

阪神高速道路橋梁マネジメントシステムの開発

The development of the Hanshin Expressway Bridge Management System

坂井康人¹・荒川貴之²・井上裕司³・小林潔司⁴

Sakai Yasuhito, Arakawa Takayuki, Inoue Yuji, and Kobayashi Kiyoshi

抄録： 阪神高速道路では、合理的な維持管理を実施するために阪神高速道路橋梁マネジメントシステム（H-BMS）の開発し、順次改良を進めている。H-BMS はライフサイクルコスト（LCC）と将来予測の計算機能を有しており、LCC が最小となる最適管理水準や機能を維持するために必要な予算額、修繕の優先順位などを計算できる。H-BMS では、実態に近い結果が得られるように、点検や交通量などの実測結果をできる限り活用した。また、これまでは随時改良が図れるようにスタンドアロンとしていたが、インターフェイスを向上させるためにデータベースである保全情報管理システムと連携させた H-BMS を新たに開発した。今後、さらなる改良を加える予定である。

Abstract: The Hanshin Expressway has developed Bridge Management System (H-BMS) for efficient maintenance and rehabilitation management. H-BMS has function to calculate optimal repair policies by minimizing life cycle costs (LCC), and simulate future condition state and repair costs. H-BMS also has function to determine repair priority. H-BMS uses Latest inspection data and traffic data for improving accuracy. These data are stored in Maintenance Information Management System which is the database system of the Hanshin Expressway. H-BMS directly reads necessary data from the database system. H-BMS will be developed for more efficient maintenance and rehabilitation management.

キーワード： 阪神高速道路，維持管理，マネジメント，システム開発，BMS，LCC

Keywords : Hanshin Expressway, Maintenance, Management, System development, BMS, LCC

1. はじめに

阪神高速道路は、昭和 39 年に環状線の土佐堀～湊町間 2.3km の供用を開始した。以来、大阪・神戸両都心部を中心に整備を進め、現時点での供用延長は 239.3km、1 日平均の利用台数は約 90 万台に達している。

阪神高速道路における維持管理上の特徴として、①道路延長が阪神都市圏の 5.7% であるのに対して交通量は 15.4%、貨物輸送量は 47.3% を占めており、使用環境が過酷であること、②橋梁構造が総延長の 86% を占めており、土工区間の多い都市間高速道路に比べて単位距離当

りの維持管理費が嵩むこと、③表-1 に示すように、平成 20 年 5 月現在で供用後 20 年以上の構造物が全体の 55% 以上、30 年以上が 40% 近く占めており、高齢化が進行していること、④図-1 に示すように平成 5 年から維持管理費が減少したことに加え、道路関係四公団の民営化に関する政府・与党申し合わせにより、「管理費については、平成 17 年度までに 3 割のコスト削減を図る」こととされたのを踏まえて、維持修繕費を大幅な削減に取り組んでる等が挙げられる¹⁾。

表-1 阪神高速道路の経年別供用延長

供用年数	供用延長(km)				累計比率
	大阪地区	兵庫地区	京都地区	合計	
0年～5年未満	0.0	12.6	5.5	18.1	100.0%
5年～10年未満	7.4	13.2	0.0	20.6	92.4%
10年～15年未満	26.7	16.0	0.0	42.7	83.8%
15年～20年未満	10.1	9.3	0.0	19.4	66.0%
20年～25年未満	7.6	7.3	0.0	14.9	57.9%
25年～30年未満	25.4	7.3	0.0	32.7	51.7%
30年～35年未満	9.9	0.0	0.0	9.9	38.0%
35年～40年未満	33.4	22.0	0.0	55.4	33.8%
40年以上	22.3	3.3	0.0	25.6	10.7%
合計	142.8	91.0	5.5	239.3	

