

III-260

鉄筋により補強された岩盤ジョイントのRBSMによるモデル化について

明星大学 正員 竹内則雄

東京理科大学 正員 川井忠彦

1.はじめに

節理、層理系の岩盤や断層を含む斜面の補強対策として鉄筋を利用したロックボルト工法などがよく利用されている。砂地盤の場合、補強のメカニズムの1つとして、鉄筋の効果をせん断抵抗に置き換え、簡便的に見掛けの粘着力を増加させる方法がある⁽¹⁾。この方法は簡単ではあるが、鉄筋の打設による剛性の変化が取り入れられておらず、また、引張力に対する取り扱いがまったくなされていないという問題点もある。

一方、別な方法として、強度定数を操作せず補強材の伸び抵抗によつて地山が安定化するという考え方がある⁽²⁾。Jewellら⁽³⁾は、この考え方で補強材の引張効果と土のせん断強度の増分の関係を求めている。有限要素法やRBSMなどの数値解析では、梁(トラス)要素を用いて後者に対するモデル化を行っている。しかし、斜面に多数打設されたロックボルトを考慮して要素分割を行うことは面倒であり、特にRBSMのようにすべり面が要素分割に左右されるモデルではその傾向が顕著になる。

著者らは、同じように鉄筋で補強された構造である鉄筋コンクリート構造に対し、異方性板による鉄筋のモデル化を提案した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。このモデルでは付着効果が十分期待できるものとして鉄筋の軸剛性をすべて考慮し、せん断剛性についてはダウエル効果を取り入れている。この方法によれば、近似的ではあるが、鉄筋の剛性や補強材の伸び抵抗を考慮することができ、しかも、要素分割にさほど注意をはらわなくてもすむ。

しかし、地盤に対する鉄筋の補強では、たとえ岩盤系の地盤であったとしても、鉄筋コンクリートほど付着効果を期待するには無理があるように思われる。そこで、鉄筋の軸剛性に対し有効係数を導入し、RBSMに対する構成式の誘導を試みた。本報告では、そのモデル化と簡単なシミュレーションによる本モデルの特徴について述べる。

2.異方性板による補強材のモデル化

補強材をモデル化する場合、補強材を梁要素に置換する方法と、等価な直交異方性板とする方法が考えられる。本報告では、図1に示すよう、後者の方法に従いモデル化を行う。このとき、鉄筋軸に沿った座標系

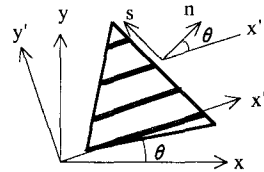


図1 異方性板による補強材のモデル化

(x'-y')における鉄筋の応力-ひずみ関係は一軸状態を仮定し次の式で与えられるものとする。

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{x'} \\ \tau_{x'y'} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha E & 0 \\ 0 & \beta E \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{x'} \\ \gamma_{x'y'} \end{Bmatrix}$$

ここで、Eは鉄筋の弾性係数であり、 α は鉄筋の付着効果を考慮した軸剛性に対する有効係数を表している。また、 β は鉄筋コンクリートでいうところのダウエル効果を表す係数であり、鉄筋コンクリートの場合、 $\beta = 0.01 \sim 0.005$ 程度の値をとる⁽⁴⁾。地盤の補強に用いられる鉄筋の量は、鉄筋コンクリートに比べ少ないため、この値はさらに小さくなるものと思われる。

RBSMでは要素境界辺に沿った局所座標系により剛性行列を誘導している。したがって、ここで仮定した補強材の応力-ひずみ関係も次のように局所座標系に変換しておく必要がある。

$$\begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_s \end{Bmatrix} = E \cos^2 \theta \times \begin{pmatrix} \alpha \cos^2 \theta + \beta \sin^2 \theta & (\beta - \alpha) \cos \theta \sin \theta \\ (\beta - \alpha) \cos \theta \sin \theta & \alpha \sin^2 \theta + \beta \cos^2 \theta \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_n \\ \gamma_s \end{Bmatrix}$$

ここで、 θ は図1に示すよう、局所座標系と鉄筋軸に沿った座標系の間の角度である。

このようにして得られた補強材の応力-ひずみ関係と地盤の応力-ひずみ関係を必要ばね毎に重ね合わせ、ばね剛性行列を作成すれば、異方性板としての補強材を考慮した全体剛性行列を得ることができる。

