

道路ネットワークにおける維持管理支援モデルの構築*

Development of the Maintenance and Management Supporting Model for Road Network *

三澤勉**・有村幹治***・田村亨****

By Tsutomu MISAWA**・Mikiharu ARIMURA***・Tohru TAMURA****

1. はじめに

人口減少傾向にある我が国において、道路の維持管理を効率的に実施していくことは、社会資本のストック化の観点からも重要な政策課題であり、既に多くの研究が蓄積されている^{1),2),3)}。今後の道路維持管理には、予算制約の変動や人口減少を考慮しつつ、道路性能を適切に保持し利用者に供用していくことが重要である。そのためには、道路ネットワークの維持管理に関わる事業の優先順位を客観的に指標化し、地域の実状に合わせた整備手法を確立することが必要となる。

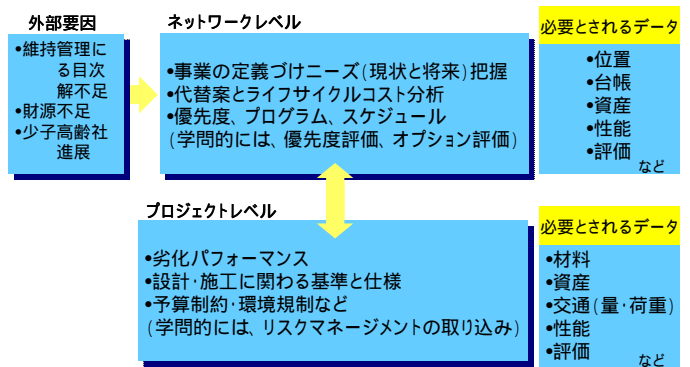
本研究の目的は、将来的な交通需要の変動を考慮した道路修繕シナリオの最適意思決定支援のためのライフサイクルコスト（以下、LCC と記す）による道路修繕シナリオのモデリング、及び多目的最適化手法の適用フレームを示すことにある。

2. 本研究の位置づけ

社会資本マネジメントシステムは、ネットワークレベルとプロジェクトレベルの二つの計画スケールに分けられる。ネットワークレベルにおけるマネジメントの目的は、予算制約下におけるプロジェクトの優先度を定め、作業スケジュールを策定することにある。そのため、事業の定義付け、将来に対するニーズ把握、代替案作成、LCC 分析、事業の優先度決定等、各種の評価が試みられる。

一方、プロジェクトレベルにおけるマネジメントでは、プロジェクト実施順位を所与として、各プロジェ

クトの整備・管理の効率的執行を図ることが目的となる。そのために劣化パフォーマンス、設計・施工基準と仕様、予算制約・環境規制等のリスクを考慮した維持管理戦略が決定される。



出典: W. Ronald Hudson 他(2001) "Infrastructure Management"

図-1 マネジメントの2つのレベル

本研究で提案する道路ネットワークにおける維持管理支援モデルは、ネットワークレベルのマネジメントを対象としている。しかし、意思決定支援モデルの構築のために、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms, 以下 GA と記す）の適用を前提に評価モデルの構築を行った。離散的最適化手法の一つである GA を維持管理シナリオの評価に用いることは、以下の点で有利であると考えられる。それは、プロジェクトレベルの多様な操作変数の評価モデルへの取り込める点、維持管理シナリオを knapsack 問題として簡潔に表現できる点、代替案の評価値と外部要因の変動リスクを多目的最適化問題として定式化できる点、近似の最適解を現時的な時間で計算できる点、である。

3. 維持管理シナリオの評価と最適化手法

(1) 評価関数

所与の条件として、LCC 評価期間の各年次の OD 交通量、各年次の予算制約、舗装の劣化関数、を設定する。道路維持管理シナリオの評価のための目的関数を以下に示す。

*key words : 土木施設維持管理、公共事業評価法、計画手法論

**学生員、修(工)、室蘭工業大学大学院工学研究科

博士後期課程建設工学専攻

(北海道室蘭市水元町 27 番 1 号、TEL0143-46-5289、

E-mail:s0921097@mmm.muroran-it.ac.jp)

