

都市高速道路を対象としたアセット マネジメントに向けての基礎的考察

名古屋高速道路公社 ○志水 公敏*
名古屋工業大学大学院 南部雄一郎**
名古屋工業大学大学院 秀島 栄三***

都市高速道路のような施設では、既設構造物をただ単に維持管理するのではなく、提供する公共サービスの質を確保しつつ、効率的に投資計画を作成、実施していくしくみをつくり、必要があれば利用者等にその計画立案プロセスを説明できるようにしておく必要がある。本稿では、名古屋高速道路を事例として採り上げ、都市高速道路の構造的特質から便益発生までの関係を系統的に理解し、上述の観点からアセットマネジメント的方法論の導入に向けての基礎的検討、課題整理を行い、ライフサイクルコスト最小化に向けた投資方策について考察する。

【キーワード】都市高速道路、維持管理、ライフサイクルコスト最小化

1. はじめに

都市高速道路の管理者は、道路が都市の諸活動に資するよう所期の機能を発揮し続けさせなければならない。このために点検、補強、補修などを含む道路管理業務を的確に実施していく必要がある。また都市高速道路は基本的に建設及び維持管理に係る整備費用を利用者の通行料金で返済していくことになっており、整備費用の規模と用途について利用者や市民に納得してもらえよう説明する必要がある。

これらのことから、道路を整備・管理していく上では長期的な効率性を追求し、かつその検討の経過が他者に明瞭に説明できる方がよい。それらを具現化するものとして近年アセットマネジメントの考え方に目が向けられている。

本研究は、都市高速道路の整備・管理にアセットマネジメントの考え方を導入する上で、何をどのように把握しておくべきか、どのような課題に取り組むべきかを明らかにすることを目的とする。

2. 維持管理業務の現状と課題

* 計画部 計画課

** 工学研究科 修士課程 産業戦略工学専攻

***工学研究科 ながれ領域 助教授

まず維持管理の現場では、多くの路線や延長を限られた人員で管理している場合が多く、業務は過去に採ってきた方法に従いがちである。一般的に維持管理業務は新規建設業務に比べると後回しにされる傾向が強く、短期的な視点では効果が見えにくいこともある。また、機能障害を事前に感知することは難しく、利用者の通報などにより後追いの対応をしている場合も少なくない。

名古屋高速道路公社の例をみる場合、構造物の点検については独自に「道路構造物の点検要領（H8.3）」を制定し、表-1に示すように日常点検、定期点検、臨時点検に分けて実施されている。そしてこの点検結果に基づき、異常及び損傷箇所を把握し、

表-1 点検頻度と作業の組み合わせ（抜粋）

点検方法	日常点検		定期点検	臨時点検
	路上点検	路下点検		
	巡回車からの目視を原則として、必要に応じて徒歩で行う。	徒歩を原則とする	徒歩により可能な限り接近して行うものとし必要に応じて足場又は点検車を利用する。	主として巡回車の目視を原則とし必要に応じて点検車等を利用する。
頻度	下記に示す*	1回/3ヶ月	1回/5年	必要に応じて
対象部材	上部工	○	○	目的に応じて
	床版	○	○	
	下部工	○	○	
	支承	○	○	
	高欄	○	○	
	地覆	○	○	
	舗装	○	○(3年毎)	
	排水施設	○	○	
	落橋防止装置	○	○	
	その他構造物	○	○	

一定の周期で実施することを考えている補修項目と合わせ、維持管理費に係る限られた予算の下で、できる限り早期に対処しようとしている。しかし、安全かつ円滑な交通の処理を確保しようとすることは当然であるが、路線全体が生み出す便益、換言すれば構造物の資産価値を最大にするような考え方は採られていない。現状にこの考え方を少しでも対応させるとすれば長期的な維持管理のあり方として管理費と損失（の期待値）を合わせたライフサイクルコスト（以下、LCCと記す）を最小化させることが考えられる。

