

沿岸域における地下水流動への非ダルシー性の影響（1）—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，土山滋郎，大岡政雄
 （株）ダイヤコンサルタント 正会員 菱谷智幸

現・東京電力（株）

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分においては、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ことが必要であり、その手法として数値解析による地下水流動シミュレーションが用いられる。

周囲を海に囲まれた我が国では、沿岸地域をその対象地点として考えることができ、地下水流動を生起させる要因の1つである動水勾配が小さいためにその流速も小さくなることが想定される。実際に、沿岸域の深部堆積岩盤中の地下水賦存状況は、化石海水の存在形態や海水比濃度が地質・地質構造に調和的に分布し、よく云われるような Ghyben-Herzberg による形態にはなっていない事例が知られているが、現状の数値解析手法ではこのような実際の水理及び水質状況が必ずしも適切には表現されていない。

一方、地下深部で想定されるような小さな動水勾配下の流速は、ダルシーの法則に従わずに、より小さくなることが報告されている¹⁾²⁾³⁾。そこで、この事象が沿岸域における地下水水理解析に対して与える影響について評価し、それにより実際の水理状況をより適切に表現・把握し得る可能性について検討した。

2. 解析方法

解析は、第三紀層中の地下水賦存状況に関する研究事例⁴⁾をモデル化して検討した。

解析は図1及び表1に示すようなモデル、物性値であり、A層及びB層の2層の堆積軟岩から成る地盤を設定した。また、図2に示すように、地質分布と調和的に分布する海水比濃度として、A層及びB層それぞれ0.2及び0.6の値を初期条件として設定した。また、側方境界の影響を排除するため、海岸線から1km沖合いまでを評価領域とした。

これら条件を変えずに、物性（透水係数）について以下のような異なる設定をして、比較計算を実施した。

低動水勾配下で、流速の変化が動水勾配の変化に比例せず、にダルシー則が成り立たないことは、「ある動水勾配 i_{ts} 以下では透水係数の値が低下する」という形で表現することができる。ここでは簡単のために、図3のように、動水勾配 i が i_{ts} 以上の場合には透水係数が一定であり、 i_{ts} 以下の場合には直線的に透水係数が低下すると仮定して“非ダルシー性”を導入した。ただし、この直線関係は、実際の計算では収束を良くするために透水係数が $1/1000$ となる点までとし、それ以下の動水勾配では透水係数は一定とした。また、図3の下図では、縦軸・横軸ともに対数で表示している。

（CASE 1）は、岩盤の透水性について非ダルシー性を考慮せずに、通常のダルシー則によって計算した。すなわち、表1に示した透水係数は不変である。



図1 解析モデル

表1 解析用物性値

地層	透水係数 (m/s)	有効 間隙率	比貯留係数 (1/m)	縦分散長 (m)	横分散長 (m)	分子拡散係数× 屈曲率(m ² /s)
A層	1×10^{-8}	0.1	1×10^{-4}	100	10	5×10^{-10}
B層	1×10^{-7}	0.1	1×10^{-4}	100	10	5×10^{-10}



図2 初期状態

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

一方、(CASE 2) は、岩盤の透水性について上述の扱いによる非ダルシー性を考慮し、各計算過程で得られる動水勾配に従った透水係数に再配分する計算を実施した。

ここでは、図3において $i_{ts}=1$ とし、 i 、 i_{ts} では表1に示す透水係数に、 i 、 i_{ts} では $\tan \theta = 1$ と設定した。

解析は Eulerian-Lagrangian 法による2次元有限要素法解析コードである DTRANSU-2D・EL を改良したものをを用い、計算対象時間を10万年とした。なお、計算に際しては、陸域では2.7mm/dayの涵養量を設定し、海底面は海水比濃度を1に固定するが、フラックスは固定していない。

3. 解析結果及び考察

(CASE 1：非ダルシー性を考慮しない) の解析結果を図4に、(CASE 2：非ダルシー性を考慮) の解析結果を図5に示す。

(CASE 1) では、図4に示すように10万年の間に海底から海水が侵入し、全体的に比濃度分布が高くなり、初期設定とは大きく異なる結果となっている。さらに解析時間を延長すると、数十万年程度の期間内に塩水密度勾配による駆動力と涵養及び地形勾配による駆動力とがつりあい、Ghyben-Herzberg の塩水楔に類似した比濃度分布が得られる。

これに対し、(CASE 2) は、図5に示すように初期設定の濃度分布がほぼ保存されており、その変化は小さい。

このように、数百万年を経過している第三紀層中の地下水賦存状況が地質分布に調和的であることを表現するには、これまでのダルシー則による解析手法では十万年程度でさえ大きく変化してしまうのに対し、非ダルシー性を考慮することで、このような事例を適切に表現できる可能性がある。なお、動水勾配分布を見ると、両CASEとも概ね1/100程度の値が支配的となっており、その解析結果は図3に示す動水勾配と透水係数の関係の与え方に強く依存することとなる。したがって、通常実施される透水試験の動水勾配が数十であることを考えると、その試験法とともに非ダルシー性の関係を適切に評価することが重要となる。

と、両CASEとも概ね1/100程度の値が支配的となっており、その解析結果は図3に示す動水勾配と透水係数の関係の与え方に強く依存することとなる。したがって、通常実施される透水試験の動水勾配が数十であることを考えると、その試験法とともに非ダルシー性の関係を適切に評価することが重要となる。

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) S.Hansbo: Consolidation of clay, with special reference to the influence of vertical sand drains, Proc.18, Swedish Geotech.Inst.,1960
- 2) J.K.Mitchell and J.S.Younger : Abnormalities in hydraulic flow through fine-grained soils, ASTM Spec, STP 417,1967
- 3) 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
- 4) (財)産業創造研究所：「地下水流動調査」成果報告書，2002

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。

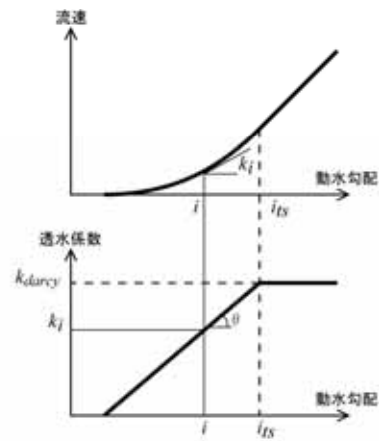


図3 動水勾配と流速及び透水係数の非線形関係
(下図は、解析上の非ダルシー性の設定を示す)

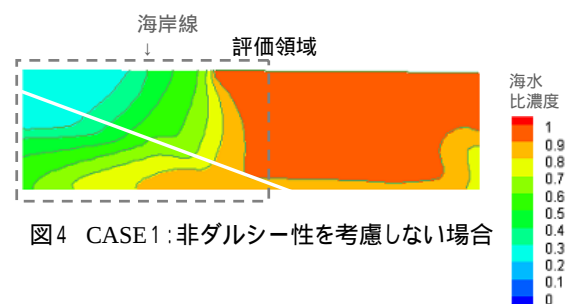


図4 CASE1:非ダルシー性を考慮しない場合

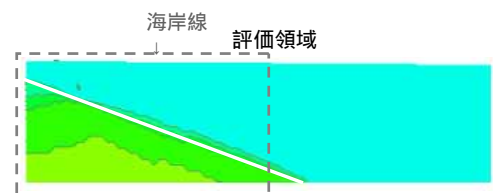


図5 CASE2:非ダルシー性を考慮した場合