

杭の先端支持力と注入時間に関する実験的研究

東日本旅客鉄道(株)	正会員	○大島 竜二
東日本旅客鉄道(株)	正会員	高崎 秀明
東日本旅客鉄道(株)	正会員	池本 宏文
明星大学	正会員	矢島 寿一

1. はじめに

場所打ち杭は、杭先端部における掘削時の応力解放等の影響を受けるため、打込み杭等に比べて沈下量が大きくなる傾向がある。この課題解決のため開発された先端プレロード場所打ち杭工法は、杭先端に取付けた注入バッグに、注入材を加圧注入し、先端地盤にプレロード（先行荷重）を与えることで、杭の先端支持力を向上させるものである¹⁾。本工法における注入作業は、杭の先端支持力性状を決める重要な工程である。作業時に注入材を注入する時間（以下、注入時間とする）は、目安値を設けているが、明確な管理値は設けていなかった。本稿では、杭先端の支持力と注入時間の関係性を確認するために実施した模型実験の結果を報告する。

2. 模型実験の概要

模型実験では、図-1に示すような直径 $\phi=600$ mm、高さ $H=610$ mmの鋼製土槽を使用した。土槽上部には、地盤表面に応力を作用させ地中応力を再現するためのエアシリンダーと、杭の載荷試験を行うためのエアシリンダーを設置した。また、模型先端プレロード杭は、写真-1に示すような直径 $\phi=50$ mmの模型杭であり、地盤表面から50 mm地中に埋め込んだ状態で試験を行った。試験地盤は、珪砂6号を気乾状態で用い、相対密度が $Dr=90\%$ となるように1層あたり50 mmの突き固めにより作製した。模型杭は図-2に示すように注入バッグを膨張ゴムで再現しており、金具により杭周面にかしめて固定している。注入材注入用の管路は、杭内部に注入用・排出用の2つの管を設置しており、管にはコックが取り付けられている。

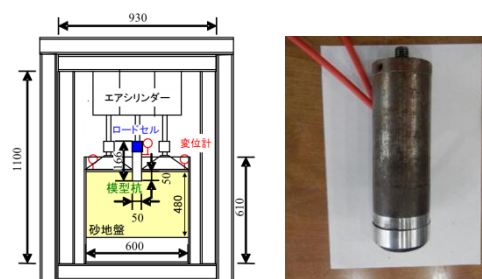


図-1 模型土槽概要



写真-1 模型杭概要

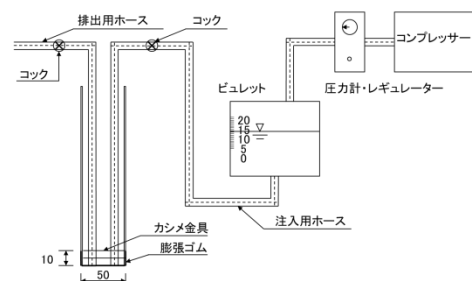


図-2 プレロード圧作用方法

3. 試験ケース

試験ケースは表-1に示すように、注入時の注入時間をパラメータとし、3ケースとした。なお、注入時の圧力は1.0MPa、圧力を保持する時間（以下、加圧時間とする）は10分間とした。各ケースとも、地盤作製後、地盤全面に上載圧100kPaを作用させ、載荷版の鉛直変位が落ち着いたことを確認する。その後、上載圧作用の影響で模型杭に作用した荷重をロードセルの値が0になるまで除荷することで杭先端の応力解放を模擬した。加圧を行わないケース1は、杭先端の応力解放の後、杭の載荷試験を実施した。加圧を行うケース2、3は、杭先端の応力解放の後、図-3のように杭先端部に所定の注入時間をかけて、圧力が1.0MPaとなるまで作用させ、その圧力値を10分間保持した後、注入・排出側のコックを閉じたまま注入材が固化するまで24時間放置した。その後、ロードセルの値が0となるまで除荷をし、杭の載荷試験を行った。なお、載荷ステップは、地盤工学会基準²⁾に準拠し、既往の実験から計画最大荷重を12kNとした段階載荷方式（4段階）により実施した。

表-1 試験ケース

ケース	圧力 (MPa)	注入時間 ; t (min)	加圧時間 (min)
1	0	-	-
2	1.0	1.0	10
3	1.0	5.0	

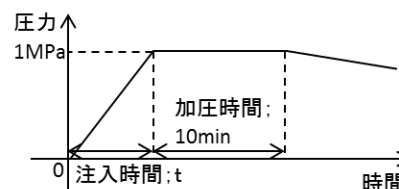


図-3 注入時間と加圧時間の関係

キーワード 場所打ち杭, 先行荷重, 先端支持力

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 東日本旅客鉄道(株) TEL 03-5334-1288