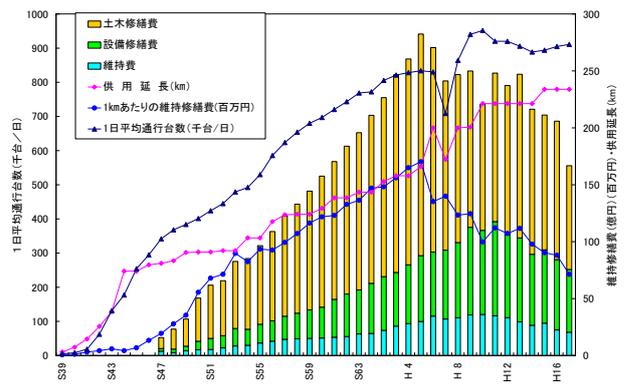


図-1 維持修繕費の推移

- 1 : 正会員 工修 阪神高速道路株式会社 保全交通部 保全企画グループ
(〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3, Tel :06-4963-5588, E-mail : yasuhito-sakai@hanshin-exp.co.jp)
- 2 : 正会員 工修 財団法人阪神高速道路管理技術センター 企画部 企画課
- 3 : 正会員 工博 中央復建コンサルタンツ株式会社 計測診断系グループ
- 4 : フェロー会員 工博 京都大学経営管理大学院 教授 経営管理講座

このような背景から阪神高速道路では維持修繕業務の高度化を目指した様々な取り組みに着手している。これらの取り組みの一つとして、阪神高速道路では合理的な維持管理を支援するための阪神高速道路橋梁マネジメントシステム（H-BMS：Hanshin expressway Bridge Management System）を開発し、順次改良を進めている¹⁾⁴⁾。H-BMSはライフサイクルコスト（LCC）と将来予測の計算機能を有しており、LCCが最小となる最適管理水準や機能を維持するための必要予算額、修繕の優先順位などを算出できる。本稿では、すでに開発済みのH-BMSの概要、計算方法、操作を説明すると共に、現在検討を進めている今後の改良計画について述べる。

2. H-BMSの概要

(1) H-BMSの位置づけ

図-2に、想定するマネジメントサイクルを示す。

計画段階（PLAN）ではH-BMSによる予測を参考に短期的な修繕計画のみならず、中長期的な投資判断を通じて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¹⁾⁴⁾（HELM：Hanshin Expressway Logic Model）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）ではロジックモデルを用いた施策の評価・検証を通じて方針、計算モデル、評価指標等の見直しを行い、次の計画段階（PLAN）に反映さ

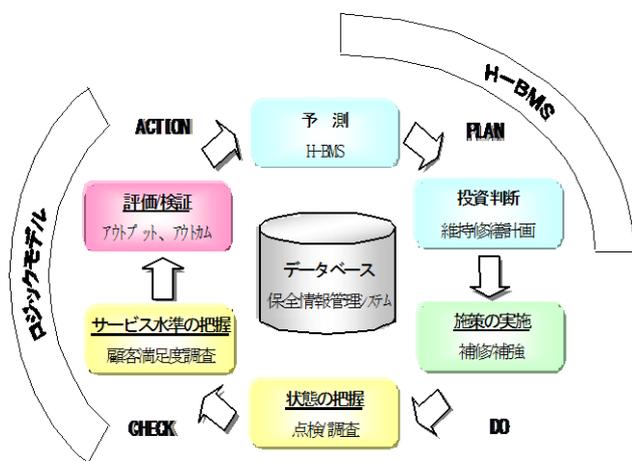


図-2 マネジメントサイクル

せることでスパイラルアップを図る。また、一連のマネジメントサイクル（PLAN-DO-CHECK-ACTION）で使用するデータは保全情報管理システム⁵⁾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）の支援ツールとして位置づけている。さらに、HELMを結果から評価段階（CHECK～ACTION）の評価ツール、保全情報管理システムをこれらのデータベースとして位置づけている。

