

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

清田 勝*・櫻木 武**・古賀信之***・
田上 博****

本研究では、OD交通量、工事区間および工事期間が与えられている場合に、できるだけ道路利用者に迷惑をかけないようにするためには、複数の工事区間をどのようなグループに分けて工事するのが最も妥当であるかを決定する手法を提案するとともに、モデル計算を通して本手法の有用性を明らかにする。

Keywords: optimization, network, road construction

1. まえがき

都市内の道路網をみると下水道工事やガス管の工事など、どこかで何らかの工事が行われているが、その工事が道路利用者にどのような影響を及ぼすかについて十分検討されているとは言えない。土地区画整理事業等により面的に整備された地区においては、工事により複数の道路区間（リンク）が通行止めになってしまってそれに替わる代替路を容易に選択できることから、その影響はそれほど大きくない。一方、スプロール状に発達した地区的道路網は幅員が狭い迷路のような構成になっていることから、代替路の確保が難しく、たとえ代替路を確保できたとしても迂回の程度が大きく道路利用者は多大の迷惑を被ることになる。このような地区では、施工の効率化を図ることよりむしろ利用者に与える影響（非効用）を最小にするという視点が重要になってくる。

こうじた状況にもかかわらず、従来施工効率を上げることに主眼が置かれ、道路利用者が被る迷惑をできるだけ小さくするという視点が欠落していたといえよう。案内表示板の設置場所を工夫したり、同時着工区間の組み合わせを適切に行うことによって、道路利用者に及ぼす影響を小さくすることが可能である。にもかかわらず、著者等の知る限りこの種の研究はみあたらない。

本研究では、このうち工事区間の組み合わせに焦点を絞って論じるものである。すなわち、OD交通量、工事区間、および工事期間（N期）が与えられている場合に、できるだけ道路利用者の利便性を損なわないようにするためにには、複数の工事区間をどのようなグループに分けて工事するのが最も妥当であるかを決定するための手法

を提案するものである¹⁾。

2. 道路工事の同時着工グループ決定モデル

道路工事には、車道部の拡幅や交差点改良等のように交通混雑の解消を目的として行われる工事と下水道工事やガス管工事等のようにリンク容量の増加を伴わない工事がある。ここでは、前者を道路整備、後者を道路工事と呼ぶことにする。前者の場合には、工事が終了すればリンク容量が増大するので走行時間が減少し、道路利用者の効用が増加することになる。したがって、N期で道路整備を行う場合には、工事の順序によって効用の総和が変化するので、効用の総和が最大になるように道路工事区間と優先順位を決定するのが適当である²⁾。このようにある段階の効用が次々に後の段階に影響を及ぼすような段階的整備計画問題においては、動的計画法³⁾が利用できる。しかし、後者の場合には、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。したがって、この場合は図-1に示すように各工事期間で生じる非効用の和を最小にするように工事区間の組み合わせを決定すれば十分である。この種の問題も道路整備の場合と同様に動的計画法を用いて解くことができる。

しかし、道路工事の場合は工事期間に非効用が生じるだけで、その非効用が次の段階に影響を及ぼすことがないの、動的計画法を用いなくても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。本手法は解き方が画一的で、動的計画法のように特別な技法を必要としないことに加えて、一般にパッケージ等が準備されているので使いやすさの点で動的計画法よりも優れているといえよう。さらに、予算の制約がない場合、動的計画法では道路工事区間のすべての組み合わせを検討しなければ

* 正会員 工博 佐賀大学助教授 理工学部建設工学科
(〒840 佐賀市本庄町1番地)

** 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工博 佐賀大学助手 理工学部生産機械工学科

**** 正会員 佐賀大学教務職員 理工学部建設工学科

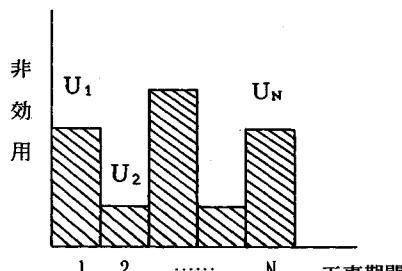


図-1 道路工事の場合の非効用

ならなくなり、計算時間や容量の面でも問題が出てくる。

従って、本研究では道路工事の同時着工グループ決定問題を以下のように線形の混合整数計画問題として定式化することにする。

(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種々の指標が考えられるが、交通の観点からは工事のためにどれだけ迂回を余儀なくされたかが重要な問題であり、その定量的評価として総走行時間が考えられる。このとき、以下の目的関数が定式化できる。

$$\text{Minimize } Z = Z^{(1)} + Z^{(2)} + \cdots + Z^{(n)} \\ = \sum_{n} \sum_{i} \sum_{j} \sum_{k} D_{ijk} f_{ijk}^{(n)} \quad (1)$$

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

式 (1) の目的関数を最小にする工事計画を立案することが望まれるが、その際の制約条件として、リンク容量に関する制約、経路交通量の保存条件などが考えられ、以下のとおりである。

