

III - A 358

ロックボルト打設模擬岩盤不連続面のせん断試験によるEQRモデルの検証

関西電力 正会員○出野 尚，土井智史
 ニュージェック 正会員 打田靖夫，中村 真
 神戸大学工学部 正会員 櫻井春輔

1. まえがき

不連続性岩盤中にトンネルや地下空洞等を建設する場合、ロックボルト（以下、RBと略す）は有効な支保材である。しかし現状の岩盤補強設計では、RB補強効果の定量的な評価がほとんどなされておらず、実績に基づき岩盤等級に応じて支保パターンを設定したり、崩壊岩塊を想定した極限平衡解析によりRB打設の長さや間隔を決定することが多い、筆者らは、硬岩の除荷時の変形が内在する不連続面の挙動に支配されることに着目し、RB補強効果を不連続面の剛性の向上として定量的に評価するため、FEM解析（EQRモデル）による設計法を提案した¹⁾。

構築したモデルによる解析結果は、不連続面を有するモルタル供試体のボルト補強実験結果と良い整合を示した。

本検討では、実用RBを打設した模擬岩盤不連続面のせん断試験を実施し、EQRモデルによるRB補強効果の定量的評価法と、同モデルで仮定したRB変形区間長の妥当性について検証した。

2. 試験概要

供試体は、想定せん断面に水平な人工不連続面が介在することを模擬するため、あらかじめ打設した厚さ 50cm の底盤コンクリート、その上に縁切りして縦、横ともに 60cm、高さ 50cm のコンクリートブロックとした（図-1）。

表-1 は 4 個の供試体の試験条件で、RBによる不連続面のせん断剛性の向上度を比較するため初期載荷垂直応力を 2, 6 kgf/cm²、不連続面に対するRB打設角度を 40°, 90°のそれぞれ 2 パターン、計 4 ケースとした。

各供試体のせん断試験は、まず不連続面の変形特性と強度特性を把握するため、RBが無い状態で実施した。次にRB作用効果を評価するため、同供試体に地下空洞等で使用実績のある直径 25mm のRBを 1 ブロック当たり 2 本打設した後、せん断試験を実施した。またRBには、軸力分布を調べるためにゲージを貼付した。

3. 試験結果

図-2 は、No. 1 供試体のせん断応力～せん断変位曲線で、RB補強の有無による違いを示した例である。RBが無い場合には、せん断変位がほぼ 0.05mm を超えた時点から不連続面のせん断剛性が低下し、0.25mm 程度で破壊した。これに対してRBを打設した場合には、せん断応力は不連続面のせん断剛性が低下した時点以降にRBの剛性により増大し、RB降伏（せん断変位約 1 mm）後も 31.8kgf/cm² まで緩やかに増大してせん断変位 12.6mm で破断した。この結果は、RB作用効果によりせん断剛性、破壊強度とも増大したことを明瞭に表している。

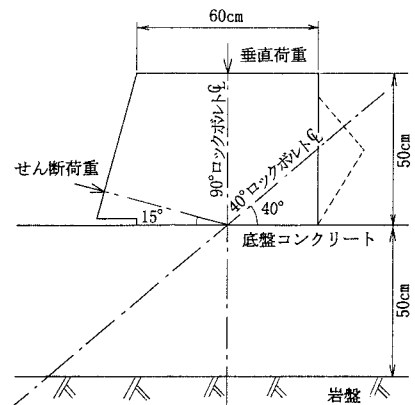


図-1 供試体概略図

表-1 試験条件

供試体	初期載荷垂直応力	RB打設角度
No. 1	2kgf/cm ²	40°
No. 2	6kgf/cm ²	
No. 3	2kgf/cm ²	90°
No. 4	6kgf/cm ²	

キーワード：不連続性岩盤、ロックボルト、支保効果、原位置試験、定量的評価

連絡先：〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19 ニュージェック技術開発部 Tel/Fax06-245-4901/06-251-2565

