

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 米 山 一 幸

グラウト注入工法（薬液注入工法、懸濁液注入工法）は、地盤・岩盤の止水・補強を目的とする補助工として長い歴史をもち、現在でも、開削工事やシールドトンネルなどにおいて土質地盤の補強・止水を目的とする地盤注入工法や、山岳トンネル・ダムなどの工事で岩盤（硬岩・軟岩、割れ目系）の止水や緩み域の補強のために実施される岩盤注入工法として広く利用されている。

グラウト注入工法の設計・施工に関しては、現場技術者の経験に大きく依存し、過去の実績などにに基づき計画されることが多い。その理由としては、地山中のグラウトの浸透挙動と用いる材料、注入方法、注入流量、グラウト濃度などとの関係が十分に解析されていないことが指摘されている。一方で、施工の合理化による建設コストや環境負荷の低減や、情報化施工・CIMの普及にともなう施工データの高度管理などの観点から、グラウトの拡散範囲や改良効果を定量的に予測する手法のニーズが高まっている。高レベル放射性廃棄物処分施設や都市域での大断面シールドなどでグラウト注入効果の高度な管理が求められる事例も増えており、注入効果の定量的評価手法が今後より重要になることが予想される。

以上より、本論文ではグラウト注入工法における拡散範囲や改良効果などの予測評価の精度向上に資することを目的に、

①砂質地盤への溶液型グラウト（コロイダルシリカ）の注入

②岩盤亀裂への懸濁型グラウト（超微粒子セメント）の注入

について、グラウトの移行挙動のモデル化とこれを導入した数値解析手法が検討され、室内実験の再現解析により有効性を検証するとともに、実施工への適用性に関してケーススタディが実施されている。

具体的内容は以下の通りである。

(1) 溶液型グラウトの砂質地盤中の移行挙動を小型試験体を用いて実験した結果、ゲル化による粘度増加だけでは注入流量の低下を説明できないことがわかったため、本研究ではグラウト材のレオロジー特性の変化に着目し、高精度の回転式粘度計による測定結果より、ゲル化の進展にともなってグラウト材が非ニュートン的な挙動を示すことを示した。

(2) さらに、このレオロジー特性の経時変化をモデルに導入した浸透流解析プログラムを作成し、模擬砂層を用いた室内注入実験の再現解析より、グラウト材を擬塑性流体としてモデル化することにより解析による予測精度が向上することを明らかにした。

(3) 懸濁型グラウトの岩盤亀裂内の移行挙動について、平板スリットを用いた室内注入試験を行い、積算流量とグラウト材濃度の積（セメント粒子の流動数の積算値）により注入流量が線形に低下することが示された。そこで、セメント粒子の目詰まりによる流路の閉塞を想定し、深層ろ過理論の概念を適用することにより、セメント粒子の流動数に比例してスリット内への粒子滞流により浸透率が低下するモデルを提案した。これを定式化した浸透流解析プログラムを作成し解析した結果、注入試験結果を良好に再現できることが示された。また、以上のモデルをセメント粒子の微視的な挙動から検討するために、粒子の団粒化を考慮した粒子法（MPS法）による固液2相流解析プログラムを作成し注入試験の一部を対象としたモデル解析を行った結果、実測値と定性

的に同傾向の計算結果が示され、提案したモデルと整合することがわかった。

(4) 提案したモデルの現場への適用性を検討するため、統計的手法により仮想的に開口幅を設定した岩盤亀裂モデル、および、浸透率を設定した断層破碎帯モデルを作成し、懸濁型グラウト注入に関するケーススタディを実施した。検討の結果、グラウトが岩盤中を等方的に移行する場合と異方的に移行する場合で注入量の経時変化に差が生じることが示され、実施工における注入データ（注入量、注入圧）を分析することにより、グラウトの拡散範囲の均質性の評価や追加注入の可否を判断できる可能性が示された。

また、溶液型グラウト（特殊シリカ）を用いた砂質地盤への現場注入試験の再現解析を実施した結果、近接注入における先行注入の注入データへの影響などが解析でも再現性があり、実際のフィールドにおける適用可能性が示されている。

以上より、本研究で開発した技術のグラウト注入工事への適用性に関して基本的な見通しが得られたが、今後、設計・施工の支援ツールとして実用化していくためには止水メカニズムの定式化におけるパラメータの設定方法や、現場で十分な計測データが得られない場合の適用方法の検討などを通じて、実現場への適用性の検証が予定されている。

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。