

内陸部における塩淡水境界形状に着目した地下水流動モデルのキャリブレーションの試み

大成建設（株）技術センター 正会員 ○山本 肇
 大成建設（株）技術センター 正会員 下茂 道人
 (独) 日本原子力研究開発機構 國丸 貴紀

1. はじめに

(独) 日本原子力研究開発機構は、北海道・幌延町において堆積岩を対象とした地下研究施設を建設中である。これまでの調査から、地下研究施設の設置区域周辺には、浅層部に塩分濃度の低い淡水系の地下水が存在し、深度が深くなるにつれて塩分濃度が高い塩水系（古海水）の地下水へと変化することが分かっている。この内陸部における塩分濃度の変化する境界（いわゆる塩淡水境界）は、概念的に淡水系表層地下水の流入による塩水系深部地下水の洗い出しにより形成されたと解釈できる。著者らは、ボーリング調査により得られた地質、水理データを統合して構築した水理地質構造モデル¹⁾を用い、表層からの淡水系地下水の浸透シミュレーションにより、現在の地下水水質の空間分布を検討している²⁾。今回、ボーリング孔内における塩淡水境界深度の分布データに基づき、地下水モデルの水理物性（透水係数）の最適化を試みたので、その結果を報告する。

2. 解析対象領域

地下研究施設（HDB-6 孔付近）を含む約 8 km × 5 km の解析対象領域（灰色部）と調査ボーリング孔（HDB-1, HDB-3～11）の位置を図-1 中に示した。地質は、中新世～鮮新世の珪藻質泥岩である声間層とその下位の稚内層を主体とする。解析領域のほぼ中央に東傾斜の逆断層である大曲断層が存在する。

3. 地表からの淡水浸透シミュレーション

3.1 解析モデル

解析モデルには、地表面形状を 50m グリッド DEM により与え、大曲断層と各地層の境界面形状を反映した。各地層の透水係数ならびに空隙率は、ボーリング孔の水理試験と室内試験に基づいて設定した¹⁾。水理境界条件は、地表面を標高による水頭固定条件、側面および底面境界は不透水境界とした。初期条件として、モデル全体を深部地下水の代表的水質（塩分濃度=0.3mol/L）で満たし、地表面グリッドのみを淡水系地下水の代表水質に設定した。解析コードには、多相流体－化学反応連成解析コード TOUGHREACT²⁾を用いた。

3.2 解析結果

淡水の浸透パターンを例を図-1 に示す。地表面の淡水系地下水は、地表面形状と透水性分布により定まる地下水流動に沿って深部へ涵養される。今回のモデルでは、同図中に示した声間層／稚内層境界(Kt/Wk boundary)を境に西側の表層部は、稚内層より約 1 オーダー透水係数が低い声間層により覆われている。このため、淡水系地下水は、上記境界の東側の方が浸透しやすい計算結果になっており、この点は観測結果の傾向に近い²⁾。

4. モデルキャリブレーション

4.1 方法

計算値と実測値の適合度を表す誤差指標として、次式に示す孔内の塩化物イオン濃度の平均誤差 ε を用いる。

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(C_{obs}^* - C_{cal}^*)^2}}{N}, \quad C^* = C/C_{max}$$

ここに、 C ：塩化物イオン濃度、 C^* ：ボーリング孔ごとの最大濃度 C_{max} で除して標準化したイオン濃度、 N ：サンプル数であり、下付添字の *obs*, *cal* は、各々測定値、計算値を表す。 C_{cal} は時間経過（地表からの淡水侵入の進行）とともに変化するので、 ε と時間の関係を求める（図-2）。最適化

は本来全ての地層の透水係数を対象とすべきであるが、今回はサンプル数が少ない大曲断層と、ばらつきが大

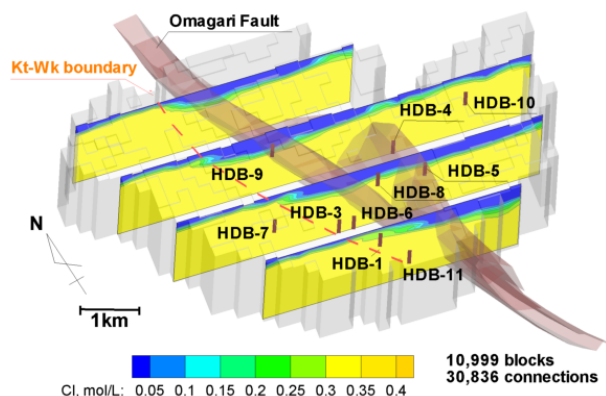


図-1 解析領域と淡水の浸透パターン
 (3 万年後の塩化物イオン濃度、最適モデル)

キーワード 幌延, 地下水化学, 塩淡水境界, 堆積岩, 地下水シミュレーション

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL: 045-814-7237

さい稚内層の透水係数のみを対象とした。

4.2 結果

得られた平均誤差と時間の関係を図-2に示す。まず、大曲断層の透水係数を段階的に変化させたところ、透水係数の初期値の1/10にした場合(2万年後)で平均誤差が最小となった。次に、求めた最適値で大曲断層の透水係数を固定し、稚内層の透水係数を段階的に変化させた結果、稚内層の鉛直方向の透水係数を初期値の1/10にした場合(3万年後)で最小の平均誤差が得られた。

この最適モデルにおけるボーリング孔内の塩化物イオン濃度(標準化濃度 C^*)の測定値と計算値の比較を図-3に示す。HDB-1孔、HDB-9孔を除けば、塩分濃度が変化する境界(塩淡境界)の深度は、計算値と測定値で概ね整合している。しかし、例えばHDB-9孔で計算される塩淡境界深度は実測値よりかなり深く、同孔付近での地質条件や透水係数の設定を見直す必要性が指摘される。

