

ネットワークポロジ理論を適用した効率的な施工順序決定モデルに関する研究

立命館大学

春名 攻

(株)大林組

原田 満

立命館大学大学院 ○荒川 和久

(株)奥村組

黒田 忠司

1. はじめに

現在、情報機器の処理能力・機能の飛躍的な発達と低廉化により、コンピュータによる管理が多くの現場等で急速に普及してきている。そして、それに伴って、これらの機器の利用を前提とした、マネジメント業務の合理化・効率化を始めとする生産性の向上が望まれている。そこで、本研究では、現場マネジメント業務の中でも、中核的業務として位置づけられる工程計画業務に着目し、数理計画モデルを導入した工程計画のシステム化のための理論検討を行うこととした。

特に、本論文では、まず、計画者が過去の経験にもとづき、資源の運用・転用の問題を考慮しつつヒューリスティックに決定していた「管理的な施工順序の決定問題」に着目した。そして、工事資源を媒介として工事費用が発生するものと考えれば、工事費用の最小化・利益率の向上という観点からは、これらの評価方式を用いた最適化という問題に対して検討を加えていく必要があると考えた。

そこで、本研究では、我々がこれまでに基礎的研究として開発してきたネットワークポロジの理論検討¹⁾をベースとして、効率的な資源運用・転用の決定のための可能な作業順序決定モデルに関する検討を行った。

2. 効率的な順序決定モデルの開発

ここでは、我々がこれまでに基礎的研究として開発してきた成果、すなわち、ネットワークにおける作業間の順序関係に関するトポロジ的な関係の特性を活用する方法を導入することとした。ここでは、これらの関係・特性をより操作性の高いものとして、取り扱っていくためのネットワークポロジ的な数理計画モデルを、施工の順序関係決定モデルにも

適用することによって、より効率的な施工順序決定問題の解法を開発することとした。

(1) 技術的順序と管理的順序に関する考察

建設工事においては、技術上の基本的な順序関係として一意的に与えられる技術的順序と、工期の短縮や資源の効率的運用を考えて計画者が決める管理的順序の2種類の順序関係が存在している。²⁾この管理的順序関係は、新たな順序関係を設定しない限り、それらの作業間は同時施工を許可することになる。そして、同時作業を行って工期短縮を実施することができても、使用資源がその時間断面に集中するといったリスクを負うことになる。工程計画・管理では、契約工期と資源の量的制約が課された状態で、主要資源の投入効率を最大にすることが要求される。したがって、順序関係決定の問題はこの管理的順序関係に外ならず、その設定及び決定の方法は今日的課題として残されている。

(2) ネットワークポロジの考えを用いた順序

組合せ問題へのブランチ・バウンド法の適用

理論的には、管理的順序関係の決定問題は、順列組合せの探索問題である。そして、工程ネットワークが大きくなるにしたがって、新たに付加される順序の組合せも膨大な数になる。このため、本研究では、組合せ問題の解法に有効な手法であるブランチ・バウンド法³⁾を適用するとともに、これまで工期短縮問題のツールとして捉えられがちであったカット概念を適用することとした。すなわち、同時施工が可能な作業(ブロック)の集合として再認識することにより、順序づけ問題にもネットワークポロジの考えを活用することが可能であると考えたのである。つまり、新たな管理的順序の設定は、任意のカットに含まれる作業群に対して行うこととし、各カットに対しての競合作業数としてとらえ、これ

しかし、本研究における探索方法では、同じレベルでの探索範囲（ブランチ数）が、カットに含まれる作業のみであることから、ノードレベルの小さい段階でも、新たに設定される管理的順序を評価することが可能となっている。また、ブランチされていく各カットには、前レベルのカットに含まれる作業と同じ作業が含まれていることが多い。しかし、一般にカット間に先行・後続の順序関係が成立していることから、後続カットは、先行カットによって決定された要件・管理的順序を継続している必要がある。したがって、後続カットにおいて決定すべき順序関係も限定されることになり、先行カットに含まれない作業のみが順序付けの対象となることになり、検討対象は予想よりはるかに少なくなる。

また、後続カットに新規の作業が2つ以上含まれる場合には、これら作業の順序関係の組合せがサイクルとなっている場合が存在するので、決定される順序がサイクルを構成しないように条件を設けておく必要がある。いま、 $L(P) = 0$ によってサイクルを構成しないことを表すことにすると、常に $L(P) = L(P^*) = 0$ が成立しなければならないことになる。

以上の検討から、実際にカット C_N に含まれる施工ブロックの順序関係を探索（ブランチの発生）する場合には、次に示す手順にしたがえば効率的に最適解の探索を実行することができる。

①. カット C_{N-1} までに決定された順序関係 P^* は、カット C_N の可達集合にある全てのカットで継続させる。但し、後続カット C_N に先行作業が含まれない場合は、このカットでの先行作業を ϕ として選択しておくこととする。

（カット間順序関係による管理的順序関係の保存）

②. カット C_N に含まれる作業間で、 $L(P) = (P^*) \neq 0$ ならば、次のブランチへ移る。

（サイクル構成順序関係の除外）

③. カット C_N に含まれる作業群のうちで、同じ競合作業グループに属する作業が存在する場合、レベル $(N-1)$ までに設定された管理的順序関係 P^* において、 $\sum_{ij} p_{ij}^{*1} < n_1 - r_1$ となれば次のブランチへ移る。（同時施工作業数に関する制約）
上記の関係を満足する場合にのみ、管理的順序関係

