

阪神高速道路のアセットマネジメントシステム

阪神高速道路(株)保全交通部保全企画グループ 坂井 康人
阪神高速技術(株)維持統括部 西岡 敬治
阪神高速道路(株)計画部特定調査グループ 西林 素彦

要 旨

阪神高速道路は昭和39年に環状線の一部2.3kmを供用して以来、約40年後の今日では総延長233.8kmのネットワークを形成し、1日平均約90万台の利用台数を数える、阪神都市圏を支える最も重要なインフラの一つであるため、その維持管理水準は高いものが求められているところである。

その一方で構造物の高齢化に伴い、構造物の維持管理費の増大が懸念されているにも関わらず、昨今の厳しい経済情勢等の中、構造物の維持管理費は近年減少傾向であることか、適切な構造物の維持管理をより合理的、効率的かつ計画的に行っていく必要がある。

本稿では、現在検討を進めている阪神高速道路のアセットマネジメントシステムとして中長期的に最適な維持管理業務の策定を支援するために開発した橋梁マネジメントシステム（H-BMS）及び維持管理業務の継続的改善に資するために開発したロジックモデル（HELM）について述べるものである。

キーワード: 維持管理計画, アセットマネジメント, H-BMS, ロジックモデル, 管理水準

はじめに

阪神高速道路は約9割が高架構造物（橋梁）で構成されており、平成17年現在、供用後経年30年以上の区間が全延長の約39%（90.9km）、20年以上の区間が約53%（124.1km）を占め、構造物の高齢化と、それに伴う維持管理費用の増大が懸念されている。

一方で、構造物の維持管理費予算は近年減少傾向にあるが、今後も適切な構造物の維持管理を継続していくためには、将来の中・長期計画を見据えながら、より合理的、効率的に構造物老朽化への適切な対応を行う必要がある。また、利用者等

へのサービスレベルが低下しないよう適正なサービス水準を確保する必要があり、維持管理の必要性や意義に対する理解を得ることの重要性も高まってきている。

これらの課題に対処するため、本稿では阪神高速道路の橋梁を対象としてこれまで検討を行ってきたアセットマネジメントシステムの概要について紹介するものである。

1. アセットマネジメントシステム

現在取り組んでいるアセットマネジメントシステムの概念を図-1に示す。

データ管理ツールとしての保全情報管理システ

ムをもとに、計画段階（PLAN）では構造物マネジメントとして短期的な補修計画のみならず、中長期的に最適な維持管理業務の策定を支援するシステムとして開発した阪神高速道路の橋梁マネジメントシステム（略称：H-BMS）による予測に基づいて投資判断を行い、維持修繕計画を立案する。次に資源・活動段階（DO）では維持修繕計画に基づいて予算を決定し、施策（補修・補強）を実施する。続いて結果段階（CHECK）では、インプット、アウトプット、アウトカムを指標化し、これらが相互に関連しているかを体系的に図式化したロジックモデルにより点検と顧客満足度調査等によりそれぞれ構造物の状態と利用者サービス水準の把握と施策の実施効果を確認する。

さらに評価・検証段階（ACTION）においても同様にロジックモデルを用いた施策の評価検証を行う。以上の結果を計画段階（PLAN）に反映しスパイラルアップを図るものである。なお、一連のマネジメントサイクル（PLAN-DO-CHECK-ACTION）で使用されるデータは保全情報管理システムにおいて一元的に管理される。

このように H-BMS は主に計画段階（PLAN）、ロジックモデルは主に結果から評価段階（CHECK～ACTION）の支援ツール、また保全情報管理システムはこれらの管理ツールとして位置づけられる。