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。

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

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

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。

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk}^{(n)} \delta_{ijk}(a) + \lambda_a^{(n)} Q_a \leq Q_a$$

$$(1 \leq a \leq h, n=1-N)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk}^{(n)} \delta_{ijk}(a) \leq Q_a$$

$$(h+1 \leq a \leq w, n=1-N) \quad (3)$$

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 に関する次の制約条件式が満足されなければならない。

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

c) 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ぬ。

$$\sum_k f_{ijk}^{(n)} = q_{ij} \quad (i=1-M, j=1-M(i \neq j), n=1-N)$$

$$..... \quad (5)$$

ここに、 M は発着ノード（セントロイド）の数である。

d) 施工区間数に関する制約条件

一度に施工できる区間数の上限値が明確に決まっている場合には、次のような制約条件を導入する必要がある。

$$\sum_{a=1}^h \lambda_a^{(n)} \leq \lambda_0 \quad (n=1-N) \quad (6)$$

ここに、 λ_0 は一度に施工できる区間数の上限値である。

e) 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。

$$\sum_{a=1}^h C_a \lambda_a^{(n)} \leq T^{(n)} \quad (n=1-N) \quad (7)$$

ここに、 C_a ：各工事区間を工事するのに要する費用

$$T^{(n)}：第 n 期に使用可能な予算の上限値$$

f) 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。

$$f_{ijk}^{(n)} \geq 0 \quad (i=1-M, j=1-M(i \neq j),$$

$$k=1-p_{ij}, n=1-N) \quad (8)$$

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) と非負条件 (8) 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-2 に示すように幹線道路で囲まれた

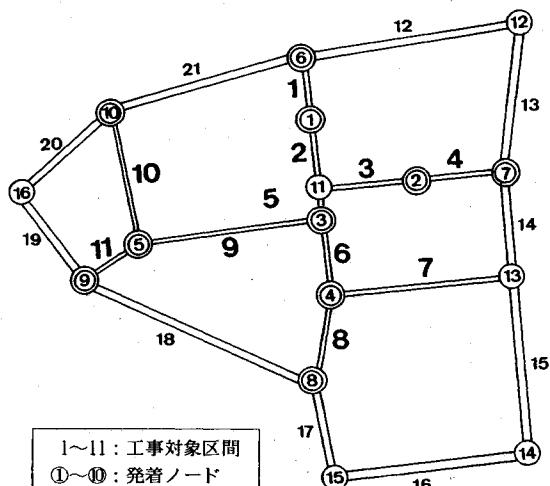


図-2 ネットワーク図

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

表-2迂回率と工事区間の組み合わせ

工期	工事実施区間	総走行時間	迂回率	記号
第1期	1, 7, 10	158980	2.08	
第2期	2, 3, 5, 6	183916	2.41	—
第3期	4, 8, 9, 11	237784	3.11	~~~~~
全工期	————	580680	2.53	

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-2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。

表-2および図-3は、各工事期間に実施すべき工事区間のグループ、ネットワーク全体を対象にした総走行時間、および迂回率を示したものである。各期間に工事

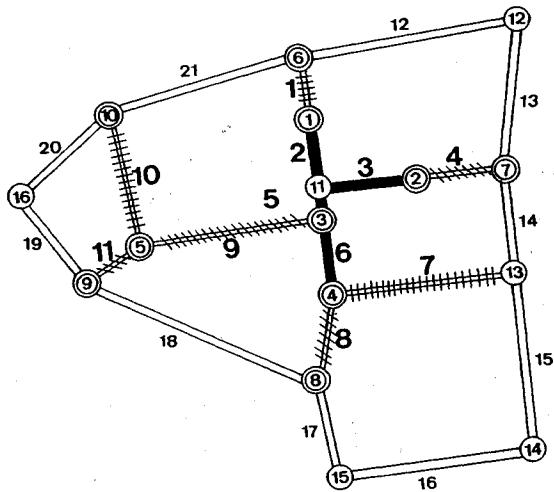


図-3 工事区間の組み合わせ

表-3 発ノードごとの迂回率

発ノード	1	2	3	4	5
迂回率	2.60	2.87	3.12	2.60	2.19
発ノード	6	7	8	9	10
迂回率	2.71	2.43	2.81	2.18	1.65

を実施すべき区間のグループは(1, 7, 10), (2, 3, 5, 6), (4, 8, 9, 11)で、各期間の迂回率はそれぞれ2.08, 2.41, 3.11となる。ここでいう迂回率とは、工事を行わない場合の総走行時間に対する比率として表したものである。本表より、(4, 8, 9, 11)のグループを工事した場合の影響が最も大きいことがわかる。3期の迂回率の平均値は2.53で、工事が行われていない場合に比べて約2.5倍迂回しなければならないことを示しており、工事の影響が極めて大きいことがわかる。

