

循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

・研究課題・研究番号 = 不完全な半透膜としての挙動を考慮した最終処分場粘土遮水層における有害化学物質移行挙動の定量化
K2009, K2167

・国庫補助金生産所要額 (円) = 9,770,000 円

・研究期間 = 2008-2009

・代表研究者名 = 徳永 朋祥 (東京大学)

・共同研究者名 = 三好 悟 (株式会社大林組)

・研究目的 (400字)

廃棄物最終処分場からの浸出液には有害物質が含まれるため、適正な遮水性を有することが必要である。ベントナイトは重要な遮水材料であるが、電解質溶液に対して、純水に対するよりも大きな透水性を示すことが知られている。電解質を含む浸出液に対する止水性能を評価する一般化された手法はなく、現在の処分場の構造基準ではベントナイト遮水層の止水性能として純水に対する透水係数を要求するのみである。一方、ベントナイト遮水層は、電解質の透過を部分的に制限する‘不完全な半透膜挙動’を示すと考えられ、その適切な評価をから、より信頼性の高い材料としてベントナイトを位置づけることができる可能性がある。また、合理的な遮水層設計も可能になることが期待される。本研究は、不完全な半透膜としての挙動を含め、ベントナイト遮水層における電解質の移行挙動を解明し、最終処分場ベントナイト遮水層の合理的設計に資することを目的とする。

・研究方法 (400字)

不完全な半透膜としての挙動を計測可能な実験装置(実験装置1)を開発した。実験では、試料に一定圧にて初めは純水を、途中速やかに電解質溶液に替えて送液した。異なる濃度の溶液に試料が接することで浸透圧が発生し、透水流量の変化が期待される。実験装置1の概略等を図1~5に、実験ケースを表1に示す。

また、化学的浸透により実際に発生する圧力を図6に示す装置(実験装置2)により計測した。表2に実験ケースを示す。試料を電解質溶液で飽和後、メッシュ状端部から純水と接することで、浸透圧により間隙圧の上昇が期待される。

