

泥岩を支持層とした節杭を用いたプレボーリング杭の載荷試験結果

泥岩 節杭 プレボーリング杭

ジャパンパイル株式会社 正会員 ○今 広人 小梅慎平

1. はじめに

施工機械の能力向上や山岳部での施工事例の増加により岩盤を支持層とする杭基礎の事例が多くなっている。一方で、道路橋示方書・同解説¹⁾においては岩盤を支持層とする杭の支持力推定式が明確に示されていない。そこで、支持層が泥岩である地盤にプレボーリング杭により施工された節杭（杭周に一定の間隔で節部を付けた既製コンクリート杭）を用いて押し込み試験および載荷試験後に掘出し調査を行い、先端支持力の検証と根固め部の健全性を確認した。

2. 試験概要

試験杭は図-1 に示す施工方法で行い、泥岩での根固め部の築造は根固め液を注入しながら、根固め部範囲の上下反復を1回行った後、根固め部下端位置で保持しながら注入する方法とした。表-1 に試験杭の仕様を示す。試験杭は載荷荷重を考慮して全長 SC 杭を用い、杭先端に大きな荷重が伝達するように GL0~-15m の杭表面に摩擦低減材を塗布した。図-2 に試験杭近傍の土質柱状図と試験杭の根入れ図を示す。杭先端は N 値 70 以上の泥岩層で、その位置での一軸圧縮強さ q_u は 1664~3097 kN/m² (平均 2380kN/m²) である。載荷試験は杭施工後 29 日間の養生期間の後に実施し、掘出し調査は載荷試験終了後 8 ヶ月後に実施した。

3. 試験方法

3.1 載荷試験

載荷試験方法は「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」²⁾ に示されている押し込み試験方法とした。試験装置は反力杭 4 本と載荷桁を用いた反力方式とし、計画最大荷重 $P_{max}=9MN$ に対し十分に安全な装置を準備した。試験杭は杭頭部と杭先端の 2 地点で変位計測を行い、図-2 に示す位置の杭体内にひずみ計を設置し周面摩擦力と杭先端支持力を分離して求めた。載荷方法は 4 サイクル 8 段階の多サイクル方式で実施した。

3.2 掘出し調査

掘出し方法は写真-1 に示すように、できるかぎり根固め部のソイルセメントに損傷を与えないように杭周面の地盤を杭先端深さまでケーシングを用いて掘削した後に、ワイヤーにて引き上げる方法とした。掘出した試験杭は極限荷重まで載荷した根固め部の品質を確認するために、出来形形状の測定とコアを採取してソイルセメントの強度確認を行った。

4. 載荷試験結果

載荷試験結果（荷重変位関係）と、その関係を Weibull 曲線により近似した結果を図-3 に示す。本試験では杭先端から上方に $1D_n$ 位置 (GL-20.5m) を杭先端荷重 P_p の評価位

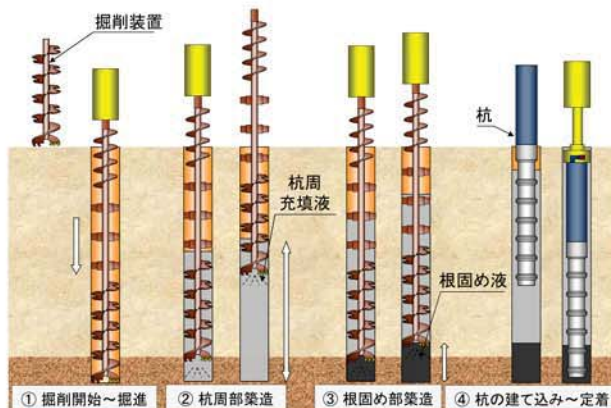


図-1 施工方法

表-1 試験杭の仕様

	杭径 (mm)		掘削径 D_c (mm)	杭長 L (m)	杭種
	軸部径 D_p	節部径 D_n			
上杭	400	-	600	15	SC杭
下杭	400	500		6	SC節杭

※杭先端から根固め部下端まで離隔を1000mmとする

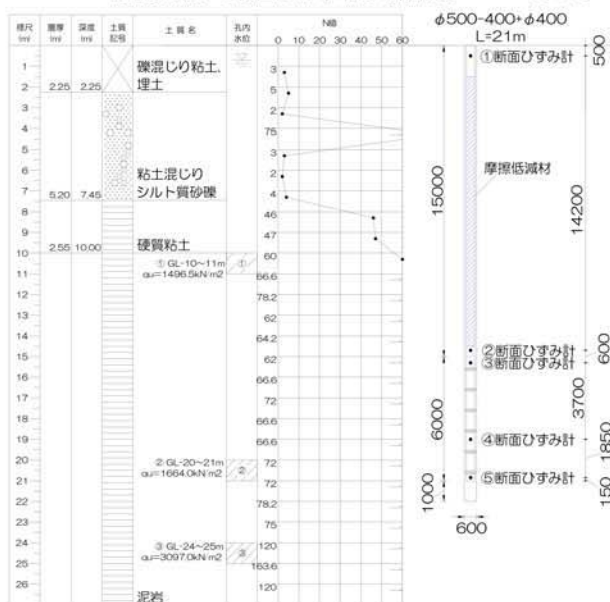


図-2 土質柱状図と試験杭の根入れ図



写真-1 掘出し状況

Load test on pre-bored pile foundation using nodular pile installed in mudstone Layer

Hirohito Kon (Japan Pile Co.)
Shimpei Koume (Japan Pile Co.)

