

砂地盤に打設された中掘り鋼管杭の載荷試験

大成建設（株） 技術研究所¹⁾ 正 堀越研一，石井裕泰
大成建設（株） 東北支店²⁾ 正 安藤祐司

1. はじめに

本報告は、秋田県内の沖積平野にて平成 10 年末に実施された 2 本の中掘り鋼管杭の載荷試験結果を報告するものである。載荷試験杭の先端処理方式として、低圧セメントミルク噴出攪拌方式と最終打撃方式を採用し、両者の荷重～沈下性状を比較検討することによって支持力特性を把握し、最終的な施工方法を決定することを試験目的とした。しかしながら、載荷試験の結果得られた杭の沈下量は、地盤条件から判断して大きく、基礎杭の設計支持力を見直すこととなった。併せて約 100 m 離れた地点で別途実施された場所打ちコンクリート杭（φ1000：リバーシ工法）の載荷試験結果との比較を通して沈下が大きくなった原因の検討を行った。さらに、詳細な地盤特性を把握すべく、コーン貫入試験を実施したので、これらの結果についても報告する。なお、載荷試験は、地盤工学会「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」¹⁾に基づき、多サイクル法により実施した。

2. 地盤条件および載荷試験杭

載荷試験実施地点における地盤条件および杭の打設深度を図-1 に示す。当該地盤は、よく締まった厚い細砂からなり、標準貫入試験結果によれば杭の根入れ全長にわたって N 値は 20 以上となっている。また、図-2 は、当該地盤で採取された細砂の粒度分布を示したものである。載荷試験は、直径 800 mm、肉厚 9 mm、長さ 15 m の鋼管杭に対して、打設後 2 週間の養生期間を経て実施した。また、図-1 に示すように、実際の構造物基礎として、設計上必要な地表面から深度 6m 以深の支持力特性を把握すべく、それ以浅の杭周面にはフリクションカットを施した。深度 6m 以深の杭に対して道路橋示方書下部工編²⁾に基づき算定された極限支持力は、セメントミルク噴出攪拌方式で 4.12 MN (420 tf)、最終打撃方式で 4.49 MN (458 tf)である。

3. 実験結果

載荷試験の結果得られた杭頭荷重～杭頭沈下曲線を図-3 に示す。2 本の杭の結果に関して、施工方法に係わらず載荷荷重の割に沈下量が多いことが分かる。杭径の 10%沈下量 (80 mm)に相当する第 2 限界荷重は、フリクションカット部を含めても 2MN 程度であり極限設計支持力と比較して小さい。この図で、載荷荷重が設計で想定された極限支持力まで至っていないのは、試験中に反力杭の抜けあがりが生じ、試験を終了したためである。

図-4(a)は、杭先端の沈下特性に着目し、杭先端軸力～先端沈下量関係を示したものである。同図には、別途、近傍で実施した場所打ち杭の載荷試験結果も併せて示している。さらに図-4(b)は、沈下量を杭径で無次元化し、横軸を杭先端応力度（軸力を断面積で除したものである。この図に示された関係は、施工法の異なる 3 本の杭に関して類似しており、しかも沈下量の増大につれて杭先端応力度