また、化学的浸透を含む水分・物質移行の基礎方程式を熱力学的考察も踏まえて構築し、その数値解析プログラムを開発した。上記実験をシミュレートし、このプログラムの適用

性を評価した。さらに、このプログラムを用いて、場内水の浸出フラックスに着目して、遮水層の性能評価を試みた。

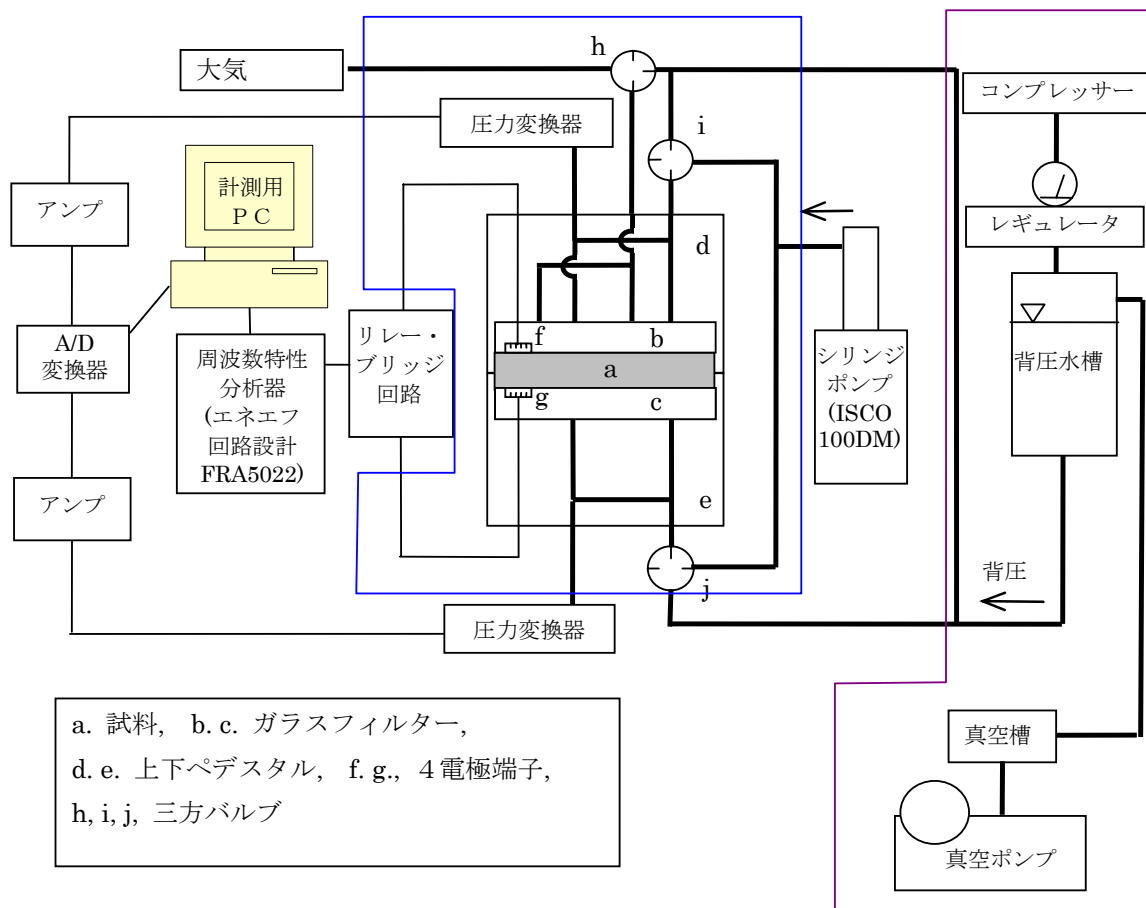


図 1 実験装置 1 の概略



図 2 透水セル装置全景



図 3 テフロン製リングとシリコンゴム製Oリング



図 4 ベントナイトをセルに詰めた様子



図 5 ベントナイト漏洩防止用のフィルター

表 1 実験装置 1 による浸透圧実験に供する試料と溶液

No	試料		溶液		
	試料原料	交換陽イオン型	締固め乾燥密度	飽和まで	飽和後
1	クニゲル V1	ナトリウム型	1.6Mg/m ³	純水*	0.1M NaCl 溶液
2	〃	〃	1.4	〃	〃
3	〃	〃	1.2	〃	〃
4	〃	カルシウム型	1.6	〃	0.05M CaCl ₂ 溶液
5	〃	〃	1.4	〃	
6	〃	〃	1.2	〃	

*純水製造装置 Direct-Q UV (ミリポア社) にて作製

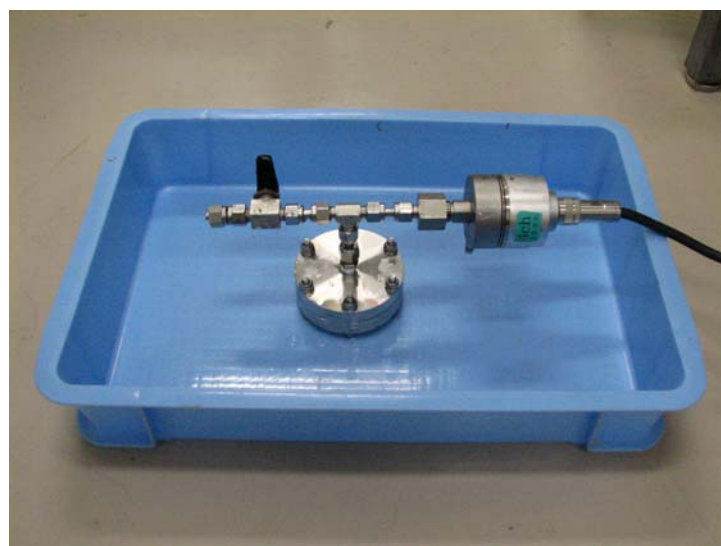
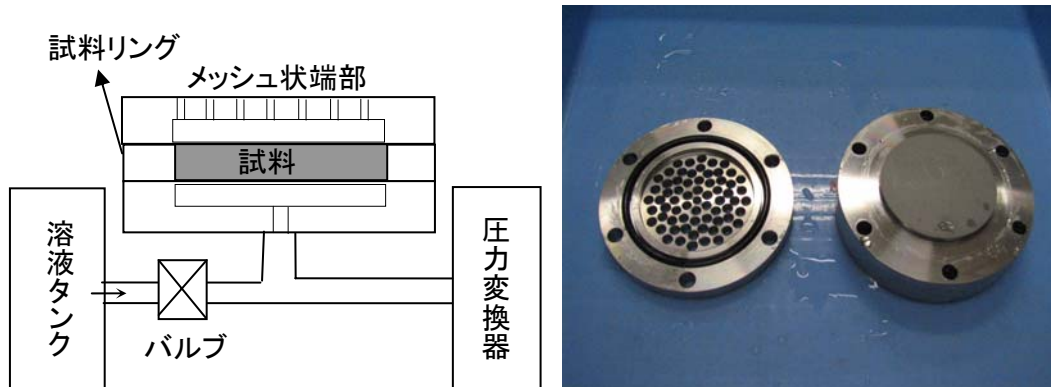


