

載荷試験を実施した埋込み杭の掘出し調査（その2：調査結果）

杭、載荷試験、現地調査

ジャパンパイル(株)	正会員	小松 吾郎
同	正会員	今 広人
同	正会員	吉田 映
同	正会員	樺澤 和宏

1. はじめに

土砂とセメントミルクを混合攪拌したソイルセメントと既製杭とで構成される埋込み杭について、地盤から決まる極限支持力まで載荷した杭の掘出し調査を実施した。本報では同名論文（その1）¹⁾に続いて、杭の掘出し後の出来形、内部の健全性、コア強度などの調査結果を報告する。

2. 出来形調査

（その1）で概要を述べた No.1 杭、No.2 杭の根固め部に関して、目視による観察及び寸法の計測を行った（写真1）。No.1 杭の根固め部径は平均 690mm と設計径（680mm）よりも少し大きく、根固め部全長にわたってほぼ等しい径となっていた。なお、写真1で先端部の角が欠けているのは、掘出し後に杭先端を確認するために根固め部をはつたことによる。No.2 杭も根固め径は平均 630mm と全長にわたって設計径（620mm）よりも大きく、長さも設計値を満足していた。これらのことから、拡大ヘッドは想定通り拡翼し、設計通りの根固め部が築造されていることが確認できた。また、根固め部は粘土混じり砂礫層に位置していることから全長にわたり周面に礫が付着していたが、礫径の大きいものほど根固め部下部側に比較的多く存在する傾向が見られた。色は全体的に黄褐色であったが、これはこの層のボーリング記事には黄褐色と記載されている粘土分が多く含まれているためであろう。粒度分析結果では細粒分含有率が43.6%と、粘性土分が非常に多い地盤であった。根固め部には礫が分散した状態で混合されており、その色調にもむらが無かったことから、ソイルセメントの混合攪拌状態は良好であったものと判断される。なお、No.1 杭は載荷試験により地盤から決まる極限支持力まで荷重履歴を受けた杭であるが、根固め部外周面には亀裂や破壊は見られなかった。また、付着している礫部分周辺にも、破壊や剥離などは見られなかった。No.2 杭に関して、同様に亀裂や破壊、剥離は確認されなかった。

3. 内部の健全性調査

No.2 杭については、根固め部中の PHC 節杭と一緒にワイヤーソーを用いて切断して、根固め部内部の健全性を調査した。切断位置は写真2に示すように、杭軸直角方向には根固め部の上方にある先端載荷試験用の先端ジャッキの直下とした。その後、杭の中心線を通るように杭軸方向に切断した。その状況を写真3と写真4に示す。切断後、根固め部全長にわたる内部の健全性を目視により観察した。

写真5は、杭軸直角方向の断面である。根固め部の内部にも礫が点在しており、杭中空部と杭外周部にほぼ均等に土砂が混入されていた。また、特に大きな土塊は見られなかった。切断面においても、ソイルセメントの固化体と杭体間の剥離は無く、付着は良好であり、亀裂などの破壊は見られなかった。以上より、掘削土砂とセメントミルクの混合攪拌状態は良好であったものと判断される。

杭軸方向に切断した断面を写真6に示す。根固め部は掘削ヘッドを拡大状態で上下反復することにより築造しているが、礫が固化体全体に分散していること、外観と同様に黄褐色となっていることから、原位置の土砂とセメントミルクとが根固め部全長で良好に混合攪拌されていることがわかる。また、杭軸方向断面においても、根固め部全体にわたって杭体と固化体との剥離が無く付着は良好であり、亀裂なども確認されないため、載荷



写真1 寸法測定状況(No.1 杭)



写真2 No.2 杭の切断位置



写真3 切断状況 01 (No.2 杭)



写真4 切断状況 02 (No.2 杭)



写真5 杭軸直角方向切断面



写真6 杭軸方向切断面

Excavation investigation of bored precast pile after the loading test (Part2: Result of investigation)

Goro Komatsu ,Hirohito Kon ,Ei Yoshida ,Kazuhiro Kabasawa(Japan Pile Co.)

試験による根固め部の破壊は生じていないことが確認できる。なお、写真6で杭先端側の方が杭体の肉厚が大きくなっているが、これは切断面が中心軸から徐々に外れたことによる。No.1 杭については、杭材が鋼製の節部を取り付けたSC杭であることから、今回は切断を行っていない。

4. 根固め部の強度

No.2 杭の固化体部分から写真7のようにコアを採取し、圧縮強度を測定した。写真8と写真9に供試体を示すが、混合している礫の径は大きく、その割合も高いことがわかる。強度は杭軸直角方向で5.8~16.1 N/mm² (平均 11.2 N/mm²)、杭軸方向で5.0~15.5 N/mm² (平均 10.9 N/mm²)であった。なお、強度が小さい供試体の大半は礫分との付着が切れて破壊していた。このことから、礫分を除くと強度はさらに大きいものと思われる、根固め部全体として平均した強度は測定値よりも大きくなるものと推測される。

