

第 III 部門

セメントを添加したソイルベントナイト遮水壁の遮水性能評価

京都大学大学院 学生員 ○ 山口 和樹
 京都大学大学院 正会員 高井 敦史
 京都大学大学院 正会員 乾 徹
 京都大学大学院 正会員 勝見 武

1. はじめに

原位置土にベントナイトを添加、混合することにより造成されるソイルベントナイト (SB) 鉛直遮水壁は、高い遮水性、自己修復性を有する遮水壁としてその適用性が確認されている。一方、SB 遮水壁は強度が低いため、サイト条件や要求品質次第ではセメント添加による強度改善を図るケースや、部分的にソイルセメント (SC) 壁と接合する場合が想定される。このとき、セメントから溶脱するカチオンがベントナイトの膨潤を阻害することから、セメントを含む SB (以下、SBC) の遮水性能について明らかにする必要がある。本研究では、配合の異なるセメント改良土を母材として作製した SBC を用い、セメント混合が遮水性能に及ぼす影響を評価した。

2. 実験方法

2.1 供試体の作製方法 セメント改良土の母材にはまさ土を用いた。まさ土の基本特性を表-1 に示す。セメントには高炉セメント B 種 (住友大阪セメント株式会社, 粒子密度 3.04 g/cm^3) を、ベントナイトには Na 型でモンモリロナイト含有率 48%、陽イオン交換容量は 0.732 meq/g のものを用いた。初めに、間隙比 0.60 の飽和砂地盤を想定し、最大粒径が 4.75 mm になるよう粒度調整したまさ土の含水比を 23% に調節した。次に、水セメント比 (W/C) が 1 となるよう等量のセメントと蒸留水を混合してセメントスラリーを作製し、セメント添加量 (以下 C_{CP}) が母材に対して 500 kg/m^3 、 300 kg/m^3 、 100 kg/m^3 の 3 通りになるよう母材に添加した。これらの添加量は、既往研究²⁾で採用された値を参照し、強度発現のために添加量を増加する可能性を考慮して決定した。十分に混合・攪拌した後に、ソノモールド (内径 5.0 cm 、高さ 10.0 cm) に空気を抜くようにして流し込み、プラスチックフィルムで上部を覆った状態で 3 時間養生した。その後、安定液としてベントナイトスラリー (質量換算で 10% 濃度になるようベントナイトに蒸留水を加えて攪拌し 24 時間静置したもの) を母材に対し 100 kg/m^3 で添加し、十分に混合・攪拌した。この値はまさ土にベントナイトスラリーを添加し、十分に混合・攪拌した時点で、フロー値 (JIS R 5201 に準拠) が 150 mm を満足していることを確認し決定した。ここでセメントの添加量によってフロー値が異なることが考えられるが、ベントナイト添加量を全てのケースで同じにするためベントナイトスラリー量は統一した。ここに母材に対し粉体ベントナイト添加量 (以下 C_{BP}) が 100 kg/m^3 となるようベントナイトを添加し、再度十分に混合攪拌した。

2.2 柔壁型透水試験 試料土を圧密セル内 (内径 6.0 cm 、高さ 2.0 cm)

にスプーンで入れ、突き棒で空隙を無くしながら詰めた。これを所定の圧密応力で予備圧密を行い、脱気水に浸した状態で約 24 時間減圧脱気し、飽和度を高めた。予備圧密は、 19.6 kPa 、 39.2 kPa の圧密圧力でそれぞれ 24 時間ずつ、計 48 時間行った。その後、供試体を柔壁型透水試験装置に設置し、動水勾配は約 50、拘束圧は 30 kPa で透水溶液には蒸留水を用い、試験を行った。表-2 に実験ケースおよび試験条件を示す。ベントナイトの添加による SC の遮水性能の変化を把握するため、各 C_{CP} で作製した SC に対しても試験を行った。SC のケースではセメント

表-1 まさ土の基本特性

土粒子密度 (g/cm^3)	2.65
礫分 (%)	29.82
砂分 (%)	61.14
細粒分 (%)	9.04
平均粒径 (mm)	1.11
均等係数	17.1

表-2 透水試験の条件

Case	$C_{BP} (\text{kg/m}^3)$	$C_{CP} (\text{kg/m}^3)$	間隙比
SBC500 (1)	100	500	0.89
SBC500 (2)			0.81
SBC300 (1)		300	0.74
SBC300 (2)			0.74
SBC100 (1)		100	0.75
SBC100 (2)			0.71
SC500	0	500	0.59
SC300		300	0.55
SC100		100	0.52

を添加してから7日後に透水試験を開始した。表2に示した間隙比は、まさ土とセメントの各粒子密度から固相の粒子密度を算出し求めた。SBCのケースではいずれも $n=2$ で実施した。

