

(株)熊谷組 正員 北原正一
(株)熊谷組 技術研究所 同 上野正高
同 同 〇御手洗良夫

1. はじめに

これまで、空洞問題についていろいろな研究ならびに実験が行なわれていたが、トンネルの設計を行なう場合、ほとんど今までの経験によって支保方法が決められていた。

近年、トンネル施工に新オーストリアトンネル工法(NATM)が多く導入されているが、それに伴ない、トンネルへの岩盤力学の応用ならびに電算機による数値解析等、経験によるものだけでなく、理論的うらづけに基づいたトンネルの設計が行なわれるようになって来た。

NATMでの支保方法の主たるものとしては、ロックボルトと吹付けコンクリートがあるが、施工実績が少ない事もあり、ロックボルトの効果については、まだ解明されていない点が多い。

本研究は、これまでいくつかのトンネルで行なわれた計測の結果をもとにして、ロックボルトの作用効果を考察し、そのモデルを設計に織込んで、トンネル支保の設計方法の確立を目的とする。

2. ロックボルトの作用効果とモデル化

ロックボルトをシステムティックに施工すると、その効果は三次元的に考慮しなければならず、これを二次元的問題として解析する場合、ロックボルトの機能をすべてモデル化する事は不可能である。

ロックボルトにはいろいろな種類があるが、ここでは全面接着型ロックボルトについて考える。

施工されたロックボルトを二次元にモデル化するのに以下の様なものが考えられる。

- i) ロックボルトを一次元の構要素とする。
- ii) 計測結果をもとにボルト軸力の応力レベルごとのパターン化

今回は上述のものと別にある応力状態における、地山とロックボルトの相互作用という点について考察し、そのモデル化を行なう。

トンネルを掘削する事により、地山はトンネル中心に向かって変位しようとするが、ロックボルトを施工しているとこの動きは、ボルト表面に働く摩擦抵抗力によって拘束される。この摩擦抵抗力を次に示す仮定をもうけて算定する。

Fig-1に弾性体地山におけるトンネル周辺応力を、Fig-2に塑性体地山におけるトンネル周辺応力を示すが、このような地山でのロックボルトに対する最大せん断応力 τ は

$$\tau = \frac{|\sigma_\theta - \sigma_r|}{2}$$

で表わされる。

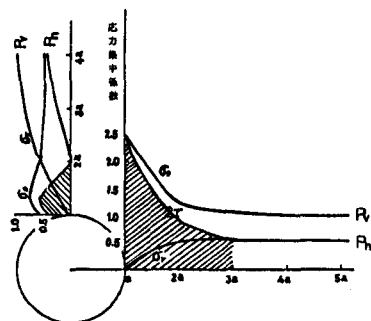


Fig-1. 弾性体地山における応力分布

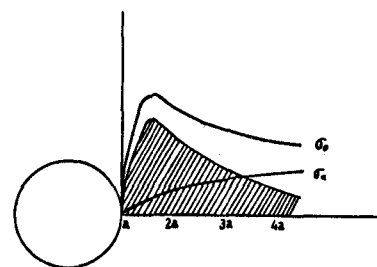


Fig-2. 塑性体地山における応力分布

σ_θ : トンネル周辺の接線応力, σ_r : トンネル周辺の半径方向応力

これらのトンネル周辺応力分布は、地山の物性値、応力の開放度、施工段階、トンネル形状等により異なるが、ロックボルトの挙動はこれらに大きく支配されると考え、せん断分布とロックボルトの摩擦抵抗とを連動するものとしてモデル化を行なった。

解析では、この抵抗をボルトの入っている箇所の節点に式(1)で示すような節点力として与え、ボルト効果を表わした。

$$P = \tau \cdot D \cdot \pi \cdot l \quad \dots (1)$$

P : 節点力 τ : セン断応力

D : ボルト径 l : 節点間の離れ

地山強度がもともと非常に低かったり、発破等による掘削のため強度が化したり、あるいは地山とロックボルト間の相対変位が非常に大きくなり、せん断応力が増大する場合、ボルトの耐力が問題となる。これについては、地質資料はもとより現場におけるロックボルトの引抜き試験のデータに基づき、その強度耐力の値を決定した。

解析上、この耐力以上の軸力が発生した場合には、その点での抵抗は全くなくなるとした。

3. 解析と設計例

2)で述べたロックボルトの仮定をもとに、NトンネルについてTable-1に示す地山の物性値を用いて、有限要素法(F.E.M)で計算を行なった。Fig-3に計算で求めたボルトの軸力分布、Fig-4にひずみゲージ付ロックボルトを設置した測定結果を示す。又Table-2に、天端および側壁部の変形について、計算結果と測定結果との比較を示す。

ロックボルトの軸力分布について計算結果では、天端より側壁部の方がより高い軸力になっている事がわかるが、この傾向は実際の計測結果と大体一致している。Table-2に示す変位量についてもほぼ現実に近いものが得られている。

ロックボルトの軸力分布、トンネル壁面の変形状態からみると以上に示したモデルは定性的に満足出来るものと思われる。

4. あとがき

トンネル施工時に計測を行なうという考え方が定着しはじめ、現在、多くの現場で行なわれている計測データが集まりつつある。これらの計測結果を、有効に設計に織り込むとする試みで解析を行ない、ある程度満足される結果が得られた。今後、不連続性地山におけるロックボルトと地山の相互作用を考慮した解析が課題となる。

岩 質	泥 岩
単位体積重量	2.0 t/m ³
弾性係数	500 kg/cm ²
ポアソン比	0.4
内部摩擦角	25°
粘着力	2 kg/cm ²
側圧係数	0.67
鉛直初期応力	50 kg/cm ²

Table-1 地山の物性値

	天 端	側 壁
計 算 値	16.5	11.5
測 定 値	15.5	12.5

単位: cm

Table-2 天端と側壁での変位量

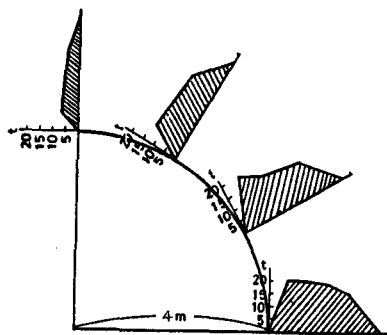


Fig-3 計算によるボルト軸力分布図

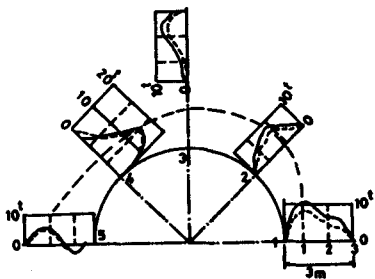


Fig-4 測定によるボルト軸力分布図