

(66) 地下廃棄物処分場周辺に設置されたバリアシステムの遮水効果に関する数値実験

御奥村組 筑波研究所 正会員 ○ 林 忠則
同 上 増井 仁

1. はじめに

近年、高レベル放射性廃棄物の地層処分において、放射性核種の漏洩に関する安全性の評価は、重要な課題の一つとなっている。長期間にわたり生態圏から核種を隔離するためには、核種の移行媒体となる地下水の流れ、処分施設内外からの流入流出をいかに遮断するかが問題となる。

本報では、工学バリアを含めた処分施設の安全性を評価するために、二次元定常モデルによる地下浸透流解析を実施した。工学バリアとしては、廃棄物貯蔵施設をカプセル状に包含したスメクタイト系粘土などによる充填材（以下粘土バリアと呼ぶ）およびその外側岩体部にケーシング状に配置されたボアホール群（以下ボアホールケーシングと呼ぶ）を想定した。解析の結果より、これらバリアの相乗的な遮水効果、および施設内に流入する水分子の挙動などについて、若干の知見を得たので報告する。

2. 解析モデルおよび条件

今回使用した解析モデルは、WP-CAVEシステム（図-1）^{1)・2)} に代表されるような、工学バリアへの依存性が高く、立地選定が容易である小規模分散型の処分システムを模擬したものである。基本的なケースを考えるために、また処分施設自体の構造化、地下水の流れ場を考慮し、図-2に示すような1/4の水平断面モデルを設定した。

解析領域は処分施設を中心に、上下および左右それぞれ 500mの範囲とした。地下水は左端から右端へ流れるものとし、左端をピエゾ水頭 $h=100\text{m}$ 、右端を $h=0\text{m}$ の水頭固定境界とした。また上下端は不透水境界とした。ボアホールケーシングは、上流側と下流側のボアホールを連繫することにより地下水流をバ

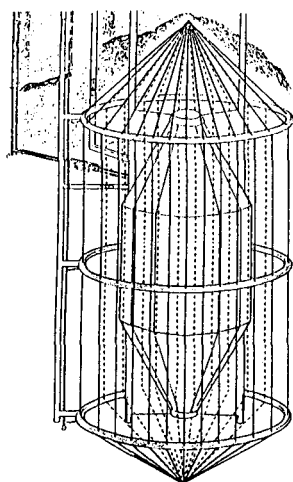


図-1 小規模分散型処分システムの概念図

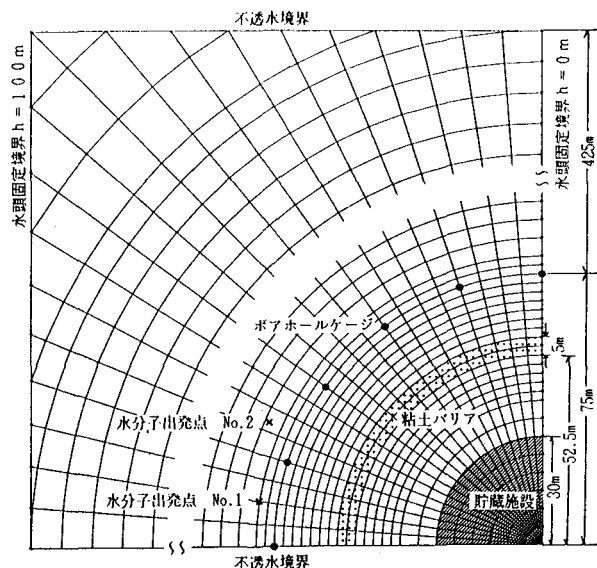


図-2 解析モデル

イパスさせる役割を果たすものであるが、これについては、ボアホールを一つの節点としてモデル化した。ボアホール内を上流側から下流側へ流れるときに生じる水頭損失を考慮すれば、固定水頭値を設定することは非常に困難である。それゆえ、節点に水頭固定条件を与えるにあたっては、ボアホール内での損失水頭はないもの ($h = 0 \text{ m}$) とした。ボアホールの設置ピッチは、直径 150 m の円周上に等間隔で20本配列するようにした。

