

III-304 不連続面のせん断補強に供するロックボルトの変形特性

埼玉大学 正員 吉中 龍之進

(株)熊谷組 正員 清水 昭男 新井 元

(株)熊谷組 正員 加藤 恵三 ○蟻坂 俊英

1. はじめに

著者らは、節理性岩盤に対するロックボルトの補強効果・メカニズムを解明するため、一連のモデル実験と解析を通じて研究を進めている。ここでは、自然の粗さを持つ不連続面(A, B, C)の補強に供したボルトの変形状を調べ、ボルトの補強効果の推定方法について検討したので、その概要を報告する。

2. ボルトの変形

図1にボルトの変形模式図を示す。図中のパラメータに関し次の関係が成り立つ。

$$\tan \theta = U \cdot \sin \alpha / (L_0 + U \cdot \cos \alpha + v / \sin \alpha) \quad \text{-----(1)}$$

$$L = (L_0 \cdot \sin \alpha + v) / \sin (\alpha - \theta) \quad \text{-----(2)}$$

$$R = 0.5 \{ L - v / \sin (\alpha - \theta) \} / \tan (\theta / 2) \quad \text{-----(3)}$$

$$\Delta \ell = R \cdot \theta + v / \sin (\alpha - \theta) - (L + L_0) / 2 \quad \text{-----(4)}$$

ここで、Rは円弧の半径 $\Delta \ell$ は不連続面の中心線を境とした片側のボルトの伸びをあらわす。

ダイレイタンスー v は、せん断変位 U が与えられれば

(不連続面の粗さに応じて)推定できるので、 L_0 が U の関数で表せれば、ボルトの変形状が決定できる。実験終了後の供試体から取り出したボルトの変形状(L , θ)を測定し、 $U = L \cdot \sin \theta / \sin \alpha$ の関係から U を求め、 v を実験結果から決めれば(1)式より、ボルト破断時の L が求まる。このようにして求めた L と L_0 の関係を図2に示す。 L_0 の値に影響を与える要因として、ボルト敷設角 α 、母岩の一軸圧縮強度 σ_c 、ボルト端部拘束の有無、ダイレイタンスー等があり、 L_0 が極端に小さいのは端部拘束のない場合である。

実験結果の概要を報告した文献1)で、 L が σ_c に反比例するような傾向のあることを示したが、図2のように L と L_0 に強い正の相関があるので、 L_0 も σ_c と反比例に近い関係にあるものと推定される。そこで L_0 から σ_c の影響を取り除くため $L'_0 = L_0 \cdot \sigma_c / 500$ を求め、 L'_0 と $U \sin \alpha$ の関係を端部拘束のない場合を除いて、図3に示した。この図からこれらの点を連ねる近似式として、次式を仮定した。

$$L_0 = 500 / \sigma_c \times \sqrt{(U \sin \alpha - 1.05 D)^2 + (0.8 - 0.43 \sin^2 \alpha)^2 D^2} \quad \text{-----(5)}$$

また、端部拘束のない場合として、次式を仮定した。

$$L_0 = 500 / \sigma_c \times \sqrt{(U \sin \alpha - D \sigma_c / 550)^2 + (0.48 - 0.258 \sin^2 \alpha)^2 D^2} \quad \text{-----(6)}$$

