

第Ⅲ部門

凍結融解とイオン交換反応を利用した汚染土壌の洗浄技術

摂南大学 学生員 ○井上 拓人
 摂南大学 正会員 伊藤 譲
 摂南大学 学生員 廣瀬 剛
 関西地盤環境研究センター 阪部 秀雄

1. 研究目的: 近年、汚染土壌は社会的要請により、浄化・洗浄等により再利用することが求められている。細粒分を多量に含む汚染土壌への対策技術として、凍結融解現象を利用した洗浄技術が提案されている¹⁾。この技術は間隙水中の汚染物質を効果的に除去することが可能であるが、土粒子に吸着された汚染物質に対しては効果が十分ではなかった。そこで、この技術にイオン交換反応を付加することで、イオン性物質等が吸着した細粒土を洗浄できると考えられた。本研究の目的は凍結融解とイオン交換反応を組み合わせた洗浄技術が適用可能であるか検討することである。今回は土中のカリウムイオン (K^+) を対象として、イオン交換反応による洗浄効果の確認及び凍結融解の繰り返しによる効果を報告する。

2. 実験方法: 実験には、黄土 14N ($\rho_s = 2.687\text{g/cm}^3$, $w_L = 53.4\%$, $w_P = 23.9\%$, 砂分 = 0.7%, シルト分 = 47.3%, 粘土分 = 52.0%, $pH = 5.5$, $E_c = 114\mu\text{S/cm}$) を使用した。真水を加えて液性限界の約 1.3 倍に調整し、攪拌・脱気を行い、 $P = 50\text{kN/m}^2$ まで 3

段階に分けて予圧密を行い、その後、 $\phi = 10\text{cm}$, $h_0 = 5\text{cm}$ の供試体を整形した。イオン性物質として自然土壌に含まれる K を対象とすることにした。

図-1 に一次元凍結融解実験装置を示す。実験では供試体を下部から凍結させ、その間、上部から洗浄水を給水する。融解時には下部の排水瓶へと排水される。洗浄水にはイオン交換性能が高い酢酸アンモニウム ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) の 0.37mol/L 溶液 ($pH = 6.8$) を使用し、比較のため真水 (イオン交換水) を用いた実験も行った²⁾。表-1 に実験条件を示す。供試体は $+5^\circ\text{C}$ で約 5 時間、養生を行う。その後、温度勾配を 1.0°C/cm に保ったまま冷却速度 0.2°C/h で冷却し凍結させる。凍上時には凍結面へと洗浄水が移動し、脱着された K^+ は間隙水とともに下部側へ移動する。期待する洗浄のメカニズムは凍結時に上部側から給水する洗浄水により、土粒子に吸着された K^+ をイオン交換反応により脱着させることである。

凍結融解終了後、供試体を 5 等分し、含水比と K 含有量、また、排水中の K 濃度の測定を行った。なお、整形時の削りくずで凍結前の含水比と初期の K 含有量を測定した。 K 含有量及び K 濃度の測定には原子吸光光度計装置を用いた。

3. 結果と考察

(1) 洗浄効果の確認: 図-2 に R5-1 の給排水量、図-3 に R5-2 の給排水量の関係をそれぞれ示す。酢酸アンモニウムを洗浄水とする R5-1 は

表-1 実験条件

実験目的	実験番号	洗浄水	繰り返し回数 n (回)	予圧密 P (kN/m^2)	実験荷重 p (kN/m^2)	冷却速度 dT/dt ($^\circ\text{C/h}$)	温度勾配 dT/dx ($^\circ\text{C/cm}$)
洗浄効果の確認	R1-1	酢酸アンモニウム	1	50	50	0.2	1.0
	R1-2	真水					
繰り返し凍結融解の効果	R3-1	酢酸アンモニウム	3				
	R3-2	真水					
	R5-1	酢酸アンモニウム	5				
	R5-2	真水					

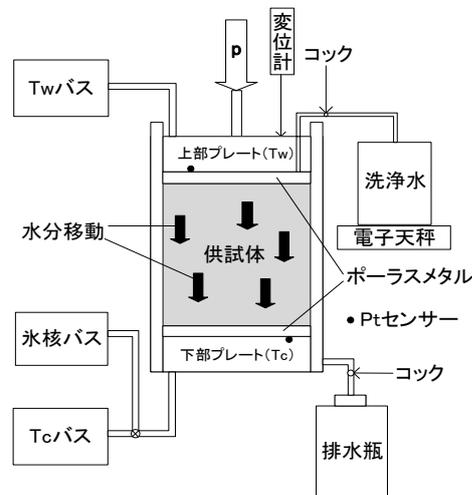


図-1 一次元凍結融解実験装置

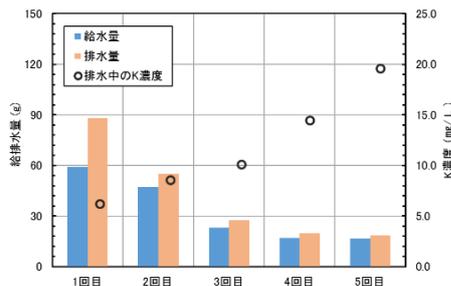


図-2 R5-1 の給排水量

サイクルが進むごとに給水量、排水量ともに減少する傾向がみられた。R5-1では、酢酸アンモニウムによって凍上作用が抑制されたものと思われる。しかし、真水を洗浄水とした R5-2 では凍結融解のサイクルが進むごとに給水量は若干増えるが、排水量は維持された。排水中の K 濃度を R5-1 と R5-2 で比較すると、R5-1 ではサイクルごとに排水中の K 濃度が増加した。これは、 NH_4^+ によりイオン交換された K^+ が排出されたものと考えられる。一方、真水を洗浄水とした R5-2 では K 濃度に大きな変化はみられなかった。

