

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 金子 岳夫

本論文は、高レベル放射性廃棄物処分施設を念頭に、大深度地下におけるトンネルの支保設計方法を提案するものである。

放射性廃棄物の地層処分における技術的な課題の一つとして、大深度地下におけるトンネルの支保設計が挙げられる。地層処分の対象となるのは、軟岩地盤の場合300～500m、硬岩地盤の場合1000m程度であり、このような大深度地下におけるトンネルについては、これまで施工実績がほとんど存在しない。そのため、既往の実績に基づいて支保仕様を決定し、等方弾性あるいは等方弾塑性を仮定した解析で支保の安全性を確認するという既存の支保設計手法を、そのまま大深度地下における支保設計手法として適用することの是非には検討が必要である。施工実績の無い条件下のトンネルに対して支保設計を行うためには、支保設計において支配的な現象を再現し得る解析手法を用いることが必要である。

高レベル放射性廃棄物処分事業は、事業を進めるための法律整備が行われ、事業主体が設立され、概要調査地区選定の段階を迎えようとしている。概要調査においては、地下施設の試設計が実施されることが想定されるが、現時点では設計法の整備は不十分であると言わざるを得ない。地点・地質が決まっていないために、地質条件に対する依存性の高い設計法を準備することができない、というのがよく言われる理由であるが、考える地質条件に対して必要となる設計手法を整備し、パラメトリックスタディを行うことが、将来に備えて現時点で行っておくべきことであると考えられる。本研究では硬岩地山と軟岩地山に対して、トンネル掘削時の地山の挙動を予測・再現し得る解析手法を開発し、想定される限界状態に対する設計手法を提案し、様々な地質・応力条件に対して試設計を行うことを目的としている。

第1章では、研究の背景、目的、現行の設計手法と問題点が述べられている。

第2章では、硬岩地山における設計法が提示されている。「硬岩中に含まれる不連続面が掘削時の応力解放に伴い変形（せん断すべり、開口）し、やがてトンネル全体の変状に至る状態」を限界状態として考え、応力解放に伴い不連続面がせん断すべり、開口を生じるといった硬岩の掘削時挙動を表現できる解析手法として、マイクロメカニクスに基づく連続体モデル（MBC モデル、Micromechanics-based Continuum モデル）を用いている。既存トンネルの掘削解析を行い、解析結果と実績を比較することにより岩盤の最大せん断ひずみの許容値を決定し、大深度地下におけるトンネルに対して適用可能な支保設計手法を提案している。さらに、提案した設計手法を用いて、大深度における地下構造物の試設計を行っている。トンネル深度と岩盤内の不連続面密度をパラメータとし、トンネルに必要と

なる支保厚が示されている。

第3章では、軟岩地山におけるトンネル支保設計法が提示されている。トンネルの周辺地山が破壊することなく、設計・施工が行われることが望ましいが、軟岩地山かつ大深度という条件ではトンネル壁面近傍における局所的なせん断破壊を許容する設計も必要になるものと考えられる。そこで、「掘削に伴う応力解放に伴い、トンネル周辺岩盤がせん断破壊し、破壊面の進展が生じてトンネルの安定性を損なうような変形に至る状態」を終局限界状態として考え、トンネル壁面近傍において局所的なせん断破壊を許容する設計について考察を行っている。まず、トンネル壁面近傍の岩盤がせん断破壊に至る深度と、支保厚の関係を整理した上で、せん断破壊後の岩盤挙動、破壊面の進展状況を明らかにするために、人工軟岩を用いて平面ひずみ状態でのトンネル模擬試験を実施している。トンネル周辺の岩盤挙動をマッピング法により観察し、得られたひずみ場から、楔形破壊領域の形成を設計で取り扱うべき終局限界状態と特定している。せん断破壊面の進展により楔形領域が形成される問題を考え、破壊面としてインターフェイス要素を使用した二次元有限要素解析を実施し、必要支保厚を算定する設計手法を提案している。

第4章では、二次元掘削解析の重要なパラメータである支保導入時の地圧解放率についての考察を行っている。設計では、二次元平面ひずみ解析を用いて行うが、その際使用する支保導入時の地圧解放率を三次元軸対称解析結果より求めている。従来の変位に基づく算定法ではなく、本論文で提案する支保発生応力に基づいて支保導入時の地圧解放率を算定すべきであることが示されている。また、支保にプレストレスを導入することにより、限界深度を大きくすることが示されている。

以上のように、本論文は、大深度トンネルに対する支保設計手法の提案と試設計を行い、軟岩地山、硬岩地山についての設計手法をとりまとめたものである。これは、高レベル放射性廃棄物の地層処分の地下施設設計の他にも、土被りの大きな山岳トンネル、あるいは都市部における大深度地下使用などの大深度地下構造物に対する設計に対しても適用可能な設計手法であり、重要な課題である高レベル放射性廃棄物処分事業の推進を支援するだけでなく、幅広い工学的意義が認められる。

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。