

ケーブルボルトによる岩盤不連続面の補強効果のモデル化

ニュージェック 正会員○中村 真, 柿原 満
関西電力 正会員 袋井 肇, 土井智史

1. まえがき

ケーブルボルト(以下 CB と略す)は、鉱山等で不連続性岩盤の支保として多く用いられてきた。近年トンネル建設等の土木の分野でも、CB による不連続性岩盤の補強効果が注目されている。ところが CB 補強効果の定量的な評価がほとんどなされておらず、支保設計手法も確立されていない。そこで著者らは、CB 打設模擬岩盤不連続面のせん断試験を実施し、CB の補強効果を確認した¹⁾。

本検討では、ロックボルト(以下 RB と略す)の補強効果を不連続面の剛性の向上して定量的に評価できる EQR モデル²⁾と同様の考え方を用いて、CB の補強効果の定量的評価を試み、先の試験結果との比較により、モデル化の妥当性を検証した。

2. モデル化の概要

CB のモデル化は RB と同様に図-1 に示すような両端固定の梁として考える。RB では補強効果として引張による抵抗、せん断による抵抗、曲げモーメントによる抵抗を考慮していたが、CB には曲げモーメントによる抵抗は期待できないと考え、引張による抵抗とせん断による抵抗を考慮した。一般に CB にはせん断による抵抗も期待できないと言われているが、著者らが行った、CB 打設模擬岩盤不連続面のせん断試験結果より、90°で打設した場合でも十分補強効果が確認できたため、モデル化に取り込むこととした。

3. シミュレーションによる支保部材の違いによる補強効果の比較

モデル化した構成式において、RB と CB の効果を比較するために図-2 に示す直方体供試体モデルによる一軸圧縮試験のシミュレーションを実施した。直方体供試体モデルでは、異なる角度の単一不連続面にボルトを水平に打設すると考える。解析に用いる物性値は、両部材のモデル化の違い、すなわち曲げモーメントの考慮の有無を見るため、すべて同じとした。表-1 に示す物性値は、既往の実験結果を参考として決定している。

図-3 に不連続面の角度による軸応力～軸ひずみ関係の比較を示す。同図において支保無しの場合、不連続面の角度が 30°の場合と比較して 50°の場合の方が軸ひずみが 2 倍程度発生しているのがわかる。

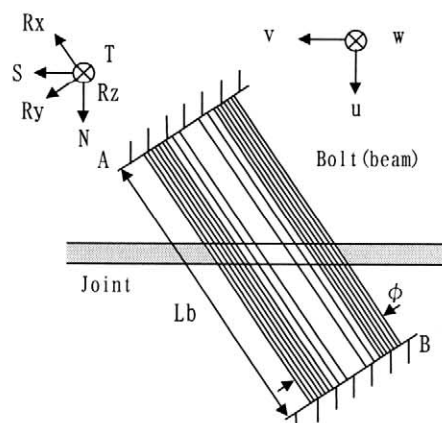


図-1 CB のモデル化

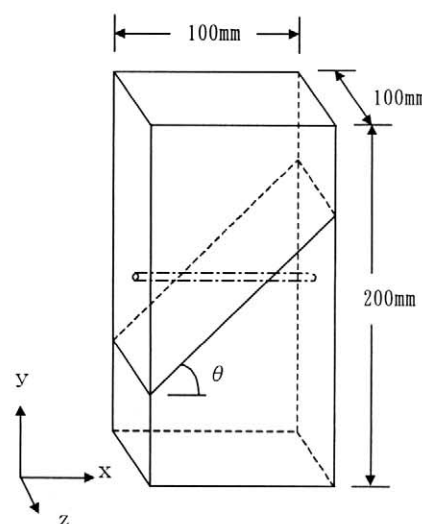


図-2 供試体モデル

表-1 使用した物性値

岩盤基質部	弾性係数 E_i	11GPa
	ポアソン比 ν_i	0.2
不連続面	せん断剛性 K_s	$K_s = 1500 \sigma_j \text{ GPa/m}$ (σ_j の単位:GPa)
	垂直剛性 K_n	500GPa/m
ボルト	弾性係数 E_b	21GPa
	ポアソン比 ν_b	0.3
	直径 D_b	0.3cm
	変形区間長 L_b	0.6cm

