

工事による混雑を考慮した道路整備のグループ化とその優先順位に関する研究

清田 勝*・田上 博**・角 知憲***・
出口近士****

本研究では、OD 交通量、整備区間、工事期間、および各期の予算が与えられている場合に、工事期間の混雑をできるだけ抑えながら、整備効果を最大にするためには工事区間をどのようなグループに分けて、どのような順序で整備するのが最も妥当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。

Key Words : dynamic programming, road network, road construction

1. ま え が き

自動車の急激な増加と集中によって引き起こされる交通渋滞は、都市部において大きな社会問題になっており、早急な対策が必要である。渋滞解消の有効な対策としては、大きく次の2つが考えられる。一つは、バイパス等の建設や既存道路の拡幅によって交通容量を増加させるハードな対策であり、もう一つは、交通規制や信号制御、および情報提供等により既存道路網を有効に活用するソフトな対策である。もちろん、両者をうまく組み合わせながら、短期的、長期的に交通渋滞の解消を図るのが得策である。

本研究では、このうちハードな対策の一つである道路整備に焦点を絞り、限られた予算を有効に活用するためには、どのような順序で道路を整備していくのが最も効果的かを評価する手法について論じるものである。

道路整備の優先性を考慮した研究としては、飯田等の研究¹⁾、木下の研究²⁾、枝村等の研究³⁾、朝倉等の研究^{4),5)}、および吉崎の研究⁶⁾等がある。飯田等は予め複数のリンク特性値を設定し、これらの指標ごとに問題の程度の大い順番に予算枠に納まるリンクを拾い出し、道路整備の代替案を作成している。これらの代替案を利用者の立場に立って、またネットワークの交通機能の面から評価を行っている。しかし、リンク特性指標に基づく代替案の作成方法では、ネットワークとしての交通機能の強化という面からみた場合に最良となる案(非劣解)が作成されない危険性があり、問題が残る。木下は階層分析法(AHP手法)を用いて各路線の優先度を評価する方法を提案しているが、工事期間を考慮していない点など問

題が残される。枝村等は、最適ネットワーク計画問題を0-1型の整数計画問題として定式化を行っている。しかしながら、ネットワークの構成を定める計画変数を離散変数として取り扱っているため、交通量の増加に伴うサービスレベルの低下を考慮できないという欠点を持つ。一方、朝倉等は計画変数を連続変数として取り扱い“利用者は最短経路を選択する”という仮定を内包しながらシステム最適化を図る、つまり総走行時間を最小にするリンク容量決定問題を2レベル計画問題の枠組みを用いて定式化を行っている。さらに、OD需要の変動^{7),8)}や発生・集中段階の需要⁹⁾をも内生化することによって土地利用との整合性を図るという方法を展開している。しかし、計画変数を離散(0-1)変数として取り扱っていないので、道路整備をすべきかどうかの判断が難しく、実務面で問題がある。吉崎は整備効果(効用)を道路整備による時間短縮量で表し、効用の総和を最大にするためには、どのような順序で道路整備を進めるべきかを決定する手法を提案している。しかし、慢性的な交通混雑を呈している市街地では、工事によってさらに大きな交通渋滞を引き起こし、交通が完全にマヒしてしまうことがある。したがって、市街地の道路整備においては、整備の効用を最大にするという視点だけでは不十分で、工事期間の混雑をできるだけ抑えるという視点が重要になってくる。

そこで、本研究では、OD交通量、整備区間、工事期間、および各期の予算が与えられている場合に、工事期間の混雑をできるだけ抑えながら、整備の効果を最大にするためには整備区間をどのようなグループに分けて、どのような順序で整備するのが最も妥当かを決定する手法を提案するものである。

2. 道路工事と道路整備

道路工事には、下水道工事やガス管工事等のようにリ

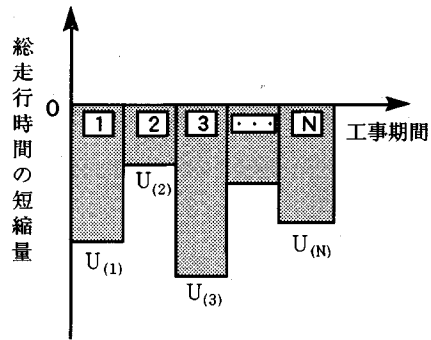
* 正会員 工博 佐賀大学助教授 理工学部建設工学科
(〒840 佐賀市本庄町1番地)

