

第Ⅲ部門

ソイルベントナイト鉛直遮水壁の遮水性能とその耐化学性

京都大学工学部	学生会員	○松橋大作
京都大学大学院地球環境学堂	フェロー	嘉門雅史
京都大学大学院工学研究科	学生会員	小川泰弘
京都大学大学院地球環境学堂	正会員	勝見 武
京都大学大学院地球環境学堂	正会員	乾 徹

1. はじめに

土壤汚染に対する問題意識の高まりから、地下水による周辺基盤への汚染物質の浸出を合理的に防ぐ原位置封じ込め措置として、ソイルベントナイト鉛直遮水壁（以下 **SB** 鉛直遮水壁）が開発された。**SB** 鉛直遮水壁は原位置土にベントナイトを添加して混合・攪拌することにより造成するものであり、ベントナイトの水和膨潤特性を利用した高い遮水性能を持つ。**SB** 鉛直遮水壁の遮水性に影響を与える主な外的要因として、遮水壁に作用する応力と地下水中の化学物質濃度が挙げられる。特に地下水中の電解質としての多価カチオンがベントナイトの膨潤特性に影響を与えることは既往の研究からもわかっている¹⁾。本研究では **SB** を対象として電解質水溶液を用いた透水試験を実施し、さらに原位置の応力状態を考慮して拘束圧を変化させ、透水溶液の化学物質濃度ならびに拘束圧が **SB** の透水係数に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

実験に使用した **SB** の使用材料と配合を表 1 に、物性を表 2 に示す。透水溶液には電解質水溶液として 2 価カチオンをもつ CaCl_2 水溶液 (0.1 M、1.0 M) と蒸留水を用いた。透水試験には低透水性多孔質媒体の透水係数の測定に有効とされている柔壁型透水試験装置を使用した。透水試験を開始する前に供試体は飽和させた状態で内径 6 cm の圧密セル内で予備圧密を行い、ベントナイトを十分に膨潤させた。予備圧密終了後、供試体を約 2.5 cm の高さに切断し、柔壁型透水試験装置にセットした。透水試験中の拘束圧は 15～150 kPa とし、動水勾配は 50～60 としたが、拘束圧が 15kPa のケースにおいてのみ約 30 としている。試験中は流入水量および流出水量と、流出水の電気伝導度を適宜測定した。また、膨潤試験は ASTM 5890 に準拠し、100 mL 溶液中における 2 g のベントナイトの膨潤体積を膨潤力 (単位は mL/2g-solid) とした。

表 1 使用材料と配合

使用材料	配合
砂礫土 ($w_n = 26\%$)	1) 砂礫土と関東ロームを関東ローム ($w_n = 70\%$) 25:4 (質量比) で混合。
ベントナイト (クニゲル V_L , クニミネ工業製)	
蒸留水	2) 1) に 10 % 濃度ベントナイト掘削液を添加。フロー値を 150 に調整。 3) 2) にベントナイト 100 kg/m^3 を粉体添加混合。

表 2 **SB** の物性

塑性限界	24.2 %	粒径分布	
液性限界	75.2 %	礫分	4.1 %
塑性指数	51.0	砂分	51.7 %
土粒子密度	2.72 g/cm^3	シルト分	23.3 %
含水比	約 32 %	粘土分	20.9 %

3. 実験結果

3.1 透水係数の経時変化

図 1 に拘束圧が 30 kPa の時の透水係数の経時変化を示す。透水溶液に蒸留水を用いた場合には、透水係数は実験開始直後から減少を続ける。これは予備圧密時にベントナイトが水への曝露を土粒子に阻害されて十分に膨潤できず、その結果ベントナイトが透水試験中に流入水を取り込み、オスモチック膨潤や拡散電気二重層を形成したためと考えられる。また、試験中に二次圧密が生じ、透水に寄与する供試体の有効間隙が減少することともその要因と考えられる。

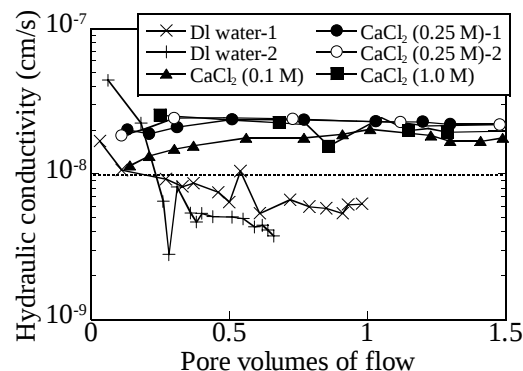


図 1 透水係数の経時変化

透水溶液に CaCl_2 水溶液を用いた場合には、初めに徐々に増加した後定常もしくは漸減する傾向を示す。ベントナイトは始めに蒸留水に曝露されたため、実験開始時には透水溶液に蒸留水を用いた場合と同程度の透水係数を示したが、実験経過とともにベントナイトに含まれるナトリウムイオンがカルシウムイオンと交換され、ベントナイトの膨潤がオスモチック膨潤から結晶性膨潤に変化したため膨潤量が減少し、さらに拡散電気二重層の形成を妨げたことが要因と考えられる。これらの傾向は 30 kPa 以外の他の拘束圧の時においても共通してみられた。

