

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

中央大学 正会員○西岡 英俊 学生会員 大野 隼
テノックス 非会員 渡邊 瑞貴 非会員 磯野 泰佑

1. はじめに

鋼管ソイルセメント杭工法は、被圧地下水を有する地盤での施工性に優れる杭工法である。しかし、揚圧力とソイルセメント重量のバランスがある限界を上回った場合、ソイルセメント体の品質が低下して何かしらの不具合を生じる懸念があるものの、これらの不具合が実際に生じた事例は現場試験施工を含め確認されておらず、そのメカニズムは明確になっていないのが現状である。そこで本研究では、被圧地下水地盤でのソイルセメント柱体の打設性状に関する基礎的な模型実験を実施した。

2. 模型実験概要

図-1に示すように内径150mmの亚克力管とボイド管の中に練り混ぜ直後のソイルセメントを高さ約1.5mまで打設し、その上面に100mmの上水を張った後、それぞれの底部に通水管で接続された給水タンクをハンドリフトにより上昇させることで、被圧地下水環境下でのソイルセメント柱体の混合攪拌直後の状態を模擬した。また、被圧なしのボイド管も用意し、被圧水有無でのソイルセメント柱体品質を比較した。

本実験では粘性土系と砂質土系の2種類のソイルセメントを作製した。まず、模擬地盤としてトククレー（比重2.65）と東北珪砂7号（比重2.62）を粘性土系では重量比3:1で、砂質土系では逆に1:3で混合し、

飽和密度が 1.6g/cm^3 となるよう加水した。これに加えるセメントミルクは、施工管理要領¹⁾における杭一般固化部での標準的な配合仕様とし、被圧地下水地盤での施工実績²⁾を参考に、練り混ぜ後のソイルセメント密度が 1.5g/cm^3 程度となるよう、現地攪拌時に地山から供給される分の水を加水した。なお、砂質土系ソイルセメントでは、材料分離・ブリーディング防止のためセメント重量の10%のベントナイトを添加した。

本研究ではソイルセメント自重 W を揚圧力 U で除した次式の安全率 F_s を主たるパラメータとした。

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

ここで、 ρ_t :ソイルセメント密度(g/cm^3)、 ρ_w :水の密度(g/cm^3)、 L_s :ソイルセメント柱長さ(mm)、 L_w :上水高さ(mm)、 h :ソイルセメント柱上部水からの被圧水頭(mm)である。

亚克力管の実験では蛍光塗料入りの水を用いて固化前のソイルセメント内を被圧水が流れる様子をブラックライトで観察した。ボイド管の実験では、揚圧力を数リットル程度のオーバーフロー水量が生じるまでの時間(30分~4日)保持した後に、固化後(28日後)の強度を針貫入試験器³⁾で測定した。

3. 試験結果

(1) 被圧水移動状況観察結果

粘性土系では、 $F_s=1.1$ から0.95までは明瞭な水の動きは確認できなかったが、さらに揚圧力を高めた $F_s=0.91$ において、被圧水が横方向のクラックを生じさせ、それよりも上部のソイルセメント柱体を全体的に押し上げた(図-2(a))。

一方、砂質土系では、 $F_s=1.1$ 、1.05では明瞭な水の動きは確認できず、 $F_s=1.0$ まで揚圧力を上げた直後は、部分的な被圧水の流れが観察されたが、しばらくすると流れは止まった。その後、 $F_s=0.95$ まで揚圧力を上げると、下部から上部まで水みちがソイルセメント側面を縦断した(図-2(b))。

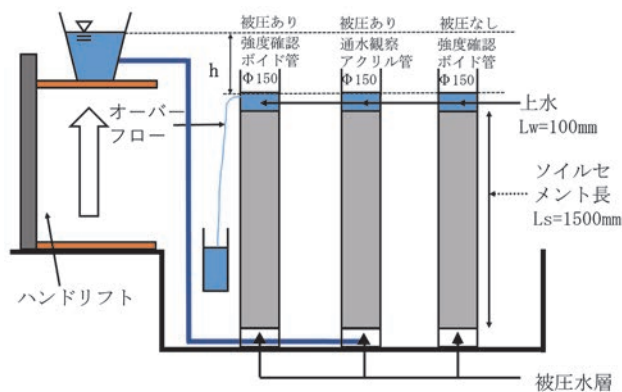
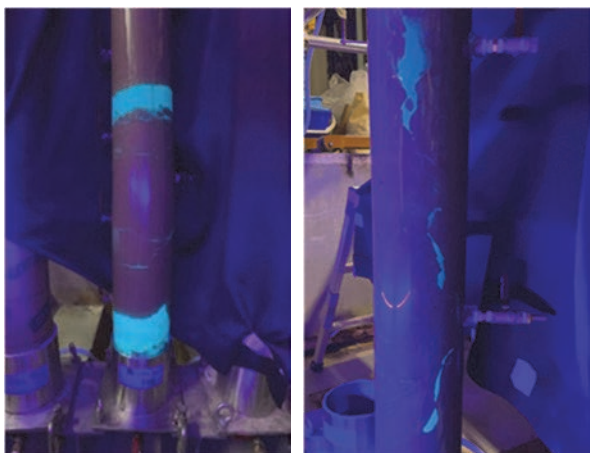


