

# 大規模土工事計画へのハイブリッド型 計画モデルの適用研究

A Study on Application of Hibryd Scheduling Model for Construction Project Planning with Large-Scale Earthmoving

|            |     |          |
|------------|-----|----------|
| 立命館大学      | 正員  | 春名 攻 *   |
| (株)建設技術研究所 | 正員  | 竹林 弘晃 ** |
| 立命館大学大学院   | 学生員 | ○滑川 達 *  |

By Mamoru HARUNA, Hiroaki TAKEBAYASHI and Susumu NAMERIKAWA

工事の大規模化に伴い建設工事における管理項目や基準は複雑化・多岐化の傾向にあるが、このような大規模な工事を安全かつ迅速・経済的に行うためには、工事計画のマネジメント分野においてもさらなる高度な計画・管理技術開発が要求される。

このような要請の下で本研究では工事マネジメント業務の中で中核的存在である工程計画の策定方法に着目し、合理的で説得力のある計画代替案を効率的に設計することが可能な計画代替案作成モデルの開発を行った。つまり、ハイブリッド型工事計画モデルと呼ばれる代替案評価のための新しい工事計画モデル手法を開発するとともに、土地造成工事計画を対象として実証的検討を行って、モデルの有用性の確認を行った。さらに、他種工事との比較検討によりハイブリッド型モデルの適用範囲の検討も行った。

【キーワード】建設マネジメント、概略工程計画、土地造成工事

## 1. はじめに

建設工事において安全・迅速・経済的に高品質な土木構造物を構築するために、新技術の開発促進・普及とともに、生産活動の合理化・高度化のための建設マネジメント技術の確立が強く求められている。そのためには、計画者の判断方法のシステム化などの自動化に努めるとともに、システムの高度化も図る必要がある。これまで、システム工学やオペレーションズ・リサーチに関する研究の発展にしたがい、線形計画法や非線形計画法、さらにはシステムシミュレーション技法などの実務分野への適用例も数多く試みられているが<sup>1) 2)</sup>、「いかにして施工プロセスの再現精度を落とさないで、合理的かつ効率的に

設計意図を反映させた計画代替案を設計するか」という課題に対しては、適当な解答が得られていないのが現状である。

本研究グループではこれまで、工事マネジメント業務の中で中核的存在である工程計画の策定方法に着目し、合理的で説得力のある代替案を効率的に設計可能な計画代替案作成モデルの開発を行ってきた<sup>3)</sup>。その中の一つとして、ハイブリッド型工事計画モデルという代替案策定のための新しい工事計画モデル手法を開発し、山岳トンネル工事をはじめとした大規模建設工事に適用してモデルの有用性を確認してきた<sup>4)</sup>。そこで今回、現在最も頻繁に行われている大規模工事の一つである土地造成工事計画を対象として実証的検討を行うとともに、他種工事との比較によりモデルの有用性の検討をも行うこととした。

\* 理工学部環境システム工学科 0775-61-2736

\*\* 道路本部技術第2部 06-944-7856

## 2. 従来の工程計画モデルの課題

建設工事の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・効率的に設計していくことは大変重要である。そしてその計画代替案の設計モデルは次のような要件を満足させなければならないといわれている<sup>9)</sup>。まず、第1に、問題を解決させ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することができることが重要である。次いで、その集合の中で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」を満足させなければならない。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ようなモデルであること、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。

このように、工事工程計画代替案の設計に関しては、上述の3つの要件のバランスが保たれているかどうかを測りながら分析を進めることが望ましい。

さて、これまでに開発されてきた計画モデルは、ヒューリスティックモデル、シミュレーションモデル、数理計画モデルに大別されるが、ここでは、まずこれらのモデルの概要と課題について考察すると以下ようになる。

まず、ヒューリスティックモデルは、計画者の経験則を有効に活用して、代替案の設計を行うことから、計画者の意図を反映した計画代替案を策定することが可能である。しかし、このアプローチによって計画代替案を策定する際には、妥当解は得られるものの、どうしてもそのプロセスに計画者の判断が数多く含まれているため、この部分の自動化を進めていくことによって最適化を目指していく必要がある。

次に、シミュレーションモデルは、現象解析を主な目的として開発されたモデルであり現象を分析目的に応じた精度で抽象化・簡略化して現象再現を行うモデルである。したがって、計画代替案の変更が容易に行われるか、シミュレーション実験を含めた計算時間に要する時間の長短をどうするか、等々がモデルの操作性を規定するが、これらの程度により

比較できる計画代替案も限定される。よって、最も望ましく目的にかなった計画代替案を求めるためには、想定しうるすべての計画代替案を比較・検討しなければならない。これまでの研究事例においては、少数の計画案の比較・検討で妥協しているケースが少なくないというのが実状のようである。

一方、数理計画モデルでは、計画目的や実行可能性の条件を、目的関数の最大化あるいは最小化という形や制約条件という形で数学的に定式化して表現し、最適化手法を用いて実行可能解領域内で最適解を求めるためのモデルの総称である。したがって、このモデルを用いて計画代替案を設計するためには、計画目的や実行可能性の条件を明確にし、これを関数表現化して計画モデルとして定式化し最適計算を行って最適解を求めるという手順をとる。一般に、このモデルにおいては、現象メカニズムを制約条件を含めてすべてを関数式として表現をしておく必要があり、計画目的追求のために目的関数として表現された評価尺度が最大あるいは最小となるように計画変数を操作する必要がある。しかし、計画問題で取り扱わなければならない現象の中には、非線形性や複合性、さらには離散値などの特徴を有するものが多く連続関数の連立方程式では十分に表現できないものも多い。したがって、これらの現象を数理計画モデル単独で取り扱おうとすると、現象を単純化して取り扱ったり一部を削除して表現するという「歪み」を生じ、現実の現象とかけ離れてしまう場合も少なくない。