***正員、工博、独立行政法人北海道開発土木研究所

****正員、工博、室蘭工業大学工学部建設システム工学科

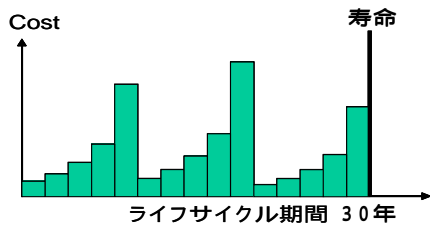


図-2 ライフサイクル期間のあるシナリオのコスト

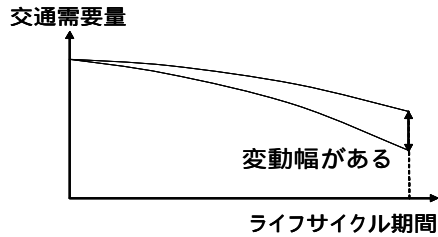


図-3 ライフサイクル期間の交通需要変動

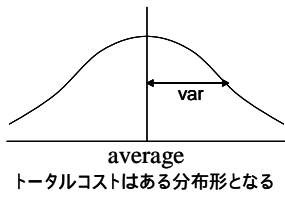


図-4 需要変動と LCC

本研究では、外部要因として、将来交通量の減少を考慮した LCC 最適化フレームを構築した(図-2)。維持管理シナリオの LCC は交通需要に依存して変動する(図-3)。この変動をもつ LCC の平均値とその分散の低減が、費用面で優れ、かつ将来の人口変動に対して頑強な維持管理シナリオの構築に繋がる。

そこで本研究では、LCC 評価期間における維持管理シナリオ(図-4)の評価関数として、LCC の平均値(式1)と、LCC の分散(式2)の2式を設定した。

$$Object_1 = ave \sum_{t \in T} LCC_t \rightarrow MIN \quad (1)$$

$$Object_2 = var \sum_{t \in T} LCC_t \rightarrow MIN \quad (2)$$

LCC: ライフサイクルコスト

T: ライフサイクル期間

Ave: 平均値 var: 分散値

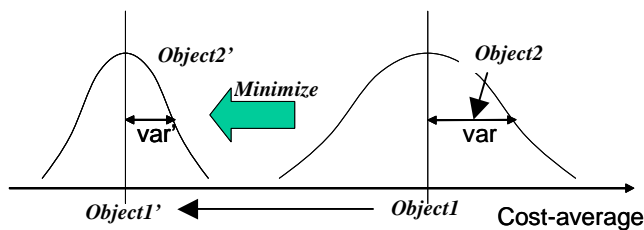


図-5 目的関数の概念図

(2) コーディング

GA 適用にあたり、ライフサイクル期間における全

ての維持管理シナリオを表現できるコーディング方法を設定する。本研究では、これを予算制約下の対策工法の有無を Knapsack 問題として定式化する。ライフサイクル期間の各年における道路ネットワークの修繕の有無を、バイナリコーディングにより表現した。遺伝子座は、対象ネットワークの各リンク番号に対応している。なお、設計変数を実数表現にすることで複数の対策工法の実施有無も表現である。

Link Number	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
Gene String	0 1 0 1 0 1	1 1 0 1 1 0	1 1 1 0 1 1
	1 年目	2 年目		n 年目

0: 修繕無し 1: 修繕有り

図-6 バイナリコーディング

各期の維持管理に要する予算制約を超過する遺伝子列が生成された場合、ペナルティ値が与えられ、GA の最適化過程により淘汰される。予算制約下の修繕シナリオについては、Monte Carlo 法により外部の変動要因を取り込み、各目的関数値を算定する。

(3) 多目的 GA の適用

本研究では、多目的 GA 適用に対して、各評価値から適用関数値への変換にランク戦略を用いた。各世代の解集合は各目的関数値により図-7 に示すようにプロットされる。任意の維持管理シナリオ a の評価は、パレート改善方向に位置する同世代の他の解の個数により決定される。

パレート改善方向に解がない場合、最大の適応関数値が与えられ、世代更新時に淘汰される確率は低減する。最終的には、同じ交通需要変動に対して、異なる特性を持つ修繕シナリオ群がパレート集合として生成される。

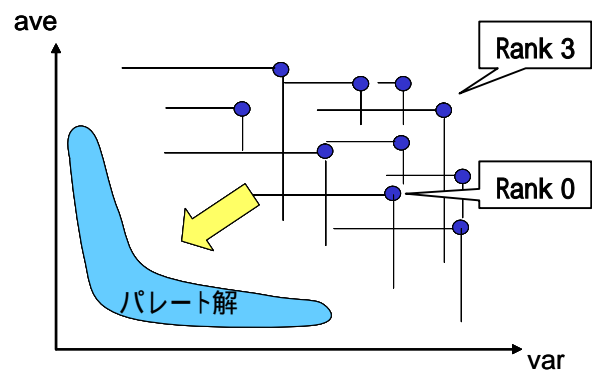


図-7 ランク戦略

4. 道路修繕シナリオの評価モデル

(1) LCC の定義

本研究では維持管理に関わる LCC は、交通需要・道路性能に影響すると考え、維持費・修繕費の管理者側の費用と、車両走行費・時間損失額の利用者側の費用の和として定義した。

$$LCC = (\text{維持費}) + (\text{修繕費}) + (\text{車両走行費}) + (\text{時間損失額}) \quad (2)$$

