

## 塩酸溶解熱法を利用したソイルセメント杭における早期強度判定方法の適用事例

(株)大林組 正会員 ○鈴木 剛、幸山 大己、非会員 荒川 真  
(株)大林組技術研究所 正会員 三浦 俊彦、非会員 中村 将光

## 1. はじめに

土留や止水、仮設構造物の支持等を目的としたソイルセメント杭の施工において、その強度が仕様通りに確保できているかどうかの確認は重要である。一般には、現地のボーリング採取土等を用いた事前配合試験により、強度確保に必要なセメント量や加水量を決めている。施工後においても、原位置の未固結試料を採取して、所定の強度が確保できているかの確認を行う。前者の課題としては、事前配合試験時の「試料土+セメント+水」の理想的な混合と現地施工が同一条件であるとは限らず、配合試験と実施工で強度に差が生じる場合が多い。また、後者は施工後の強度を確実に測定できるが、養生期間が必要なため、施工への反映が難しいという課題が挙げられる。そのため、現場施工では大きな安全率が設定され、合理的な施工を進める上での制約となっている。

弊社では、過去に地盤改良時のセメント含有量の迅速測定方法として、塩酸熱溶解法を開発している。本法は、セメント混合直後の未固結試料を対象に、塩酸を添加してその中和温度を測定し、試料中のセメント含有量を推定する方法である。セメント含有量と強度には正の相関性があることから、簡易に強度を推定することが可能である。本報は、本手法をソイルセメント杭の強度推定に適用することを目的とし、現場適用した結果を報告する。

## 2. ソイルセメント杭の施工方法

表 1 配合表(ソイルセメント 1000 ㍒(1m<sup>3</sup>)出来上りあたり)

|    | 泥水        | 高炉セメント B 種 | 水        | 遅延剤     | 合 計       |
|----|-----------|------------|----------|---------|-----------|
| 重量 | 1091.7 kg | 283.4 kg   | 187.5 kg | 13.0 kg | 1575.6 kg |
| 体積 | 708.7 ㍒   | 93.3 ㍒     | 187.5 ㍒  | 10.8 ㍒  | 1000 ㍒    |

適用現場では、機械攪拌式地盤改良機（弊社開発 e-コラム工法®）によりソイルセメント杭を構築した。本現場は粘性土が対象であったため、掘削しながらセメントミルクを添加する原位置攪拌混合では均一な杭体を作成することが困難と判断した。そのため、最初にベントナイト泥水を添加しながら所定の深度まで掘削し、掘削孔内を比重 1.5 程度の均一な泥水とした後で、所定量のセメントミルク（高炉セメント、水セメント比 W/C=70）を添加しながら再度攪拌混合し杭を構築した。ソイルセメント杭の設計強度は、 $\sigma_{28}$  : 1000kN/m<sup>2</sup> であったので、安全率を見込んで配合設定強度を  $\sigma_{28}$  : 2000kN/m<sup>2</sup> とし事前の配合試験を行った。

事前の配合試験は、現場から採取した試料土を用いて比重 1.5 の試料泥水を作成し、そこにセメント添加量を変えた W/C=70% のセメントミルクを混合し、直径 50mm×高さ 100mm のモールドに充填し、7 日と 28 日の 20℃水中養生を行った後に脱型して一軸圧縮強度を測定した。本現場は、ソイルセメント杭として芯材 H 型鋼を挿入する際の施工性を保持するためセメントミルクに遅延剤を添加した。配合試験の結果と試料泥水の粒径加積曲線を、図 1 及び図 2 に示す。この試験によって決めたセメントミルクの配合を表 1 に示す。この配合で行った、室内試験の  $\sigma_{28}$  強度は 2300kN/m<sup>2</sup> 程度であった。

## 3. 塩酸溶解法の手順

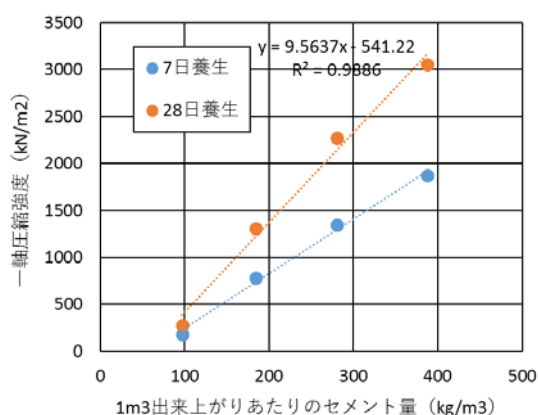


図 1 事前の配合試験の結果

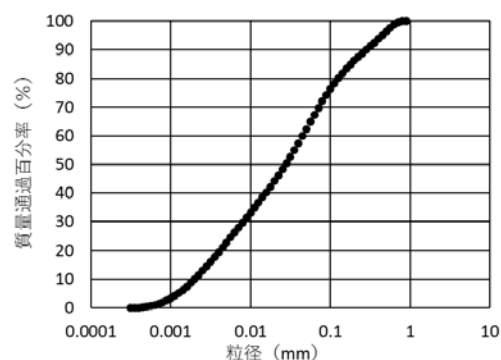


図 2 試料泥水の粒径加積曲線

セメント含有量、塩酸溶解熱法、一軸圧縮強度、ソイルセメント杭、機械攪拌式地盤改良、セメントミルク  
〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 大林組特殊工法部 TEL: 03-5769-1474

塩酸熱溶解法では、ソイルセメント試料に塩酸を添加して、その中和熱を測定してセメント含有量を推定する方法である。中和熱は土質や含水条件等により変動するため、最初に実際の試料土、添加するセメント条件を現地と合わせて検量線を作成する。本現場での検量線作成方法は次の通りである。

