

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1）

～杭の引き上げ支持力に及ぼす载荷速度の影響～

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 ○須田 昌矢, 石口 隆志

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。遠心载荷装置は地盤の拘束圧を再現可能な反面、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、引き上げ試験を行っている。引き上げ実験では、相似則を考慮し、引き上げ支持力に与える载荷速度の影響、及び杭周辺の間隙水圧の変化を検討する。

2.実験方法

図-1 は実験装置の概略図を示す。内径 300mm, 高さ 600mm のアクリル製円筒セルの中に、まず水を張り、その中に室内乾燥状態の石粉（含水比  $w=0.52\%$ ）を水中に自由落下で堆積させて水中に飽和模型地盤を作製し、それに下向きの浸透力を加える。地盤内部にはシンフレックスチューブ付の水圧計が杭周辺の間隙水圧を計測するために取り付けられている。チューブ先端と杭の周面との離隔距離は 10mm である。また、杭上端部に取り付けられているロードセルで杭全体にかかる鉛直荷重を測定することが

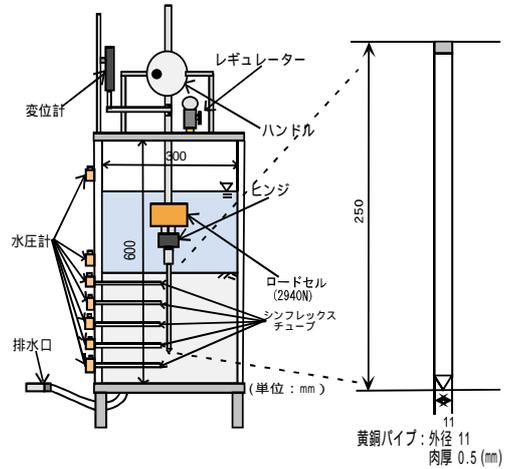


図-1 実験機概要

図-2 模型杭概略

表-1 実験 case

case	1	2	3	4	5	6
Dr(%)	96	95	96	95	99	96
L(mm)	265	267	266	267	259	265
$\rho_{sat}(g/cm^3)$	1.970	1.962	1.966	1.960	1.993	1.969
$\rho_t(g/cm^3)$	1.549	1.536	1.542	1.534	1.585	1.548
$\rho_d(g/cm^3)$	1.541	1.528	1.534	1.525	1.576	1.539
$\rho_m(g/cm^3)$	57.6	57.1	57.3	57.0	58.9	57.5
T(min)	80	120	120	120	120	120
透水係数 $k_m(cm/s)$	$3.1 \times 10^{-5}$	$2.9 \times 10^{-5}$	$2.8 \times 10^{-5}$	$2.9 \times 10^{-5}$	$3.5 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$
引き上げ速度 $V_m(mm/s)$	2	2	8	14	20	20
最大引き上げ力(N) 最大変位時の値	$2.12 \times 10^2$	$1.92 \times 10^2$	$2.95 \times 10^2$	$3.17 \times 10^2$	$3.22 \times 10^2$	$3.23 \times 10^2$
透水係数 $k_p(cm/s)$	$1.0 \times 10^{-3}$					
引き上げ速度 $V_p(mm/s)$	0.91	0.97	3.98	6.78	8.05	9.52
最大引き上げ力(KN) 最大変位時の値	$1.07 \times 10^3$	$9.70 \times 10^2$	$1.49 \times 10^3$	$1.60 \times 10^3$	$1.62 \times 10^3$	$1.63 \times 10^3$

ことができる。杭の引き上げは変位制御で行い、载荷速度を 2~20mm/s まで調節できるモーターを用いた。杭は直径 11mm, 長さ  $l_m=250mm$  の真ちゅう製、及び表-1 のケース 5 のみ鉄製である。引き上げ試験の際は杭先端を地盤底面から 40mm 離して設置した。この杭の側面には摩擦抵抗を増やすために豊浦砂を接着剤により貼り付けている。また杭上端部はヒンジ接合されていて、曲げを受けにくい構造になっている。

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。地盤作成後にゴム製のハンマーにより打撃を与え、締め固める。その後、実験装置上部に取り付けられたレギュレーターを用いて、150kPa のセル圧を加えた。そして、下部の排水口を開けて浸透圧密を起し、水圧が一定になり圧密が終了するまで時間を置いてから、杭の実験にかかった。表-1 に 6 回の実験ケースを示す。ここで添え字 m は模型, p は実物とする。 $V_m(mm/s)$ は引き上げ速度,  $Dr(\%)$ は圧密後の相対密度,  $L_m(mm)$ は圧密後の石粉の高さ,  $\rho_{sat}$  は石粉の飽和密度,  $\rho_t$  は石粉の湿潤密度,  $\rho_d$  は石粉の乾燥密度,  $\rho_m (=i w + (\rho_{sat} - \rho_w))$ は模型地盤のみかけの密度,  $T(min)$ は圧密時間,  $k_m(cm/s)$ は透水係数を示している。なお,  $\rho_w(水の密度)=1.0 g/cm^3$  である。表-1 より,  $\rho_m = 57g/cm^3$  なので, 実地盤が地表まで飽和していて, その密度が  $\rho_{sat} = 1.9g/cm^3$  とすると, 浮力を考えた密度を  $\rho_{sub}=0.8g/cm^3$  と考えたときの長さの縮尺 n は  $n=57/0.8=71$  となり, 実物の杭長は  $l_p=l_m \cdot n=0.25 \cdot 71 = 18m$  の試験に

