

ロックボルトの作用効果に及ぼすクラウト材の影響について

京都大学工学部 正 員 島 昭治郎
 京都大学工学部 正 員 谷 本 親伯
 京都大学工学部 正 員 荻 谷 敬三
 五 洋 建 設 正 員 ○ 野 口 哲史

1. 実験の目的

地山にトンネルが掘削されると二軸圧縮状態になった
 周辺岩盤が塑性化し始め不安定になる。これにロックボ
 ルトを打設してやり再び三軸圧縮状態になるように地山
 を拘束してやれば強度の劣化を防げる。この「三軸拘束
 効果」は主に全面定着型ロックボルトに期待されるもの
 である。本研究ではこの効果に及ぼすクラウト材の物性
 の影響を分析するためにトンネル空洞近傍の地山要素をモデル化
 した供試体を用いた室内実験を行ったのびここに報告する。

2. 実験方法

- ① 供試体はセメント、砂 ($G_s = 2.57$, $F.M. = 2.06$), 水を用いて製作した。
 これに A.E. 剤を混ぜることにより強度を H シリーズ, S シリーズの
 2 段階に分類した。(配合比と強度は表 1 参照)
- ② クラウト材はセメント、水のみで配合し、A.E. 剤により強度を 6
 段階に操作した。(配合比と強度は表 1 参照)
- ③ ロックボルトは SD-35 の要形鉄筋を使用した。
- ④ 2 週間常温で養生した後完成した供試体を図 1 の装置にセットす
 る。トンネル方向ひずみに相等する E_z を出口に拘束す
 るため 2 枚の鋼板を供試体を挟み地山状態を再現す
 る。
- ⑤ 端面摩擦を減ずるため鋼板と供試体の間にシリコン
 オイルを塗布したテフロンシートとメニスカレンを敷く。
- ⑥ 圧縮試験機により供試体が破壊するまでひずみ制御
 方法 ($0.2\% / \text{min}$) にて x 軸方向に載荷する。

3. 三軸拘束効果の解析方法

ロックボルトにより y 軸方向 (トンネル内空断面の半径方向) が拘束されているため、
 塑性域における圧縮強度が向上すること既に、報告されている¹⁾。これを定量的に表現す
 るために σ_y をパラメータとした $\sigma_x \sim \sigma_z$ 曲線を σ_y 関数化した評価モデルを考えた。供試体
 が破壊するとき Mohr の応力円が破壊線に接する。このとき最大主応力 σ_1 と最小主応力 σ_3
 の間には幾何学的に次の関係が成立する。

	W/C (%)	S/C (%)	気泡剤 (%)	空気量 (%)	圧縮強度 Q_u ($\times 10 \text{ MPa}$)	弾性係数 E ($\times 10 \text{ MPa}$)
BLOCK	H 90	4	0	5	1.25	278
	S 90	4	0.4	20	0.29	46
GROUT	1 40	0	0	7	3.60	550
	2 40	0	0.25	18	2.25	496
	3 40	0	0.50	26	1.73	436
	4 40	0	1.00	32	1.49	323
	5 40	0	2.00	38	1.12	135
	6 40	0	3.00	56	0.35	52

表 1. 供試体及びクラウト材の配合と強度

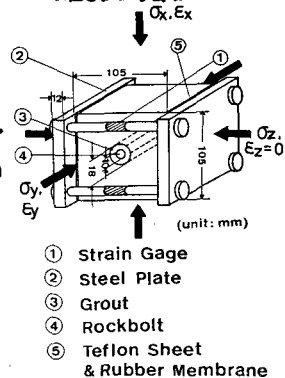


図 1 実験装置

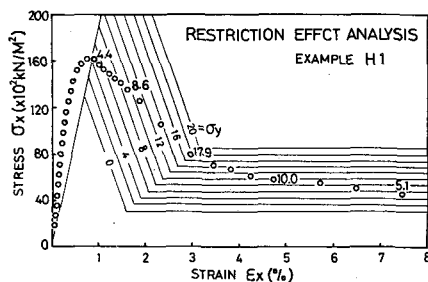


図 2 評価モデル及びプロット例 (H1)

$$\sigma_y = (\sigma_x - \frac{2 \cdot \cos \phi}{1 - \sin \phi} \cdot C) \frac{1 - \sin \phi}{1 + \cos \phi} \quad (1)$$

