

第 III 部門

鉄イオンを含む酸性溶液に対する吸着層の透水性性能評価

京都大学	正会員	○加藤智大
京都大学	学生員	緒方里帆
国立環境研究所		Gathuka Lincoln
京都大学	正会員	高井敦史
京都大学	フェロー会員	勝見 武

1. 研究背景と目的

建設工事で大量に発生する掘削土には、ヒ素やフッ素などの自然由来重金属等が含まれることが多い。自然由来重金属等の濃度が土壌溶出量基準に適合しない場合の対策の一つとして、掘削土の下部に重金属等を捕捉する能力を持つ吸着層を施工し、重金属等を含む浸透水を浄化するという、吸着層工法が提案されている¹⁾。既往の研究では、吸着層に用いる材料の浄化能力に着目した研究や取り組みが多い一方で¹⁾、吸着層の透水性に着目した研究は限られている。特に、掘削土から共存物質が沈殿物を生成して間隙を閉塞することによって吸着層の透水性が低下すると、掘削土からの浸透水が吸着層を透過できず、周辺環境を汚染する可能性も考えられる。そこで本研究では、鉄イオンを含む酸性水が発生した事例が多いことを踏まえ²⁾、硫酸鉄の試薬を用いて酸性溶液を調製し、まさ土と吸着材を混合した供試体に通水する透水試験を実施し、吸着層の透水性を評価した。

2. 研究手法

2.1 使用材料: 粒径が 0.075 mm 以下のマグネシウム系吸着材を、まさ土に質量比 5% で混合して吸着層の材料とした。X 線回析の結果から、吸着材の主成分は酸化マグネシウム (MgO) やドロマイト ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) であり、粒子密度は 2.86 g/cm^3 であった。まさ土の最大粒径は 2 mm で、粒径 0.075-2 mm の砂分が 85.9%、0.005-0.075 mm のシルト分が 7.7%、0.005 mm 以下の粘土分が 6.4%、土粒子密度 ρ_s は 2.664 g/cm^3 であった。また、吸着材を質量比 5% でまさ土に混合した試料の締固め試験を行い、最適含水比が 10.7%、最大乾燥密度が 1.95 g/cm^3 であった。

鉄イオンを含む酸性溶液は、硫酸鉄(III)n 水和物 ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、富士フイルム和光純薬株式会社製) の試薬を蒸留水に溶解し、所定の鉄イオン濃度 ($\text{Fe} = 4, 45 \text{ mg/L}$) となるように調製して透水試験の流入液とした。溶液の pH はそれぞれ 3.5, 2.8 であった。また、比較実験として蒸留水を流入液として通水する試験も行った。

2.2 透水試験と化学分析: 透水試験の様子を図-1 に示す。内径 5 cm、高さ 10 cm の円筒カラムに供試体を充填し、マリOTTサイフォンを用いて定水位で通水した。まず、カラムへ下端に蓋を取り付けてろ紙を置き、側壁漏れを防ぐためにカラム円筒部内側にグリースを塗布した。締固め試験の結果を踏まえ、締固め度 D_c が 95% となるように試料を突き固めた。充填の際は試料を 5 層に分け、2 cm ごとに供試体高さを確認した。試料充填後は、供試体上部にろ紙と蓋を取り付け、真空デシケーター内で 48 時間脱気した。その後、マリOTTサイフォンに接続し、動水勾配が 1 になるようカラムの位置を調整した上で、通水を開始した。試験中は 1~4 日に 1 回の程度で流出液を採水した。



図-1 透水試験の様子

採水直後、流出液の質量と流出液の温度を測定することで、温度 15°C に対する透水係数 k_{15} を算出した。その後、流出液を遠沈管に 40 mL 程度取り分け、孔径 0.45 mm のメンブレンフィルターでろ過を行って検液を作製した。検液の pH と電気伝導度 (EC) は、pH/EC メーター (F-73、堀場製作所製) で測定した。また、検液中の鉄 (Fe) 濃度、マグネシウム (Mg) 濃度を測定するため、検液を硝酸酸性に処理して、ICP 発光分析装置 (ICPE-9800、島津製作所製) を用いて測定した。

Tomohiro Kato, Riho Ogata, Lincoln Gathuka, Atsushi Takai and Takeshi Katsumi

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院地球環境学堂 TEL 075-753-5114

3. 結果と考察

透水試験の結果を図-2 に示す。グラフの横軸には通水量/間隙体積比 (Pore volumes of flow, PVF) を取り、間隙水の入れ替わり回数と各項目の推移を議論した。なお、1 PVF は供試体の間隙と同じ量の水が供試体中を通過したことを意味している。

図-2 a)に示すように、Fe を含む溶液を通水した際の透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ m/s 程度で、蒸留水の場合と比べて 1 オーダー程度小さい結果となった。蒸留水を通水したケースでは、30 PVF まで同程度 (およそ 4×10^{-6} m/s) の透水係数が得られた一方で、Fe を含む溶液を通水した場合には、PVF の増加とともに透水係数が小さくなった。また、通水溶液の Fe 濃度の違いを比較すると、Fe が高濃度になると、透水係数がより小さくなる可能性が示された。

