Ⅳ－80　ハイブリッド型工程計画モデルの開発に関する実験的研究

立命館大学　正員　春名　攻
大阪府　正員　辻井　裕
立命館大学大学院　学生員○竹林　弘晃

１．はじめに

工程計画の策定において、合理的で説得力のある計画代替案を、合理的・効率的に設計して行くことは大変重要であり、その計画代替案設計モデルは、次のような要件を満足させる必要があると考える。

まず、第１に、問題を解決するために設定した目的に対して実行可能な計画代替案集合を規定し、その集合の中でも最も望ましく目的にかなった計画代替案を合理的に設計することができること、つまり、「目的合理性」を満足させる必要がある。第２に、計画代替案の検討にあたって、分析目的に適合した精度で現象を表現できること、つまり、「現象合理性」を満足させなければならない。第３に、分析を効率よく行えるモデルであること、つまり、「操作性」という要件をも満足させることが望ましい。

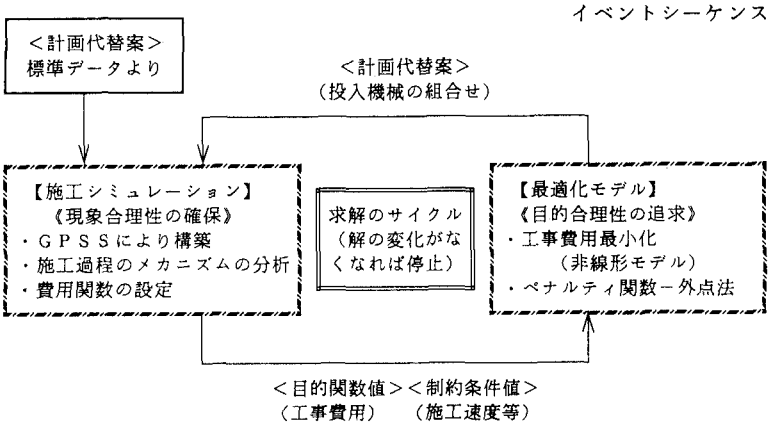
上述の３つの要件のバランスを保ちながら分析を進める必要があることから、本研究では、現象合理性の確保を目的として施工過程の再現を行うシミュレーションモデルと、計画目的の追求を行う数理計画モデルである最適化モデルを混成して、「ハイブリッド型工程計画モデル」の開発を目指した。

２．ハイブリッド型工程計画モデルの概要

本モデルは、図－１に示すようなモデル構成となっている。すなわち、「まず、シミュレーションモデルに投入機械の組合せの計画代替案を入力し、評価要因である目的関数値や制約条件値（各作業の開始時刻・終了時刻、施工速度や工事費用）を出力する。次に、そのシミュレーションモデルの出力結果（評価要因の内容）にもとづき最適化モデルによって、制約条件を満たす範囲内で新たに改善された解（投入機械の組合せ）を求める。そして、この新しい解を再びシミュレーションモデルに入力する。」という一連の動作を繰り返しながら最適解（最も望ましい投入機械の組合せの計画代替案）に到達しようとするものである。

a）シミュレーションモデルの構成

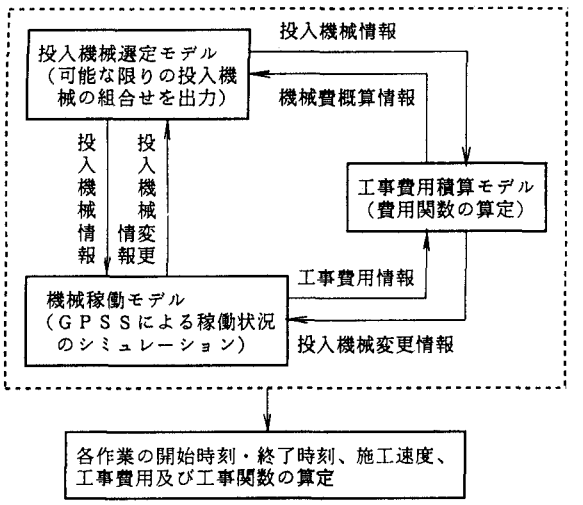
本シミュレーションモデルを図－２に示すように構成した。このモデルの動作を示すと、投入機械選定モデルにおいて、投入機械の組合せの検討を行い、すべての投入機械の組合せパターンを作成する。また、機械稼働モデルにおいては、掘削工程と覆工工程を対象として、設定された機械情報をもとにして、イベントシーケンス型のモンテカルロ・シミュレーション言語であるＧＰＳＳによって構築されたモデルによって投入機械の稼働状況のシミュレーションを行なう。さらに、工事費用算定モデルにおいては、工事費用の算定を積み上げ的に行い、費用関数を直接費・間接費・固定費別に算定する。これら一連の流れに基づいて各作業の開始時刻・終了時刻、施工速度、工事費用および費用関数の算定を行う。



