

大規模土工の工程計画のシステム化に関する一考察

京都大学工学部 正員 吉川 初広
 京都大学工学部 正員 山本 幸司
 京都大学大学院 学頭 大石 嗣雄

1. はじめに 土工工事は基本的な作業の連続にもかかわらず、設計段階においては作業量や作業内容を明確に把握することが困難であり、また作業間の順序関係が一義的に決定できないため、工事施工の確実性・迅速性・経済性を詳細に検討しうる施工計画ならびに施工管理方法が確立されていなかった。そこで筆者らは、従来のように技術者の経験や勘に頼る方法だけでなく、客観的かつシステムティックな計画立案・評価検討が可能な方法論として図-1に示す「大規模土工の施工計画システム」を提案した。これによって計画システム全体としての整合性の追求および客観的評価体系の確立という所期の目的もある程度達成することができた。しかし工程計画のプロセスに関しては試行錯誤的アプローチの域を脱しきれなかったため、本稿では工程計画作成のプロセスに対しても客観的かつシステムティックな方法の導入を試みることにする。

2. 大規模土工の施工計画システム これは大規模土工の計画プロセスを1つのシステムとしてとらえ、このシステムを構成する各サブシステムに対して、可能な限り各種OR技法を導入して客観的なモデル分析を実施し、これをもとに設計しうる計画代替案に対して客観的・総合的な評価検討を加えることが可能となる計画策定プロセスである。以下では図-1のフロー図に基づいてその内容を概説する。

(1) 計画への入力プロセス 自然情報、設計情報、および社会情報を作成するプロセスであるが、これらの内容は変更不可能な条件として扱う。

(2) 計画情報作成のプロセス 土量配分計画と土工機械系の選定情報作成から成り、前者に関してはほぼした状態の土量を変数とし仕事量($m \times m^3$)を目的関数とちる輸送問題として定式化した。一方後者に関しては、待ち行列理論では土工機械系の複雑な稼働状況を十分にモデル化しえないため、モンテカルロシミュレーションを導入した。

(3) 作業計画作成のプロセス 土量配分計画の結果を利用して実施工の対象となる単位作業を決定し、それらに最適な土工機械系を割付け、さらに単位作業ごとの所要費用および所要日数を概算するプロセスである。このうち単位作業の決定に関しては

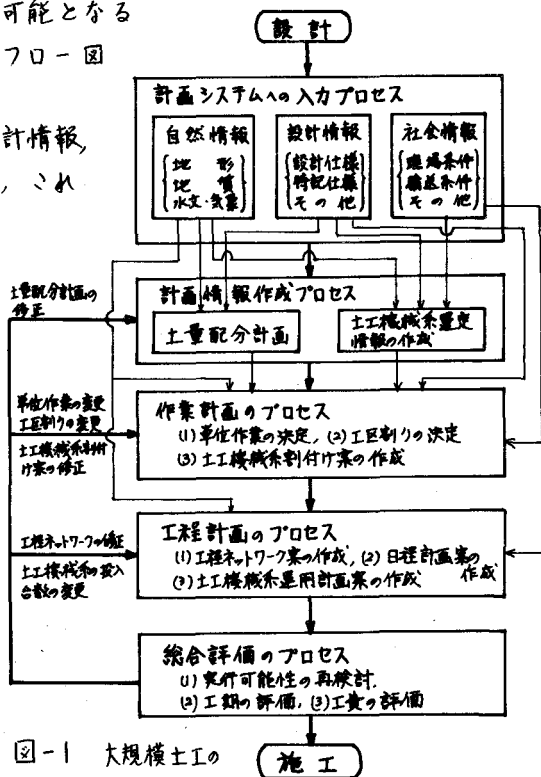


図-1 大規模土工の施工計画システム

次式のように異土作業間の類似度を定義するクラスター分析モデルを提案した。(図-2参照)

$$d_{ij} = k_1 SD_{ij} + k_2 ED_{ij} + k_3 WD_{ij} + k_4 DD_{ij} + k_5 VD_{ij} \quad \text{ここに, } d_{ij}: \text{異土作業 } i \text{ と } j \text{ の類似度, } SD_{ij}: \text{始点間距離, } ED_{ij}: \text{終点間距離, } WD_{ij}: \text{方向間距離, } DD_{ij}: \text{距離間距離, } VD_{ij}: \text{異土量間距離, } k_i: \text{相対的な重み係数}$$

