

Ⅲ-B 48

ケーブルボルトによる岩盤き裂面のせん断補強試験

(株)大林組 正会員 丹生屋 純夫、木梨 秀雄
 フェロー会員 大内 一
 京都大学 フェロー会員 大西 有三

1. 目的

地下発電所等の大規模地下空洞を構築する際、き裂性岩盤の補強工法としてケーブルボルト工法が注目を集めつつある⁽¹⁾。本実験の大きな目的は、明確な諸条件（岩石物性、き裂特性、ボルト配置および物性）の下で室内実験を行ない、ケーブルボルトによるき裂面のせん断補強効果を把握することにある。

2. 試験体製作

高強度モルタルを用いて岩石模型を製作する。自然き裂面の起伏形状を再現するために、Bartonら⁽²⁾が提案したラフネ

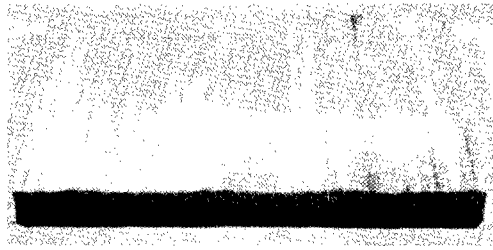


写真-1 アルミ製き裂鋳型

スパラメータJRCを用いた。

想定サイト周辺地域のき裂面せん断強度と上記JRCによるき裂形状（図-1）⁽²⁾—せん断強度の相関よりType3を抽出した。このType3の波形を2次元座標値でデジタルデータ化し、必要寸法に応じて繰り返すことにより、写真-1のようなアルミ製き裂鋳型を製作した。

今回の試験体に用いたセメントモルタル強度は、モデル岩石の一軸圧縮強度をもとに70MPaとした。また、試験体を使用したケーブル種類および配置は過去の施工実績をもとに約1/10の縮小スケールモデルとした。図-2に標準試験体を示す。また、実施した試験ケースを表-1に、使用材料と特性を表-2に示す。

3. 試験結果および考察

図-3に、補強工別のせん断応力（載荷荷重をき裂面積で除したもの）—せん断変位関係を示す。また、図-4はき裂面上の測定ひずみより補強材料のせん断負担成分を求め、これを全体から差し引いたき裂面せん断

表-1 試験ケース一覧

ケース	き裂面長	き裂面幅	き裂形状	補強材料	仕様	打設角度	緊張力	ボルト間隔	着目点
1	360mm	240mm	Type3	ケーブル ボルト	φ2.9mm 2本より	0°	0tf	180mm	打設角度
2						60°			
3						-60°			
4						30°			
5	280mm	180mm	Type1			60°	1.5tf	140mm	鋼材比
6	500mm	360mm				250mm			
7	360mm	180mm	Type5	P S アンカー		0°	1.5tf	180mm	補強方法
8			Type3			60°			
9						0°			
10						60°			
11				ロックボルト	D10		0tf		補強材料

注) ケーブルボルトの打設角度はき裂面に直交する方向を基準(0°)としている。

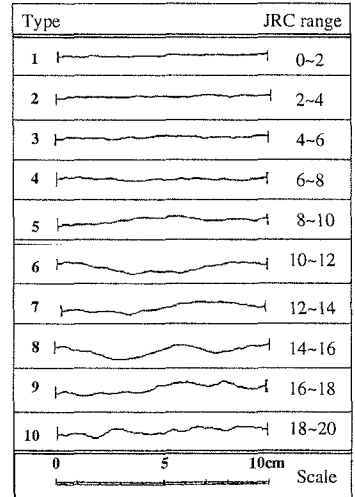


図-1 JRCに基づくき裂形状分類

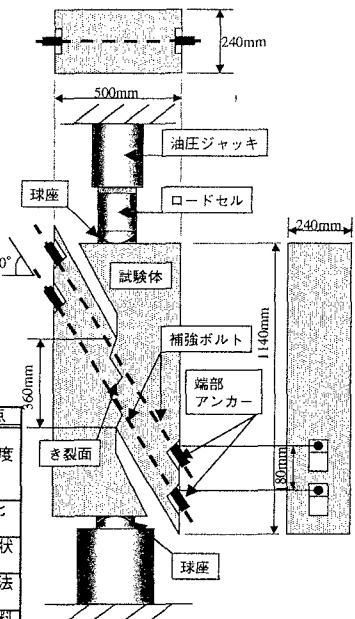


図-2 標準試験体概要図

キーワード: ケーブルボルト、せん断試験、き裂性岩盤

〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 Tel 0424-95-0918 Fax 0424-95-0903

負担成分である。図-5は同じく補強材料のき裂直交成分から算定したき裂面拘束応力である。

表-2 使用材料特性

試験体構成	仕様	特性	備考
岩質部	セメントモルタル (W/C=35%)	$f_c=7\text{MPa}$	
ケーブルボルト および P S アンカー	鋼線 $\phi 2.9\text{mm}$ (2本より)	$P_{sy}=26.8\text{kN}$ $P_{su}=28.0\text{kN}$ $A_s=0.1321\text{cm}^2$	
ロックボルト	異形鉄筋 (SD30 : D10)	$P_{sy}=25.3\text{kN}$ $P_{su}=33.5\text{kN}$ $A_s=0.7133\text{cm}^2$	ケーブルボルトと同程度の引張り荷重