図-3は、破壊時のせん断応力と垂直応力の関係で、RB無し供試体の破壊強度を白抜きで、RB打設供試体の破壊強度を黒塗りのマークで示す。また、RB降伏時のせん断応力を薄墨色のマークで示す。RB無し供試体のせん断強度特性はせん断強度 $C = 4 \text{ kgf/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 43^\circ$ 程度である。これに対しRB打設供試体のせん断強度特性は、 $\phi = 43^\circ$ と仮定すると $C \approx 20 \text{ kgf/cm}^2$ となり、明らかなせん断強度の増大が認められる。RB打設角度の効果は、RB降伏時のせん断応力に明瞭に表れており、 90° の場合に比べて 40° の場合の方が大である。これはせん断時に、前者がRBのせん断、曲げで抵抗するのに対して、後者ではそれに加えてRBの引抜き抵抗が発揮されたものと推測される。しかし、破壊強度に対するRB打設角度の効果は明瞭には表れなかった。

4. EQRモデルの検証

EQRモデルの構成式では、RBを両端固定の梁として考え、RBによる補強効果を定式化している。ここでは、RB作用効果による不連続面のせん断剛性、RB変形区間長の妥当性について計算値と試験値を比較した。

表-2はせん断剛性の計算に用いたRBの物性値で、変形区間長を除いては試験用RBと同値である。RB補強した不連続面のせん断剛性の計算値 (Cal. K_s^*) は、EQRモデルの構成式を用いて算出した。これと比較するRB打設供試体の試験値は、RB無し供試体の剛性低下時相当変位におけるせん断剛性 (Meas. K_s^*) を対象とした。この変位における不連続面のせん断剛性はほぼ0に近く、RBの曲げモーメントの影響がほとんどない状態である。RB補強した不連続面のせん断剛性の計算値と試験値を比較した結果を、表-3に示す。RB打設供試体の試験値は、計算値の80%程度以上のせん断剛性を示しており、これからEQRモデル構成式の妥当性を検証できたものと考えられる。

RBを打設した各供試体のせん断試験後に、せん断面の観察を行った。この結果、注入材の破壊を伴いながら変形したRBの区間長はいずれも約6 cmで、EQRモデルを用いたFEM解析の仮定値とほぼ同等であった。これから、RBの変形区間長はRB直径の2倍程度とした現在の仮定の妥当性が、検証できたものと考えられる。

5. まとめ

本検討により、EQRモデルにおけるロックボルトの効果の定量的評価の妥当性が確認できた。今後は、ケーブルボルトやPSアンカー等の効果の定量的評価も目指す。

参考文献

- 1) 北條明・中村真・打田靖夫・櫻井春輔：不連続性岩盤におけるロックボルトの設計法について，土木学会論文集，No. 553，VI-33，pp. 143～153，1996。

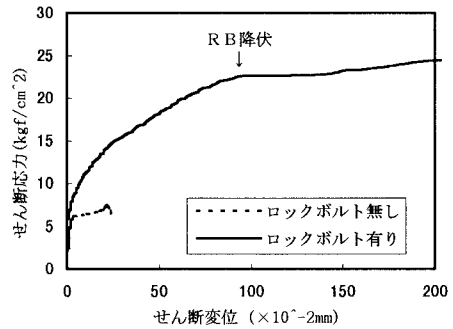


図-2 ロックボルト有無の比較 (No. 1)

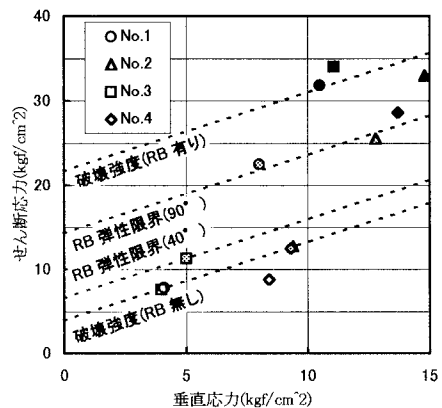


図-3 各試験における強度特性

表-2 ロックボルトの物性

弾性係数	$E_b = 2, 100, 000 \text{ kgf/cm}^2$
ポアソン比	$\nu_b = 0.3$
直径	$D_b = 2.5 \text{ cm}$
打設密度	$B_p = 1800 \text{ cm}^2/\text{本}$
変形区間長	$L_b = 5.0 \text{ cm}$

表-3 構成式との比較

供試体	Meas. K_s^* (kgf/cm^2)	Cal. K_s^* (kgf/cm^2)	Δ	%
No. 1	768	734	+34	105
No. 2	550		-184	75
No. 3	98	130	-32	75
No. 4	117		-13	90