

論文題名

不連続性岩盤のせん断－透水および 変形挙動の評価に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
李 博

論文内容の要旨

近年、放射性廃棄物の地層処分やエネルギーの地下貯蔵など深部地下空間の開発・利用が注目されている。地下空間の開発は、構成要素である岩盤の剛性、密閉性、耐久性、隔離性などの特徴を活用するものであり、これらの特徴により自然社会環境へ及ぼす影響を極力抑えることが重要である。一方で、地下は一度開発を行うと、元の状態に戻すことが困難になるという不可逆性を有しているため、その設計、施工および維持管理については、適切な対策を施す必要がある。これらの基礎的な情報として、力学、透水、熱特性などの岩盤の諸特性を正確に把握する必要があるが、これらの特性は、岩盤中に存在する不連続面に支配されるため、不連続面の力学特性、透水特性およびこれらの相関関係を見出すことはきわめて重要である。自然界における岩盤不連続面の挙動特性は、その表面ラフネスや開口幅、挟在物、せん断履歴、垂直応力など、多くの要素に影響されるため、これらをすべて含めた理論的検討や原位置試験は非常に困難であり、様々な条件が比較的自由に設定できる室内試験によって求めるべきものであると思われる。また、不連続面をもつ原位置岩盤の挙動は、岩石試験から予測される挙動とは大きく異なるので、岩盤を基礎とする構造物や地下空洞の建設を行う場合、不連続面を考慮した岩盤の力学特性の調査と評価がきわめて重要となる。本論文では室内試験、現位置試験および数値解析を通して、不連続性岩盤のせん断－透水同時特性および変形挙動を詳細に評価することを目的とする。

第1章では、不連続性岩盤の諸特性に関する研究の現状と課題について記述し、本研究の目的と構成を示した。

第2章では、岩石の強度、破壊・変形特性などの基礎となる力学的性質を述べるとともに、岩盤不連続面の力学－透水特性に関する基礎理論を記述し、岩盤構造物の建設に当たって基本的な調査・評価手法を述べた。

第3章では、まず、単一岩盤不連続面における剛性、表面粗さなどの特

性に関する定義や評価手法を記述した．そして、垂直応力一定条件 (CNL) のみならず、周辺地山や不連続面の表面ラフネスの変形・破壊に応じる垂直応力の変化をコンピュータにより自動的に制御できる垂直剛性一定 (CNS) 一面せん断試験装置とコンピュータ制御システムを用いて、CNL と CNS における人工模擬不連続面のせん断強度およびダイレーション挙動の比較実験を行い、岩盤不連続面の力学的特性の境界条件依存性を明らかにした．また、せん断前後の表面形状の変化を把握するために、レーザー変位計を用いた非接触表面形状計測システムを用いて、岩盤不連続面の表面損傷を正確に計測し、3次元フラクタルパラメータを用いて表面形状特性とせん断挙動との関係を明らかにした．

第4章では、4種類の異なる表面幾何学形状を有する岩盤不連続面の模擬供試体を用い、CNL と CNS 载荷条件下において、新たに開発したせん断ー透水可視化装置を用いて同時試験を実施した．また、新たに構築された可視化技術を活用して、せん断過程における不連続面内の流体の流れおよびせん断時におけるその変化を観察し画像解析により評価した．これらの実験結果より、せん断に伴う不連続面内の空隙分布や接触状態の変化およびそれらが不連続面の透水特性に与える影響を明らかにした．

第5章では、有限要素法により流れの支配方程式であるレイノルズ方程式を解き、4章で示したせん断ー透水試験の数値シミュレーションを行い、室内試験の結果と比較しよく一致した結果が得られ、単一不連続面内の流体の複雑かつ屈曲した流れ、さらには鉛直応力およびせん断変位作用下でのその変化を捉えることができた．

第6章では、岩盤内における亀裂の発生や進展過程を模擬できる拡張個別要素法を用いて、岩石の一軸圧縮試験及び現位置三軸圧縮試験をシミュレートし、試験結果と比較することにより、解析手法の有効性を検証することができた．また、同じ解析手法を用いて、原位置岩盤変形試験および原位置岩盤せん断試験のシミュレーションを行い、試験結果の妥当性を確認するとともに、原位置試験における岩盤の変形挙動のメカニズムを解明した．

第7章では、個別要素法を用いて、大規模地下空洞を対象として施工に伴い判明した不連続面を忠実に再現したモデルを作成し、ベンチカット掘削過程や支保の打設、変位計測など実現場の施工状況に近づけ、施工に伴う岩盤挙動を予測解析し、実現場の変形挙動と比較検討し空洞の安定性を評価した．また、拡張個別要素法により掘削に伴う空洞周辺岩盤における新たな亀裂の発生と進展をシミュレートし、新規亀裂による局所破壊が空洞周辺岩盤の変形・破壊挙動に与える影響を詳細に評価した．

第8章では、各章の成果を総括して結論とした．