粘土バリアの効果はその透水係数 k_B の低さで表現するものとし、岩盤の透水係数 k_R との比率で、 $k_B / k_R = 1.0, 0.1, 0.01$ を想定した。これに対してボアホールケージの有無も考えあわせると、解析ケースは表-1 になる。解析は有限要素法によって行い、浸透流は定常飽和状態でダルシー法則を満足し、岩盤、粘土バリアは等方、均質であると仮定する。1/4の水平断面モデルの要素は四辺形を主体としており、要素数、節点数はそれぞれ 990, 1045 である。また水分子の挙動軌跡については、出発点の平均流速を間隙率で除した実流速から、一定の距離を移動して到達した点を次の流速計算点として、順次追跡する手法で求めたものである。

表-1 解析ケース

解 析 条 件		粘土バリア・岩盤の透水係数比 k_B / k_R		
		1.0	0.1	0.01
ボアホールケージ	なし	CASE-1	CASE-2	CASE-3
	あり	CASE-4	CASE-5	CASE-6

3. 解析結果および考察

(1) 工学バリアの遮水効果

図-3 に処分施設近傍における水頭分布を示す。コンター間隔は 0.5 m である。粘土バリア、ボアホールケージがないCASE-1では、コンターは垂直に等間隔で描かれているが、粘土バリアが存在する場合には、そこでのコンター間隔は密で、水頭損失が大きくなっている。粘土バリアの透水係数が小さいほど、その様子は顕著であり、あたかも不透水境界が存在しているような状態を呈している。またボアホールケージがあるときには、ボアホールを中心とする同心円状のコンターが認められ、その密度は上流側のほうで高くなっていることがわかる。

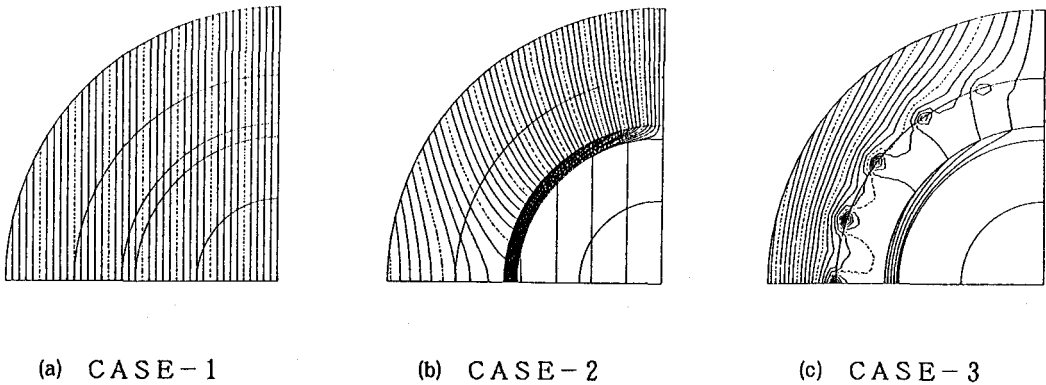


図-3 工学バリア近傍における水頭分布

図-4は、図-3で示したケースに対する流速ベクトル分布を表したものである。透水係数の小さい粘土バリア内では、水頭損失をできるだけ小さくしようとする中心方向の流れが生じている。ボアホールケーシングがある場合には、ボアホールに向かう流れ（ホール周辺では下流側からの逆転した流れが発生している。）およびボアホール間をすりぬけてくる流れが存在している。