(2) 開発の経緯

阪神高速道路では、1. で述べた背景を踏まえて、平成14年度から技術審議会に道路資産管理システム分科会を新たに創設し、BMSの開発に着手した。平成16年度には試作であるH-BMS ver.0.5を作成し、平成18年度に舗装、塗装、伸縮継手を対象としたver.1.0を構築し、運用を開始した。平成19年度から本土工への拡張に着手し、現在、上記の3工種に、床版、鋼構造物（桁と橋脚）、コンクリート構造物（桁と橋脚）、支承を加えたver.2.0を構築した。また、H-BMSは随時改良を加えることから、これまでスタンドアロンとしていたが、平成19年度にはインターフェイスを向上させるために保全情報管理システムと統合させたH-BMS（保全情報版）を作成した。

(3) H-BMSの計算フロー

図-3に、H-BMSの計算フローを示す。H-BMSの計算機能はLCC計算機能と将来予測計算機能の2つに大別される。LCC計算では、まず、計算条件として劣化曲線、費用、修繕シナリオを設定する。次に、設定した条件に従ってLCCを計算し、LCCが最小となる最適管理水準を計算する。将来予測計算では、点検又は修繕データから計算開始時点での機能水準（初期値）を計算し、最適管理水準で修繕を繰り返した場合の費用と機能水準の推移を

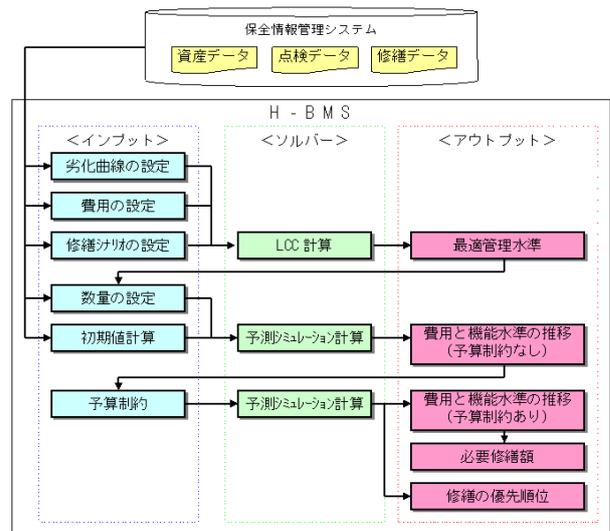


図-3 H-BMSの計算フロー

計算する。次に、予算制約を与え、予算制約によって平準化した場合の費用と機能水準の推移を計算する。

3. H-BMS の計算方法

(1) 劣化モデル

LCC や将来予測を計算するためには、時間経過に伴う機能低下(劣化)を表現する必要がある。構造物の劣化は使用状況や周辺環境、施工時の品質などの種々の条件の違いによって箇所毎に大きく異なる。そのため、H-BMS では、実態に近い予測ができるように、過去の点検データから推計した統計的劣化モデルを採用した。

土木構造物の状態は、一般的に複数の離散的なグレード(健全度)で評価される。阪神高速道路では、土木構造物を対象とした点検要領⁶⁾を策定しており、主に目視点検によって構造物の状態を観測している。表-2と表-3に、定期点検の判定基準と頻度および方法を示す。

劣化過程はマルコフ推移確率で表現した。劣化モデルには、点検間隔の異なる複数の時点のデータが混在する状況でもマルコフ推移確率を精度よく推定できる多段階指数ハザードモデル⁷⁾を採用した。すなわち、点検データに基づいて多段階指数ハザードモデルのパラメータを最尤推定法により推計し、その結果に基づいてマルコフ推移確率行列を解析的に導出した。さらに、マルコフ推移確率行列を用いて、平均的な劣化曲線を推定した。この結果、舗装の健全度に応じて劣化速度が変化する状況を再現することができ、理論的な考え方との整合性を取りやすくなった。さらに、劣化進展のメカニズムが異なる区間や路

