

地下水の滞留時間評価に関する数値解析的検討

（財）電力中央研究所 正会員 ○長谷川琢磨、田中靖治

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価では、核種が人間の生活環境へ地下水を介して漏出することを想定した「地下水移行シナリオ」を適切に評価する必要がある。このシナリオでは、地下水の安定性が重要であり、その評価方法には、地下水中に含まれる天然起源の放射性物質(^4He , ^{14}C など)を計測する方法や地下水流動解析結果に基づく流跡線解析から滞留時間を評価する方法などがある。しかし、流跡線解析は、滞留時間の分布や不均質媒体の評価には不向きである。

このため、本検討では天然起源の放射性物質を計測する方法と同じ考え方で、仮想的に蓄積性および半減性物質の定常状態の濃度分布を解析し、地下水の滞留時間を評価する方法について検討した。

2. 地下水の滞留時間評価法

地下水の滞留時間の評価では、崩壊性(^3H , ^{14}C など)や蓄積性(^4He)の物質を用いるのが一般的である¹⁾。本検討では、理想的な条件下での崩壊性および蓄積性の物質を対象として、解析的に滞留時間を評価する。

蓄積性物質の場合には、ある一定の供給(Q)がある場合を考え、地下水が混合しないと仮定すると、地下水中の物質濃度(C)は式(1)で与えられ、滞留時間(t)は式(2)で表される。また、崩壊性物質の場合には、崩壊による濃度変化に着目すると、時間による濃度の変化は式(3)で与えられ、滞留時間は式(4)で表される。

$$C = \frac{Qt}{n} \quad (1) \quad t = \frac{Cn}{Q} \quad (2) \quad C = C_0 e^{-\lambda t} \quad (3) \quad t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{C_0}{C} \right] \quad (4)$$

ここに、 Q は単位体積当たりの供給量、 n は間隙率である。また、 C_0 は初期濃度、 λ は崩壊定数、 t は経過時間である。

したがって、蓄積性あるいは崩壊性の物質を想定し、その濃度変化に着目すれば、滞留時間を評価することが可能である。

3. 一次元解析モデルによる滞留時間の評価

蓄積性と崩壊性物質について、単純なモデルによる滞留時間の評価を実施した。ここでは図1, 2の境界条件に示す蓄積性と崩壊性物質の濃度分布を定常解析で求めた。解析モデルは10 mとし、メッシュ間隔は0.5 m、間隙率は100 %とした。解析結果を理論解、分散長0.1 m, 1.0 mの場合をそれぞれ図3, 4に示した。

解析結果は、蓄積性物質では単調に濃度が増加、崩壊性物質では指数的に濃度が減少する。これらの結果から、

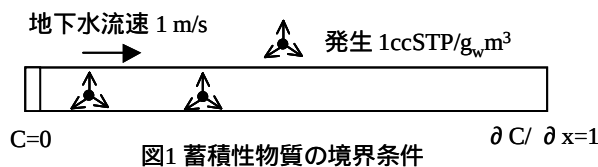


図1 蓄積性物質の境界条件

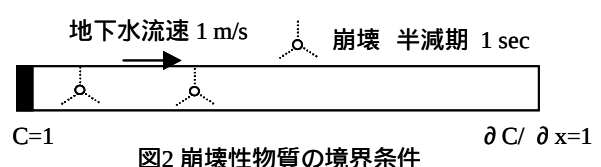


図2 崩壊性物質の境界条件

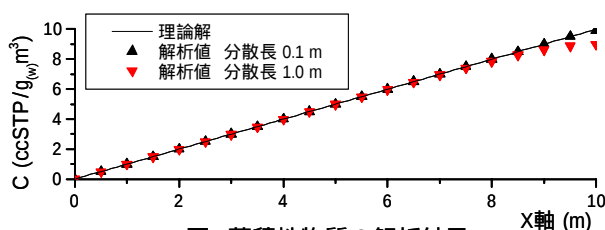


図3 蓄積性物質の解析結果

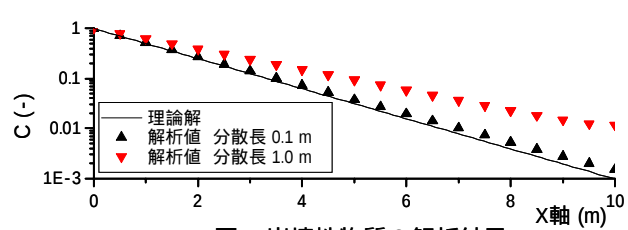


図4 崩壊性物質の解析結果

キーワード：地下水流動、沿岸海底下、滞留時間、放射性廃棄物処分、海水準変動、数値解析

連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL:0471-82-1181 FAX:0471-82-2243

蓄積性と崩壊性物質の移行現象は分散の影響を受けるものの、地下水の滞留時間を評価する指標になるものと考えられた。ただし、崩壊性物質の場合には、評価できる年代の範囲は物質の半減期に依存し、半減期の設定によっては、分散の影響を受けやすい傾向がみられた。

