

凍結融解とイオン交換反応を利用した洗浄技術における洗浄効率改善のための実験的検討

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

芮 大虎

1. 研究目的：重金属は化学工場や金属鉱床から漏出して地盤へと浸透して、地盤は汚染される。一旦細粒土に吸着した重金属の除去は困難であり、有効的な洗浄技術の開発が求められている。

細粒土に吸着した汚染物質に対する洗浄方法として凍結融解とイオン交換反応を利用した洗浄技術が提案されている。図1に土壤洗浄のイメージを示す。この技術は凍上現象の際に生じる土粒子近傍の水分移動を利用して、さらに洗浄液にイオン交換性物質を用いることで土粒子表面に吸着した汚染物質をイオン交換反応により効果的に洗浄しようとするものである。

これまでの研究¹⁾では模擬汚染物質として土中に自然状態で含まれるカリウム(K)を対象に実験を行っている。その結果、洗浄液に酢酸アンモニウム溶液($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)を用いることで土中のKの減少が確認された。しかし、凍結融解を繰り返すと凍上が抑制され、土中の水分移動が停滞して、供試体中にKが溜まる傾向が強くなり、洗浄効率が低下した。本研究の目的は洗浄効率の改善であり、今回は特に供試体中に溜まるKを効果的に除去するため、(1)温度勾配と冷却速度の影響、(2)洗浄液の濃度の影響について検討を行った。

2. 実験方法：実験には黄土($\rho_s = 2.678\text{g/cm}^3$, $LL = 53.4\%$, $PL = 23.9\%$, 砂分 = 0.7%, シルト分 = 47.3%, 粘土分 = 52.0%)を試料土として使用し、自然状態で土中に含まれるKを模擬汚染物質として実験を行った。試料土に液性限界の1.3倍量の真水を混合し、攪拌・脱気を行いスラリー状にして24時間養生した。養生後に試料を $\phi = 10\text{cm}$ のアクリル円筒型セルに流し込み、所定の圧力で予圧密を行い、その後に $h_0 = 5\text{cm}$ に整形し、発生した削りくずから初期含水比とK含有量を測定した。

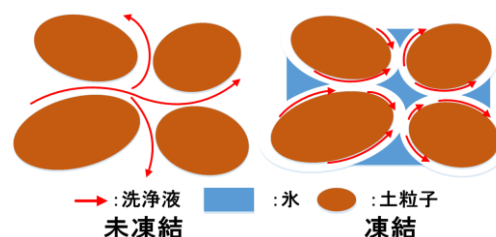


図1 土壤洗浄のイメージ

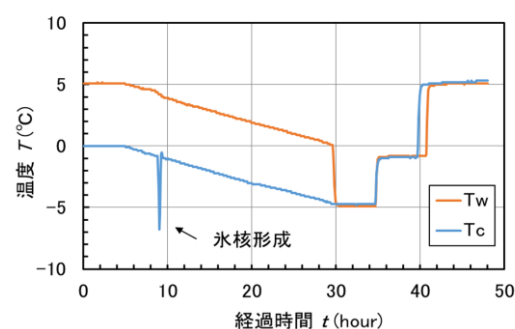


図2 温度の経時変化

図2に両面ランプ式凍結の温度の経時変化の一例を示す。凍結融解実験では下部側から凍結を行い、上部側から洗浄液を給水した。融解時には給水を止め、排水を下部側に設置した排水瓶へ収集した。実験終了後に供試体を5分割して各含水比とK含有量を測定した。K含有量の測定には原子吸光光度計装置を使用した。

表1に実験条件を示す。冷却速度・温度勾配による影響を検討するために、F3-1, R3-1, L3-1を比較した。F3-1は凍結条件を $G = 2.0^\circ\text{C/cm}$, $S = 0.2^\circ\text{C/h}$ とした。F3-1に対して、R3-1は温度勾配を1/2倍で凍結($G = 1.0^\circ\text{C/cm}$, $S = 0.2^\circ\text{C/h}$)を行い、L3は冷却速度を2倍で凍結($G = 2.0^\circ\text{C/cm}$, $S = 0.4^\circ\text{C/h}$)を行った。洗浄液の濃度の影響を検討するために、RF4-1の酢酸アンモニウム溶液の濃度を $C = 0.37\text{mol/L}$ とし、RF4-2は $C = 0.1\text{mol/L}$ として実験を行った。

3. 実験結果

3.1. 温度勾配と冷却速度の影響：図3に凍上量の経時変化を示す。酢酸アンモニウム溶液を洗浄液として用いると、凍結融解の回数の増加に連れて凍上量は減少した。一方、真水を洗浄液とす

表1 実験条件

実験番号	洗浄液	洗浄液の濃度 C (mol/L)	温度勾配 G ($^\circ\text{C/cm}$)	冷却速度 S ($^\circ\text{C/h}$)	荷重条件 P, p (kN/m^2)
F3-1	酢ア	0.37	2.0	0.2	50
R3-1	酢ア	0.37	1.0	0.2	
L3-1 L3-2	酢ア 真水	0.37 0	2.0	0.4	
RF4-1 RF4-2	酢ア	0.37 0.1	2.0	0.2	20

※酢ア：酢酸アンモニウム溶液

キーワード 重金属汚染, 細粒土, 土壤洗浄, 凍上現象, イオン交換反応

連絡先 大阪府寝屋川市池田中町17-8 TEL/FAX072-839-9116

ると凍上量は維持される傾向であった。F3-1 と R3-1 では F3-1(G2 倍) が 1 回目の凍上量が大きくなり、凍結融解の回数の増加に連れて凍上量は漸近した。また、F3-1 と L3-1 でも冷却速度の小さい F3-1 の 1 回目の凍上量が大きくなり、凍上量は漸近した。

