

凍結融解による透水係数の変化を利用した汚染土壌の洗浄

摂南大学 正 伊藤 謙・学 新居 和人
 京都大学 フェロー 嘉門 雅史
 不動建設（株） 正 福島 信吾・正 日置 和昭
 錦城護謨（株） 正 野村 忠明
 （株）精研 正 伊豆田 久雄

1. はじめに

細粒土が凍結作用を受ける時、凍土中にアイスレンズ等による無数の亀裂が発生する。そして、融解時には、それらの亀裂が完全には閉塞しない。そこで、凍結融解土では透水係数が大幅に増加することとなる。このような現象に注目して、汚染土壌の通水洗浄工法が提案された。

この工法の適用性を検討するため、一連の実験を実施してきた。今回は、融解通水時の吸引圧等の条件を変化させることで、効率的に洗浄することが可能となったので、その実験結果を報告する。

2. 実験方法

試料土には藤森粘土（ $\rho_s: 2.662\text{g/cm}^3$, LL: 57.2%, PL: 27.0%）を用いた。試料土に所定濃度の塩化ナトリウム（以下、「NaCl」）水溶液を加えて、含水比 70% に調整し、それを図 1 に示す円筒型土槽（高さ 80cm, 内径 60cm）に投入し、載荷重 30kPa で供試体を作成した。また、実験条件を表 1 に示す。

実験では凍結板に冷却液を循環することで、土槽壁面から中心方向に凍結を行った。土槽中心付近の温度が氷点（ -1.45°C ）を示した状態で凍結を終了した。融解は冷却液を温水に切り替えて、凍結時と同様に行った。

通水は融解と同時に始め、中心パイプより水頭差（ $h=80\text{cm}$ ）により補給水を供給し、壁面のドレーン材より土槽外へ導いた。その後、さらに所定の負圧をドレーン材より与えた。今回（C19）は、過去の実験結果を踏まえ、吸引圧を 30kPa と小さくした。最後に、土槽壁面のドレーン材から補給水を供給し、中心パイプより排水させた（以下、「逆通水」）。透水係数は、通水時の排水量より、被圧地下水の考えを準用して求めた。

通水終了後は供試体を解体し、残留する NaCl 量を測定した。比較のため、凍結を行わない（C18）についても報告する。

3. 実験結果

3.1 凍結を行わない場合（C18）

図 2（a）に C18 の排水量と NaCl 濃度の関係を示す。図に示すとおり、吸引時の排水量は、通水終了後までに 8.3L が得られた。また NaCl 濃度は、通水直後には初期と同等の濃度が確認され、その後、1.2% まで低下した。

図 2（b）に通水時の透水係数の変化を示す。図より、透水係数は通水期間を通じてほぼ一定の値を示し、4 方向を平均する

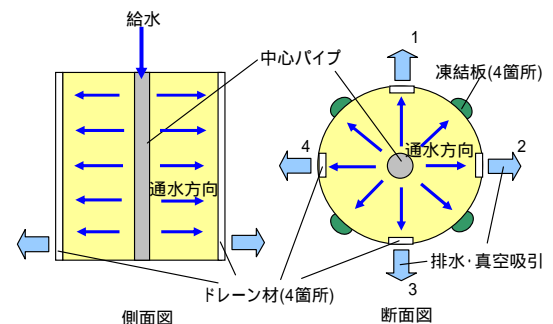
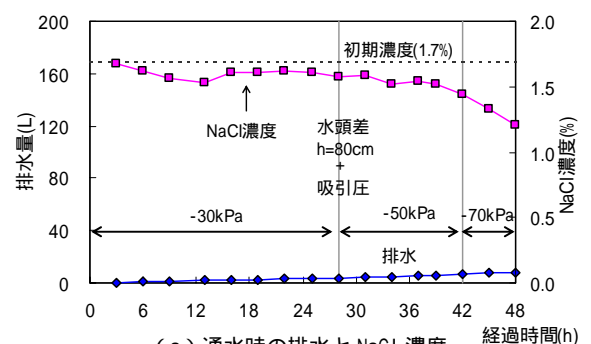


図 1 凍結融解実験装置

表 1 実験条件

Case	C18	C19
凍結の有無	無し	有り
供試体高さ(cm)	46.7	46.6
初期含水比(%)	54.2	55.9
初期NaCl濃度(%)	1.7	1.8
通水時の水頭(cm)	80	
融解通水時間(h)		24
吸引圧力(kPa)	-30 -50 -70	-30
吸引通水時間(h)	48.0	48.0
逆通水時の水頭(cm)	80	
逆通水時間(h)		24.5

(a) 通水時の排水と NaCl 濃度
図 2 凍結を行わない場合（C18）

キーワード 凍結融解 透水係数 汚染土壌 浄化

連絡先 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 TEL072-839-9116 FAX072-839-9116

と $1.1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ であった。

図2(c)に実験後の供試体中のNaCl分布を示す。初期濃度(1.7%)に比べ、上段面(土槽底部より40~45cm)、中段面(土槽底部より25~30cm)、下段面(土槽底部より5~10cm)ともに全体的には変化が小さい。

3.2 凍結を行った場合(C19)

図3(a)にC19の排水量とNaCl濃度の関係を示す。通水終了までに約175L,さらに逆通水により約63Lの排水が得られた。排水濃度は、融解直後では、概ね初期(1.8%)と同じであり、負圧を加えると、約0.6%まで低下し、吸引通水終了時では0.2%となった。さらに、逆通水時では時間経過とともに、0%から僅かに増加する結果であった。

