

凍結融解とイオン交換を利用した洗浄技術の特性について

摂南大学 学生員 ○井上 拓人 摂南大学 正会員 伊藤 謙
 摂南大学 正会員 廣瀬 剛 関西地盤環境研究センター 阪部 秀雄
 河南理工大学 苺 大虎

1. 研究目的

細粒分を多く含む汚染土壌に対し凍結融解現象を利用した洗浄技術が提案されている。この技術は凍上作用により透水性の低い細粒土の間隙水を強制的に移動させるため、細粒土中の汚染物質を効果的に除去することができる。しかし、一旦土壌に吸着された金属イオン等の物質を洗浄することに対しての十分な検討は行われていなかった。そこで、金属イオン等が吸着した細粒土を効果的に洗浄するためには、イオン交換反応を付加することが有効であると考えられた。

本研究ではイオン交換性能の高い酢酸アンモニウムを洗浄水に用い、自然状態で土粒子に吸着されたカリウム (K^+) をどのような凍結条件、給水条件で効率的に洗浄可能か検討を行った。これまでの研究では、酢酸アンモニウム溶液が吸着された K^+ を脱着させること、凍結融解を繰り返すことで K^+ は凍結方向へ移動するが供試体の低温側に濃縮された K^+ が残留する傾向が確認された¹⁾。今回は、凍結融解繰り返し、凍結方法、温度勾配の影響について報告する。

2. 実験方法

試料土には黄土 ($\rho_s = 2.678\text{g/cm}^3$, $LL = 53.4\%$, $PL = 23.9\%$, 砂分 = 0.7%, シルト分 = 47.3%, 粘土分 = 52.0%) を使用した。供試体は、液性限界の 1.3 倍程度に調整し、攪拌・脱気を行い、 $P = 50\text{kN/m}^2$ まで予圧密を行い、その後、 $\phi = 10\text{cm}$, $h_0 = 5\text{cm}$ に整形した。表 1 に実験条件を示す。洗浄液には 0.37mol/L に希釈した酢酸アンモニウム溶液とイオン交換水を用いた。図 1 にランプ式とステップ式の温度変化の例を示す。凍結融解繰り返し (R) における繰り返し回数 ($n = 1, 3, 5$) の比較、凍結方法ではランプ式 (R) とステップ式 (RS) の比較、温度勾配の影響では R3 ($dT/dx = 1.0^\circ\text{C/cm}$) と RL3 ($dT/dx = 2.0^\circ\text{C/cm}$) で比較した。

表 1 実験条件

実験目的	実験番号	洗浄水	予圧密 P (kN/m ²)	実験荷重 p (kN/m ²)	繰り返し回数 n (回)	凍結方法	冷却速度 dT/dt (°C/h)	温度勾配 dT/dx (°C/cm)
凍結融解繰り返し	R1-1	酢酸アンモニウム	50	50	1	ランプ式	0.2	1.0
	R1-2	イオン交換水						
	R3-1	酢酸アンモニウム			3	ランプ式		
	R3-2	イオン交換水						
	R5-1	酢酸アンモニウム						
R5-2	イオン交換水	5	ランプ式					
凍結方法	RS1-1	酢酸アンモニウム	50	50	1	ステップ式	-	-
	RS1-2	イオン交換水						
	RS3-1	酢酸アンモニウム			3	ステップ式		
RS3-2	イオン交換水							
温度勾配	RL3-1	酢酸アンモニウム	50	50	3	ランプ式	0.4	2.0
	RL3-2	イオン交換水						

実験では一次元凍結融解装置を用い、凍結時には T_w 側から洗浄水の給水を行い、融解時には給水を止め T_c 側から排水を採取した。実験の前には供試体の含水比と K 含有量を測定した。実験前は整形時の削りくずの測定、実験後には採取した排水中の K 濃度の測定、5 等分した供試体の測定を行った。そして、 K 含有量および排水中の 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

図 2 に R5 の凍上量の経時変化を示す。イオン交換水 (R5-2) では、凍結融解繰り返し回数を重ねても、各サイクルの凍上量は 9mm 程度で安定した。一方、酢酸アンモニウム溶液 (R5-1) が供給されると凍結融解の繰り返しの

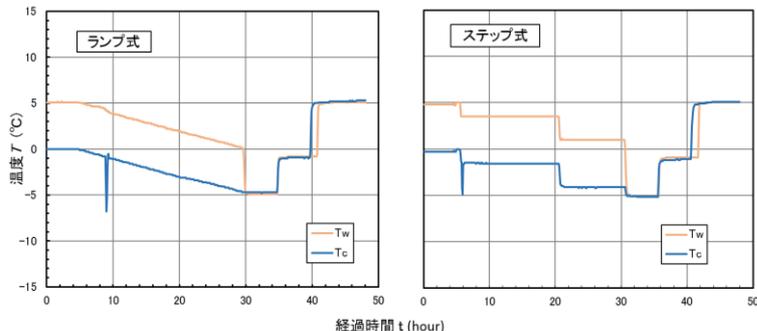


図 1 温度変化の例 (ランプ式, ステップ式)

より凍上量が減少する傾向がみられた。

図3にR3-1, RS3-1, RL3-1の給排水量とK濃度の関係を示す。ランプ式のR3-1とステップ式のRS3-1では給排水量、K濃度の関係に大きな違いが見られなかった。RL3-1はR3-1と比較すると1回目の給排水量が大きくなった。しかし、サイクルごとに給排水量は減少して3回目ではR3-1, RS3-1と同程度の給排水量であった。排水中に含まれるK濃度はRL3-1では特に上昇している。これは、RL3-1は供試体中でアンモニウムイオン(NH₄⁺)とのイオン交換反応により脱着されたK⁺が下端から排除されたものと思われる。