つぎに、各発ノードが道路工事によりどの程度影響を受けるかを示したのが表-3である。本表の迂回率は、発ノードごとに各期間の迂回率を平均したものである。迂回率が2.53（ネットワーク全体を対象にした場合の迂回率の平均値）を超える発ノードは1, 2, 3, 4, 6, 8である。これらはノード2を除いてすべてノード6とノード8を結ぶバス上にあり、これらのバス上のノード、特にノード3が工事の影響を強く受けることがわかる。一方、ノード5, 9, 10の迂回率は比較的小さく、あまり工事の影響を受けないことがわかる。

さらに、各OD間の迂回率がどの程度増加するかをみることにする。各期間の迂回率の平均値のヒストグラムを示したのが図-4である。ネットワーク全体の平均値を超えるODペアの比率は42%で、このうち4.0を超えるものが11%あることがわかる。迂回率が平均値を超えるODペアをみると、2ODペア(6, 8), (7, 9)

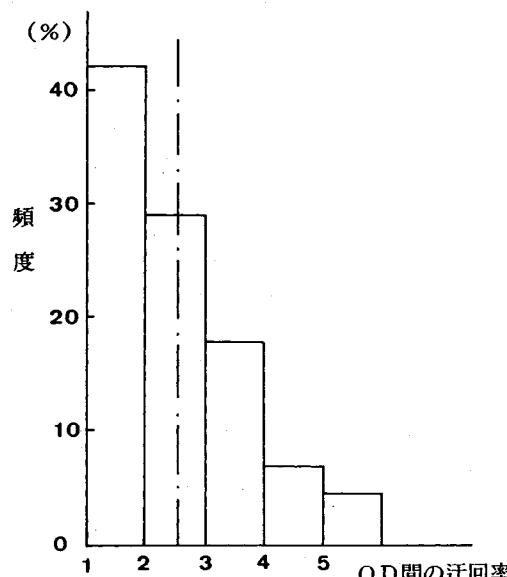


図-4 OD間の迂回率のヒストグラム

を除いてすべて地区内に関するODペアであり、地区内に起点または終点をもつトリップに対する影響が大きいことがわかる。一方、地区内を通過するODペアの迂回率の平均値は1.9であり、あまり影響を受けないことがわかる。

なお、今回の計算では、予算と施工区間数に関する制約を考慮していないが、各着工グループを構成するリンク数はほぼ同数で、極端に多いグループが出現することは稀である。従って、施工の効率性の面においてもさほど問題はないと思われる。

4. 結 論

本研究では、OD交通量、工事区間および工事期間が与えられた場合に、道路利用者にできるだけ迷惑をかけないようにするためにには、どのような手順で工事を実施するのが最も妥当であるかを決定する手法について検討を行った。主な結論と今後の検討課題を要約すると以下のとおりである。

A METHOD TO DETERMINE THE GROUPS OF THE ROAD SECTIONS TO BE WORKED SIMULTANEOUSLY IN AN URBAN DISTRICT

Masaru KIYOTA, Takeshi CHISYAKI, Shinji KOGA and Hiroshi TANOUE

While road constructions are being worked, motorists and pedestrians are forced to travel by detour routes. In a sprawl district, the impact is serious. So, it is necessary to minimize this impact in such a sprawl district. In this paper, a method is proposed to determine the road sections to be worked simultaneously in several stages.

As the results in the case study, it is shown that the method has been found useful.

(1) 道路工事により道路利用者が被る迷惑（迂回）を最小にするような工事区間の組み合わせを決定する問題は、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。

(2) 本研究では、“道路工事の着工順位には制約がない”という仮定に基づいてモデルを構築している。したがって、区間Aと区間Bは同時に施工しなければならないとか、区間Aは区間Bよりも先に施工しなければならないとか工程の順序が予め決まっている問題を直接解くことはできず、モデルの拡張を図らなければならない。しかしながら、このモデルの拡張は簡単で、線形の制約条件式を追加するだけで、これらの問題にも対応することが可能である。

(3) 迂回路を適切に整備すれば、道路工事による影響を軽減することが可能である。そのためには、どのような迂回路を整備すれば、道路工事による影響を最も小さくすることができるかを同時に決定できるモデルに拡張する必要があり、現在検討中である。

(4) 本研究では地区内の細街路を対象にし、リンクの所要時間は交通量に依存しないと仮定して議論を進めているが、幹線道路等のように交通量の多い道路を対象にする場合には、所要時間を交通量の関数として表す必要がある。この場合は、非線形の混合整数計画問題として定式化されることになり、その解法は複雑になる。この問題の取り扱い方については今後の課題である。

謝 辞：本研究に際し、九州大学工学部土木工学科角知憲教授に貴重なご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 清田 勝・松川晴美・田上 博：道路工事の着工順位に関する研究、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1991。
- 2) 吉崎 収：道路整備優先順位決定手法の検討、オペレーションズ・リサーチ、1985。
- 3) 尾形克彦：ダイナミック・プログラミング、培風館、1973。
(1991.7.8受付)