** 正会員 佐賀大学教務職員 理工学部建設工学科

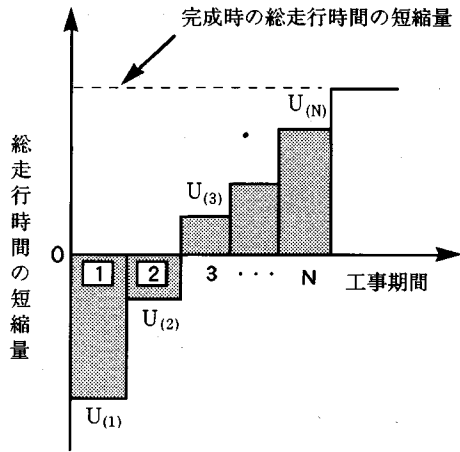
*** 正会員 工博 九州大学教授 工学部都市建設工学科

**** 正会員 工博 宮崎大学助教授 工学部土木環境工学科

リンク容量の増加を伴わない工事と車道部の拡幅や交差点の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がある。ここでは、前者を道路工事、後者を道路整備と呼び区別することにする。前者の場合には、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、容量が増加しないので走行時間が短縮することはない。増加するのは、工事中の混雑による走行時間の増加のみである。また、この段階の走行時間の増加は次の段階に影響を及ぼすことはない。したがって、この場合には図一1に示すように各工事期間で生じる総走行時間の増加量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。著者らは¹⁰⁾、細街路のように走行時間が交通量に依存しない場合を対象にして、総走行時間を最小にする工事区間の組み合わせを決定する手法を提案した。しかしながら、幹線道路等のように交通量の多い道路を対象とする場合には、走行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。そこで、本研究では、走行時間が交通量の関数となる場合にも対応できるように動的計画法を用いて定式化を行う。



図一1 道路工事による総走行時間の短縮量



図一2 道路整備による総走行時間の短縮量

一方、道路整備の場合には、工事が終了すればリンク容量が増大するので、走行時間が短縮することになる。したがって、整備効果を最大にするという視点に立てば、工事の順序によって総走行時間の短縮量の総和が変化するので、その総和が最大になるように工事区間の組み合わせと優先順位を決定するのが妥当である。もちろん、道路を新設するとか、工事の影響が問題にならないほど小さい場合には、整備による総走行時間の短縮量を最大にするという視点だけで十分である。しかし、市街地の道路は慢性的な交通渋滞を引き起こしており、工事の影響は極めて大きいと考えられる。したがって、市街地の道路網を対象にする場合には、工事期間に生じる混雑の影響を無視して道路整備による総走行時間の短縮量だけを最大にするという考え方は適当ではなく、工事中に生じる総走行時間の増加量と整備による総走行時間の短縮量の両方を同時に考慮する必要がある。もちろん、図一2に示すように初期の段階では、道路整備による総走行時間の減少量よりも工事期間に生じる総走行時間の増加量の方が大きくなり、総走行時間の短縮量が負になる場合がある。

3. 動的計画法によるモデルの定式化

OD交通量と投資できる予算が与えられている場合に、 M 本の道路を N 期 ($n=1, 2, \dots, N$) で工事する場合の定式化を考える。工事前(現状)の総走行時間を基準にした場合の第1期から第 N 期までの総走行時間の短縮量の変化の状態は、道路工事の場合は図一1のよ

うに、道路整備の場合は図一2のように描かれ、この総走行時間の短縮量の総和を最大にする工事区間の組み合わせと優先順位を動的計画法(Dynamic Programming)を用いて段階的に決めるのが本研究の主要な目的である。

道路区間 j が工事中あるいは工事がすでに終了しているとき1、工事がまだ着工されていないとき0を取る変数 x_j ($j=1 \sim M$)を導入すると、ネットワークの状態は M 個の0-1変数の組(x_1, x_2, \dots, x_M)で表される。いま、道路区間 j の工事費用を c_j で、第1期から第 n 期までに投資できる予算のトータルを T_n で表すと、第 n 期で可能なネットワーク状態を表すベクトル $x=(x_1, x_2, \dots, x_M)$ は、次の予算制約を満足しなければならない。

$$\sum_j c_j x_j \leq T_1$$

$$T_{n-1} < \sum_j c_j x_j \leq T_n \quad (n=2 \sim N) \dots \dots \dots (1)$$

さらに、各期の予算内でできる工事はその期間内ですべて終了させると仮定すると、整備の対象となる組み合わせはさらに限定され、最大組み合わせベクトルだけが工事の対象となる。したがって、これらのベクトルより

も小さい組み合わせベクトルは工事の対象から外れることになる。ここで、予算制約式(1)を満足する組み合わせベクトルの集合の中に、ベクトル x より大きいベクトルが存在しないとき、ベクトル x を最大組み合わせベクトルと定義する。なお、ベクトル x と y の j 番目の要素 x_j と y_j に対して、 $y_j \leq x_j (j=1 \sim M)$ が成立するとき、ベクトル x はベクトル y よりも大きいと定義し、 $y \leq x$ で表すことにする。