- 1) 現場のセメントミルク添加前の泥水 10、20、30、40、50g を保温瓶に入れ、W/C＝70%のセメントミルクを 40、30、20、10、0g 添加して、全体量を 50g にして 1 分間混合する。
- 2) 「6 規定の塩酸」を 100mL 添加して、約 10 秒間混合する。
- 3) デジタル温度計のセンサー付き攪拌棒を入れ温度を確認しながらゆるく攪拌し、その際の最高温度を測定する。
- 4) 最高温度から試料の初期温度を引いた値に土と水の比熱等を補足して、上昇温度を算出する。
- 5) 上昇温度とセメントミルクの添加量のグラフを作成する。

図 3 に検量線を示す。別日に 2 回検量線を作成したが、ほぼ同じ結果となった。実際の試料土の測定方法も、検量線作成時と同様の方法であり、現場から採取した未固結試料 50g の上昇温度を測定し、本検量線からセメント含有量を測定した。測定は数分しかかからず、温度を測定するだけなので、迅速で簡易な手法である。

4. 現場適用試験

4.1 試験方法

現場でソイルセメントを施工する際に、セメントミルク添加直後の未固結試料を杭内部から 5L 程度採取し、よく混合した試料を測定対象とした。測定項目は、塩酸溶解熱法によるセメント含有量の推定試験と、同試料を直径 50mm×高さ 100mm のモールドに充填し、28 日後の一軸圧縮強度を測定した。また、同試料について、カルシウム含有量を底質調査法にて測定し、事前に求めたカルシウム含有量とセメント含有量の測定結果（図 4）から、セメント含有量の推定を実施して、1) 塩酸溶解熱法によるセメント含有量から推定される一軸圧縮強度、2) カルシウム含有量から求めたセメント含有量によって推定される一軸圧縮強度、3) 実測した一軸圧縮強度、の比較を行った。

4.2 結果

試験結果を表 2 と図 5 に示す。本現場ではソイルセメントの配合が一定であるため、杭による一軸圧縮強度の差は小さい。いずれの測定手法においても、大部分の杭で  $\sigma_{28}$  強度が設定強度 2000kN/m<sup>2</sup> を上回る値となり、e-コラム工法によるソイルセメント杭の構築は問題ない結果であった。但し、事前の室内試験と比較すると施工のばらつきのため若干下回る結果であった。一方で杭としては、十分な安全率を見込んで目標強度を 1000kN/m<sup>2</sup> としているため、十分な性能が確保できている。

このように測定手法ごとのばらつきを比較しても、いずれも大きな差はなく、安定した値を示していることが確認できた。したがって、塩酸溶解熱法も十分に施工管理に使用できることが示された。今後も様々な土質、含水比条件で適用性を検証していきたいと考える。

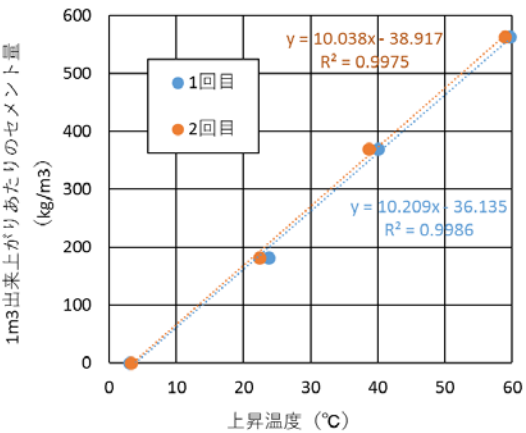


図 3 塩酸溶解熱法の検量線

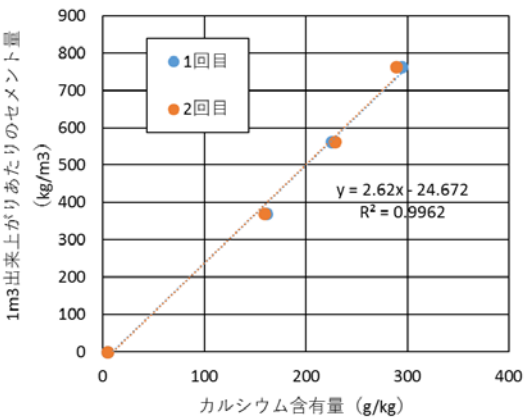


図 4 カルシウム含有量から求めたセメント量推定のための検量線

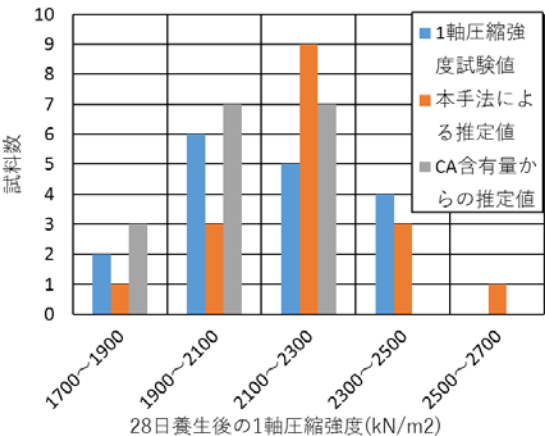


図 5 各手法の 1 軸圧縮強度試験結果

表 2 強度平均の一覧表

| 試験体数：17体         | 平均圧縮強度<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | 標準偏差<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------|
| 1軸圧縮強度試験         | 2125                           | 206.0                        | 9.7         |
| 本手法による圧縮強度推定値    | 2204                           | 151.3                        | 6.9         |
| Ca含有量法による圧縮強度推定値 | 2045                           | 119.7                        | 5.9         |