3. 結果と考察

SBCの透水試験の結果を図-1に示す。間隙流量(PVF)との関係を見ると同条件の2つの供試体でばらつきが大きい、経過時間で評価すると概ね同等の値を示しており、SBCの透水係数はセメント水和の反応時間によって決定されることが分かる。いずれのケースでも時間とともに透水係数は低下しており、図-2に示したSCの透水係数の変化と傾向は類似している。SBCのケースでは、透水開始時の透水係数はいずれの添加量も 10^{-9} m/s オーダーであったが、 C_{CP} が 300 kg/m^3 と 100 kg/m^3 のケースでは、いずれも約2日後には性能基準の 1.0×10^{-9} m/sを満たし、その後 10^{-11} m/s オーダーにまで低下した。SCの透水係数は、透水開始時はいずれの添加量でも 10^{-8} m/s オーダーであるが、 500 kg/m^3 と 300 kg/m^3 ではセメントの水和反応開始から2週間程度で性能基準の 1.0×10^{-9} m/sを満たした。また、 C_{CP} が多いほどSCの透水係数は小さいことが分かる。図-3に、セメントの水和反応開始から7日時点でのSCとSBCの透水係数を示す。この結果からも、SCの透水係数はセメント添加量が多いほど小さくなるが、SBCの透水係数はセメント添加量と一意的な相関が無いことが分かる。これはセメントから溶脱するカチオンが相対的に多く、ベントナイトの膨潤が阻害されたと考えられる。一方、 $C_{CP} = 100 \text{ kg/m}^3$ 、 300 kg/m^3 のケースでは2オーダー透水係数が低下し遮水性能が改善したのに対し、 500 kg/m^3 では約1/4倍程度の低下であった。ここで溶脱イオンがベントナイトの膨潤性に及ぼす影響を明らかにするため、3時間養生後のSCを用いて液固比10で6時間振とうし、固液分離を行った後、セメントに多く含まれるAl、Ca、K、Naの各成分を定量した。各成分の結果からイオン強度を算出すると、 C_{CP} が多いほどイオン強度は大きかった。図-4に、図-3に示した k_{SC} と k_{SBC} の比とイオン強度の関係を示す。縦軸の値が小さいほどベントナイトの添加により遮水性が向上したことを意味するが、イオン強度が 0.035 mol/L 付近でベントナイトの膨潤性が著しく低下した。既往研究でもイオン強度が 0.04 mol/L 程度でベントナイトの膨潤力が蒸留水の半分程度になることが示されており³⁾、妥当な結果と言える。

4. おわりに

本研究では配合の異なるセメント改良土を母材として作製したSBCを用い、セメント混合が遮水性能に及ぼす影響を評価した。その結果、 $C_{CP} = 100 \text{ kg/m}^3$ 、 300 kg/m^3 のケースではベントナイトの膨潤性は同程度だと考えられるが、 500 kg/m^3 では他の添加量に比べベントナイトの膨潤性が著しく低下していることが確認された。

参考文献

- 1) 高井ら：土木学会論文集C（地圏工学），68(1)，1-14，2012. 2) 嘉門ら：材料，49(1)，22-25，2000. 3) Katsumi et al.: *Soils and Foundations*, 47(1)，79-96，2007.

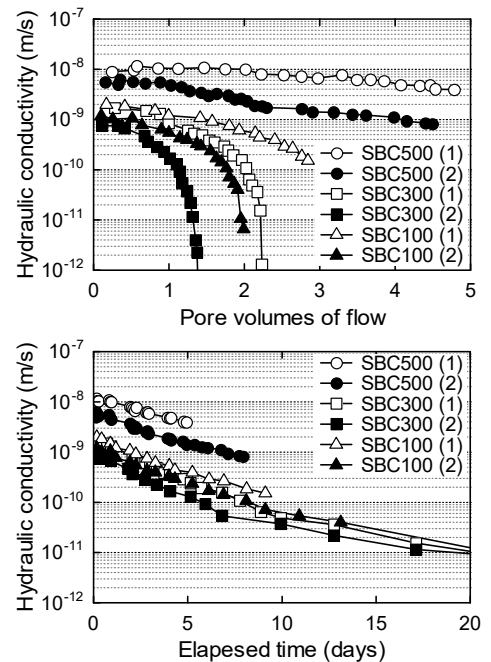


図-1 SBCの透水係数の経時変化（上：間隙流量との関係，下：経過時間との関係）

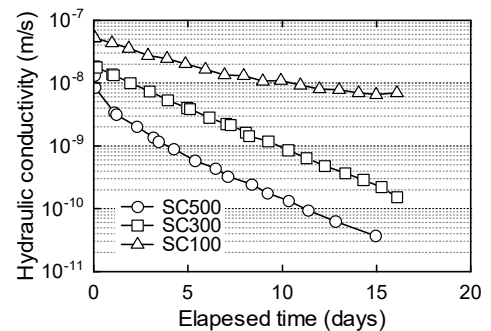


図-2 SCの透水係数の経時変化

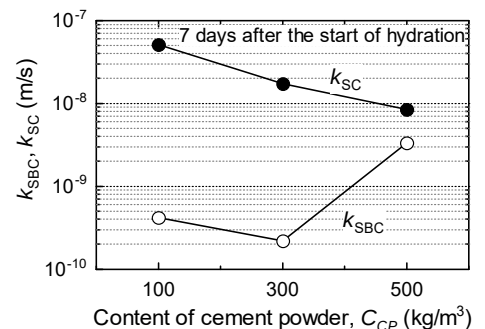


図-3 セメント水和から7日後の k_{SBC} と k_{SC}

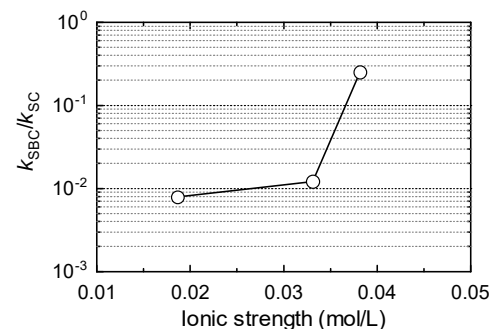


図-4 k_{SBC}/k_{SC} とイオン強度の関係