

凍結融解作用を受けたジオシンセティッククレイライナーのジェット燃料に対する遮水性能

熊本大学 正会員 棕木俊文

Queen's 大学 非会員 R. Kerry Rowe

1. はじめに

北極圏のカナダ・パフィン島域では、冷戦終了後に稼働中止となった軍用基地施設において、貯留タンクより戦時中に使用された PCB やディーゼル(ジェット燃料)が流出し、地盤汚染が引起されている¹⁾。汚染領域が広範囲であることから、作業可能な夏季の短期間では汚染域全体の完全修復は困難であるため、修復困難な領域に対しては浅い地盤域(深度約 2-3m)に遮水バリアを設置し、汚染拡大緩和の一時的処置が取られた。本事例では遮水バリア材料として、不織布と織布に諸量のベントナイトを挟み込み、それを膨潤させて遮水機能を発揮するジオシンセティッククレイライナー(以下、GCL)が選択されている。本報では、夏季に懸念される凍結融解作用による GCL の遮水性能の低下を考慮して、ジェット燃料に対する GCL の遮水性能の評価の一部を報告する。

2. 遮水材料と実験方法

使用された GCL 供試体は現地で使用された GCL と同じナトリウムベントナイト型 GCL である。凍結融解試験は、零下 15 度の冷凍庫を使用しており、GCL 供試体は 3 次的に凍結融解作用を受けている。なお、凍結融解試験中は加水されていない。ジェット燃料は、JetA-1 と分類される燃料で、温度 22 度における比重は 0.82、粘性係数は $8.0\text{mm}^2/\text{s}$ である。透水試験には、剛壁透水試験(定流量試験)²⁾と柔壁透水試験(変水位試験)³⁾が用いられた。それぞれの試験では、まず脱気および蒸留された水(以下、水と記載)を透水させ、透水係数が統計的に安定したのち、ジェット燃料の透水を開始した。詳細は、各参考文献 2)と 3)を参照されたい。

3. 実験結果および考察

剛壁透水試験

表 1 は、各試験における GCL のジェット燃料の透水前後の間隙比(e_B)と試験終了後の混合含水比(間隙水とジェット燃料)である。凍結融解作用後は、ベン

表 1 GCL の諸元

試験方法	凍結融解回数	M_{GCL} (g/m^2)	e_{Bw}	e_{Bj}	w_f (%)
剛壁	0	4464	4.3	3.6	132
	12	4370	5.5	4.4	200
柔壁	0	4719	2.7	-	148
	12	4710	4.6	-	218

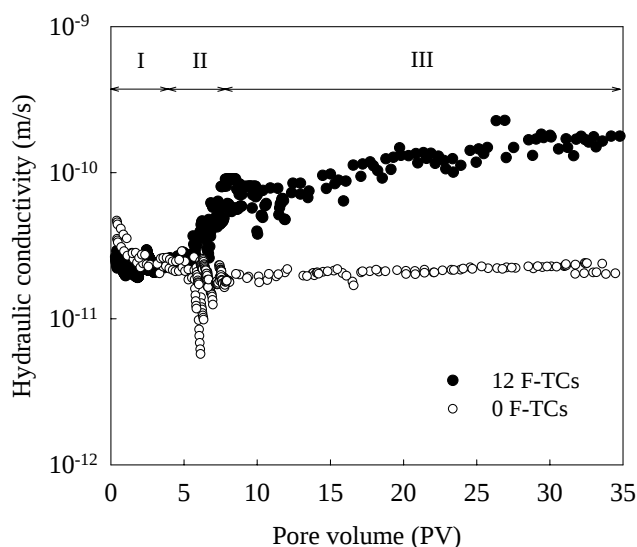


図 1 凍結融解作用後 GCL に関する透水係数の揭示変化(剛壁透水試験結果)

トナイトが膨張したため間隙比が大きく、混合含水比も高値を示している。また一部のベントナイトが不織布中に侵入していることが観察された。図 1 は凍結融解作用回数が 0 と 12 回の GCL 供試体に関する剛壁透水試験結果を示している。縦軸の透水係数は、試験セル内の圧力測定値から圧力勾配を算出し、ダルシー則を用いて透水係数(Hydraulic Conductivity)を計算した³⁾。横軸は、累積流入量(PV)である。試験中の流出液の状態は、I(水)、II(水とジェット燃料)そして III(ジェット燃料)に分類される。凍結融解前後において水の透水係数に変化はなく、GCL は少なくとも 12 回の凍結融解作用によって透水係数が増加する悪影響生じないといえる。これは、ベントナイトが高含水比(140-220%)を示すため凍結融解作用によって

