

不連続性岩盤の解析モデルと実測による検証

鹿島建設 正会員 ○岩野 圭太, 森 孝之, 森川 誠司, 田部井 和人
 東京電力 正会員 森岡 宏之, 南 将行
 東京大学 正会員 堀井 秀之
 香川大学 正会員 吉田 秀典

1. はじめに

亀裂などを多く含む不連続性岩盤における空洞では周辺岩盤の挙動は不連続面の挙動に強く支配されるものと考えられる。例えば, 初期地圧状態から空洞掘削による応力の再配分によって岩盤自身の破壊や破壊に伴う亀裂の発生, また既存亀裂の開口やせん断すべりなどの挙動が考えられる。本論文では亀裂の開口挙動に注目し, 地下発電所空洞周辺岩盤を対象として, BTV(Borehole Television)による亀裂の開口挙動の実測を行った。さらに亀裂の開口現象を考慮可能な数値解析手法を用いたシミュレーション解析を適用し, 空洞周辺岩盤の亀裂開口挙動の特徴を考察した。



図-1 BTV 装置

2. 岩盤内の亀裂観察による亀裂の開口挙動

BTV(図-1)を用いて空洞掘削に伴う空洞周辺岩盤の亀裂の本数と開口量を計測した。計測位置は図-2 に示すように, 岩盤空洞の側壁部を対象として, 周辺トンネルからボーリングを行い, 計測孔を設けた。

空洞掘削前後で BTV による亀裂観察を行い, 空洞掘削により発生した亀裂の分布を図-3 に示した。空洞壁面近くの領域に多くの亀裂が発生しており, 特に, 空洞直近において顕著である。また, 岩盤変位計による岩盤変位量の計測結果と BTV 観察による亀裂の開口量の分布を比較した(図-4)。壁面近傍では岩盤変位のうち, 亀裂の開口の占める割合が主体(60~70%)

となることが分かった。ただし, BTV で判別可能な亀裂の開口幅は 0.25mm 以上である。このため, BTV で判別困難な微小亀裂の存在の可能性を勘案すると, 亀裂開口の占める割合はさらに高くなるものと考えられる。

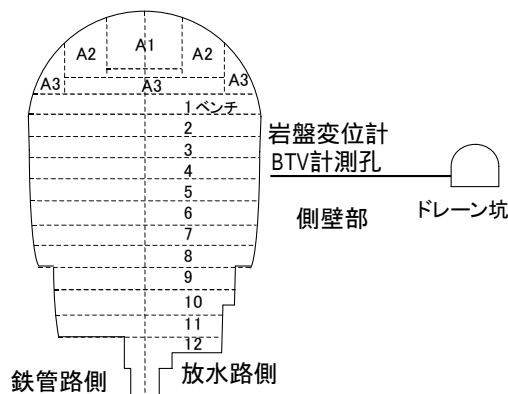


図-2 BTV 計測と岩盤変位計の計測位置図

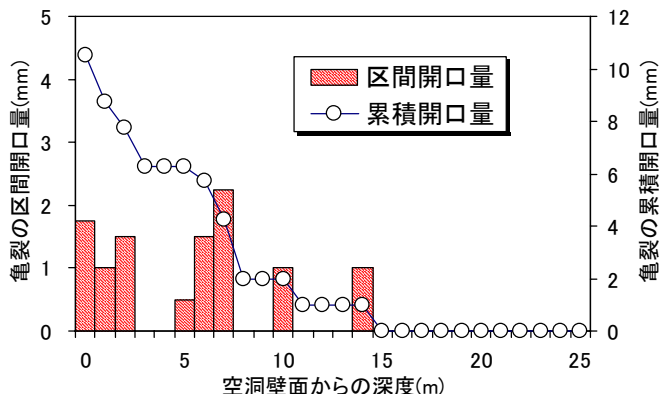


図-3 BTV 計測による亀裂開口量の深度分布

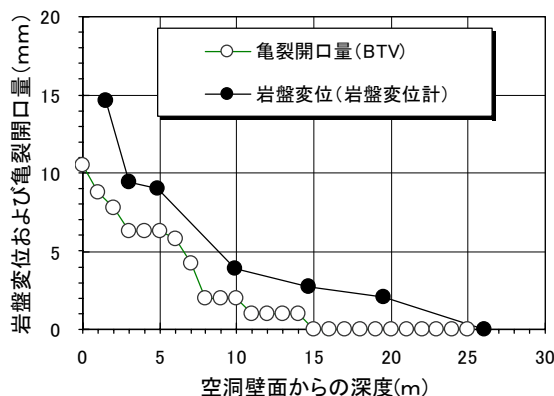


図-4 BTV 計測による亀裂開口量と岩盤変位量

キーワード BTV, 不連続性岩盤, 亀裂, MBC モデル, 等価連続体解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 岩野 圭太 TEL 0424-89-7081

表-1 解析に用いた物性値（MBC 解析）

岩盤	弾性係数(MPa)	2.250		
	ポアソン比	0.25		
亀裂	亀裂成分	亀裂1	亀裂2	亀裂3
	傾斜角度 $\theta (^{\circ})$	80	100	158
	有効寸法 $2a(m)$	1.23	1.03	0.98
	亀裂間隔 $d(m)$	0.60	0.72	0.75
	摩擦角 $\phi (^{\circ})$	30	30	30
	起伏角 $\alpha (^{\circ})$	10	10	10