いま、予算制約式(1)を満足する最大組み合わせベクトル x の集合を X_n で表すと、第 n 期までの総走行時間の短縮量の最大値 $V_{(n)}(x)$ は、ベルマンの最適性の原理から『第 n 期の総走行時間の短縮量』と『第 $(n-1)$ 期までの総走行時間の短縮量の最大値』の和の最大値として表される¹⁾。これを式で表すと以下ようになる。

$$V_{(n)}(x) = \max_{y \in Y_{n-1}} \{V_{(n-1)}(y) + U_{(n)}(z)\} \quad (n=2 \sim N)$$

.....(2)

$$V_{(1)}(x) = U_{(1)}(z) \quad (3)$$

ここで、ベクトル y は第 $(n-1)$ 期のネットワークの状態を表すベクトルで、第 n 期のネットワーク状態を表すベクトル x よりも小さく、なおかつ第 $(n-1)$ 期までに投資できる予算の制約を満たすベクトルの集合 X_{n-1} に含まれなければならない。このようなベクトル y の集合 Y_{n-1} は以下のように表される。

$$Y_{n-1} = \{y \mid y \leq x, y \in X_{n-1}\} \quad (4)$$

ベクトル z は、第 n 期での工事の進行状態を表すベクトルで、第 n 期の総走行時間の短縮量を計算するのに必要なベクトルである。いま、ある道路区間が第 n 期で工事される時、工事区間の容量は0になるが、第 n 期より前に工事された道路区間の容量は、工事前の容量 Q から $Q + \Delta Q$ (ΔQ : リンク容量の増加分) に増大する。したがって、第 n 期で生じる総走行時間の短縮量 $U_{(n)}(z)$ を計算するためには、工事が既に終了しているのか、工事中か、それともまだ工事が着工されていないかを識別する必要がある。いま、この識別ベクトル z を $z = 2y - x$ で表すと、 x と y の要素 $x_j, y_j (j=1 \sim M)$ が共に0-1変数で、 $y \leq x$ なので、 $z_j (j=1 \sim M)$ は、-1, 0, 1の3つの値だけをとることになり、この値を用いて工事の進行状態を識別することができる。

- ① $z_j = -1 (y_j = 0, x_j = 1)$: 道路区間 j が第 n 期で工事中であることを表している。
- ② $z_j = 0 (y_j = x_j = 0)$: 工事がまだ着工されていないことを表している。
- ③ $z_j = 1 (y_j = x_j = 1)$: 第 $(n-1)$ 期までに工事が終了していることを表している。

また、第 n 期の工事前の総走行時間に対する短縮量を計算する場合には、与えられたネットワーク上で実際の交通の流れが的確に再現されていなければならない。

そこで、ここでは『利用者は交通ネットワーク上で自由な経路を選択する』という行動規範に基づいて、工事前の総走行時間に対する短縮量を求めることにする。

道路整備の場合は、ベクトル z の中で-1の値を取る要素のリンク容量を0に、1の値を取る要素のリンク容量を ΔQ だけ増加させたネットワークに予め与えられたOD交通量を等時間配分し、そのときのフローから総走行時間の短縮量を求める。

一方、道路工事の場合は、ネットワークの状態を表すベクトル z の中で、-1の値を取る要素のリンク容量を0にしたネットワークに、予め与えられたOD交通量を等時間配分し、同様にして総走行時間の短縮量を求める。なお、道路工事の場合は、工事が終了しても容量が増加しないので、 $z_j = 1$ のとき容量を増加させないように注意しなければならない。

第 n 期の予算制約式(1)を満足するすべてのベクトル $x (\in X_n)$ に対して $V_{(n)}(x)$ を計算し、ベクトル x, y および $V_{(n)}(x)$ を格納する。

いま、第1期から第 N 期までの総走行時間の短縮量の最大値 $V_{(N)}(x)$ が求まると、 $V_{(N)}(x) = V_{(N-1)}(y) + U_{(N)}(z)$ を満足するベクトル y を探索することによって、第 $(N-1)$ 期のネットワーク状態 (x) を求めることができる。同様にして、このベクトル x を用いて $V_{(N-1)}(x) = V_{(N-2)}(y) + U_{(N-1)}(z)$ を満足するベクトル y を探索し、第 $(N-2)$ 期のネットワーク状態 (x) を求める。この探索を第1期まで遡ることによって、各期間で整備すべき道路区間のグループと優先順位を決定することができる。

最後に、5 (= M) 本の道路区間を3 (= N) 期で工事する場合の計算手順を図-3のネットワークを用いて具体的に示す。本計算例では第1期、第2期、第3期までに使用できる予算のトータルをそれぞれ $T_1=2, T_2=4, T_3=5$ とし、各道路区間の工事費用 $c_j (j=1 \sim M)$ をすべて1と仮定する。

なお、本計算例では、予算制約式(1)を満足する最大組み合わせベクトルだけを対象にしているので、第1期を例にとれば、 ${}_5C_2=10$ 通りの組み合わせベクトルだけが工事の候補として挙げられることになる。