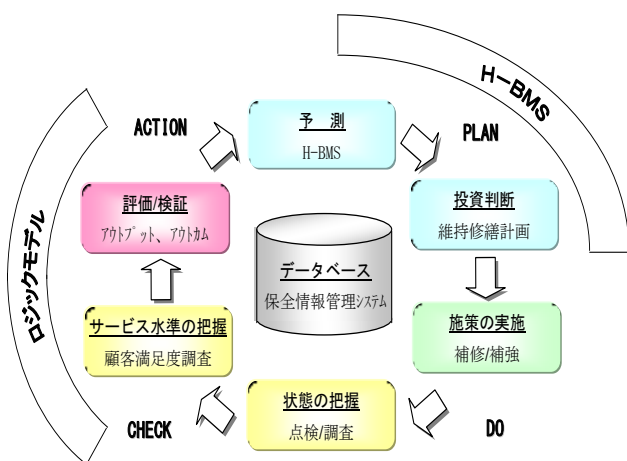


図-1 阪神高速のアセットマネジメントシステム

2. H-BMSの概要

2-1 目的

H-BMSは、主に①構造物を適切な水準に長期的に維持するために必要な費用（年間必要額）を算出する、②補修の優先順位を算出し、具体的な維持管理計画を立案・実施するための参考資料を提供する、③長期的な機能水準（健全度）や費用の推移、補修の優先順位を示すことによって、根拠を明確にし説明責任（アカウンタビリティ）を果たすこと等を目的としており、検討対象の6工種（舗装・塗装・伸縮継手・床版・鋼構造物・コンクリート構造物）のうち、平成18年段階では舗装、塗装、伸縮継手を網羅したversion1.0が完成しており、特に先行して開発中である舗装を対象としたシステムの概要について紹介する。

2-2 計算方法・条件

(1) 評価指標

舗装の劣化指標には、旧建設省土木研究所より提案されているMCI（ $=10-1.51C^{0.3}-0.3^{0.7}C$ ：ひび割れ率（%），D：わだち掘れ量（mm）¹⁾）を用いる。この際、出来形管理における不陸の許容値を勘案し、舗装補修時にはひび割れ率0%、わだち掘れ量2.0mmとしてMCI=9.5と設定する。舗装以外の部位については5段階の点検判定区分を0～10の間で2ずつ均等に分布させそれぞれ中央値を指標とした。

(2) 劣化モデル

劣化予測に用いる劣化曲線は、当初からこの点検及び補修結果をもとに直線回帰として求めていた。しかし、一律な劣化速度は理論的な劣化パターンと適合せず、その妥当性に疑問が残る。特に舗装においては、初期段階で圧密効果で劣化が早く、その後落ち着いてくることが知られている。そこで、時間の経過により劣化が進展する過程をハザードモデルで表現し、一定期間隔てた時点間における健全度の推移関係を表すマルコフ推移確率を指数ハザード関数を用いて推定することによ

り、一定の劣化速度ではなく、劣化の進展状況に応じて変化する状況をモデル化することができ、理論値との整合を図ったものである。一例として図-2に床版種別毎の舗装の劣化曲線を示す。

舗装の劣化モデル(環状線、床版別)

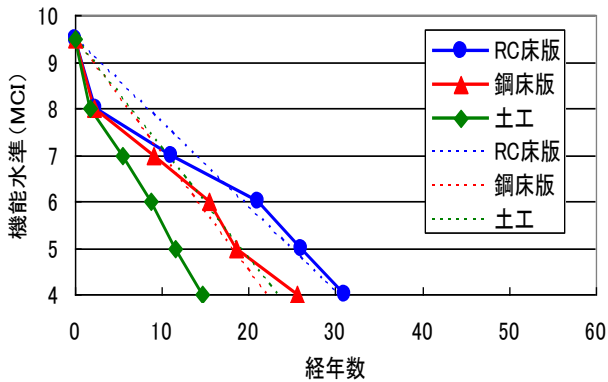


図-2 床版種別毎の劣化曲線

(3) ライフサイクルコストの定義

構造物（橋梁）の機能を継続的に維持するために必要な費用は、ライフサイクルコスト（LCC）によって評価する。

LCCにおいて考慮する費用は、阪神高速道路(株)から直接支出される直接費用（維持費用、修繕費用）の他、利用者や周辺住民が不利益を被ることで負担する外部費用（車両走行費用、渋滞損失費用）を考慮することとし、今後100年間における直接費用と外部費用を、割引率により現在価値として評価したものの和をLCCとして定義する。このLCCが最小となる時の機能水準を最適管理水準とする。なお、LCCを構成する費用の考え方は以下のとおりである。