3. 数値計算例

図2は計算に用いたモデルが示されている。

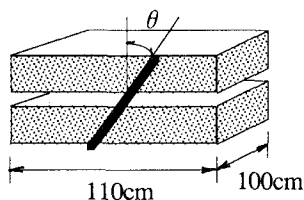


図2 解析に用いたモデル

補強材としての鉄筋にはSD30-D25($A=5.067\text{cm}^2$)を1本用いた。地盤定数は $E=25000\text{kgf/cm}^2$ 、 $\nu=0.3$ としジョイント面以外は破壊しないものとする。また、ジョイント面における強度定数は $C=0.5\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ とした。要素分割は横方向11分割とし、中央の要素に異方性板としての鉄筋を考慮した。

図3は横軸に鉄筋の角度、縦軸に耐荷力を取り計算結果をプロットしたものである。 P_0 は補強しない場合の耐荷力で、 P_{max} はせん断面のすべてがすべり面となったときの荷重値を示している。最大耐荷力は30度の角度で生じている。

一方、最高荷重が生じたときの鉄筋の軸力を縦軸にとり同様にプロットした結果が図4に示されている。鉄筋の軸力が最大となる角度は、最大荷重が生ずる方

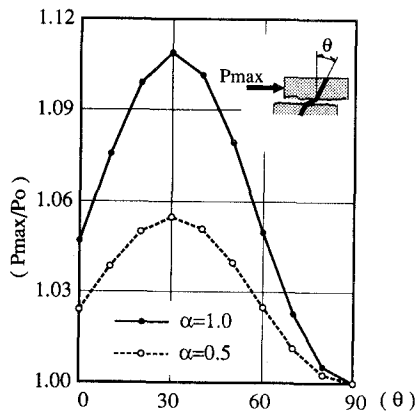


図3 鉄筋方向の相違による耐荷力

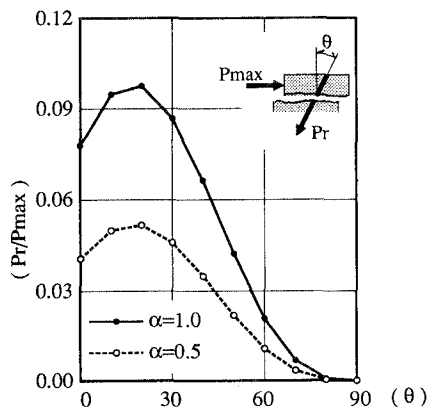


図4 最大荷重時の鉄筋の軸力

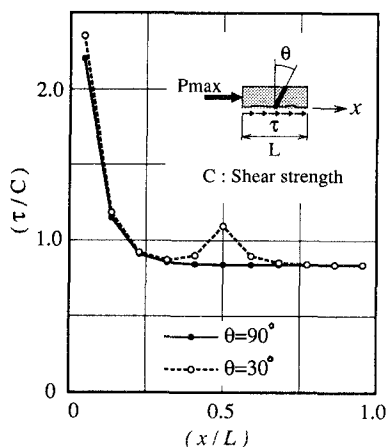


図5 ジョイント面上のせん断応力

向と異なり、20度の方向となっている。

図5はジョイント面上のせん断応力分布を示したものである。

4. むすび

本モデルによっても、鉄筋の打設角度により強度の相違があることが理解できる。また、応力状態も無補強状態と異なることがわかる。

参考文献

1. Juran, I.: "Reinforced soil systems - applications in retaining structures", Proc. 7th Asian regional conf. on SMFE (1983)
2. 龍岡, 浜田: "鉄筋による砂斜面の補強法に関する室内実験 I-XI", 生産研究, Vol.36-No.10-Vol.37, No.9 (1984-1985)
3. Jewell, R.A. and Worth, P.C.: "Direct shear tests on reinforced sand", Geotechnique, Vol.37, No.1 (1987)
4. 川井他: "鉄筋コンクリート構造物の離散化極限解析", 生産研究, Vol.38, No.4 (1986)
5. 上田他: "引張・圧縮破壊を考慮したRC構造物の離散化極限解析", 構造工学論文集, Vol.36A (1990)