

第 III 部門

掘削土砂から発生する酸性水が粘土ライナーの遮水性能に及ぼす影響

京都大学工学部	学生員	○最上	裕生
京都大学大学院	学生員	出島	茜
京都大学大学院	正会員	勝見	武
京都大学大学院	正会員	乾	徹
高松工業高等専門学校	フェロー	嘉門	雅史

1. はじめに

我が国には金属鉱床、海成泥質堆積物などを起因とする自然由来の重金属を含有する土壌、岩盤が普遍的に存在する。そのため、トンネル工事やダム建設等の際に発生する掘削ずりから、環境基準を超える濃度の重金属が溶出することがある。自然由来の重金属を含む岩石・土壌は土壌汚染対策法の適用対象外であるが、掘削工事等により地表環境へ曝露されると酸化が進み重金属の溶出が促進される可能性があるため、適切な対策を施す必要がある。近年ではこうした自然由来の重金属を含有する掘削ずりについての対策が進んでおり、廃棄物処分場相当の遮水構造を有する封じ込め施設への埋立・処分も実施されている。しかし、処分施設の建設や処分施設への掘削ずりの搬入等には多額の費用を要するため、安全でかつ合理的に建設発生土を有効活用する技術を確認していくことが重要な課題となっている。本研究では、比較的簡便な遮水工を備えた盛土として掘削ずりを有効活用する封じ込め盛土工法において遮水工にジオシンセティッククレイライナー(GCL)を適用できないかと考え、掘削土砂から発生する酸性水が GCL の遮水性能に及ぼす影響を検討する。

2. 実験方法

2.1 試料 酸性水を発生する掘削ずりを試料として使用した。蛍光 X 線分析による化学組成の分析結果を表-1 に示す。溶出水が顕著に酸性を示す掘削ずりの特徴は二酸化珪素 (70 wt%以上)、硫黄(0.5 %以上)に富み、酸化カルシウム (1.0 %以下) や酸化ナトリウム (0.5 %以下) に乏しい特徴がある。本試料は硫黄を約 5.5 %程度含んでおり、カルシウムやナトリウムが微量であることから、極めて酸性水を発生しやすい土壌であるといえる。この試料について平成 3 年環境庁告示第 46 号試験方法 (JLT46)を実施し、得られた溶液を膨潤試験や透水試験で用いた。この溶液の pH ならびに鉛 (Pb) とヒ素 (As) の濃度を表-2 に示す。

表-1 試料土の主要化学組成

元素名	単位 (wt%)
Si	49.18
Al	16.99
K	16.44
Fe	9.70
S	5.30
Ti	1.95

表-2 溶液の化学的特性

pH	Pb (mg/L)	As (mg/L)
3.3	0.004	<0.001

2.2 膨潤試験 乾燥したベントナイトを 2g 用意し、少しずつベントナイトと所定の溶液 100mL をメスシリンダーに投入、混合する。溶液中で膨潤したベントナイトの体積をメスシリンダーの目盛りから読み取り、膨潤量 (単位は mL/ 2g-solid) とした。pH に対するベントナイトの膨潤特性を調べるために、硫酸を用いて調製した pH = 1, 2, 3, 4, 5 の溶液、蒸留水 (pH = 6.2)、2.1 に示した JLT46 により得られた溶出液 (pH = 3.3) の 7 種類について膨潤試験を行った。

2.3 柔壁型透水試験 GCL を直径 60 mm に成形し、図-1 に示す柔壁型透水試験装置にセットした。透水試験は拘束圧 30 kPa、動水勾配約 80~90 の条件で実施した。透水溶液には表-3 に示す蒸留水 (pH = 6.2)、硫酸で調製した酸性水 A (pH = 1)、酸性水 B (pH = 3)、掘削ずりを用いて作製した溶出液 (pH = 3.3) の 4 種類の溶液を用いた。(1) 流入量と流出量がほぼ等しくなること、(2) 透水係数が安定すること、(3) 供試体の間隙体積の 3 倍以上の流出量を得る

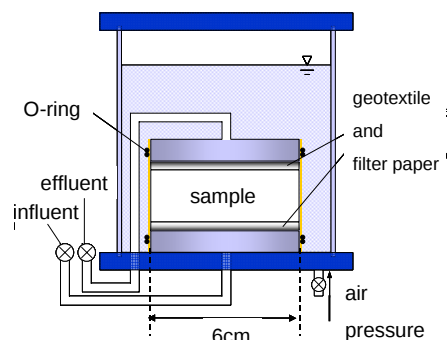


図-1 柔壁型透水試験装置

表-3 透水溶液の化学的性質

試験ケース	pH	EC [mS/m]
1 蒸留水	6.2	0.157
2 酸性水 A	1.0	3470
3 酸性水 B	3.0	35.9
4 溶出液	3.3	56.7

こと、を確認した時点以降の透水係数の平均値を、その供試体の透水係数の代表値とした。

3. 実験結果とその考察

3.1 膨潤試験 図-2に pH と膨潤量の関係を示す。pH が3以上では30 mL程度ではほぼ一定となっているが、pH がそれ以下の酸性になると膨潤量は急速に減少し、pH = 1では約15 mLとなった。pH = 1の溶液中の電気伝導度は3.47 S/mと比較的低く、すなわち電解質の濃度が低いにもかかわらず膨潤量が低い。これは酸による粘土粒子の分解が原因と考えられる¹⁾。

