

高透水性パス形成に伴う突発的放射性核種移行解析

独立行政法人原子力安全基盤機構

正会員

○青木 広臣

独立行政法人原子力安全基盤機構

正会員

小野 誠

大成建設株式会社

正会員

鈴木 俊一

1. 目的

放射性廃棄物処分では、その施設の安全性を評価する上で、移流分散方程式による地下水を媒体とした放射性物質の移行評価を行い、生活圏への放射性物質の移行率を年当たりの被ばく線量に換算する評価を行っている。鈴木ら^[1]は、(1)式に示す多次元の移流分散方程式を対象に混合有限要素法のひとつである局所不連続ガラーキン法による解析コードを開発している。混合有限要素法では、ポテンシャル（移流分散方程式では濃度）に加えフラックス（同式では物質移行率）を同時に解くため、非退化形式と比較してフラックスの精度が1次数向上することから^{例えば[2]}、フラックスの導出が主目的である放射性廃棄物処分の安全評価において有効な解法であると言える。(2)式に(1)式で示した移流分散方程式の弱形式化を示す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{R} \nabla \cdot \mathbf{D} \nabla C - \frac{1}{R} \mathbf{u} \cdot \nabla C - \lambda C + Q_c$$

(1)

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega_j} v \frac{\partial C}{\partial t} dV + \int_{\Omega_j} \mathbf{q}_{ch} \cdot \nabla v dV - \int_{\Omega_j} C_h \mathbf{u} \cdot \nabla v dV \\ &= \int_{\Omega_j} v Q_c dV - \int_{\Omega_j} \lambda C_h v dV + \int_{\partial \Omega_j} \hat{\mathbf{q}}_{ch} \cdot \mathbf{n}_j v dS - \int_{\partial \Omega_j} \overline{\mathbf{u} C_h} \cdot \mathbf{n}_j v dS \end{aligned}$$

(2)

本稿では、局所不連続ガラーキン法を具体の放射性廃棄物処分の安全評価に適用するにあたり、土質系材料であるベントナイトを人工バリアの低透水層として用いる放射性廃棄物処分施設において、バリア内部で発生したガスによって低透水層に高透水性のパスが形成された場合を想定した突発的な現象を例に、その有効性及び同現象における高透水性のパスが及ぼす人工バリア最外縁からのフラックス及び天然バリア下流端からのフラックスへの影響を把握することを目的とする。

2. 解析対象領域

解析対象とした領域は、処分空洞の横断面を含む2次元断面とした。廃棄体及びセメント系の部位をバリア内部として単一材料とみなし、その周囲に低透水層（部材厚1.0m）を配置した構造とした。低透水層の外側は、支保工（部材厚0.75m）の内側が低透水層の外接円となるものとし、支保工と低透水層の

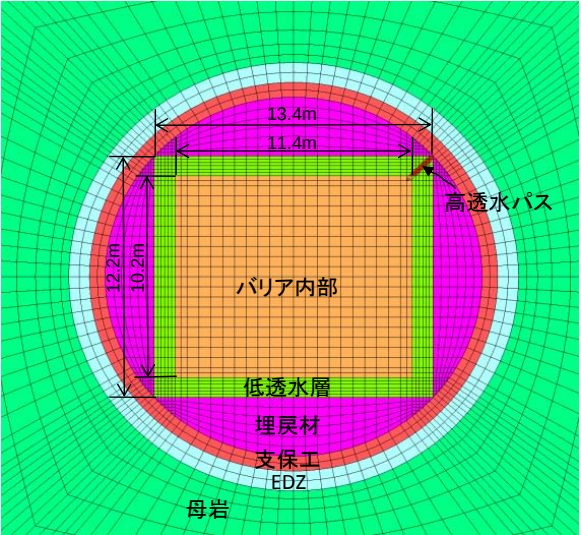


図1 解析メッシュ（処分空洞全体）

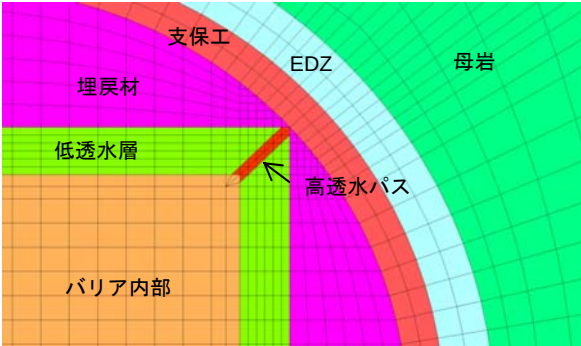


図2 解析メッシュ（高透水パス部）

表1 解析に用いた物性値

	バリア内部	低透水層	埋戻材, 支保工, EDZ	母岩	高透水パス
透水係数(m/s)	1.0E-5	1.0E-12	1.0E-7	1.0E-8	1.0E-5
有効空隙率(-)	0.35	0.4	0.47	0.47	0.35
比貯留係数(1/m)	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-7	1.0E-5
実効拡散係数(m²/s)	2.1E-10	2.0E-11	9.4E-10	9.4E-10	2.1E-10
乾燥密度(kg/m³)	1.5E+3	1.6E+3	1.5E+3	1.5E+3	1.5E+3
³⁶ Cl 分配係数 (m³/kg)	0	0	3.2E-5	3.2E-5	0

キーワード

放射性廃棄物処分, ベントナイト, 破過, 不連続ガラーキン法, 移流分散方程式

連絡先

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-20 神谷町MTビル Tel: 03-4511-1866