線ごとにマルコフ推移確率行列を推定できるため、劣化曲線をきめ細かに設定することが可能になった。

多段階指数ハザードモデルの推計では、各区間の健全度ごとにハザード率を設定した。さらに、健全度別のハザード率が時間に依存しない指数ハザードモデルとした。

$$\lambda_i(y_i) = \theta_i \quad (1)$$

ここに、 i は部材の健全度、 λ_i はハザード関数、 y_i は時間軸上の時点、 θ_i は定数(未知パラメータ)である。マルコフ推移確率を用いる場合、健全度を離散値として表現することが必要となる。そのため、舗装では連続値であるMCIをデータの存在する $5.0 < MCI \leq 10.0$ の範囲で1.0刻みに分類し、その中央値を健全度の代表値とした。

多段階指数ハザードモデルを用いた場合、マルコフ推移確率は劣化の進展度合いに応じて、以下のように表現される。

(健全度の推移がない場合)

$$\pi_{ii} = \exp(-\theta_i Z) \quad (2)$$

(1ランク健全度が推移する場合)

$$\pi_{i,i+1} = \frac{\theta_i}{\theta_i - \theta_{i+1}} \{-\exp(-\theta_i Z) + \exp(-\theta_{i+1} Z)\} \quad (3)$$

(2ランク以上健全度が推移する場合)

$$\pi_{ij} = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_{m+1}} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_k Z) \quad (j=1, \dots, J) \quad (4)$$

(最低ランクに健全度が推移する場合)

$$\pi_{iJ} = 1 - \sum_{j=i}^{J-1} \pi_{ij} \quad (i=1, \dots, J-1) \quad (5)$$

ここに、 Z は点検間隔、 i は推移前の健全度、 $j(j>i+1)$ は推移後の健全度である。ハザード関数の θ_i を最尤推定法により推計すれば、式(2)-(5)を用いてマルコフ推移確率行列を推定することができる。

$$\Pi(Z) = \begin{bmatrix} \pi_{11}(Z) & \dots & \pi_{1J}(Z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \pi_{JJ}(Z) \end{bmatrix} \quad (6)$$

ハザード関数によって劣化の推移をモデル化していることから、劣化が次のランクに進むまでの期待期間長(RMD)は次式で表される。

$$RMD_i = \int_0^{\infty} \exp(-\theta_i y_i) dy_i = \frac{1}{\theta_i} \quad (7)$$

式(7)を用いて、平均的な劣化過程を求めることができる。

表-2 定期点検の判定区分

判定区分		損傷状況
S	S1	機能低下が著しく、道路構造物の安全性から緊急に対策の必要がある場合
	S2	第三者への影響があると考えられ、緊急に対策の必要がある場合
A		機能低下があり、対策の必要がある場合
B		損傷の状態を観察する必要がある場合
C		損傷が軽微である場合
OK		上記以外の場合

表-3 定期点検の頻度

点検区分		頻度	点検方法
橋梁	上下部工点検	1回/5~8年	近接目視、必要に応じ、たたきおよび簡便な計測
	はり上点検	上下部工点検の中間年	
土工部点検		1回/年	
トンネル点検		1回/5年を原則	
カルバート点検		1回/5~8年	
舗装点検	本線	1回/2~3年	自動測定装置による
	ランプ	1回/4~6年	

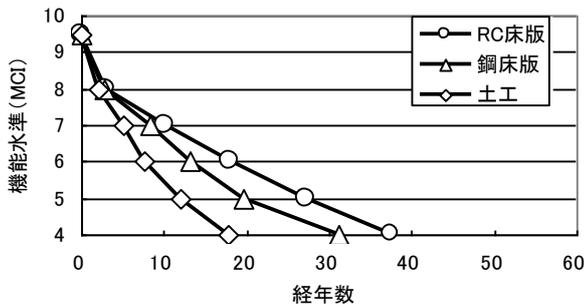


図-4 舗装の劣化曲線

以上のプロセスにより、劣化推移の傾向を支配する因子毎にデータをグループ分けし、劣化曲線を作成した。舗装では、様々な要因分析の結果を踏まえて、床版種別、路線別（交通特性、線形等の違い）毎に劣化曲線を設定した。図-4には以上に述べた方法により得られた床版種別毎の舗装の劣化曲線を示す。この図より、舗装はRC床版より鋼床版や土工部の劣化が速いことが分かる。