STEP 1: 第1期の総走行時間の短縮量の計算

$\sum_j c_j x_j \leq T_1$ を満たす最大組み合わせベクトルの集合を X_1 で表すとき、 $x (\in X_1)$ に対する総走行時間の短縮量の最大値は次の再帰方程式から求めることができる。

$$V_{(1)}(x) = U_{(1)}(z)$$

なお、第1期の場合は $y=0$ となるので、 $z = 2y - x = -x$ と表される。

$$X_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \dots & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad V_{(1)}(x) = \begin{bmatrix} V_{(1)}(x^1) \\ V_{(1)}(x^2) \\ V_{(1)}(x^3) \\ \dots \\ V_{(1)}(x^{10}) \end{bmatrix}$$

ここで、 x^1, x^2, \dots, x^{10} は予算制約式(1)を満たす最大組み合わせベクトルを表す。

STEP 2: 第2期の総走行時間の短縮量の計算

$T_1 < \sum_j c_j x_j \leq T_2$ を満たす最大組み合わせベクトル x の集合を X_2 で表すとき、 $x (\in X_2)$ に対する総走行時間の短縮量の最大値は次の再帰方程式から求めることができる。

$$V_{(2)}(x) = \max_{y \in Y_1} \{V_{(1)}(y) + U_{(2)}(z)\}$$

ここに、 $Y_1 = \{y | y \leq x, y \in X_1\}$, $z = 2y - x$

$$X_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad V_{(2)}(x) = \begin{bmatrix} V_{(2)}(x^1) \\ V_{(2)}(x^2) \\ V_{(2)}(x^3) \\ V_{(2)}(x^4) \\ V_{(2)}(x^5) \end{bmatrix}$$

例えば、 $x^1 = (11110)$ に対応する $V_{(2)}(x^1)$ は、次のように求めることができる。

$$V_{(2)}(x^1) = V_{(2)}(11110)$$

$$= \max \begin{bmatrix} V_{(1)}(11000) + U_{(2)}(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0) \\ V_{(1)}(10100) + U_{(2)}(1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0) \\ V_{(1)}(10010) + U_{(2)}(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0) \\ V_{(1)}(01100) + U_{(2)}(-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0) \\ V_{(1)}(01010) + U_{(2)}(-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0) \\ V_{(1)}(00110) + U_{(2)}(-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0) \end{bmatrix}$$

ベクトル $x (\in X_2)$ に対して $V_{(2)}(x)$ を計算し、ベクトル x, y および $V_{(2)}(x)$ を格納する。

STEP 3: 第3期の総走行時間の短縮量の計算

$T_2 < \sum_j c_j x_j \leq T_3$ を満たす最大組み合わせベクトル x の集合を X_3 で表すとき、 $x (\in X_3)$ に対する総走行時間の短縮量の最大値は、次の再帰方程式を用いて求めることができる。

$$V_{(3)}(x) = \max_{y \in Y_2} \{V_{(2)}(y) + U_{(3)}(z)\}$$

ここに、 $Y_2 = \{y | y \leq x, y \in X_2\}$, $z = 2y - x$

本計算例では3期で工事が終了すると仮定しているので、第3期のベクトル x の要素はすべて1になっていなければならない。したがって、第3期の再帰方程式は次式のようなになる。

$$V_{(3)}(x) = V_{(3)}(11111)$$

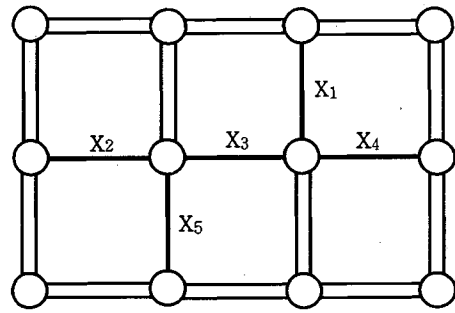


図-3 ネットワーク図

$$= \max \begin{bmatrix} V_{(2)}(11110) + U_{(3)}(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\ V_{(2)}(11101) + U_{(3)}(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\ V_{(2)}(11011) + U_{(3)}(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\ V_{(2)}(10111) + U_{(3)}(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \\ V_{(2)}(01111) + U_{(3)}(-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) \end{bmatrix}$$

つぎに、以上の計算結果から最適政策を探索する。

もし、 $V_{(3)}(x) = V_{(2)}(11011) + U_{(3)}(11-111)$ が成り立つならば、第3期で工事すべき区間はリンク3で、第2期の状態ベクトルは $x = (11011)$ でなければならぬことがわかる。つぎに、第2期で格納したベクトルの集合 X_2 の中から $x = (11011)$ を探索する。例えば、 $V_{(2)}(11011) = V_{(1)}(11000) + U_{(2)}(110-1-1)$ ならば、第2期でリンク4と5を工事し、第1期でリンク1と2を工事するのが最適政策であることがわかる。

