

西松建設(株) 正員 〇桑田 俊男
西松建設(株) 正員 吉村 和夫
西松建設(株) 正員 古屋 満佐雄

1. 序論

トンネル掘削後壁面を安定させるには、ロックボルトが有効であることがいくつかの現場経験から明かにされ、これらの経験をもとめて、ロックボルトの作用効果についての研究がなされてきた。一方、現場ではロックボルトの効果も判定するために軸力分布測定を実施しているが、測定結果と作用効果の関連性についての研究は、まだ少ないようである。

筆者らは、ロックボルトの作用効果を、ロックボルトの軸力分布と壁面変位とをえ、そのために収束型の粘弾性モデルを用い、有限要素法による数値解析をおこなった。解析にあたり、ロックボルトは地山要素とバネによって結合された棒要素と仮定した。

本論文では、これらのモデルによりロックボルトの作用効果について検討し、粘弾性地盤におけるロックボルトの効果の自知性について考察を加える。

2. 基礎方程式

解析に使用する粘弾性モデルは、図-1に示す通りである。このときの基礎方程式は以下の通りである。

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_1 & -G_1 \\ -G_1 & G_1+G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\varepsilon} \\ \dot{h} \end{bmatrix}$$

ここに、 ε , h は ε , h を各時間 t で微分した値

又、ロックボルトはラーメン部材と考え、地山とロックボルトは図-2に示すバネ部材によって結合されている。このときの基礎方程式は以下の通りである。

$$\begin{bmatrix} P_{xa} \\ P_{ya} \\ P_{xb} \\ P_{yb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & -A & -B \\ B & C & -B & -C \\ -A & -B & A & B \\ -B & -C & B & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ X_b \\ Y_b \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} A &= K_H \cos^2 \theta + K_V \sin^2 \theta \\ B &= K_H \sin \theta \cos \theta - K_V \sin \theta \cos \theta \\ C &= K_H \sin^2 \theta + K_V \cos^2 \theta \end{aligned}$$

ここに P_x, P_y ; 節点力 X, Y ; 節点変位

K_H, K_V ; バネ定数

3. ロックボルトに生ずる応力および壁面変位について

初期応力状態が静水圧 $P_0 = 300 \text{ t/m}^2$ である粘弾性岩盤内に、半径 $a =$

2.5m なる円形トンネルを掘削し、長さ $L = 6.0 \text{ m}$ のロックボルトを

1.25°ピッチで打設したケース

について検討をくわえる。

地山とロックボルトを結合するバネの分布を、(i) 長方形分布、(ii) 三角形分布(図-3参照)としたとき、ロックボルトに生ずる軸力およびロックボルトと地山の間に働く付着力分布を地山の变形係数 μ によると

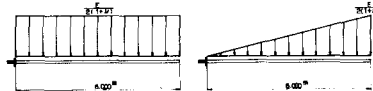


Fig. 3 地山とロックボルトを結合するバネ分布

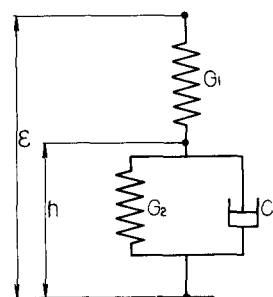


Fig. 1 Visco-Elastic Model

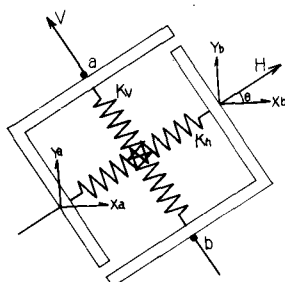


Fig. 2 Linkage Element

めたものが、図-4である。図-4より、バネ分布を長方形とした場合ボルト頭部において最大となる軸力分布を示し、一方バネ分布を三角形とした場合、ほぼボルト中間部で最大となる軸力分布を示していることがわかる。又、付着力の作用方向が変化する点(A, A')は、バネ分布が長方形の場合の方がトンネル壁面に近い。

