

沿岸域における地下水流動への非ダルシー性の影響（第3報）(2) 解析的検討

(財)産業創造研究所 高橋康裕, 鈴木和則, 萩沼真之  
 同上 正会員 松尾雄司, 大岡政雄

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分に際して、当該地域における現在及び将来の地下水流動状況を把握するためには数値解析による地下水流動シミュレーションが不可欠である。沿岸域の地下深部では地下水を駆動する動水勾配が非常に小さくなっており<sup>1)</sup>、そのような非常に小さい動水勾配下における堆積岩中野地下水流動では通常のダルシー則が必ずしも成立せず、流速が動水勾配との線形関係から予測される値よりも小さい値をとることが想定された<sup>2)</sup>。この事象を地下水流動シミュレーションに取り入れるため、当所ではボーリングコアとして得られた堆積軟岩を用いて実際に低動水勾配下での透水試験を行い、上述の非ダルシー性が発現することを確認した<sup>3)</sup>。そこで、今回はこの実験結果を参照して数値解析を実施し、当該地域の地下水流動状況を評価することを試みた。

2. 解析方法

文献3)で用いたボーリングコアを採取した地点では、2つのボーリング孔において図1に示すような水質分析を有している。それによれば、この地点での水質の分布は約550万年前に堆積した地層のほぼ水平な層理とは調和しておらず地質構造の不整合面と調和的であり、非常に長期にわたって安定した状況が続いていることを示している<sup>4)</sup>。

このような地下水水質の賦存状況を表現し得る解析手法を、非ダルシー性の導入の観点から検討した。解析に用いたモデルを図2に、物性値を表1に示す。当該調査地点は海岸線の近傍であることから、図3に示す11.9万年周期の海面変動

(海退10.7万年, 海進1.2万年)に伴う海岸線の移動による環境の変化を受けている。この事象を表現できるように、水平方向約100kmに及ぶ領域を対象として解析を実施した。境界条件としては側方及び底面は不透水とし、陸域表層では海水比濃度0, 海域表層では海水比濃度1で固定(濃度フラックスは固定せず)し、陸域では2.7mm/dayの涵養を仮定した。解析に用いた初期状態を図4に示す。ここでは、図1に示す現在の実測地下水水質に調和的となるように、層5以浅では海水比濃度0.2を、層6では海水比濃度0.6を設定し、層7以深では仮に海水比濃度0.7とした。この状態から図3に示す海面変動期間での密度流解析を実施し、非ダルシー性の設定の相違による結果の差異を評価した。

図5に非ダルシー性の設定を示す。非ダルシー性Aでは実測の透水試験結果<sup>3)</sup>にHansboの構成式<sup>5)</sup>をそのまま用いて設定した。これは、動水勾配 $i=0.5$ で変曲点をもち、それ以上の動水勾配では直線関係を、それ以下では冪乗側に従った動水勾配-流速関係を示すことを仮定している。一方、他の堆積岩を用いたその後の透水試験結果から、動水勾配と流速は、直線による回帰線が横軸(動水勾配)と交わる切片の非常に近

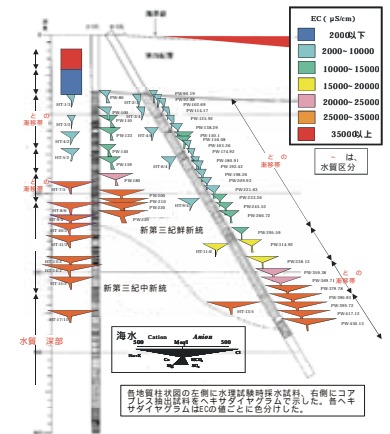


図1 地下水調査地点

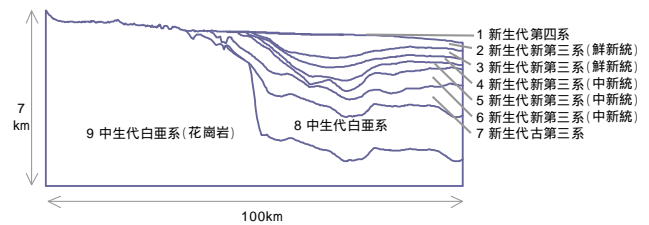


図2 解析モデル

表1 解析に用いた物性値

層序	層区分	透水係数 (cm/s)		有効間隙率	比貯留係数 (1/m)
		水平	鉛直		
1	新生代第四系	2E-03	1E-04	0.2	5E-04
2	新生代第三系(鮮新統)	1E-04	1E-06	0.1	1E-04
3	新生代第三系(鮮新統)	2E-06	2E-06	0.1	1E-04
4	新生代第三系(中新統)	2E-06	2E-06	0.1	1E-04
5	新生代第三系(中新統)	2E-06	2E-06	0.1	1E-04
6	新生代第三系(中新統)	2E-04	2E-06	0.1	1E-04
7	新生代古第三系	1E-05	1E-05	0.1	5E-05
8	中生代白亜系	1E-05	1E-06	0.05	5E-05
9	中生代白亜系(花崗岩)	1E-07	1E-07	0.005	5E-07

