

審査の結果の要旨

氏名 岡崎 慎一郎

近年、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。コンクリートは、ベントナイトと共に、放射性廃棄物処分場の建設に必要な不可欠なものであるが、コンクリートには構造体としての耐久性を求めるものの、止水性などのバリア機能は期待されていない。これは、コンクリートにはひび割れが生じたり、溶脱により組織の溶解が生じたりする可能性があると考えられているためである。しかし、コンクリートにひび割れが生じたとしても、それが微細ひび割れ程度のものであれば、コンクリートは極めて止水性が高い材料であると考えられ、その本来の性能が正当に評価されていないことは設計の合理性の観点から検討の余地があると思われる。また、ひび割れを有しないコンクリート中の透水現象は、現状では透水係数とダルシー則により評価されるが、放射性廃棄物処分施設を模擬した大型試験体により確認された実験結果は、そのような一般的な解析方法が過度に保守的であることを示唆している。また、微小空隙中における液状水の粘性増加を再現しうる最先端の熱力学連成水分移動解析でさえも、大型供試体で確認された液状水の停止現象を再現するには至っていない。このような背景のもと、本論文では、コンクリート中の透水に対してダルシー則を適用し、見かけの透水係数を用いて評価を行う既往の一般的な透水モデルの限界と始動動水勾配の存在を指摘し、その支配メカニズムを明らかにすることを第一の目的とした。そして、アウトプット法での段階降圧・昇圧透水試験を行い、得られた知見をもとに、本現象のモデル化および不飽和透水現象の定式化を行い、大型供試体で確認された液状水の停止現象を解析的に再現することを目指したものである。

本研究では、まず気相の影響を排除した飽和透水試験によって液状水がコンクリート中の透水パス壁面から受ける摩擦機構について検討を行い、コンクリート中の微速透水現象における動水勾配依存性、ならびに始動動水勾配の存在についての検証を行った。その結果、静止摩擦的に作用する始動動水勾配ならびに動摩擦的に作用する停止動水勾配が存在している可能性を確認した。また、液体として、水と水酸化カルシウム溶液を用いた飽和透水実験の比較により、液状水はセメント硬化体壁面

の水酸化カルシウムならびに C-S-H の吸着作用の影響を受ける可能性があることを示唆した。

続いて飽和透水試験を対象とした微小空隙中の液状水移動モデルの構築を行った。微小空隙中の液状水の流動に必要な始動動水勾配、ならびに停止に十分な停止動水勾配を、非ニュートン流体で用いられる降伏値の概念を適用した。これにより単管の流路において始動動水勾配が存在する流れ場の再現に成功した。また、レオメータによる液状水の粘性挙動の測定によって狭小空隙における粘性の速度依存性ならびに空隙径依存性を確認するに至り、本現象を数学的に記述することによって工学的な定式化を行った。さらに、液状水の流路となる空隙構造は、水銀圧入法によって計測された連続空隙分布を採用し、これらのモデルを組み合わせることで、種々の養生を施したセメントペースト供試体ならびにコンクリート供試体の非ダルシー性と流量挙動を適切に表現した。

しかし、実験的にその存在が示唆された始動動水勾配、停止動水勾配はナノ-マイクロスケールの空隙における特性であり、実験的な再現は極めて困難であることから、分子動力学法を用いて、微小空隙における液状水が有する液状水の降伏値、ならびに粘性の速度依存性の存在の検証を試みている。C-S-H 壁面の代わりに、シリカとアルミニウムの化合物である白雲母のポテンシャル関数を用い、コンクリート中の微小空隙を模擬した空間における液状水挙動の観察を行い、始動動水勾配ならびに停止動水勾配の存在の確認を補完している。

続いて不飽和コンクリートを対象とし、気相の影響を考慮した水分移動解析を行い、原子力核廃棄物地下処分場を模擬した大型供試体による液状水の浸潤試験を再現した。大型供試体から採取したコンクリートコアを用いて透水実験を行い、感度解析によってパラメータを同定した上で不飽和水分移動解析計算を行ったところ、浸潤位置の精緻な再現に成功した。なお、放射性廃棄物処分場の実際の供用状態では、円筒状のコンクリート容器の内部空間は隙間の無い状態であることから、コンクリート中の乾燥空気の存在を考慮すれば、水蒸気の移動さえも抑制されることを明らかにし、コンクリートの高い遮蔽性能を検証した。

以上、本研究は、基礎研究の観点から種々の支配機構を定量的に明らかにした意義が大きく、実務における工学的な適用性も高く、かつ有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。