地山の变形係数を一定にし、バネ分布を三角形とし、ポアソン比を変化させた時のロックボルトに生ずる軸力、付着力、壁面変位を図-5に示す。図-5から、ポアソン比が大きくなると変形は小さくなり、点Aはトンネル壁面から遠くなることかわかる。

ロックボルトを打設した場合の壁面変位と、打設しない場合の壁面変位との比を、地山の变形係数をパラメーターとして示したものが図-6である。図-6より、バネ分布が長方形の場合、地山の变形係数が小さくなるほどその比は小さくなり、ロックボルトを打設した効果が増大することが推察される。一方、バネ分布が三角形の場合、变形係数の大小に関係なく、その比は一定であり、しかもロックボルト打設の効果はほとんどない。

4. ロックボルトの作用効果について
数値解析から得られた結果より、以下に示す特徴が知られた。

- 地山の变形係数が小さくなり、ポアソン比が大きくなるほど、ロックボルト打設による壁面変位に対する効果が大い。
- 地山とロックボルトを結合するバネ分布は長方形である方が、ロックボルトを有効に活用することになる。

地山の变形係数が小さく、ポアソン比が大きい状態では、岩盤が掘削により塑性化した状態と考えられ、したがってロックボルトは塑性域にある岩盤に対して効果があることが推察される。又、地山とロックボルトとを結合するバネ分布が長方形であるという工学的な意味は、できるだけ早期にロックボルトを打設すること、すなわち岩盤の強度を適切に利用することに外ならない。このように意味で、ロックボルトにプレストレスを導入することにより岩盤の強度をうまく利用する方法は、地山の安定にとって有効な工法と考えられる。

5. おわりに

弾塑性モデルを用いた有限要素法による数値解析により、ロックボルトは塑性域にある岩盤に対し効果があり、又早期に打設し岩盤の強度をうまく利用することにより、その効果を増大することが推察される。今後、定量的な面での効果についても研究したいと考えている。

参考文献

- 川原 睦人 「有限要素法による弾塑性解析」 日本建築学会
- 井, NQO "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams" A.C.I.J. MARU 1961

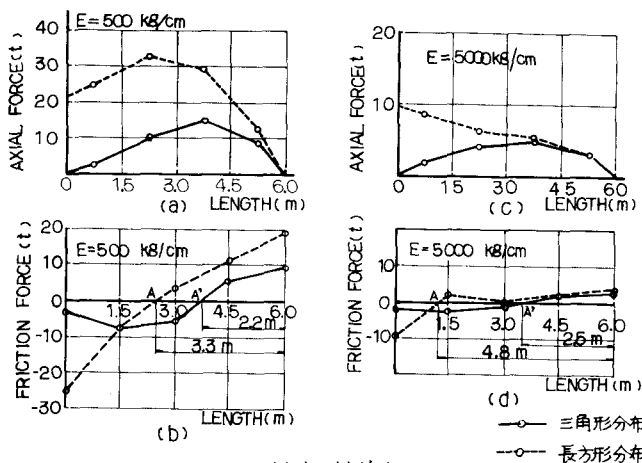


Fig. 4 軸力、付着力

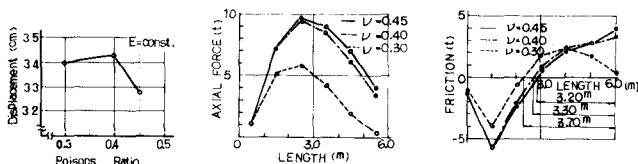


Fig. 5 ポアソン比と壁面変位、軸力、付着力の関係

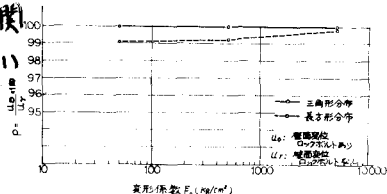


Fig. 6 变形係数Eとポアソン比Pの関係