3. アセットとしてみた道路システム

維持管理に閉じるにせよ閉じないにせよ、道路という資産の状況を客観的に把握・予測し、必要な対策を立てること、つまり、都市高速道路の機能やそれを構成する構造物等の機能に着目し、その機能を発揮することにより生じる便益を明らかにし、最終的に費用と損失の最小化を図る必要がある。

そこで改めて都市高速道路を見直すと、図-1のように4階層のシステムとして捉えることが適当と考えられる。①高架構造等の構造を成立させている脚、桁、床版などの部材、②部材の組み合わせにより形成されている高架構造・トンネル構造といった構造物、③構造物がある程度の距離で連続し交通利用に供する施設となっている路線、④複数の路線が組み合わせられネットワーク（道路網）である。

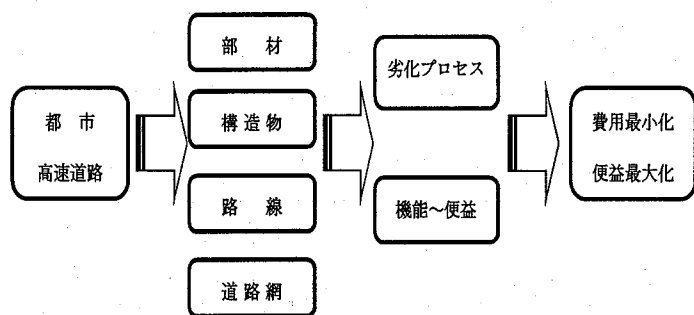


図-1 都市高速のAMの基本的考え方

a) 部材について

各部材は劣化するが、部材が劣化することとは、時間の経過とともに力学的強度が減少していくことと捉えられる。式(3-1)のように表される。

$$S = S(t) \quad (3-1)$$

S : 強度

t : 時刻

部材の機能と便益の関係を考えた場合、一つの部材が損傷・劣化等により機能しなくなった場合においても、その部材によっては構造物の機能にはさほど影響しないものもある。従って、部材だけで捉えた場合には都市高速道路としての便益には間接的な影響しか与えないといえる。

b) 構造物について

構造物に期待される機能的水準は、部材間の接合の弱まりなど複合的要因で低下することもあり、単純に上述の「部材」の劣化を足し合わせて示されるものではない。構造物が全体として時間経過とともに機能しなくなる確率が増大していくのは事実である。これは式(3-2)のように表される。

$$p(t) = p(f_1(t), f_2(t), \dots, f_j(t), \dots, f_n(t)) \quad (3-2)$$

p : 構造物の期待機能水準

f_j : 部材 j が劣化し機能しなくなる確率

c) 路線について

高架構造物が連続する1つの路線を捉えた場合、その路線の機能がどれだけ維持できるかが問題となる。地震などの突発的な不可抗力も含め、どこかで崩壊が生じた場合、路線として機能しなくなる。路線として機能しなくなる確率を式(3-3)のように表す。

$$Pm(t) = 1 - \sum_{j=1}^n p_j(t) \quad (3-3)$$

P : 路線が機能しなくなる確率

p_j : 区間 j で機能している確率

m : 路線

路線が生み出す便益は基本的に交通処理能力に対応する。路線全体が何の損傷もなく機能している場合は100%の便益を期待できるが、途中数箇所かで損傷が発生している場合、損傷箇所数により交通処理能力が変わる。

d) 道路網について

道路がネットワークを構成していれば、一つの路線が機能しなくなった場合でも他路線を利用して迂回するなど代替性を期待することができる。ただし、迂回する場合の時間抵抗等により利用交通量は減少すると考えられ、その分だけ機能低下が生じる。

道路ネットワークが機能している確率は、規定のグラフ構造が変化することで、それに対応して低下する。式(3-4)で表すことができる。

$$Q = Q(G(n, j(n_r, n_s), K_j(p_m))) \quad (3-4)$$

Q : 道路網が機能している確率

G : グラフ構造

n : ノード

$j(n_r, n_s)$: リンク (=路線) ($r \neq s$)

