## 天然亀裂の強度変形特性に関する実験的検討

清水建設 止会員 ○ 岩林 )	<b></b>
清水建設 正会員 多田	浩幸
清水建設 正会員 西	琢郎
清水建設 正会員 中谷 🏾	篤史

### 1. はじめに

地下発電所やエネルギー備蓄施設などの大規模な岩盤空洞は硬質岩盤中に掘削される場合が多い.硬質岩盤 中には破砕帯や断層等の連続した大規模な亀裂から節理や層理などの中規模の亀裂まで多数含まれ,岩盤の強 度や変形特性は岩石基質の物性より,むしろ亀裂の力学特性や分布特性によって左右される場合が多い.その ため,空洞の安定性評価のために亀裂を考慮した様々な解析手法の適用が試みられている.これらの解析では 亀裂の方向性やせん断強度・せん断剛性・垂直剛性などの物性が非常に重要な入力定数となる.本報告では原 位置岩盤からボーリングによって天然亀裂を採取し,ラフネスと強度・変形特性を評価した結果を報告する.

### 2. 採取場所

天然亀裂を採取したのは前報告<sup>1,2)</sup>でケーブルボルトの引き抜き試験やボアホールカメラによる亀裂方向性の調査を実施した神岡鉱山栃洞鉱における-300m準(EL.550m)レベルにあるほぼ南北にのびる坑道内である. 坑道壁面スケッチを展開図にまとめた結果を図-1に示す.岩種は主に変成岩類である片麻岩と混成岩類であ る伊西岩からなり,これらにアプライト岩脈が陥入している岩盤状況である.岩級はB~CH級が主体で,一部 に CM級が存在する非常に良好な岩盤である.また,表-1に片麻岩と伊西岩の力学試験結果を示すが,両者と

も一軸圧縮強度が 176N/mm<sup>2</sup>以上,弾性係数が 60.4kN/mm<sup>2</sup>以上と堅硬な岩石である.

スケッチに示すように東西方向でほぼ鉛直の亀裂が卓越 している.この卓越亀裂を対象に図-1の黄枠で囲む片麻岩 のB級箇所で採取した.図-2に示すように坑道壁面にて亀 裂がコアの中央に位置するようにハンディタイプのボーリ ングマシンの角度を調整し,内径150mmで可能な限り長く削 孔した.2箇所から計3個の天然亀裂を採取した.

### 3. 亀裂のラフネス

採取した天然亀裂のラフネスを定量的に評価するために 亀裂表面の凹凸を 3 測線に沿ってレーザー変位計で測定し た. 試験体測線および測定結果例を図-3 に示す. 測定され た凹凸をコンパス法により円弧で区切って折れ線近似して 総延長を求め,変化させた半径と総延長の勾配からフラクタ ル次元を算出した. Barton ら<sup>3)</sup>の JRC (Joint Roughness Coefficient)の典型的な粗さ形状に基づき,著者らが提案 したフラクタル次元との相関関係<sup>4)</sup>から JRC を推定した.そ の例を図-4 に示す.また,3 個の試験体の凹凸の測定結果か ら求められたフラクタル次元と JRC を表-2 にまとめて示す が,3 個とも JRC は 14~18 であり,粗い亀裂と評価された.



図-1 試験実施坑道の岩盤状況

表-1 岩石の力学試験結果

力学特性	伊西岩	片麻岩
一軸圧縮強度:σc(N/mm <sup>2</sup> )	191	176
弾性係数:Es (kN/mm <sup>2</sup> )	60.4	64.3
ポアソン比: v	0.24	0.26
引張り強度:σt (N/mm <sup>2</sup> )	9.3	10.5



図-2 亀裂の採取状況

キーワード 天然亀裂, ラフネス, せん断試験, 垂直剛性, せん断剛性, せん断強度 連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 地下技術グループ TEL 03-3820-8396

# 4. 試験方法および結果

試験装置および変位計配置状況を図 -5 に示す. せん断試験には垂直・せん断 荷重ともに1MNの載荷能力を有する油圧 サーボ式の2軸載荷試験装置を用いた.

亀裂を採取した坑道は土被りが約 500m で初期地圧は14N/mm<sup>2</sup>程度と想定さ れることを踏まえ、 せん断試験の垂直応 力(σn)は2, 5, 10N/mm<sup>2</sup>とした. 試験体 採取時の乱れ(分離)の影響を最小限に するために所定の垂直応力まで載荷・除 荷を3回繰り返し、4回目の載荷後にせ ん断を行った.図-6 に一連の試験結果を 示す.1回目の載荷・除荷時を除く亀裂の 垂直変位は垂直応力 10N/mm<sup>2</sup>の場合が最 も小さく, 採取時の乱れの影響が少ない





結果と考えられる.この垂直変形の割線勾配から求めた垂直剛性は 67N/mm<sup>2</sup>/mm となった. また, せん断変形挙動の初期の立ち上がり部分 の勾配から求めたせん断剛性は3個とも概ね 60N/mm<sup>2</sup>/mm となった. せ ん断強度は垂直応力が 10N/mm<sup>2</sup>の場合が他に比べて相対的に大きくな っている. せん断強度( $\tau$ )と垂直応力( $\sigma$ n)の関係は図中に示すように 安全側に評価すれば  $\tau = 0.5 + \sigma n \tan 33^\circ$  となった.

### 5. おわりに

神岡鉱山栃洞鉱内で片麻岩の天然亀裂を採取し、ラフネスと強度・変

形特性を評価した.フラクタル次元から推定した JRC は 14~18 で粗い亀裂と評価された. せん断試験から垂直剛 性は 67N/mm<sup>2</sup>/mm, せん断剛性は 60N/mm<sup>2</sup>/mm, せん断強度 は $\tau = 0.5 + \sigma n \tan 33^\circ$ となった. 今後は前年度に実施し た引き抜き試験や亀裂方向性の調査結果と合わせ、不連 続性岩盤解析による空洞の安定性評価を行う予定である.



表-2 試験体のフラクタル次元と JRC



図-5 試験装置と変位計配置状況



#### 参考文献

1) 若林ら:原位置岩盤におけるケーブルボルトの付着特性に関する検討,土木学会第64回年次学術講演会,Ⅲ-211, 2009.9.

2) 西ら:硬質岩盤における亀裂方向性調査結果の分析,土木学会第64回年次学術講演会,Ⅲ-212,2009.9.

3)S.C. Bandis, A.C. Lumsden and N.R. Barton : Experimental studies of scale effects on the shear behaviour of rock joints, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, pp. 1~21, 1981.

4) 若林ら:岩石不連続面のフラクタル次元とせん断強度に関する実験的研究,第23回岩盤力学に関するシンポジウム, pp132-136, 1991.