

高強度鉄筋ソイルセメント杭に関する研究・その2

東日本旅客鉄道(株) 正会員 加藤 誠
 (株)大林組 正会員○横溝 文行
 田中 憲章
 正会員 西上 裕之

1. はじめに(研究目的)

本報・その1で述べたように、室内試験レベルでは高強度鉄筋ソイルセメント杭に対して鉄筋コンクリートで用いられる曲げ理論が適用できる見通しが得られたが、ここでは実現場で施工した同杭がRC曲げ理論に基づき設計された杭の設計曲げ耐力と変形性能を確保しているかを確認する。また、W/C=40%の高粘性での高強度ソイルセメント杭の施工、および、鉄筋籠の建込みは過去に例がないことから、これらの施工性についても併せて確認する。

2. 現場造成試験

(1) 試験杭形状

造成する杭の形状を図-1に、また、ソイルセメントの配合を表-1に示す。試験杭のソイルセメント設計基準強度は $f_{ck}=10.8\text{N/mm}^2$ 、鉄筋降伏強度は $f_{syk}=345\text{N/mm}^2$ 、鉄筋比は $p=1.31\%$ ($A_s=16\text{-D}29=102.784\text{cm}^2$)とした。現地で造成する杭は曲げ試験用および品質確認用の2本とし(品質確認用の杭は鉄筋籠なし)、杭径、および、杭長は現地での施工、杭の運搬、曲げ試験を考慮し、杭径 $\phi 1.0\text{m}$ 、杭長 $L=6.0\text{m}$ とした。

(2) 現場造成試験

室内試験¹⁾においてロームは所定の強度を満足する結果が得られていないこと、および、当試験の目的が所定の強度を有した高強度ソイルセメント杭の性能確認試験であることから、杭の造成に先立ち、事前に杭の造成範囲の土を山砂(成田砂)で置換し、均一な土層において杭の造成を行った。

当研究が高品質高強度ソイルセメントを対象としていることから、スラリーの注入方法を掘削時注入往復混合攪拌、掘進・引揚げ速度を0.5m/分、羽根切り回数を1400回/分(通常約2倍)とした。また、室内で行った鉄筋籠の挿入抵抗試験の結果、鉄筋籠の自重での挿入は困難であることが判明していたため、鉄筋籠の建込みは特殊治具とパイロを使用して行った。

実際の施工は特にトラブルもなく行うことができ、施工面での鉄筋ソイルセメント杭の適用可能性は大きいことがわかった。

3. 実物大高強度鉄筋ソイルセメント杭曲げ試験

(1) 試験方法

土槽で造成された試験杭を掘り出し、図-2のように2点載荷2点支持の曲げ試験を行った。載荷方法は変位制御による単調載荷(載荷速度1.0mm/min)としたが、鉄筋とソイルセメントの付着特性、および、杭の変形回復特性を把握するために、曲げひび割れ発生後、鉄筋降伏後、大変形後に除荷・再載荷を行った。計測項目は荷重、変位、鉄筋ひずみであり、計測箇所を図-2に示す。

表-1 高強度ソイルセメント配合
(対象土1m³当り)

固化材	水	W/C	粘性低減剤
US-JO			プロバウダー
5000 N	2000 N	40 %	50 N

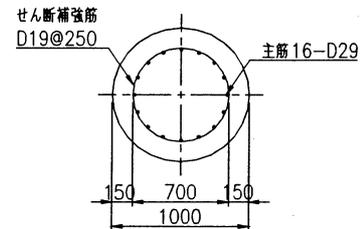


図-1 試験杭の断面形状

表-2 主要使用機械一覧

機械名称	仕様
ベースマシン	DHJ-40
攪拌翼	$\phi 1000$
オーガーマーター	80馬力
圧送ポンプ	SG-30型
パイロ	LSV-40型

表-3 山砂(成田砂)の土性特性

自然含水比 W_n	19.60%	
土粒子密度 ρ_s	27.04kN/m ³	
湿潤密度 ρ_t	21.26kN/m ³	
粒度	礫分	1%
	砂分	87%
	細粒分	12%

Key Words : 地盤改良杭 高強度鉄筋ソイルセメント杭 セメント系固化材 設計基準強度 曲げ試験 変形性能

連絡先 : 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 Tel.03-5769-1313 FAX 03-5769-1973

(2) 試験結果

試験結果を図-3～図-5 に示す。図-3 の荷重－変位曲線より、試験杭は中央変位が $2\delta y$ (δy : 最外縁鉄筋降伏時変位 $\delta y=12.5\text{mm}$) に達する前に曲げ耐力の低下を生じているが、その後も降伏荷重以上の荷重を保持しながら変形し、最終的に中央変位で $12\delta y$ まで変形していることから、十分な靱性を有しているといえる。また、実大杭の曲げ耐力、剛性（試験値）は、ソイルセメント設計基準強度 $f_{ck}=10.8\text{N/mm}^2$ として RC 曲げ理論に基づき計算された曲げ耐力、剛性（予測値）を大幅に上回っており、設計上必要とされる性能が確保されていることがわかる。