を認めることとしてスケジュール計算を実施する。
そして、

計算工期 $\lambda(P) < \text{下界値}(LB)$

ならば、次の後続カットを探索することになる。また、同じレベルのカットは複数個存在しているため、あるカットノードに属するすべてのブランチの探索を終了した場合には、そのレベルのカット全ての探索が終了するまで同一カットレベルにおいて探索を継続する。

本研究では、工程ネットワークの始点から段階的に順序付けを行う後戻りの少ない探索プロセスを、このようなカットとその順序関係を用いて実現した。

以上に述べたように、探索過程を示すブランチ図においては、本解法はカット探索とカットに含まれる作業間の順序づけとして表現されている。そして、早期の段階から、不必要な順序関係を探索の対象からはずし、最適順序の探索過程の組合せ数を大幅に減少することができる。

また、探索過程のブランチングでは、前の段階で決定された順序関係は、その後の探索過程においても継続される。このため、サイクルを構成するような順序関係を予め排除することができることとなり、効率的に順序関係決定問題の最適解の探索を実施することが可能になっている。

3. 仮想工事への適用による実証的検討

前述のように、順序付け問題においては膨大な数の順序の組合せを探索することが必要であるが、モデルの有効性・およびその解法の簡便さを検証するには、まず、比較的小きな工程ネットワークを対象にして検討を加えることが賢明であると考えた。ここでは、図-1に示すような3種類の作業が3つの経路に分かれて配置されている状態を仮定したネットワークについて、前節までの検討から開発した新たな管理的順序決定モデルの検討を行った。

このネットワークは、どの作業もただ1つの経路に属しており完全な並列パスにより構成されている。競合作業集合としては図中のA, B, C3つのグループを考えられるので、それぞれ1パーティーのみ投入することとして2作業の同時施工を禁止した。適用結果は、ネットワークが小さいため探索時間も短く、工期 $\lambda = 85$ 日として得られた。

しかし、他の解法にも共通して言えることであるが、競合作業集合に属する各作業の所要日数が同じ

様な場合には、計算工期が同じ同時解の数が急増することが他の例題を解くことによって明らかにされた。これは、所要日数が同じであれば順序の入れ替えを行った時、終了時刻が等しくなる確率が極めて高くなるためである。したがって、今後は、工期の最小化を目的とするよりも、工事の完了時刻に制限をかける制約条件として取り扱う方法についても検討していく必要があるもの考える。

4. おわりに

本論文では、ネットワークボロジの理論を、管理的順序決定のモデルへ適用をすることによって、その有効性を示した。特に、ネットワーク理論のトポロジカルな特性を数理計画モデルに組み込んだ。この結果、より合目的・効率的なモデルへと向上させることが可能になり、コンピュータでの処理速度および実行可能性が高められたと考える。

今後は、この理論モデルをより大きな実際レベルの事例へ適用し実用化への検討を図りたいと考える。

《参考文献》

- 1) 吉川和広 編著；土木計画学演習 森北出版（株） 1985年2月
- 2) 春名 攻；建設工事における施工管理に関するシステム論的研究、学位論文（京都大学工学博士） 1971年7月
- 3) 尾崎 弘，白川 功；グラフとネットワークの理論、コロナ社 1973年10月
- 4) 春名 攻，原田 満，荒川 和久；最適工程計画を目指したスケジューリングモデルの開発研究，第9回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，1991，12
- 5) E.L. Lawler and D.E. Wood: Branch and Bound Method: A. Surver, JORSA Vol. 15, 1967

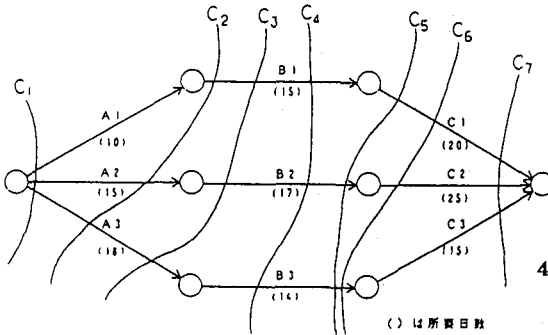


図-2 最適順序探索過程の一例（ブランチ図）

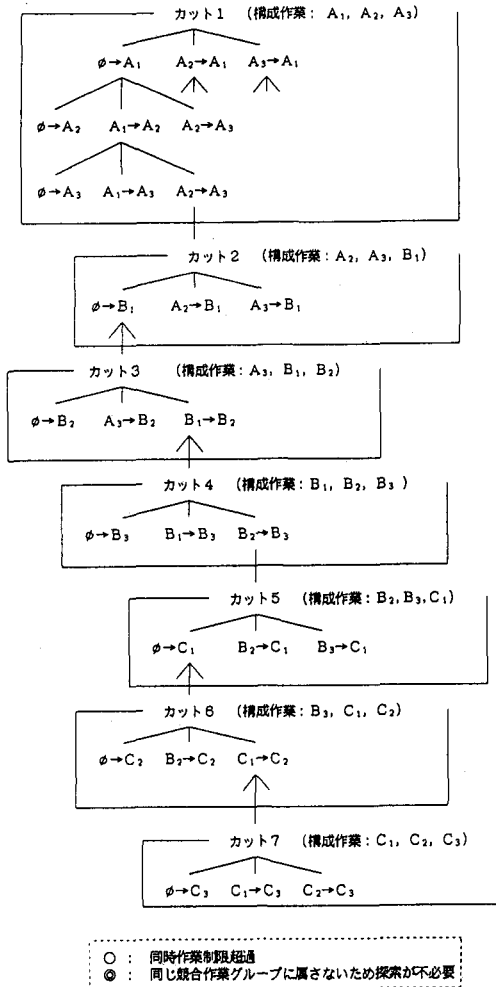


図-1 例題ネットワークにおけるカット経路の一例