

(株) 熊谷組 正会員 北原 正一
 (株) システムエンジニアリング 同上 小神野竹男
 (株) 熊谷組技術研究所 同上 御手洗良夫

1. はじめに

ここ数年、トンネル施工(特に膨張性地山)への新オーストリアトンネル工法(NATM)の導入が盛んに行われている。NATMでは地山の変形をコントロールし、地山自体をサポートとして作用させるという事が基本原理となっており、施工上地山の変形コントロールという事が非常に重要である。

従来、トンネルの支保はH型鋼が主であったが、NATMでは吹付けコンクリート、ロックボルト、U型鋼等が用いられているので、吹付けコンクリート、ロックボルトを増打ちする事により容易に地山の変形コントロールが出来る。又地山の変形を的確に把握する為、施工時の計測が不可欠であり、計測データをいかに解析するか問題となる。

当研究は、有限要素法(FEM)を用い、トンネル施工時の変形及び応力状態を計算し、ロックボルトの設計を行う事及び施工時の計測結果の支保パターンに対する判定基準の定式化あるいは計測結果を解析にフィードバックさせるといったようなシステム的なトンネル支保方法の確立を目的とする。

2. 計算モデルと数値計算法

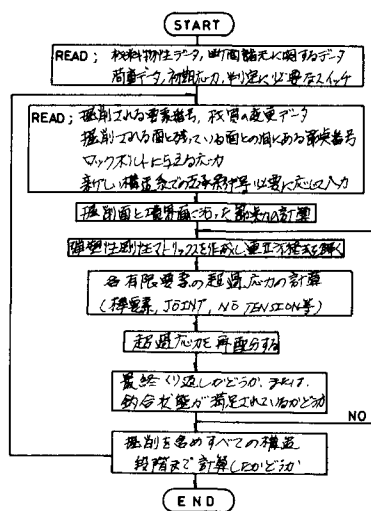
数値計算は有限要素法を用いる。プログラムの概要は次の通りである。

1. 弾塑性解析(降伏条件 Drucker Prager)
2. 掘削段階
3. 支保(吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼支保)
4. ジョイント解析
5. No-Tension 解析

Fig(2-1)にプログラムのフローチャートを示す。

ロックボルト施工効果について、まず Fig(2-2)に示す様な半径5mの円形トンネルのモデルにいろいろなパターン(長さやセッチ)でロックボルトを施工した時、トンネル周辺応力や変形にどのような影響があるか調べた。

モデルはトンネル周辺の岩盤は平面要素で、ロックボルトは全面接着式のものを一次元の棒要素として取扱い、岩盤とロックボルトは一体に変位するが、応力の伝播はないものと仮定した。岩盤の物性値はTable(2-1)に示す通りであるが、これらはこれまで施工してきたいくつかの膨張性地山のトンネルで得られた測定データ及び経験より定めた。

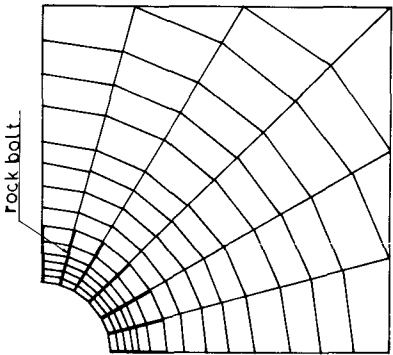


Fig(2-1) フローチャート

ボルト長さの影響は、ロックボルトを15°ピッチで施工し、2m, 3m, 4m, 5m, 6mと長さを変化させて調べた。ボルトピッチは、ボルト長3mと5mについて10°, 15°, 20°, 30°, 45°ピッチで計算した。

単位体積重量 (kg/cm^3)	弾性係数 (kg/cm^2)	ポアソン比	内部摩擦角 ($^\circ$)	粘着力 (kg/cm^2)
2.3	5000	0.4	30	7.0

Table (2-1) 岩の物性値



Fig(2-2) 計算モデル

3. 解析結果と設計例

Fig (3-1), (3-2)にボルト長さによる変形影響図とピッチによる変形影響図を示す。ロックボルトを何にも施工しない時、地山の弾性係数 $E=500 \text{ kg/cm}^2$ の場合、塑性領域は2.0 m発生する。Fig (3-1)は天端における変形であるが、ロックボルト施工により明らかに変形は減少する事がわかる。又塑性領域と同じ値の長さのボルトであると変形の減少率が低く、ロックボルトが塑性領域よりある程度長くなれば変形の減少率はほぼ一定となる。

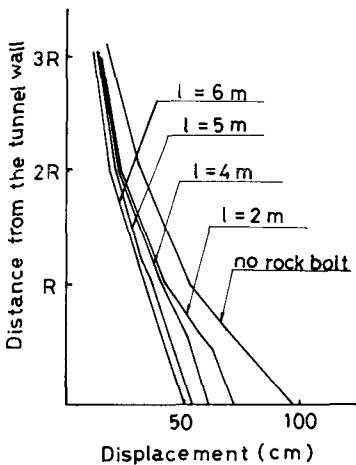
Fig (3-2)にはボルトピッチと天端における変形の度合いを示しているが、ボルトの間隔が20°(1.7mに1本)以上になると変形の減少率はほとんど変わらない。従ってボルト間隔がある程度以上になるとボルト間の効果がなくなってしまう事になる。

以上を示したの計算例の一部であるが、これより現場で経験的に得られたものと合致する事が多かった。

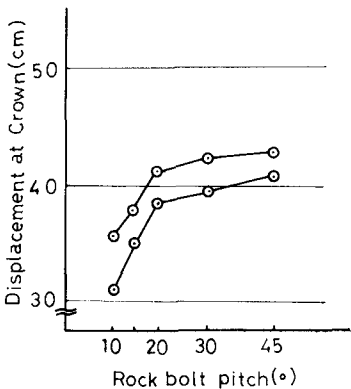
そこで上越新幹線中山トンネルをはじめ、いくつかの膨張性地山のトンネルについて、施工段階等、実際のトンネル施工を考慮して設計を行なった。又、設計された支保パターンでの計測データが取られており、これらデータと設計との関連を現在検討中である。

4. あとがき

FEMによる解析結果と実際のトンネル挙動はほぼ合致しており今後トンネルの設計がますますこういふ方向に向うことは明らかである。しかし岩の物性値あるいは岩盤とロックボルトとの相互の挙動等まだ十分に多くの問題が残っている。従って岩のジョイント、異方性あるいはロックボルトと岩盤の相互関係を的確に解析の中に取り入れる事や計測結果を有効に生かしていくことが今後の課題となる。



Fig(3-1) ボルト長さに対する天端の変位



Fig(3-2) ボルトピッチに対する天端変位