間の埋戻材と、支保工の外側に厚さ 1.0m の掘削影響領域 (EDZ) の形成を仮定した。また、ガスによる破過が発生したとみなす高透水パスは、低透水層の下流側上部の隅角部と仮定した。図 1 及び図 2 に解析メッシュを示す。同図の左側から右側に向けて動水勾配 0.1 とした地下水流動場を仮定した。

EDZ より外側の母岩の解析対象領域については、EDZ の外縁から鉛直方向は上方・下方ともに 100m、水平方向は左右ともに 200m 離れた位置を外周とする長方形とした。

3. 解析条件

各構成材料の物性値は、公開文献等をもとに著者らで設定した (表 1)。解析は単相の移流・分散方程式による放射性核種移行解析であり、縦分散長は各構成部材厚の 10%とし、横分散長は縦分散長の 10%とした。本稿で対象とした放射性核種は、非収着、非崩壊の条件に近いと考えられる ^{36}Cl (半減期: 3.0×10^5 年) を選定した。初期条件として、バリア内部は ^{36}Cl 濃度均一とし、バリア内部の初期内圧を 3MPa とした。本解析の特徴は、低透水層と高透水パスの透水係数が 7 桁異なり、高透水パスを通過する地下水流速が大きく、Pe 数が比較的大きくなるため数値分散による影響が大きくなることが予想される。そのような条件においても高精度の解析結果を得る必要があるため、局所不連続ガラキン法を用いた解析手法を採用した。

4. 解析結果及び考察

高透水パスを配置していない Case-1 と高透水パスを配置した Case-2 それぞれの濃度コンターを図 3 に示す。Case-1 では、100 年経過後においても低透水層外へ核種が放出されていないのに対し、Case-2 では高透水パスにより速やかに人工バリア外部へ核種が放出されており、100 年後の濃度コンターではその差異が明らかである。この傾向は、図 4 に示した人工バリア最外縁からのフラックス時系列でも確認できる。Case-2 の人工バリア最外縁からのフラックスの最大値は Case-1 と比較すると 1 桁程度大きな値となっている。一方、同図に示した天然バリア下流端からのフラックスでは、その最大値の比は 1.05 倍となっている。この理由は、バリア内部における内圧の上昇による突発的な放射性物質の放出が、母岩での分散効果により吸収されているものと考えられる。このように多次元的な挙動に対するフラックスの評価を行う場合には、高精度な濃度の解が得られていることに加え、高精度なフラックスの解が得られていることが重要であり、混合型有限要素法のひとつである局所不連続ガラキン法を採用することが有効であることを示した。

5. まとめと今後の課題

本稿では、局所不連続ガラキン法を具体の放射性廃棄物処分の性能評価に適用し、その有効性及び高透水性のパスからの突発的な放射性物質の移行挙動を定量的に評価した。今後は、具体的な放射性廃棄物処分施設の安全評価に適用するのみではなく、本解法の特性を勘案した利用法等の開発を進める予定である。

参考文献

- [1] 鈴木 俊一, 本島 貴之, 苗村 由美, 久保 紳, 蟹江 俊仁; “局所不連続ガラキン法による放射性廃棄物処分施設を対象とした地下水流動・核種移行解析の高度化”, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 3, pp.703-715, (2009).
- [2] O. C. Zienkiewicz, et al.; “On Discontinuous Galerkin Methods”, *Int. J. Numer. Meth. Engng* 2003; 00: 1-6, (2003)

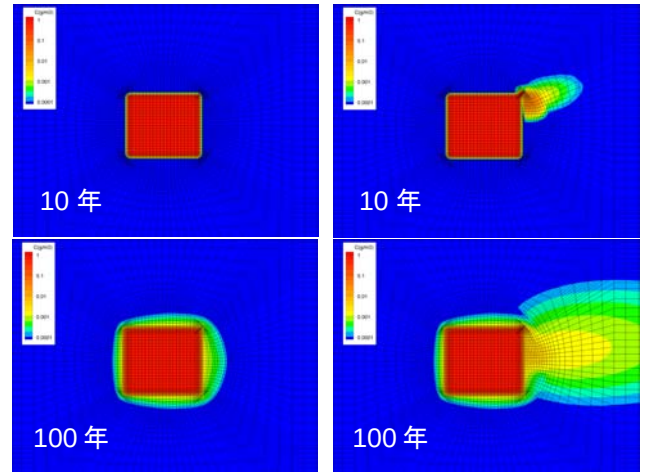


図 3 濃度コンター図
(左:高透水パスなし Case-1, 右:高透水パスあり Case-2)

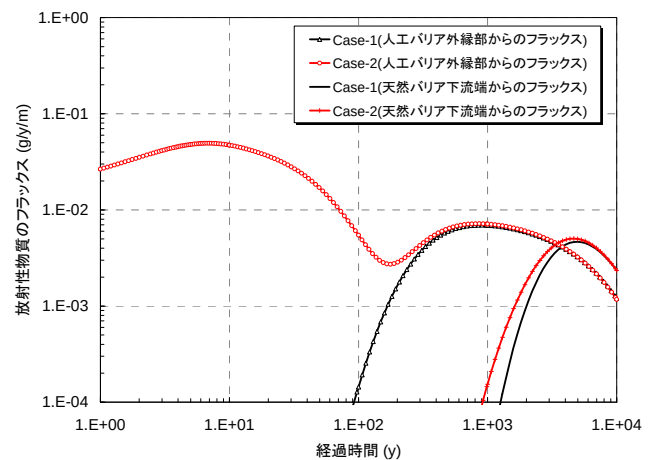


図 4 フラックス時系列