

NATMにおける合理的削孔長について

鍋奥村組 河原畑良弘、中森昌徳

1. まえがき

近年のトンネル工事においては、従来のトンネル周辺地山を剛に支保しようとするASSM (American Steel Support Method) に加えて、地山をゆるめずに地山自身が本来有する支持力を積極的に制御、活用しようとするNATM (New Austrian Tunneling Method) が普及して来ている。NATMの場合、主な支保メンバーは吹付けコンクリートとロックボルトであり、鋼製支保工を主たる支保メンバーとするASSMに比較して、切端および周辺地山が安定する範囲内で1発破進行長を大きくすることが可能である。このため、NATMにおける掘削工のハード面での研究動向は、削孔長を長くし1発破進行長を出来るだけ大きくする、いわゆる長孔発破技術の開発に向っているのが実情であろう。

しかし、トンネル施工全体の迅速性、経済性、実行可能性の観点から、進行長が長ければ長いほど施工全体の効率が良くなるという確認はなされていない。

本研究はソフト面からNATM掘削工をとらえ、簡単なシミュレーションを実施して長孔発破における削孔長と工期および工費との関係を解明するものである。以下にシミュレーションの概要と結果の一部について要約する。

2. 掘削工の作業構成とフロー

今回設定したNATM掘削工の作業構成とそのフローを図-1に示す。3.に後述するように、トンネル内外の運搬経路上での車両間、および作業間の物理的な相互干渉はないものとしている。したがって、作業フローは各作業が直列する単純なものとなる。

3. シミュレーションモデルと制約条件

トンネル掘削工に影響する因子は数多く考えられるが、ここでは、削孔長を状態変数として取りあげ、その他の因子を外生変数あるいは制約条件として入力する。全工期(T)および全工費(C)を内生変数とし、次式に示す動作特性によりこれらを出力させる。

$$T = N \times \sum_{i=1}^n t_i, \quad t_i = f_i(D)$$

$$C = g(T) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、N、 t_i はそれぞれ総発破回数(総サイクル数)および作業iの1サイクルあたりの作業時間(計画サイクルタイム)を表わし、 f_i 、 g はそれぞれ削孔長(D)、全工期(T)の関数とする。

このように、今回のモデルは一部動的なところもあるが、全体としては静的かつ決定論的モデルとして位置づけられる。

以下に主な制約条件を列挙する。

- i. トンネル形状は全長 3000 m の新幹線複線断面とし、タイヤ工法とする
- ii. 施工は片押しで全工期を通して切端は1箇所のみとし、運搬路上での車両間の相互干渉はないものとする
- iii. 覆工コンクリート工は考慮しない
- iv. 投入機械系は現状で一般的に利用されているものを設定する
- v. 支保および計測パターンは国鉄「NATM設計・施工指針(案)」に準拠する
- vi. 岩質は硬岩を対象とし、これを3種類に分類し、その分布を仮定する

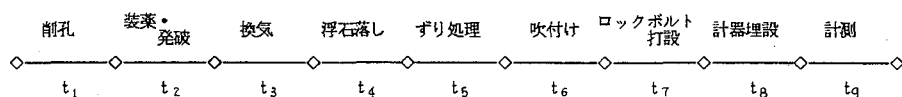


図-1 掘削工の作業構成とフロー

4. シミュレーションの結果

シミュレーションプログラムの概略フローを図-2に示す。結果を評価する指標としては削孔長ごとの、全工期と全工費の積を考えている。

現在、全工期の計算が終了している。進行1mあたりの工期と削孔長との関係を図-3に示す。

削孔長の増加に伴い工期は指数的に低減し、一定値に漸近する様に思われる。削孔長を3m以上に延ばしても工期の短縮に結びつかないことが考えられる。

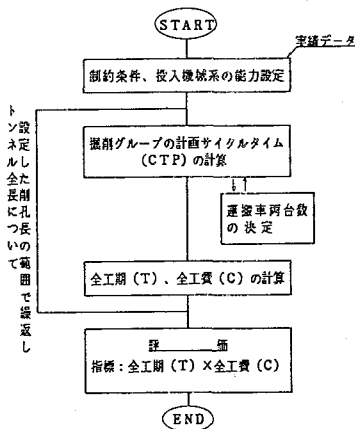


図-2 シミュレーションプログラムの概略フロー

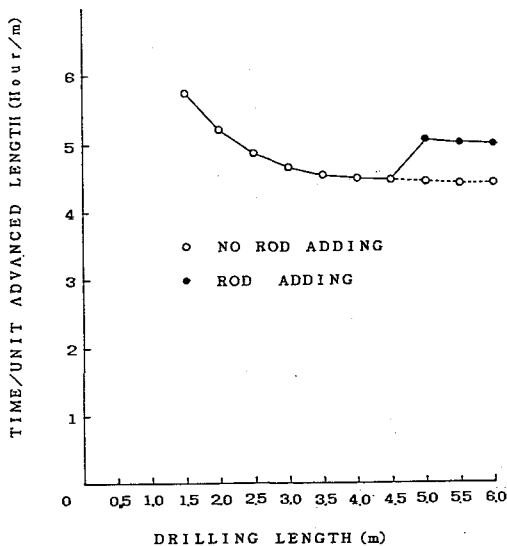


図-3 進行1mあたりの工期と削孔長の関係

各作業の全作業時間と削孔長との関係を図-4に示す。9種類の作業の内、ずり処理、吹付け、削孔の各作業時間が大きく、他のものの3倍以上となっている。浮き石処理、ロックボルト打設、計器埋設作業を除き、各作業時間は削孔長の増加に伴い指数的に低減し一定値に漸近するように思われる。これら作業時間の低減勾配は、掘削および吹付け作業において大きいことがわかる。

5. 今後の課題

今後、全工費の計算を実施し、極めて限定的な条件下ではあるが、状態変数である削孔長と工期および工費との関係の評価する予定である。

今回のシミュレーションによってトンネル掘削工に大きく影響する作業あるいは外生変数をおおむね把握することができた。これらの結果をふまえて、今回外生変数に仮定した因子を状態変数として入力し、トンネル掘削工においてさらに開発すべき技術上の着眼点の解明という観点から、より一般的な条件のもとでのシミュレーションを計画している。

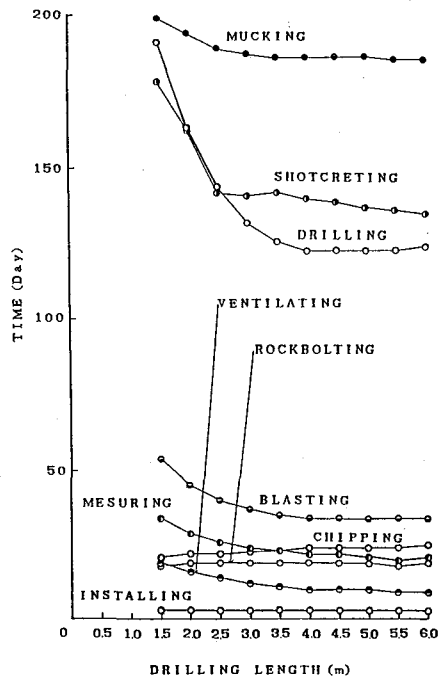


図-4 作業時間と削孔長の関係