- ①修繕費用；補修費用を行う工事費用に交通規制に伴う規制費用を加えたもの。
- ②維持費用：舗装の劣化に伴い、ポットホール補修や段差補正等の日常的な維持費用も増加すると考えられるため、MCIに応じて維持費用を考慮したもの。
- ③車両走行費用：車両走行に伴う燃費や車体の減価償却等、MCIの低下に応じて利用者が余分に負担する費用を考慮したもの。

- ④渋滞損失費用：工事規制に伴う渋滞に対して発生する利用者の損失費用を考慮したもの。

(4) 検討期間

対象構造物を継続的に維持するための必要額と優先順位を算出するという条件に適した期間を設定する必要があるため、耐用年数が比較的短い舗装、塗装、伸縮継手では100年間、耐用年数の長い床版、鋼構造物、コンクリート構造物では無限期間を検討期間として設定している。

(5) 最適補修タイミングの設定

図-3は補修を行う機能水準を変えてLCCを計算しまとめたものである、これによるとLCCが最小になる補修タイミング（この舗装の場合、MCI=6.5）が明らかになる。この計算を管理単位毎に計算して全体で処理を行うことになる。

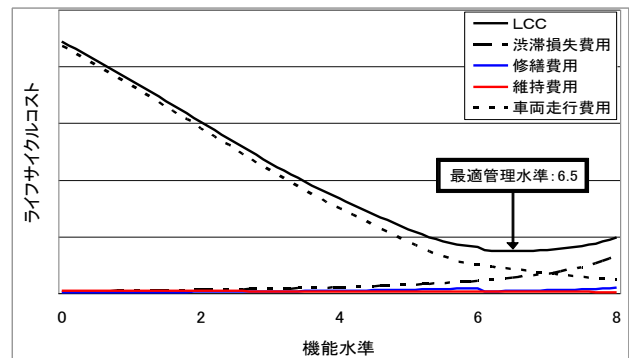


図-3 最適修繕タイミングの考え方

(6) 補修の優先順位の決定方法

修繕費用に予算制約を考慮する場合には、全ての区間での最適管理水準での補修ができるとは限らないため補修の優先順位をつける必要があるが、H-BMSでは図-4に示すように最適管理水準における補修時期から補修を遅らせることによって生じるLCCの増加分（D:遅延コスト）と最適管理水準で補修を行った場合の修繕費用（C）との比（修繕効率（D/C））の大きい箇所から優先的に補修を行うものとする。修繕効率が大きい場所ということは補修を遅らせることのデメリット（LCCの増加）が相対的に大きいことを意味しており、その損失を抑えるためにはそこは他より早く補修すべき場所であることになる。

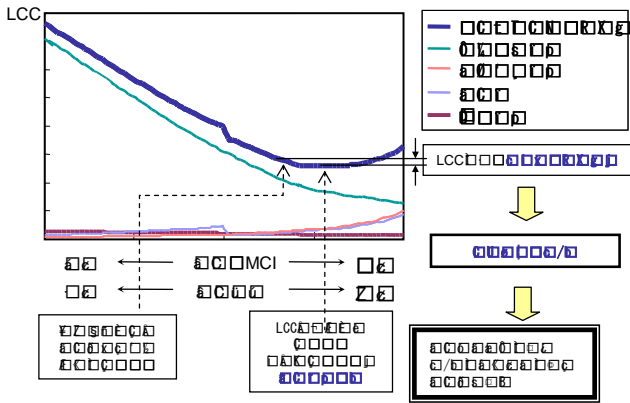


図-4 最適管理タイミングの考え方

3. 計算結果

3-1 最適管理水準

図-5はある区間における機能水準とLCCとの関係を示したものである、この区間ではMCI=6.5で補修を実施していけばLCCが最小となり、この時のMCIをこの区間の最適管理水準と定義する。

下段は工事規制により大きな渋滞が発生すると予測される区間のLCCであり、この場合、渋滞損失費用が支配的になり、LCC曲線は左肩下がりになる。その結果、なるべく渋滞をおこさないように機能水準の低くなるまで補修を行わないことがLCC上有利であることを示している。ここでは許容できる最低の機能水準をどのように設定するかがポイントになる。

