

線形構造物工事を対象とした工程計画方法に関する研究

—座標式工程モデルのトンネル工事への適用を中心として—

立命館大学理工学部 正 員 春名 攻

立命館大学大学院 学生員 〇原田 満

立命館大学理工学部 学生員 辻井 裕

1. はじめに

今日までの工程計画の多くは、現場技術者の経験や勘といったノウハウにもとづいて策定されてきたが、近年の建設現場においては多種多様な問題が生じてきており、工事施工にあたっては、従来にもまして総合的かつ体系的な事前検討を行うことが重要である。そこで、本研究においては、工程計画の中核的存在である概略工程計画に着目し、計画者の経験を有効活用するヒューリスティックな工程計画支援情報システムの開発研究を行った。そして、この概略工程計画システムをNATM工法を用いたトンネル工事への適用を試みるとともに、トンネル工事における特徴であるサイクル・タイムの検討を行うことにより実行可能性の高い概略工程計画策定作業のシステム化のための方法論的検討を行った。

2. 概略工程計画策定システムの開発

(1) システム開発のための検討

概略工程計画を策定するにあたって、個別的で複雑な建設工事を明確化するために工事階層図を採用した。また、工程計画方法には、不確実性を排除するために積み上げの作業計画化を行なうボトムアップの流れと、全体作業工程を具体化のためにブレイクダウンをしていくトップダウンの流れの2つの流れを併用することとしているが、これらの工程計画の策定には、現場技術者の豊富な現場経験則を活用することとした。

これらの概念より本研究においては、概略工程策定プロセスを①施工諸条件の設定②工程表アクティビティの設定③概略工程シミュレーション④概略工程の評価、検討の4つのステージに設計し、このプロセスをもとにしてシステムの開発を行った。

(2) スケジュール計算方法

従来、スケジュール計算にあたってはPERT/TIMEが用いられてきたが、本研究では、座標式工程表を用いており、また、工種とブロックの2つの階層をアクティビティにしていることから施工順序関係を図-1に示すように設定し、新たなスケジュール計算方法を開発した。

また、掘削工法がベンチカット工法のような場合について垂直方向にも工区分割が行われていることになり、ユニット間の先行ブロックと後続ブロックの施工空間が重複するため、工種間の順序関係と同様の関係が、ブロック間に存在することになる。

そこで、工種間順序関係が図中のFSの場合には、計算対象ブロックの施工空間と重複する施工空間を持つ先行工種のブロックから求めた開始時刻と、対

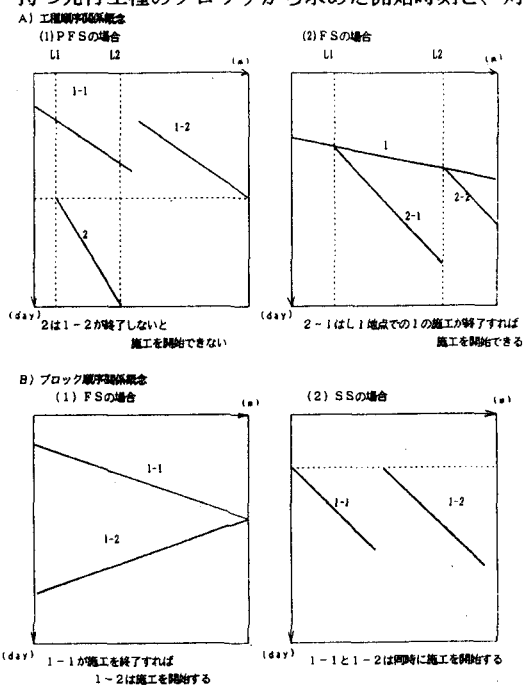


図-1 工種・ブロック順序関係

象（後続）工種とのブロック順序関係から求めたそれとを比較して、大きい値の方を開始時刻として決定する。そして、リフト分割が行われている場合には、工種間と同様に、施工空間の重複する先行ブロックから求められる値についても比較検討を行うこととして