図4に実験後のR3-1, RS3-1, RL3-1のK含有量を示す。実験後のK含有量でもR3-1とRS3-1に大きな違いはないことから凍結方法はK⁺の挙動に大きな影響は与えなかった。RL3-1の上部のK⁺の含有量が少ない理由として、温度勾配を上げることで凍上作用が強くなり水分移動が顕著に起こったことでK⁺が脱着・移動したことが考えられた。

図5にR3-1, RS3-1, RL3-1の含水比分布を示す。初期含水比と比較して実験後の含水比が低下していることがわかる。これはアイスレンズ近傍の未凍土が圧密脱水されたことで含水比が減少したことが考えられる。K含有量と比較すると、含水比が減少した箇所にK⁺が濃縮される傾向がみられたことから、間隙がある程度狭くなることでK⁺の移動が困難となることがわかる。

図6にR, RS, RLシリーズの洗浄率を示す。洗浄率は除去されたKを初期のK含有量で除して求めた。RL3-1では平均洗浄率が約9.4%と今回行った実験で最も高くなった。RS3-1は2.5cmでの洗浄率が-33.5%となり、K⁺が濃縮され排除できなかった。下部では洗浄率が0%に近くなる傾向であったが、R5-1では下部の洗浄率が-20.5%と他のシリーズとは異なった。凍結融解繰り返しは回数を重ねるたびに上部で脱着されたK⁺が効率的に下部に移動することがわかった。

4. まとめ

(1) 凍結融解繰り返しは回数が多いほど上部で脱着されたK⁺が下部で濃縮される傾向がみられた。(2) イオン交換水を洗浄水とした場合と比較して、酢酸アンモニウム溶液は繰り返し回数が多いほど凍上量が減少した。(3) ステップ式とランプ式の凍結方法では洗浄効果に違いはなかった。(4) 温度勾配を大きくすることで排水中のK濃度が高くなり、洗浄率も増加した。

謝辞 本実験の主要部分は摂南大学都市環境工学科の尾中康気氏(現:近畿建設協会)の卒業研究として実施されたものです。

参考文献 1) 井上拓人他: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,平成28年度関西支部年次学術講演会,2016(予定)

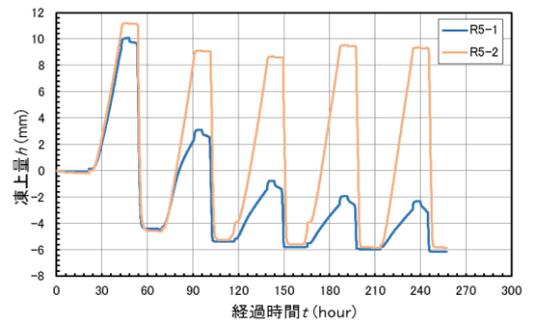


図2 R5の凍上量の経時変化

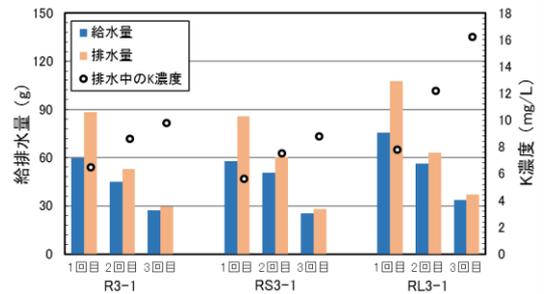


図3 給排水量とK濃度

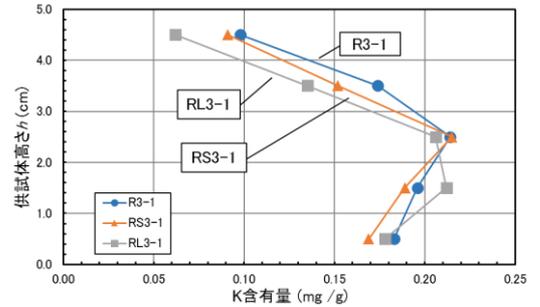


図4 実験後のK含有量分布

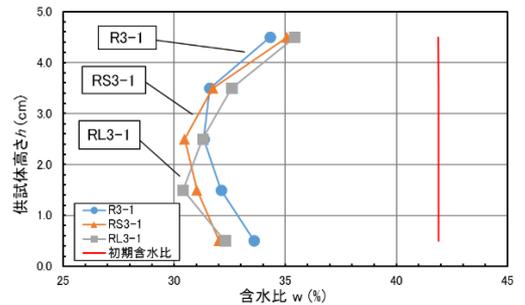


図5 実験後の含水比分布

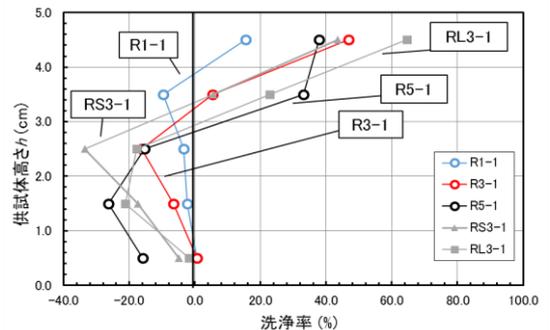


図6 洗浄率の比較