

トンネル工事における機械系選定のためのシミュレーションの方法についての一考察

(株) 奥村組技術研究所 正員 河原畑 良 弘
 京都大学工学部 正員 春 名 政
 (株) 奥村組技術研究所 正員 岡 本 伸 一

1. まえがき

トンネル工事は他の建設工事と比べて作業空間が著しく制約されるという点で作業間に物理的干渉が生じやすい。この作業干渉は工期を遅らせる主要な原因の一つと考えられる。本研究ではケース・スタディとして底設導坑先進上部半断面掘削工法をとりあげ、シミュレーション手法により作業干渉の程度を知り機械系選定のための有効な情報を得ようとしたものである。

2. トータル・システムの構造について

底設・上半工法は8つの切端と2つの坑外作業場所で構成される。即ち、導坑、上半、大背、土平掘掘、土平窓掘、アーチ・コン、脚付・コン、窓・コンの8切端と、ずり捨て場、コンクリート積み場である。言い換えればトータル・システムは8つの坑内サブ・システムと2つの坑外サブ・システムから成り、各サブ・システムはずり運搬路あるいはコンクリート運搬路として線路を共有することにより相互干渉を発生すると考えられる。図2-1はトータル・システムを示す模式図である。

3. サブ・システムの構造について

ここではメイン・システムである坑内サ

ブ・システム群についてのみ触れることにする。坑内サブ・システム群は大別して連続作業としての掘削作業グループと不連続作業としてのコンクリート打設作業グループの2つに別れる。サブ・システムの構造はほぼ図3-1、2に示す通りである。

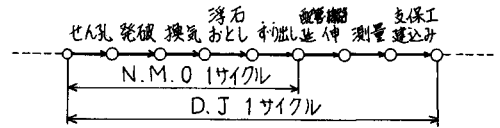


図3-1 サブ・システムの構造図(掘削作業)

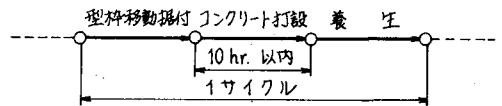


図3-2 サブ・システムの構造図(コンクリート打設作業)

4. 機械系について

機械系はトータル・システム・レベルとサブ・システム・レベルの2つで考えられる。ここでは掘削作業グループの機械として削岩機、ずりトロ、ロコ、ずり積み機を考え、コンクリート打設作業グループの機械としてコンクリート運搬車、ロコ、さらに型枠も含めて考えることにする。サブ・システム・レベルの機械系が統合されてトータル・システム・レベルの機械系となる。

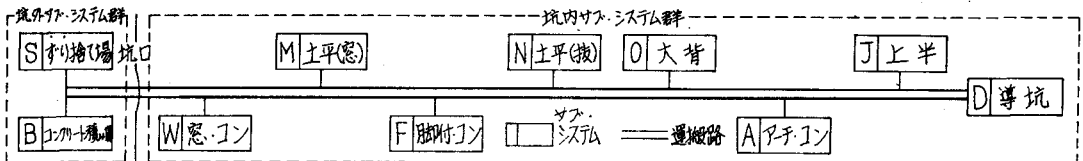


図2-1 トータル・システムの構造模式図

5. 標準工程表と必要サイクル・タイム

工期が与えられれば切端間のはなれから標準工程表が得られる。標準工程表は各サブ・システムに許される工期を与えるという点で施工計画における機械系の選定にとって重要な意味をもつものである。

標準工程表から各サブ・システムごとの工期が決定されるとサブ・システムの構造から1サイクルあたりそれ以上の時間をかけることのできない値(サイクル・タイムの上界値)が求まる。この値を必要サイクル・タイムとよび T_r で表わすことにする。結局、各サブ・システムのサイクル・タイムが T_r 以下であればトータル・システムとしての工期を満すことになる。

6. 最適機械系の定義について

1つのサブ・システム λ_i においてある機械系 λ_j を投入した場合のサイクル・タイム $T_a(\lambda_j)$ は、

$$T_a(\lambda_j) = f(\lambda_j)$$

で求められる。ここで f は各サブ・システムが独立でかつ内部干渉が無い場合のサイクル・タイムを求める関数である。しかし2.のトータル・システムの構造で述べにように運搬路を共有することによりサブ・システム間に干渉が生じるため実際のサイクル・タイムは通常 T_a よりおそくなる。この干渉によるおくれを $\alpha(\lambda_j)$ とすれば実際のサイクル・タイム $T_c(\lambda_j)$ は、

$$T_c(\lambda_j) = T_a(\lambda_j) + \alpha(\lambda_j) \quad \alpha(\lambda_j) \geq 0$$

となる。一方、機械系 λ を構成する機械 i の公表価格を C_i 、1サイクルあたりの進行長を l として、

$$C(\lambda_j) = \sum C_i / l \quad i \in \lambda_j$$

を評価指標として導入する。ここでは最適機械系をすべてのサブ・システムにおいてそれぞれ、

$$\min \{ C(\lambda_j) | T_c(\lambda_j) \leq T_r \}$$

を与える機械系 λ_j の集合であるとする。

7. 最適機械系探索の手法とプロセス

最適機械系の定義からおくれ α を知ることには不可欠である。ここではシミュレーション手法により α を求めた。(最適解探索のプロセスは当日示すこととする。)

8. 分析と評価

上述のプロセスに従いケース・スタディを行った結果の1部を表8-1に示す。

CASE	切端	T_a	T_c	α	$T_c \leq T_r$ か
ス ラ イ ト 時 の 機 械 系	D	207	214	7	○
	J	280	285	5	○
	O	175	181	6	○
	N	300	300	0	○
	M	480	482	2	○
	A	597	762	165	×
	F	401	416	15	○
	W	394	427	33	○



中間部省略

CASE	切端	T_a	T_c	α	$T_c \leq T_r$ か
最 適 機 械 系	D	206	207	1	○
	J	274	278	4	○
	O	175	177	2	○
	N	184	187	3	○
	M	280	281	1	○
	A	414	528	109	○
	F	245	330	35	○
	W	500	570	70	○

表8-1 シミュレーション結果

シミュレーションの結果、現時点では掘削作業については各サブ・システム・レベルで最適化を行えばトータル・システム・レベルでの最適化に近いものであること、コンクリート打設作業は掘削作業に比べておくれが大きいこと、おくれの構造は機械系の組合わせ内容の変化にあまり影響を受けないことなど有効な情報が得られた。

9. あとがき

本稿の例では運搬路の容量が非常に大きいためクリティカルな状態とはなっていない。発生するすり量と発生速度をパラメータとしてシステムの挙動を分析し、これらのパラメータと機械系の処理能力とのバランスをトンネル全体の掘進速度を評価尺度として考察することは今後の課題である。