

μ フォーカス X 線 CT によるプレハイドレーションを考慮したベントナイト混合土の拡散現象の評価

熊本大学大学院 学生会員 ○次郎丸 雄基 熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文
熊本大学技術部 非会員 吉永 徹 熊本大学大学院 学生会員 木山 和彦

1. はじめに

管理型最終処分場底部(以下、処分場)では、有害物質を含む浸出水の漏水を防ぐために、遮水性に優れたベントナイトや現地発生土混合させて使用するベントナイト混合土とポリエチレン系の遮水シートによる複合遮水工が施工されている。難透水性材料であるベントナイト混合土の遮水性能は、間隙中でベントナイトが水を吸水し膨潤することで発揮される。しかし、化学物質を含んだ溶液を吸水した場合、ベントナイトの膨潤が阻害されることが分かっている¹⁾。そのため、ベントナイトをどの程度給水(プレハイドレーション)させておくかどうかによって遮水性能が大きく変化する。しかし、一般に遮水工の安全性評価については飽和透水係数による透水量の議論が中心で、長期汚染問題を評価する場合、透水現象よりもむしろ拡散現象による物質輸送が懸念される。

本概要では、プレハイドレーションによる遮水性能の変化を評価するために、飽和度が異なるベントナイト混合土を対象に拡散実験を実施するとともに μ フォーカス X 線 CT を用いて溶液の違いによるベントナイト混合土の間隙内部の変化を可視化したので報告する。

2. 実験概要

2. 1 拡散実験

図 1 は、拡散実験装置の概略図である。供試体の直径 50mm、高さが 10mm、地盤材料には、初期乾燥重量 $\gamma_d=1.54(t/m^3)$ の豊浦砂とナトリウム型ベントナイトを用いた。重量比でベントナイトが 5% になるように混合率を調整し、供試体下部から給水した。また、プレハイドレーションの効果を評価するために飽和度が 95% 以上(Case1)と 40%(Case2)を設定した。所定の飽和度に達する量の水を給水したのち、上部に濃度が 320(g/l)の塩化カルシウム水溶液を補充し実験を開始し、上部(Top)、下部(bottom)両方の濃度を計測した。

2. 2 混合土内部の間隙可視化実験

図 2 は、 μ フォーカス X 線 CT 撮影用実験装置の概略図である。 μ フォーカス X 線 CT 装置自体の概要は参考文献を参照されたい²⁾。直径 10mm、高さが 60mm、

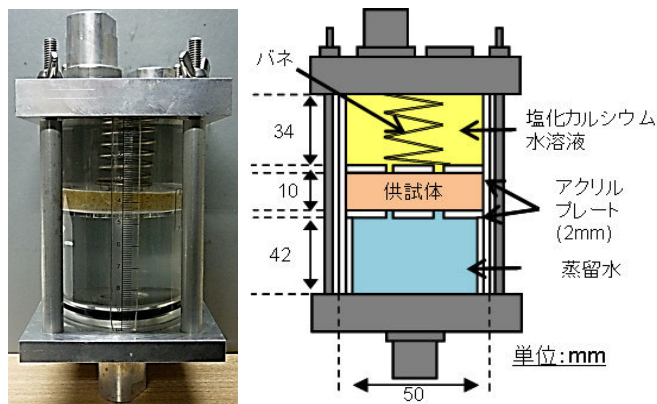


図 1 拡散実験装置

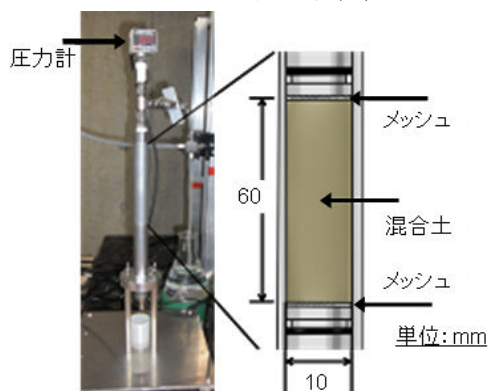


図 2 μ フォーカス X 線 CT 撮影用実験装置

地盤材料は拡散実験と同様の乾燥密度と混合率になるように調整した。また、実験ケースとして初期乾燥の地盤に対して水(Case3)と塩化カルシウム(Case4)を与える場合を設定した。

3. 解析手法

拡散実験の結果は下記の一次元拡散・吸着方程式で評価した。

$$nD \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} = (n + \rho K_d) \frac{\partial c}{\partial t}$$

n : 間隙率(%), D : 有効拡散係数(m^2/s), c : 正規化濃度(-), ρ : 乾燥密度(kg/m^3), K_d : 吸着係数(ml/g), t : 時間(days), z : 距離(m)である。吸着係数に関しては、ベントナイトの吸着試験を実施し $K_d=0.5(ml/g)$ とした。

4. 実験結果および画像解析結果

4. 1 拡散実験結果

図 3、図 4 に拡散実験の実験結果と解析結果を示す。Case2 bottomの方がCase1 bottomよりも濃度が高い傾向を示した。14日目では、Case1の12.5(g/l)に対して

