

密度流を考慮した 3 次元移流分散解析による浸出水漏水現象の評価

熊本大学工学部 学生会員 ○重徳 茉理奈 熊本大学大学院 正会員 棕木 俊文
 熊本大学大学院 学生会員 永田 孝輔 熊本大学 正会員 松本 英敏

1. はじめに

最終埋立処分場底部では、浸出水を遮水するために不透水性の遮水シートを敷設している。この遮水シートは、敷設時のしわや微傷の存在により割裂または、局所的な載荷重により破損し、浸出水の漏水による地盤汚染問題を引き起こすことがある¹⁾。これまで数値解析による浸出水漏水現象の研究²⁾は行われてきているが、3 次元的に地盤内の浸出水の挙動を評価することは困難とされてきた。本研究の目的は、地盤内の密度分布を非破壊で可視化する X 線 CT スキャナを使用して得られた浸出水の地盤内挙動の CT 画像³⁾を 3 次元移流分散解析を用いて定量的に評価することである。本報では、遮水シートが円形破損を有する場合の地盤内漏水現象を評価したので報告する。

2. 実験概要

図-1 は、X 線 CT 用浸出水漏水実験装置の概略図³⁾である。地盤材料には相馬硅砂 8 号を用い、浸出水には粘性が水と等しい濃度 30%のヨウ化カリウム水溶液(密度 1.25t/m^3)を使用した。模型地盤は、飽和度 100%、乾燥密度 1.51t/m^3 に調整し、遮水シートには円形破損(直径 6mm)を設けた。初期水頭差を 350mm として漏水実験を実施し、漏水開始後 30 秒、1 分、2 分、4 分及び 6 分において X 線 CT 撮影を実施した。

3. 解析方法および解析ケース

本解析では飽和・不飽和状態の浸透および移流分散による溶質の移動を表現する有限要素解析コードである Dtransu-3D・EL⁴⁾を使用した。図-2 は、模型土槽をモデル化した解析メッシュ図で、総節点数 77496、総要素数 71668 である。解析モデル側面および破損部を除く最上面は不透水条件、底面はすべて排水条件として境界条件を設定した。表-1 は解析に使用したパラメータである。実験における各時間ステップの流出量を破損部における流入量と仮定し、漏水開始後 30 秒、1 分、2 分、4 分及び 6 分において飽和解析を実施した。ヨウ化カリウム水溶液を用いた相馬硅砂 8 号の透水係数を適用した解析を実施し、透水係数の等方性を考慮したケースを Case1、異方性を考慮したケースを Case2 とする。Case2 は、実験現象が一元流れの現象であり、排水方向の影響を受けて鉛直方向の浸透流が卓越すると考えたケースである。

4. 解析結果および考察

図-3(a)、(b)、(c)は、それぞれ漏水開始 6 分後の X 線 CT 画像および数値解析結果である。また、図-4(a)および(b)、(c)は、2 次元 CT 画像からヨウ化カリウム浸透領域を細線化処理によって抽出し、鉛直方向に結合して再構成した 3 次元画像と数値解析によるヨウ化カリウム浸透領域の 3 次元表示である。図-3(b)、(c)の数値解析結果に見られる実線は、CT 画像の CT 値解析より決定した図-3(a)の領域輪郭に相当する境界線である。実験結果では 135mm 下まで浸透しているのに対し、Case1 では 85mm 下まで浸透している。一方、解析結果はモデル上部において実験結果よりも水平方向に濃度分布が確認できる。

次に図-3(c)を見ると、異方性を考慮した Case2 では 105mm 下まで浸透領域が広がっていることがわかる。Case1 よりも鉛直方向への浸透が観察できるが、依然としてモデル上部において水平方向への浸透が大きいといえる。また、図-4(a)において漏水開始 6 分後にも関わらず、破損部下 5mm の位置では水平方向への濃度の広がりが観察できない。一方、図-4(b)、(c)より飽和解析を行っている Case1、Case2 ではモデル上部において水平方向への浸透領域が大きいことがわかる。ヨウ化カリウムを用いた鉛直方向および水平方向の透水試験を実施した結果、異方性は認められなかったことから、本実験は排水条件の影響を受けて鉛直方向浸透

流が卓越した実験結果が得られたと考えられる。

5. まとめ

今回の結果より、実験現象では鉛直方向浸透流が卓越していることが確認できた。今後は、不飽和浸透流解析も視野に入れ、実験結果に類似する挙動をより表現できる解析条件の検討が必要である。また、円形以外の破損形状における浸出水の挙動の評価も必要である。

参考文献

- 1) R.Kerry Rowe,Robert M.Quigley,Richard W.I. Brachman,John R. Booker"Barrier Systems For Waste Disposal Facilities", pp.405-445, 2004.
- 2) Gary J.Foose,Craig H.Benson,Tuncer B.Edil Booker"Predicting Leakage Through Composite Landfill Liners", pp.500-519, 2001.
- 3) 棕木 俊文,永田 孝輔,谷口 徳晃,松本 英敏,「X線CT法を用いた破損ジオメンブレンからの地盤内漏水可視化実験」ジオシンセティックス論文集 第23巻 pp237-242, 2008.
- 4) 菱谷 智幸,西垣 誠,橋本 学,「物質移動を伴う密度依存地下水流の3次元数値解析手法に関する研究」土木学会論文集 No.638/III-49, 59-69,1999.12 pp.32-58,pp67-78.

