

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3 攪拌の影響および固化強度に関する検討)

中央大学 正会員○西岡 英俊 学生会員 塚本 菜々子
(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

1. はじめに

著者らは、被圧地下水地盤でのソイルセメント柱体の打設における揚圧力 U とソイルセメント重量 W の関係性について研究¹⁾を行っている。前稿(その2)²⁾では、実験概要とアクリル管実験による通水状況観察結果を示した。本稿では、攪拌の影響に関する定量的な評価と固化強度に着目したボイド管実験について報告する。

2. 攪拌の有無が施工時の不安定化挙動に及ぼす影響

前稿²⁾では、揚圧力 U がソイルセメントおよびその上にある水の重量 W をある程度上回ると通水が生じることを報告した。通水が生じると、ソイルセメント内およびその上部にある水の重量が増加するため、実質的な安全率は初期の重量 W で算定した設定安全率 F_S (算定式の詳細は前稿²⁾参照)よりも大きくなる。そこで、ある設定安全率 F_S に応じた揚圧力 U によって通水が生じた状態での実質安全率(以下、 F_S')を、管内の水の重量を被圧水供給後の管内水位(当該揚圧力 U に上昇させてから60秒後の水位)を用いた式(1)により算出する。

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

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' : 被圧水供給後の管内水位と初期のソイルセメント柱上端高さの差
 h' : 給水タンク水位と被圧水供給後の管内水位の差

図-1に粘性土系と砂質土系の 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ほとんど生じていないことを意味し、 F_S と F_S' が乖離すると通水が生じていることとなる。そこで、以下では F_S と F_S' が乖離し始める直前の安全率を限界安全率 F_L と表記する。以下では攪拌の有無による限界安全率 F_L の変化に着目した考察を行う。

砂質土系の攪拌ありのケースでは、 $F_S=1.0$ を僅かに下回った段階で限界安全率 F_L に達し、それ以降の揚圧力 U の上昇に対しても実質安全率 F_S' は同等の値を示し、定常状態となっていることがわかる。一方、粘性土系の攪拌ありのケースでは、 $F_S \simeq 0.9$ で限界安全率 F_L に達し、

それ以降の実質安全率 F_S' も、砂質土系に比べると変動幅は大きいものの概ね限界安全率 F_L に収束しており、定常状態になっていると解釈できる。なお、粘性土系において限界安全率 F_L が $F_S=1.0$ を明確に下回ったのは、前稿²⁾で考察したように主にソイルセメントの流動性が低く、ソイルセメントとアクリル管の界面での摩擦抵抗などの重量バランス以外の抵抗メカニズムが発揮されたためと考えられる。また、粘性土系で定常状態での実質安全率 F_S' の変動幅が大きいことも、その流動性が低いことが影響していると考えられる(本実験では各段階の揚圧力 U の保持時間を60秒としているが、これを長くすれば変動幅は小さくなる可能性がある)。

一方、攪拌なしでは、攪拌ありよりも限界安全率 F_L は小さくなっているが、その後の揚圧力 U の増加(およびそれに伴う被圧水の供給量の増加)に対して実質安全率 F_S' は定常状態とはならず、上昇傾向を示した。流動性が高い砂質土系では $F_S=1.0$ 近くまで上昇しており、

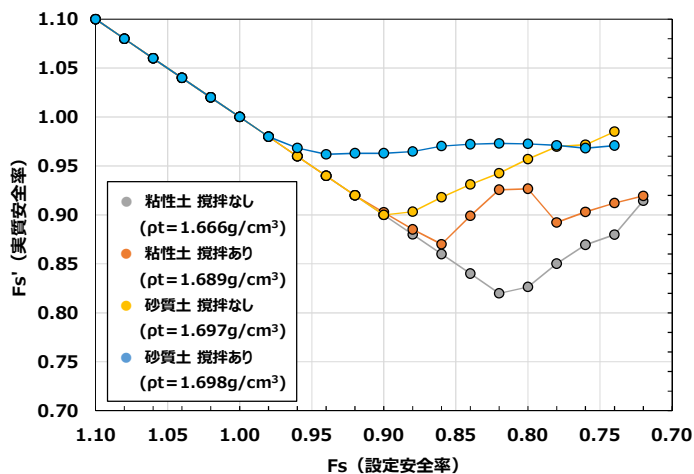


写真-1 ソイルセメント柱体全景



写真-2 切り出し状況



写真-3 一軸圧縮試験状況

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

攪拌しない場合には通水量が少ない間は摩擦抵抗等の重量バランス以外の抵抗メカニズムが発揮されるものの、通水量の増加に伴ってその抵抗が失われていったと考えられる。一方、流動性が低い粘性土系では、揚圧力 U の増加が生じて、実質安全率 F_S は $F_S=1.0$ までは上昇せず、攪拌ありの場合の限界安全率 $F_L \approx 0.9$ に漸近した。前稿²⁾に示したように粘性土系ではソイルセメント柱体が押し上げられるような動きをしていることから、攪拌の無い場合、界面での摩擦抵抗は初期に比較的大きな抵抗を示すものの、ソイルセメント柱体の動きに伴って攪拌時と同程度の抵抗に落ち着くものと考えられる。