ここで、維持費は清掃などの費用であり、修繕費は補修工事の費用であり、車両走行費は走行状況に関わる燃費、時間損失額は修繕に伴う道路規制等による道路利用者の時間損失を貨幣換算したものである。対策工が実施される修繕期とそれ以外の通常期により、LCC は変化する (図-8)。

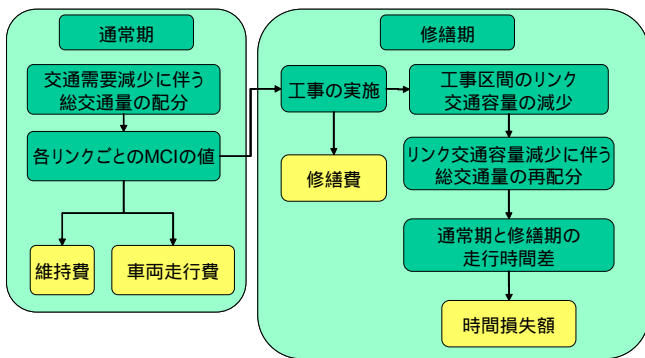


図-8 LCC 分析フロー

LCC 評価期間の各リンクにおける対策工法の実施有無がバイナリコーディングされた遺伝子線列に於て表現される。

通常期では、人口減少に伴う交通需要の変動に従い、総交通量の配分が行われる。翌年からの交通量による道路の劣化が MCI の値で算出される。そして、本研究の LCC の4つの要因のうち、維持費・車両総工費が LCC に計上される。修繕期には、MCI の値の算出までは通常期と同じであるが、この MCI の値により、修繕を行うか否かが判別され、予算上可能であるならば、修繕が実行される (修繕費が LCC に計上される)。これに伴い、工事区間の交通容量が減少し、総交通量の再配分が行われる。そして、通常期と同様に配分された総交通量の総走行時間と修繕期に再配分された総交通量の総走行時間の差を時間価値により時間損失額に換算し LCC に計上する。

(2) 道路性能評価

LCC に影響を与える要因である道路性能を評価する指標として、旧建設省による MCI (Maintenance Control Index: 維持管理指標による性能評価)、アメリカの AASHO による PSI (Pavement Serviceability Index: 供用性指標による評価) などが提案されている。

$$\left. \begin{aligned} MCI &= 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.4\sigma^{0.2} \\ MCI_0 &= 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \\ MCI_1 &= 10 - 2.23C^{0.3} \\ MCI_2 &= 10 - 0.54C^{0.7} \end{aligned} \right\} (3)$$

$$PSI = 4.53 - 0.518 \log \sigma - 0.371 \sqrt{C} - 0.174 D^{0.2} \quad (4)$$

ここで、MCI は修繕の必要性の是非を示すものであり、PSI は工法の選定を示す指標である。両指標とも同じ道路の計測値 (轍割れ・ひび割れ・縦断凹凸) を用いており、関係は以下の関数で表される。

$$MCI = 1.536 PSI + 1.0078 \quad (5)$$

なお、本研究では、ヒアリング結果より修繕工法のおおよその単価を以下に設定している (表-1)。

表-1 維持管理指数とおおよその対応工法と単価

維持管理指数 (MCI)	おおよその対応工法	修繕費単価 (円/m ²)
5.6 ~ 4.2	表面処理	2000
4.1 ~ 2.7	オーバーレイ	5000
2.6 ~ 0	打換工	20000