表-1 解析パラメータ

	相馬硅砂8号		排水層
解析ケース	Case1	Case2	Case1,Case2
透水係数 $k(m/s)$	6.67×10^{-6}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
間隙率 n	0.43	0.40	0.40
縦分散長 $\alpha_T(m)$	0.40	0.40	0.40
横分散長 $\alpha_L(m)$	0.04	0.04	0.04

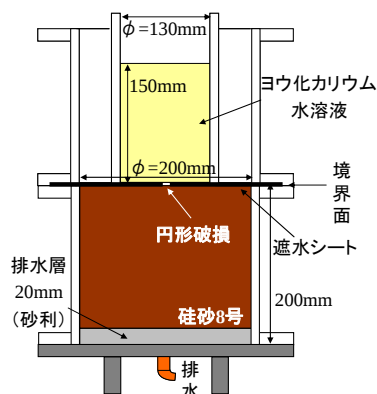


図-1 実験概略図

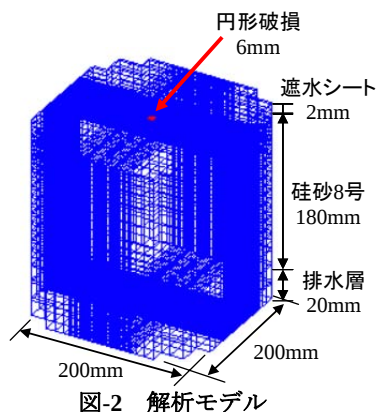


図-2 解析モデル

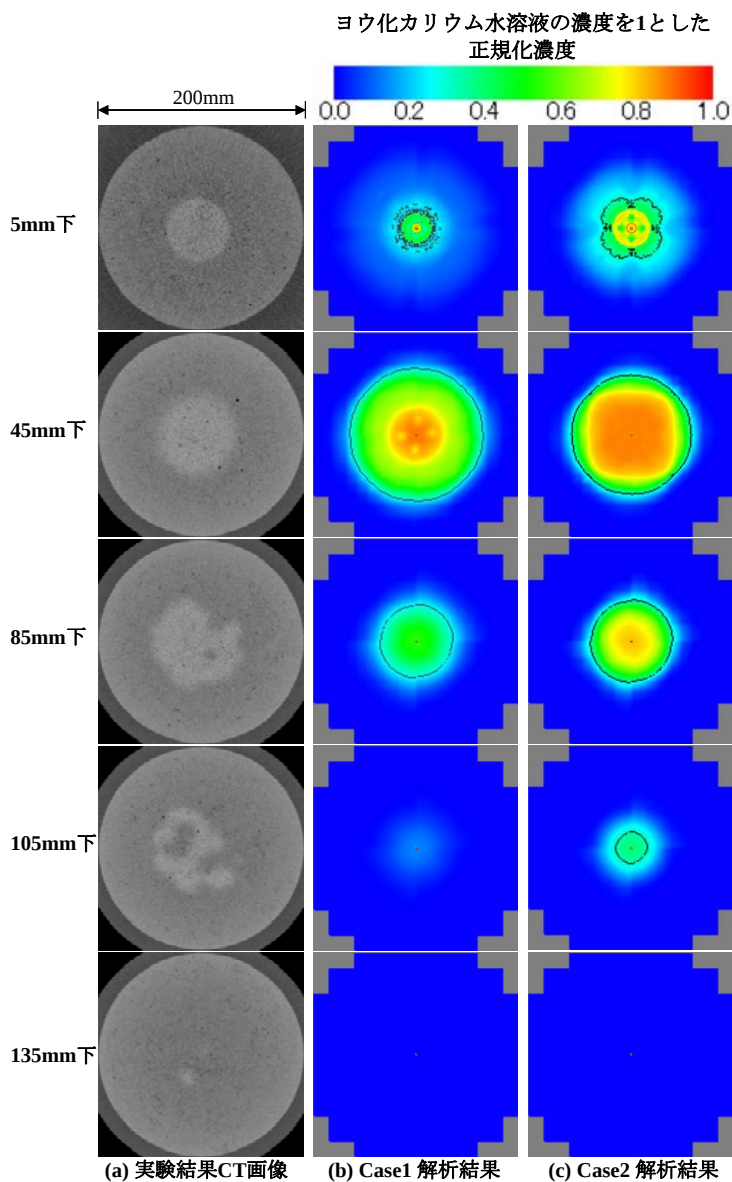


図-3 実験結果および解析結果の各水平断面比較

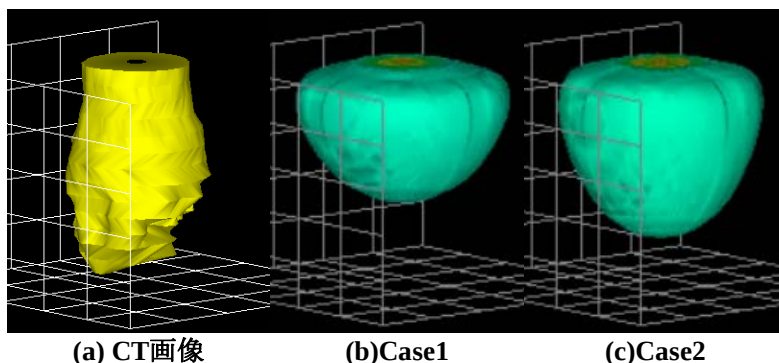


図-4 実験結果、解析結果の3次元画像比較