図6 ベントナイトに作用する浸透圧を計測する実験装置2の概要(左上)と写真(右上)、および、全景写真(実験中は上下逆)(下)。

表2 実験装置2による浸透圧実験に供する試料と溶液

No	試料	締固め 乾燥密度	溶液	
			飽和まで	飽和後 (コンテナ)
7	クニゲル V1	1.6Mg/m ³	0.1M NaCl 溶液	純水
8	〃	1.4	〃	〃
9	〃	1.2	〃	〃
10	クニピア F*	1.2	〃	〃

*モンモリロナイト含有率 99.9%のベントナイト製品 (クニミネ工業)

表3 遮水層の性能評価解析のケース設定

No	遮水層材料		場内水	
	ベントナイト 配合率	透水係数 cm/sec	外部との 水位差	TDS ppm
性能-1	15%	3.5×10^{-8}	1.0m	2.0×10^4
性能-2	20%	1.5×10^{-9}	1.0m	〃
性能-3	25%	8.6×10^{-10}	1.0m	〃
性能-4	15%	3.5×10^{-8}	0.1m	〃
性能-5	〃	〃	5.0m	〃
性能-6	〃	〃	1.0m	2.0×10^3

・結果と考察（800字）

実験装置1による結果の例として、実験ケース1での流量の時間変化を図8に示す。溶液を換えた直後から送液と反対方向に浸透圧が発生し、その分透水圧力が減少して流量が減少したことがわかる。その後、溶液の浸潤に伴って徐々に流量が増加し、最終的に元の勾配より大きくなっている。これはベントナイト間隙の溶液濃度が高くなるにつれ透水係数が高くなるというよく知られた事実と整合している。電解質が浸潤する間に、化学的浸透と電気二重層の縮小による透水性増大という2つの現象が過渡的に生じていることが、このケースの実験結果からよくわかる。

また、実験装置2による結果の例として、実験ケース7の結果の圧力変化を図8に示す。濃度差0.1Mで219kPa（ $\approx 22\text{mH}_2\text{O}$ ）という大きな浸透圧が発生したことがわかる。その他のケースでの発生圧力は、実験ケースの順に、140kPa、55kPa、517kPaであった。各試料のスメクタイト部分密度は順に、1.14、0.945、0.771、1.2であり、スメクタイト部分密度が高いほど浸透圧が高いという関係がここでは成り立っていることがわかる。

実験ケース1,7の解析結果を図9,10に示す。実験結果とよく一致する結果が得られた。図9の解析では、透水係数は、実験結果から純水に対する流量により求めた。拡散係数は文献値を用いた。また図10では、透水係数と拡散係数はもっとも実験結果にフィットする値を用いた。拡散係数は文献値に近い値を示したが、透水係数は1オーダー以上小さい値であった。ベントナイトの透水係数は透水圧力に依存することが報告されており、このことと整合する。

性能-1ケースの解析結果を図11,12に示す。浸透圧を考慮しないで遮水層の下部からの流出フラックスを求めると、本来のフラックス（浸透圧を考慮した場合のフラックス）に比べて30%以上過剰に評価していることがわかる。