局所的に水道を形成しないためと考えられる。ジェット燃料流入直後は、間隙水とジェット燃料との境界面に作用する界面張力による抵抗によって試験セル内の圧力が急上昇するため、領域 II では一時的に透水係数が低下する。しかし、一旦ジェット燃料が GCL 供試体貫通すると徐々に圧力が低下するため、領域 III の透水係数が領域 II よりも大きくなっている。ジェット燃料が流入すると、定常状態では 12 回の凍結融解作用を受けた GCL は、無凍結融解作用 (0 回) と比較して約 6 倍大きな透水係数を示している。

柔壁透水試験

図 2 は、柔壁透水試験における流入量と経過時間の関係を示している。現場では、GCL は浅い地盤に施工されていることから導水勾配は小さいと推定される¹⁾。このことを考慮して、試験溶媒 (水とジェット燃料) を GCL 中に流入させるための圧力勾配を 1Psi (7kPa) とし透水試験を実施した。図 2 に示すように、圧力勾配が 7kPa の範囲では、ジェット燃料を流入後、間隙水とジェット燃料との境界に生じる界面張力によってジェット燃料の流入量が 0 になっていることがわかる。このことから、低導水勾配では GCL はジェット燃料の移流輸送を阻害し、拡散輸送のみを許す遮水材料であるといえる。

評価方法の検討

透水試験から得られる透水係数は流体の密度と粘性の影響が考慮されていないので Kozeny-Carman^{2), 3)} の式より得られた透水係数 (K 値: Intrinsic Permeability) を示したものが表 2 である。剛壁試験の場合、ジェット燃料流入前後で K 値比が 1 以上を示しており、これはベントナイトの間隙構造が変化したこ

とを示唆している。一方、柔壁試験の K 値比は、ゼロに近い値を示しており、ジェット燃料の透水係数が水の透水係数よりも 1/100 のオーダー小さいことを示している。現地の条件を考慮すると、柔壁試験による評価が好ましいが低導水勾配のため試験時間が長期となる (約一年) デメリットがある。しかし、剛壁試験結果は高導水勾配が GCL 供試体に強制的に作用するため、ベントナイトの構造の変化がジェット燃料のベントナイトとの適合性に関するものか、あるいは試験方法によって引きこされた現象であるかは今後議論されなければならない。

4. 終わりに

低導水勾配において、GCL はジェット燃料の移流輸送を阻害し拡散輸送のみを許す。次のステップとしてジェット燃料を使用した GCL に関する拡散実験を実施し、その拡散係数を評価していく。

<参考文献>

- 1) 椋木俊文, R. Kerry Rowe, R. J. Bathurst, H.P Sangam, “ジオシンセティッククレイライナー中における揮発性有機化合物の輸送とその温度特性”, 土と基礎, pp20-22, 2004.
- 2) R. K. Rowe, T. Mukunoki, M. H. Li, and R. J. Bathurst, “Effect of Freeze-Thaw on the Permeation of Arctic Diesel Through a GCL”, Journal of ASTM International, Feb. 2004, Vol. 1, No. 2, 1-13.
- 3) R. K. Rowe, T. Mukunoki, and R. J. Bathurst, “Compatibility with Jet A-1 of a GCL subjected to freeze-thaw cycles”, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006 (to be submitted).

表 2 透水係数 (Intrinsic Permeability)

試験方法	凍結融解回数	K_w (m^2)	K_j (m^2)	K 値比 (K_j/K_w)
剛壁	0	2.1×10^{-18}	6.9×10^{-18}	3.3
	12	2.7×10^{-18}	5.0×10^{-17}	18.5
柔壁	0	3.4×10^{-18}	0.07×10^{-18}	0.02
	12	3.2×10^{-18}	0.15×10^{-18}	0.04

Kozeny-Carman の式 $K=k\mu/g$ K: Intrinsic Permeability (m^2), k: Hydraulic conductivity (m/s), μ : 粘性係数 (mm^2/s) g: 重力加速度 (m/s^2)

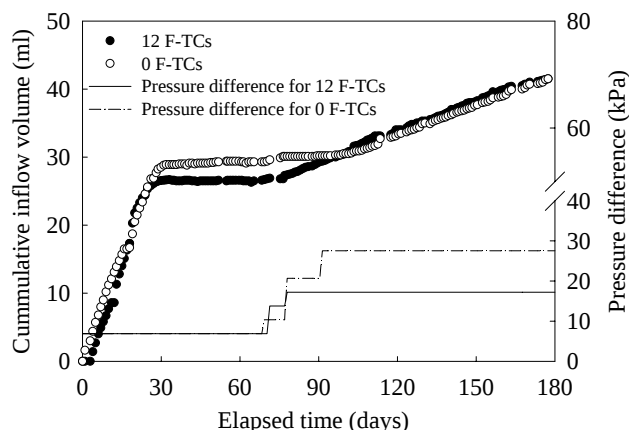


図 2 凍結融解作用後 GCL に関する累積流入量の変化 (左軸) と試験に使用した圧力差 (右軸)