(2) LCC 計算

H-BMSでは、ライフサイクルコスト(LCC)計算によって最適管理水準を求めることができる。以下、LCC計算の方法について述べる。

a) 費用

LCC計算で考慮する費用は、会社が支出する直接費用と利用者が負担する外部費用の和とした。

$$LCC = \text{直接費用 (修繕費用, 維持費用)} + \text{外部費用 (車両走行費用, 渋滞損失費用)}$$

ここに、

修繕費用: 修繕に伴う工事に、交通規制や仮設等の費用を加えた費用

維持費用: 舗装のポットホール補修や段差修正などに日常的に費やされる費用

車両走行費用: 車両の走行に伴う燃費や車体の減価償却等、利用者が余分に負担する費用

渋滞損失費用: 工事規制に伴う渋滞によって発生する利用者の時間損失費用

ただし、舗装と伸縮継手以外では日常的に費やされる費用がほとんど無く、また車両通行に影響を与えないことから修繕費用以外は考慮していない。各工種の修繕費用は、阪神高速道路における過去の実績を踏まえて設定した。

一方、舗装は、旧建設省においてMCIに対する維持費用と車両走行費用を調べた研究事例がある⁸⁾⁹⁾。そのため、維持費用と車両走行費用は、これらの研究成果に基づいて設定した。また、渋滞損失費用は、区間毎の渋滞状況と時間ロスをできるだけ忠実に表現するために、別途開発した交通管制システムの交通流シミュレーションモデル(HE

表-4 修繕シナリオの設定例

(a) 舗装				
MCI	5.6 以下	8.5 以下	8.6 以上	
修繕工法	表基層打換	表層打換	なし	

(b) RC 桁				
機能水準	2.0 以下	4.0 以下	6.0 以下	6.1 以上
修繕工法	鋼板接着 +ひび割 れ注入	表面被覆 +ひび割 れ注入	表面被覆	なし

表-5 H-BMS で設定している管理下限値

工種	管理下限値	工種	管理下限値
舗装	5.6	コンクリート構造物	2.0
塗装	4.0	鋼構造物	
伸縮継手	2.0	支承	
床版			

ROINE: Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator¹⁰⁾を用いて、交通規制に伴う時間損失を計算し、渋滞損失費用を設定した¹¹⁾。さらに、車両走行費用の算出に用いる交通量は、交通管制システム情報ターミナルⅢに蓄積されている実測値に基づいて設定した。

b) 修繕シナリオと管理下限値

LCC計算では、機能低下(劣化)に伴う修繕シナリオを設定する必要がある。修繕シナリオは、阪神高速道路の補修要領¹²⁾や過去の実績等を踏まえて設定した。表-4に、H-BMSで採用している舗装とRC桁の修繕シナリオを示す。なお、舗装の機能水準はMCI、舗装以外の機能水準は5段階の健全度に対して2づつ割り振った値として設定しており、機能水準10~8がOK、8~6がC、6~4がB、4~2がA、2~0がSに相当している。

また、H-BMSでは、費用設定が困難なリスクや外部費用を便宜的に考慮するために、管理下限値を設定している。H-BMSの将来予測計算では、LCCが最小となる機能水準を最適管理水準としているが、LCCが最小となる機能水準が管理下限値を下回った場合は管理下限値が最適管理水準として認識され、管理下限値を下回ったものから順に修繕が行われる。表-5に、H-BMSで設定している各工種で管理下限値を示す。

c) LCC の計算方法

LCCの計算方法には、①無限遠方までに発生する費用の割引現在価値の累計額をLCCとして評価する割引現在価値法と、②社会的割引率を用いずに修繕間隔の発生費用を当該期間で割った平均費用でLCCを評価する非割引現在価値法がある¹³⁾。割引現在価値法は、既往の最適修繕モデルや米国の代表的なBMSであるPONTIS¹⁴⁾において採用されているため、H-BMSでは割引現在価値法を採用した。