以上のように、これまでに開発されてきた工程計画モデルは、望ましい計画代替案を設計するという目的を十分達成するために満足すべき3つの要件である「現象合理性」・「目的合理性」・「操作性」に対してはそれぞれ一長一短とのある形となっている。

## 3. ハイブリッド型工程計画モデルの概要

本研究では、以上に述べた工程計画モデルの課題を解決することを目的としてモデルを構築することとした。つまり本モデルは、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

る最適化モデルとを混成させる型の、「ハイブリッド型工程計画モデル」とすることとした。すなわち、モデル構成としては「まず、シミュレーションモデルに初期条件である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解の変化がなくなるまで繰り返し、最適解（ここでは、初期計画代替案の改良から求められる最も望ましい計画代替案を最適解と呼ぶ）に到達しようとするものである。

以上のことから本モデルは、シミュレーションモデルで保証される現象メカニズムの範囲内で、計画代替案を規範的に設計して行くためのモデルであり、モデルの運用の面からは、数理計画モデルのカテゴリーに属する。しかし、一般の数理計画モデルが、現象メカニズムを規定する拘束条件の役割を数学的な関数式系に担わせているのに対して、本モデルは、その役割をシミュレーションモデルに担わせているところに本質的な相違がある。

以下においては、こうした特徴を持つハイブリッド型モデルを、概略段階での土地造成工事計画案策定に適用し、検討を加えることとする。

#### 4. 土地造成工事計画案策定の問題

現在の概略土地造成工事計画を作成するにあたっては、さまざまな問題が複雑に絡んでおり、また自由度が大きいため、計画者の意志決定における判断基準、評価要因に対する重要性は高まっている。さらに、現状においては、熟練技術者の経験・知識にもとづいて計画案の作成を行っているために、複数の計画案を詳細に検討することは多大な労力を要する。そこで今回は、ハイブリッド型モデルを土地造成工事に適用することにより、合理的な計画案の策定方法を開発することとした。

土地造成工事計画は、図-1に示すように対象地のモデル化、土量配分計画、運土計画、機械計画、工程計画、費用計画、等々で構成されており、各計画案がすべて望ましい計画案であってはじめてトー

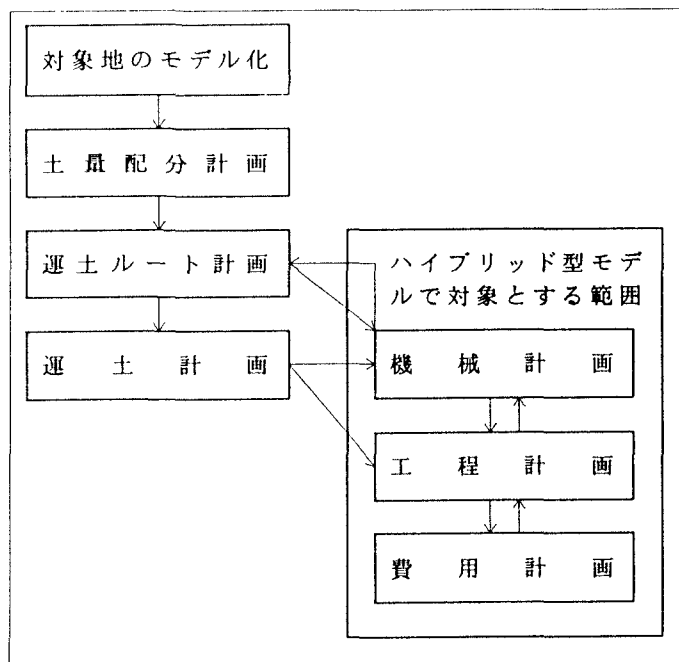


図-1. 土地造成工事計画の策定手順

タル的に望ましい土地造成工事計画案であるといえる。しかし、各段階での計画案は、相互に複雑に絡んでおり、トータル的な計画案の正否を一つの指標で判断することは困難である。そこで本研究では、土工事計画を階層的に策定可能なものと考え、運土計画までの策定をハイブリッド型モデルの与条件とすることとした。そして、ハイブリッド型モデルで対象とする計画案策定の範囲を機械計画、工程計画、費用計画に限定するとともに、相互の利害関係を反映させた望ましい計画案を策定するという方法を用いることとしたのである。

#### 5. 土地造成工事計画へのハイブリッド型計画モデルの導入

土工事特性として一定期間内に大量の土砂を移動させる場合が多い。このため、工期内に安全でできるだけ費用が少ない工事を行うためには、的確な調査結果にもとづいて十分な検討を行い、大きな計画の変更が生じないような計画案を作成しておくことが重要である。一般に、土工事施工では、投入土工機械によって大きく工期や費用は変動する場合が多い。また、施工途中で工期に間に合わないために土工機械を変更すると、費用などの面で大きなロスとなり品質や安全性の問題も生じてくる。このため、工事開始後に投入機械を変更することは大きな無駄であり、当初計画案の策定時には事前に十分な検討

