

氏名	岩田 直樹
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工乙第 206 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 22 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	節理系を考慮した岩盤構造物の静的及び動的挙動に関する研究
論文審査委員	委員長 教授 川上 英二 委員 教授 岩下 和義 委員 准教授 山辺 正 委員 准教授 長田 昌彦

論文の内容の要旨

岩盤は基本的に不連続面のネットワークとそれに囲まれたインタクト・ロックで構成されており、岩盤の変形・強度などの物理特性は、不連続面の分布と挙動に著しい影響を受けることが古くから知られている。しかしながら、ダム・長大橋基礎・原子力発電所などの重要構造物の基礎地盤の挙動解析では、断層、破碎帯等の規模の大きな不連続面あるいは構造面を除き、普遍的かつ多数存在する節理などの不連続面は考慮されていない。一方、地下空洞掘削時の安定性評価においては不連続面を考慮した解析がなされているが、不連続面の強度・変形特性の非線形性、拘束圧依存性や寸法効果を考慮した事例は極めて少ない。また、特に地震の多い我が国で、地震時の岩盤挙動の評価において、岩盤の崩壊を模擬する場合を除くと、節理などの不連続面はほとんど考慮されず、弾性波探査や PS 検層の結果に基づき弾性体でモデル化し、解析されているのが現状である。

本研究は、岩盤構造や不連続面群を考慮した岩盤構造物の静的及び動的挙動を適正に評価するため岩盤の実態にできるだけ則したモデル化と新しい解析手法の開発を目的に、岩盤不連続面の変形特性の載荷・除荷時のヒステリシスモデルを提案するとともに、これを不連続面の分布、変形特性を考慮できる有限要素法による等価連続体解析の一種である複合降伏モデル（Multiple Yield Model, 以下 MYM と記す）に導入した。また、上記の解析手法を用いて、基礎岩盤の大規模掘削事例、大型構造物基礎岩盤の地震時挙動、および地震時による岩盤斜面崩壊のシミュレーションを行い、実測値との比較により解析手法の妥当性と静的及び動的挙動における岩盤不連続面評価の必要性を検証した。以下に各適用事例の概要を示す。

(1) 基礎岩盤の大規模掘削事例について

大型構造物構築のために深さ 20～30 m に及ぶ大規模鉛直掘削が施工された 2ヶ所のサイトを対象として、実測値と提案した MYM を用いた解析結果の比較を行った。解析にあたっては、地質調査・試験結果に基づく不連続面分布（傾斜角、間隔など）のモデル化方法や、不連続面の寸法効果を考慮して解析用物性値を設定した。この結果、不連続面の除荷時の非線形挙動を適切にモデル化することで、掘削壁面の変形モード、変形量を精度よく予測できることを示すと同時に、一般的に設計で用いられている弾性解析では実挙動を予測できないことを示した。

(2) 基礎地盤および岩盤斜面の地震時挙動について

大型構造物基礎岩盤で観測された2005年宮城県沖の地震と2011年東北地方太平洋沖地震の加速度波形を用いて提案したMYMで地震応答解析を行い、観測記録との比較により地震時挙動に対する不連続面の影響を調べた。その結果、一般に設計で用いられているPS検層結果に基づく弾性解析では、長周期側の応答を過小評価しており危険側の設計となっていることを示すと同時に、提案したMYMで不連続面を考慮すると観測波を精度良く再現できることを示した。また、不連続面のヒステリシスを考慮することで岩盤の残留変形量も算定することが可能となった。

次に、2004年新潟県中越地震で崩壊した岩盤斜面のシミュレーションでは、岩盤を弾性体とした解析では再現できない挙動を、不連続面分布を考慮することで崩壊時の岩盤の応力分布、崩壊範囲と崩壊時刻を概ね再現できることを示した。また、不連続変形法（DDA）との比較により崩壊形態を提案したMYMによっても評価できることを示した。

最後に、これらの解析研究を基に岩盤構造物の静的・動的挙動を評価するために提案した手法を体系的に整理し、実務に向けた提案を行うとともに、①今後に向けた手法の高度化と実務に適した合理化、②不連続面の動的試験装置の開発と試験法の確立、③不連続面の試験結果に基づく解析用物性値の設定方法、④不連続面の3次元的な分布を考慮したモデル化方法、⑤3次元解析手法などの実用化などへの課題を列記し、これらの解決に向けた取り組みの現状を整理した。