以上より、攪拌の有無は、不安定化を生じ始める限界安全率 F_L には影響するものの、ある程度被圧水の供給が進んだ状態での安定性に及ぼす影響は小さいことがわかった。また、流動性が低い(すなわち粘性が大きい)ソイルセメントを用いた場合には、攪拌した場合でもソイルセメントとアクリル管の界面での摩擦抵抗のような重量バランス以外の抵抗メカニズムを期待できるものと考えられる。

3. ボイド管実験による固化強度に関する検討

実験装置に準備した2本のボイド管にソイルセメントを打設し、一方のみに被圧水の揚圧力を与えて、固化強度を比較した。実験ケースは、模擬地盤の土質と設定安全率 F_S の各2種類を組み合わせた全4ケース(No.①~④)とした。設定安全率 F_{Sl} は、重量バランスが釣り合う $F_S=1.0$ と、それよりも揚圧力が小さく安全側となる $F_S=1.05$ とした。攪拌は2本ともアクリル管実験と同じ時間(計20分間)実施し、揚圧力は打設から4時間程度作用させた後にコックを閉じ、その後は28日間養生した。なお、揚圧力作用中に管内の水位を断続的に測定したが、水位上昇は見られなかった。

固化したソイルセメント柱体(写真-1)は、上端部から200~500mm(上部)、600~900mm(下部)の位置で円柱供試体を切り出し(写真-2)、28日後に一軸圧縮試

験(写真-3)を実施した。表-1にボイド管から切り出した円柱供試体の一軸圧縮強さ(上下平均値)を、打設時に採取したモールド管供試体の強度と共に示す。

粘性土系では、被圧なしとありの強度差は比較的小さく、重量バランスの検討を満足していれば被圧によって固化強度が低下する可能性は低いと考えられる。一方、砂質土系では、被圧によって強度低下する傾向が見られ、特に揚圧力が小さい $F_S=1.05$ の方が強度低下傾向顕著となっており、設定安全率 F_S の大きさと強度低下傾向に相関がみられない結果となった。

砂質土系で強度低下した要因の一つとして、攪拌翼引上げ時にソイルセメント柱体内に被圧水を引き込んで水みちが作られた可能性が考えられる。ボイド管実験での攪拌翼引上げ状況を別途アクリル管で再現したところ、攪拌翼の通過に合わせて螺旋状に水みちを生じる場合(写真-4)もあった。現段階ではその発生条件が明確になっておらず、揚圧力が小さい $F_S=1.05$ の方が顕著な強度低下を示した理由を説明するには至っていない。しかしながら、揚圧力との重量バランスだけでなく、ソイルセメント自体の配合の僅かな違いが固化強度特性に影響を及ぼすと考えられる。特に砂質土系では流動性が高く、粘性が低く材料分離特性が高いと想定されることから、被圧環境下で強度低下が生じる不具合が発生する可能性が相対的に高かったと考えられる。

4. おわりに

本研究では、被圧地下水地盤でのソイルセメント柱体の打設性状について、施工時の攪拌混合状態を模擬した模型実験に基づく検討を行った。被圧地下水環境化での施工性および固化性状については、ソイルセメント自体の性状が大きく影響することが確認された。このことから、揚圧力に対する重量バランスの安全率は、その流動性、粘性、材料分離特性等の性状の違いも考慮して十分に安全側に設定する必要があると考えられる。なお、実際の施工現場では、重量バランスだけでなく、増粘材や遅延剤などを添加することによっても安全対策を講じており、本研究の結果はこれらの対策が妥当であることを示していると考えている。

参考文献

1)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.
2)渡邊瑞貴, 磯野泰佑, 西岡英俊, 塚本菜々子: 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), 令和5年度土木学会第78回年次学術講演会, 2023. (投稿中)

表-1 各ケースの固化強度

粘性土系					
No.	F _s	一軸圧縮強さ(N/mm ²)		強度発現率(%)	
		ボイド管	モールド管	ボイド管/モールド管	差
①	被圧なし	1.350	1.793	75.3	(+)0.6
	1.0	1.340	1.766	75.9	
②	被圧なし	1.235	1.570	78.7	(−)6.7
	1.05	1.355	1.883	72.0	
砂質土系					
No.	F _s	一軸圧縮強さ(N/mm ²)		強度発現率(%)	
		ボイド管	モールド管	ボイド管/モールド管	差
③	被圧なし	0.904	1.216	74.3	(−)2.87
	1.0	0.781	1.093	71.4	
④	被圧なし	1.31	1.410	92.9	(−)37.8
	1.05	0.713	1.293	55.1	



写真-4 引上げ状況