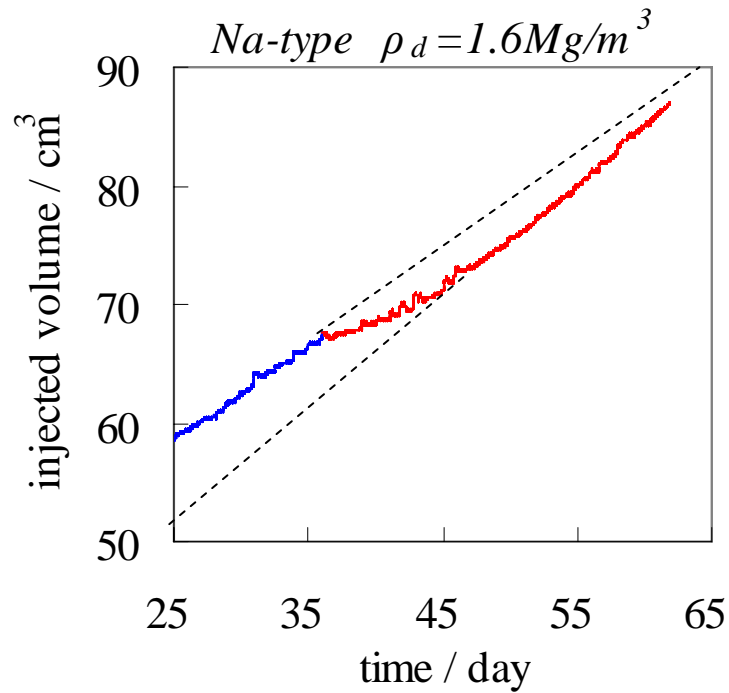


図8 図7より、液を換えた前後の送液流量の変化の抜粋。青線は純水の圧入、赤線は0.1Mの塩化ナトリウム溶液の圧入をそれぞれ示す。(点線は勾配の変化を示すための補助線)