いる。また、同じく図中の PFSの場合には、先行工種から与えられる制約時刻を先行工種の最終施工ブロックの終了時刻として、以下FS時と同様に計算を行なう。

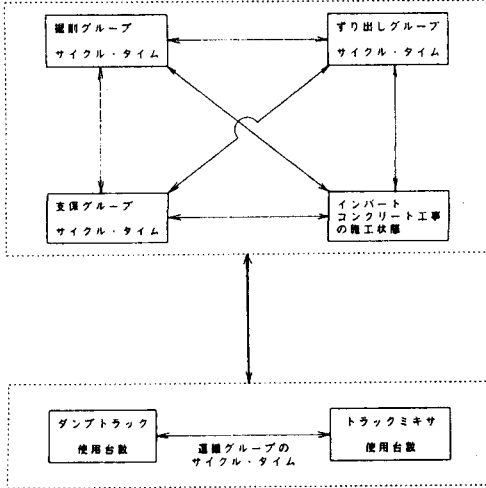


図-2 サイクル・タイムと運搬機械の関係

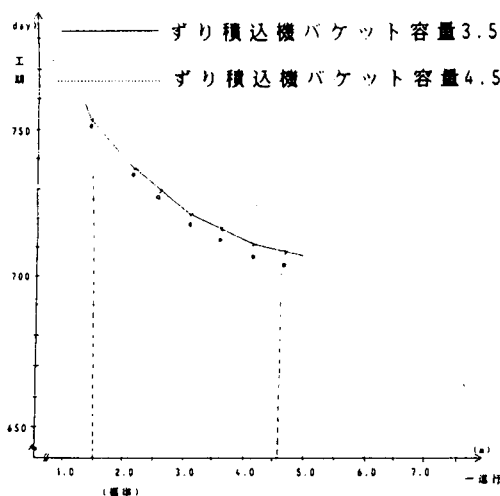


図-3 シミュレーションの1例
(地山区分Bの上半掘削工1進行長と工期の関係)

以上のスケジュール計算方法を用いることで、アクティビティ間の錯綜を禁止した施工時刻の計算が可能である。

しかし、施工区間全域にわたって施工が行われない工種がある場合には、上述のスケジュール計算方法が適用できない可能性がある。例えば、先行工種がインバートコンクリート工事で後続工種がアーチコンクリート工事である場合、工種間の順序関係はFSとなるが、ブロックによっては先行工種と重複する施工空間を持たず、先行・後続の関係が示されない。つまり、これらのブロックは順序関係を持たず、開始日=0として計算されることになる。

そこで、スケジュール計算にあたっては、事前に順序行列から、作業間の順序関係を表す順序行列から得られる可達行列を求め、先行集合に含まれる全ての作業について計算を行うこととした。

3. 概略工程計画案の策定

(1) 対象工事の概要

対象とするトンネル工事は、制約工期が2年の工事であり、発破工法を用いたNATM工法である。施工区域は、明り工事区間が272m、トンネル工事区間が759.5mであり、地質区分はB～Dに分けられている。坑口は1箇所であることから、坑口から片押し的に工事は進行することになる。

(2) サイクル・タイムの検討

トンネル工事の施工過程は、パターン化された一連の作業がサイクリックに繰り返される構造となっており、このサイクルが各工種あるいはブロックにおいて繰り返されることによってトンネルの施工は進行していく。トンネル工事においては、1サイクルが終了することによって切端が進行することから、サイクル・タイムと1サイクル当りの進捗が明確になれば各工種（ブロック）の移動速度、すなわち切端の進行速度がわかることになる。そこで、本研究においては、最も望ましいと考えられる概略工程計画の探索の方針を確立するためには、それぞれの構成要素（作業）間の関連を考慮する必要があると判断して、全体工期に占める割合の高い本坑掘削工事のサイクル・タイムの検討をシミュレーションして事前に検討を行なうことにした。