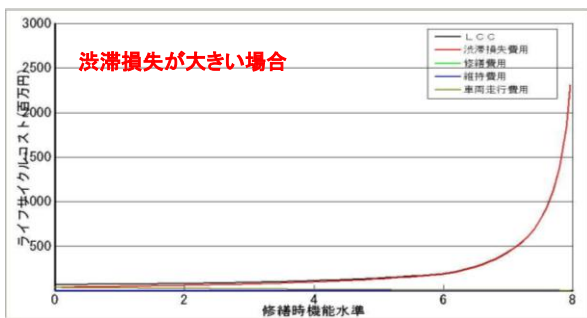
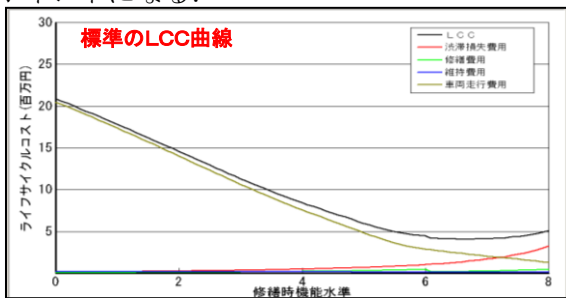


図-5 最適管理水準の算出

3-2 直接費用の推移

修繕費用に予算制約を設けて各区間を補修した場合に今後100年間に発生する直接費用の推移(一例)を図-6に示す。

上段の予算水準であると長期にわたり、予算制約額をA億円/年に設定しており、しかも舗装状態の悪化により連動する維持費用が増加していくことがわかる。

上段より少し予算を増やし、予算制約額をA+α億円/年に設定した下段の場合、修繕費用は時間が経つに連れ余裕ができ、予算範囲内で納まってくるおり、予防保全のための十分な予算確保の効果がでてきているのがわかる。また、維持費用は期間中ほぼ一定である。

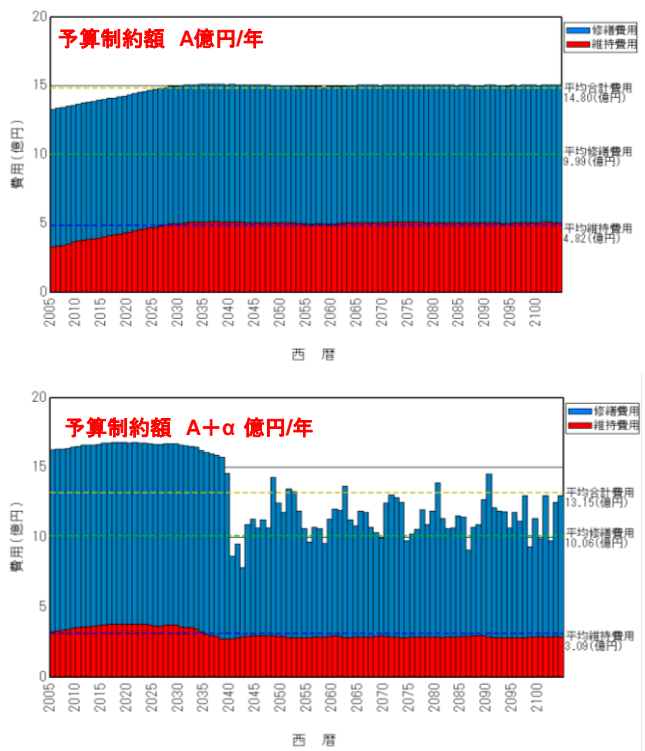


図-6 直接費用の推移(予算制約:上段<下段)

3-3 機能水準の推移

予算制約を設けた場合の今後100年間の機能水準の推移(一例)を図-7に示す。上段では現状の機能水準をほぼ維持できているのに対し、下段では約30年後から機能水準が急激に悪化し、この予算では長期的に適切な水準を維持できないことがわかる。