修繕ルールとして、MCI値が任意の水準に到達した時

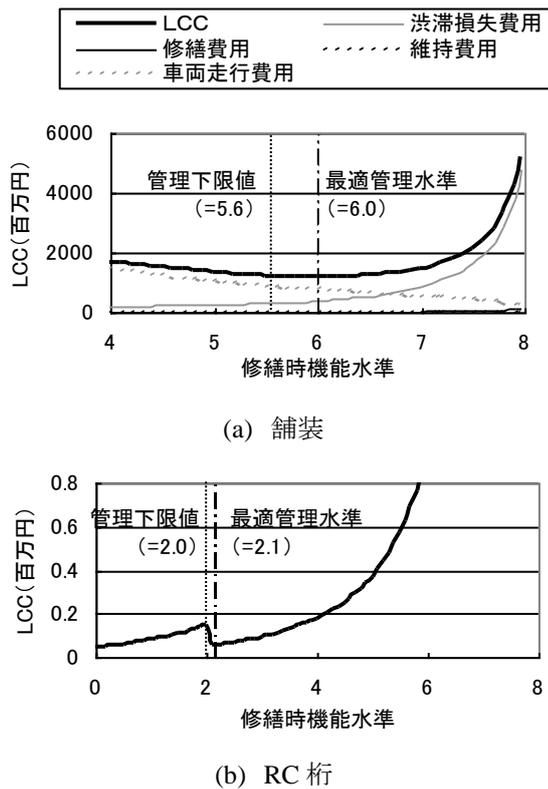


図-5 LCC 計算による最適管理水準の算出例

点で修繕する場合に必要なLCCを計算すると、修繕時機能水準に対するLCCは図-5に示すような曲線となる。このとき、LCCが最小となる機能水準が最適管理水準であり、最適管理水準に至るタイミングが最適修繕時期となる。このように、H-BMSのLCC計算機能によって効率的な修繕時期(最適管理水準)を求めることができる。

(3) 将来予測計算

保全情報管理システムでは、舗装と伸縮継手は1径間・1車線毎、塗装と桁は1径間毎、橋脚は1基毎にデータを管理している。そのため、H-BMSでもこれらを計算単位(1

要素)とした。前述したLCCや将来予測は要素毎に計算される。以下に、将来予測の計算方法について述べる。

a) 計算開始時点の機能水準(初期値計算)

点検時における各要素の状態(MCI 又は健全度)は保全情報管理システムに蓄積されている。しかし、点検による観測時点は過去であることから、計算時点ではさらに劣化が進行している。よって将来予測計算では各要素の機能水準が予め設定した劣化曲線に従って低下すると仮定し、計算開始時点の機能水準(初期値)を算出した。

b) 予算制約なしの計算

将来予測計算は、予算制約なしの計算と予算制約ありの計算に大別される。予算制約なしの計算では、各要素の機能水準が時間の経過と共に劣化曲線に従って低下し、最適管理水準に達した時点で直ちに修繕が行われ、機能水準が10まで回復するとした。

c) 予算制約ありの計算

H-BMSでは、予算制約によって費用を平準化した時の将来予測を計算できる。予算制約があるときの将来予測計算を実行するために、修繕の優先順位ルールを設定した。

予算制約がある場合、H-BMSでは前倒しと先送りの2つルールで平準化が実行できるようにした。ここで前倒しとは、LCC計算で求めた最適管理水準と関係なく、予算制約の範囲内で可能な限り修繕を実施するルールとした。そのため、前倒しルールでは予防保全となるが、予算に余裕がある場合は過剰に修繕が実行される。一方、先送りとは、最適管理水準での修繕を基本とし、予算制約によって修繕が実施できない場合は、超過分を次年度以降に繰り延べるルールとした。そのため、修繕は必ず最適管理水準以下で実行される事後保全となる。なお、どちらの場合も最適管理水準で修繕を繰り返す予算制約なしと比べるとLCCは増加する。

