

Ⅲ-B212

パラメトリックスタディによる大規模地下空洞掘削解析における節理物性の評価

東電設計 正会員 田坂嘉章 大森剛志 宇野晴彦
東京電力 正会員 工藤奎吾

1. はじめに

節理性岩盤における地下発電所空洞などの大規模地下空洞の掘削では、卓越する節理群の存在が岩盤挙動に大きく影響を及ぼすことがある。著者らは、このような節理群の影響を空洞掘削時の岩盤挙動予測解析において評価するため、節理の破壊を考慮したひずみ軟化FEM解析手法¹⁾を提案し、パラメトリックスタディにより同解析手法が実際の地下発電所空洞の掘削時岩盤挙動を概ね再現できることを確認している。この解析手法でモデル化している節理は、①構造物に影響を及ぼす程度の連続性を有し、その起伏はすべりによる開口変位が無視できる程度に非常に小さく、③挟在物がなく密着しているような理想化したものである。このような節理を対象として直接試験により物性値を設定することは困難であると考え、基本的には、地下発電所空洞掘削に先行して掘削される周辺坑の掘削時岩盤計測挙動に基づいて入力パラメータを同定する²⁾ことを想定している。しかし、初期の設計段階においては、何らかの方法により節理物性値を設定する必要があり、理想化した節理に見合った物性設定の方法を考える必要がある。そこで、本研究では、上記のパラメトリックスタディによる葛野川地下発電所空洞³⁾の掘削時に計測された岩盤変位を再現できる節理パラメータと、既往実施された節理に関する力学特性試験結果との比較を行い、試験結果から客観的に節理物性値を設定できるかどうかの可能性について検討を行った。

2. 節理のモデル化と節理パラメータ

提案した解析手法は、図-1に示す基質岩盤のひずみ軟化挙動と一方向に卓越する節理の破壊を考慮できることが特徴である。節理は、連続性の高い卓越節理を対象とし、破壊に至るまでの変形挙動の非線形性は、図-2に示す非線形パラメータ (a, b) と破壊余裕度 (R') を用いて表現している。解析に必要な節理パラメータは、幾何学特性（間隔 S 、方向 θ ）、強度特性（粘着力 C 、摩擦角 ϕ ）および下式に示すせん断ばね剛性 (k_s) に関するパラメータ (K', n', a, b) である。

$$k_s/k_{s0} = a \cdot (R')^b, \quad R' = 1 - l/L, \quad K_{s0} = K' \cdot (\sigma_n)^{n'} \quad \text{---- (1)}$$

ここで、 k_{s0} は節理の初期接線せん断ばね剛性、 σ_n は節理面に作用する垂直応力である。

3. パラメトリックスタディによる節理パラメータと節理の力学特性試験結果の比較

解析対象とした葛野川地下発電所空洞³⁾は、幅34m、高さ54m、長さ210mのたまご型の掘削断面形状であり、土被りが500mの地下に位置している。発電所周辺の地質は、泥岩を主体とした砂岩・泥岩の堆積岩であり、幾つかの卓越する節理群が存在する。図-3に解析で得られた岩盤変位分布を計測結果と比較して示す。解析値は、アーチ部において計測値を過大評価する傾向があるものの、概ね計測値を再現できているものと判断される。以下にこの掘削解析で得られた節理パラメータと節理の力学特性試験結果の比較を示す。

比較対象とした節理の力学特性試験は、幅7～8cm、長さ10cmの節理を対象とした鉛直上載圧一定下における室内一面せん断試験⁴⁾と原位置フリクション試験（ロックせん断試験におけるせん断ブロック（幅50cm、奥行き50cm、高さ20cm）をせん断面に戻し、再度せん断して岩盤の残留強度を評価するため試験⁵⁾）である。なお、フリクション試験結果は、ロックせん断試験において低角度の節理面沿いのすべりが生じた試験データを対象としている。

図-4、図-5は一面せん断試験およびフリクション試験で得られたせん断応力～せん断変位 $(\tau \sim u)$ 関係の一例である。同図には(1)式による近似も示しているが、

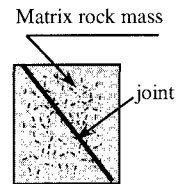
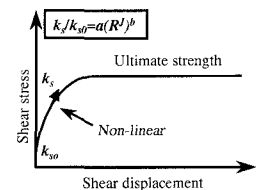
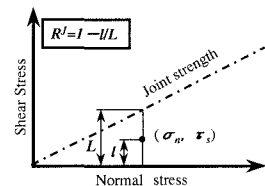


図-1 節理性岩盤



(1)せん断応力～せん断変位関係



(2)破壊条件と破壊余裕度

図-2 節理のモデル化

キーワード：大規模地下空洞、掘削解析、FEM、節理、入力パラメータ

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3 東電設計上野センター TEL03-5818-7796 FAX03-5818-7608

(1)式により試験結果を再現できることがわかる。図-6は一面せん断試験(lab. test)によるせん断強度とフリクション試験(in-situ test)によるフリクション強度の比較であり、フリクション強度は、節理面沿いの結果(●)とその他の結果(○)を区分して示した。同図中のFEMによる節理強度の同定値は、フリクション強度の下限值すなわち節理面沿いのフリクション試験結果に対応している。図-7は初期せん断バネ剛性 k_{s0} の拘束圧依存性の比較図であり、一面せん断試験の k_{s0} はフリクション試験結果の100倍程度のオーダーとなっている。同図中のFEMによる k_{s0} の同定値(K' , n')は、フリクション試験結果のオーダーに比較的近い値となっている。