る。ただし、ひずみ測定不能なケーブルボルトの場合における最大値は、事前に実施した引張り試験の最大荷重値を用いた。これらによると、降伏応力（開口変位開始で定義：図-3中→印）、最大応力ともにロックボルトが最も大きい値を示しているが、比較的小変位で破断している。付着性状が良く、小さな開口変位、せん断変位レベルで高応力が作用する結果となっている。ケーブルボルトは比較的低応力でせん断変位が生じるが、最大応力はP S アンカーと大差がない。なお、図-6に開口変位とせん断変位の関係を示す。比較的低応力でき裂起伏は破壊せず、順次乗り越えてせん断変位を生じるため、同様の関係となっている。

図-7は、ケーブルボルトの打設角度別に補強効果を比較したものである。60°に打設したものは圧縮応力が作用する側にケーブルボルトを設置しているのでその効果は見られない。また、0°（き裂直交方向）に打設した場合も30°、60°に打設したケースに比べると補強効果は小さい。

図-8は、き裂形状の違いによるせん断補強効果を比較したものである。図-1に示したき裂形状の分類のうちType3を挟んで、Type1 (JRC = 0 ~ 2) およびType5 (JRC = 8 ~ 10) を比較対象とした。起伏が大きいType5が強度、剛性とも大きくなっている。一方、Type1とType3に大きな相違は見られなかった。

4. まとめ

定着が十分確保されれば、強度上ケーブルボルトはP S アンカーに比し、同等のせん断効果を与える結果の一例を示した。今後、ケーブルボルトによるせん断補強効果をき裂面せん断特性およびボルト定着特性を考慮したモデルで解析評価し、その適用性を更に検討する。

（参考文献）(1) Barton, N. et al, predicted and Measured Performance of the 62m Span Norwegian Olympic Ice Hockey Cavern at Gjøvik, int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., Vol. 31, No. 6, pp. 617~641, 1994
(2) Barton, N., Choubey, V.; The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mechanics, Vol. 10, pp. 1~54, 1977

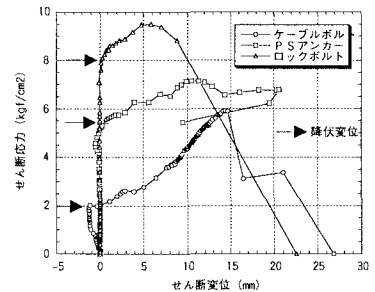


図-3 せん断応力-せん断変位関係（補強工別）

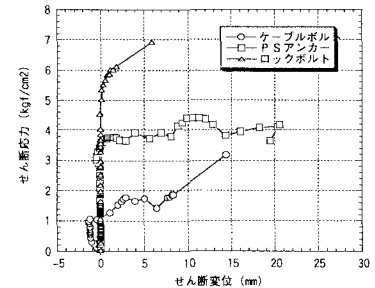


図-4 き裂面せん断負担応力-せん断変位関係（補強工別）

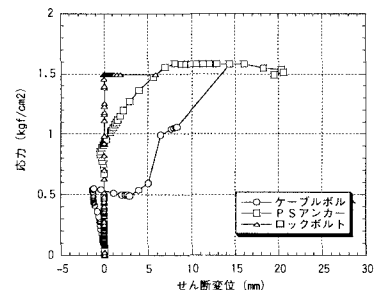


図-5 き裂面拘束負担応力-せん断変位関係（補強工別）

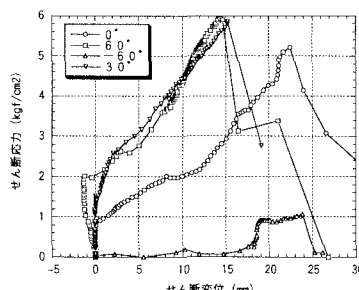


図-7 せん断応力-せん断変位関係（打設角度別）

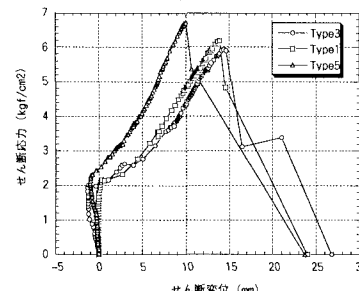


図-8 せん断応力-せん断変位関係（き裂形状別）

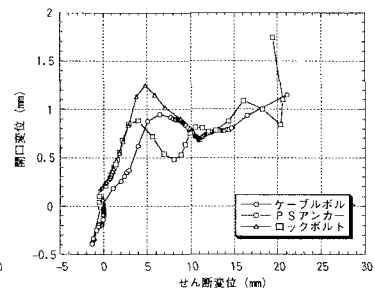


図-6 開口変位-せん断変位関係（補強工別）