さて、掘削工事の施工が合理的に行われるために

は、削岩により排出されたずりの運搬や吹付けコンクリートの運搬が、削岩機の進行を妨げないように行われることが必要である。さらに、トンネル坑内は狭く、インバートコンクリートの施工により運搬車両は、使用制限を受けることになる。そのため、図-2に示すように掘削グループのサイクル・タイムと支保グループのサイクル・タイム、及び、運搬グループのサイクル・タイムの相互のバランスを考慮した。

なお、事前シミュレーションの操作変数としては、各作業のサイクル・タイムの算出式の中で計画段階で変更が可能な1発破進行長、掘削機に関するもの（のみ下がり速度、穿孔数（1ブーム1㎡当り）、掘削機使用台数）、ずり積み機バケット容量及び、吹付け機施工能力についてである。

シミュレーションを行った1例を図-3に示したが、地山区分Bのブロックに対して一発破進行長の変更、ずり積み機バケット容量の順に工期への影響が大きいことがわかった。

(3) 代替案の検討

先に述べた概略工程計画策定システムにおいて、標準データをもとにして作成した標準工程の所要工期が736日であったことから、以下の4つのステップにわたって、評価・検討を行った。各ステップでの検討内容は、図-4に示すようにまず、本坑工事と比較して、自由度が高い明り工事に対して工期短縮及び投入資源の側面からの検討を行う(Step 1)。次に、全工期に対する所要期間のしめる割合が大きい本坑工事に対して工期短縮の検討を行うことにする(Step 2)。そして、使用資源の有効活用といった側面から施工の連続性の検討を加え(Step 3)、最後に、座標式工程表から変換したネットワーク工程表を用いて、使用資源の最大投入量の低減を試みる(Step 4)。

以上の検討プロセスに従って、ヒューリスティックに代替案の作成を行っていった。そして、明り工事に対しては、工事用道路に付随する部分と付随しない部分にブロック分割が行われていることから、施工能力

の変更を行った計画案を次ステップの検討対象にした。また、本坑工事での検討においては、地山区分Bの1進行長の変更を始めに行ったが、1進行長を3.0mにしたところ制約工期を満足し、最大投入資源を低減したとしても制約工期を満足すると判断してこの計画案を次ステップの検討対象とした。なお、ずり積み機バケット容量とのみ下がり速度の変更においては、ずり積み機バケット容量の変更の方が工程短縮には有効であった。次いで、連続化施工の検討と最大投入資源量の検討を兼ねて下半掘削工全ブロックのドリルジャンボの台数を削減した後に、アーチコンクリート工事のブロック順序を変更したところ、制約工期、投入資源とも一定の制約を満足したのでこれを概略工程計画案に採用した。なお、これらの検討過程を図-4のようなブランチ