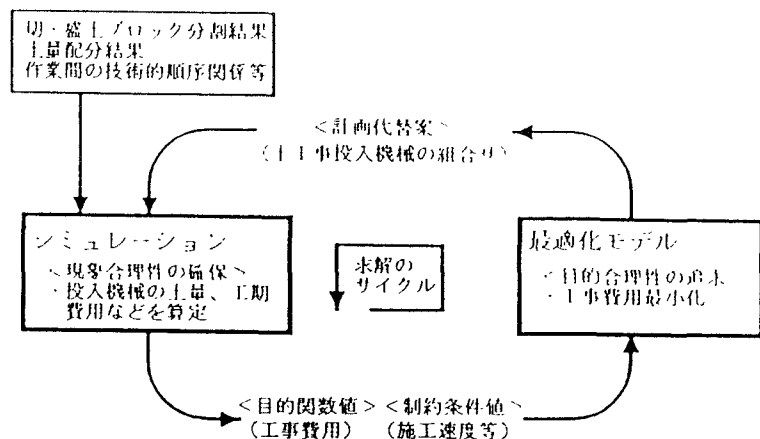


図-2. ハイブリッド型工事計画モデルの構成

をシステマティックに行うことが重要である<sup>6)</sup>。

以上の概念にもとづき、本モデルでは、図-2に示すようなモデル構成とした。すなわち、「まず、シミュレーションモデルに投入する土工機械の組合せ案を入力し、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（投入土工機械の組合せ）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解の変化がなくなるまで繰り返し、最適解（最も望ましい投入土工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。

以下においては、ハイブリッド型工事計画モデルの構成要素であるシミュレーションモデルと最適化モデルについて述べることとする。

#### (1) シミュレーションモデルの構成

土の運搬を行う土工の作業工程は、大きく分けて「掘削→積込→運搬→敷均」といった作業の流れで行われる。当然、それぞれの作業は全く異なった役割・形態を有しており、各作業に適合する機械も異なってくる。本研究では、現在使用頻度の高い種類の土工機械を、ブルドーザ系、スクレーパ系、ショベル系、ダンプ系、タイヤドーザ系、等々の種類別に分別し、それぞれの機械の種類・規格・台数を現場条件に合わせた組み合わせを行い、シミュレーションを実行することとした。

本研究で作成した土工シミュレーションの概略フローは図-3のようである。つまり、まず種々の

現場条件から各作業ブロック、作業ごとに投入機械の可能な限りの組み合わせを行う。ここで組合せ可能な土工機械は79機種を想定している。次に、運搬距離や勾配、土質といった現場データから適用可能な土工機械を各作業ごとにあてはめ、施工能力算定システムを用い作業間の待ちを考慮し、その現場にリアリティのあるサイクルタイムや時間当り施工能力を算出する。その算定式の一例を表-1に示しておく。また、各機械のサイクルタイムの算定には、ある種の確率分布として与えることにより確率論的に取り扱う方法を採用する。そして、工程計画算定システムによって、作業ブロック間の順序関係から得られる各作業ブロックと施工能力の制約に見合った土工機械の組み合わせを選定し、スケジューリングを行う。最後に、工事費用算定データベースを用いて、土工機械投入費用などの直接費用と、労務費、燃料費といった間接費用の算出を行う。

#### (2) 最適化モデルの構成

最適化モデルは、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た。つまり、工事費用の最小化を図るために表-2に示す内容をもった最

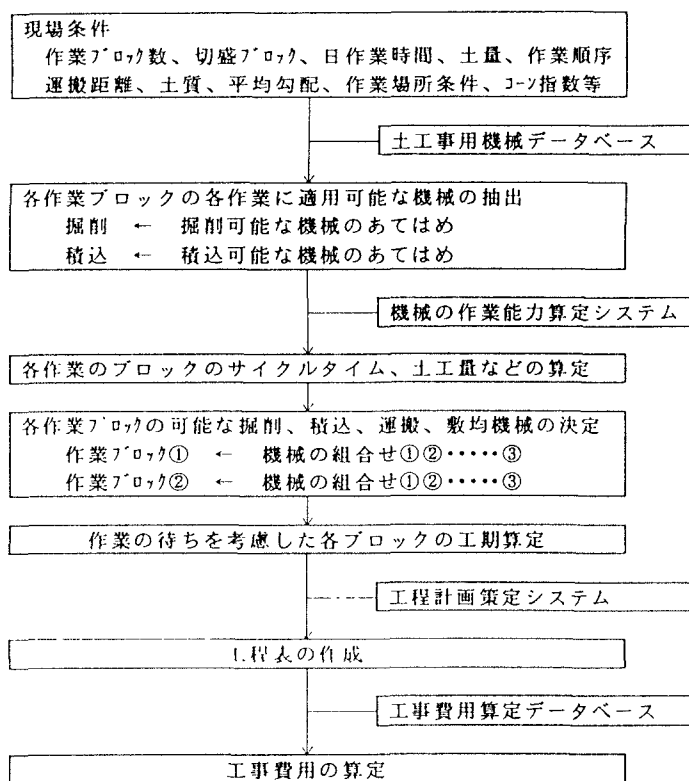


図-3. 土工シミュレーションの内容

表-1. 土工事機械の施工能力算定式の一例

バックホウの作業能力の算定

・ サイクルタイム (Cm1)

機械能力  $\leq 0.4 \text{ m}^3$  → Cm1 = 0.267

$0.4 \text{ m}^3 < \text{機械能力} \leq 0.7 \text{ m}^3$  → Cm1 = 0.300

$0.7 \text{ m}^3 < \text{機械能力} \leq 1.0 \text{ m}^3$  → Cm1 = 0.333

$1.0 \text{ m}^3 < \text{機械能力}$  → Cm1 = 0.350

・ 1 サイクル当り掘削量 (qB)

