

水分子の吸着作用を考慮した液状水の微速透水現象のモデル化

東京大学大学院 学生会員 ○岡崎 慎一郎

東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. 目的

現在、高・低レベル放射性廃棄物処分場の建設が計画され、万年オーダーの耐久性、及びバリア機能を有する構造物の構築に関して技術的検討が行われている。実験による確認が不可能な超長期に渡る透水性を評価するためには、透水現象を支配するメカニズムに対する精緻な理解と機構の適切なモデル化および解析的な評価が必要不可欠である。そこで、本研究では特に水分子の壁面吸着に着目し、透水試験から得られた知見をもとに、微速透水現象のモデルを構築し、解析的検討を行った。

2. 飽和透水試験概要

解析モデルの構築およびモデルの妥当性の検討にあたって飽和透水試験を実施している。本実験においては、アウトプット法を採用した。アウトプット法とは、コンクリート供試体に水を圧入し、供試体対面に透過した水量を計測する方法である。試験に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。S65%の供試体について、任意の動水勾配における単位時間単位面積あたりの透水量の関係をプロットした実験結果を図-1に示す。降圧過程では線形性を、昇圧過程では非線形性を有し、降圧過程は常に昇圧過程の流量を上回ることが分かる。この現象についての解釈を以下のように行った。コンクリート中の透水パスにおいて、液状水の静止時に、水分子は壁面吸着の影響によって拘束され、ある圧力が加わらない限り流動が発生しないゆえ、壁面吸着は液状水静止時に静摩擦的な挙動をする。また、流動が開始する圧力は透水パスによって異なり、昇圧過程ではその圧力が低いものから順次流動するゆえ、昇圧過程において非線形性が現れる。また、各透水パスにおける液状水が一旦流動を開始すると、前述の流動が開始した圧力まで圧力を降下させても流動が停止しない。つまり、壁面吸着は液状水移動時に動摩擦的な挙動をする。これにより降圧過程の流量は昇圧過程のそれを常に上回るものと考えられる。以下本メカニズムに基づく透水現象のモデル化を行う。

表-1 試験に用いたコンクリートの配合

Type of mix	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	養生
A60%	60	180	300	816	984	気中
A45%	45	184	409	770	928	気中
S65%	65	142	219	945	1053	封緘

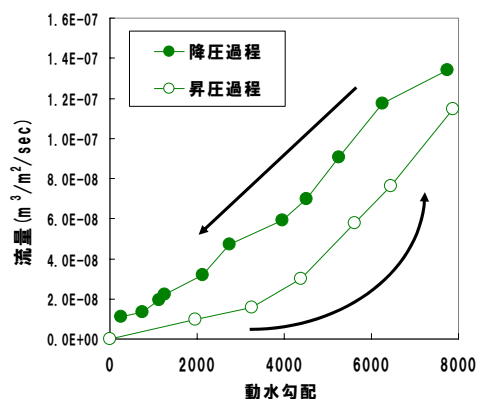


図-1 S65%における透水試験結果

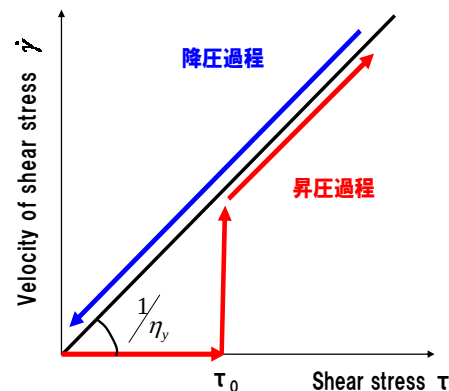


図-2 本解析で用いる流体モデル

3. 透水現象のモデル化と解析結果

本節では、壁面の吸着の影響を受ける液状水について前節で述べたメカニズムのモデル化を行う。降圧過程において液状水はニュートン流体の挙動をし、昇圧過程において、せん断応力が降伏値 τ_0 になるまで流動しないという非ニュートン流体の性質を液状水に付与させるという流体モデルを用いることで上記メカニズムが再現可能であると考え、図-2で示す液状水のせん断応力-せん断速度の関係性を本解析に用いることとする。

キーワード 透水, アウトプット法, 吸着, 非ニュートン流体

連絡先 〒153-0041 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6098 (内 58090)

この降伏値はすべての実験結果における感度解析によって妥当性が認められた $\tau_0=0.4(\text{N/m})$ を採用する。

さらに、水分子は壁面の物理的吸着の影響を受け、透水パス内における液状水のみかけの粘性が変化すると考えられる。佐藤¹⁾は、土粒子と水分子の吸着をモデル化しており、透水パスを円管と仮定した場合における断面内任意の位置における液状水の粘性 μ を以下の式で表されるものとした。

$$\mu/\mu_0 = 1 + C[\delta/(r_0 - r)]^2$$

ここに、 μ_0 ：理想状態における水の粘性、 δ ：吸着水層の厚さ、 μ ：通常の水の粘性、 C ：吸着強度に関する定数、 r_0 ：管の半径、 r ：管の中心からの距離である。本式を用いて、円断面内の平均的な粘性 μ_{am} を算出すると、以下の式が得られる。

$$\mu_{am} = \mu_0 \times \left\{ (r_0 - \delta)^2 + 2C\delta(r_0 - \delta) - 2C\delta^2 \ln[r_0/\delta] \right\}$$

