

III-182

岩盤不連続面のせん断に対するロックボルトの補強メカニズムについて

埼玉大学 正員 吉中 龍之進 腰塚 憲一

(株)熊谷組 正員 清水 昭男 ○新井 元

(株)熊谷組 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して研究を進めている。ここでは、定着端部拘束の大きいボルト補強岩盤モデルにおけるボルト補強メカニズムについて検討したので、その概要を報告する。

2. ボルトの変形モデルと応力～ひずみ関係

定着端部拘束の大きいボルト補強岩盤モデルにおいては、ボルトの変形は曲り深さ一定として近似することができる（実験については文献1参照）。折れ曲りを仮定した文献（文献2）もあるが、ここでは事実により忠実に図-1のような円弧状の曲りを考える。このように仮定すると任意のせん断変位 U に対応する斜辺長 L 、曲り角 θ 、伸び量 ΔL を幾何学的に算定することができる。初期斜辺長に実験の平均的な値を用い計算値と実測値を比較すれば図-2、図-3のようになり、このモデルでボルトの変形をほぼ模擬できる。

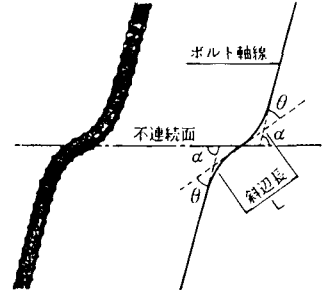


図-1 ボルトの変形模式図

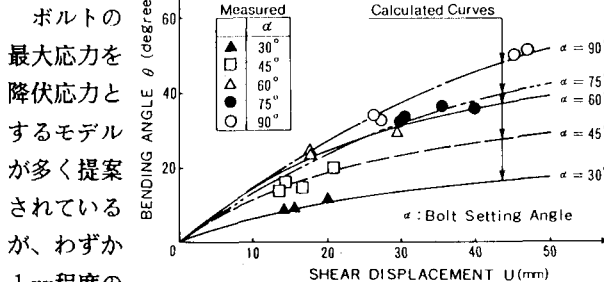


図-2 曲り角～せん断変位関係

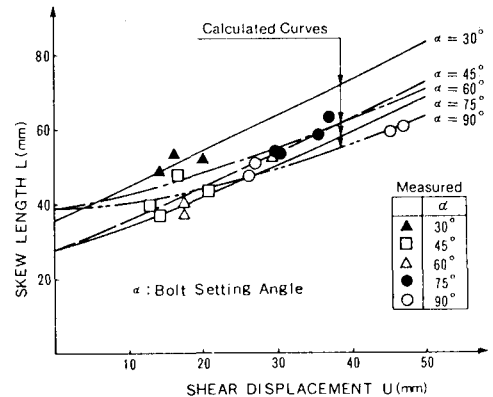


図-3 斜辺長～せん断変位関係

ボルトの最大応力を降伏応力とするモデルが多く提案されているが、わずか1mm程度のせん断変位で曲げ引張のいずれかにおいて弾性範囲を超えている実験事実を考慮して、図-4のようにボルトの引張試験結果に似せ、ひずみ硬化を考慮したボルトの応力変位関係を仮定する。この関係は曲げひずみにまで適用可能なものとし、曲げ圧縮についても同形状（異符号）の曲線を仮定する。ボルト敷設角 α が大きいとき、不連続面との交角 $\alpha - \theta$ が最適角に近く、ボルトが破断しているにも拘わらず、供試体のせん断強度が相対的に小さい実験結果を考慮し、ボルトの最大応力 σ_t を曲り角 θ を用いて、 $\cos \theta$ (0.8を下限値とする) を乗じ低減させる。

曲り中心点は杭の横抵抗理論における最大曲げモーメント点と比較すると、ボルト敷設角 $\alpha = 45^\circ, 60^\circ$ ではやや浅く $\alpha = 30^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ ではやや深めになっている。ボルトの曲り形成時には変位も大きく、不連続面付

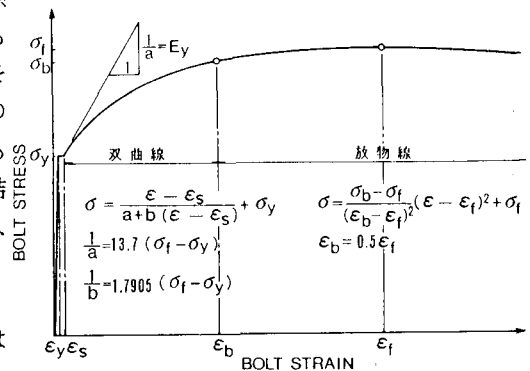


図-4 ボルトの応力～ひずみ関係

近のボルト周辺のもルタルは塑性化しているため、支圧反力はもルタルの極限支持力によって決まる。極限支持力はもルタル強度やボルト敷設角(ボルト前面の不連続面の傾き、ボルトの発生軸力による不連続面の拘束)に依存し、初期斜辺長が支圧反力を主体とする力とモーメントのバランスで決定されることから、極限支持力が初期斜辺長に大きな影響を与えているものと考えられる。

