する. また,

表-1 より  $L = 266(\text{mm})$ なので, 同様に考えると実地盤では 19(m)の高さに相当する. すべての実験ケースで杭の引き上げ実験の最大変位は 40(mm)とした. 相似則を考慮し, 本実験の条件における模型と実物の透水係数の比を考えると,  $k_m/k_p = v/n$ で表される. ここで  $v$  は模型と地盤の速度の比( $v_m/v_p$ )であり, 本実験における再現地盤を砂地盤と仮定し  $k_p = 1.0 \times 10^{-3}(\text{cm}/\text{s})$ とすると,  $v_m$ の値から実物の引き上げ速度を計算できる.

キーワード 浸透力, 動水勾配, 模型実験, 杭, 相似則

連絡先 中央大学理工学部土木工学科土質研究室 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel03-3817-1799

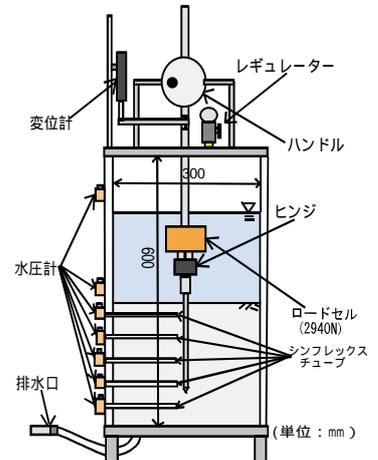


図-1 実験装置概略

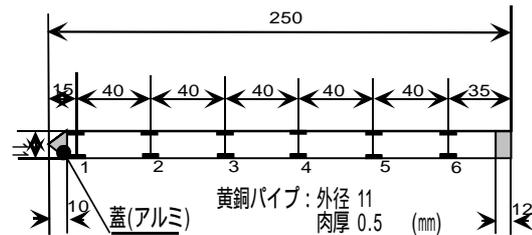


図-2 模型杭概略

表-1 実験ケース

case	1	2	3	4	5
$D_r(\%)$	96	95	96	95	96
$L(\text{mm})$	265	267	266	267	265
$\rho_{\text{sat}}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.970	1.962	1.966	1.960	1.969
$\rho_t(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.549	1.536	1.542	1.534	1.548
$\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.541	1.528	1.534	1.525	1.539
$\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	57.6	57.1	57.3	57.0	57.5
$T(\text{min})$	80	120	120	120	120
透水係数 $k_m(\text{cm}/\text{s})$	$3.1 \times 10^{-5}$	$2.9 \times 10^{-5}$	$2.8 \times 10^{-5}$	$2.9 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$
引き上げ速度 $V_p(\text{mm}/\text{s})$	2	2	8	14	20
最大引き上げ力(N) [変位40mm]	$2.12 \times 10^2$	$1.92 \times 10^2$	$2.95 \times 10^2$	$3.17 \times 10^2$	$3.23 \times 10^2$
透水係数 $k_p(\text{cm}/\text{s})$	$1.0 \times 10^{-3}$				
引き上げ速度 $V_p(\text{mm}/\text{s})$	0.91	0.97	3.98	6.78	9.52
最大引き上げ力(kN)	$1.07 \times 10^3$	$9.70 \times 10^2$	$1.49 \times 10^3$	$1.60 \times 10^3$	$1.63 \times 10^3$

### 3. 実験結果と考察

図-3 は case5 において求めた変位と軸力の関係である。この図から case5 も case1 ~ 4 と同様に杭の上部にいくほど軸力が大きくなる傾向が見られる。また、すべてのチャンネルで変位 15(mm)前後から軸力が再上昇している。

図-4 は case5 における引き上げ実験中の変位と水圧の関係を示したものである。変位が 10 ~ 20(mm)付近から 4, 5 チャンネルの水圧が大きく減少していることが分かる。この水圧変化が図-3 に現れている杭の軸力の再上昇に影響していると考えられる。

図-5 は case5 における深さ方向の杭軸力の分布を 5 段階の引き上げ変位において示している。この図ならびに図-3 から、当然ながら杭上部ほど軸力が大きいこと、杭の引き上げ変位が 3(mm)に達するまでの軸力発生が大きく、それ以上の変位による軸力の増加は小さいことがわかる。

図-6 は case5 における深さ方向の周面摩擦力の分布を示している。この図より、先端部を除き杭の周面摩擦力は深さとともにほぼ地盤の深さに比例して増加する傾向が見られる。

図-7 は case5 における鉛直有効応力とひずみゲージ間ごとの周面摩擦応力の関係を示している。ただし杭先端部はそこに発生する cavitation の影響を受けているためか特殊な値を示しているのが削除した。これより、杭の周面摩擦応力は地盤の鉛直有効応力にほぼ比例していることと、摩擦係数がほぼ一定である事が判断できる。静止土圧係数を  $K_0$ 、杭周面の摩擦係数を  $\mu$  とすると、変位 5(mm)の時  $\mu K_0 = 0.75$  となる。また変位が増加すると周面摩擦応力がほぼ平行的に増加する傾向が見られる。