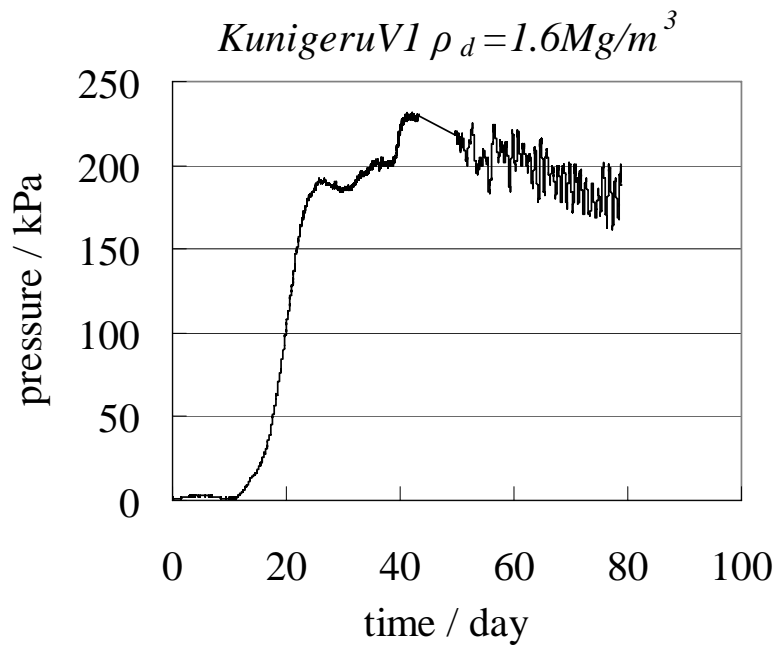


図8 実験ケース7 (クニゲル V1、乾燥密度 1.6Mg/m^3) における浸透圧の発生

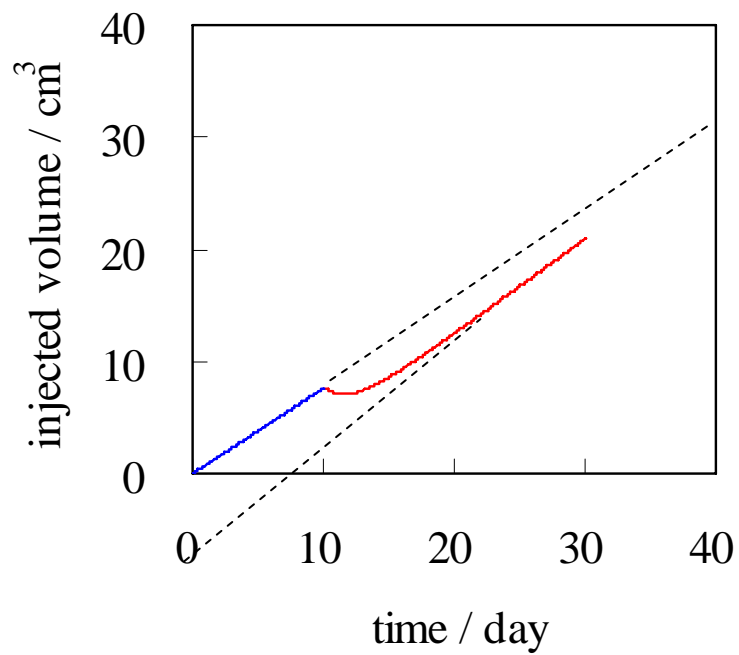


図9 実験ケース1の数値解析結果。点線は勾配の変化を示す補助線。

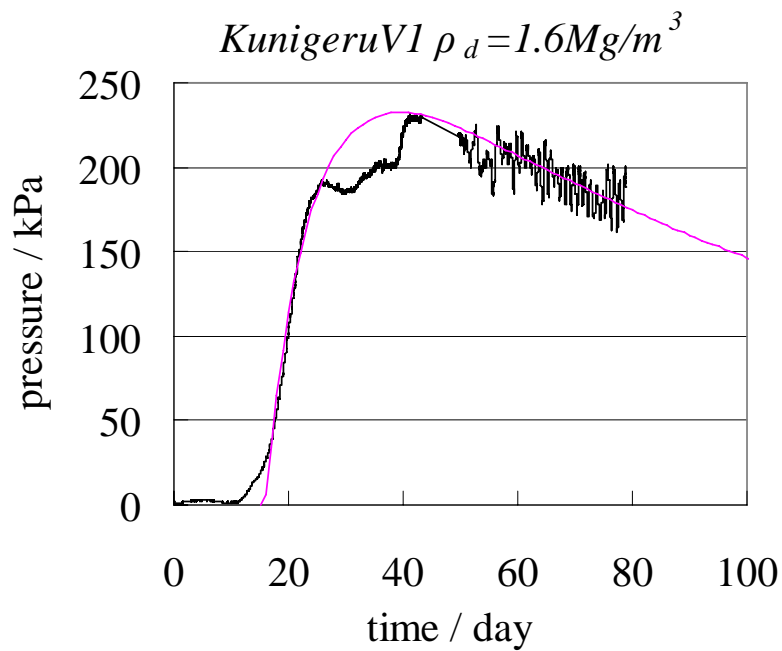


図10 実験ケース7の数値解析結果。ピンク実線が解析結果。黒実線は実験結果。

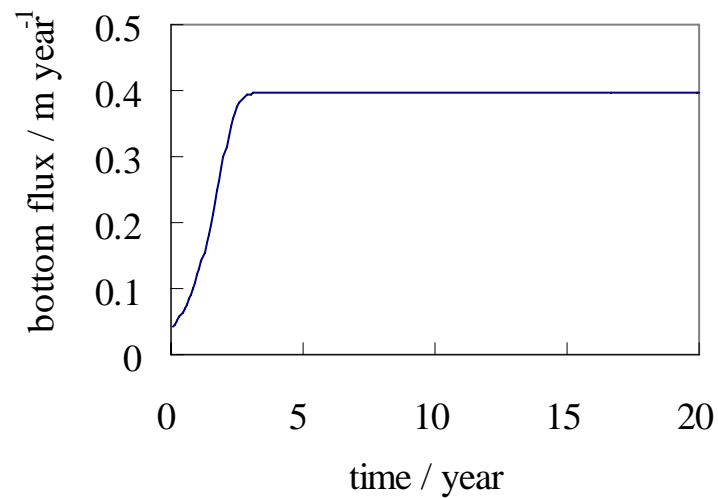


図 10 性能-1 ケースの解析結果。浸透圧を考慮しなかった場合の流量の変化

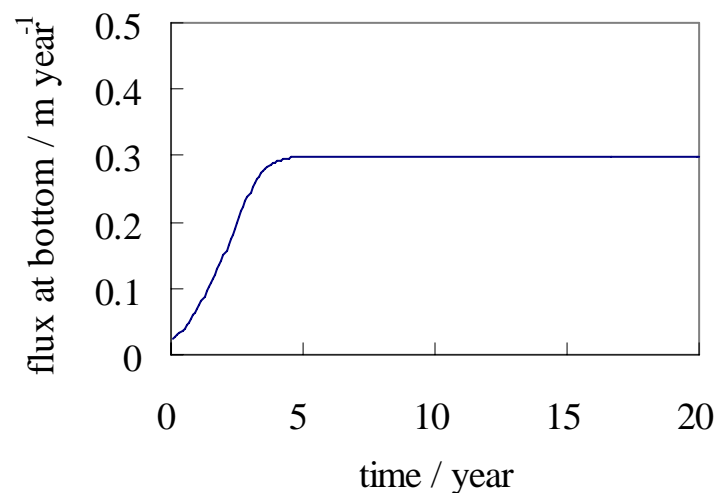


図 11 性能-1 ケースの解析結果。浸透圧を考慮した場合の流量の変化

・結論（400字）

遮水層の不完全な半透膜としての挙動を評価する実験を行い、電解質溶液がベントナイト遮水層に浸潤する際に、低濃度側から高濃度側に向け考慮に値する大きさの浸透圧が発生する場合があることがわかった。これをモデル化し、浸透圧を生じる現象を数値シミュレートする方法を提案した。特に重要な物性である反射係数を締固め密度等から求める方法を提案した。これまでの知見に基づき遮水層からの浸出を模した数値解析を行った結果、あるケースでは、電解質の浸潤により未浸潤の状態に比べて遮水層下部からの流出フラックスが 10 倍程度まで増大すること、また、浸透圧を考慮しない場合、考慮した場合に比べ

て流出フラックスを 30%以上過剰評価することがわかった。粘土材料の不完全な半透膜としての挙動はどのように遮水層の性能評価上重要であるが、反射係数モデルの適用性確認など課題は残されており、評価精度向上のためさらに検討が必要である。

英語概要

- ・ 研究課題名

Quantitative study on the act of clay layer of final disposal sites as semipermeable membrane

- ・ 研究代表者名及び所属

Tomochika Tokunaga

Department of Environment Systems, School of Frontier Science, University of Tokyo

- ・ 共同研究者名及び所属

Satoru Miyoshi

Technical Research Institute, Obayashi Corporation

- ・ 要旨

Because the leachate from final disposal sites involves toxic matters, it has to have the appropriate low-permeable structure. Although bentonite is one of the important materials for the low-permeable structure, it is known that it shows larger permeability for electrolyte solutions. On the other hand, bentonite layer shows the characteristic called 'semipermeable membrane' that it partly permits the migration of electrolyte in it. Authors developed two types of laboratory apparatus and fulfilled some sorts of laboratory experiments to demonstrate the osmotic phenomena brought by bentonite materials and to quantify the osmotic pressure generated with various conditions such as the extent of compaction and the kind of exchangeable cation. In addition, authors developed a numerical simulator that can simulate the migration of pore water and electrolyte under consideration of osmosis and applied it to the above laboratory experiments. The simulator showed the reasonable performance. Finally, the authors tried to simulate the performance of a general clay layer of final disposal site for various cases. They focused on the outflow flux at the bottom of the clay layer and found that in the standard case the flux without consideration of osmosis showed over thirty percent greater than that with consideration of osmosis.

- ・ キーワード

Final disposal site, clay layer, flow and transport, chemical osmosis, semipermeable membrane