

高強度鉄筋ソイルセメント杭に関する研究・その1

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
（株）テクノックス 正会員 太田 和善

1. はじめに

鉄道高架橋・橋台・橋脚・土留め擁壁等の杭基礎は、鉄道構造物の中でも特に重要性の高い構造部材であり、鉄道の安全・安定輸送を担う上で高い信頼性が要求される。代表的な杭基礎である場所打ちコンクリート杭は品質面においては問題がないものの、掘削残土・泥土を排出し、環境に負荷を与えるという問題がある。近年の環境に対する関心の高まりを配慮すれば、場所打ちコンクリート杭に代わる環境にやさしい杭基礎工法を開発することが望まれるため、現地の土を有効利用し、土を極力排出しない特徴を有する深層混合処理工法に着目し、その利点を生かした「高強度鉄筋ソイルセメント杭」の開発を行うこととした。

従来のセメント系固化材を用いたソイルセメント（地盤改良）杭は、強度が小さく、品質（強度）にばらつきがあるため高い信頼性が得られないという問題を抱えていた。しかし、近年のセメント系固化材、および、施工機械の改良によって、高強度・高品質の鉄筋ソイルセメント杭工法を開発できる環境になった。そこで、鉄筋と高強度ソイルセメントを主部材として取入れることにより従来の場所打ちコンクリート杭と同等な曲げ耐力・変形性能を有し、RCの曲げ理論を適用できることが確認できたため、本報においてその試験結果を報告する。なお、本報はその1～その3より構成され、その1では室内曲げ試験、その2では実物大杭の曲げ試験、その3では実物大杭の品質確認試験について報告を行う。

2. 設計基準強度、および、試験体の配合

既報¹⁾で報じているように、特定のセメント系固化材を用いたソイルセメントは室内で13.5N/mm²以上の圧縮強度を発現する。室内と現場との施工上の相違やソイルセメント杭体の不良率・変動係数等を考慮すれば、室内平均強度13.5N/mm²に対して現場での設計基準強度をf'ck=6N/mm²とすることができる。

室内曲げ試験の試験体は、室内において現場での設計基準強度レベルの強度が得られるように配合、養生期間を調整して作成した。

室内曲げ試験に用いる試料土は都内の工事現場（晴海）から採取した海成砂質土で、物性値を表-1に示す。また、セメント系固化材は発現強度を主目的に高炉セメントB種を用いた。試料土の含水比は、砂質土としての平均的な値w=30%となるように水分調整を行った。試験体の配合は水セメント比w/c=40%、固化材量a_w=1800N/m³（添加率α=13%）、粘性低減材（プロトパウダー）50N/スラリーm³とし、ミキサーで試料土とセメントスラリーを強制混練して、試験体を作成した。

3. 室内曲げ試験

(1) 試験の目的、および、試験方法

室内曲げ試験は、鉄筋ソイルセメント構造に対して鉄筋コンクリート構造と同様のRC曲げ理論が適用できるかどうか、そして、十分な曲げ変形性能を有していることを確認することを目的とした。

図-1に示すように縦20cm×横15cm×長さ150cmの大きさの試験体に対して2点載荷2点支持の曲げ試験を行う。載荷方法は変位制御による単調載荷（載荷速度0.5mm/min）とするが、鉄筋とソイルセメントの付着特性、および、試験体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

表-1 試料土の物性値

試料名 (採取場所)		砂質土 (晴海産)
土粒子の密度 ρ _s (kN/m ³)		26.84
自然含水比 w(%)		26.7
粒 度	礫 分 %	0
	砂 分 %	90
	シルト 分 %	4
	粘土分 %	6
	最大粒径 (mm)	2.0
コ テ ン シ ス	液性限界 w _L %	—
	塑性限界 w _p %	—
	塑性指数 I _p	—
土質分類記号		S-F
強熱減量 %		4.1
有機物含有量 %		0.27

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：〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2 Tel.03-5334-1142 FAX 03-5334-1109

除荷・再載荷を行う。計測項目は荷重、変位、ひずみ（鉄筋・ソイルセメント）であり、計測箇所を図-1 に示す。

曲げ試験は引張鉄筋比を変えた3ケースの試験体について行い、引張鉄筋比と鉄筋の付着特性の相関性について確認する。なお、各ケースの試験体の材料特性は表-2 の通りである。

(2) 試験結果

室内曲げ試験結果を図-2～図-4 に示す。これより、RC 曲げ理論に基づき試験をシミュレーションした解析値（太線）と試験値（細線）とは良好に一致していることから（Case3 を除く）、鉄筋ソイルセメントは RC 曲げ理論を適用し得る構造であると判断できる。また、図-2 の荷重－変位曲線より、鉄筋ソイルセメント試験体は鉄筋降伏後も降伏荷重を保持したまま大きく変形していることから（Case3 を除く）、十分な靱性を有していることがわかる。