図-4に、HDB-3孔とHDB-4孔を通る断面における塩化物イオン濃度の計算結果を、電磁探査による比抵抗断面図、孔内測定値の空間補間図とともに示す。計算値は、大曲断層東側の塩水希釈の傾向をある程度表現しているが、同図中の白破線より深部にある高比抵抗域または低濃度域(赤破線)を説明できない。仮説として、続成変質作用によるオパールの脱水による深部塩水の希釈の影響が、埋没深度が深い大曲断層の東側で大きい可能性などが考えられる。

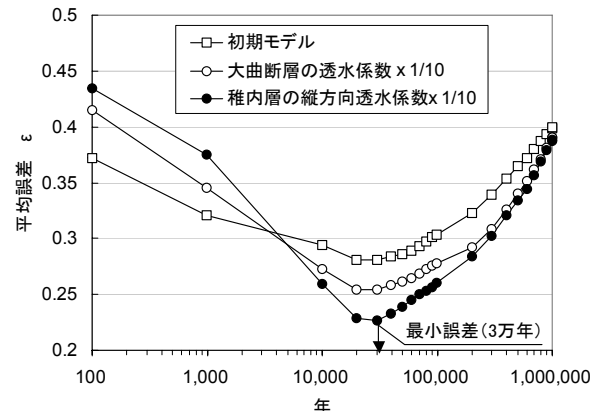


図-2 平均誤差と時間の関係

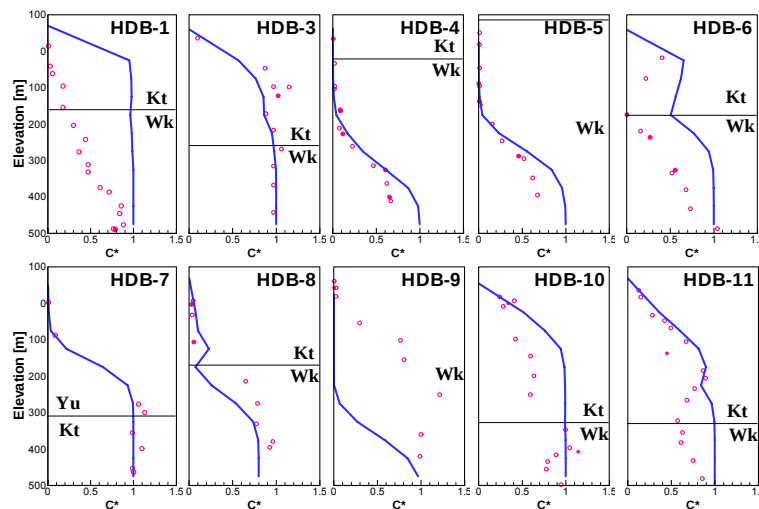
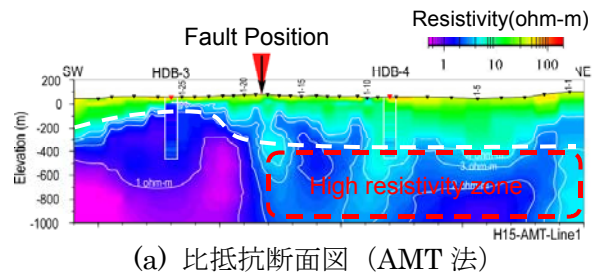
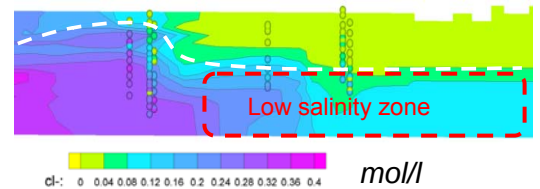


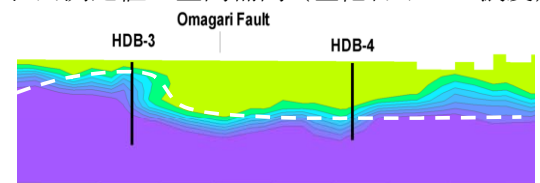
図-3 ボーリング孔内の濃度分布(最適モデル, 3万年後)
(標準化した塩化物イオン濃度, 点: 測定値, 実線: 計算値)



(a) 比抵抗断面図 (AMT 法)



(b) 孔内測定値の空間補間(塩化物イオン濃度)



(c) 解析結果(塩化物イオン濃度)
(最適モデル, 3万年後)

図-4 計算値と測定値の比較(比抵抗断面)

5. まとめ

幌延地域において、ボーリング孔内や比抵抗断面図などに見られる塩淡境界形状の特徴を表現できる地下水モデルを構築した。水質との整合性に着目したキャリブレーションは、地下水モデルの検証あるいは地質条件や透水係数設定の問題点を抽出する上で有用と考えられる。今後は、塩水系地下水における濃度希釈の原因の検討や、モデルの地質や透水性などの見直しを行い、モデルの信頼性を向上させていきたい。

参考文献

- 1) 熊本 創, 下茂道人, 操上広志: 幌延深地層研究計画における地下研究施設掘削に伴う地下水流動予測解析—地上からの調査結果に基づく水理地質構造のモデル化と解析—, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, 日本地下水学会, pp.43-50, 2007.
- 2) 山本 肇, 下茂道人, 藤原靖, 國丸貴紀, Tianfu Xu: 幌延深地層研究施設周辺の地下水水質形成シミュレーション, 第35回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.237-pp.242, 2005.