

九州大学 正会員 橋本 武
同上 学生員 O古賀 敏夫

1) まえがき

トンネル施工法としてNATM工法の導入が盛んであるが、その特徴は、地山の変形をコントロールし、地山自体の強度を利用するという基本原理にあり、また、その原理のたりにロックボルトと噴付コンクリートが重要な役割を担っている。このようなトンネル施工の状況に鑑み、著者らは、非引張弾塑性解析を行い、トンネル施工時の応力状態を究明する中から、ロックボルトの作用効果を明らかにし、NATMにおける支保ハガーニング効果とを画するものであるが、本研究は、その第一報として、解析モデルの構築とそれによる演算を通じて、ロックボルトの支保効果に因する若干の考察を試みたものである。

2) 解析モデル

解析モデルは、有限要素法に立脚するもので、その概要は次通りである。

1. 地山は、非引張弾塑性モデルとする。その際、降伏条件として、モール・クーロンの式、またはDrucker-Prager式などが考えられるが、本プログラムの開発に当っては、モール・クーロン式を採用した。また重力端で初期応力法に基づいた荷重増分法を用いる。

2. ロックボルトは、円形断面の構要素とし、降伏点で塑性流れを起すものとする。

3. 地山とロックボルトの付着状態の追跡のために、地山とロックボルトの間に、Fig-1で示される結合要素の導入と計り、構要素の両端に相対する形式で2個ずつ用いるものである。結合要素の剛性方程式は、周知のように次式で与えられ、また許容付着応力を越えたとき、要素のバネが切断されその機能を失うものとする。

$$\begin{pmatrix} P_{a1} \\ P_{a2} \\ P_{b1} \\ P_{b2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B & -A & -B \\ B & C & -B & -C \\ -A & -B & A & B \\ -B & -C & B & C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_a \\ Y_a \\ X_b \\ Y_b \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} A &= k_u \cos^2 \theta + k_v \sin^2 \theta \\ B &= (k_u - k_v) \sin \theta \cos \theta \\ C &= k_u \sin^2 \theta + k_v \cos^2 \theta \end{aligned}$$

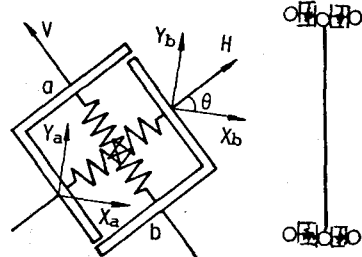


TABLE-1 地山の材料定数

単位体積重量	弾性係数	ポアソン比	内部摩擦角	粘着力
2.0 (t/m ³)	5 000.0 (Kg/cm ²)	0.3	30°	2.0 (Kg/cm ²)

解析領域としては、30mの上方より下にある半径5mの円形断面トンネルを想定し、ロックボルトピッチを円の内径角で表現した。また、地山の材料定数は、フレンキーな粘板岩を想定して、TABLE-1のようにした。ロックボルトとしては、長さ3mのルーズ型接着式アンカーを想定し、その物性値は、TABLE-2の通りである。

3) 解析結果の検討

Rabcevicは、既掘削区画の前面と切羽の間に形成されるアーチアクションをロックボルトの支保により肩代りさせ、周辺地盤の変位をできる限り拘束して、ゆるみによる荷重増加と抑制するものがロックボルトの作用効果であると表現している。

TABLE-2 ロックボルトの物性値

弾性係数	断面積	降伏応力
2.1 × 10 ⁴ (Kg/cm ²)	4.52 (cm ²)	22.0 (t)

そこで着目する、各ピッチごとのロックボルトの施工によるトンネル周囲のゆるみ領域の変化を追跡して来た。この追跡状況を表示したものがFig-2である。この図からわかるように、NO-ROCKBOLTの状態では、トンネル側壁部一帯にゆるみ領域が現れるが、これはMohrのすべり限界線によって与えられるゆるみ領域の発生状態と極めて良く一致している。今、この地山に45°のピッチでロックボルトを打設したとすると、ゆるみ領域は半分に減り、30°ピッチ、15°ピッチと増えることと側壁上部、側壁下部とゆるみ領域が減少していく。試みに要素1の応力状態をA-で面上に表示してみると、NO-ROCKBOLTの状態から新設弾性線へと移行しているのがよくわかる。これは、ロックボルトにより地山のせん断剛性が高められ応力緩和がもたらされたものと考えられる。

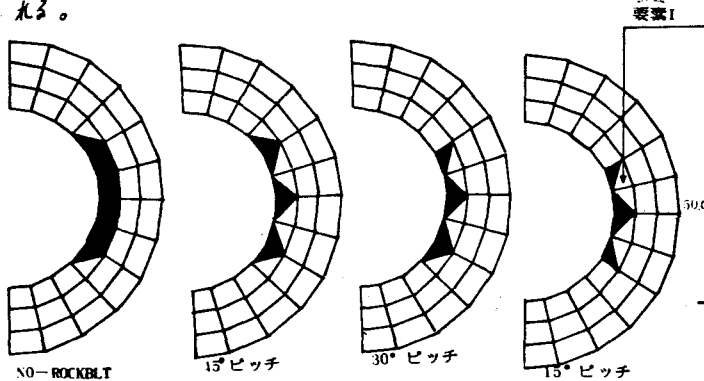


FIG-2 ゆるみ領域の変化

■ : ゆるみ領域

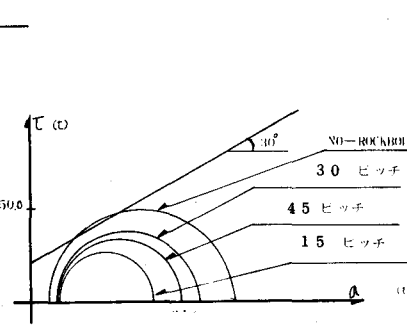


FIG-3 要素1の応力状態の変化

次に、各ピッチによる天端、側壁部における軸力の変化を示したものが、Fig-4である。メカニカルアンカーによるロックボルト軸力の測定では、軸力は段階的に変化するが、これはロックボルトに作用するせん断力が新設変位していくため、せん断力の向きが変わる点で軸力はピークを取ると考えられる。解析所解は、接着式アンカーであるから、定量的には異なるが、いずれかにピークが表われることはメカニカルアンカーと同様であり、その意味でFig-4は妥当な結果を与えているであろう。なお、本ロックボルトのピッチを小さくすれば、当然ながらボルトの負担力が軽減し、軸力が小さくなる。FIG-4 各ピッチにおける軸力分布

4) あとがき

一応、ロックボルトと地山の相互作用を表現した解析モデルが確立でき、それによる演算結果も妥当と考えられる。そこで今後は、このモデルによりロックボルトの作用効果を解明する予定であるが、その際、結

合要素、棒要素、壳要素ともその物性値の決定法が問題で、これについてはモデル実験等を用いながら検討を加えていきたいと思います。

参考文献

- ① 榎木 武、「トンネル力学」 実業出版
- ② N.G.O. N. and A. C. Scordelis : Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, 64-3, 1967, pp 152~163