

Ⅲ-342 原位置調査結果に基づく不連続性岩盤のモデル化について

(株)大林組 正会員 ○木梨秀雄 永久和正
 同 上 白旗秀紀 玉野 達
 同 上 田中達也

1. はじめに

地下発電所などエネルギー関連施設をはじめとして、岩盤内地下空洞は近年大規模化・多様化する傾向にある。これらの地下空洞においては、施工時の周辺岩盤の安定性や経済性の確保が今後とも重要な課題となる。地下発電所などにおける計測結果を通じて、周辺岩盤の力学的挙動に節理や断層などの岩盤内のき裂が影響を及ぼすことが指摘されている¹⁾。筆者らは、地下実験場における各種の調査・試験結果を利用して、岩盤内のき裂の配置のモデル化や力学特性を検討した。また、坑道掘削時の力学的挙動を予測するため、不連続体解析手法の一つであるDEM（個別要素法）の適用を試みた²⁾。解析結果と原位置におけるき裂変位などの計測結果を比較したところ、両者はおおよそ一致することがわかった。しかしながら、解析に考慮するき裂の規模や、確率論的手法により推定するき裂配置の影響などの検討課題が残った。そこで本報では、き裂の規模を空洞の寸法程度とし、確率論的手法により10ケースのき裂配置の解析モデルを作成した。また、DEM解析を適用し、坑道掘削時の計測結果との比較を行った。

2. き裂の配置のモデル化

き裂の配置は、坑道壁面の観察およびボアホールテレビ調査の情報に基づいてモデル化する。壁面観察では、底盤から1.5mの位置にスキャンラインを設定し、これを横切るき裂の位置・方向・トレース長・幅を測定した。また、ボーリング孔をスキャンラインと考え、き裂の位置・方向・幅を把握した。これらの調査結果から、実在するき裂は解析モデルに直接取り込む。また、調査が至らない領域については、確率論的手法によりき裂の配置を推定する。個々のき裂は、大きさ・方向・密度により設定する。以下に、調査が至らない領域のき裂配置のモデル化の手順を述べる。

まず、き裂の位置を設定する。ここでは、き裂の中点を調査結果より得られた平均き裂間隔ごとに設定した。次に、3次元空間内でき裂が直径 r の円盤であり、直径 r の確率分布関数が負の指数分布に従うものと仮定した²⁾。坑道壁面におけるスキャンライン調査の結果から、き裂のトレース長 t とき裂の幅 w との関係について次式を得た²⁾。

$$\log w = \log(0.36) + 1.52 \cdot \log t \quad (1)$$

式(1)より、ボーリング孔内で観察されたき裂については、トレース長を推定することができる。ここでは、幅5mm以上のき裂を対象とした。この場合、き裂の平均トレース長は5.65m、平均間隔は3.64mであった。

次に、き裂の3次元的な方向は、走向・傾斜により記述した。ここでは、11本のボーリング孔のき裂の情報から、解析断面におけるき裂の方向の確率密度分布 $F(i)$ を求めた。そして、乱数を用いて確率密度分布 $F(i)$ に従う方向を各き裂に与えた。ここでは、異なる乱数系列を用いて、10ケースのき裂配置を作成した。これら10ケース



図-1 解析モデル例

表-1 き裂および岩盤の入力値

き 裂		岩 盤	
き裂の圧縮強度JCS ₀ (MPa)	37.8	変形係数 D (MPa)	10,300
粗さ係数JRC ₀	3.3	ポアソン比 ν	0.23
初期垂直剛性K _{ni} (MPa/mm)	10	密 度 (kg/m ³)	2,840
初期せん断剛性K _{si} (MPa/mm)	1.07	一軸圧縮強度 σ_c (MPa)	109.6
残留摩擦角 ϕ_r (deg.)	24.1		

それぞれに、実在するき裂を重合させることにより解析モデルを完成した。解析モデルの一例を図-1に示す。図-1の太線は、実在するき裂を示す。ただし、トレース長は式(1)より求めた。

表-2 入力する初期地圧

σ_{xx}	2.14 MPa
σ_{zz}	4.13 MPa
τ_{zx}	0.77 MPa

3. DEM解析の適用

解析に入力するき裂の力学特性は、簡易せん断試験・シュミットハンマー打撃測定などの結果に基づき、Barton&Bandisの力学挙動モデル³⁾により評価した。また、岩盤ブロックは弾性体とした。岩盤およびき裂に関する入力値を表-1に示す。初期地圧は、原位置における円錐孔底ひずみ法による測定結果を用いた（表-2参照）。解析は、初期地圧の負荷、坑道掘削の2ステップで実施した。

図-1に矢印で示したき裂の垂直・せん断変位、および内空変位について、解析結果と計測結果を比較したものが図-2である。図-2において、負の垂直変位はき裂が開くことを示す。また、ケースAはトレース長が坑道寸法の半分程度までのき裂を考慮した場合の解析結果²⁾である。図-2より、ケースAは内空変位が計測値より大きくなっている。一方、坑道の寸法と同程度までのき裂を考慮した場合（ケースB1～B10）は、計測値とよく一致していることがわかる。また、この10ケースの解析結果の差は小さく、確率論的に発生したき裂の影響が小さいことがわかる。

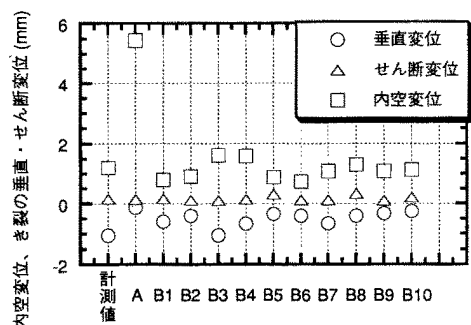


図-2 解析および計測結果の比較

4. まとめと今後の課題

本報では、原位置の調査結果に基づいたき裂配置のモデル化について検討した。その結果、き裂の規模を掘削する坑道の寸法程度とした場合、計測値をほぼ再現できた。しかし、より大規模な空洞に対し、解析で考慮すべきき裂の代表寸法を一般化するためには、適用事例を増やす必要がある。

施工中に岩盤の挙動を計測し、空洞の安定性を評価するためには、原位置調査や数値解析の結果を含めた総合的な検討が必要である。これらについて、今後は大規模空洞を対象として検討したい。

参考文献

- 1) 赤木他：不連続性岩盤の調査と試験・計測、第26回岩盤力学シンポジウム、パネルディスカッション、1994
- 2) 木梨他：原位置き裂調査に基づく岩盤内き裂分布の推定とDEM解析への応用、第26回岩盤力学シンポジウム、1995
- 3) Barton et al.: Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice, Rock Joints, 1990