図 4 に給排水量と排水中の K 濃度の関係を示す。酢酸アンモニウム溶液の場合は凍結融解の回数が増加すると給水量は減少した。排水量は共に減少傾向である中、F3-1 の排水量は 2 回目から 3 回目は維持された。排水中の K 濃度は上昇し、特に F3-1 の 3 回目は上昇量が大きかった。一方、真水を給水させた L3-2 は凍結融解の回数が増加すると給排水量は増加し、K 濃度は一定であった。

図 5 に K の排出量を示す。K の排出量は排水中の K 濃度に排水量を乗じて算出している。R3-1, L3-1 とともに、凍結融解の回数が増加すると K の排出量が減少傾向であった。排水中の K 濃度は上昇しているが排水量がそれ以上に減少したため、K の排出量は減少した。F3-1 は 3 回目に K 排出量が増加に転じている。一方の真水を給水させた L3-2 は K 濃度は一定であるが排水量が増加したため排出量は増加しており、L3-1 より排出量は多かった。

3.2. 洗浄液の濃度の影響: 図 6 に給排水量と排水中の K 濃度の関係を示す。RF4-2 の 1 回目の給水は管に空気が混入したため微量となった。C = 0.1mol/L の条件である RF4-2 が C = 0.37mol/L の RF4-1 と比較して給排水量が多い傾向であった。排水中の K 濃度は RF4-1 の方が高かった。図 5 から K 排出量は RF4-2 の方が RF4-1 に比べ全体的に高い傾向であった。つまり、洗浄液の濃度を薄くすることで排水量が多くなるため K の排出量は多くなり、洗浄効率は高くなった。

図 7 に RF4-1 と RF4-2 の K 含有量の分布を示す。RF4-1 は初期値と比較して上部側で除去された K が下部側に溜まった。一方の RF4-2 も上部側で K が除去され下部側に溜まる傾向であったが、RF4-1 と比較して上部側での K の除去量は少なく、下部側に溜まる K 量も少なかった。また、図 5 で示される通り RF4-2 の方が K は多く排出されている。この結果から、酢酸アンモニウム溶液の濃度を薄くすることで下部側に溜まる K を効率的に排出できると考えられた。

4. まとめ

- (1) 温度勾配を大きくして冷却速度を遅くする凍結条件が洗浄効率の大きいことが明らかとなった。
- (2) 酢酸アンモニウム溶液を給水すると洗浄効率は低下するものの、濃度を低下すると洗浄効率は改善した。
- (3) 凍結融解の繰り返し回数が増加するほど低濃度のほうが洗浄効率が上昇することが示された。

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土壌洗浄における洗浄効率に及ぼす影響，第 12 回地盤改良シンポジウム，pp.277-282, 2016.

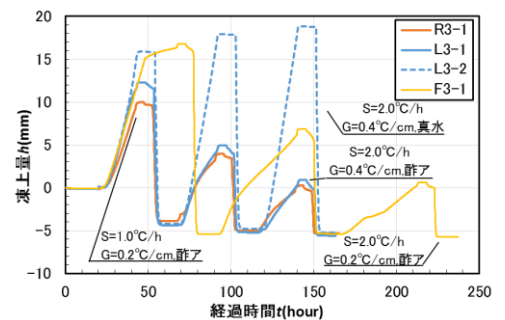


図 3 凍上量の経時変化

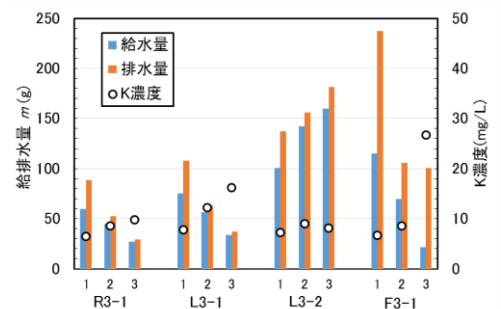


図 4 給排水量と排水中の K 濃度

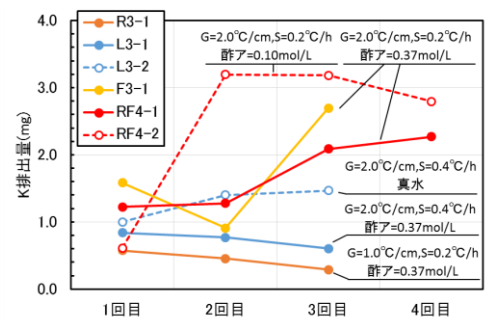


図 5 凍結融解ごとの K 排出量

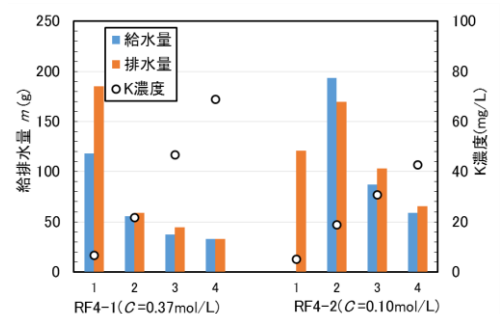


図 6 給排水量と排水中の K 濃度

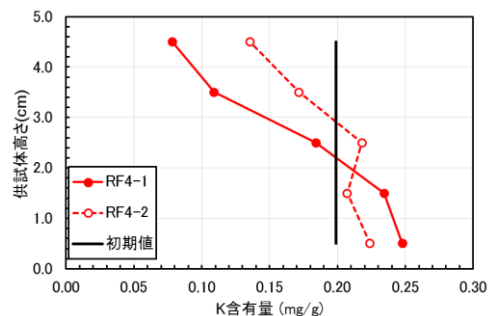


図 7 K 含有量の分布