本計算例で示したように5本の整備区間を3期で工事する場合には、第1期で $s_2 C_2 = 10$ 回、第2期で $s_4 C_4 \times C_2 = 30$ 回、第3期で $s_5 C_5 \times C_4 = 5$ 回、合計で45回総走行時間の短縮量を計算する必要がある。しかし、5期で1本ずつ整備する場合は、第1期で $s_1 C_1 = 5$ 回、第2期で $s_2 C_2 \times C_1 = 20$ 回、第3期で $s_3 C_3 \times C_2 = 30$ 回、第4期で $s_4 C_4 \times C_3 = 20$ 回、第5期で $s_5 C_5 \times C_4 = 5$ 回、合計で80回総走行時間の短縮量の計算をしなければならない。当然のことながら、5本の整備区間を1期で工事する場合には、工事をする組み合わせが1通りに限定されるので、総走行時間の短縮量の計算は1回で済むことになる。以上の結果からわかるように、工期が多くなればなるほど計算量が增大することがわかる。

4. 計算例と考察

(1) 本手法の道路整備への適用

本研究では、図-4に示すような幹線道路で囲まれた地区内の道路網を対象にして、狭幅員2車線道路を段階的に4車線道路に拡幅整備する問題を考えることにする。図-4において①~⑩はノード番号、二重丸(ノード番号①~⑥)は発着ノード、1~23はリンク番号を表している。このうち、リンク番号1~8の8本のリンク

表一 本計算で使したOD 交通量

| OD | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 500 | 400 | 400 | 500 | 700 |
| 2 | 400 | 0 | 300 | 300 | 250 | 500 |
| 3 | 300 | 500 | 0 | 200 | 300 | 450 |
| 4 | 400 | 200 | 150 | 0 | 300 | 400 |
| 5 | 600 | 200 | 250 | 300 | 0 | 550 |
| 6 | 650 | 500 | 400 | 450 | 600 | 0 |

を整備対象区間とする。ここでは一例として工事期間を3期とし、各期までに使用できる予算の累積値を2, 5, 8 単位コストとする。各リンクの整備費用 ($c_j: j=1\sim 8$) はすべて1 単位コストと仮定する。OD 交通量については表一の値を、また各リンクの走行時間関数については、次式で表される修正 BPR 関数を用いることにした。

$$t_a(x_a) = t_a^0 \{1 + \beta(x_a/Q_a)^\gamma\}$$

ここで、 β, γ はパラメータで、つぎの値を用いる ($\beta = 2.62, \gamma = 5.0$)。

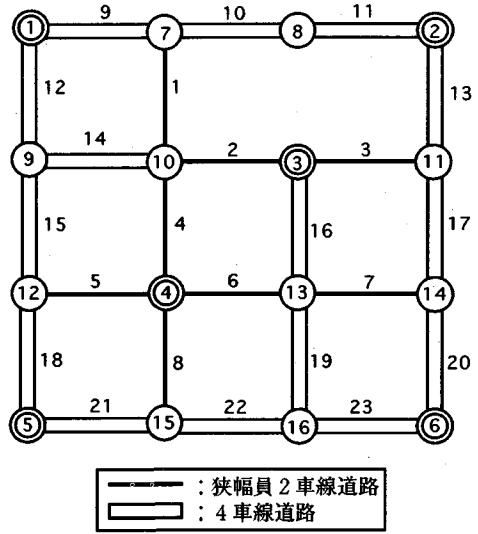
x_a : リンク a の交通量

Q_a : リンク a の可能交通容量

t_a^0 : リンク a を自由走行速度で走行した時の所要時間

各リンクの可能交通容量と自由走行速度については、それぞれ4 車線道路の場合には4 000 台/hr, 60 km/hr, 狭幅員2 車線道路には1 000 台/hr, 55 km/hr と仮定した。