図-6に、将来予測計算結果の例として、コンクリート桁

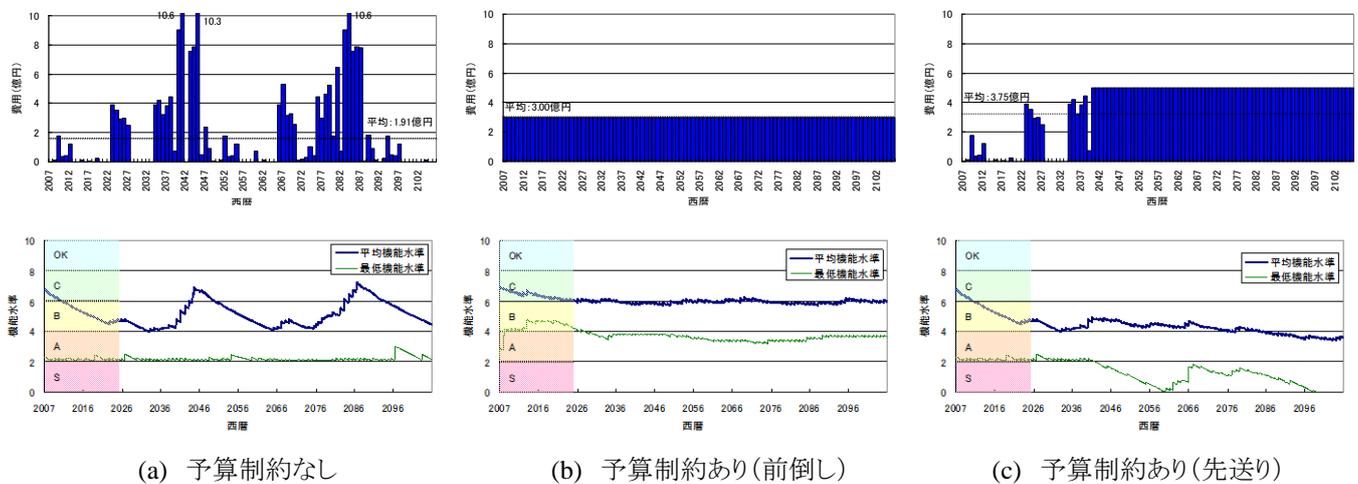


図-6 将来予測計算結果例

の予算制約ありで前倒し、先送りの両方のルールで算出

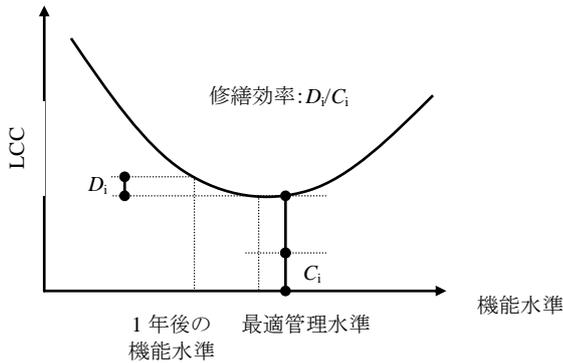


図-7 修繕効率の計算方法

された直接費用と機能水準の推移を示す。これより、予算制約ありではいずれの場合も予算制約なしより直接費用が増加することが分かる。また、前倒しでは予算制約なしより機能が低い水準で推移しており、過剰に修繕されていることが分かる。さらに、先送りでは事後保全となるため修繕費用が増加し、予算制約 5 億円/年でも機能が継続的に維持できない。