Case3 の試験体は曲げ耐力・靱性ともに試験値が解析値を下回る結果となっていることから、変形の初期の段階から鉄筋の付着切れを生じ、それによって曲げ理論の平面保持の仮定が成立しなくなっていると考えられる。

図-2 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）による試験体の曲げ耐力・剛性の低下は認められなかった。

4. まとめ

室内曲げ試験結果から得られた知見は以下の通りである。

- ・鉄筋ソイルセメント構造に対して RC 曲げ理論が適用可能。
- ・鉄筋ソイルセメント構造は引張鉄筋比が 0.3%程度以下であれば十分な変形性能を確保できるが、引張鉄筋比がそれ以上になると変形の初期段階から付着切れが問題になる。
- ・鉄筋ソイルセメント構造は RC 構造と同様に、地震動のような変動する水平荷重（繰り返し水平荷重）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。

表-2 室内曲げ試験試験体の材料特性

	ソイルセメント 圧縮強度 q_u (N/mm ²)	鉄筋量 A_s (cm ²)		鉄筋比 ρ (%)	鉄筋 引張降伏強度 f_{sy} (N/mm ²)
Case1	6.79	1-D6	0.3167	0.141	344.0
Case2	8.02	1-D10	0.7133	0.317	342.1
Case3	7.55	1-D13	1.267	0.563	338.2

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

謝辞：セメントの提供や室内試験等で多大なご協力を頂いた（株）宇部三菱セメント、および粘性低減剤（プロトパウダー）の提供にご協力をいただいた三菱レーヨン(株)、さらに各試験で多大なご尽力とご支援をいただいた(株)テクノックスの各社の皆様に謝意を表します。

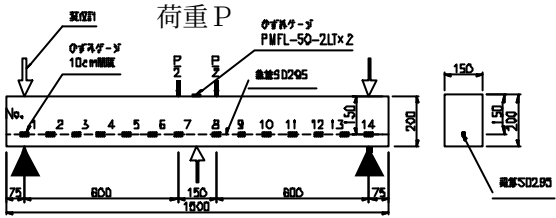


図-1 試験方法と計測位置

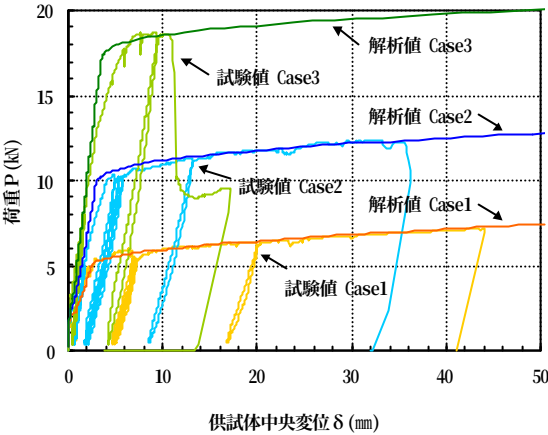


図-2 荷重－変位曲線

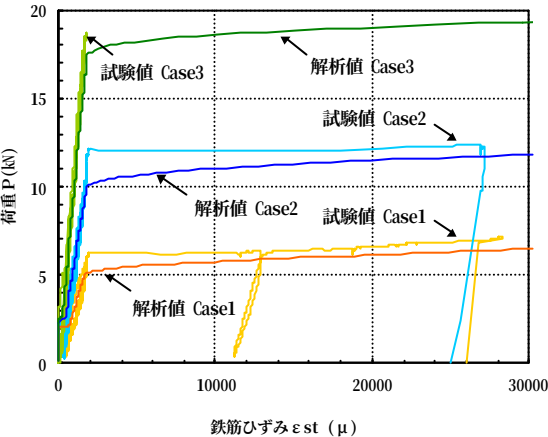


図-3 荷重－鉄筋ひずみ曲線（ゲージ No.7）

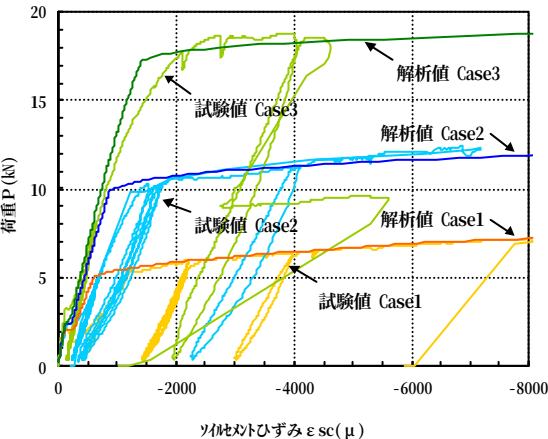


図-4 荷重－ソイルセメントひずみ曲線