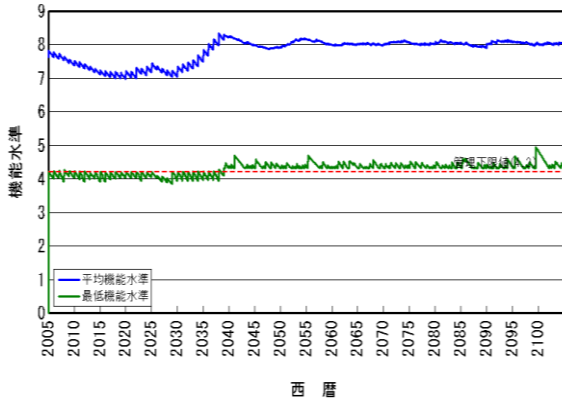
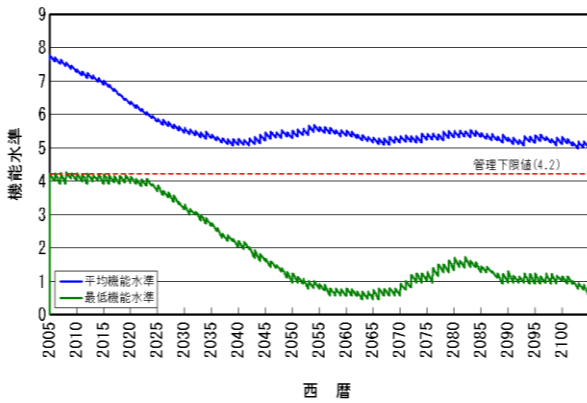


図-7 機能水準の推移 (上段<下段)

3-4 補修の優先順位

補修の優先順位 (一例) を図-9に示す. 合理的に維持管理するために隣接する径間を一括して補修するように優先順位の変更をしたり, 年度毎に補修箇所の色分けを行ったマップ表示も可能である.



図-8 補修の優先順位 (表形式、マップ形式)

4. 高速道路の維持管理ロジックモデルとPDCAサイクル

4-1 目的

H-BMSは, 構造物の状態に着目し計画的な維持修繕計画の立案が可能となる構造物マネジメントシステムである.

一方, 高速道路の維持管理には, それら構造物のマネジメントに加え, お客様の走行時路面の安全性を確保するための路面清掃や路上点検などや, お客様の利便性を向上させる為に道路の交通情報提供を途切れさせないための保守点検, お客様にパーキング施設などを快適に使用して頂くための施設清掃業務などがある. ここでは, お客様に対