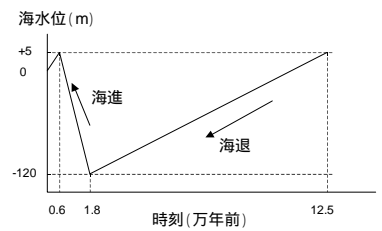


図3 海水面変動の設定

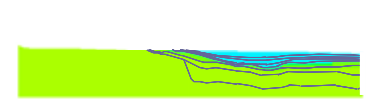


図4 初期海水比濃度

キーワード 地下水流動, 非ダルシー性, 数値解析

連絡先: 〒277-0861 千葉県柏市高田 1201 TEL.04-7146-0011 FAX.04-7144-7602

くまで直線的関係を示すことが示唆されている<sup>6)</sup>。このため、非ダルシー性 B (変曲点を  $i=0.25$  とする) 及び C ( $i=0.21$  を始動動水勾配とし、それ以下では流速が 0 になるとする) についても検討した。解析ケースを表 2 に示す。

なお本解析では Eulerian-Lagrangian 法による 2 次元有限要素法解析コード DTRANSU-2D・EL を改良したもの<sup>7)</sup>を用いた。

**3. 解析結果及び考察**

図 6 に 11.9 万年間の海退及び海進後の海水比濃度分布(現在の海岸線付近の水平方向 2km,鉛直方向 1km の領域の拡大図)を示す。ダルシー則を仮定した case 1 では、陸域における淡水の涵養により陸側(左側)から淡水が大きく流入し、層 6 及び 7 以深の海水比濃度が初期の 0.6 及び 0.7 から大きく低下している状況が見られ、実測の水質分布とは大きく異なっている。それに対して既往文献の構成式を仮定して非ダルシー性を設定した case 2 では、層 6 における海水比濃度 0.6 が保存されているものの層 5 以浅では初期の海水比濃度 0.2 から大きく比濃度が上昇していることがわかる。これは地下水の移流によって、層 6 以深の層の塩分及び海底面から供給される塩分がこの領域に運ばれたためと考えられる。

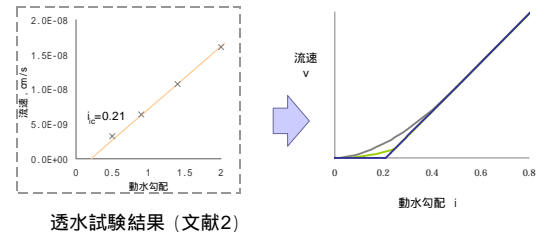
これに対して、既往文献の構成式を、試験結果を考慮して修正した case 3 及び case 4 では、層 6 において海水比濃度 0.6 が保存されているとともに、浅層での初期海水比濃度 0.2 も比較的良好に保存されている。これは、図 1 に示すこの地点でのボーリング調査結果(地下水が長期にわたって滞留し、地質構造に調和的に地下水水質が保存される)に整合する結果であると考えられる。このように、低動水勾配下での透水試験結果を適切に考慮して非ダルシー性を設定することにより、沿岸域深部における地下水流動状況をより良く模擬することが可能であることがわかる。

**謝辞:** 岡山大学・西垣誠教授には、本研究を進めるに当たり、貴重なご助言を頂きましたことをここに記して謝意を表します。

**参考文献**

- 1) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - 分冊 1 わが国の地質環境, JNC TN1400 99-021, pp.111-27-29, 1999
- 2) 佐々木泰: 低レベル放射性廃棄物処分システムにおける新第三紀堆積岩の透水性状の研究, 埼玉大学博士論文, 2000
- 3) 高橋他: 沿岸域における地下水流動への非ダルシー性の影響 第 2 報(2) 非ダルシー性と水質の関係, 土木学会第 60 回年次学術講演会要項集, 2-037, pp.73-74, 2005
- 4) (財)産業創造研究所: 「地下水流動調査」成果報告書, 2002
- 5) S.Hansbo: Consolidation equation valid for both Darcian and non-Darcian flow, Geotechnique, 51, No.1, pp.51-54, 2001
- 6) 高橋他: 本学会にて別途発表
- 7) 松尾他: 非ダルシー性を考慮した移流分散解析に係わるコード改良, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨, 65, 2005

本研究は、経済産業省の委託を受けて実施した「地層処分技術調査等(塩水環境下処分技術調査)」の成果の一部である。



- A...  $i = 0.5$  で変曲点  $v \propto i^{1.77} (i < 0.5), v \propto (i - 0.21) (i > 0.5)$
- B...  $i = 0.25$  で変曲点  $v \propto i^{2.33} (i < 0.25), v \propto (i - 0.21) (i > 0.25)$
- C...  $i = 0.21$  で  $v = 0$   $v \propto (i - 0.21)$

図5 非ダルシー性の設定

表2 解析ケース

解析ケース	透水係数の設定
case 1	ダルシー則
case 2	非ダルシー性 A
case 3	非ダルシー性 B
case 4	非ダルシー性 C

Hansboの構成式を適用  
Hansboの構成式を、  
試験結果を考慮して修正

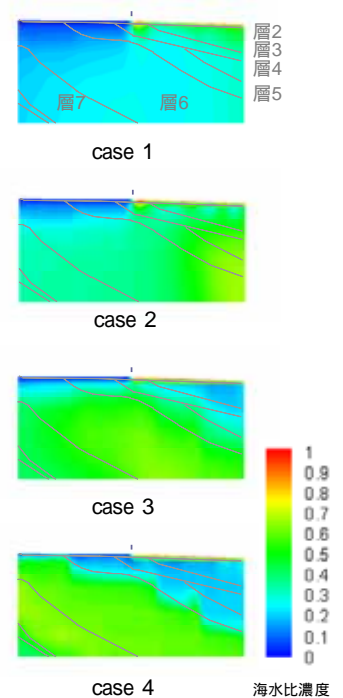


図6 解析結果