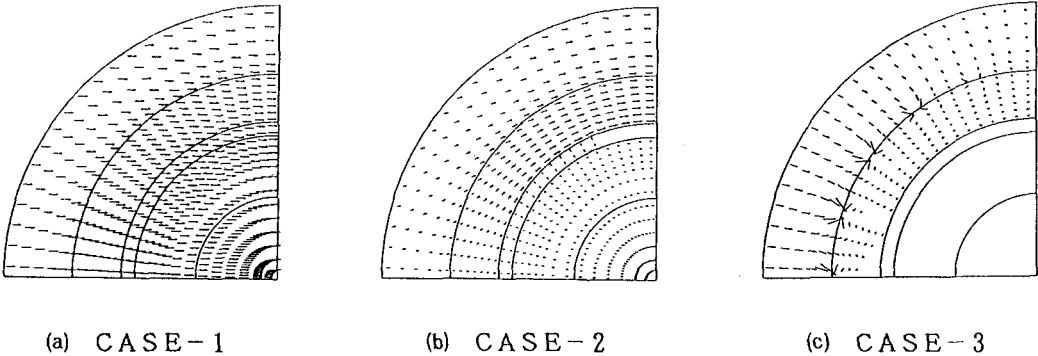


図-4 工学バリア近傍における流速ベクトル

貯蔵施設に流入する浸透流量比を表-2に示す。浸透流量は、貯蔵施設をモデル化した平面要素の水平方向流速 V_x の平均値に、貯蔵施設中央における鉛直面の断面積を乗じて求めたものであり、粘土バリアおよびボアホールケーシングが存在しない場合を100としている。ボアホールケーシングのみのCASE-4と粘土バリア ($k_B / k_R = 0.01$) のみが存在するCASE-3の遮水効果は、共に20%程度ではほぼ等しいことがわかる。また表より、工学バリアの遮蔽性に関しては2%であり相乗的な効果が認められる。しかしながら、今回の解析ではボアホール内の水頭損失を無視しているため、ボアホールケーシングの効果は若干過大評価されていると考えられる。

(2) 水分子の挙動

水分子の出発点としては、ボアホールケーシングの外側に位置する2点を設定した。出発点No.1は二つのボアホールに対して等距離にあり、出発点No.2は幾分片方のボアホールよりに位置している。

図-5は水分子の移動軌跡を示している。

表-2 貯蔵施設を通過する浸透流量

解 析 条 件		粘土バリア・岩盤の透水係数比 k_B / k_R		
		1.0	0.1	0.01
ボアホールケーシング	なし	100	75	20
	あり	17	11	2

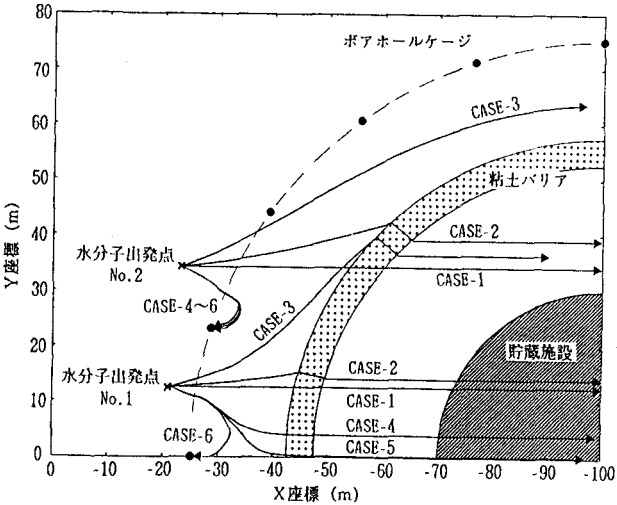


図-5 水分子の挙動

工学バリアのないCASE-1が2点ともX軸方向に直進しているのに対し、粘土バリアのみを考慮したCASE-2,3では、これを避けて迂回しようとする動きをみせている。しかし出発点No.2のCASE-3以外はいずれも粘土バリア内に侵入してくる結果となった。一方、ボアホールケーシングがあるときでも、出発点No.1のCASE-5のようにCASE-6に比べ透水係数が大きくなると、水分子の移動方向はボアホールによって影響を受けているものの、ホール間をすりぬけてバリア内に侵入している。加えて、水分子が粘土バリアを通過する際には、最短距離を選んで移動している様子がわかる。また出発点No.1のCASE-6および出発点No.2のCASE-4～6についての挙動は、一度ボアホールより下流側へ移行しながらも、最終的にボアホールへ流入している。