ロックボルトが打設されていない供試体では $\sigma_y = 0$ であるから(1)式より

$$C = \sigma_x \cdot \frac{(1 - \sin \phi)}{2 \cdot \cos \phi} \quad (2)$$

となる。試験終了後供試体に圧じた破壊すべりの角度から求めた内部摩擦角 ϕ を(2)式に代入すると粘着力 C が得られる。これらの定数を(1)式に代入すれば隆伏突における拘束効果すなわち σ_y の値は ϵ_x の関数として求まる。次にロックボルトなしの供試体の $\sigma_x \sim \epsilon_x$ 曲線のひずみ軟化域、塑性流動域を直線で近似する。これに(1)式の条件を与えて各拘束圧における $\sigma_x \sim \epsilon_x$ 曲線をパターン化して得られた評価モデルが図2である。図2にはH1(Hシリーズの隆伏アウト)のデータがプロットしてあり、これより拘束効果 σ_y が得られる。図3において●印が σ_y である。△印は(ロックボルトに発生した軸力/供試体断面積)を示したもので σ_y の値と部分的に一致している。

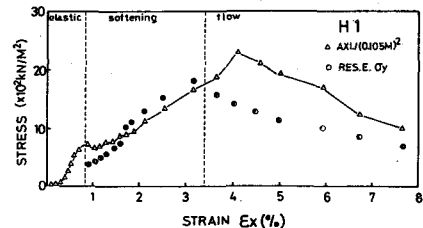


図3 H1の $\sigma_y \sim \epsilon_x$ 関係

4. 三軸拘束効果によるクラウト材の評価
以上の手順を経てHシリーズ、Sシリーズの全てについて $\sigma_y \sim \epsilon_x$ 曲線が求まる。クラウト材の供試体に対する適合度を分析するために両者の弾性係数の比 E_g/E_s を横軸に、 σ_y を縦軸にとって図4、図5に示した。例えばH1は $E_g/E_s = 550/278 = 1.98$ の値を持つ。(表1参照)なお主ひずみ $\epsilon_x = 1 \sim 3\%$ はひずみ軟化域を、 $\epsilon_x = 4 \sim 8\%$ は塑性流動域の状態である。

4. 三軸拘束効果によるクラウト材の評価

① Hシリーズについて： E_g/E_s の値が高いほど σ_y も高い。 E_g の値が高いとクラウト材の付着強度が高いためである。しかし $E_g \geq 2$ の場合については未定である。 $\epsilon_x = 3\%$ 前後にて σ_y はピークに達し、塑性流動域では次第に効果効果が失われてゆく。

② Sシリーズについて：ひずみ軟化域では $E_g/E_s = 9 \sim 10$ のクラウト材が、流動域では $E_g/E_s = 3 \sim 9$ のクラウト材が高い σ_y を示す。 E_g の高いクラウト材は変位が大きくなり過ぎるとそれに追従できず付着が切れスリップするためと考えられる。全周定着型ロックボルトはスリップにより効果が半減するためこれを考慮して地山の性質に応じたクラウト材を選べばより高い拘束効果が得られるだろう。現場において種々のクラウト材を用いたロックボルトの引張板主試験が適切なクラウト材の選択に指針を与えてくれるものとする。

③ Hシリーズについて： E_g/E_s の値が高いほど σ_y も高い。 E_g の値が高いとクラウト材の付着強度が高いためである。しかし $E_g \geq 2$ の場合については未定である。 $\epsilon_x = 3\%$ 前後にて σ_y はピークに達し、塑性流動域では次第に効果効果が失われてゆく。

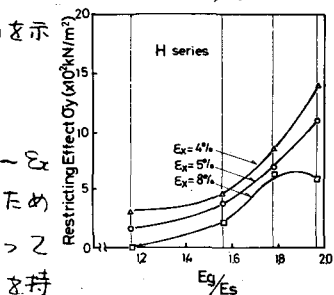
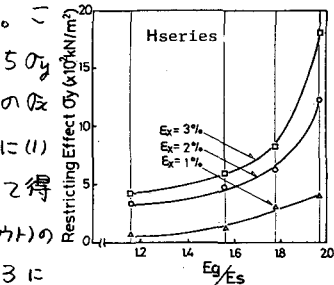


図4 $\sigma_y \sim E_g/E_s$ 関係(Hシリーズ)

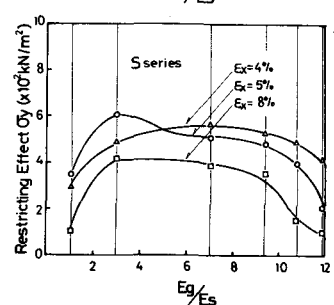
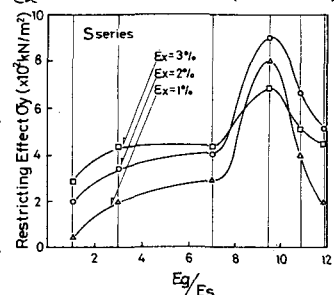


図5 $\sigma_y \sim E_g/E_s$ 関係(Sシリーズ)

1) 川崎宏「システムロックボルトの岩盤補強効果」第13回岩盤力学シンポジウム(1980)より。