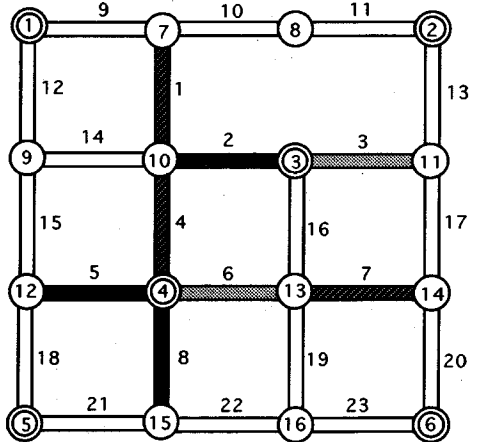
表二および図五、図六は、各工事期間で実施すべき工事区間の組み合わせと総走行時間の短縮量を示したものである。第1期、第2期、第3期で工事を実施すべき区間の組み合わせは、それぞれ(3, 6), (1, 4, 7), (2, 5, 8)で、その時の総走行時間の短縮量は-29.4, 0.6, 7.4, 18.8% (完成後)となる。ここでいう短縮量とは、第1期、第2期、第3期および完成後のネットワーク状態において求めた総走行時間が、工事を行わない場合の総走行時間に比較してどれだけ短縮したかをパーセントで表したものである。当然のことながら、第1期ではリンク容量は増加せず、工事だけが実施されるので総走行時間の短縮量が負になっている。このときの総走行時間は現状よりも約30% 増加しており、工事の影響が大きいことがわかる。第2期では、第1期でリンク3と6が完成し、リンク容量と自由走行速度がアップしているので、リンク番号1, 4, 7の3本のリンクが工事中であるにもかかわらず、現状とほぼ同じ程度の利便性が確保されている。第3期では、リンク番号1, 3, 4, 6, 7の5本の道路が既に完成しているため、残りの3本のリンクが通行止めになってもさほど影響を受けず、総走行時間が約7% 短縮している。なお、第3期で工事が完了するので、第3期以降に総走行時間の短縮量の最大値が現れ、OD 交通量が現状と変わらなければその値が



図四 本計算で使したネットワーク

表二 道路整備の場合の工事区間の組み合わせと総走行時間の短縮量

| 工期 | 整備対象リンク | 総走行時間 (秒) | 総走行時間の短縮量 (%) | 記号 |
|-----|---------|-----------|---------------|----|
| 第1期 | 3, 6 | 1284935 | -29.4 | ■ |
| 第2期 | 1, 4, 7 | 987405 | 0.6 | ■ |
| 第3期 | 2, 5, 8 | 919902 | 7.4 | ■ |
| 完成後 | — | 806236 | 18.8 | ■ |



図五 道路整備の場合の工事区間の組み合わせ

ぎの工事が実施されるまで継続することになる。

この計算例では、8本の整備対象リンクがすべて完成した時点での総走行時間の短縮量は約19% である。それに引き替え、第1期で発生する総走行時間の増加量は約30% で、工事の影響が極めて大きいことがわかる。このように、交通混雑の激しい道路網を対象とする場合

には、工事中の混雑の影響を無視することはできず、整備効果と同等に評価する必要がある。

(2) 本手法の道路工事への適用

つぎに、下水道工事やガス管等の工事のようにリンク容量の増加を伴わない道路工事に、本手法を適用することにする。この場合も図-4と同じネットワークを使用し、走行時間関数や各期で投資できる予算等の条件も道路整備の場合と同じと仮定する。道路整備の場合と異なるのは、工事が終わってもリンク容量と自由走行速度がアップしない点である。表-3は、各工事期間で実施すべき工事区間の組み合わせと総走行時間の増加量を示したものである。この場合は整備による総走行時間の短縮量を考慮していないので、各工事期間で実施すべき工事区間の組み合わせが一意に決まらず、表-3に示す2つの工事案が採択される。

一方の工事案について、各工事期間で実施すべき工事区間の組み合わせを図-7に、総走行時間の短縮量を図-8に示す。その時の総走行時間の短縮量はそれぞれ-21.8、-35.5、-154.4%で、道路整備の場合に比べて全般的に大きくなっている。特に、第3期の値が極端に大きくなっている。道路整備の場合には、第1期では総走行時間が現状よりも増加するが、第2期になると第1期で整備された区間の容量と自由走行速度がアップするので、工事の影響が軽減され結果的にはそれほど大きな混雑は発生していない。一方、道路工事の場合には、工事が終わってもリンク容量が増加しないので工事の影響が大きく現れている。

モデル計算(1)、(2)の結果から明らかなように、工事の影響は極めて大きいことがわかる。したがって、市街地の道路網を対象にして道路工事や道路整備を行う場合には、工事中に生じる混雑をできるだけ抑えるという視点が重要になってくる。

もし、各工事期間で最適な政策を取ると仮定すると、すなわち第1期で総走行時間の短縮量が最大になるように2本のリンクを整備し、第2期で残りの6本のリンクの中から3本を総走行時間の短縮量が最大になるように選んで整備を行い、最後に残りの3本のリンクを整備すると仮定すると、道路整備の場合、総走行時間の短縮量は図-6に破線で示すように-14.0、-39.4、-0.8、18.8%となり、動的計画法を用いた場合よりも約33%総走行時間の短縮量が減少する。一方、道路工事の場合には、第1期では動的計画法を用いた場合よりもよくなるが、第3期で交通容量の何倍もの交通量が流れ、激しい交通渋滞を引き起こす結果となる。したがって、道路整備計画を立案する場合には、各工事期間の最適化を図るだけでは不十分で、工事期間全体の総走行時間の短縮量を最大にするという視点が必要になる。