土質: ① 砂、砂質土 → qB = 機械能力  $\times$  0.98

② レキ質土 → qB = 機械能力  $\times$  0.98

③ 粘性土 → qB = 機械能力  $\times$  0.80

④ 岩塊、玉石 → qB = 機械能力  $\times$  0.70

・ 作業効率 (SAE)

土質: ① 砂、砂質土、② レキ質土、③ 粘性土

場所: ① 良好 → SAE = 0.75 (掘削土)、= 0.80 (ほぐした土)

② 普通 → SAE = 0.60 (掘削土)、= 0.65 (ほぐした土)

③ 不良 → SAE = 0.45 (掘削土)、= 0.50 (ほぐした土)

② 岩塊、玉石

場所: ① 良好 → SAE = 0.65

② 普通 → SAE = 0.50

③ 不良 → SAE = 0.35

・ 土量換算係数 (DOF)

土質: ① 砂、砂質土、② レキ質土 → DOF = 1.00 (掘削土)、DOF = 1.20 (ほぐした土)

③ 粘性土 → DOF = 1.00 (掘削土)、DOF = 1.25 (ほぐした土)

④ 岩塊、玉石 → DOF = 1.00 (掘削土)、DOF = 1.20 (ほぐした土)

・ 運転 1 時間当りの作業量 (DORYO)

$$DORYO = 3600 \times qB \times DOF \times SAE / Cm1$$

モータースクレーパの作業能力の算定

・ サイクルタイム (Cm1)

土質: ① 砂、砂質土 → VH = 400, VR = 500

② レキ質土、④ 岩塊、玉石 → VH = 600, VR = 650

③ 粘性土 → VH = 300, VR = 400

$$H = FKYORI(11)$$

$$T = 2.4$$

$$R = 35 + H + 40$$

$$Cm1 = H / VH + R / VR + T$$

・ 1 サイクル当り掘削量 (qB)

土質: ① 砂、砂質土 → qB = 機械能力  $\times$  0.76  $\times$  0.85

② レキ質土 → qB = 機械能力  $\times$  0.76  $\times$  0.80

③ 粘性土 → qB = 機械能力  $\times$  0.76  $\times$  0.80

④ 岩塊、玉石 → qB = 機械能力  $\times$  0.76  $\times$  0.80

・ 作業効率 (SAE)

場所: ① 良好 → SAE = 0.90

② 普通 → SAE = 0.85

③ 不良 → SAE = 0.80

・ 土量換算係数 (DOF)

土質: ① 砂、砂質土、② レキ質土 → DOF = 1.00 (掘削土)、DOF = 1.20 (ほぐした土)

③ 粘性土 → DOF = 1.00 (掘削土)、DOF = 1.25 (ほぐした土)

④ 岩塊、玉石 → DOF = 1.00 (掘削土)、DOF = 1.20 (ほぐした土)

・ 運転 1 時間当りの作業量 (DORYO)

$$DORYO = 60 \times qB \times DOF \times SAE / Cm1$$

適化モデルを開発した。なお、モデルの定式化は表－3に示されるとおりであり、目的関数は費用関数（直接費用  $f(\alpha_i)$ ・間接費用  $f(\beta)$ ・一定費用  $f(\gamma)$ ）の和によって構築した工事費用の最小化であり、制約条件は、施工速度の範囲とスケジュールによる制約である。また操作変数は、工種作業  $v_k \in V_1$  の開始時刻  $t_k$  と施工速度の関数で表現される所要時間  $d_k$  である。よって、費用関数が直線で表わせるときは、「目的関数が線形で、制約条件が非線形の数理計画問題」、費用関数が曲線で表わせるときは「目的関数、制約条件とも非線形の数理計画問題」となることは明らかである。また、各費用の関数形は、シミュレーションモデルの出力情報により決定される。

また解法としては、本問題が制約条件付き最適化問題であることから、ペナルティ関数法などを用いて修正目的関数に式を変換することにより無制約最適化問題に置き換えて解くこととした。

### 6. 実証的検討

ここでは、これまで述べたような形で開発したハイブリッド型土工事計画モデルを、図－4のように切土ブロックが4つと盛土ブロックが5つに分割された土工量409,142m<sup>3</sup>で、全体の制約工期が1年7ヶ月の山間部中規模宅地造成工事を対象として実証的検討を行った。

土量配分結果を始めとする計画検討の与件情報をもとに、費用関数を1次式としてハイブリッド型計画モデルを適用して計算を実行した結果、表－4に示すように5Stepで最適解が探索された。この結果初期計画案よりも工期で18日、費用にして14,498千円（約12.7%の低減）の改善がなされている。なお、改善された工程計画案は図－5に示すように計画されている。また、機械計画では図－6に示すように、初期計画案と比べると探索過程が進むにつれて機械の機種が減少しており、最終的には最も効率よく機

表－2. 最適化モデルの内容

|       |                                        |
|-------|----------------------------------------|
| 与件    | 工種作業間の技術的施工順序関係                        |
| 評価方法  | 工事費用の最小化                               |
| パラメータ | ブロック分割数<br>ブロック間の管理的施工順序関係             |
| 計画変数  | 施工速度                                   |
| 制約条件  | 工期<br>施工速度の変更可能な範囲<br>施工間隔（安全性、施工性の確保） |