### 4. まとめ

杭の引き上げ変位が 3(mm)程度までの軸力発生が大きく、また、上部にいくほど軸力が大きくなる傾向が見られた。

また引き上げ速度が速いほど杭先端付近の水圧が大きく減少し、杭の軸力が大きくなる傾向が見られた。杭の周面摩擦力は深さとともに比例的に増加する傾向が見られた。

#### <参考文献>

- 1) 國生, 原田ら: 浸透力を用いた杭の相似模型実験法による押し込み・引き上げ支持力に与える載荷速度の影響, 土木学会全国大会代 59 回年次学術発表会
- 2) 帯刀, 島崎ら: 浸透力を利用した杭載荷実験, 第 12 回土質工学研究発表会, pp683 ~ 686, 1997

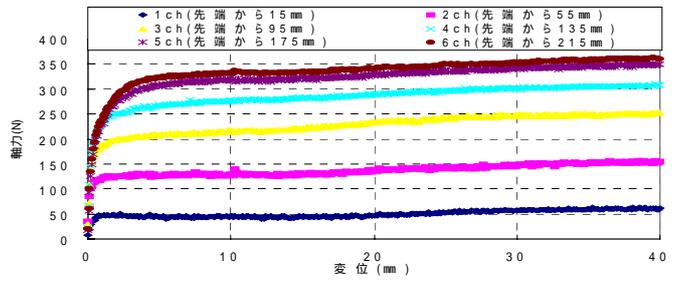


図-3 case5(v=20 mm/s)における変位と軸力の関係

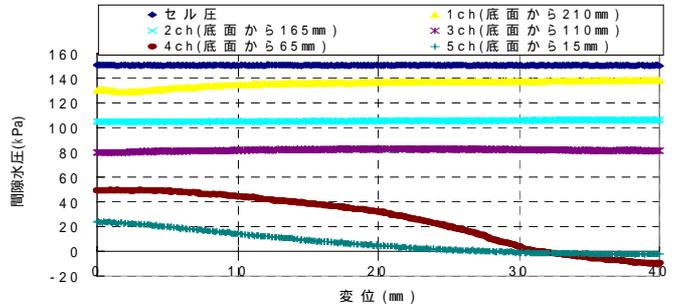


図-4 case5(v=20 mm/s)における引き上げ実験中の水圧変化

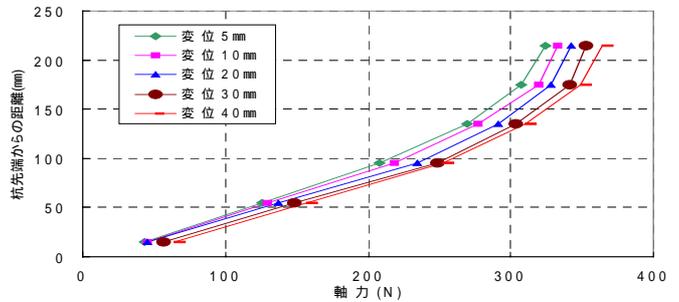


図-5 case5 (v=20 mm/s)における深さ方向の軸力の比較

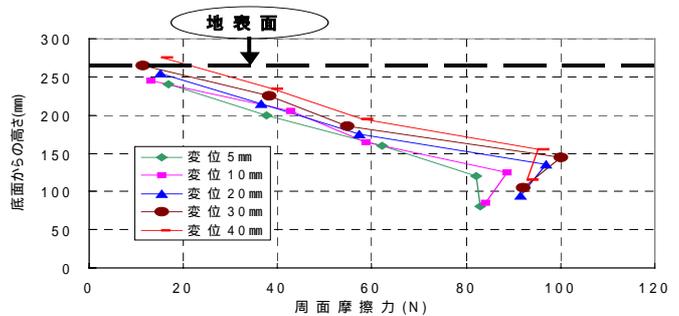


図-6 case5(v=20 mm/s)における深さ方向の周面摩擦力の比較

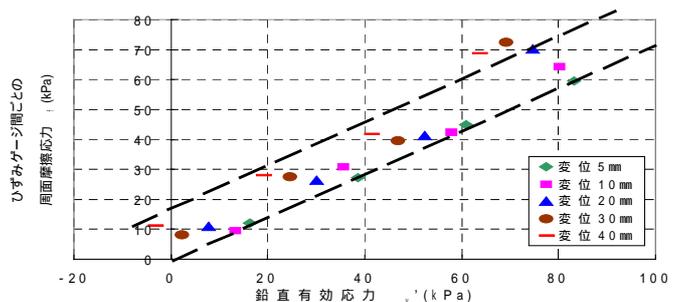


図-7 case5(v=20mm/s)における鉛直有効応力と周面摩擦応力の関係