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

相当する．また，模型地盤の厚さは  $L_m = 266\text{mm}$  なので，同様に考えると実地盤では  $L_p=19\text{m}$  の厚さに相当する．全ケースで杭の引き上げ試験は最大変位を  $40\text{mm}$ (実物対応で  $2.8\text{m}$ )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( $k_m/k_p$ )を考えると，

$$k_m/k_p = v/n$$

ここで， $v$  は模型と実物の載荷速度の比( $v = V_m/V_p$ )である．したがって，モデルと実物での透水係数の比により，モデルと実物の引き上げ速度の比が決まることになる．ここでは，実物の透水係数  $k_p$  は砂地盤を想定して， $k_p=1.0 \times 10^{-3}\text{cm/s}$  と仮定する事とする．

### 3.引き上げ実験の結果と考察

図-3 は，case6 における圧密中の間隙水圧の時刻歴である．この図から約 2500 秒後から間隙水圧は一定に安定しているのので，圧密は終了をしていると考えられるが，約 7000 秒まで圧密を継続してから，杭の引き上げ実験を開始した．

図-4 は，case6 における引き上げ実験中の間隙水圧の時刻歴を示している．この図から，杭の先端が通過する付近の間隙水圧(地盤底面から  $15\text{mm}$ ， $65\text{mm}$ )が引き上げ実験中に減少していく傾向がみられる．また，引き上げ速度が速いほど，水圧は大きく変化している傾向がみられた．これは，引き上げに際し，杭先端付近に cavitation による負圧が発生するためと考えられる．一方，杭の上部の地盤では多少の水圧の上昇がみられるものの，ほとんど影響がないことが分かる．

図-5 は，変位と引き上げ力の関係を示している．引き上げ速度が速いほど，引き上げ力が大きい値をとる傾向がみられた．また，いずれの引き上げ速度でも，引き上げ変位が  $3\text{mm}$  程度まで力は急増するが，それ以降はそれぞれある値の引き上げ力に漸近する傾向が示した．

図-6 は，6 回行った実験に基づく実物対応の杭の引き

上げ速度と最大引き上げ力(最大変位時の値)の関係を示している．この図から，引き上げ速度と最大引き上げ力には右上がりの関係があり，引き上げ速度が速いほど，最大引き上げ力が明らかに大きくなる傾向が得られた．

### 4.まとめ

- ・ 杭の引き上げ実験では，引き上げ速度が速いほど，大きな引き上げ荷重が得られた．また，いずれの引き上げ速度においても，それぞれある値に漸近する曲線を描く傾向がみられた．
- ・ 引き上げ速度が速いほど，杭の先端付近で間隙水圧が大きく減少する傾向がみられた．
- ・ 相似則を考慮して実物の杭に換算した引き上げ速度と最大引き上げ力の関係には，右上がりの傾向がみられた．

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

国大会第 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.

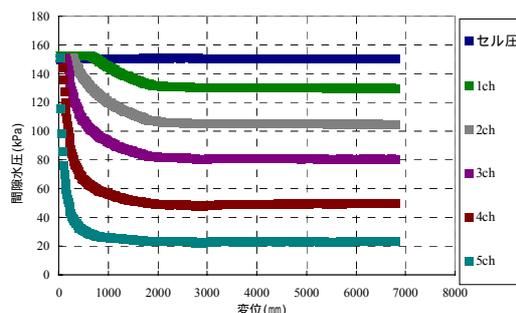


図-3 case6 における圧密中の水圧の時刻歴

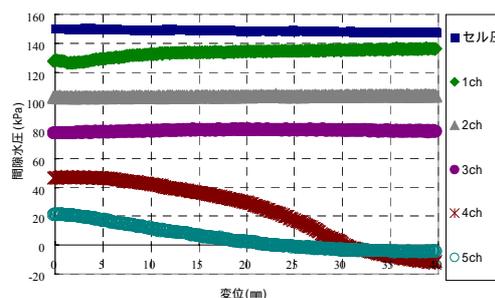


図-4 case6 における実験中の水圧の時刻歴

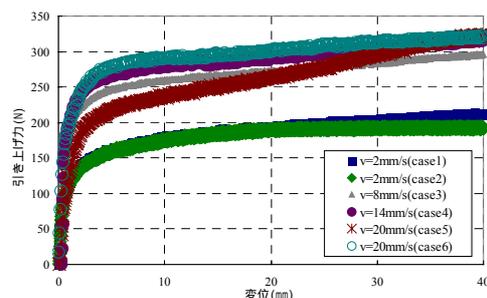


図-5 変位と引き上げ力の関係

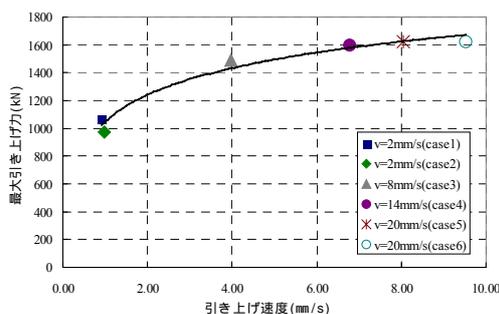


図-6 実物の杭に換算した引き上げ速度と最大引き上げ力の関係