本研究では、一例として既存道路を拡幅整備する場合

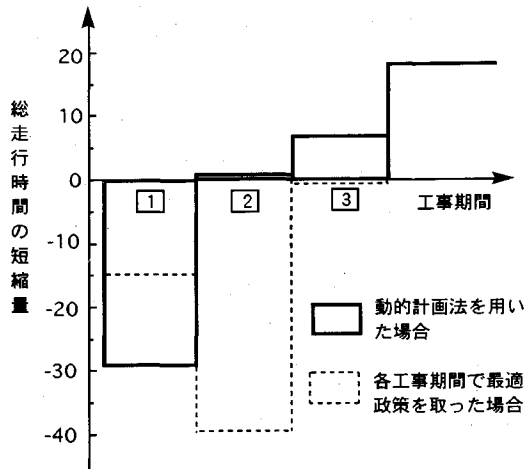


図-6 道路整備の場合の総走行時間の短縮量

表-3 道路工事の場合の工事区間の組み合わせと総走行時間の短縮量

| 工期 | 整備対象リンク | 総走行時間(秒) | 総走行時間の短縮量(%) | 記号 |
|-----|----------------------|----------------------|-------------------|----|
| 第1期 | 1, 4 | 1206201 | -21.8 | ▨ |
| 第2期 | 2, 7, 8 (3, 5, 6) | 1341952 (2519862) | -35.5 (-154.4) | ▩ |
| 第3期 | 3, 5, 6 (2, 7, 8) | 2519862 (1341952) | -154.4 (-35.5) | ■ |

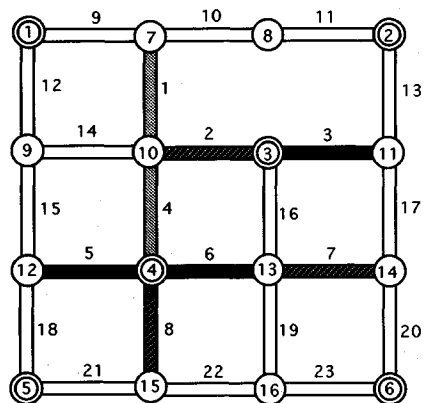


図-7 道路工事の場合の工事区間の組み合わせ

のグループ化と優先順位を決定する問題に本手法を適用したが、既存道路の拡幅整備だけでなくバイパスや環状線等を新しく建設する場合も同様に取り扱うことが可能である。この場合には、新設される道路網を予めダミーリンクとしてネットワークに付加し、ダミーリンクの容量を0に設定してやれば、既存道路の場合と同じように取り扱うことができる。

また、本計算例で工事後の容量の増加量を0とおいて

本手法を適用すれば、容量の増加を伴わない道路工事の場合の組み合わせを決定することができることを示した。したがって、道路工事はグループ間の優先順位が一意に決まらない道路整備の特殊なケースと考えることができる。さらに、ここでは工事区間は自由な組み合わせが可能であると仮定したが、『ある区間 A はある区間 B よりも先に施工しなければならない』等の施工の優先性に関する条件が付加されている場合も、本手法の枠内で同様に扱うことができる。

5. 結 論

本研究では、OD 交通量、整備区間、工事期間、および各期の予算が与えられた場合に、工事期間の混雑をできるだけ抑えながら、整備効果を最大にするためには整備区間をどのようなグループに分けて、どのような順序で整備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。

(1) 道路利用者が被る迷惑をできるだけ抑えながら、整備効果を最大にするような工事区間の組み合わせと優先順位を決定する問題は、ネットワークの状態を表すベクトル z を x と y の関数として適切に表現できれば、動的計画法 (DP) を用いて定式化することができる。

(2) 交通渋滞の激しい市街地の道路網を対象にして、道路工事や道路整備を行う場合には、工事の影響をできるだけ抑えるという視点が重要になる。

(3) 本手法を用いるとネットワークの構成を定める計画変数を離散変数として取り扱うことができるうえ、交通量の増加に伴うサービスレベルの低下を明示的に考慮することができる。

(4) 本手法を用いると『利用者は交通ネットワーク上で自由な経路選択をする』という行動規範を容易に組み込むことが可能である。

(5) リンク容量の増加が期待できない道路工事は、道路整備の特殊なケースと考えらるので、本手法を用いて同様に工事区間の組み合わせを決定することができる。

(6) 本研究では、 M 本の整備対象区間を N 期で整備する場合を取り扱っているため、工事終了後の総走行時間の短縮量は、政策 (グループ化とその優先順位) の如何にかかわらず皆等しくなる。したがって、この場合には工事期間中に生じる総走行時間の増加量と道路整備による総走行時間の短縮量だけを考慮すれば十分である。しかしながら、 M 本の整備対象区間の中から m ($< M$)本だけを整備する場合には、たとえ最適な政策で整備したとしても、その m 本の選び方によって工事終了後の総走行時間の短縮量が異なってくる。長期に渡る