図-2 b)に流出液の pH と EC を示す。Fe を含む溶液を通水した場合は流出液の pH が 8~10 程度、蒸留水を通水した場合は pH が 11 程度であった。吸着材の主成分が MgO と $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ であるため、蒸留水を通水するとアルカリ性、pH が 3.5, 2.8 の酸性の Fe 溶液を通水した場合には中和反応によって弱アルカリ性の流出液が得られたと考えられる。EC の値に着目すると、蒸留水を通水した方が大きく、多くの電解質が流出液に含まれていたことがわかった。

図-2 c)に流出液の Fe と Mg 濃度を示す。蒸留水を通水した場合は、Fe 濃度は定量下限以下で、Mg 濃度は 0.5 mg/L 程度であった。一方、Fe 溶液を通水した場合は、流出液の Fe 濃度が最大でも 0.012 mg/L であり、流入液の Fe 濃度 (4, 45 mg/L) を大幅に下回る結果が得られた。また、Mg 濃度は蒸留水と Fe 4 mg/L の溶液を通水した場合に同程度で、Fe が高濃度の場合に Mg も高濃度であった。

酸性水中の Fe が沈殿する際、主に水酸化鉄 ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) になることが推察される。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の溶解度積は $K_{sp} = [\text{Fe}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = 1.6 \times 10^{-38}$ である³⁾。よって、pH 3 の流入液と pH 8 の流出液で Fe^{3+} はそれぞれ 1.6×10^{-5} , 1.6×10^{-10} mol/L、つまり $\text{Fe}^{3+} = 8.9 \times 10^{-1}$, 1.6×10^{-6} mg/L までイオンとして溶解できることになる。つまり、酸性水に鉄イオンが高濃度で含まれる場合、中和を行うと沈殿が生じる可能性が高く、吸着層の透水係数の低下に注意した設計が必要と言える。

4. まとめ

本研究では、吸着材をまさ土に混合した試料をカラムに充填し、鉄イオンを含む酸性溶液 (Fe = 4, 45 mg/L) を通水する透水試験を行った。その結果、Fe を含む溶液を通水した際の透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ m/s 程度で、蒸留水の場合と比べて 1 オーダー程度小さい結果となった。また、pH が 3 程度の酸性水を通水した場合でも、流出液の pH は弱アルカリ性であり、吸着材の十分な pH 緩衝能が確認された。一方、流出液の Fe 濃度は 0.01 mg/L 程度で、流入液の Fe 濃度を大幅に下回った。Fe を含む溶液で透水試験が低下した理由として、pH の増加に伴い $\text{Fe}(\text{OH})_3$ が沈殿し、供試体の間隙を閉塞した可能性が考えられる。今後は、透水性に留意した吸着層の設計が求められると言える。

参考文献

- 1) 産業技術総合研究所 (2022) : 吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会 報告書
- 2) 五十嵐ら (2003) : 応用地質, 44(4), 234-242.
- 3) 井上ら (1966) : 分析化学, 15, 275-279.

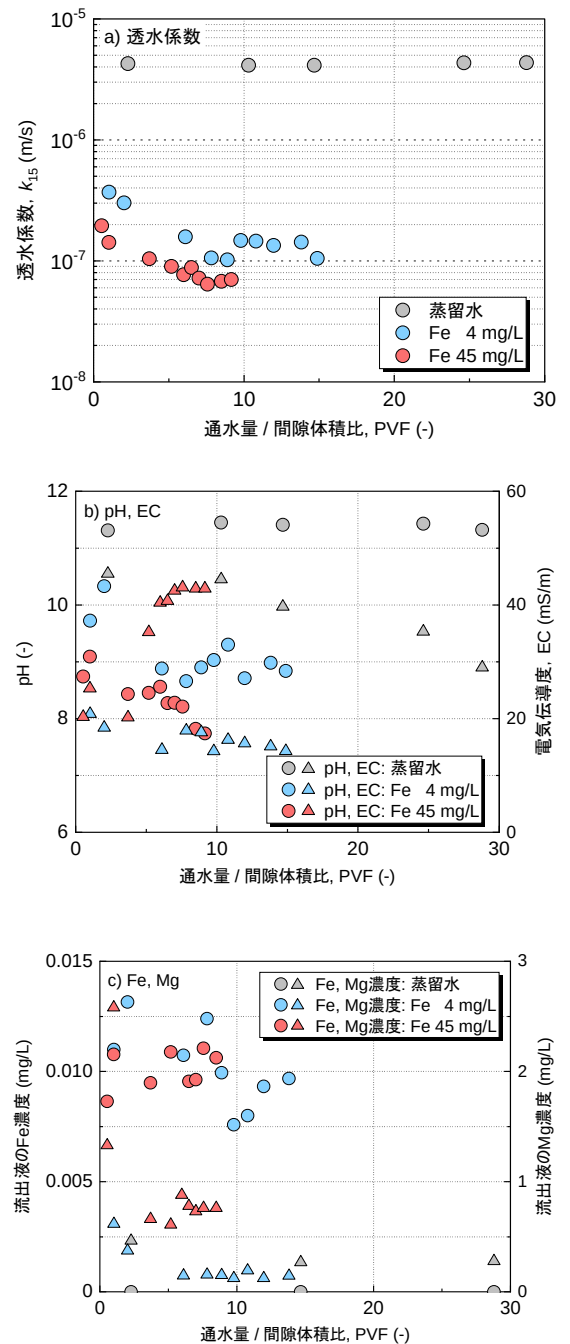


図-2 透水試験の結果