以 上

論文の審査結果の要旨

学位論文審査委員会は、平成 25 年 2 月 12 日に論文発表会を開催し、論文内容の発表に続いて質疑と論文内容の審査を行った。以下に審査結果を要約する。

岩盤は基本的に不連続面のネットワークとそれに囲まれたインタクト・ロックで構成されており、岩盤の変形・強度などの物理特性は、不連続面の分布と挙動に著しい影響を受けることが古くから知られている。しかしながら、ダム・長大橋基礎・原子力発電所などの重要構造物の基礎地盤の挙動解析では、断層、破碎帯等の規模の大きな不連続面あるいは構造面を除き、普遍的かつ多数存在する節理などの不連続面は考慮されていない。一方、地下空洞掘削時の安定性評価においては不連続面を考慮した解析がなされているが、不連続面の強度・変形特性の非線形性、拘束圧依存性や寸法効果を考慮した事例は極めて少ない。また、特に地震の多い我が国で、地震時の岩盤挙動の評価において、岩盤の崩壊を模擬する場合を除くと、節理などの不連続面はほとんど考慮されず、弾性波探査や PS 検層の結果に基づき弾性体でモデル化し、解析されているのが現状である。

本研究では、岩盤構造や不連続面群を考慮した岩盤構造物の静的及び動的挙動を適正に評価するため岩盤の実態にできるだけ則したモデル化と新しい解析手法の開発を目的に、岩盤不連続面の変形特性の載荷・除荷時のヒステリシスモデルを提案するとともに、これを不連続面の分布、変形特性を考慮できる有限要素法による等価連続体解析の一種である複合降伏モデル (Multiple Yield Model、以下 MYM と記す) に導入している。また、上記の解析手法を用いて、基礎岩盤の大規模掘削事例、大型構造物基礎岩盤の地震時挙動、および地震時による岩盤斜面崩壊のシミュレーションを行い、実測値との比較により解析手法の妥当性と静的及び動的挙動における岩盤不連続面評価の必要性を検証している。そして、以下の適用事例を示している。

(1) 基礎岩盤の大規模掘削事例について

大型構造物構築のために深さ 20～30 m に及ぶ大規模鉛直掘削が施工された 2ヶ所のサイトを対象として、実測値と提案した MYM を用いた解析結果の比較を行っている。解析にあたっては、地質調査・試験結果に基づく不連続面分布 (傾斜角、間隔など) のモデル化方法や、不連続面の寸法効果を考慮して解析用物性値を設定している。この結果、不連続面の除荷時の非線形挙動を適切にモデル化することで、掘削壁面の変形モード、変形量を精度よく予測できることを示すとともに、一般的に設計で用いられている弾性解析では実挙動を予測できないことを示している。

(2) 基礎地盤および岩盤斜面の地震時挙動について

大型構造物基礎岩盤で観測された 2005 年宮城県沖の地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震の加速度波形を用いて提案した MYM で地震応答解析を行い、観測記録との比較により地震時挙動に対する不連続面の影響を調べている。その結果、一般に設計で用いられている PS 検層結果に基づく弾性解析では、長周期側の応答を過小評価しており危険側の設計となっていることを示すとともに、提案した MYM で不連続面を考慮すると観測波を精度良く再現できることを示している。また、不連続面のヒステリシスを考慮することで岩盤の残留変形量も算定することを可能にしている。

次に、2004 年新潟県中越地震で崩壊した岩盤斜面のシミュレーションでは、岩盤を弾性体とした解析では再現できない挙動を、不連続面分布を考慮することで崩壊時の岩盤の応力分布、崩壊範囲と崩壊時刻を概ね再現できることを示している。また、不連続変形法 (DDA) との比較により崩壊形態を提案した MYM によっても評価できることを示している。

最後に、これらの解析研究を基に岩盤構造物の静的・動的挙動を評価するために提案した手法を体系的に整理し、実務に向けた提案を行うとともに、①今後に向けた手法の高度化と実務に適した合理化、②不連続面の動的試験装置の開発と試験法の確立、③不連続面の試験結果に基づく解析用物性値の設定方法、④不連続面の3次元的な分布を考慮したモデル化方法、⑤3次元解析手法などの実用化などへの課題を列記し、これらの解決に向けた取り組みの現状を整理している。

研究内容の公表状況に関しては、International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences への第一著者として2編の論文を含む Journal 論文3編の他、査読付きプロシーディングが12編ある。

以上のように、本論文では、節理系を考慮した岩盤構造物の静的及び動的挙動に関する研究を行い、有用な知見を得ている。よって、本学位論文審査委員会は、本論文を博士（工学）の学位論文として価値あるものと認め、合格と判定した。