工程の順序を考慮した道路工事区間のグループ化に関する研究

佐賀大学　正会員　清田　勝
九州大学　正会員　角　知憲
佐賀大学　正会員　田上　博

1．まえがき

道路工事による迷惑（迂回）をできるだけ小さくするためには，工事区間をどのようにグループ化すればよいかを決定するためのモデルをすでに提案した[1]。そのモデルでは，各工事区間は互いに独立で，自由にグループ化できることを仮定している。しかし，現実には，ある区間aとbは同時に施工しなければならないとか，ある区間aはbよりも先に施工しなければならない等の施工順序が予め決まっている場合の方が多い。

そこで，本研究では，工事区間に施工順序がついている場合のグループ化を試みる。

2．道路工事の同時着工グループ決定モデル

道路工事が始まると終了するまでその区間（リンク）は通行不能となり、道路利用者は迂回を余儀なくされることになる。しかし、工事が終了すればその区間は工事前の状態に復帰するだけで効用の増加は期待できず，工事期間に非効用が生じるだけである。また，その非効用は次の段階に影響を及ぼすことはない。この点が道路整備に場合と大きく異なる点で，この場合は線形の混合整数計画問題として定式化することができる。

（1）目的関数

道路工事による利便性の低下を表す尺度としてはいくつかの指標が考えられるが，ここでは次式で表される総走行時間を用いることにする。

$$\text{Minimize } Z = Z^{(1)} + Z^{(2)} + \cdots + Z^{(N)} = \sum_n \sum_i \sum_j \sum_k D_{ijk} f_{ijk}^{(n)} \quad (1)$$

ここに、$Z^{(n)}$：第n期の総走行時間

D_{ijk}：発着ノードi, j 間の経路kの時間距離

$f_{ijk}^{(n)}$：第n期における発着ノードi, j 間の経路kの経路交通量

（2）制約条件

（a）リンク容量に関する制約条件

工事を実施しない区間は通行できるので，道路構造に見合う容量（可能容量Q_a）をもつ。しかし，工事が実施されればその区間は通行できなくなるので，容量は0になる（一方通行規制等は考慮しないものとする）。いま，第n期において道路工事を着工するかどうかを表す変数を$\lambda_a^{(n)}$（1：工事する，0：工事しない）とすると，容量に関する制約条件は以下のようになる。

$$X_a^{(n)} \leqq Q_a - \lambda_a^{(n)} Q_a \quad (a=1\sim h,\ n=1\sim N)$$

$$X_a^{(n)} \leqq Q_a \quad (a=h+1\sim w,\ n=1\sim N) \quad (2)$$

ここに，h，wはそれぞれ工事対象区間数および全区間数を表す。$X_a^{(n)}$ は第n期のリンクaのリンク交通数を表す交通量で，経路交通量$f_{ijk}^{(n)}$ の関数として次のように表される。

$$X_a^{(n)} = \sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk}^{(n)} \delta_{ijk}(a)$$

そこで，式（2）の制約条件式は以下のように変形される。

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk}^{(n)} \delta_{ijk}(a) + \lambda_a^{(n)} Q_a \leqq Q_a \quad (1 \leqq a \leqq h,\ n=1\sim N)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk}^{(n)} \delta_{ijk}(a) \leqq Q_a \quad (h+1 \leqq a \leqq w,\ n=1\sim N) \quad (3)$$