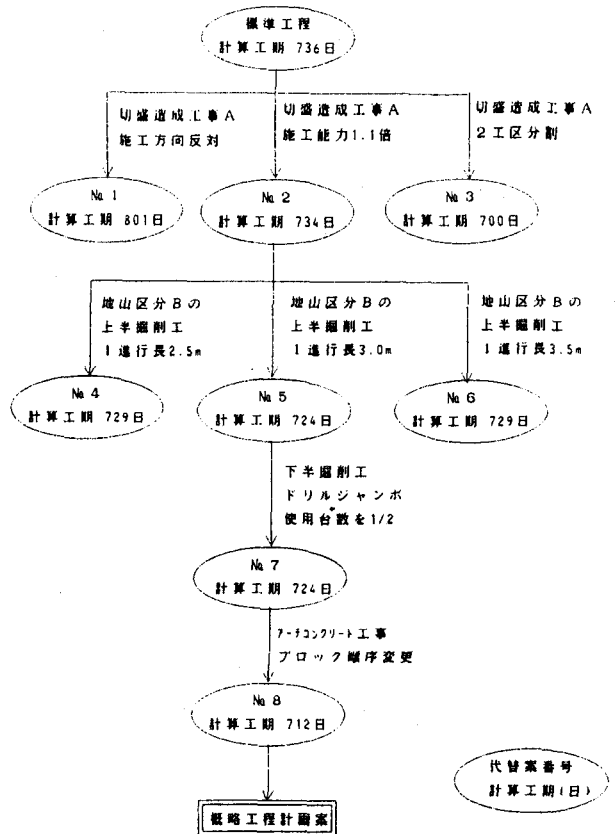


図-4 概略工程計画案の探索過程

シネル工事に限らず他の建設工事についても適用性の検討を行うとともに、AIやエキスパートシステムとしてシステム機能の向上をはかりたいと考えている。

4. おわりに

本研究においては、個別工事条件に対応した意志決定が随所に見られる。土木工事工程計画方法には、計画者の経験や勘をもとに解の改善を積み重ねていき、より合目的な計画案として取りまとめるヒューリスティックなアプローチが有効であることを示した。さらに、事前にシミュレーションを行なうというボトムアップ的な考えを取入れ、不確定な工事内容の明確化につとめた。今後は、このシステムをト

【参考文献】

- 1) 春名 攻: 建設業務の現場マネジメント業務のシステム化に関する研究, 第14回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.165~172, 1989.10.
2) 春名 攻・原田 満: 座標式工程モデルを活用した工程計画システムの開発・演習, 平成2年度土木学会関西支部年次学術講演概要集, pp.V-34-1~V-34-4, 1990.6.

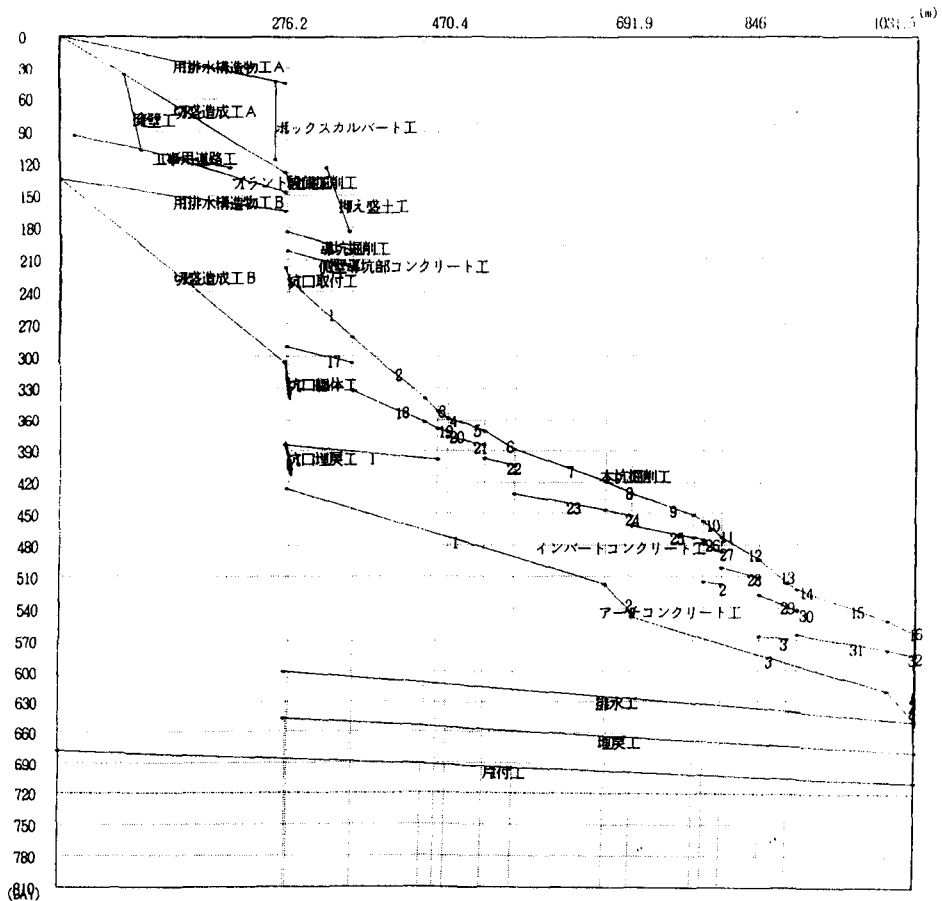


圖-5 概略工程計畫案