表－3. 工事費用最小化モデルの定式化

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <目的関数><br>$C = \sum_k \sum_i f(\alpha_i) + f(\beta) + f(\gamma) \rightarrow \min$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
| <制約条件><br>$\Lambda_k^1 \leq a_k^1 \leq \Lambda_k^2, \dots \dots \dots \text{施工速度の制約}$ $t_k \geq 0 \quad (t_k \in V_1)$ $-t_k - d_k + t_e \geq 0 \quad (P v_k v_k^* = 1 \text{ のとき})$ $-t_k - d_k + t_e \geq 0 \quad (v_k \in V_1)$ $d_k = \begin{cases} q_k^1 / a_k^1 & (v_k \in V_1) \\ d_k & (v_k \in V_2) \end{cases}$ $P = \text{const}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| <記号の定義><br>C : 工事費用<br>$f(\alpha)$ : 直接費用, $f(\beta)$ : 間接費用, $f(\gamma)$ : 一定費用<br>工種作業 $i \ (i = 1, 2, \dots, I)$<br>施工ブロック $k \ (k = 1, 2, \dots, K)$ での工程 } $v_k$<br>$v_k$ の集合 $V = \begin{cases} V_1 : \text{実作業の工程} \\ V_2 : \text{時間間隔確保のための工程} \end{cases}$<br>作業の順序関係 $P = \begin{cases} P^T : \text{技術的順序関係} \\ P^R : \text{管理的順序関係} \end{cases}$<br>$P = P^T + P^R$<br>$P v_k v_k^* (\in P) = 1 : v_k^*$ は $v_k$ の先行作業<br>作業 $v_k (\in V_1)$ の $\begin{cases} \text{施工数量 } q_k^1 \\ \text{施工速度 } a_k^1 (\Lambda_k^1 \leq a_k^1 \leq \Lambda_k^2) \end{cases}$<br>作業 $v_k (\in V_1)$ の施工所要時間 $d_k = \begin{cases} q_k^1 / a_k^1 & (v_k \in V_1) \\ d_k (= \text{const}) & (v_k \in V_2) \end{cases}$<br>作業 $v_k (\in V_1)$ の施工開始時刻 $t_k$<br>工事期間 $t_e$ |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |

械を用いている計画案が選定されていることがわかった。つまり、機械の機種・台数が比較的多い計画案は、莫大な投入費用を要するため直接工事費は上昇する。しかし、能力が不足気味の機械編成にすると工期が大きくなり間接費が増大する形となっている。そして、この結果、作業の空白部分が大きいほど機械を放置していることになって無駄となるため、効率的な機械編成と管理的順序関係を持ち合わせた工程計画案を最適計画案として探索できたと考える。

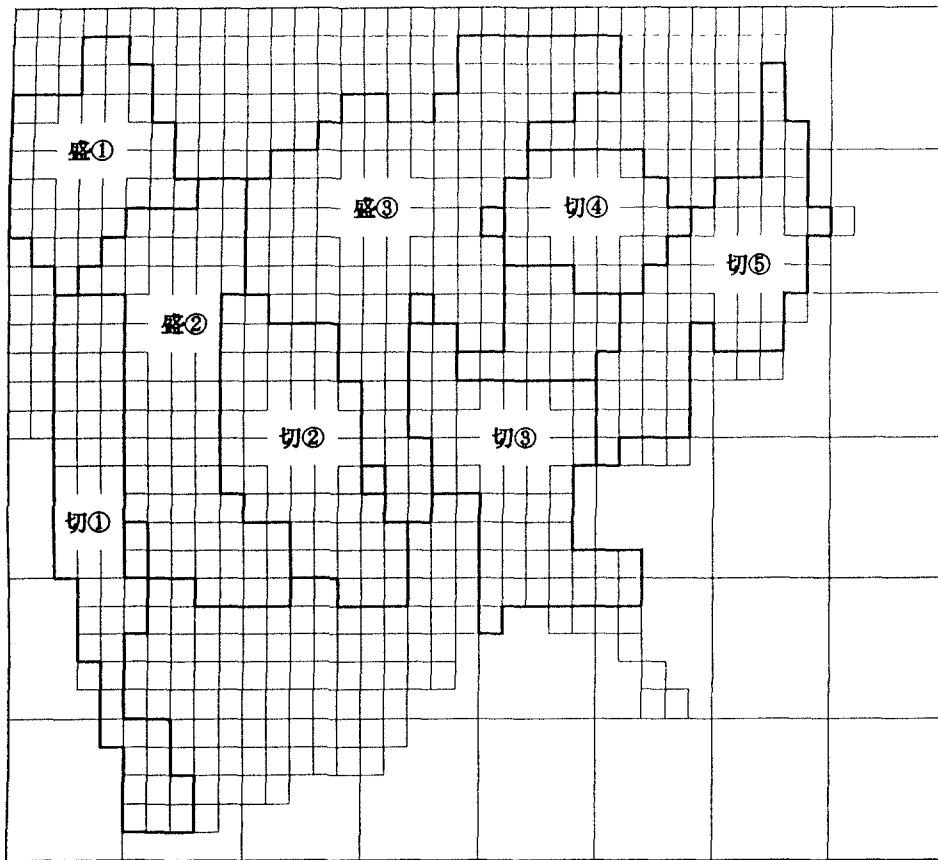
以上のように、実際の工事に適用することにより当初計画案よりかなりの改善がみられたことから、

土工事での本モデルの有効性が実証されたといえよう。

## 7. モデルの操作性に関する検討

ハイブリッド型工程計画モデルを用いて実際の工程計画問題を検討すると、モデルの構造が多層化しているため計算量は飛躍的に大きくなり複雑化する。そこで、ここでは計画案策定時に重要とされる「操作性」を確保することを検討しておくために、モデルの運用に関する考察を行っておくこととする。