図 2 に透水溶液に CaCl_2 水溶液 0.1 M と 1.0 M を使用し、拘束圧が 30 kPa の時の透水係数の長期的挙動を示す。測定期間は約三ヶ月である。実験初期には透水係数は若干の変動を示すが、Pore volume が 3 を越えると大きな変化は認められなくなる。

3.2 拘束圧が透水係数に及ぼす影響

拘束圧と、定常状態と判断される時の透水係数の関係を示した図 3 から、拘束圧の増加に伴い透水係数が減少していることが確認される。これは、予備圧密、拘束圧が大きいほど供試体が圧縮され、間隙が減少するとともに透水に寄与する有効間隙が狭められたためと考えられる。拘束圧が最も低い 15 kPa の時においても透水係数は 10^{-8} cm/s 程度と非常に高い遮水性を持ち、さらに 150 kPa の時には透水係数は 4～5 分の 1 程度減少する。

3.3 CaCl_2 濃度が透水係数に及ぼす影響

図 4 に透水溶液の CaCl_2 濃度と透水係数の関係を示す。透水溶液として CaCl_2 水溶液を用いた場合、蒸留水を用いた場合と比較して透水係数は約 2 倍程度高くなる。これは先に述べたようにカルシウムイオンがベントナイトのオスモチック膨潤と拡散電気二重層の形成を阻害したためと考えられる。

一方、 CaCl_2 水溶液 0.1 M と 1.0 M を比較した場合、ほとんどその差はみられず、 CaCl_2 水溶液の濃度が 0.1 M 以上になると SB 鉛直遮水壁の遮水性に及ぼす影響はほとんど変化しないといえる。これは表 3 における膨潤試験の結果においても同様のことが確認され、SB とベントナイトの膨潤量との間には強い相関があるといえる。

4. 結論

SB の遮水性能はベントナイトの膨潤量と強い相関があり、透水溶液の CaCl_2 濃度が高いほど透水係数は高くなり、拘束圧が大きいほど透水係数は低くなることがわかった。本研究において最も透水係数が高くなる条件である、拘束圧が 15 kPa、 CaCl_2 濃度が 1.0 M の条件においてもその透水係数は 1×10^{-7} cm/s 以下と非常に高い遮水性を持つことが確認された。

謝辞：本研究の推進にあたり、データ・試料等の提供をいただいたライト工業（株）荒木 進氏に深謝申し上げます。

【参考文献】 1)勝見 武, C.H. Benson, 嘉門雅史 (2001): ベントナイトを用いた遮水ライナーの耐化学性について, 土と基礎, Vol.49, No.2, pp.21-24.

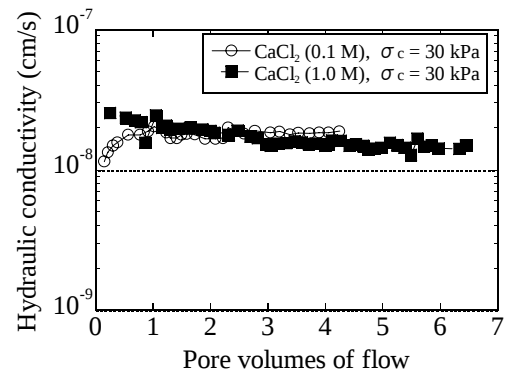


図 2 透水係数の長期的挙動

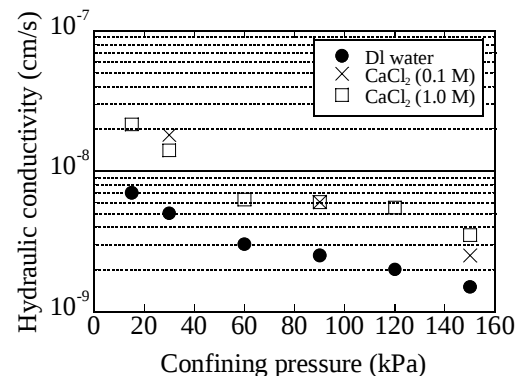


図 3 拘束圧と透水係数の関係

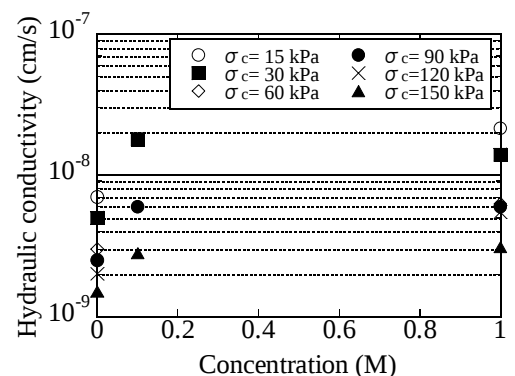


図 4 CaCl_2 濃度と透水係数の関係

表-3 膨潤試験結果

Solution	Swell volume (mL/2g-solid)
Distilled water	24
CaCl_2 (0.1 M)	8.0
CaCl_2 (1.0 M)	7.5