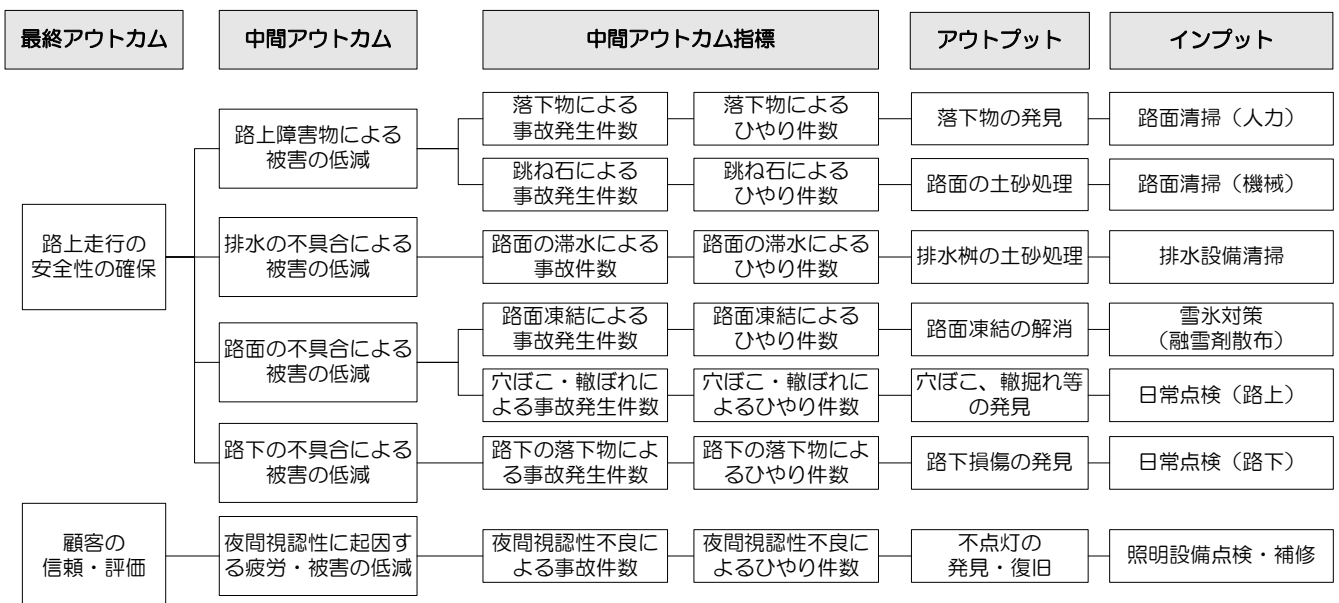


図-9 ロジックモデルの全体系 (一例)

して直接的な影響がある路上点検などの日常維持管理業務をマネジメントする為に「維持管理ロジックモデル」を設定し、それらをPDCAサイクルに従い適切に評価・検証することを検討した。

ここで、ロジックモデルとは、最終的な成果（ここでは「顧客満足度の向上」や「道路通行車のリスク軽減」等）を設定し、それを実現するために、具体的にどのような中間的な成果が必要か、さらに、その成果を得るためには何を行う必要があるのか、を体系的に明示するモデルのことである。図-9に阪神高速におけるロジックモデルの一例（HELM:Hanshin expressway Logic Model）を示す。

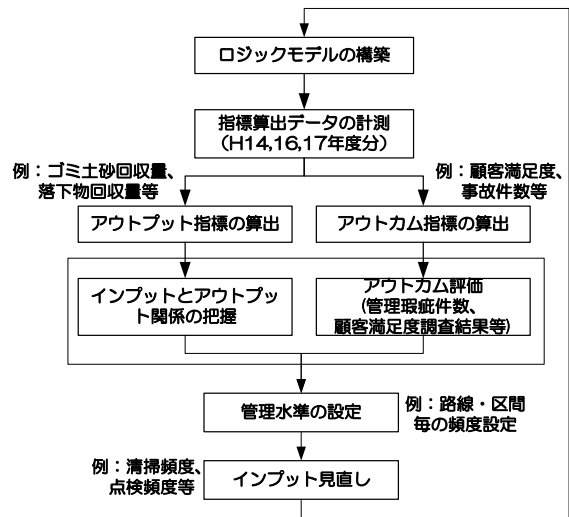


図-10 ロジックモデルの構築から維持管理頻度（インプット）の見直しまで

4-2 ロジックモデルとPDCAサイクル

ロジックモデルの構築から、維持管理に関する水準設定・インプットの見直しに至るまでのフローを図-10に示す。ロジックモデルを用いたPDCAサイクルを適切に実施することにより、最終的なアウトカムを実現するためのパフォーマンスを最大させることが可能となる。その見直し手順は下記の通りである。

（手順1）ロジックモデルにおいて設定した各指標を、それぞれ設定した算出式により数値化して表現する（インプット（式1）、アウトプット（式2）、アウトカム（式3））。

（手順2）インプットとアウトプットの関係および、それに係わるアウトカムの調査結果より、管理水準を設定する。

（手順3）その管理水準に適合するよう、インプットの見直しを行う。

4-3 各指標値の算出

インプット、アウトプット、アウトカム各指標値の計算式設定例を表-1（式1～3）に示す。

ロジックモデルにおいて各指標を設定し、それぞれを数値化し明確にし、ロジックモデル化することにより、アウトプットやアウトカムの変化をベンチマークすることが可能となり、施策の最終

表-1 各指標計算式例（穴ぼこ）

【インプット指標】	
日常点検（路上）頻度（回／年）	（式1）
【アウトプット指標】	
穴ぼこ滞留量（件／km・回）	（式2）
$= \frac{\text{年間Sランク穴ぼこ発見件数（件／年・km）}}{\text{日常点検（路上）頻度（回／年）}}$	
【アウトカム指標】	
穴ぼこ・わだち掘れによる事故件数（回／年）	（式3）