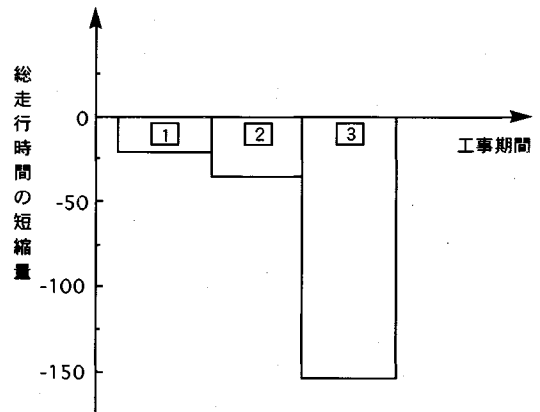


図-8 道路工事の場合の総走行時間の短縮量

整備後の総走行時間の短縮量を重視すべきか、それとも工事期間の混雑の影響を重視すべきか異論のあるところであるが、ここでは工事後の総走行時間の短縮量が最大となる m 本の整備区間を選択し、その m 本の整備区間を最適な政策で整備するという考え方に立つことにする。

(7) 本研究では工事の形態を一様に『全面通行止め』と仮定しているが、一般には『片側一方通行』や『片側交互通行』として工事されることが多いようである。いま、全面通行止めと片側一方通行のどちらの工事形態が適当であるかを内生的に決定する場合には、ネットワークを有向リンクで表現し、本手法を適用すればよい。しかしながら、前述した3つの工事形態のうちどの工事形態が最も適するかを内生的に決定するためには、単に有向リンクで表現するだけでは不十分で、各段階でどのような工事が実施されたかを同時に表現する必要がある。現在、道路整備区間のグループ化と優先順位、および工事形態を同時に決定するモデルを検討中であり、今後の課題にしたい。

(8) 『各道路区間の工事日数はすべて同一である』と仮定しているが、工事日数の差異が大きく同一と見なせない場合に、本手法を用いるとつぎのような不合理が生じる。すなわち、工事日数の短い区間は、工事が早く終了するのでその時点で供用できることになる。しかしながら、本モデルではグループ全体の工事が終了するまで供用されないものとして道路整備による総走行時間の短縮量が求められるので、総走行時間の短縮量が過小評価され最適な組み合わせと優先順位が形成されない場合が生じる。この場合の取り扱いについては、稿を新たに報告したい。

謝 辞：本研究に際し、佐賀大学の高田 弘学長には貴重なご助言、ご支援をいただいた。また、姫路市役所の小幡児義氏および福岡県庁の後藤剛氏にはプログラムの開発等において多大なご協力を得た。ここに記して

感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 飯田恭敬・高山純一・安居邦夫・小田満三：道路整備区間の選択基準とその評価法に関する研究，都市計画論文集，No. 20，1985.
- 2) 木下栄蔵：階層分析法による道路の整備優先順位の決定に関する研究，交通工学，Vol. 25，No. 2，1990.
- 3) 枝村俊郎・森津秀夫：最適交通ネットワーク問題の厳密解法と近似解法，土木学会論文報告集，No. 262，1977.
- 4) 土木学会土木計画学研究委員会編：交通ネットワークの分析と計画：最新の理論と応用，土木計画学講習会テキスト，No. 18，1985.
- 5) 朝倉康夫：交通混雑を考慮した最適道路網計画モデルとその適用，土木計画学研究・論文集，No. 2，1985.
- 6) 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.
- 7) 佐佐木綱・朝倉康夫：OD 需要の変動を内生化した最適道路網計画モデル，土木学会論文集，No. 383/IV-7，1987.
- 8) 朝倉康夫：利用者均衡を制約とする交通ネットワークの最適計画モデル，土木計画学研究・論文集，No. 6，1988.
- 9) 佐佐木綱・朝倉康夫・寺本泰久：発生・集中段階の需要変動を内生化した最適道路網計画モデルの数値計算，交通工学，Vol. 23，No. 6，1988.
- 10) 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，No. 449/IV-17，pp. 227～230，1992.
- 11) Stuart, B. B and Averill, M. L : The Art and Theory of Dynamic Programming, Academic Press, 1977.

(1993.5.10 受付)

A METHOD FOR DETERMINE THE GROUPS OF THE ROAD SECTIONS TO BE SIMULTANEOUSLY CONSTRUCTED AND THE PRIORITY BETWEEN THESE GROUPS CONSIDERING THE DISUTILITY UNDER CONSTRUCTION

Masaru KIYOTA, Hiroshi TANOUE, Tomonori SUMI and Chikashi DEGUCHI

While some road sections are being constructed, motorists and pedestrians are forced to travel by detour routes and as a result, the other road sections are congested. In urban area, the impact of road construction is serious. So, it is necessary to consider this disutility in the road network planning. In this paper, a method is proposed to determine the groups of the road sections to be simultaneously constructed and the priority between them considering the disutility under construction.