

# 被圧地下水地盤でのソイルセメント柱体の打設性状に関する模型実験

## —攪拌の影響に関する検討—

中央大学 学生会員○塚本 菜々子 正会員 西岡 英俊  
株式会社テノックス 正会員 渡邊 瑞貴 非会員 磯野 泰佑

### 1. はじめに

地盤内にセメントミルクを注入し、混合攪拌して築造するソイルセメント柱体と鋼管を組み合わせた鋼管ソイルセメント杭工法は、被圧地下水地盤での施工性に優れる工法ではあるが、地下水の揚圧力  $U$  とソイルセメント重量  $W$  のバランスがある限界を上回った場合、施工杭自体の設計性能が低下する何かしらの不具合を生じる懸念がある。先行研究<sup>1)</sup>では、被圧地下水地盤でのソイルセメント柱体の打設性状を把握するための基礎的な模型実験を行い、ソイルセメント柱体の品質確保ができる地下水揚圧力  $U$  とソイルセメント自重  $W$  の関係性を確認した。

本研究では、新たに実際の施工状態（攪拌混合状態）を模擬できるように試験装置を改良（攪拌装置を新設）して同様の試験を実施し、より現実的な条件での施工安全性の評価方法について検討した。

### 2. 模型実験概要

#### 2.1 実験装置

本実験では、図-1に示すように内径150mmのアクリル管に練り混ぜ直後のソイルセメントを打設し、打設直後に攪拌翼をいれ15分後に攪拌を開始させた。キャップ内の底から通水管で接続された給水タンクをハンドリフトで上昇させ、一定の時間間隔で揚圧力  $U$  を増加させながら攪拌を行い、被圧地下水環境下でのソイルセメント柱体の混合攪拌状態を模擬した。また、ソイルセメント内を被圧水が流れる様子を観察する事を目的として蛍光塗料入りの水を給水タンクに用意した。

#### 2.2 ソイルセメントの配合

セメントミルク混合前の模擬地盤は粘性土系と砂質土系の2種類とし、粘土（トククレー）と砂（東北珪砂7号）を用いて、粘性土系で粘土：砂=3：1、砂質土系では粘土：砂=1：9にて混合した。粘性土系は混合後の含水比がトククレーの液性限界と同程度となるよう、また、砂質土系は混合後の間隙比が東北珪砂7号の最大間隙比と同程度となるように加水した。

ソイルセメントは、施工管理要領<sup>2)</sup>における杭一般固化部での標準的な配合仕様を参考として、模擬地盤1m<sup>3</sup>あたり表-1に示す配合のセメントミルクを混合して作製した。なお、砂質土系では材料分離防止のためセメント量に対する重量比5%のベントナイトを添加した。

#### 2.3 揚圧力の安全率と試験ケース

ソイルセメント自重  $W$  を揚圧力  $U$  で除した次式の設定安全率  $F_s$  を主たるパラメータとし、 $F_s=1.1$  から1分間に0.02刻みで  $F_s=0.7$  まで低下させた。

$$F_s = \frac{W}{U} = \frac{\rho_t \times L_s + \rho_w \times L_w}{(L_s + L_w + h) \rho_w} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_t$ ：ソイルセメント密度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $\rho_w$ ：水の密度 (g/cm<sup>3</sup>)、 $L_s$ ：初期のソイルセメント柱長さ (mm)、 $L_w$ ：ソイルセメント柱より上にある初期の水深 (mm)、 $h$ ：アクリル管内と給水タンクの水位差 (mm) である。

試験ケースは、施工状態の影響確認を目的として、 $L_s=1000\text{mm}$ 、 $L_w=0\text{mm}$  での攪拌あり・なしの全4ケースとした。

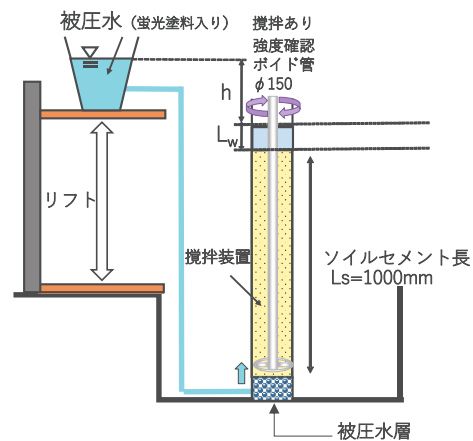


図-1 模型実験装置

表-1 ソイルセメント配合仕様

	セメントC (高炉セメントB種)	水 W	ベントナイト B	備考
比重	3.04	1	2.6	
重量 (kg/m <sup>3</sup> )	300	360	—	粘性土系
		315	15	砂質土系