4. 試験結果

4. 1. 加圧時のロードセル値の経時変化

加圧時のロードセルの読み値を圧力換算した値の経時変化を図-3に示す。圧力換算値は、加圧とともに上昇しており、注入終了後は、注入材の硬化作用や加圧を受けた地盤のクリープによる変形の影響を受けて、徐々に低下するものの、加圧状態が保持されていることがわかる。また、加圧時の圧力換算値の最大値を比較すると、ケース3の方が0.1MPa程度大きかった。

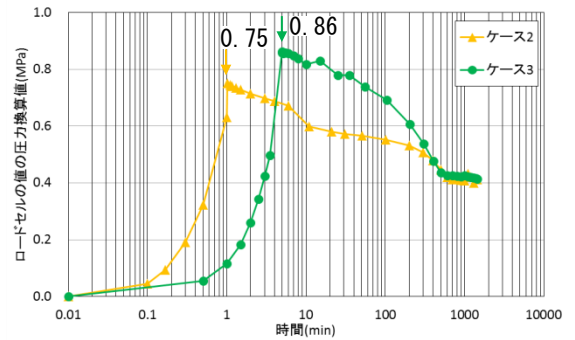


図-3 加圧時のロードセル値の圧力換算値の経時変化

4. 2. 杭の載荷荷重と沈下量の関係

図-4は、載荷試験により得られた載荷荷重 P と杭の沈下量 S の関係のうち、処女載荷状態のものを示している。また、 $\log P$ - $\log S$ 曲線における折れ点に相当する荷重を降伏先端支持力とし、矢印(破線)で示し、杭径の10%の変位時の荷重を矢印(実線)で示す。それらの各値を表-2に示す。加圧を行わないケース1と加圧を行ったケース2を比較すると、降伏先端支持力・10%変位時支持力ともにケース2の方が大きく、荷重-沈下曲線の勾配もケース2の方が高くなっていることがわかる。このことから、加圧による杭の先端支持力の向上が確認できる。

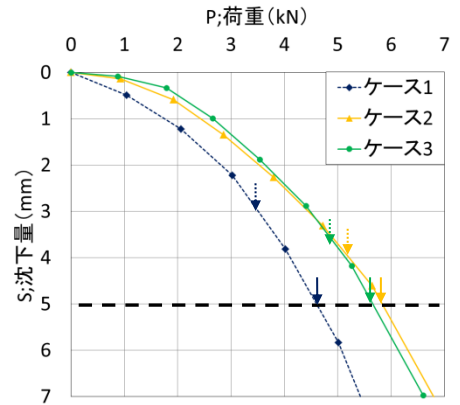


図-4 載荷初期の荷重・沈下関係

表-2 降伏および10%変位時支持力の値

ケース	降伏先端支持力 (kN)	10%変位時支持力 (kN)
1	3.5	4.6
2	5.2	5.9
3	4.8	5.7

次に、杭の先端支持力と注入時間の関係について、ケース2、3を比較すると、降伏先端支持力・10%変位時支持力ともに同程度の値であり、荷重-沈下曲線の勾配もほぼ同程度となっていることがわかる。このことから、注入時間の長短によって荷重-沈下関係に大きな違いは見られず、同程度の先端支持力の向上が期待できるといえる。

4. 3. 鉛直地盤反力係数

杭先端の鉛直地盤反力係数は、鉄道構造物等設計標準・同解説³⁾では、杭先端変位量 S_0 と杭先端支持力度 q_t との荷重-変位関係から、基準変位量 $S_0=10$ mm時の割線剛性 q_t/S_0 として求められる。ただし、今回は3 mmを基準変位量として、その時の荷重から次式により算出した。

$$k_v = \frac{P/A}{s} \dots (1)$$

ここに、 k_v : 鉛直地盤反力係数、 P : 各ケースの荷重、 s : 沈下量、 A : 杭先端部の面積とし、 k_v の値を表-3に示す。ケース1とケース2の比較から、加圧による地盤反力係数の増大が確認できる。また、ケース2、3の比較から、注入時間の長短によらず、地盤反力係数の増加量はほぼ同等となることが確認できる。なお、加圧をすることで、加圧をしない状態と比べて地盤反力係数が2割程度増大することがわかる。

表-3 地盤反力係数の値

ケース	k_v (MN/m ³)
1	610
2	760
3	760

5. おわりに

先端プレロード場所打ち杭について、模型実験から得られた知見は以下のとおりである。

- ・杭の先端地盤に対して加圧を行うことで杭の先端支持力の向上が確認できた。
- ・支持力向上値に対する注入時間の長短の感度は大きくないことが確認できた。これは、鉛直地盤反力係数についても同様の結果であることが確認できた。

参考文献

- 1) 松尾他：先端プレロード場所打ち杭の開発と設計・施工，基礎工，p.27，総合土木研究所，2002.11
- 2) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説（第一回改訂版），p.40，丸善，2002.5
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 - 基礎構造物，pp.510-511，丸善出版，2012.1