図3(b)に通水時の透水係数の変化を示す。完全に融解した24時間時点の透水係数は $2.1 \sim 7.3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ (C18の20~70倍)であった。その後、吸引通水終了時には $1.6 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ~ $6.5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ で、逆通水終了時では平均 $2.6 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ となった。逆通水時に透水係数が急激に増加した理由は、ドレーン材表面に目詰まりしていた微粒子が逆方向からの通水により解消されたためと思われる。

図3(c)に実験後の供試体中のNaCl分布を示す。中・下段面では、初期濃度(1.8%)に比べ、大きく濃度が低下している。下段面において土槽中心に向かって、濃度が若干高くなっているのは逆通水の影響と考えられる。これらに対して、上段面の洗浄は進んでいない。これは、C19では凍上量(15.7mm)と不凍水含水比(16.8%)より推定すると、上段面が凍結しなかったことが原因と考えられる。

3.3 洗浄率の比較

表2に今回の実験の洗浄率をまとめる。上段面は凍結が十分でないため、比較検討の対象外とすると、凍結を行ったC19の洗浄率は約95%であり、凍結を行わなかったC18では、同じ段面で比較すると、洗浄率は約12%程度となった。

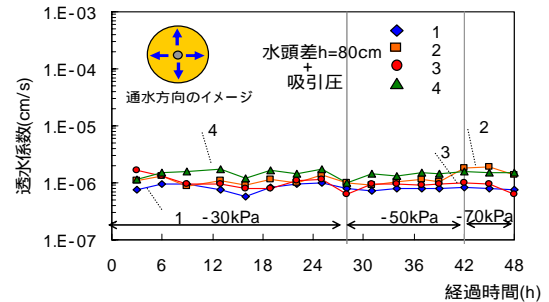
4. まとめ

今回の実験より明らかになったことを以下にまとめる。

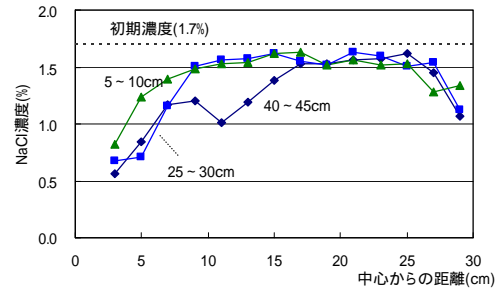
凍結融解作用を受けると、透水係数が未凍結の場合(C18)と比較して約20~70倍増加した。粘性土に対する凍結融解の効果が確かめられた。

洗浄率は、未凍結の場合(C18)では約12%、凍結融解の場合(C19)では約95%であった。この供試体は凍結融解作用を受け、実質3日間の通水によりほぼ完全に洗浄されていた。

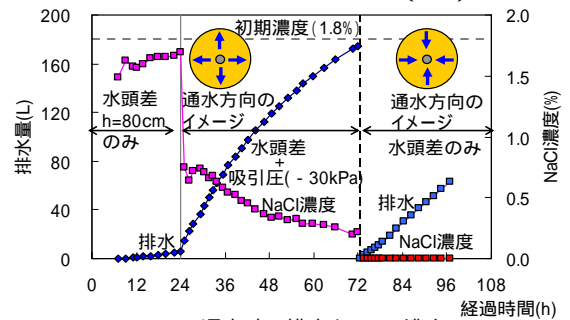
参考文献:1)伊藤讓・新居和人・嘉門雅史・福島信吾・野村忠明・伊豆田久雄:凍結融解作用を利用した汚染地盤の通水洗浄技術,第39回地盤工学研究発表会,2004



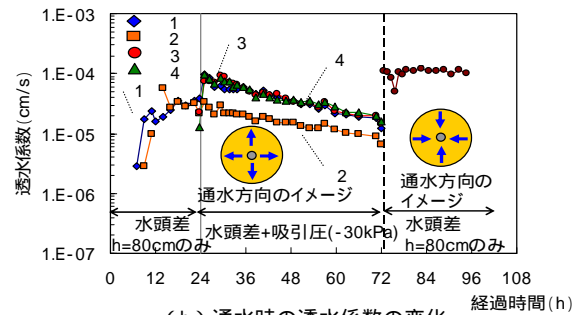
(b) 通水時の透水係数の変化



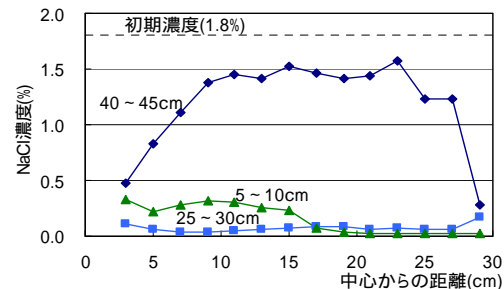
(c) 実験後供試体のNaCl分布
図2 凍結を行わない場合(C18)



(a) 通水時の排水とNaCl濃度



(b) 通水時の透水係数の変化



(c) 実験後供試体のNaCl分布
図3 凍結を行った場合(C19)

表2 通水による洗浄率 (%)

Case	C18	C19
凍結の有無	無し	有り
供試体より計算	上段	17.5
	中段	12.1
	下段	11.7
排水より計算	9.3	62.3