ここに D はボルトの直径をあらわす。

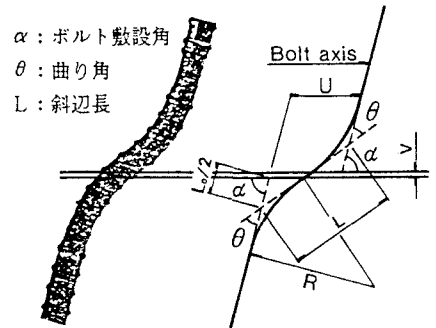


図1 ボルトの変形模式図

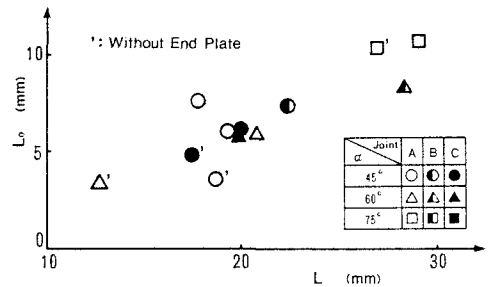


図2 L_0 と L の関係

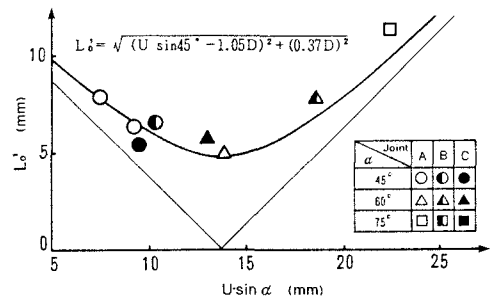


図3 L_0 と $U \sin \alpha$ の関係

(5), (6)式の L 。を用いて(1),

(2)式より L , θ を計算し、これらと実測値との関係を図4に示す。 θ のバラツキがやや目立つが、計算値と実測値が比較的良好一致している。

3. ボルト破断時のひずみ

L , θ より(3), (4)式を用いて求めた $\Delta\ell$ を適当な長さの次元を持った量 X で割れば破断時のボルト軸ひずみが得られる。大きなひずみは曲り部付近に集中し、ダイレイタンスも $\Delta\ell$ に影響することから X として L と $v' = v/\sin(\alpha - \theta)$ の一次結合を考え、軸ひずみの値を0.25~0.3の間でバラツキの少ないように試行錯誤した結果、次式を選定した。

$$\left. \begin{aligned} X &= 0.75L + 1.65v' \\ \beta &= \Delta\ell / X \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

β と θ との関係を実測値と(5), (6)式に基づく計算値について図5に示す。

4. セン断応力～セン断変位曲線 ($\tau \sim u$ 曲線)

セン断の過程における L 。の値が(5), (6)式で表され、ボルト軸ひずみが(7)式で表されると仮定すれば、ボルトの軸力効果が求まる。ボルトの応力～ひずみ曲線、ダウエル効果とも文献2)と同じとして求めたセン断応力～セン断変位曲線と、実験値との比較の一例を図6に示す。不連続面自身のセン断応力～セン断変位曲線（載荷版の摩擦に寄因するセン断応力も含む）は、同図に示したように仮定し、また L 。が一定とした場合の計算による曲線も併記した。

載荷初期の $\tau \sim u$ 曲線の傾き（初期剛性）は不連続面のかみ合わせに影響されるので、初期剛性では判定しにくい。が、 $\tau \sim u$ 曲線のピークの位置から考えると、 L 。を一定とするモデル（文献2）より(5), (6)式により L 。を変化させるモデルの方が実験結果をよりよくシミュレートできるものと考えられる。

参考文献

- 1) 吉中、清水、新井、加藤、蟻坂：実験的な岩盤不連続面のロックボルト補強、第20回土木学会岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、P224～228, 1988.
- 2) 吉中、清水、新井、加藤、蟻坂：岩盤不連続面のセン断に対するロックボルトの補強効果、第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、P431～436, 1987.

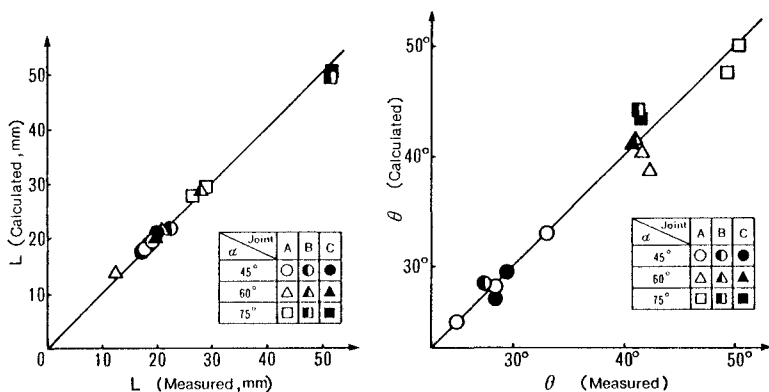


図4 L と θ についての計算値と実測値の比較

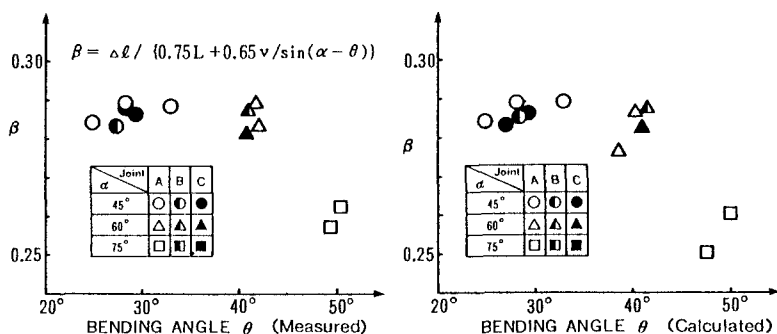


図5 β と θ の関係（計算値および実測値）

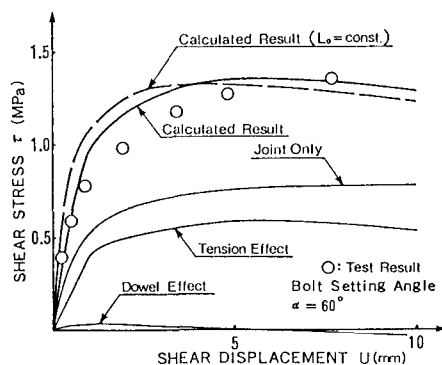


図6 計算値と実測値の比較 ($\tau \sim u$ 曲線)