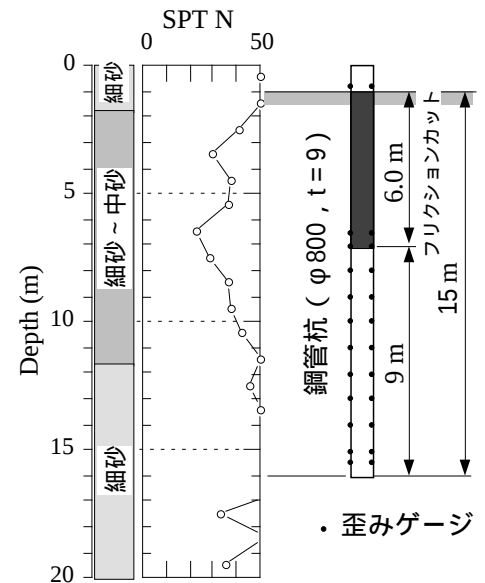


図-1 地盤条件および杭打設深度図

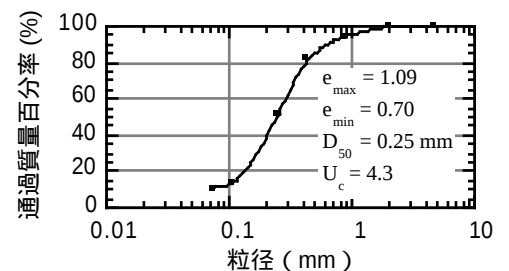


図-2 当該地盤で採取された細砂の粒度

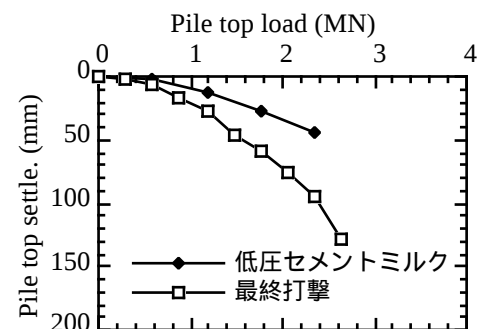


図-3 杭頭での荷重～沈下量関係

1) 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 045-814-7236

2) 〒980-8655 仙台市青葉区二日町 5-20 022-225-7748

も徐々に増加する傾向を示している。どの関係をもて、図に示された沈下量の範囲では、先端支持力は明確な極限値に至っていない。参考文献 3)によれば、今回実施したような非排土杭に対して極限支持力を発揮させるためには、杭径の 25%に相当する沈下が必要であるとされているが、図-4(b)は非排土杭の極限支持力の設定の難しさを裏付けたものとなっている。また、この図によれば、低圧セメントミルク工法で施工された杭の沈下量が小さめとなっているが、セメントミルクの注入によって見かけの杭先端径が大きくなった可能性も考えられる。ちなみに、低圧セメントミルク工法で施工された杭の先端径を 1m (実際の鋼管径は 0.8 m)と仮定すると図-4(b)の関係は、中掘り最終打撃工法によるものとほぼ一致する。

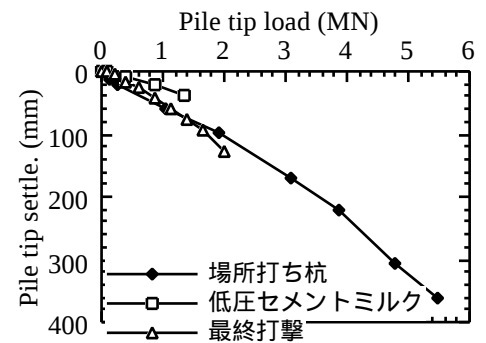
図-5 は、深度 6m 以深(すなわちフリクションカット部以深)の杭に作用する平均周面摩擦応力度と無次元化沈下量との関係を示したものである。図-5 によれば、周面摩擦力は、杭径のほぼ 2~3%の沈下量でほぼピークに達している。この図によれば、セメントミルク工法で打設された杭の周面摩擦が最終打撃工法のそれと比較して大きい。この原因の一つとして、杭周辺部分にセメントミルクがまわり込んだ可能性も考えられる。これに関連して、最終打撃工法では、周面摩擦力が小さいため杭頭荷重のより多くの部分が先端に伝達され、図-3 で示したような、より大きな沈下を生じたものと判断される。

図-6 は、載荷試験後に当該サイトで実施された 3 成分コーン貫入試験結果の一部を示したものである。図-6(c)には、コーン貫入試験結果から参考文献 4)をもとに当該地盤の粒径に応じた換算係数を介して、予測 N 値を実際の N 値と比較したものである。この図から、 q_c 値から N 値の推定精度はかなり良いこと、標準貫入試験では見逃し得る薄い弱層を CPT がうまく捉えている様子がわかる。このような弱層の存在が載荷試験で得られた杭の沈下をより大きなものにした可能性も考えられる。