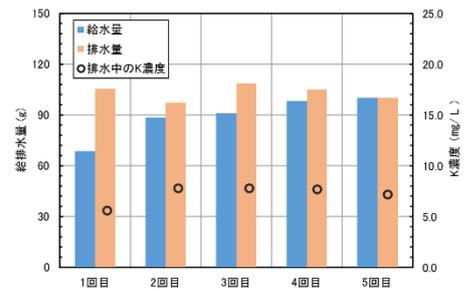


図-3 R5-2 の給排水量

図-4 に R5 の実験後 K 含有量の比較を示す。R5-1 では、初期値と比較して上部での K 含有量が低下し、下部で増加した。これは、イオン交換された K^+ が上部から下部側に移動していることを示す。R5-2 では、供試体上下の K 含有量の変化は少なかった。

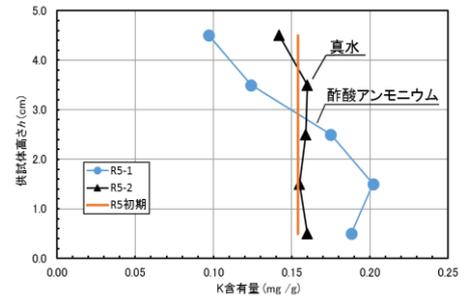


図-4 R5 の K 含有量

(2) 凍結融解による繰り返しの効果：図-5 に繰り返し凍結融解の影響を示す。凍結融解の回数が増えると K 含有量が上部で減少し、下部で増加する傾向がみられ、上部でイオン交換された K^+ が移動していることが確認された。

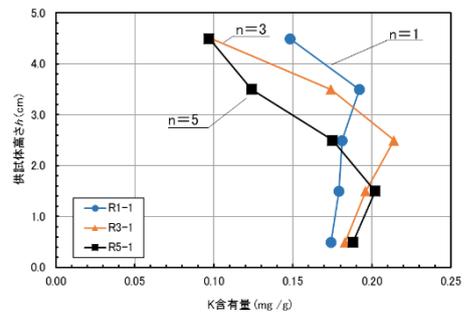


図-5 繰り返し凍結融解の影響

図-6 に R5-1 の入替率を示す。入替率とは総排水量から初期間隙水量を除いたものである。R5-1 では5回目の入替率が100%を超えたため、 K^+ が NH_4^+ と置き換わり排出されることが期待されたが、図-4 より K^+ は供試体中にとどまり十分に排除されなかった。

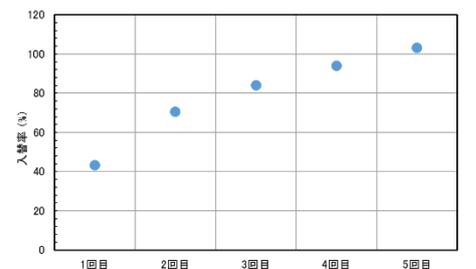


図-6 R5-1 の入替率

図-7 に R5-1 の含水比を示す。 K^+ が多くとどまった供試体の下部付近で含水比が初期値と比較して低い。これは、アイスレンズ付近の未凍土が脱水圧密され間隙が減少したためであろう。融解後の含水比から推定した圧密圧力は約 500kN/m^2 となり、透水性も大幅に低下したものと予想される。このように、過圧密になったことで土の間隙が狭く、 K^+ の移動が困難となり、 K^+ の多くが供試体中にとどまったものと考えられる。また、酢酸アンモニウムを洗浄水として用いたことで土壌の pH が高くなり ($\text{pH} = 6.1 \sim 8.7$) 脱着された K^+ が再吸着され供試体中にとどまったことが考えられた。

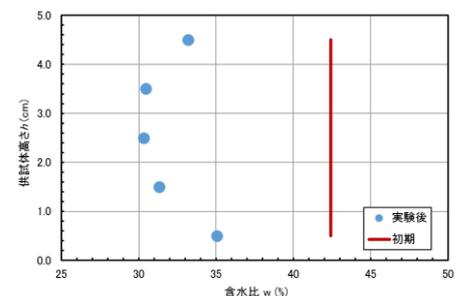


図-7 R5-1 の含水比

4. まとめ：実験結果を次のとおりまとめる。

- (1) 酢酸アンモニウム溶液を洗浄水として給水することにより真水と比較して少ない水量で高い洗浄効果が確認された。
- (2) 凍結融解を繰り返すことにより、 K^+ をより下部側に移動させることができた。しかし、多くの K^+ が供試体中及び下部にとどまり、下端から排除させることはできなかった。
- (3) 今後の課題として酢酸アンモニウムを給水させることにより凍上作用が抑制される対策として給水方法を工夫する。さらに、予圧密圧力の小さい供試体での実験を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 伊藤讓：凍結融解現象を利用した汚染土壌対策，ケミカルエンジニアリング，Vol.49, No.5, pp.14-20, 2004.
- 2) 中尾淳，山口紀子：放射性物質の土壌中での動き，農業技術体系土壌施肥編，追録 23 号，pp.85-93, 2012.