(3) 交通量と MCI の劣化の関係

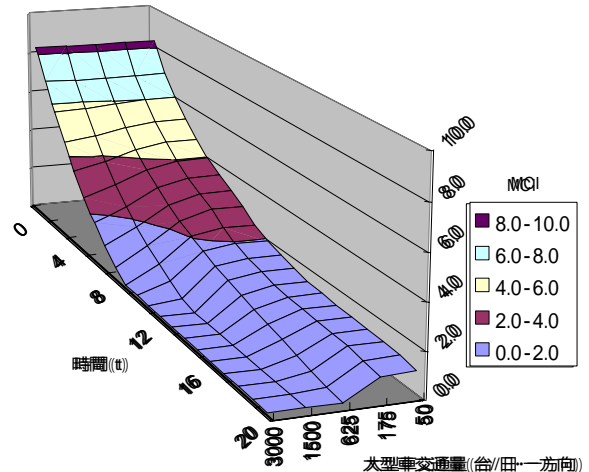


図-9 大型車交通量と MCI の劣化の関係

本研究で用いた LCC の全ての項は MCI もしくは交

通量の関数で表される。そこで、交通量減少に伴う MCI の時間変化(劣化パフォーマンス関数)を図-9に示す。縦軸に MCI の値を、横軸に道路の劣化に影響を及ぼす大型車交通量を、奥行き軸は時間を示している。大型車交通量が MCI 値に大きな影響を与えることがわかる。時間経過に伴う交通量減少による MCI の推移は、左奥から右前へ斜めへの変化として計算される。

(4) 道路維持管理評価モデル

本研究では道路維持管理シナリオの評価モデルを以下のように設定した。諸設定を以下に示す。

1) 維持管理費用

各期の維持管理コストを本研究では、以下のように設定した。式(5)~(9)に示す。

$$LCC_t = MC_t + DC_t + \delta * (RC + TLC)_t \quad (6)$$

$$MC_t = (\alpha_1 MCI + \beta_1) * Q_t \quad (7)$$

$$DC_t = (\alpha_2 MCI + \beta_2) * Q_t \quad (8)$$

$$RC_t = I_{nunit} * S \quad (9)$$

$$TLC_t = (TQ_r - TQ_t) * tv \quad (10)$$

where

LCC_t : t 期の道路維持管理のトータルコスト

MC_t : t 期のメンテナンスコスト

DC_t : t 期の車両走行費

RC_t : t 期の修繕費

TLC_t : t 期の修繕に伴う時間損失額

δ : 修繕を行う場合 1、行わない場合 0

MCI : 道路の維持管理指標

Q_t : t 期の総OD量

TQ_t : t 期の総OD量の総移動時間

TQ_r : t 期における修繕時の総OD量の総移動時間

I_{nunit} : 工法ごとの工事単価

S : 修繕面積

tv : 時間価値

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$: パラメータ

2) 制約条件

制約条件として以下のように設定した。

- ・ T 期の OD 交通量の減少率 (所与)
- ・ 各期各ノードの OD 交通量 (各期の OD 保存則を

満たす)

- ・ 各期の対策工事は期間中に終了し複数年次で実施されない

s.t.

$$\sum_{t \in T} C_t = \frac{C_1}{(1+r)^0} + \frac{C_2}{(1+r)^1} + \dots + \frac{C_t}{(1+r)^{t-1}} \quad (11)$$

$$MCI_t = f(Q_{\Delta t}) \quad (12)$$

$$MCI_t \geq \forall z \quad (13)$$

$$Q_t = \sum_{i,j \in N} (OD_{i,j})_t \quad (14)$$

$$Q_t = \alpha_3 Q_{t-1} \quad (15)$$

$$(OD_{i,j})_t = \alpha_3 (OD_{i,j})_{t-1} \quad (16)$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (17)$$

where

$\sum_{t \in T} C$: ライフサイクル期間 T における現在価値に

変換した各コストの総費用

C : 各コスト ($MC \cdot DC \cdot RC \cdot TLC$)

r : 社会的割引率

z : 道路性能の下限值

Q_t : t 期における総交通量

$OD_{i,j}$: t 期におけるノード i, j 間の OD 交通量

α_3 : パラメータ (交通量の減少率を示す)

以上の設定により、複数年次の維持管理シナリオが、二つの目的関数により評価され、多目的 GA により最適化される。

5. おわりに

本研究では、交通需要下における道路ネットワークを考慮した維持管理モデルの最適化フレームを示した。今後の課題としては、構築したフレームによる、人口減少速度や人口分布変化等、複数の条件を加味したケーススタディの実行が挙げられる。

参考文献

- 1) 田村謙介, 小林潔司: 不確実性下における道路舗装の修繕ルールに関する研究, 土木計画学研究論文集, No.18(1), pp.97-107, 2001
- 2) 小林潔司: 土木構造物のアセットマネジメント工学, 建設マネジメントを考える, pp15-17, 2002
- 3) 木本 由花, 上田 孝行: 確率過程に着目した道路橋の維持・更新, 第 57 回年次学術講演会概要集 CD-ROM