本モデルを用いての検討における計算量を低下させ操作性を向上させるためには、費用関数の設定に関する

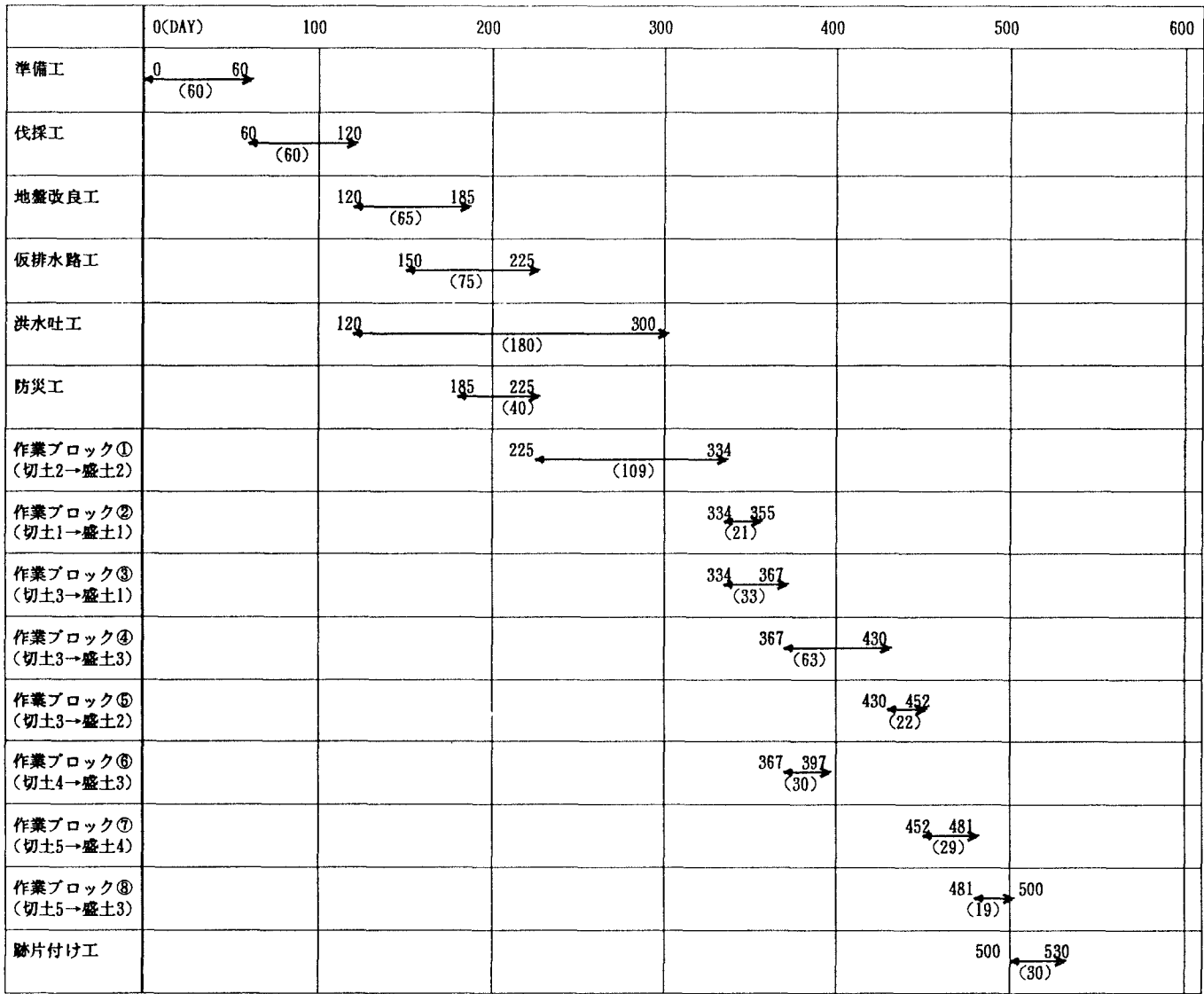


図－4. 対象地の切・盛土ブロック図

表－4. 対象工事の探索結果

<<計画代替案>>

|                                         | step. 1   |           | step. 2   |           | step. 3   |           | step. 4   |           | step. 5   |
|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                         | シミュレーション  | 最適化       | シミュレーション  | 最適化       | シミュレーション  | 最適化       | シミュレーション  | 最適化       | シミュレーション  |
| 作業ブロック①<br>切土2→盛土2<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 211<br>77 | 211<br>77 | 206<br>80 | 206<br>80 | 214<br>75 | 214<br>75 | 217<br>73 | 217<br>73 | 217<br>73 |
| 作業ブロック②<br>切土3→盛土1<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 94<br>20  | 170<br>11 | 94<br>20  | 178<br>11 | 119<br>16 | 179<br>11 | 179<br>11 | 130<br>14 | 130<br>14 |
| 作業ブロック③<br>切土1→盛土1<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 450<br>25 | 448<br>25 | 557<br>21 | 557<br>21 | 557<br>21 | 557<br>21 | 557<br>21 | 510<br>22 | 510<br>22 |
| 作業ブロック④<br>切土3→盛土3<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 225<br>38 | 225<br>38 | 222<br>38 | 222<br>38 | 216<br>40 | 216<br>40 | 216<br>40 | 207<br>42 | 207<br>42 |
| 作業ブロック⑤<br>切土3→盛土2<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 146<br>21 | 206<br>16 | 213<br>16 | 213<br>16 | 113<br>17 | 113<br>17 | 113<br>17 | 219<br>15 | 219<br>15 |
| 作業ブロック⑥<br>切土4→盛土3<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 237<br>32 | 237<br>32 | 223<br>34 | 313<br>24 | 336<br>48 | 313<br>24 | 313<br>24 | 376<br>20 | 376<br>20 |
| 作業ブロック⑦<br>切土5→盛土4<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 120<br>23 | 127<br>21 | 152<br>21 | 128<br>21 | 122<br>23 | 122<br>23 | 141<br>19 | 141<br>19 | 141<br>19 |
| 作業ブロック⑧<br>切土5→盛土3<br>能力(m³/h)<br>工期(日) | 432<br>17 | 432<br>17 | 376<br>20 | 553<br>14 | 514<br>14 | 514<br>14 | 554<br>13 | 554<br>13 | 554<br>13 |
| 全体工期(日)                                 | 212       | 220       | 197       | 190       | 189       | 189       | 185       | 184       | 184       |
| 工事費用(千円)                                | 114, 567  | 108, 725  | 108, 315  | 107, 718  | 102, 784  | 100, 357  | 100, 218  | 100, 069  | 100, 069  |