目標を実現するためのアカウンタビリティの向上も図ることが可能となる。

平成14、16、17年度の穴ぼこに関するアウトプット算出例（路線毎の穴ぼこ滞留量）を図-11に示す。12号守口線において、経年的に穴ぼこ滞留量が増加していたが、平成18年10月に実施された通行止め工事実施以降は穴ぼこが生じておらず、穴ぼこ滞留量が0となっていることがわかる。

4-4 管理水準の設定（穴ぼこの例）

維持管理の作業に係わる管理水準には、種々の設定手法が考えられるが、ここでは「穴ぼこ」に関する管理水準として、リスクに着目して設定することを検討した。

リスクは影響度×発生確率で表現される。穴ぼ

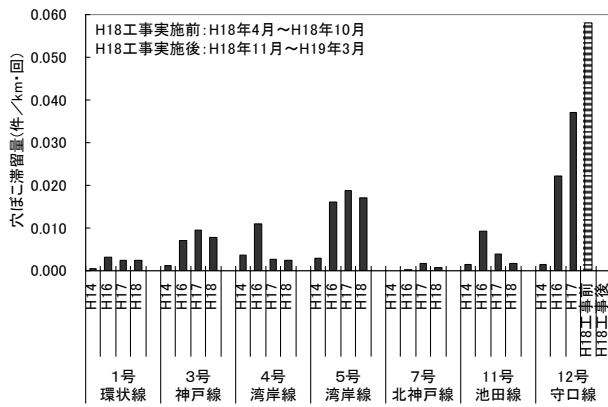


図-11 路線毎の穴ぼこ滞留量

こ滞留量の場合、定することを検討した。

リスクは影響度×発生確率で表現される。穴ぼこ滞留量の場合、アウトプット指標を発生確率、影響度をその路線の交通量とし、リスクを穴ぼこ滞留量×断面交通量で表現することにより、リスクによる管理水準を設定することを検討した。

適切な管理水準は、顧客満足度、事故、管理瑕疵の発生といったアウトプット指標もしくはアウトカム指標に基づいて設定することとなるが、穴ぼこに関する管理水準では、「管理瑕疵の発生」に着目し、設定することとした。

路線・区間毎に、管理瑕疵の発生状況を整理し、「これまで管理瑕疵が発生していない路線の平均リスク」を管理水準として設定することとした。しかし、「その水準を保てば管理瑕疵が発生しない」という明確な線引きは困難である。実際に「これまで管理瑕疵が発生していない路線の平均リスク」以下でも管理瑕疵が発生した事例が存在している。そこで、道路パトロールによって発見される穴ぼこやリスクに関する種々のばらつき等も考慮して、ある水準から安全側、危険側にマージンを設定することとし、これら上下のラインに挟まれる帯状の領域を阪神高速道路として目指す管理水準とすることとした。

4-5 インプットの見直し

図-12において、Aの領域にある路線は「過剰に管理されている」と考えることができ、コストの面から見ると現状の管理レベルを下げててもよい領域である。一方、Bの領域にある路線はリスクが高くなるため、リスクを下げるために点検等の頻度を増加させる必要があることがわかる。これらの見直し計画を全路線において実施することで、リスクによる管理水準を一定レベルに保つためのメリハリの効いた維持管理計画を立案することが可能となる。

4-6 今後の課題

今後は各指標のデータを、路線毎・区間毎など詳細に整理し、さらに、お客様の利便性を把握するために顧客満足度調査結果を継続的に蓄積していくことにより、各維持管理作業に関するロジックモデルによる管理水準の構築を進めているところである。