図-5 の鉄筋ひずみ分布図より、試験杭では中央変位が δy に達するまでは直線状のひずみ分布となっていることから、曲げ理論の平面保持の仮定が成立している。中央変位が δy から $1.8\delta y$ に至るまでは引張側で鉄筋のひずみが増加する割合が大きくなり、平面保持の仮定が成り立たなくなっていく。中央変位が $2\delta y$ 以上になると鉄筋とソイルセメントの付着切れを生じ、最外縁鉄筋のひずみは増加しなくなる。また、図-4 の変形過程図より、試験杭は鉄筋とソイルセメントの付着切れを生じるまで（中央変位で $2\delta y$ に達するまで）は杭全体として曲線状にたわんでいるが、それ以降は杭中央に変形が集中し、V 字型に折れ曲がるような変形となる。これは、 $2\delta y$ 以降に中央等曲げ区間のひび割れ位置で局所的に変形が進行し、そこにヒンジが形成されるためと考えられる。

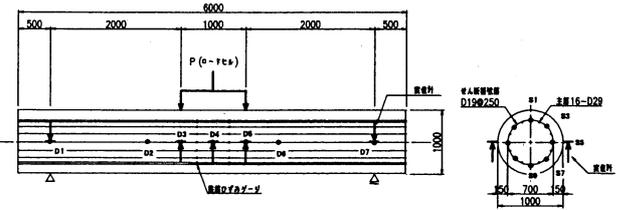
図-3 の荷重－変位曲線に示すように、曲げひび割れ発生後、鉄筋降伏後、大変形後の除荷・再載荷（繰り返し載荷）による試験杭の曲げ耐力・剛性の低下は認められなかった。

4. まとめ

実物大高強度鉄筋ソイルセメント杭の曲げ試験の結果、得られた知見は以下の通りである。

- ・ソイルセメントの設計基準強度を適切に設定すれば、場所打ちコンクリート杭と同様に、RC 曲げ理論を用いて鉄筋ソイルセメント杭を設計することが可能である。
- ・標準的な鉄筋比 ($p=1.0\sim 1.6\%$) の杭に大きな靱性が求められる場合、鉄筋降伏以降の付着切れが問題になるが、鉄筋継手として重ね継手の代わりに機械継手、圧接継手を用いることで対応可能である。
- ・鉄筋ソイルセメント杭は場所打ち杭と同様に、地震動のような変動する水平荷重（繰り返し荷重）に対して剛性低下、および、履歴減衰の減少を考慮する必要はない。

参考文献 1) 加藤 誠・細谷 芳巳：高強度地盤改良に関する研究，土木学会第 55 回年次学術講演会，2000



D1～7:変位計測位置、S1～9:鉄筋ひずみ計測位置

図-2 試験方法と計測位置

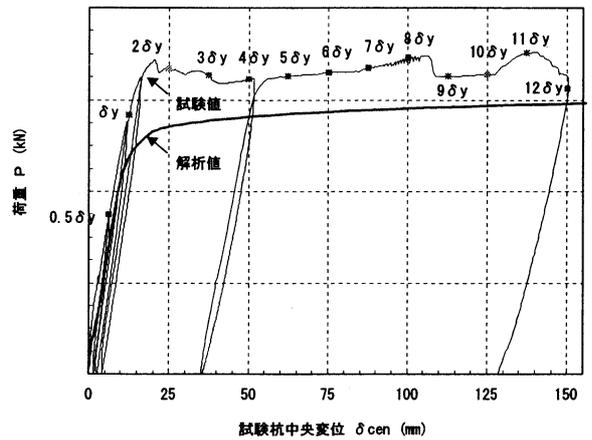


図-3 荷重－変位曲線

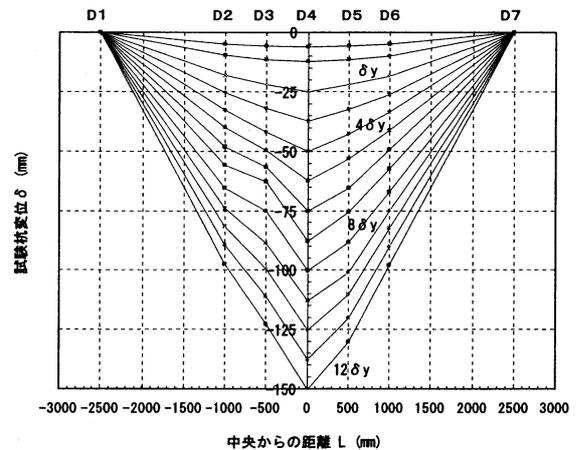


図-4 変形過程図

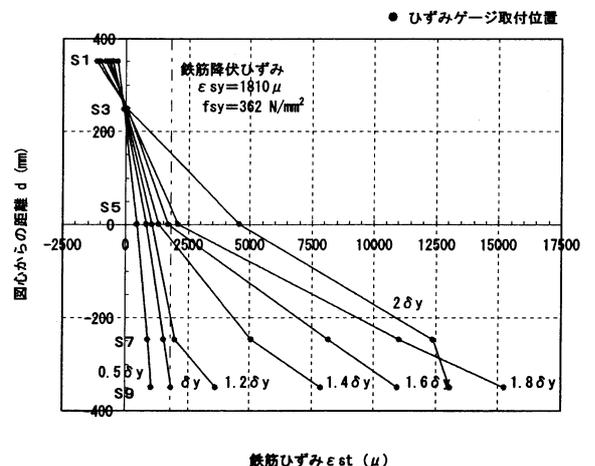


図-5 鉄筋ひずみ分布図