図－５．改善された工程計画案

る検討が必要不可欠である。すなわち、費用関数を高次式にするほど信頼性の高い関数形であると一般的に考えられるが、あまり高次にすると図－７に示す探索Stepと費用関数の次数との関係からも明らかなように操作性は著しく低下するといえる（前節の対象地より実証）。実際の検討として行った、１次式、２次式、３次式と目的を変化させた今回の検討結果を比較すると、ほとんど大差はない結果となっていた。また本研究グループでは、これまで山岳トンネル工事やコンクリートダムを対象として、ハイブリッド型計画モデルの実証性の検討を行っている<sup>4)</sup>。そこでの費用関数の設定方法の検討結果においても、１次関数で十分であるという結果が得られている。よって、土地造成工事計画の場合においても、操作性を向上させるため、費用関数は１次式で行う方が最良であると結論付けることができる。

## ８．おわりに

本研究においては、土地造成工事工事計画への適用を通じて、最適化モデルとシミュレーションモデルの長所を併せもつハイブリッド型工程計画モデルの開発を行い実証的検討を行った。

本研究の成果として以下のようなものが上げられる。

（１）最適化モデルとシミュレーションモデルの長所を併せもつハイブリッド型工事計画モデルを構築することにより、工事計画案の代替案作成にあたって必要とされる「現象合理性」、「目的合理性」の確保が可能となるとともに、本モデルの有効性・効率性を確認することができた。

（２）工事費用を評価アイテムとすることにより、経済性をも考慮したよりリアリティのある代替案を

|                    | 0(DAY) | 50 | 100             | 150       | 200      |
|--------------------|--------|----|-----------------|-----------|----------|
| バックホ 2.0m³ ①       | 0      | ①  | 77②88           | 140⑤ 156  |          |
| ダンプトラック 20.0t ①    |        |    | 102 ④ 140       | 172 ⑦ 193 |          |
| ②                  |        |    | 102 ④ 140       | 172 ⑦ 193 |          |
| ③                  |        |    | 102 ④ 140       | 172 ⑦ 193 |          |
| ダンプトラック 32.0t ①    | 0      | ①  | 77②88           | 140⑤ 156  |          |
| ②                  | 0      | ①  | 77②88           | 140⑤ 156  |          |
| ブルドーザー 3.0t ①      |        |    | 140⑤ 156        | 172 ⑦ 193 |          |
| ブルドーザー 6.0t ①      | 0      | ①  | 77②88 102 ④ 140 | ⑥ 172     |          |
| ブルドーザー 11.0t ①     |        |    | 77 ③ 102        |           | 193 ⑧210 |
| トラクタショベル 1.8m³ ①   |        |    | 102 ④ 140       | 172 ⑦ 193 |          |
| ②                  |        |    | 102 ④ 140       |           |          |
| モータスクレーパー 16.0m³ ① |        |    | 77 ③ 102        | 140 ⑥ 172 | 193 ⑧210 |
| ②                  |        |    | 77 ③ 102        | 140 ⑥ 172 | 193 ⑧210 |
| ③                  |        |    | 77 ③ 102        | 140 ⑥ 172 | 193 ⑧210 |
| ④                  |        |    | 77 ③ 102        | 140 ⑥ 172 | 193 ⑧210 |



|                    | 0(DAY) | 50 | 100           | 150                 | 200     |
|--------------------|--------|----|---------------|---------------------|---------|
| バックホ 2.0m³ ①       | 0      | ①  | 73 ② 87 95    | ④ 137 ⑤ 152⑦171     |         |
| ダンプトラック 15.0t ①    | 0      | ①  | 73 ② 87 95    | ④ 137 ⑤ 152⑦171     |         |
| ②                  | 0      | ①  | 73 ② 87 95    | ④ 137 ⑤ 152⑦171     |         |
| ③                  | 0      | ①  | 73 ② 87 95    | ④ 137 ⑤ 152⑦171     |         |
| ブルドーザー 3.0t ①      | 0      | ①  | 73 ② 87 95    | ④ 137 ⑤ 152⑦171⑧184 |         |
| ②                  | 0      | ①  | 73 ③ 95 ⑥ 115 | 137 ⑤ 152⑦171⑧184   |         |
| ③                  | 0      | ①  | 73 ③ 95 ⑥ 115 | 137 ⑤ 152⑦171⑧184   |         |
| モータスクレーパー 24.0m³ ① |        |    | 73 ③ 95 ⑥ 115 |                     | 171⑧184 |
| ②                  |        |    | 73 ③ 95 ⑥ 115 |                     | 171⑧184 |
| ③                  |        |    | 73 ③ 95 ⑥ 115 |                     | 171⑧184 |