$K(P_m)$: リンク容量

路線の容量は c) の路線が機能している確率に依存する。路線網が生み出す便益は路線の場合と同様、交通処理能力に相応する。道路利用者は各路線を横断的に使用しており、一つの路線で機能障害が発生した場合の便益損失については、環状道路内側の内々交通については、その利用形態からも「路線」として評価が可能であるが、通過交通については、環状道路等の他の高速道路を迂回利用するなど路線網として便益等の損失を考えなければいけない。

なお点検業務の観点から上記4階層システムを見渡すと「部材」「構造物」は点検において「劣化」の確認が行われる。「路線」「道路網」の機能水準は「部材」「構造物」の劣化に依存するものであるが点検業務においてそのような視点は十分でない。

4. 維持管理費最小化計画

維持管理に係る予算は、全路線に総括的に配分することになっており、どこかの路線に集中的に投資すれば他路線の補修ができなくなり、その分だけ他路線の劣化が進むことになる。どの時点でどこに集中的に予算を使うのか、あるいは分散して使うのか、限られた予算をいかに効果的・効率的に使い、いかに道路の現在価値を最大化するかが今後検討していく必要があると考える。

名古屋高速道路の場合、図-2に示すように、右回り一方通行の都心ループを中心に6つの放射状道路で形成されている。また、管理者の異なる他の高速道路がこれを取り囲むように配置されている。名古屋高速道路を利用する多くの交通は「放射道路」→「都心ループ」→「放射道路」といった移動をしていくことから、機能的には都心環状線と6本の放射線という仕分けが可能（都心環状線の重みは大き

い）であると考え。また、整備時期も都心環状部を除いてほぼ放射状路線ごとに行われている。

これらを考え合わせれば、路線別に維持管理計画を立てることが好ましいと考える。

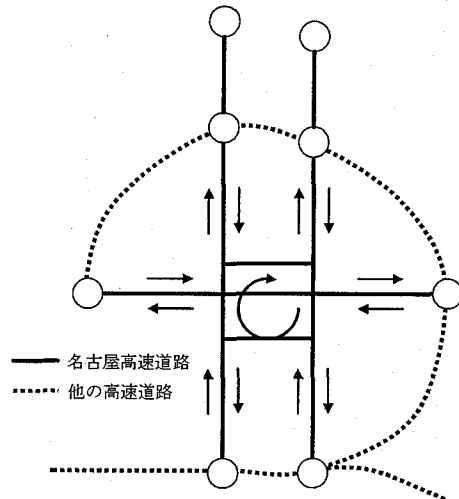


図-2 名古屋高速道路網概略

まず構造物レベルで維持管理計画を考えるとすると、構造物は図-3に示すように、建設当初の状態から時間の経過とともに期待機能水準の低下が始まり、一定期間経過後には構造物として機能しなくなることになる。すなわち路線として生み出すべき便益が損なわれる。しかし、その間に補修を行うことにより期待機能水準の回復を図ることができ、構造物が機能する期間も長くなる。