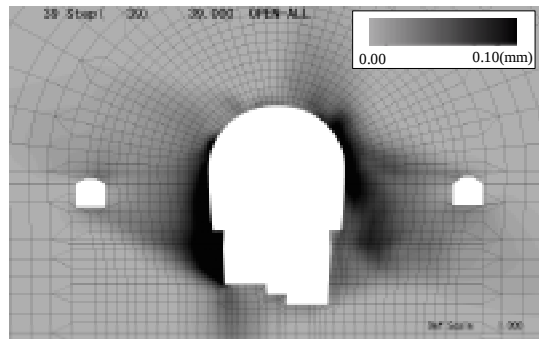


図-5 亀裂の開口量分布コンター図（MBC 解析）

3. MBCモデルによる数値シミュレーション解析

シミュレーション解析には、亀裂のせん断・開口挙動が考慮可能な MBC モデル（Micromechanics-Based Continuum Model）を用いた。MBC モデルは微視構造要素の存在あるいはその発生・成長に支配された材料に対する連続体理論である¹⁾。解析に用いた物性値を表-1に示す。解析で考慮した亀裂は3成分である。空洞掘削前の BTV 観察結果に基づき卓越性の高い3成分の亀裂群を抽出した。MBC モデルを適用した岩盤空洞の解析結果を図-5に示す。同図には亀裂の開口量の分布を示しており、空洞側壁部において亀裂が大きく開口していることがわかる。また、解析により得られたボーリング孔相当位置での岩盤の変位量と亀裂開口量を図-6に示す。MBC モデル解析では、岩盤自身の変形と亀裂開口により岩盤変位を表現できるが、壁面近傍では亀裂開口量は岩盤変位量の約50%を占めていることがわかる。

4. 実測と解析値の比較による亀裂の開口挙動の評価

岩盤変位量について、解析値と実測値(Extensometer)を比較し、図-7に示す。この結果、岩盤変位量の解析結果は実測値を表現できているといえる。次に亀裂開口量についての実測値と解析値の比較を行った(図-8)。BTV 計測結果によると、空洞壁面近傍では著しく亀裂が開口しているのが特徴であるが、解析結果はその傾向を概ね表現できている。ただし、壁面近傍では、解析結果は実測値を十分に表現できているとはいえない。実測値を精度良くシミュレートするための解析上の課題として、掘削による発破損傷領域の考慮、亀裂成分・地質の不均質性などの詳細なモデル化が挙げられる。

以上の実測と解析による検証より、硬質岩盤における空洞の掘削影響領域で認められる亀裂の開口現象は、この挙動は岩盤の応力変化や破壊により形成されるものであると考えられる。

5. おわりに

これまで、岩盤空洞掘削に伴う亀裂の開口挙動に注目した計測例は少ない。本論文では空洞周辺岩盤の亀裂開口現象について実測と解析の両面から検討を行い、掘削影響領域の形成について考察した。

参考文献 1)Yoshida,H. and Horii,H. :Micromechanics-based continuum model for a jointed rock mass and excavation analysis of a large-scale cavern, Int.Jour.of Rock Mech. & Min. Science, Vol.41,Issue1, pp.119-145,2004

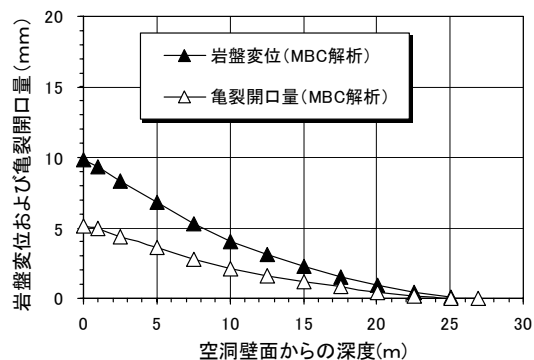


図-6 MBC 解析による亀裂開口量と岩盤変位量

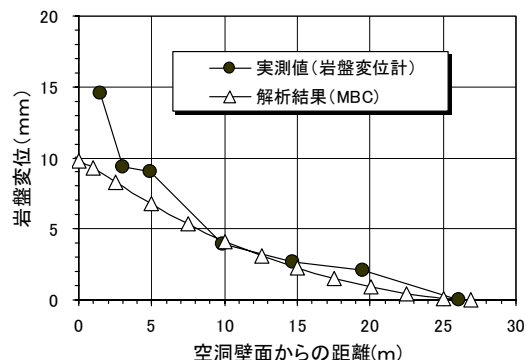


図-7 岩盤変位計結果と MBC 解析結果の比較（岩盤変位量）

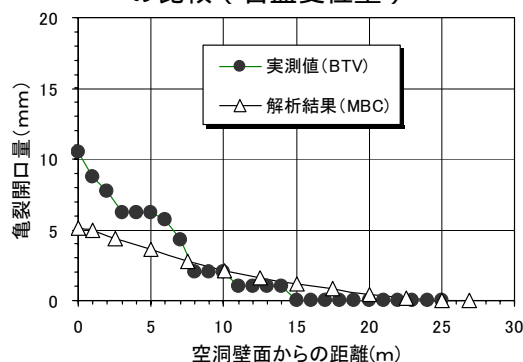


図-8 BTV 計測結果と MBC 解析結果の比較（亀裂開口量）