

論文題名

不連続性岩盤内大規模地下空洞の
掘削時変形挙動と安定性の評価に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
山下 裕 司

論文内容の要旨

ダム、原子力発電所などの岩盤上に設置される重要構造物、あるいは地下発電所など岩盤内に設置される大規模地下空洞といった岩盤構造物の建設にあたっては、施工時の安全性および経済性の確保、さらに完成後の設備の安全性および信頼性の観点から、亀裂が比較的少ない堅硬な岩盤を対象として、建設地点が選定されてきた。しかし、今後は種々の環境問題、立地上の制約および経済性の観点から、堅固な岩盤が広範囲に分布する理想的な建設地点を選定できなくなることが予想される。よって、これまでに経験のない条件、例えば、硬岩であっても層理、節理あるいは片理などの不連続面が卓越した岩盤、いわゆる不連続性岩盤での立地を余儀なくされる状況が考えられる。すなわち、不連続面による岩盤変形挙動と安定性への影響を的確に評価することが、地下空洞をはじめ岩盤構造物の設計・施工・管理を行う上で課題となっている。

大規模岩盤構造物の実設計においては、運用実績の面もあるが、解析作業時間の短縮や効率化などの観点から、不連続体解析手法よりも連続体解析手法を用いることが多い。しかし、不連続性岩盤を取り扱う場合、連続体解析手法は構造物の平均的挙動を把握できるが、局所的破壊や大変形挙動の把握には至らないという問題点がある。すなわち、空洞の掘削に伴う周辺岩盤の変形や破壊の大部分は、不連続面に沿うせん断破壊やダイレーションに起因することが多いと認識されていながらも、設計の現状は割れ目の挙動を等価的に取り扱っている連続体解析手法が主流であるという矛盾があった。

本論文では、不連続性岩盤内への大規模な構造物の建設を研究対象とし、不連続体解析手法である個別要素法を用いて、実現場に生じた特徴的な変形挙動のメカニズムを解明するとともに、岩盤構造物の合理的設計に必要なゆるみ領域を評価することを目的として、解析を実施した。その結果、個別要素法は、不連続面の開口分離およびせん断すべりによる岩盤の実現場における特徴的な変形挙動の表現が可能であり、不連続面の影響を評価できる解析手法であることを示した。また、亀裂の発生・進展を考慮できる拡張個別

要素法を用いて解析することにより，研究対象とする宮崎県の小丸川揚水発電所の地下空洞掘削の実計測データ（変位，ひずみ，弾性波速度）から得られるゆるみ領域を評価できること，今後の大規模地下空洞における支保設計に有効であることを明らかにした。

第 1 章では，不連続性岩盤内大規模岩盤構造物の力学的特性評価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，不連続性岩盤内に設置される大規模地下空洞の設計における現状について考察するとともに，今後の課題についてまとめた。

第 3 章では，大規模地下空洞の実現場での事例として，小丸川揚水発電所の地下空洞を対象とし，掘削時の特徴的挙動について整理した。実現場の地質，掘削および支保工，変位計測結果，BTV 観察における特徴についてまとめた。

第 4 章では，第 3 章で示した実現場への適用として，亀裂分布の均質化モデルを用いた解析手法に基づく大規模地下空洞掘削時の変形挙動の評価についてまとめた。掘削前に実施された有限要素法（FEM）解析とマイクロメカニクスによる連続体理論（MBC）解析の 2 種類の解析手法を実現場の空洞掘削時に適用した結果から，掘削時の岩盤挙動は，岩盤中に存在する不連続面の影響を受けることを明らかにした。

第 5 章では，第 4 章での解析手法ではモデル化が困難であった不連続面の幾何学的分布のモデル化が容易で，不連続面の力学的挙動を表現できる不連続体解析手法である個別要素法を大規模地下空洞掘削の実現場に適用した。その結果，個別要素法は，不連続面の流れ目，差し目構造に起因する実現場の特異な変形挙動を表現できることを実証した。さらに，解析結果から，不連続面の開口分離およびせん断すべりに起因する岩盤挙動メカニズムについて解明した。また，今後の予備設計や情報化施工管理において個別要素法を適用していく場合の留意点について提言した。

第 6 章では，個別要素法を大規模地下空洞掘削の情報化設計施工において支保設計と密接な関連があるゆるみ領域の評価に適用した。まず，不連続面分布特性のケーススタディ解析を，亀裂の発生・進展を考慮できる拡張個別要素法を用いて行い，不連続面の分布特性がゆるみ領域に及ぼす影響について解明した。つぎに，小丸川発電所地下空洞掘削の実計測データ（変位，ひずみ，弾性波速度）から整理されたゆるみ領域と，亀裂の発生・進展を考慮できる拡張個別要素法を実現場に適用した解析結果を比較検討することにより，本解析手法がゆるみ領域の評価および支保設計，すなわち空洞の安定性評価に有効であることを明らかにした。

第 7 章では，各章の成果を総括して結論とした。