※粘性土系：W/C=120%，砂質土系：W/(C+B)=100%，B/C=5%

キーワード ソイルセメント、被圧地下水、機械攪拌工法

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL：03-3817-1804

### 3. 試験結果

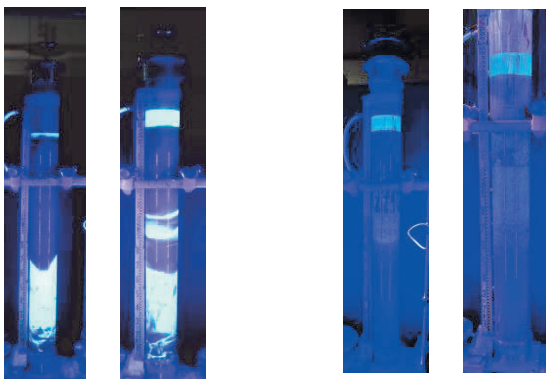
#### 3.1 被圧水移動状況観察結果

##### (1) 粘性土系

粘性土系の攪拌なしでは揚圧力  $U$  を上昇させて設定安全率が  $F_s=1.0$  を下回り、 $F_s=0.8$  まで低下した時に、被圧水がソイルセメント柱体の下部に大きな横方向クラックを生じさせ、その開口幅が広がってそれより上方のソイルセメント柱体を一体として押し上げた (図-2 a)。一方、攪拌ありでは  $F_s=0.9$  まで低下した時に、被圧水がソイルセメント柱体に複数の横方向クラックを生じさせ、それぞれが広がることでソイルセメント柱体を分離させながら全体を押し上げた。(図-2 b)

##### (2) 砂質土系

砂質土系の攪拌なしでは、設定安全率が  $F_s=0.88$  まで低下させた段階から、ソイルセメント側面を下部から上部まで水みちが縦断して明確な通水状況が観察された。一方、攪拌ありでは  $F_s=0.96$  より、主に攪拌装置の回転軸部に沿った被圧水の湧き出しが観察された。また、攪拌あり・なしに関わらず、ソイルセメント上端は初期位置よりも高くなっており、ソイルセメント全体に被圧水が供給されることによるソイルセメント体の膨張 (間隙の増加) も確認された。(図-3)



a) 攪拌なし b) 攪拌あり a) 攪拌なし b) 攪拌あり

図-2 粘性土

図-3 砂質土

#### 3.2 安全率に基づく考察

粘性土系・砂質土系共に、揚圧力  $U$  の上昇 (設定安全率  $F_s$  の減少) に伴ってソイルセメント柱に被圧水が供給されていくと、この水圧によって揚圧力に抵抗するようになり、実際に作用している安全率は式(1)による設定安全率よりは大きくなる。そこで、その時点までの被圧水の供給によるアクリル管内の水位上昇量を  $\Delta L_w$  とし、式(1)中の  $L_w$  を  $L_w' = L_w + \Delta L_w$  に置き換えた安全率  $F_s'$  (以下、実質安全率という) を算出した。

図-4 に  $F_s$  と  $F_s'$  の関係を示す。  $F_s$  と  $F_s'$  が一致していれば被圧水の通水は生じていない (あるいは生じていても些少) であることを意味し、  $F_s$  と  $F_s'$  が乖離し始める状態 ( $F_s - F_s' \geq 0.1$ ) に至ると、不安定化しはじめる。

(この状態の安全率を限界安全率  $F_L$  と表記する)。粘性土系では、攪拌なしで  $F_L=0.82$  だったが、攪拌ありでは  $F_L=0.90$  程度に増加 (限界に至る揚圧力は低下) した。砂質土系では攪拌なしで  $F_L=0.90$  が、攪拌ありで  $F_L=0.98$  程度に増加した。また、粘性土系・砂質土系ともに攪拌ありでは、  $F_L$  に達した以降も、揚圧力の増加に対して  $F_s'$  は同等の値を維持して比較的安定した状態であったのに対して、攪拌なしでは  $F_L$  に達した以降は揚圧力の増加に対して  $F_s'$  が増加する傾向を示し、最終的には攪拌ありと同等の値となった。

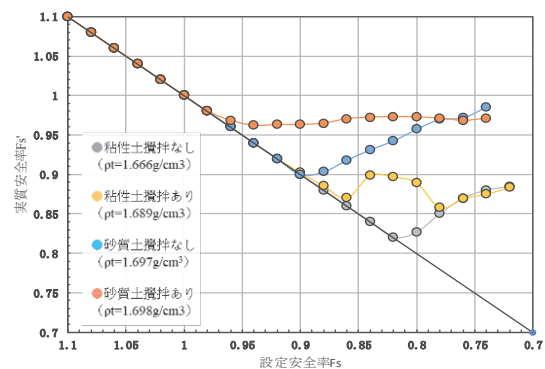


図-4 粘性土系・砂質土系の  $F_s$  と  $F_s'$  の関係

#### 4. おわりに

被圧帯水層位置での施工状態 (攪拌混合状態) を模型実験で可視化することで、粘性土系と砂質土系で被圧水の移動 (通水) 挙動には違いがあることを確認できた。また、粘性土系・砂質土系共に施工状況を模擬した攪拌ありの方が、攪拌によってソイルセメントが流動状態となるため、被圧水が通水しやすいことが確認できた。

攪拌の有無に関わらず、揚圧力を作用させ続けた最終的な安全率は同等であり、その時の最も大きな  $F_s$  値は砂質土系の 0.98 程度であった。先行研究<sup>1)</sup>ではソイルセメント柱体の固化性状の観点も含めた施工安全率は  $F_s=1.05$  より大きな値とする必要があるとの知見が示されているが、本実験によりその妥当性を確認した。

#### 参考文献

- 磯野泰佑, 渡邊瑞貴, 中村浩幸, 平山勇治, 大野隼, 西岡英俊: 被圧地下水地盤でのソイルセメント柱体の打設性状に関する模型実験, 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp531-534, 2022.
- 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領, p.20, 2017