置とし、極限支持力は参考文献 1) にて規定されているように杭頭変位が杭径の 10%に達した時を上限とした。杭頭変位 50mm (節部径の 10%) 時の杭頭荷重 P_0 は 7536kN で、杭頭変位 50mm (節部径の 10%) 時の P_p は 4618kN であった。 P_p を節部閉塞断面積 A_n または根固め部断面積 A_e で除して求めた杭先端抵抗力度 q_d と、 q_d を杭先端泥岩の N 値または q_u 値で除した値を表-2 に示す。これは、参考文献 1) におけるプレボーリング杭工法の砂れき地盤を対象とした q_d の上限値 15000kN/m² ($q_d=P_p/A$ 、 A : 杭先端面積) よりも大きな値であり、良好な岩盤条件では高い支持力が期待できることを示している。また図-4 に示すように、既往の岩盤を支持層とした節杭を用いていないプレボーリング杭において A で評価した載荷試験結果³⁾と比較して、節杭を用いた場合においても概ね同様の傾向にあり、 A_n での評価が妥当であると考えられる。

5. 掘出し調査結果

掘出した試験杭を写真-2 に示す。節杭区間 (下杭: GL-15~21m 間) においては、根固め部のソイルセメントに損傷を与えずに掘出すことができた。一方で、摩擦低減材を塗布した区間 (GL0~-15m 間) と、根固め部の杭下方部分 (杭先端 GL-21~-22m 間) のソイルセメントは杭引上げ作業により杭から離脱して、掘出すことができなかった。根固め部の出来形については、ソイルセメント内に大きな岩塊の混入はみられず、根固め部の設計径 (D_e) 600mm に対し 631~644mm (5 深度の平均 635mm) であり、設計径を満足する根固め部が築造されていた。根固め部のソイルセメントの強度については、24.0~36.4N/mm² (6 試料の平均 30.7N/mm²) であり、参考文献 3) より算出した根固め部の必要強度 14.1N/mm² ($q_d=17000$ kN/m² とした場合) を大きく上回る結果であった。また、別孔にて実施した根固め部の未固結ソイルセメントの強度は 17.3 N/mm² であった。これらのことから、本工法の施工手順を行うことで泥岩を支持層とした場合においても設計通りの根固め部が築造できると考えられる。

6. まとめ

泥岩を支持層とした節杭を用いたプレボーリング杭の載荷試験および掘出し調査を行った。既往の載荷試験結果と比較して、節杭を用いた場合においても概ね同様の傾向であり、良好な岩盤条件では高い支持力が期待できる。掘出し調査により根固め部は設計値を満足する出来形とソイルセメント強度を有していることを確認した。今後、異なる地盤条件や岩盤条件においても試験を進め、引き続き検証を行っていききたい。

【参考文献】

- 1) (公社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 2019.11.
- 2) (社) 地盤工学会: 地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験・同解説-第一回改訂版-, 2002.
- 3) (国研) 土木研究所、(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会、(一社) コンクリートパイル建設技術協会他: 岩盤を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究報告書, 第 503 号, 2019.4.

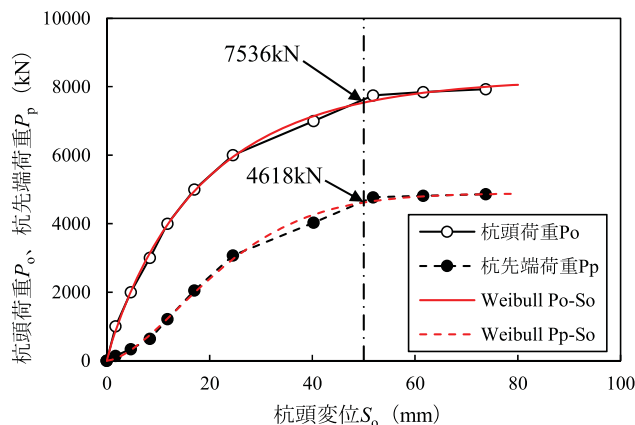
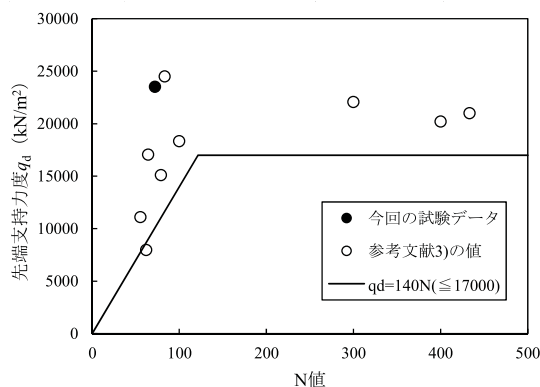


図-3 載荷試験結果 (荷重変位関係)

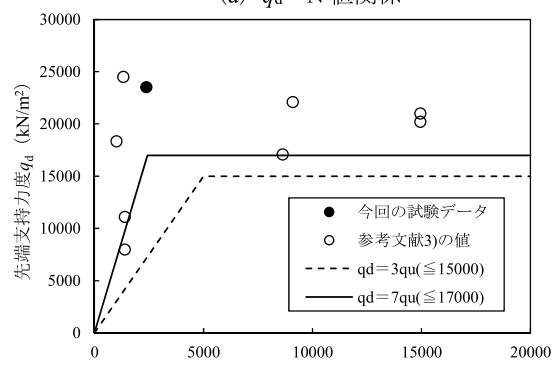
表-2 杭先端抵抗力度

	杭先端抵抗力度 q_d (kN/m ²)	q_d/N^{**} (kN/m ²)	q_d/q_u^{**}
A_n 評価	23519	327	9.9
A_e 評価	16333	227	6.9

** $N=72$ 、 $q_u=2380$ kN/m²として算出



(a) q_d - N 値関係



(b) q_d - q_u 値関係

図-4 既往の載荷試験結果との比較



写真-2 掘出した試験杭 (手前: 上杭、奥: 下杭)