3. 曲り部の断面力の傾向

曲り部の断面力を図-5における φ の関数として表現するため、モーメントの釣り合いとボルトの剛性を無視し、支圧反力と付着力を一定として力の釣り合い方程式を立てると、 N を軸力、 S をせん断力として

$$\frac{dN}{d\varphi} + S(\varphi) = k_1 r, \quad \frac{dS}{d\varphi} + N(\varphi) = k_2 r, \quad (1) \text{ これを解いて}$$

$$N(\varphi) = C_1 e^{\varphi} + C_2 e^{-\varphi} + k_2 r, \quad S(\varphi) = -C_1 e^{\varphi} + C_2 e^{-\varphi} + k_1 r, \quad (2)$$

$\varphi = 0$ で $N(\varphi) = N_0$, $S(\varphi) = S_0$ とすると

$$C_1 = \{N_0 - S_0 + (k_1 - k_2)r\} / 2, \quad C_2 = \{N_0 + S_0 - (k_1 + k_2)r\} / 2, \quad (3)$$

この式を用いると、 φ の変化により、 N , S とも直線に近い変化を示し、また曲り角が大きくなると不連続面でのせん断力が小さくなることわかる。

4. ボルト軸力とモデルのせん断応力

不連続面でのボルトの軸ひずみをボルトの伸び量から推定する。ボルト補強岩盤のせん断ではボルトが引張により降伏した場合の付着特性が重要であるが、それについてはあまり知られておらず、実測でもひずみゲージが切れるため必要な情報は得られない。曲り部に支圧による摩擦があり、不連続面が押し合っているため付着の劣化は引抜試験に比べて少ないと考えられる。そこで、付着特性としてボルトの弾性範囲内では正の傾きを持った直線的付着応力分布を、ボルト降伏部では一定の付着応力を、曲り部ではより大きな一定の付着応力を仮定する。さらに不連続面付近のボルト軸ひずみが図-4の ε_0 をこえた部分では直線的なひずみ分布を仮定する(図-6参照)。ボルト軸ひずみと曲り部の曲率から図-4の関係をj用いてボルト軸力 N が求まる。ボルトの軸力効果 τ_B^N は不連続面の面積 A と摩擦角 ϕ を用いて、 $\tau_B^N = N \{ \cos(\alpha - \theta) + \tan \phi \cdot \sin(\alpha - \theta) \} / A$ (4)で求められる。 τ_B^N に(2)式等から推定されるダウエル効果 τ_B^S 、不連続面やテフロン等の摩擦応力を加えてボルト補強モデルのせん断応力～せん断変位曲線を書き実験値と比較すると図-7、図-8のようになる。付着特性等の仮定にまだ再考の余地はあるが、この手法でボルトの補強効果をはば表現できると考えられる。

参考文献

- 1) 吉中、腰塚、清水、新井、蟻坂：岩盤不連続面に対するロックボルトの最適敷設角に関する実験的研究，第19回土木学会岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，P481～485，1987。
- 2) P.M.Dight, The Theoretical Behaviour of Full Contact Bolts Subject to Shear and Tension, Proc. of Int. Symp. on the role of Rock Mech., Mexico, P290～297, 1985.

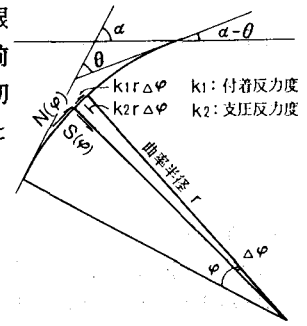


図-5 曲り部の断面力

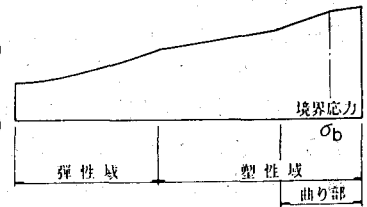


図-6 ボルト軸線の応力分布

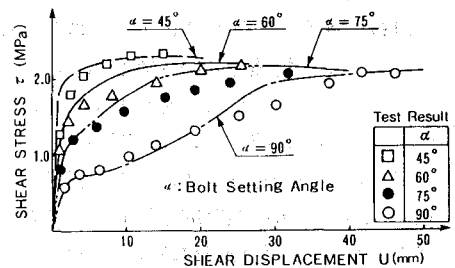


図-7 計算値と実測値の比較
($\alpha = 45^\circ \sim 90^\circ$)

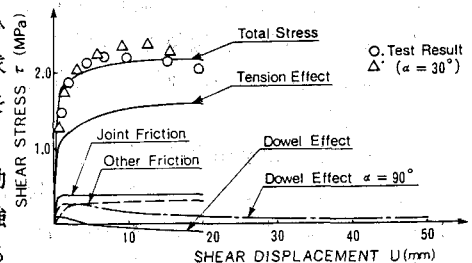


図-8 計算値と実測値の比較 ($\alpha = 30^\circ$)