図-1 模型実験装置

キーワード 被圧地下水, ソイルセメント, ボイリング, ヒービング, 盤ぶくれ

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



(a) 粘性土系 $F_s=0.91$ (d) 砂質土系 $F_s=0.95$

図-2 アクリル管試験被圧水移動状況観察結果

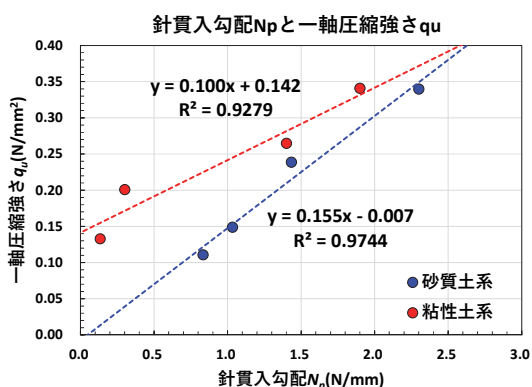


図-3 針貫入勾配 N_p と一軸圧縮強さ q_u

(2) ソイルセメント柱体の固化性状

針貫入試験は、ポイド管のソイルセメント柱体から長さ 30cm の円柱供試体を 3 断面（上・中・下部）切り出し、その上面 9 か所から下向きに、およびそれを縦方向に切断した縦断面の計 27 か所から水平方向に実施した（水平方向の一部は、切断装置準備が間に合わず未実施）。なお、針貫入勾配 N_p から一軸圧縮強度の推定 q_u は、セメント添加量のみ変化した模擬供試体（φ50mm, h100mm）における $N_p \sim q_u$ 関係（図-3）を用いた。

試験結果を表-1、表-2 に示す。被圧による通水量が多くなるほど強度が低下する傾向が確認できる。粘性土系（表-1）では被圧無に比べて $F_s=1.05 \sim 1.0$ までは緩やかに強度低下し、 $F_s=0.95$ になると上部において著しい強度低下が発生した。砂質土系（表-2）では被圧無に比べて $F_s=1.05$ では僅かに強度低下が見られ、 $F_s=1.01, 1.0$ の上部において激しい強度低減傾向が確認された。

表-1 一軸圧縮強度と変動係数（粘性土系）

粘性土系		強度値	被圧無	$F_s = 1.05$	$F_s = 1.0$	$F_s = 0.95$
上部	供試体上面	$q_{u,ave}$	0.262	0.244	0.215	0.142
		V_{qu}	7.7%	4.9%	10.2%	0.0%
	縦断面	$q_{u,ave}$	/	0.236	/	0.164
		V_{qu}	/	13.3%	/	18.4%
中部	供試体上面	$q_{u,ave}$	0.264	0.251	0.237	0.239
		V_{qu}	11.6%	7.0%	3.1%	8.3%
	縦断面	$q_{u,ave}$	/	0.236	/	0.199
		V_{qu}	/	11.1%	/	18.3%
下部	供試体上面	$q_{u,ave}$	0.238	0.242	0.248	0.222
		V_{qu}	7.1%	9.0%	6.3%	15.0%
	縦断面	$q_{u,ave}$	/	0.236	/	0.229
		V_{qu}	/	8.3%	/	9.4%

表-2 一軸圧縮強度と変動係数（砂質土系）

砂質土系		強度値	被圧無	$F_s = 1.05$	$F_s = 1.01$	$F_s = 1.0$
上部	供試体上面	$q_{u,ave}$	0.095	0.079	0	0
		V_{qu}	36.7%	34.1%	/	/
	縦断面	$q_{u,ave}$	0.17	0.163	0.023	0.139
		V_{qu}	30.7%	27.4%	162.0%	68.5%
中部	供試体上面	$q_{u,ave}$	0.203	0.21	0.155	0.193
		V_{qu}	24.1%	30.9%	35.4%	24.6%
	縦断面	$q_{u,ave}$	0.302	0.256	0.252	0.265
		V_{qu}	19.5%	19.7%	20.8%	29.7%
下部	供試体上面	$q_{u,ave}$	0.408	0.198	0.224	0.244
		V_{qu}	11.5%	26.2%	32.6%	39.4%
	縦断面	$q_{u,ave}$	0.327	0.215	0.292	0.335
		V_{qu}	18.5%	28.5%	21.0%	19.5%

4. まとめ

被圧状態を模擬したソイルセメントの打設実験を実施した結果、揚圧力 U と自重 W のバランスによる安全率 $F_s = W/U$ が、 $F_s = 1.05$ 程度までは被圧水の動きもほとんどなく、強度低下が小さいことが確認できた。また、それよりも揚圧力が高くなった場合の挙動は、原地盤が粘性土系の場合と砂質土系の場合とで大きな違いがあり、砂質土系の方が被圧水の影響を受けやすい傾向が確認できた。

【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.20，2017.
- 2) 曾我大介，川中島寛幸，黒田晴，佐名川太亮：被圧地下水を有する地盤における鋼管ソイルセメント杭の品質確認，第56回地盤工学研究発表会，No.12-8-3-04，2021.
- 3) 土木学会：軟岩の調査・試験の指針（案），1991.