キーワード：不連続性岩盤、ケーブルボルト、支保効果、等価連続体解析

連絡先：〒542-0082 大阪府中央区島之内 1-20-19 ニュージェック Tel/Fax06-6245-4901/06-6251-2565

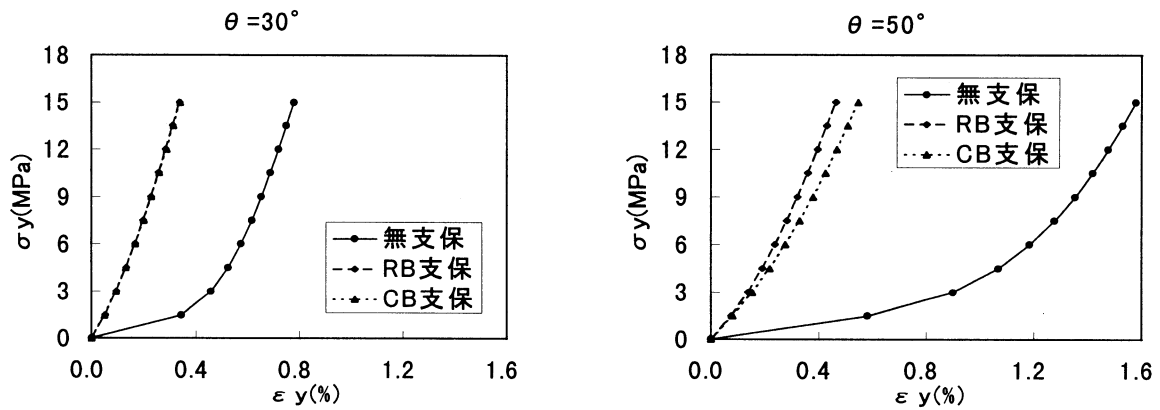


図-3 不連続面の角度による比較

支保がある場合、不連続面の角度が 30° ではボルトに作用する引張力が卓越するため、RB と CB の違いはほとんど見られない。一方、 50° では曲げモーメントによる抵抗の考慮がない分、CB 支保の方がひずみが大きくなっているのがわかる。

4. 試験結果との比較によるモデル化の妥当性の検証

CB 補強効果による不連続面のせん断剛性のモデル化の妥当性を検証するため、CB 打設模擬岩盤不連続面のせん断試験結果¹⁾と計算値の比較を行った。

表-2 はせん断剛性の計算に用いた CB の物性値と試験に用いた CB の諸元である。CB の変形区間長については試験後のせん断面を観察した結果、グラウト材の破壊を伴いながら変形した CB の長さが、いづれの打設角度の場合でも約 3cm であったので、直径の 2 倍の 3.0cm とした。CB で補強した不連続面のせん断剛性の計算値 (Cal. K_s^*) は、構成式から求めた。比較する試験値は CB 無し供試体の剛性が急に低下した時の変位におけるせん断剛性 (Meas. K_s^*) を対象とした (図-4 参照)。

CB 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。CB 打設供試体の試験値は、計算値の 3 割程度以上大きいせん断剛性を示している。試験値の方が若干大きくなったのは、実際の CB には曲げによる抵抗も多少はあるためだと考えられるが、詳細は今後検討していく。

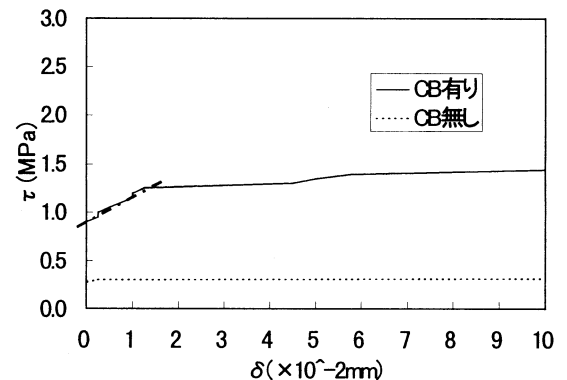


図-4 Meas. K_s^* の取り方 (CBS-1)

表-2 CB の物性値

弾性係数	$E_b=19\text{GPa}$
ポアソン比	$\nu_b=0.3$
直径	$D_b=1.5\text{cm}$
打設密度	$B_p=1800\text{cm}^2/\text{本}$
変形区間長	$L_b=3.0\text{cm}$

表-3 構成式との比較 (unit: GPa/m)

供試体 No.	打設角	Meas. K_s^*	Cal. K_s^*	Δ	%
CBS-1	40°	51.5	37.7	+13.8	137
CBS-2		57.4		+19.7	152
CBS-3	90°	18.4	14.1	+4.3	130
CBS-4		17.7		+3.6	126

5. まとめ

本検討で導出した CB 補強効果の構成式により、不連続面の剛性の向上を定量的に評価することができた。本手法を用いれば、大規模地下空洞等の RB と CB による支保効果を定量的に評価した設計が可能である。

参考文献

- 1) 土井智史・袋井肇・平川芳明, 中村真: ケーブルボルト打設模擬岩盤不連続面のせん断試験による補強効果の評価, 土木学会第 55 回年次学術講演会, III, 2000.
- 2) 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打設法について, 土木学会論文集, No. 553, VI-33, pp. 143~153, 1996.