

浸透力を用いた杭の相似模型実験法による引き上げ支持力

中央大学理工学部土木工学科

正会員

國生 剛治

学生会員

○高橋 裕子

非会員

長谷 祐樹

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を行う。実験では杭の引き上げ支持力に与える引き上げ速度の影響の検討を目的としている。ここでは、側面に砂を張り付けた摩擦の大きい杭と砂を張り付けていない摩擦の小さい杭を用いて、杭の引き上げ速度が引き上げ支持力に与える影響について調べた。

2、実験方法

図-1 に実験装置の概略、図-2 に杭の模型を示す。鋼鉄製の杭の摩擦力を増加させるために、杭周面に接着剤で豊浦砂を貼り付けた摩擦の大きい杭と、金属面のままの摩擦の小さい杭を使用した。

内径 300mm、高さ 600mm のアクリル製円筒セルの中にシルト粒径の石粉による模型地盤を作製し、それに下向きの浸透力を加える。内部にはシンフレックスチューブ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。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。鉛直かつ一定の高さに設置されるようにリング型治具を用いて杭の据え付けを行う。杭は直径 11mm、長さ 250mm で、円筒セル底面と杭先端とは 25mm 離して設置した。また杭上端部はヒンジ結合されていて、曲げを受けにくい構造になっている。

杭の設置後に水を張り地盤作製にかかる。水を張った後に、水中落下法により石粉を堆積させ、その後、地盤を安定させるためにゴム製のハンマーで側面を叩き振動を与えて締め固めを行う。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 のセル圧を加えると共に、下部の排水口を開けて浸透圧密を開始する。この時、浸透流量を測定して、模型地盤の透水係数を求める。水圧が一定になり圧密が終了するまで 2 時間程度時間をおいて、杭の引き上げ実験にかかる。

杭の引き上げは载荷速度を調節できるモーターを用いて変位制御で行う。杭にかかる鉛直荷重の変化は模型地盤作製時からロードセルにより

測定を始める。表-1 に実験ケースを示すが、Case1～5 は砂を貼り付けていない杭、Case6～10 では砂を貼り付けた杭を用いた実験である。セル内部の空気圧を 150(kPa)とした場合、砂への浸透力を考えた模型相似則¹⁾に基づき、さらに模型地盤に発生した動水勾配の平均値を用いて計算すると、見かけ

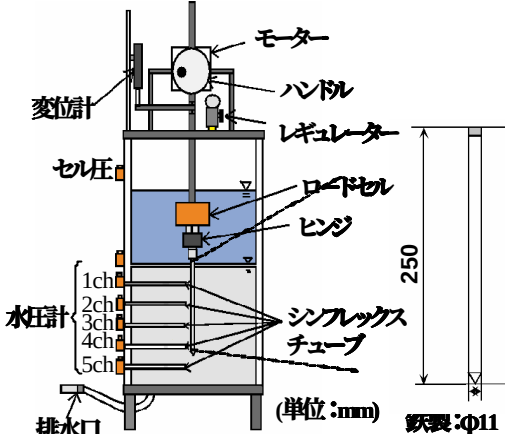


図-1 実験装置概要

図-2 模型杭概略

表-1 実験ケース

杭周面の状態		砂を貼り付けていない					砂を貼り付けてある				
Case		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
模型	相対密度 D_r (%)	91	92	92	94	93	94	94	95.189	92	91
	模型地盤高さ L_m (mm)	264	262	262	258	261	259	258	256.333	262	265
	飽和密度 ρ_{sat} (g/cm ³)	1.94	1.95	1.95	1.96	1.95	1.96	1.96	1.967	1.95	1.94
	湿潤密度 ρ_r (g/cm ³)	1.58	1.60	1.59	1.62	1.60	1.61	1.62	1.628	1.59	1.58
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.48	1.50	1.50	1.52	1.50	1.51	1.52	1.529	1.49	1.48
	ρ_w (g/cm ³)	46.3	37.7	38.1	38.7	37.7	38.0	39.1	43.627	37.6	36.4
	透水係数 k_v (cm/s)	2.7E-05	3E-05	3.4E-05	3.2E-05	2.5E-05	2.3E-05	2.9E-05	2E-05	2.9E-05	2.7E-05
	引き上げ速度 V_u (mm/s)	1	4	10	14	18	2	4	10	14	18
	最大引き上げ力 (N)	136	125	156	159	142	161	224	224	294	287
	透水係数 k_h (cm/s)	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³
実物	引き上げ速度 V_p (mm/s)	0.8	3.3	7.2	11.0	17.9	2.2	3.3	11.3	12.1	17.1
	最大引き上げ力 (kN)	331	198	253	257	224	253	372	455	465	433

キーワード 浸透力, 模型実験, 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

の模型地盤の密度は $\rho_m = 39(\text{g/cm}^3)$ となる。一方、実地盤が地表まで飽和していて、その密度が $1.9(\text{g/cm}^3)$ とすると、浮力を考えた密度は $\rho_{\text{sub}}=0.9(\text{g/cm}^3)$ であり長さの縮尺 n は $n=39/0.9=43$ となり、杭長 $10.8(\text{m})$ 、杭径 $0.4(\text{m})$ に相当する。模型地盤の平均厚さは $L_m = 260(\text{mm})$ なので、同様に考えると実地盤では $11(\text{m})$ の高さに相当する。模型と実物の透水係数の比を相似則に基づいて考えると、 $k_m/k_p=v/n$ で表される。ここに、 v は模型と実物の、杭の引き上げ速度の比(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 $k_p=1.0 \cdot 10^{-3}(\text{cm/s})$ とすると、 v_m の値から実物の引き上げ速度 v_p を計算できる。

