

(株)奥村組技術研究所 正会員 岡本 伸一
 河原畑 良弘
 京都大学工学部 春名 政

1. まえがき

わが国における岩石トンネル工事の需要は今後ますます増大し、その工事内容も複雑化・多様化の一途をたどるものと思われる。このような状況にありながら、岩石トンネル工事における施工計画は経験と直感力になすという従来の方法が支配的である。これに対して、本研究では岩石トンネル工事における施工計画問題のうち、施工機械系の決定問題が重要かつ支配的であると考へ、シミュレーション手法と効果的に利用した合理的な施工機械系決定のプロセスと提案するものである。なお、本研究では、わが国の岩石トンネル工事施工の標準工法とされている底設導坑先進上部半断面掘削工法ととりあけることにした。

2. 岩石トンネル施工システムの分析

岩石トンネル工事施工の全体システムは8つの坑内切端および2つの坑外設備をサブシステムとして、これらが共通の運搬線路を通じて有機的に結合したものと考えることができる。しかも、各サブシステムは共通の運搬線路上においてのみ相互依存的な関係をもつものと考えられる。この模式構造を図-1に示す。このように岩石トンネル工事は複数のサブシステムが同時に機能し、工事全体が進行するものであるから、合理的な施工を実現するためには、これらのサブシステムが高いバランスを保ちながら進行していく必要がある。これを満足するための最大の要件は標準工程表どおりに作業が進行することである。従って、標準工程表に示された各サブシステムの進行速度と確実に確保できるように施工機械系を決定することが重要である。しかし、岩石トンネル工事施工の特徴として、極めて限られた空間で作業が行われるため、作業干渉が発生しやすく、この作業干渉は各サブシステムの進行速度に直接的な影響を与えるものであり、その程度は施工機械系の内容と密接に関連している。従って、本研究では、この作業干渉の程度を定量的に把握し評価するプロセスを組み入れて、合理的な施工機械系の決定プロセスを設計した。

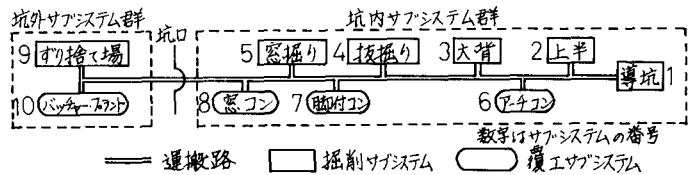


図-1 岩石トンネル施工システムの模式構造

さて、坑内サブシステム群は図-2に示すようなパターン化された一連の作業がサイクルに繰り返されて進行するものである。従って、この1サイクルに要する時間、すなわち、サイクル・タイムによって各坑内サブシステムの進行速度も把握することができる。これは岩石トンネル工事における著しい構造上の特徴であり、施工計画において時間的要素を取り扱う場合極めて有効である。

サブシステム	サイクルの構成
サブシステム 1, 2	せん孔 → 発破 → 換気 → 浮石おとし → すり処理 → 線路の当り取り → 支保工 → 延伸 → 測量 → 運搬機
サブシステム 3	せん孔 → 発破 → 換気 → 浮石おとし → すり処理 → 支保工 → 延伸 → 測量 → 運搬機
サブシステム 4, 5	せん孔 → 発破 → 換気 → 浮石おとし → すり処理 → 支保工 → 延伸 → 測量 → 運搬機
サブシステム 6, 7, 8	型枠工 → コナート打設 → 養生

図-2 各サブシステムのサイクルの構成

3. 合理的な施工機械系の定義

合理的な施工機械系は合理的な施工を可能にするものでなくてはならない。そこで本研究では合理的な施工機械系決定のための評価要素として、①経済性、②迅速性、③実行可能性をとりあげ、①については機械系を構成する個々の機械の販売価格の総和を評価指標とし、②については工期が明示されるものと考え、これを制約条件化して考えることにした。さらに、③については代替案作成のプロセスにおいて物理的制約条件を考慮することにより、これを保証する。

さて、1つのサブシステムにおいて、ある機械系 α_{ij} を投入した場合のサイクル・タイム $p_i(\alpha_{ij})$ を、

$$p_i(\alpha_{ij}) = f_i(\alpha_{ij})$$

と表わす。ここで f_i は各サブシステムが独立で、かつ内部干渉の無い場合のサイクル・タイム(計画サイクル・タイム)を求める関数である。本研究では機械系稼働の状態をモデル化し、この関数を定式化した詳細については触れない。ここで、2. で述べたことから、実際のサイクル・タイム(生起サイクル・タイム)は通常 p_i よりおそくなる。この作業干渉によるおくれを $d_i(\alpha_{ij})$ として実際のサイクル・タイム $\sigma_i(\alpha_{ij})$ を、

$$\sigma_i(\alpha_{ij}) = p_i(\alpha_{ij}) + d_i(\alpha_{ij}) \quad d_i(\alpha_{ij}) \geq 0$$

と表現する。ここで $d_i(\alpha_{ij})$ を評価するために、機械系稼働の状態をシミュレーション手法によって解析することにした。次に標準工程表から、工期を満たすために、実際のサイクル・タイムが超えてはならないサイクル・タイムの上界値(必要サイクル・タイム) r_i を求めることができる。また、機械系 α_{ij} を構成する機械 k の販売価格を C_k 、その投入台数を Y_k として、

$$C_i(\alpha_{ij}) = \sum_k C_k \cdot Y_k \quad k \in \alpha_{ij}$$

を経済性を示す評価指標として導入する。ここで、合理的な施工機械系を、すべての i について、それぞれ、

$$\sigma_i(\alpha_{ij}) \leq r_i \quad \text{かつ} \quad \min \sum_i C_i(\alpha_{ij})$$

を与える機械系 α_{ij} の集合であると定義する。

4. 合理的な施工機械系の決定プロセス

本報告で提案する合理的な施工機械系決定のプロセスを図-3に示す。ここで、代替案のすべてについてシミュレーションを実施することは効率的ではないと判断し、代替案の範囲を効果的に狭める方法としてフィルタリングのプロセスを考えた。すなわち、このプロセスでは計画サイクル・タイムが必要サイクル・タイム以下のものを実質的な代替案とすることにした。合理的な施工機械系の定義から、実質的な代替案のうち、機械系費用が最小のものから順にシミュレーションを実施するという順序づけを行った。この順序に従って動態分析を行い、生起サイクル・タイムに対して評価を行った結果によって、次のシミュレーションを実施するか否かの決定を行うというヒューリスティックな方法を取り入れて合理的な施工機械系決定のプロセスを作成した。なお、現実に見れた施工モデルによる実証的考察については講演時に発表する。

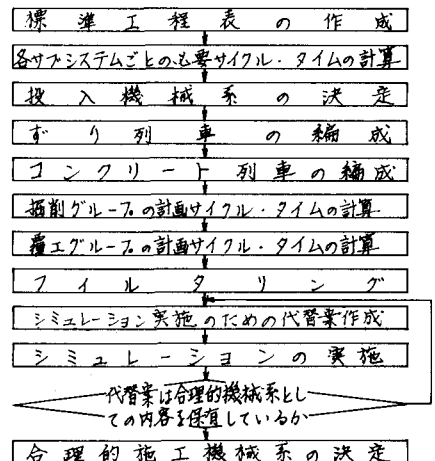


図-3 合理的な施工機械系の決定プロセス

5. あとがき

本研究報告は岩石トンネル工事における合理的な施工機械系の決定方法について提案したものであるが、この方法は実際の岩石トンネル工事に適用し、実証的研究を行っていくことが今後の課題である。