図－１　ハイブリッド型工程計画モデルの構成

b）数理計画モデルの構成

本研究においては、数理計画モデルを制約条件付き非線形最適化問題として定式化を行うこととし、工事費用最小化モデルとして開発した。なお、モデルの定式化は、表－１に示されるとおりである。ここで、本モデルで用いる操作変数は工種作業 v_i^k（$\in V_1$）の開始時刻 t_i^k と施工速度の関数で表現される所要時間 d_i^k である。また、目的関数は、直接費用 $f(\alpha_i)$ と間接費用 $f(\beta)$、一定費用 (γ) の和の最小化である。



図－２　シミュレーションモデルの構成

＜目的関数＞

$$C=\sum_k\sum_i f(\alpha i)+f(\beta)+f(\gamma)\rightarrow \min$$

＜制約条件＞

$A_{i1}^k \leqq a_i^k \leqq A_{i2}^k$ ……施工速度の制約

$t_i^k \geqq 0 \quad (t_i^k \in V_1)$

$-t_i^k - d_i^k + t_j^k \geqq 0 \quad (P v_i^k v_j^k = 1 \text{ のとき})$

$-t_i^k - d_i^k + te \geqq 0 \quad (v_i^k \in V_1)$

$d_i^k = \begin{cases} q_i^k / a^k{}_i & (v_i^k \in V_1) \\ d_i^k & (v_i^k \in V_2) \end{cases}$

スケジュールによ制約

$P = \text{const}$

＜記号の定義＞

C：工事費用

$f(\alpha)$：直接費用，$f(\beta)$：間接費用，$f(\gamma)$：一定費用

施工ブロック k（k＝1，……，K）での工程　v_i^k

v_i^k の集合 $V \begin{cases} V_1 : \text{実作業の工程} \\ V_2 : \text{時間間隔確保のための工程} \end{cases}$

作業の順序関係 $P \begin{cases} P^T : \text{技術的順序関係} \\ P^R : \text{管理的順序関係} \end{cases}$

$P = P^T + P^R$

$P v_i^k v_j^k (\in P) = 1$ ：v_i^k は v_j^k の先行作業

作業 v_i^k（$\in V_1$）の施工数量 q_i^k

施工速度 a_i^k（$A_{i1}^k \leqq a_i^k \leqq A_{i2}^k$）

作業 v_i^k（$\in V_1$）の施工所要時間 $d_i^k = \begin{cases} q_i^k / a_i^k & (v_i^k \in V_1) \\ d_i^k (=\text{const}) & (v_i^k \in V_2) \end{cases}$

作業 v_i^k（$\in V_1$）の施工開始時刻 t_i^k

工事期間　te

表－１　工事費用最小化モデルの定式化

３．実証的検討

本研究においては、「平成４年度版土木工事積算基準マニュアル」に積算事例として掲載されている山岳トンネル工事をモデル分析の対象として取り上げることとした。積算のために策定された工程計画案を初期案としてこのときの工期480日、総工事費用134,800万円を制約条件として、検討を行うこととした。ここで行う検討は、シミュレーションモデルの出力結果として得られる費用関数の設定方法と最適化モデルの解法についてである。

次に、本研究においては、実際工事を取り上げて実証的検討を行った。本モデルでは、５Stepで解の探索が終了し、工期において77日短縮され、総工事費用については4,471万円改善された工程計画案の策定を行うことが可能となった。（これらの検討内容は、膨大なものとなるため、講演時に述べることとする。）

４．おわりに

本研究においては、概略工程計画の代替案設計にあたって、「現象合理性」・「目的合理性」・「操作性」の確保を目指して、ハイブリッド型工程計画モデルの開発を行った。そして、山岳トンネル工事への適用を通じて、効率的で十分実用可能な方法であることがわかった。今後は、他工事への適用を行うことによって、本モデルの適用範囲を拡大していきたいと考えている。