変動係数は、杭軸直角方向では24.7%、杭軸方向では29.6%となった。粘土混じり砂礫地盤と混合攪拌したソイルセメントであることや深層混合処理工法の変動係数を考えると、バラツキは比較的小さいといえよう。

5. 先端支持力と根固め部強度の検討

先端載荷試験で第2限界先端抵抗力以上の荷重履歴を与えたNo.1 杭の根固め部については強度を測定していないが、同一地盤で同一施工法によって築造したNo.2 杭と同程度と考えられる。試験時の荷重 R_p は、図1のように根固め部の先端面支持力 R_{p1} と周面の摩擦力 R_{p2} の合計になる。仮に全て先端面で支持しているとする、最大荷重(5210kN)時には先端面に作用する圧縮応力度は14.4 N/mm²となる。また、 $R_{p1} : R_{p2} = 7 : 3$ と仮定すると、10.1 N/mm²となる。根固め部強度の測定された平均値は10.9~11.2 N/mm²であるため、最大荷重時での R_{p1} と R_{p2} の比率は後者に近いもの推測される。

図2は、文献2)で提案された鉛直荷重を受ける杭先端部分の極限状態で想定される破壊パターンである。すなわち、杭の先端支持力(根固め部上端で評価)は、根固め部内での杭体とソイルセメント固結体との付着切れによるすべり、根固め部の固結体の破壊、地盤の破壊(杭体と固結体は健全)の最も小さい値になる。今回の試験杭では掘出し調査により根固め部の破壊などが見られなかったことから、先端支持力は地盤破壊によるものと判断される。したがって、今回の試験条件(根固め径と節部径の比が1.41、節部外面からの固化体の被り厚さが90mm、根固め部の先端地盤のN値が50以上)の下では、圧縮試験で得られた強度が確保されていれば地盤から決まる極限支持力に対して根固め部は健全であったことになる。施工法の開発時には根固め液(セメントミルク)の管理強度を決めるため、所定の支持力が発現された時にも根固め部が壊れないための強度を設定することが必要になるが、今回の施工法の場合はその強度をFEMによって設定している³⁾。それによると今回の試験条件の場合、設定強度は17.8 N/mm²となっている。これに対して、試験で得られた圧縮強度は最大でも16.1 N/mm²である。したがって、強度が設定強度よりも小さかったにもかかわらず、根固め部は極限支持力時にも健全であったことになる。この原因としては、FEMの解析時に条件設定を安全側としていたことなどが考えられる。

6. おわりに

本報では、先端載荷試験によって地盤の極限支持力まで載荷した後の杭を掘り出して、根固め部の杭の出来形、内部の健全性、コア強度などの調査結果を紹介した。その結果、根固め部は外観、内部とも健全で、混合攪拌は良好な状態であったことなどが確認できた。また、コア強度の調査結果をもとに、先端支持力と根固め部強度について検討した。今後も同様なデータを蓄積することにより、先端支持力と根固め部の強度の関係を明確にしていきたい。

6. おわりに

本報では、先端載荷試験によって地盤の極限支持力まで載荷した後の杭を掘り出して、根固め部の杭の出来形、内部の健全性、コア強度などの調査結果を紹介した。その結果、根固め部は外観、内部とも健全で、混合攪拌は良好な状態であったことなどが確認できた。また、コア強度の調査結果をもとに、先端支持力と根固め部強度について検討した。今後も同様なデータを蓄積することにより、先端支持力と根固め部の強度の関係を明確にしていきたい。

謝辞 今回の調査にあたり貴重なご助言をいただいた日本工業大学桑原文夫教授に改めて謝意を表します。

参考文献

- 1)今広人・他：載荷試験を実施した埋込み杭の掘出し調査(その1 調査概要)、第45回地盤工学会研究発表会講演集、投稿中
- 2)桑原文夫：既製コンクリート杭埋込み工法の現状と展望、基礎工、Vol.28, No.11, pp2~5, 2000.11
- 3)小椋仁志：節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法における根固め部強度のFEMによる検討、日本建築学会大会学術講演梗概集B-1, pp.603-604, 2008.9



写真7 コア採取状況



写真8 供試体(杭軸方向直角)



写真9 供試体(杭軸方向)

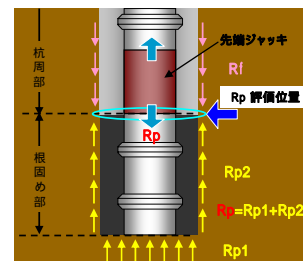


図1 先端支持力状態

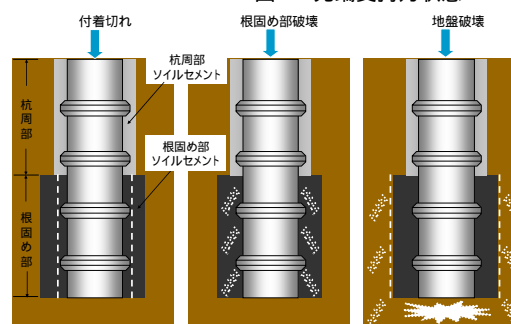


図2 想定される極限状態の破壊パターン