3.2 透水試験 各透水溶液に対するGCLの透水係数を経時的に計測した結果を図-3に示す。横軸のPore volume of flow (PVF) は経過時間に関する無次元パラメーターで、累積流出量をGCLの間隙体積で除した値である。蒸留水、酸性水B、溶出液では透水係数は $k = 2.0 \times 10^{-9}$ cm/s程度であるのに対し、pH = 1の酸性水Aでは徐々に透水係数が増加し、PVF = 22.2で透水係数は $k = 3.7 \times 10^{-8}$ cm/sまで増加している。いずれの溶液も、現段階で流出水と流入水の化学特性が大きく異なり、ベントナイトと化学物質の相互反応が収束していないため、今後透水係数が変化する可能性がある。

図-4に透水溶液のpHと透水係数の関係を示す。蒸留水、酸性水B (pH = 3)の両方において透水係数は $k = 2.0 \times 10^{-9}$ cm/s程度の非常に低い値を示している。これに対して酸性水A (pH = 1)では、透水係数は約 $k = 8.0 \times 10^{-9}$ cm/s程度で、他の溶液に比べ高い値となっている。これは強酸溶液によりGCL中のベントナイトの膨潤が阻害されていることが原因であると示唆される。図-5に3.1に示した膨潤量と透水係数の関係を示す。縦軸は各溶液を透水した際のGCLの透水係数 K_c と蒸留水を透水した際のGCLの透水係数 K_{DI} の比で、横軸は当該溶液に対するベントナイト膨潤量 S_c を2 gのベントナイトの自然乾燥時の体積 V_{db} で除した値を用いている。膨潤量と透水係数値には高い相関があり、膨潤量が増加すると透水係数が減少することが示唆される。

4. おわりに

本研究では、pH < 3の強酸性溶液においてベントナイトの膨潤量が減少し、GCLの透水係数値が増加した。しかし実際の盛土内において黄鉄鉱を含む土壌から出る酸性水のpHがpH < 3まで下がることは考えにくく、今回採取した土壌からの溶出水もpH = 3.3程度である。この溶出水に対する透水係数も約 $k = 1.6 \times 10^{-9}$ cm/sと十分低い値を示したことから、GCLの遮水性能が影響を受ける可能性は低いと考えられる。今後の課題としてpH = 3の溶液においても溶液中の電解質濃度が高くなれば、GCLの遮水性能に影響を与える可能性があるため、電気伝導率の影響も加味した評価を行う必要がある。

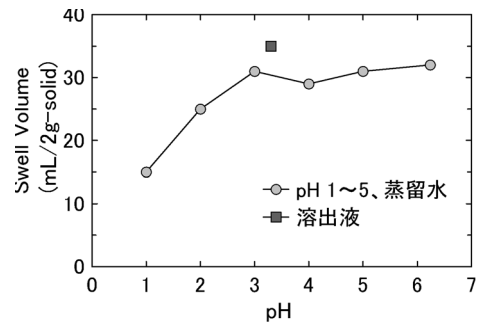


図-2 pH と膨潤量の関係

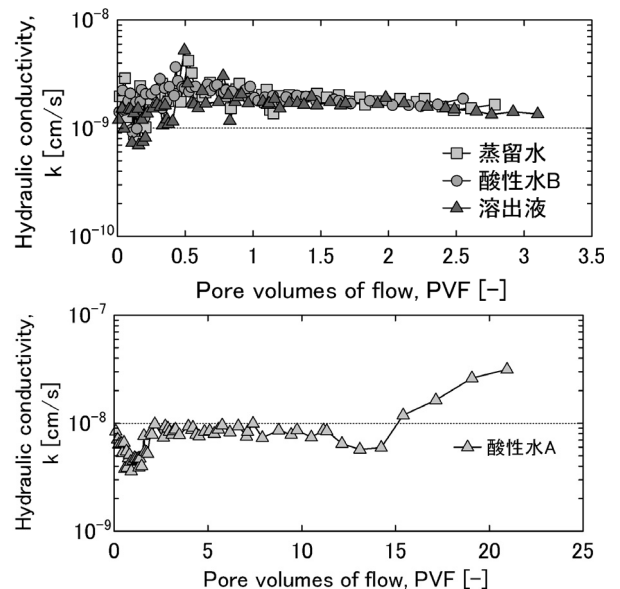


図-3 透水係数の変化

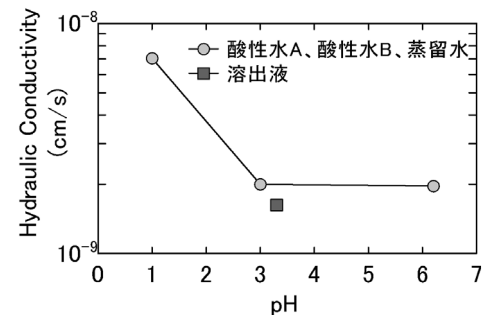


図-4 pH と透水係数の関係

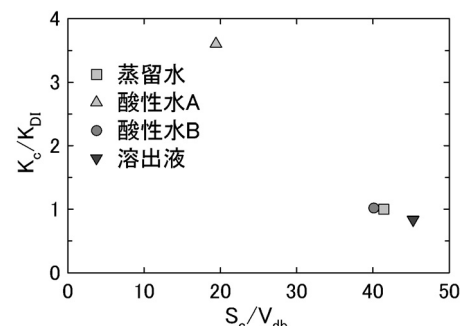


図-5 膨潤量と透水係数の関係

参考文献: 1) Jo, H.Y., Katsumi, T., Benson, C.H., and Edil T.B. (2001): Hydraulic conductivity and swelling of non-prehydrated GCLs permeated with single-species salt solutions, *J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.27, No.7, pp.557-567.