図-6. 機械計画案の変化

を与条件とした場合の最適解を求めているものとなっている。これは、工程計画問題においてこのような大域的な最適解を求めることは、必要となる計算量が増大し、モデルの「操作性」において現実的ではないと考えたためである。今後さらに計画代替案の妥当性を高めていくためには、初期計画代替案の設定に際する検討が重要であると考えている。このため本研究においては、そのためのエキスパートシステムの構築を考えており、これは今後の課題の課題といえる。

最後に本研究を行うにあたり、貴重な資料の提供やご助言をいただいた東洋建設(株)の竹中弘治氏、大音宗昭氏に対して深

選択できるようにした。

(3) 代表的な大規模建設工事である土地造成工事を対象とすることにより、大幅な計画案の改善が成されたため、ハイブリッド型モデルの適用範囲の拡大が成された。

また、本モデルにおいては厳密な意味での最適解、すなわち大域的な最適解が求められているという保証はない。つまり、解探索における初期計画代替案

く感謝の意を表する次第である。

#### 【参考文献】

- 1)河原畑良弘, 春名攻, 岡本伸一: 岩石トンネル工事計画における機械系の決定プロセスに関する研究, 土木学会論文報告集 第328号, 1982年
- 2)Fiacco, A. V. and McCormick, G. P. : Nonlinear Programming : Sequential Unconstrained Minimization Techniques, John Wiley & Sons , 1968.

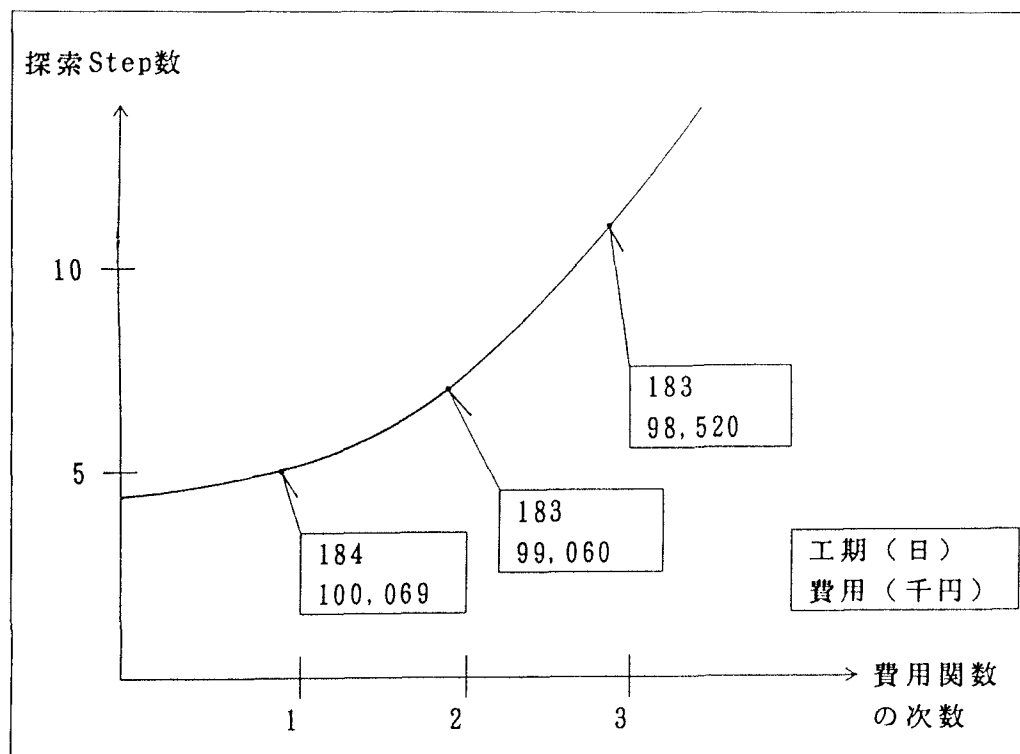


図-7. 探索Stepと次数の関係

3) 春名攻, 辻井裕, 小林隆志: トンネル工事計画のシステム化に関する研究—掘削投入機械の選定方法について—, 第15回土木計画学研究発表会講演集, 1992年

4) 春名攻, 辻井裕, 竹林弘晃: ハイブリッド型建設工事工程計画モデルの開発に関する実証的研究—大規模トンネル工事を対象として—, 第16回土木計画学研究発表会講演集, 1993年

5) 吉川和宏, 春名攻, 多々野裕一: 都市化流域における治水計画問題のモデル分析, 土木計画学研究論文集(2), 1985年

6) 三島八郎: 宅地造成工事の調査と設計と施工, 鹿島出版会, 1991年

### *A Study on Application of Hibryd Scheduling Model for Construction Project Planning with Large-Scale Earthmoving*

In this study, a new type scheduling model called hybrid scheduling model combining system simulation model for actual construction implementation process under a certain construction planning and mathematical construction planning model for obtaining better solution of planning evaluating result from simulation model operation.

Applying this hybrid scheduling model to construction plannig of large-scale earthmoving project, it is confirmed that this model works well to obtain a desirable and practical construction planning of large-scale eathmoving project.