図-8、図-9は各試験で得られたせん断剛性の非線形特性を表す $k_i/k_{s0} \sim R'$ 関係である。FEM解析による非線形パラメータ a, b の同定値はフリクション試験結果に対応している。

4. まとめ

本検討により、提案した解析手法における節理の力学特性を原位置のフリクション試験により設定できることが明らかになった。以下に節理物性の設定方法をまとめる。

①幾何学特性は、地質観察により卓越節理の間隔、方向を設定する。

②強度特性および変形特性は、低角度の節理面沿いのすべりが生じた原位置の岩盤せん断試験あるいはフリクション試験結果により設定する。この条件での試験結果が無い場合には、多数実施したフリクション試験結果において下限強度を示す試験結果に基づいて設定する。

参考文献

- 1) 田坂ら：節理の破壊を考慮したひずみ軟化解析手法による地下発電所空洞掘削の解析、第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.575-580、1998。
- 2) 日比野ら：トンネル掘削時の計測結果を用いたMBC解析における解析パラメータの同定方法、第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.63-67、1997。
- 3) 小山、南部、小松崎：地下500mの大規模空洞、東京電力葛野川地下発電所、トンネルと地下、第28巻1号、pp.37-45、1997。
- 4) 田坂ら：節理性岩盤の変形挙動解析手法と原位置岩盤への適用、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.416-420、1995。
- 5) 土木学会岩盤力学委員会編：原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針、一解説と設計への適用、p.211、土木学会、1983。
- 6) 大森ら：大規模地下空洞掘削解析における基質岩盤物性の設定方法の提案、第53回土木学会年次学術講演会、1998。

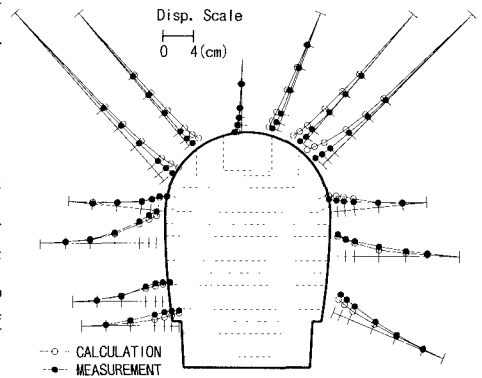


図-3 節理の破壊を考慮したひずみ軟化解析による岩盤変位分布(葛野川地点C断面³⁾)

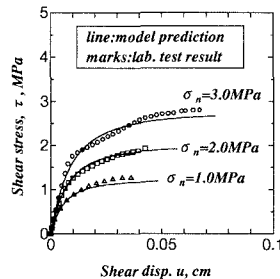


図-4 節理の一面せん断試験で得られた $\tau \sim u$ 関係

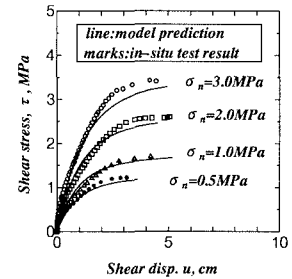


図-5 節理面沿いのフリクション試験で得られた $\tau \sim u$ 関係

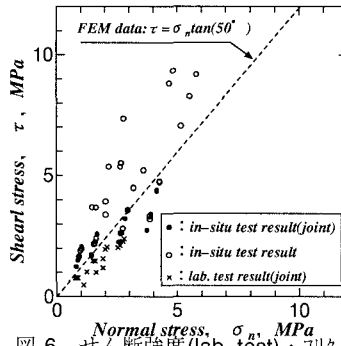


図-6 せん断強度(lab. test)・フリクション強度(in-situ test)の比較

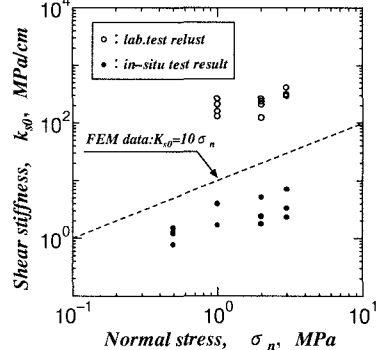


図-7 k_{s0} の拘束圧依存性

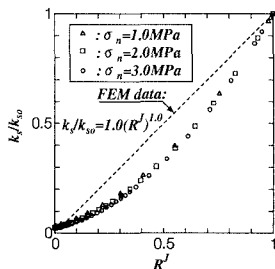


図-8 節理の一面せん断試験で得られた $k_i/k_{s0} \sim R'$ 関係

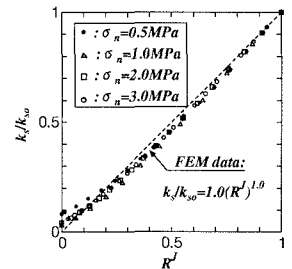


図-9 節理沿いのフリクション試験で得られた $k_i/k_{s0} \sim R'$ 関係