図-6に出発点No.1における水分子の移動距離と経過時間の関係を示す。CASE-1～3ではかなり速い速度で移動しており、10年程度でバリア内に侵入している。各ケースの移動時間を相対的に比較してみると、CASE-5の貯蔵施設に到達するまでのCASE-1,2に対する時間倍率は、それぞれ7.9倍、5.9倍である。ボアホールケーシングの存在は、水分子の移行速度の低減化に寄与していることがわかる。

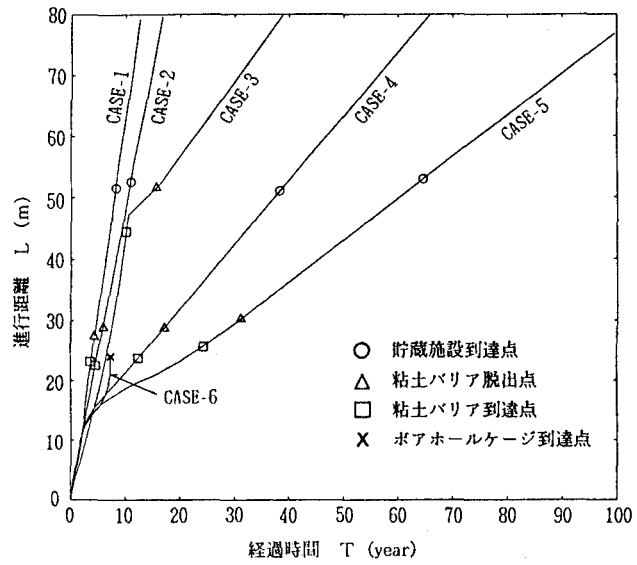


図-6 出発点No.1における水分子の移動距離・時間の関係

4. おわりに

放射性廃棄物を地下へ処分するにあたって、処分システムから漏洩する核種の移行経路およびシステム上の安全性について評価するために、初歩的な段階として簡素化したモデルを用いた解析的検討を試みた。その結果、ボアホールケーシングや粘土バリアの存在は、貯蔵施設に対する浸透流の流入量をかなり低減させることがわかった。これまでに鉛直断面における解析も行っているが、ボアホールケーシングや浸透流量の的確な評価は、三次元的な解析に頼らざるを得ない。また工学バリアの遮水性に関しては、ボアホールの口径、本数、設置ピッチをパラメータとして考える必要がある。今後は、現状の地下水流れ場に対して、核種の崩壊に伴う熱および岩盤掘削による流れ場の変化を、正確に把握できるような解析手法を検討して行きたい。

<参考文献>

- 1) Boliden WP-contech AB, Report on the research and development stage, NAK WP-CAVE PROJECT SKN Report 16, November 1985
- 2) 竹内, 岡島, 小西, 貝原, 林; 高レベル放射性廃棄物の地層処分, 奥村組テクニカルレポート No.5, 1986

(66) NUMERICAL STUDY ON THE IMPERMEABLE EFFECT OF TECHNICAL BARRIERS SYSTEM
AROUND THE UNDERGROUND WASTE REPOSITORY

BY Tadanori HAYASHI* , Hitoshi MASUI*

ABSTRACT

Recently, it is important subject to estimate the safety for diffusion of radionuclide from the repository in geological disposal of radioactive waste. Taking its long term isolation into consideration, so far the idea of various disposal systems has been investigating. As concerns its isolation, the problem is how to intercept seepage flow, which is a medium of diffusion of radionuclide around the repository.

In this paper, we present numerical studies of the impermeable effect of disposal facility with technical barriers system by means of the finite element method. We assumed two technical barriers. One is clay-barrier; this surrounds the repository with the shape like a capsule. The other is borehole-cage; this is situated outside clay-barrier and composed of many boreholes arranged the shape of cage.

The following conclusions are reached:

- 1) As for the impermeability of technical barriers, when there is a borehole-cage as well as a clay-barrier with $k_B / k_R = 0.01$, the ratio of water inflow to the repository is about 20 % in comparison with no technical barriers system. Further, the synergistic effect is recognized in the case of their combination.
- 2) The existence of a borehole-cage is inclined to reduce the transport velocity of radionuclide.

* TSUKUBA RESEARCH INSTITUTE, OKUMURA CORPORATION