

IV-6 空間的干渉を受ける工程計画の策定

東北大学 学生員 ○滝沢 義孝
 東北大学 正 員 湯沢 昭

1 はじめに

建設工事の行程計画を策定する方法としては、一般的に、バーチャート式、座標式、ネットワーク式が用いられている。これらの手法は、それぞれ特徴を持っており、優劣をつけることはできないが、重点工種の把握や工程の精度の面から考察すると、ネットワーク式が最も優れていると考えられる。しかし、ネットワーク手法は組み上げられたネットワークに対しては、最適解を保障しているが、ネットワークの作成自体の問題に関しては余り議論されていない。

本論文は、PERTを建設工事に適用する場合に、工種間の関連を技術的先行関係と管理的先行関係とに分割し、適切なネットワーク作成について検討を行う。技術的先行関係とは対象工事により、一意的に決定されるものであり、管理的先行関係とは、資源やその他の条件により付加されるものである。例えば、複数の工種が同じ空間内で作業を実施する場合、つまり、工種が空間的干渉を受ける場合に生じる先行関係のことであり、なんらかの基準にしたがって、先行関係を決定する必要がある。

2. ネットワークの作成方法

PERTのネットワークにはアロー型とプレシデンス型（以下PNとする）があるが、前者はダミー・ノードやダミー・リンクを考える必要があり、また工種間の先行・後続関係にFS（Finish-Start）関係しか定義できないため、ネットワークが複雑になってしまうおそれがある。それに対して、PNは工種間の先行・後続関係に表-1に示すようなものを定義できるので、自由にしかも比較的容易にネットワークを作成することができる。そこで、本論文ではPNを採用する。

上で述べたように、一般的にPNには表-1の様な工種間の関係があるが、本論文では更に各工種に対して工事位置（空間的座標）を付加する。

これにより各工種が空間的に干渉するか否かを検討することが可能になり、干渉する場合には、何らかの方法で決定された先行・後続関係を付加することができる。

図-1はPNのネットワークを表しており、矢印は工種間の技術的先行関係を示している。ここで工種1・2・3が同一空間で作業を実施とした場合、その工種間に付加する管理的先行関係の候補リンクとしては破線に示すものが考えられる。この場合どのリンクを付加するかは、そのリンクを付加することによりループを構成することなく、かつ全体の工期の延長が最小になるものを選定する必要がある。

表-1 PNの先行・後続関係

$FS(A, B) = n$	Aの終了後n日以上経過しないとBは開始できない。
$SS(A, B) = n$	Aの開始後n日以上経過しないとBは開始できない。
$FF(A, B) = n$	Aの終了後n日以上経過しないとBは終了できない。
$SF(A, B) = n$	Aの開始後n日以上経過しないとBは終了できない。

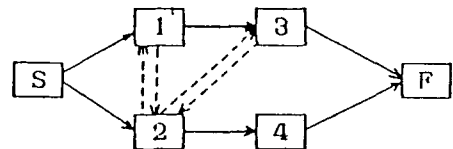


図-1 PNのネットワーク例

この問題は、Sを出発し工種1、2、3を通過し、Fに至るハミルトン・ネットワークを構成する。つまりSからFへ空間的干渉する工種をすべて通過する最短ハミルトン開路問題である。さらに、このネットワークを修正しFからSへの有向ダミーリンクを付加すると、これはまさしく巡回セールスマン問題と等価になることが分かる。巡回セールスマン問題は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} \quad \text{---} \quad \min \\
 \text{sub to } &\sum_j X_{ij} = 1 \\
 &\sum_i X_{ij} = 1 \\
 &u_i - u_j + n X_{ij} \leq n - 1 \\
 &\quad (1 \leq i \neq j \leq n) \\
 &X_{ij} \in \{0, 1\} \quad n: \text{ノード数}
 \end{aligned}$$

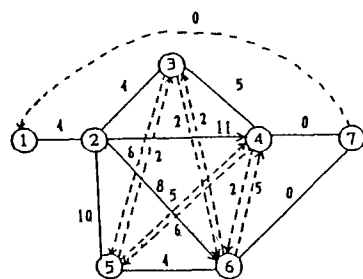


図-3 ハミルトン閉路

上式は整数型線形計画法であるため、本論文では分枝限定法を適用して解を求める。次に技術的先行関係より構成されているネットワーク（以下、原始ネットワークと呼ぶ）から空間的干渉を受ける工種のみを取り出し、巡回セールスマン問題を適用するためのネットワークを作成する必要がある（以下、サブ・ネットワークと呼ぶ）。

3. サブ・ネットワークの作成方法

図-2は原始ネットワークを示しており、工種1, 2, 4, 5, 6が同一空間での作業であるものとする。各リンク上の数値はFSの値を、ノード上の値は各工種の所要日数を表している。

まず、この原始ネットワークから工種1, 2, 4, 5, 6を取り出し、ノード番号を付け直す。次に、各々のFSの日数と、FSの先のノードの所要日数を足したものを、新しいリンクの日数とする。また、原始ネットワークの工種3の所要日数は、その経路上のリンクに取り込む。すると、図-3に示すようなサブ・ネットワークができる。

つまり、図-3は空間的干渉を受ける工種（2から6）のみで構成されており、これらの工種が実行可能であるためには、図中の点線で示される候補リンクの内、ハミルトン閉路を満足するリンクを決定する必要がある。

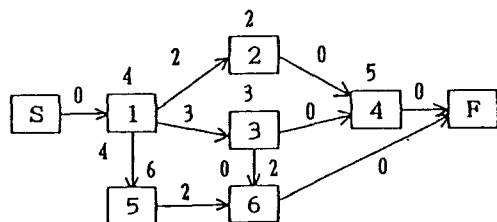


図-2

4. 結果

図-3に巡回セールスマン問題を適用するため、 C_{ij} の値を整理すると表-2のようになる。ここでリンクの存在しない部分は $C_{ij} = \infty$ とする。また、ノード7からノード1への有向ダミー・リンクの日数は $C_{71} = 0$ とする。

これらより、巡回セールスマン問題を解くと、 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ が最適解として求まる。これは、原始ネットワークでは、 $X_{12} = X_{54} = X_{46} = 1$ となり、新たに3つのダミーリンクを付加することにより、空間的干渉を回避することができる。

表-2 マトリックス C_{ij}

	1	2	3	4	5	6	7
1	-	4	∞	∞	∞	∞	∞
2	∞	-	4	11	10	8	∞
3	∞	∞	-	5	6	2	0
4	∞	∞	∞	-	8	2	0
5	∞	∞	2	5	-	4	∞
6	∞	∞	2	5	∞	-	0
7	0	∞	∞	∞	∞	∞	-

5. 考察

以上で述べてきた解法は、一つの空間に対して複数の工種が干渉している場合には最適解を与えるが、複数の空間に対して複数の工種が干渉している場合には、必ずしも有効とはいえない。つまり、複数のサブ・ネットワークが存在し、それらの一部分が重複している場合、各々のサブ・ネットワークに対し最適解を求め、その結果を重ね合わせることで、ループを形成する可能性がある。この場合には、前述したZ値の大きいサブ・ネットワークのリンクの向きを固定し、その条件下で次々と残りのサブ・ネットワークの解を求め直すことによりループの発生を防止することは可能である。このように、今後の研究に対して課題を残すとはいえ、少なくとも、一つの空間に対して複数の工種が干渉する場合においては、有効な解法である。