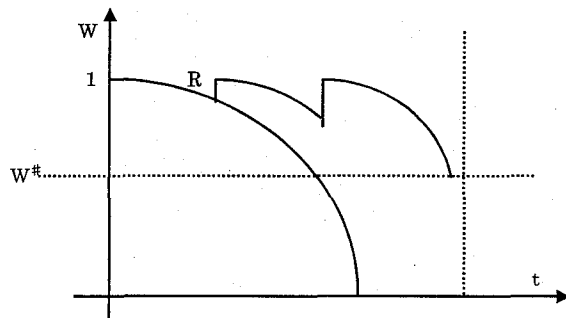


図-3 構造物のLCC算定概念図

式(4-1)に示すように期待機能水準(W)は、時間の経過とともに減少するが、途中補修することで相応する回復度 R (正数) だけ回復すると考える。

$$W(t) = \exp(-bt) + \int_0^t R(s)ds \quad (4-1)$$

b : パラメータ

回復度 $R(t)$ はコストをかければその分増加し、その増加分は指数的に増加すると考え、式(4-2)で表す。

$$R(t) = gC(t)^\alpha \quad (\alpha > 1) \quad (4-2)$$

$R(t)$: 回復度

$C(t)$: 補修費

g, α : パラメータ

これより構造物のLCC最小化問題は、式(4-3)のように定式化することができる。

$$Z = \int_0^T \exp(-rt)C(t)dt \rightarrow \min \quad (4-3)$$

$$0 \leq C(t) \leq C^\# \quad (4-4)$$

$$W(t) \geq W^\# \quad (4-5)$$

$C(t)$: 補修費

$C^\#$: 一度に支出可能な補修費

r : 社会的割引率

$R(s)$: $t=s$ で行われた補修による回復度

$W^\#$: 最低限保つべき水準

式(4-3)を最小化するような補修費(時間関数)を求めることで管理者が実施すべき補修計画が明らかとなる。これについて数値計算を行ったが紙幅の都合上、計算結果とその考察については割愛する。

次に、前述の式(4-3)を用い、完成時期の異なるA、B、Cの3構造物で構成される路線を想定し、3構造物にどのように維持管理費を投入した場合に路線としてのLCC最小化が図られるかを調べた。結果の一例を図-4に示す。

完成時期の早い2つの構造物には初期に集中的に投資し、完成時期の遅い構造物には期間最後に集中投資することが最小化に繋がるという結果となり、

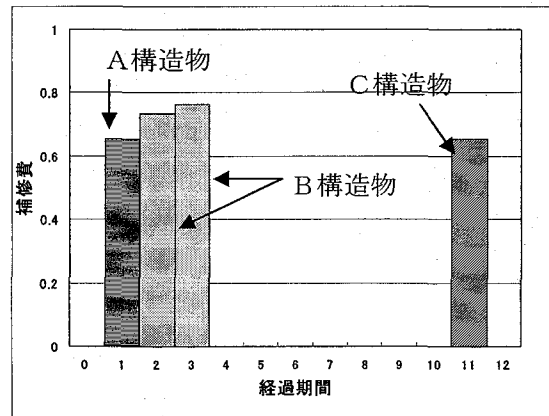


図-4 3構造物の組合せ補修費

全ての構造物が同様の補修投資パターンではないという興味深い結果となった。

路線網でLCCを検討する場合には、複数路線にまたがるトリップを考慮に入れる必要があり、交通計画のアプローチを導入することとなるであろう。

5. おわりに

本稿では都市高速道路を4階層システムとして捉え、劣化、機能～便益の関係性について考察し、路線のLCC最小化に向けて検討に取り組んだ。構造物群としての劣化過程を関数化できれば、路線としてのマネジメントが容易になると考えられるが、これは今後検討すべき課題である。

【参考文献】

- 1) 室津義定：システム信頼工学，共立出版，2001
- 2) 名古屋高速道路公社他：名古屋高速道路の維持・管理に関する調査研究委員会報告書，平成14年～平成16年

A Basic Analysis for Asset Management of Urban Highway Network

By Kimitoshi Shimizu, Yuichiro Nanbu and Eizo Hideshima

The administrator of urban highway should not only keep the existing institution but should make and manage a long-term investment plan while it keeps the quality of highway. Furthermore it is appropriate to have the accountability for the users. This paper observes the road network and the maintenance works in Nagoya Expressway as an example and then tries to understand the essences in the urban highway and the maintenance process and the relation among the physical deterioration, functional loss and diminishing social benefits. Consequently, it consider the feasibility and subjects of introducing the notion of Asset Management to urban highway network and develop a methodology of minimization of the life-cycle cost for highway maintenance.