

高被圧地下水地盤でのソイルセメントの打設性状に関する模型実験
(その2 施工時の不安定化挙動に関する検討)

(株) テノックス 正会員 渡邊 瑞貴 非会員 磯野 泰佑 正会員 平山 勇治
中央大学 正会員 西岡 英俊 学生会員 塚本 菜々子

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、被圧地下水を有する地盤における施工性に優れた杭工法の一つである¹⁾。従来、その施工可否判断には、ソイルセメントの重量と揚圧力のバランスのみが考慮されていた。その具体的な制限値は十分に安全側と考えられる経験的な値が用いられている。ただし、その妥当性は現場施工や施工試験等で直接的に検証されたものではなく、重量バランスが崩れた場合の実際の挙動は明確になっていないのが現状である。

先行研究²⁾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に、実際に揚圧力を作用させる基礎的な模型実験を行ったが、施工時の攪拌混合状態は模擬できていなかった。そこで本研究では攪拌装置を用いた模型実験によって、より実施工状態に近い条件で施工安全性の評価方法を検討した。

2. 模型実験概要

図-1に示す内径150mmの透明アクリル管とボイド管に、ガラスビーズを底部に敷き詰めた上で、練り混ぜ直後のソイルセメントをその長さ L_s が1.0mとなる高さまで打設し、攪拌翼(写真-1)を挿入して20回/分で攪拌した。なお、全ケースで攪拌開始時刻は打設完了から15分後に統一し、攪拌開始と同時に底部キャップのcockを解放して通水管で接続された給水タンクからの揚圧力 U を作用させた。なお、ソイルセメント内を被圧水

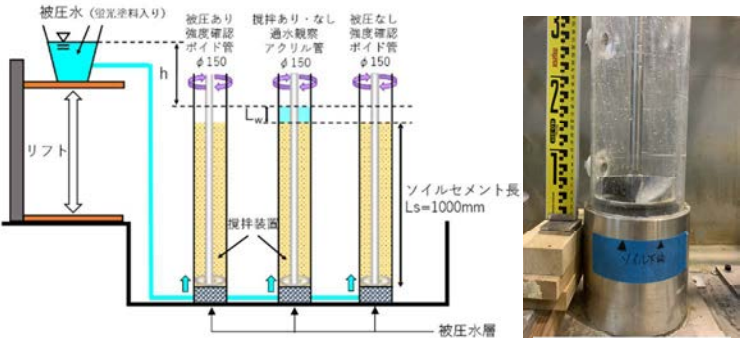


図-1 模型実験概要



写真-1 攪拌翼

が流れる様子を観察するため、給水タンク内の水に蛍光塗料を混ぜた。

本研究では、ソイルセメント(およびその上にある水)の自重 W を揚圧力 U で除した次式(1)の設定安全率 F_s を主たるパラメータとし、一定の時間間隔(60秒)で給水タンクをハンドリフトで上昇させることで揚圧力 U を段階的に上昇させ、 F_s を低下させた。

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

ρ_t : ソイルセメント密度
 ρ_w : 水の密度
 L_s : 初期のソイルセメント長
 L_w : 管内水位とのソイルセメント柱上端高さの差の初期値
 h : 給水タンク内水位と初期管内水位の差

ソイルセメントは、粘性土系(粘土と砂の重量比が3:1、含水比 $w=41.6\%$)、砂質土系(粘土:砂=1:9、 $w=44.0\%$)の2種類の模擬地盤に、セメントミルクを表-1に示す配合仕様で練り混ぜた。なお、このセメントミルクの配合仕様は、鋼管ソイルセメント杭工法の一般固化部と同程度の強度(粘性土で 0.75N/mm^2 、砂質土で 1.0N/mm^2)¹⁾が確保できるよう、事前に室内配合試験³⁾を実施して設定したものである。

各実験ケースとも、管1本毎にソイルセメントを練り混ぜ、打設を行った。練り混ぜ直後のソイルセメントの密度と流動性(全実験ケースの上下限值)を表-2に示す。密度は模擬地盤の土質によらず同程度となったが、

表-1 模擬地盤 1m³あたりのセメントミルクの配合仕様

	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 (g/cm ³)	3.04	1.0	2.6	
重量 (kg/m ³)	300	360 315	— 15	粘性土系 砂質土系

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

表-2 練り混ぜ直後のソイルセメントの流動性と密度

	流動性	密度(g/cm ³)
粘性土系 (粘土:砂=3:1)	テーブルフロー値(mm) 200 ~ 225	1.665 ~ 1.689
砂質土系 (粘土:砂=1:9)	P漏斗流出時間(秒) 9.46 ~ 9.82	1.696 ~ 1.706

キーワード 被圧地下水、ソイルセメント、揚圧力、盤ぶくれ、ボイリング

連絡先 〒108-8380 東京都港区芝 5-25-11 ヒューリック三田ビル 4階 (株)テノックス 技術本部技術部

流動性には大きな違いがあり、流動性の高い砂質土系ではテーブルフロー値の計測が困難であったため、P 漏斗流下試験で流動性を測定した。

3. アクリル管実験による通水状況観察

アクリル管実験は、通水状況を観察することで施工時の不安定化挙動の影響を直接確認することを目的とし、模擬地盤2種類に攪拌の有無を組み合わせた全4ケースについて実施した。各ケースとも、 $F_s=1.1$ から1分間に0.02刻みで $F_s=0.7$ まで低下（揚圧力 U を上昇）させ、ブラックライトを用いてソイルセメント内に被圧水が流れる様子を観察した。