ここに，$\delta_{ijk}(a)$はリンクaがノードi, j間の経路kに含まれるとき1，そうでないとき0をとる変数である。

（b）決定変数λ_aに関する制約条件

工事対象区間はN期の工事期間のうちのどこかで工事されなければならないので，λ_aに関し次の制約条件式が満足されなければならない。

$$\sum_{n=1}^{N} \lambda_a^{(n)} = 1 \quad (a=1\sim h) \quad (4)$$

（c）同時施工区間に関する制約条件

ある区間aとbを同時に施工しなければならない場合には，次の制約条件式を導入する必要がある。

$$\lambda_a^{(n)} - \lambda_b^{(n)} = 0 \qquad (n=1\sim N) \tag{5}$$

（d）施工区間の優先性に関する制約条件

ある区間aは必ず区間bよりも先に施工しなければならない場合には，次の制約条件式を導入する。

$$\lambda_a^{(n)} - \lambda_b^{(n)} \geqq 0 \qquad (n=1\sim N) \tag{6}$$

$$\lambda_a^{(n)} + \lambda_b^{(n)} \leqq 1 \qquad (n=1\sim N) \tag{7}$$

（e）経路交通量に関する保存条件

i，j間のOD交通量は，各経路に配分されなければならないので，次の制約条件式が成り立たなければならない。

$$\sum_k f_{ijk}^{(n)} = q_{ij} \; (i=1\sim M,\ j=1\sim M\ (i\neq j),\ n=1\sim N) \tag{8}$$

ここに，Mは発着ノード（セントロイド）の数である。

（f）予算に関する制約条件

各期間で使用可能な予算の制約がある場合には，次式で表される制約条件を導入する。

$$\sum_{a=1}^{h} C_a \lambda_a^{(n)} \leqq T^{(n)} \qquad (n=1\sim N) \tag{9}$$

ここに，C_a：各工事区間を工事するのに要する費用

$T^{(n)}$：第n期に使用可能な予算の上限値

（g）非負条件

経路交通量 $f_{ijk}^{(n)}$ は負にはなりえず，非負条件を満足しなければならない。

$$f_{ijk}^{(n)} \geqq 0 \qquad (i=1\sim M、j=1\sim M\ (i\neq j)、k=1\sim p_{ij}、n=1\sim N) \tag{10}$$

ここに，p_{ij} は発着ノードi，j間の経路数である。

結局，本題は制約条件式（3），（4），（5），（6），（7），（8），（9）と非負条件（10）のもとに式（1）の目的関数を最小にする線形の混合整数計画問題に帰着することになる。

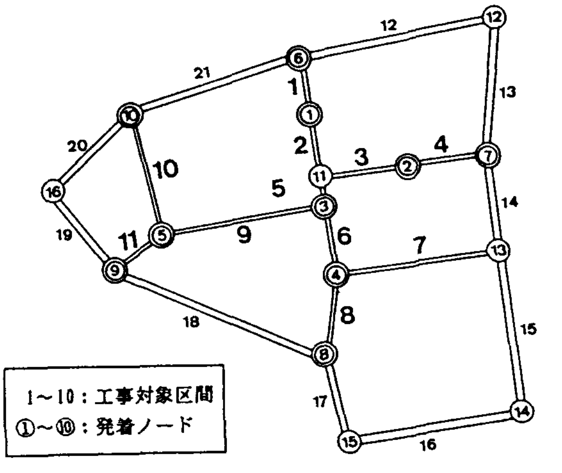
3．計算例と考察

本研究では，図－1に示すように幹線道路で囲まれた地区内の道路網を対象にして本手法を適用することにした。図－1において①～⑯はノード番号を，1～21はリンク番号を表している。このうち，リンク番号1～11の11本のリンクを工事対象区間とする。二重丸（ノード番号①～⑩）は発着ノードを表している。ここでは一例として工事期間を3期とし，OD交通量については，表－1の値を用いることにした。また、佐賀市の代表的な住宅地の交通実態調査の結果を参照して，地区内のリンクの走行速度を30km／h，周囲の道路の走行速度を15km／hと仮定して計算を行った。

なお，計算結果については当日発表する予定である。

表－1　本計算で使用したOD交通量

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	10	10	15	5	40	50	30	20	0
2	5	0	10	20	5	30	80	20	10	5
3	10	5	0	5	10	60	50	50	40	20
4	10	15	5	0	10	90	60	100	10	10
5	5	10	5	15	0	60	70	30	60	40
6	70	40	30	40	25	0	150	110	30	0
7	40	70	50	30	25	70	0	50	20	10
8	60	30	50	100	30	200	160	0	0	10
9	20	10	25	20	90	20	30	0	0	40
10	0	5	20	30	60	0	20	30	50	0



図－1　ネットワーク図

参考文献

1）清田勝・樗木武・古賀信之・田上博：市街地を対象にした道路工事の同時着工グループ化に関する研究，土木学会論文集（投稿中）