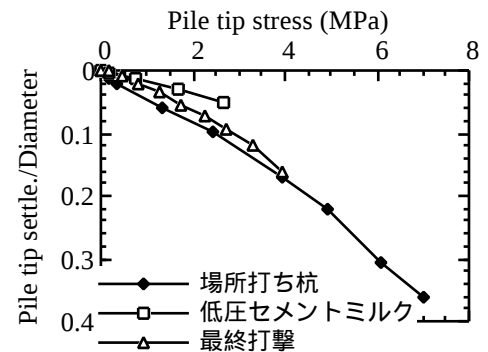
なお、試験結果に基づく設計支持力の設定に関しては、周面摩擦力については完全に発揮されているのでこれを採用し、先端支持力に関しては Weibull 分布曲線を介した推定を行い、これらを加えて全体支持力とし、設計の見直しを行った。

おわりに 杭の設計法は、力の釣り合いのみを考慮した支持力重視の設計から、変形状態を加味したものへと変遷するものと考えられる。本報告では、載荷試験の結果、大きな沈下を生じた事例を報告したが、このような事例ならびに杭の沈下特性解明のための関連地盤調査の蓄積が今後さらに必要になるものと考えている。

参考文献 1) 地盤工学会, 杭の鉛直載荷試験方法・同解説, 平成 5 年. 2) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 (IV 下部工編), 平成 8 年. 3) Vesic, A. S.: Design of pile foundations, National highway research program 42, Transportation Research Board, 1977. 4) 室町忠彦, 小林精二, q_c/N 値の粒度による変化の実施例について, サウンディングシンポジウム発表論文集, pp. 151-154, 1980.



(a) 杭先端荷重 ~ 杭先端沈下量関係



(b) 杭先端応力度 ~ 無次元化沈下量

図-4 杭先端の沈下挙動の比較

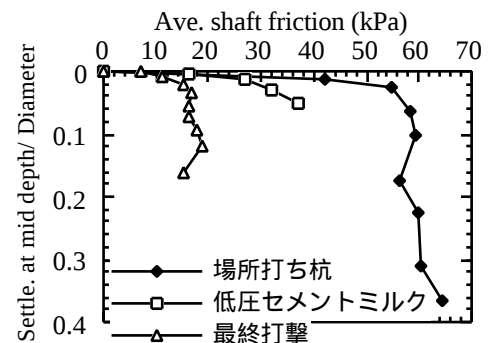
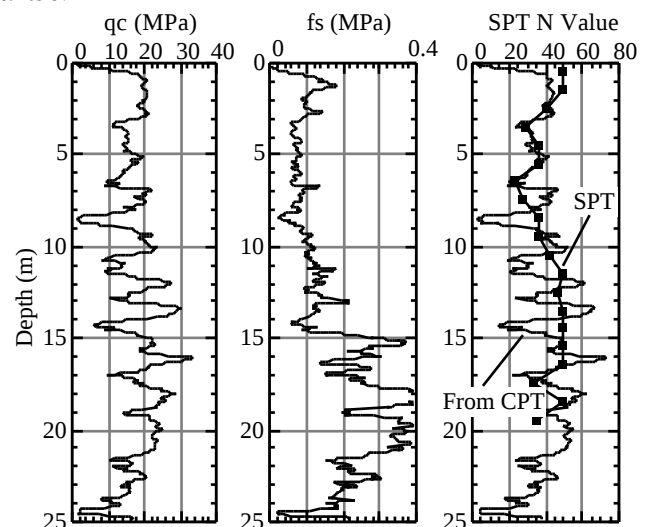


図-5 周面摩擦の発揮状況



(a) q_c の分布 (b) f_s の分布 (c) q_c から N 値の推定

図-6 コーン貫入試験結果および q_c から N 値の推定