また、解析を行うにあたり、本式において定めなければならないパラメータは δ 、 C である。 δ は吸着水層の厚さであり、吸着層の最大厚さである、水分子 5 個分、2nm と定める。また、 C については感度解析による検討により、 $C=200$ を採用することとする。図-3 に細孔径と粘性の関係を示す。細孔径が小さくなるほど壁面の吸着の影響が大きくなり、液状水の粘性が増加するという現象が本モデルによって再現されている。

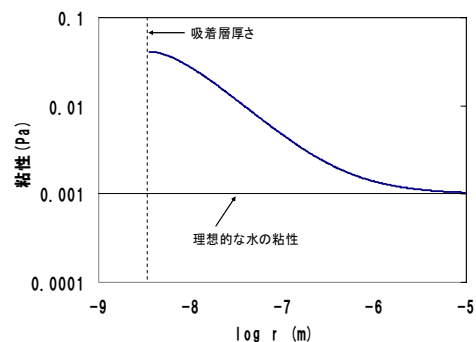


図-3 空隙径と粘性の関係

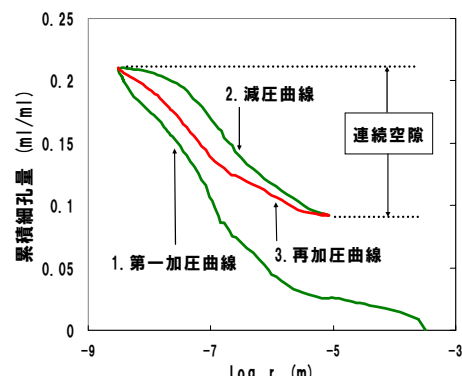


図-4 水銀圧入試験結果 (S65%)

最後に、本研究で仮定した空隙構造について説明する。解析対象となる供試体は、円断面の直管群で構成され、その群の構成は、水銀圧入式ポロシメータによって計測された連続空隙分布を用いることとした。図-4 に水銀圧入試験の結果を示す。水銀を圧入後、除圧、再加圧を行うと、ヒステリシスループが確認することができ、図中 3.の再加圧曲線部を連続空隙部とし、分布化したものを本解析に用いることとする。

以上のモデルを基に、表-1 に示す供試体を対象として解析を行った結果と透水試験結果を図-5 に示す。すべてのケースにおいて解析値は実験値を良好に再現しており、本解析が妥当であるものと考えられる。

4. まとめ

透水パス壁面における水分子の吸着作用を考慮してコンクリート中の微速透水現象のモデル化を行った。その結果、透水試験結果を良好に再現することが可能となった。

参考文献

- 1) 佐藤邦明:低レイノルズ数浸透流における吸着水の影響について:土木学会論文報告集, 第187号, pp67-77, 1971. 3

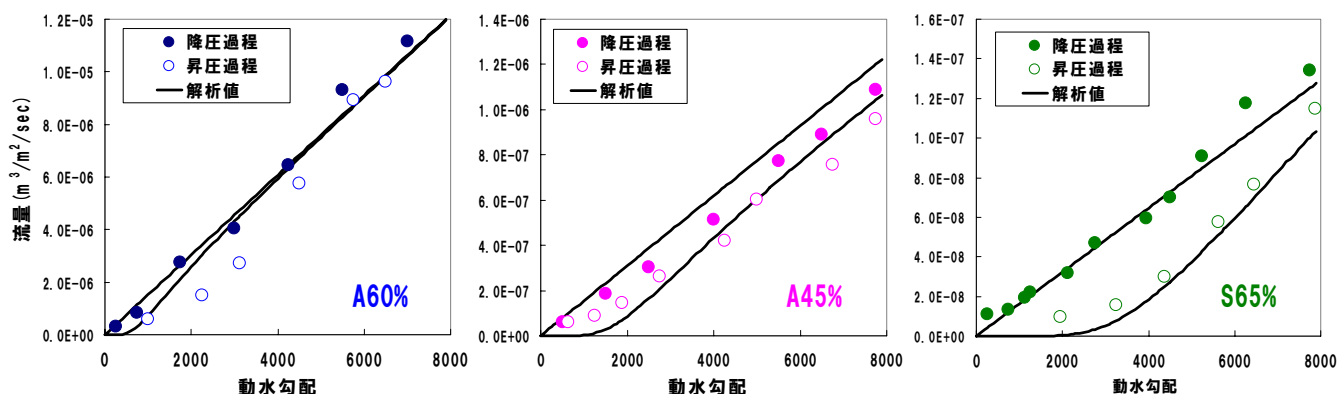


図-5 透水試験結果と解析結果