3.1 粘性土系の観察結果

攪拌なしのケースでは、 $F_s=0.8$ まで低下するとソイルセメント柱体の下部に大きな横方向のクラックが生じ、 $F_s=0.78$ 以降はその開口幅が広がり、それより上方のソイルセメント柱体を押し上げた（図-2 a）。開口幅とソイルセメント柱体上面の上昇量は同程度であった。攪拌ありのケースでは、 $F_s=0.9$ まで低下した時点からソイルセメント柱体の下部に横方向のクラックが生じ、クラック箇所から柱体側面に沿って上部まで一時的に通水後、さらに横方向のクラックが複数生じ、各開口幅が拡大した（図-2 b）。

3.2 砂質土系の観察結果

攪拌なしでは、 $F_s=0.88$ の時点で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、明確な通水状況が観察された（図-3 c）。攪拌ありでは $F_s=0.96$ にて、主に攪拌装置の回転軸部に沿って被圧水の湧き出しが観察された（図-3 d）。また、攪拌の有無によらず、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膨張現象（間隙の増加）も確認された。

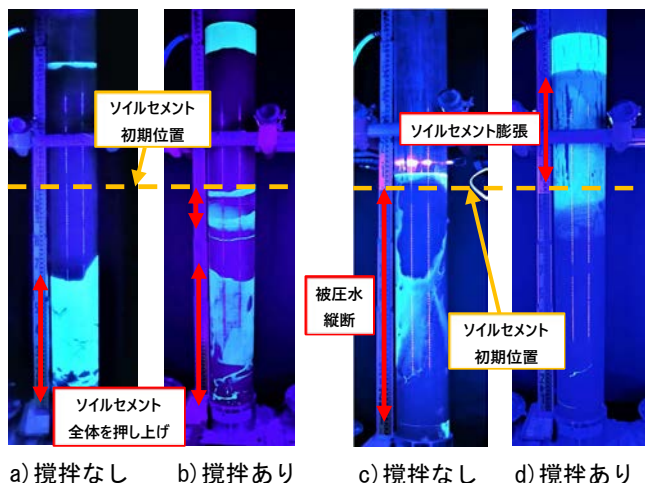


図-2 粘性土系

図-3 砂質土系

3.3 考察

全4ケースとも、ソイルセメント（およびその上の水）の自重 W との重量バランスが釣り合う揚圧力 U が作用した段階（すなわち、 $F_s=1.0$ の状態）ではまだ水の動きは観察されず、実際に被圧水が大きく流れてソイルセメント自体が不安定化するような状態に至るのは、それよりも大きな揚圧力が作用した段階であることがわかる。すなわち、実際には重量バランス以外の抵抗メカニズムが発揮されており、 $F_s=1.0$ からの差がその抵抗メカニズムの効果を表していると考えられる。

ソイルセメントの土質の違いに着目すると、流動性が低い粘性土系の方がより大きな揚圧力に耐えられていることや、ソイルセメント柱体自体を全体的に押し上げるような動きをしたことから、粘性を有したソイルセメントとアクリル管の界面での抵抗（摩擦抵抗）が比較的大きかったものと想定される。一方、流動性が高い砂質土系では、この界面での抵抗自体も相対的に小さくなると考えられるほか、縦方向の水みちが生じたことから、流動性（粘性）が低いだけでなく材料分離も生じやすかったために、 $F_s=1.0$ からの抵抗差が粘性土よりは小さくなったと考えられる。

実施工状態を模擬したソイルセメント柱体の被圧水抵抗は、攪拌によるソイルセメントの流動によって被圧水が通水しやすくなる傾向となり、静止状態（攪拌なし）に比べ耐えられる揚圧力が低下する（ $F_s=1.0$ （重量バランス）に近づく）ことが確認できた。

4. おわりに

本稿（その2）では、実験概要とアクリル管実験による施工時の不安定化挙動に関する検討として、主に模擬地盤の土質の違いについて考察した。その結果から、ソイルセメントの流動性が低い粘性土系の方が、重量バランス以外の抵抗メカニズムがより大きく発揮され、施工時の不安定化挙動に対する抵抗性が高くなると考えられる。次稿（その3）では、攪拌の影響について詳細な考察を行うとともに、ボイド管を用いた固化強度への影響について検討する。

参考文献

- 1) 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.37, p.67, p.71, 2017.
- 2) 西岡英俊, 大野隼, 渡邊瑞貴, 磯野泰佑: 高被圧地下水地盤でのソイルセメントの打設性状に関する模型実験, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, VI-06, 2022.
- 3) 塚本菜々子, 西岡英俊, 磯野泰佑, 渡邊瑞貴: 流動性と材料分離特性に着目したソイルセメントの配合設計事例, 第19回地盤工学会関東支部発表会概要集, pp.61-62, 2022.