4. 二次元解析モデルによる滞留時間評価

地下水流動の滞留時間を検討するために、図5の二次元モデルで海水の密度を考慮した地下水流動の解析を実施した²⁾。定常状態での地下水流速分布と流跡線の解析結果を図6に示す。また、蓄積性と崩壊性物質を解析し滞留時間を評価した結果を図7, 8に示す。蓄積性物質の場合は、地表面と海底面から新しい地下水が涵養するものとして濃度0、内部発生量として $1.0 \times 10^{-6} \text{ ccSTP/m}^3 \text{ y}$ 、モデル外周は濃度勾配0の境界条件を用いた。崩壊性物質では、半減期を10,000年とし、物質は地表面と海底面から供給されるものとして濃度1、モデル外周は濃度勾配0に設定した。両方の場合とも地表面と海底面において地下水の流出域では濃度を固定せず、濃度勾配を0とする境界条件とした。それぞれの濃度分布から、式(2)と式(4)を用いて滞留時間を評価した。

解析結果から、地下水流速の絶対値分布と蓄積性と崩壊性物質から求めた滞留時間には相関性があり、これらの解析で地下水の滞留時間が概ね評価できているものと考えられた。特に、涵養域と地下水流速が早い領域で滞留時間が短く、淡水域と塩水域の地下水流速が異なる領域では滞留時間も明確に異なる傾向がみられた。

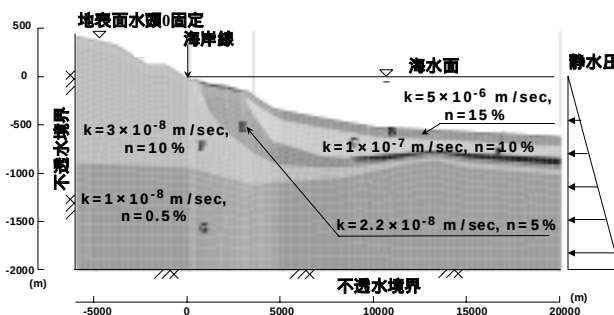


図5 解析モデルおよび境界条件図

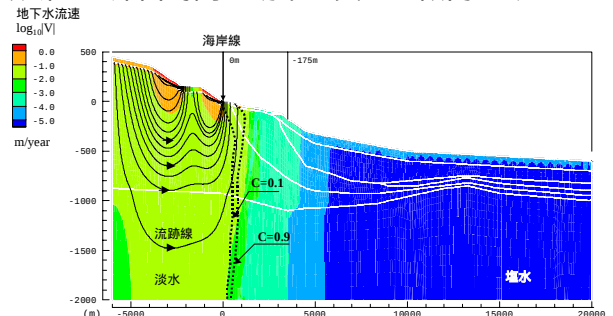


図6 地下水流速の絶対値分布と流跡線図

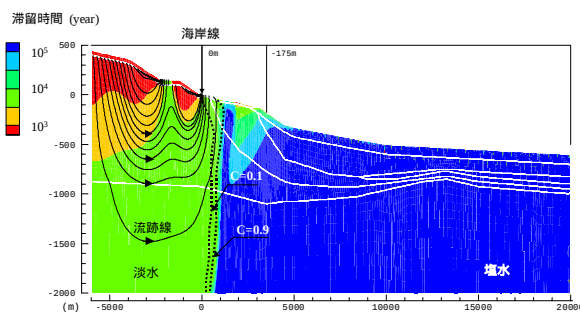


図7 蓄積性物質による滞留時間評価結果

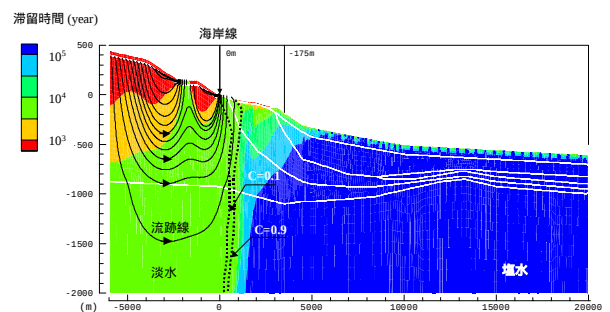


図8 崩壊性物質による滞留時間評価結果

5. まとめ

蓄積性と崩壊性物質の定常状態の濃度分布から地下水の滞留時間を評価した。これらの解析は、間隙率や分散長などを設定する必要があるが、定常解析で比較的簡単に滞留時間の評価が行える。崩壊性と蓄積性では、同じように滞留時間が評価できるが、蓄積性物質では崩壊性物質に比べて、長期から短期までの滞留時間を一度に評価できる利点がある。ただし分散の効果の評価が困難なため、両方を解析しておく必要があると考えられる。この分散が結果に与える影響については今後検討する必要がある。これらのような蓄積性と崩壊性物質を用いたアプローチは、複雑な流動状況下での滞留時間を評価する場合や地化学情報との整合性を検討する場合に有効であると考えられる。

参考文献 1)例えば、五十嵐敏文他：地下水学会、地下水モデリングのためのデータ解析手法の基礎、地下水学会誌、Vol. 42, No.3, pp.243～262, 2000. 2)長谷川琢磨他：沿岸海底下の地下水流動の安定性に関する数値解析的検討、第56回土木学会年次学術講演会概要集、CS1-024, 2001.