3. 実験結果と考察

図-3はCase5, 10における圧密中の時刻歴である。どちらのケースにおいても圧密中にネガティブフリクションにより杭に引張り力がかかっていることがわかる。豊浦砂を貼り付けた周面摩擦の大きい杭では途中で引き上げ力の急激な変化が見られる。これは模型杭に沿って高い動水勾配により発生した地盤のパイピング現象によるもので、ハンマーによる軽い打撃を外から与えることによって、再び安定する。

図-4は周面摩擦の大きい杭における変位と引き上げ力の関係、図-5は周面摩擦の小さい杭における変位と引き上げ力の関係を示したものである。変位ゼロの縦軸上にプロットされたマークは各載荷速度の実験での圧密終了時において杭に働いている引張り力である。どちらの杭についても引き上げ開始と同時に引き上げ力が急激に上昇し、ごく小さな変位で最大値を示し、その後徐々に一定の残留値に近づいていく。図-4より引き上げ速度が速くなるほど最大値が大きくなり、残留値が小さくなるということがわかる。図-5も同様に引き上げ速度が速くなるほど最大値が大きくなるが、残留値にはばらつきが見られた。

図-6は各ケースにおける最大引き上げ力と引き上げ速度の関係を示している。データのばらつきはあるが、摩擦の大きい杭の方が最大引き上げ力は大きい。どちらも引き上げ速度が速い最大引き上げ力が大きくなっているが、摩擦の小さい杭では摩擦の大きい杭ほど明確な増加傾向は見られなかった。

4. まとめ

- ・ 摩擦の大きい杭、小さい杭共に、ごく小さな変位で最大値を示し、その後徐々に一定の残留値に近づいていく。摩擦の大きい杭では引き上げ速度が速くなるほど最大値と残留値の差が大きくなる。

- ・ 摩擦の大きい杭、小さい杭共に、引き上げ速度が速くなればなるほど最大引き上げ力が大きくなっている。

<参考文献>

- 1) 國生，泉：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) ～杭の引き上げ支持力に及ぼす周面摩擦力の影響～(第34回土木学会関東支部技術研究発表会公演概要集)

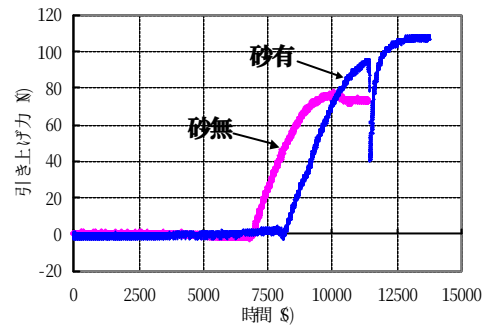


図-3 圧密中の引き上げ力の時刻歴(Case5, 10)

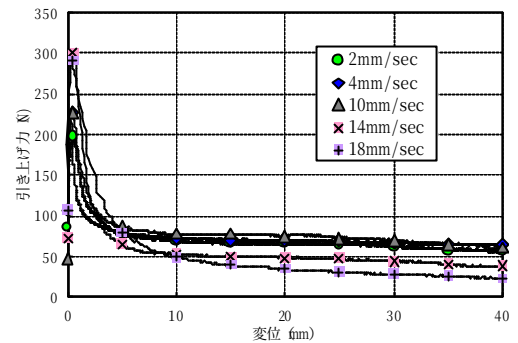


図-4 変位と引き上げ力の関係(周面摩擦・大)

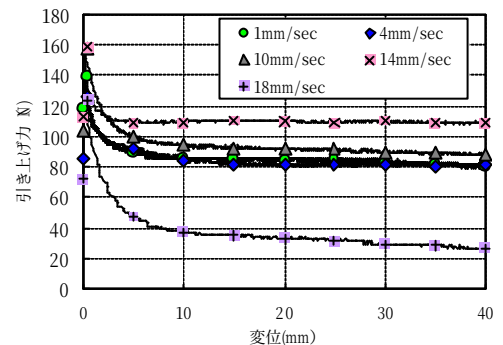


図-5 変位と引き上げ力の関係(周面摩擦・小)

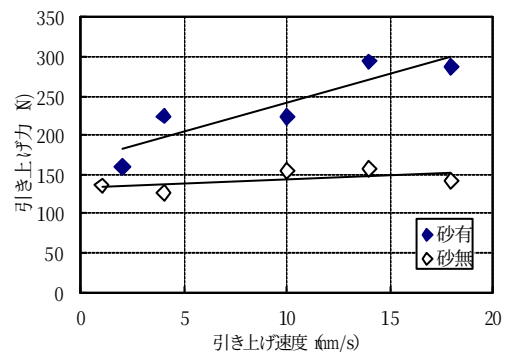


図-6 最大引き上げ力と引き上げ速度の関係