

工事形態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

佐賀大学理工学部 正会員 清田 勝
正会員 田上 博
沖本 洋人

1. まえがき

著者等は『全面通行止め』で工事することを前提として、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効果的かを決定する手法を提案した。しかしながら、ネットワークの形態や交通量等によっては、全面通行止めで工事をするよりも片側一方通行や片側交互通行で工事を実施した方がよい場合がある。

そこで、本研究では道路整備のグループ化とその優先順位の決定に加えて、『全面通行止め』、『片側一方通行』、『片側交互通行』等の工事形態をも内生的に決定できるモデルを提案する。

2. 工事の形態とリンク容量の関係

工事形態を考慮するためには、まず工事区間 i をペアをなす2本の有効リンク i_1 と i_2 で表す必要がある。全面通行止めで工事する場合は、リンク i_1 と i_2 が同時に工事されるので、両リンクの交通容量は0になる。リンク i_1 だけが工事される場合は、リンク i_2 は使用可能で、その時の利用形態としては『一方通行』と『交互通行』が考えられる。リンク i_2 を一方通行で利用する場合、リンク i_1 , i_2 の容量はそれぞれ $Q_{i_1}=0$, $Q_{i_2}=Q$ (工事前の容量) となる。リンク i_2 を交互通行で利用する場合は、 $Q_{i_1}=Q_{i_2}=Q/2$ となる。

このように、実施する工事の形態によって交通容量が変化するので、総走行時間の短縮量等で表される整備効果を算定する場合には、どのような形態で工事が行われたかを明確にする必要がある。ここでは、工事されない側のリンクが一方通行で利用されるとき工事形態を $\lambda_i=0$ で、交互に利用されるときを $\lambda_i=1$ で表すことにする。

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、有効リンクで表した 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。第1

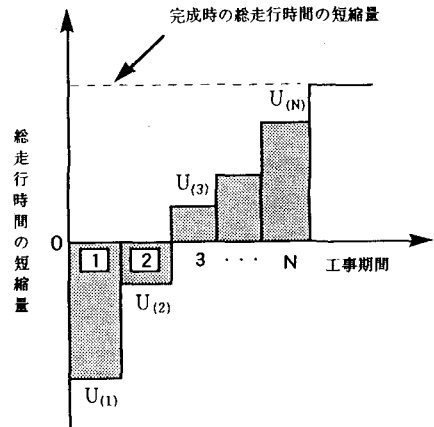


図-1 総走行時間の短縮量

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、道路整備の場合は図-1のように描かれ、工事前(現状)の総走行時間を基準にした場合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、および工事形態を動的計画法を用いて段階的に決めるのが本研究の目的である。

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 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_M)$ は、次の予算制約を満足しなければならない。

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

いま、予算制約式(1)を満足する組み合わせベクトル $\mathbf{x}$ 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 $V_n(\mathbf{x})$ 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。これを式で表すと以下

のようになる。

$$V_{(n)}(x) = \max_{y \in Y_{n-1}} \{V_{(n-1)}(y) + U_{(n)}(z, \lambda)\}$$

$$V_{(1)}(x) = U_{(1)}(z, \lambda) \quad (n=2 \sim N)$$

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。 $Y_{n-1} = \{y \mid y \leq x, y \in X_{n-1}\}$

ベクトル z, λ は、それぞれ第 n 期での工事の進行状態と工事形態を表すベクトルである。

いま、一例として、第1期のネットワーク状態が $x = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$ で表されている場合を考える。このとき、 $z = 2y - x = (-1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0)$ と表されるので、リンク1とリンク3が第1期で工事されることがわかる。このとき、リンク1, 3と対をなすリンク2, 4をどのように使用するか問題になる。この場合は次の4つの利用形態が考えられる。

- ① $\lambda = (0 \ 0 \ 0)$: リンク2, 4を共に一方通行で利用する。
- ② $\lambda = (1 \ 0 \ 0)$: リンク4を一方通行で、リンク2を交互通行で利用する。
- ③ $\lambda = (0 \ 1 \ 0)$: リンク2を一方通行で、リンク4を交互通行で利用する。
- ④ $\lambda = (1 \ 1 \ 0)$: リンク2, 4共に交互通行で利用する。

なお、リンク5, 6は両方とも工事が行われていないので、一方通行として使用することができる。したがって、 $\lambda_3 = 0$ となる。

以上の4つのパターンについて、それぞれについて総走行時間の短縮量を計算し、その最大値を求める。これを再帰方程式で表せば以下ようになる。

$$V_{(1)}(1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$= \max \begin{bmatrix} U_{(1)}(-1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 : 0 \ 0 \ 0) \\ U_{(1)}(-1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 : 1 \ 0 \ 0) \\ U_{(1)}(-1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 : 0 \ 1 \ 0) \\ U_{(1)}(-1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 : 1 \ 1 \ 0) \end{bmatrix}$$

もし、 $U_{(1)}(-1 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 : 1 \ 1 \ 0)$ が最大になるならば、そのときのネットワークの状態を表すベ

クトル x 、工事形態を表すベクトル λ および総走行時間の短縮量 $V_{(1)}(x)$ を格納する。

つぎに、第2期の状態ベクトルが $x = (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0)$ で表される場合を考える。この場合は x が第1期のどのようなネットワーク状態 y から形成されたかを検討すると同時に、第2期の工事をどのような形態で実施するのが最も効果的かを考慮する必要がある。この場合の再帰方程式は次のように表される。

$$V_{(2)}(1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0)$$

$$= \max \begin{bmatrix} V_{(1)}(1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(1 \ 1 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0 : 0 \ 0 \ 0) \\ V_{(1)}(1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(1 \ 1 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0 : 0 \ 1 \ 0) \\ V_{(1)}(1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(1 \ 1 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0 : 0 \ 0 \ 1) \\ V_{(1)}(1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(1 \ 1 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0 : 0 \ 1 \ 1) \\ V_{(1)}(1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(1 \ -1 \ 1 \ 0 \ -1 \ 0 : 1 \ 0 \ 0) \\ V_{(1)}(1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(1 \ -1 \ 1 \ 0 \ -1 \ 0 : 1 \ 0 \ 1) \\ \dots\dots\dots \\ V_{(1)}(0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0) \\ \quad + U_{(2)}(-1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 : 0 \ 0 \ 0) \end{bmatrix}$$

第1期の状態ベクトルが $y = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$ の場合は、 $z = (1 \ 1 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0)$ となり、第2期でリンク3と5が工事されることになるので、この場合もリンク4, 6について4つの利用形態が考えられることになる。状態ベクトルが $y = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$ の場合は、 $z = (1 \ -1 \ 1 \ 0 \ -1 \ 0)$ となるので、リンク2と5が第2期で工事されるが、この場合はリンク1が既に完成し、片側2車線になっているので、このリンクを交互に利用することが可能である。したがって、リンク6について次の2つの利用形態だけを考慮すれば十分である。

$$\lambda = (1 \ 0 \ 0), (1 \ 0 \ 1)$$

以上のようにして、第2期の予算制約式を満足するすべてのベクトル $x \in X_2$ に対して、 $V_{(2)}(x)$ を計算し、工事形態を表すベクトルと共に格納する。

これらの操作を第 N 期まで繰り返すことによって、各期間で整備すべき道路区間のグループと優先順位および工事形態を決定することができる。