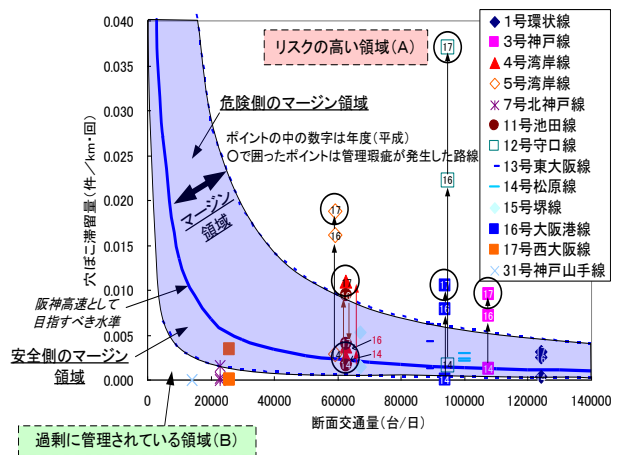


図-12 リスクのプロットと評価例

おわりに

今回、構造物マネジメントとしてH-BMS、日常維持マネジメントとしてロジックモデルを紹介した。H-BMSについては検討対象の6工種のうち、先行して実施している舗装、塗装、伸縮継手については、最適管理水準をシミュレーションすることにより、阪神高速における全線通行止工事等大規模工事の年次計画を策定する際の支援ツ

ルとして運用しているところである。また、昨今の維持管理費のコスト削減に伴う中長期的な構造物の機能水準を検証する際のツールとしても運用しているところである。今後は、引続き本体構造物（コンクリート構造物, 鋼構造物）について検討を行っていく予定である。

また、ロジックモデルを用いた管理水準の検討については、維持管理業務におけるロジックモデルを構築し、日常維持管理におけるリスク適正化を実施するためのリスク管理水準（アウトプット指標）を設定するための方法論を提案したところである。今後は、各指標について継続的な計測を行いデータ蓄積を行うとともに、リスクの平準化を考慮する際の基準となる管理水準（最低管理水準と適切な管理水準等）を設定すべく検討を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) Logic Model Development Guide: W.K Kellogg Foundation, August 2003
- 2) 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究: 昭和64年度 第41回建設省技術発表会
- 3) 道路投資の評価に関する指針検討委員会、道路投資の評価に関する指針（案）：平成10年6月
- 4) 安崎裕・片倉弘美・伊佐真秋：舗装の供用性と車両走行費用に関する検討、第18回日本道路会議一般論文集、pp710-711、1989
- 5) 青木一也、山本浩司、小林潔司：トンネル照明システムの最適点検・更新政策、土木学会論文集、No. 805/VI-69, 105, 116, 2005. 12
- 6) 坂井康人、上塚晴彦、小林潔司：ロジックモデルに基づく高速道路維持管理業務のリスク適正化：土木学会建設マネジメント論文集, 2007. 11

ASSET MANAGEMENT SYSTEM OF HANSHIN EXPRESSWAY

Yasuhito SAKAI, Takaharu NISHIOKA and Motohiko NISHIBAYASHI

Hanshin Expressway is the 233.8km long expressway network in Osaka-Kobe area consisted mainly of viaduct structures. Starting from only the 2.3km section in 1964, the network has been expanded to the one covering the whole area and now accommodates more than 900,000 vehicles per day. Since it is one of most important transportation infrastructures in the area, the highest level of maintenance quality is always required and we have met the need by developing many efficient maintenance methods. However, even the vast amount of structures are aging and rapidly deteriorating.

While traffic volume is steady, maintenance and repair budgets are being curtailed due to the current social and economic circumstances. Therefore, like any other highway authorities, conditions are met to build an asset management system for keeping those aging structures healthy with limited budget in the longer term.

This paper introduces Hanshin Expressway Bridge Management System (H-BMS) which is a custom-made tool to evaluate the effects of such budget restriction against structural quality as well as to help construct an appropriate medium or long-term maintenance plan. Also, it explains about the methodology of setting a quantitative performance standard for routine maintenance works using Hanshin Expressway Logic Model (HELM).

坂井 康人



阪神高速道路株式会社
保全交通部保全企画グループ
Yasuhito Sakai

西岡 敬治



阪神高速技術株式会社
維持統括部
Keiji Nishioka

西林 素彦



阪神高速道路株式会社
計画部特定調査グループ
Motohiko Nishibayashi