次に単位作業への土工機械系の割付けに関しては、土工機械系の投入台数や稼働可能時間の制約を考慮に入れて次のように定式化した。

$$\begin{cases} \text{制約条件} & \sum_{j=1}^n (n_{ij}/N_{ij}) \leq H_i, \sum_{i=1}^m Q_{ij} n_{ij} = W_j, n_{ij} \geq 0 \\ \text{目的関数} & Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \{C_i + (1+\alpha_i) d_i / D_i\} \cdot (n_{ij}/N_{ij}) \rightarrow \min \end{cases}$$

単位作業 j の異土量, C_i (円/時): 稼働時間当り経費, d_i (円/台): 使用日当り経費, D_i (時/日): 稼働日当り標準稼働時間, α_i : 作業不能日数率

ここに, n_{ij} (回): 単位作業 j のうち土工機械系 i に施工する異土回数, N_{ij} (回/時): その時間当り異土回数, Q_{ij} (m³/回): その平均積載容量, H_i (時): 土工機械系 i の総稼働可能時間, W_j (m³): 単位作業 j の異土量

これは拡張型輸送問題としての定式化となっているため拡張係が右辺い法によって解析できるが、各土工機械系 i の並休日数を無視したときの割付けモデルである。

(4) 工程計画作成のプロセス 単位作業をアクティビティとする工程ネットワーク代替案を作成し、それに対して日程計画および土工機械系の運用計画などを策定するプロセスであるが、これに関するシステムアプローチの方法については3.で詳しく述べる。

(5) 総合評価のプロセス ここでは、まず(i)土工工事の実行可能性が十分に保証されているかを検討し、次に(ii)工事所要費用が十分に低廉か、(iii)工事所要日数が所与の工期内に十分おさまっているかをチェックすることによって計画代替案を総合的に評価する。

3. 工程計画のシステム化に対するアプローチ 2.で述べたように、計画情報作成のプロセスおよび作業計画作成のプロセスに関してはOR手法の導入によって客観的な評価検討が可能となった。しかし工程計画作成のプロセスにおいては各単位作業間の施工順序決定上の自由度があまりにも大きすぎるため、最適工程ネットワークを作成することは非常に困難視され、また一方で土工機械系の割付けや日程計画および土工機械系の運用計画の作成と一体化して扱うべきことが指摘される。そこで本稿では図-1に示したような方法論に基づいて実行可能かつ経済的な工程ネットワークの作成方法を検討した結果、①割当作業量が多く、所要経費が高い土工機械系の運用計画を優先させる、②土工機械系の幅狭による作業効率の低下を避けるため、異土方向の矢印が交差する作業は着手時期をずらす、③原則として異土距離の短い単位作業、トラフカビリティ確保の容易な機械系から着手する、④なるべく隣接する単位作業、工区へ移行し、作業段取りの手間を省力化する、⑤可能な限り並列型の工程ネットワークとなるよう考慮する、などの項目について検討すればよいことが明らかとなった。またその具体的な手順としては、(i)まず施工技術的な条件から決定される順序関係をマトリックス表示する、(ii)施工技術的な順序関係を無視して各土工機械系ごとに最適な運用計画を立案する、(iii)ついで施工技術的な順序関係を示すマトリックスを利用して運用計画を順次修正する、という方法が考えられた。具体的なアルゴリズムおよび適用事例は講演時に説明する。

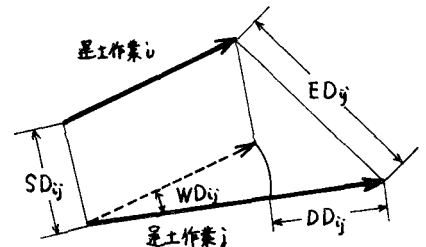


図-2 クラスター分析モデルの個体間距離の概念図