Case2 は 24.0(g/l)と約 2 倍の値を示した。これは、Case2 の供試体の飽和度が 40%と低いとため、実験開始直後は供試体内部が負圧状態であり、よって供試体が塩化カルシウム水溶液を吸水したと考えることができる。そして、湿潤していないベントナイトが塩化カルシウム水溶液によって膨潤するまで、溶液の浸透が続いたと推測される。次に、Case2 top と Case1 top において、Case1 top の方が Case2 top に比べ濃度が高い傾向を示した。また 14 日目では、Case1 の 120(g/l)に対して Case2 は 100(g/l)と 20(g/l)の違いが生じた。これは、Case2 は負圧の影響により塩化カルシウム水溶液を吸水しているので、Case1 に比べてベントナイトの膨潤が妨げられ空隙が大きくなっていることが推測される。そのため、屈曲率が大きくなり拡散現象が促進されたと考えられる。また、解析結果からも Case1 は $1.5 \times 10^{-10}(\text{m}^2/\text{s})$ 、Case2 は $2.1 \times 10^{-10}(\text{m}^2/\text{s})$ と Case2 の方が Case1 よりも拡散係数が大きい結果が得られた。

4. 2 CT 画像解析結果

拡散実験の結果から、飽和度低い地盤は負圧の影響により溶液を吸水しやすいため拡散現象が卓越しやすいことが分かった。次に、溶液の違いにより混合土内部がどのように変化するかCT画像で考察する。図5はそれぞれ水(Case3)と塩化カルシウム水溶液(Case4)を通水した供試体の断面画像で、図6は、両結果の空隙部分抽出し3次元構成した画像である。図5から、Case4の方がCase3よりも空隙が大きく溶液の浸透領域が偏っていることが伺える。図6において、Case4の方の空隙率は5.01%でCase3の空隙率0.80%より約6倍大きい。これはCase4の方が、物質輸送が可能な領域が小さいことを意味している。不飽和土の拡散現象は、3節で示した拡散・吸着方程式中の拡散係数に体積含水率を用いるため、飽和有効拡散係数と比較して不飽和拡散係数はより小さな値になる。にもかかわらず、実験結果としてCase2のBottomの正規化濃度がCase1よりも大きい値が得られているのは、実験開始直後における供試体内部の負圧によって塩化カルシウム水溶液を吸水した影響が大きいと考えられ、供試体の初期飽和度管理が重要といえる。

5. おわりに

今回の結果から、ベントナイト混合土において飽和度が低い場合、負圧の影響を受け浸出水が浸透しやすくなりかつ浸出水に含まれる汚染物質によってベントナ

イトの膨潤が阻害され溶液の浸透領域が偏りやすいことが分かった。今後は、CT画像から溶液の経路をモデル化し屈曲率を算出する所存である。

参考文献

- 1) 石森 洋行:土と化学物質の相互作用に着目した地盤環境汚染対策, 立命館大学院理工学研究科総合理工学専攻博士論文, pp23-25, 2005.
- 2) 椋木俊文、三上和昭、佐藤宇紘: X線CTデータによる空隙構造の定量化と地盤内多相流汚染問題への適用性, 第九回環境地盤シンポジウム, pp47-pp52, 2011.

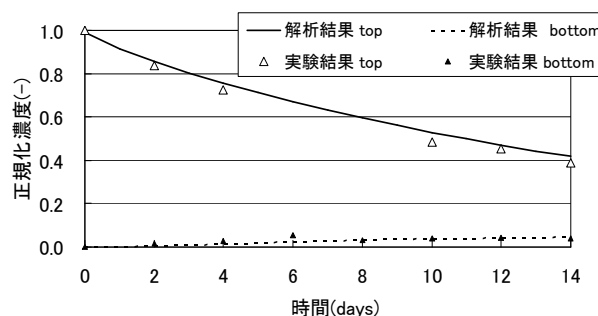


図3 飽和拡散実験・解析結果 (Case1)

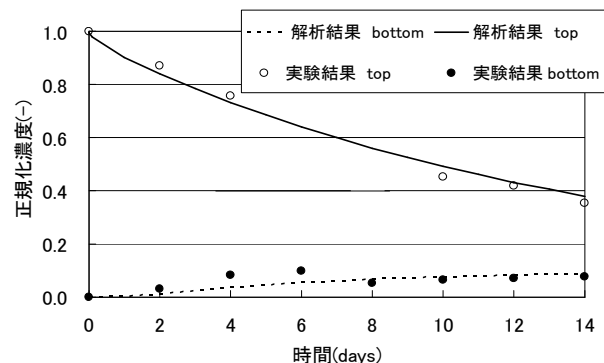


図4 不飽和拡散実験・解析結果 (Case2)

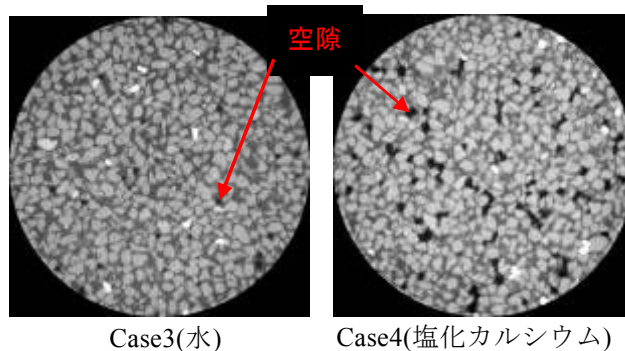


図5 X線CT画像断面図

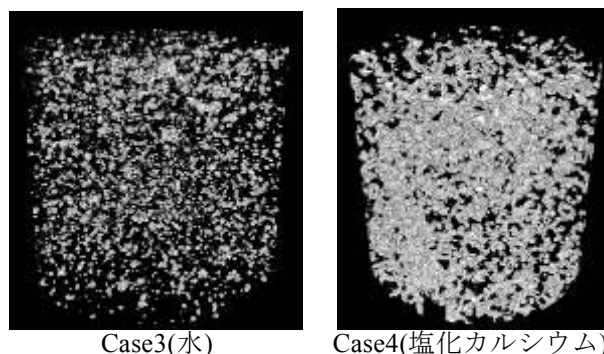


図6 空隙3次元構成