また、修繕の優先順位は、舗装以外の工種では機能水準の低いもの(状態の悪いもの)から優先的に修繕が実行されるルールとした。また、舗装では、図-7 に示すように、修繕を1年遅らせることによるLCCの増加を遅延コスト D_i 、最適管理水準で修繕したときの修繕費用 C_i と遅延コスト D_i の比 ($=D_i/C_i$) を修繕効率と定義し、この値の大きいものから優先的に修繕が実行されるルールとした。

予算制約ありの将来予測計算では、予算制約額を徐々に低下させると機能低下(劣化)速度が機能回復(修繕)を上回り、継続的に機能を維持できなくなる。このようにH-BMSの将来予測計算によって、阪神高速道路の構造物を継続的に維持するための必要費用(予算)を判断することができる。

4. H-BMS の操作

H-BMSの初期画面には7工種(舗装、塗装、伸縮継手、床版、コンクリート構造物、鋼構造物、支承)のボタンが配置されており、ここで計算を実行する工種を選択する。現在のH-BMSでは、LCCや将来予測計算が工種毎に実行される。工種を選択すると画面上部にメニューボタンが表示され、左から順に操作することで計算を順次進めることができる。

図-7に、舗装の計算条件の画面を示す。容易な計算条件の変更を避けるために、計算条件画面では参照のみとした。この画面では計算に用いる劣化曲線、費用、修繕シナリオ、社会的割引率、管理下限値を確認することができる。なお、計算条件を変更する場合は、初期画面の計

算条件の変更ボタンから新たな計算条件を設定できる。

図-8に、舗装のLCC計算の実行画面を示す。実際の操作では、LCC計算と将来予測計算が同時に実行される。LCC計算では、まず初めに保全情報管理システムから出力したインプットデータを読み込む。次に、計算開始年度を入力し、計算開始時点の機能水準(初期値)計算を実行する。続いて、舗装では、修繕の単位を選択する。舗装では、別途、同時施工の有効性検討を実施しており、渋滞の発生する区間では同時施工、発生しない区間では個別施工が有利となる結果が得られている¹¹⁾。続いて、修繕の開始年度を入力する。修繕の開始年度を入力することで、当面修繕を据え置いたときの将来予測が実行できる。次の予算制約額を入力せずにLCC計算ボタンを押すと、LCC計算による最適管理水準の計算と予算制約なしの計算が同時に実行される。その下には、修繕時期の選択ボタンを配置しており、最適管理水準を選択すると最適管理水準で、修繕時機能水準指定を選択すると入力した機能水準で修繕が繰り返される。このように、指定した機能水準で修繕を繰り返した時の将来予測計算を実行することで、最適管理水準で修繕することによるコスト削減額を計算することができる。なお、舗装では安全性の観点から、

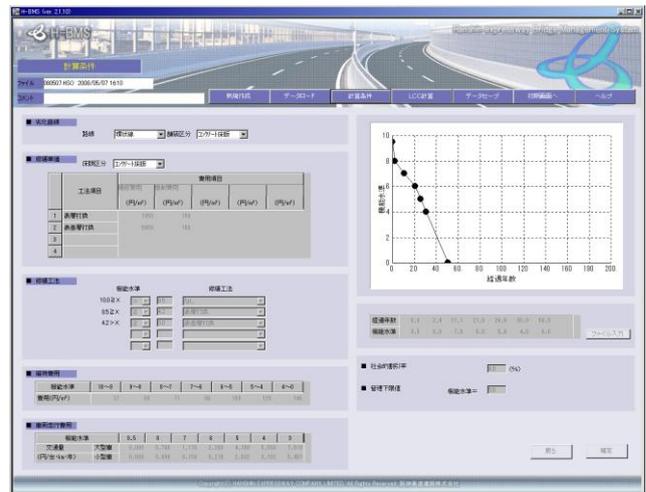


図-7 計算条件の参照画面(舗装)

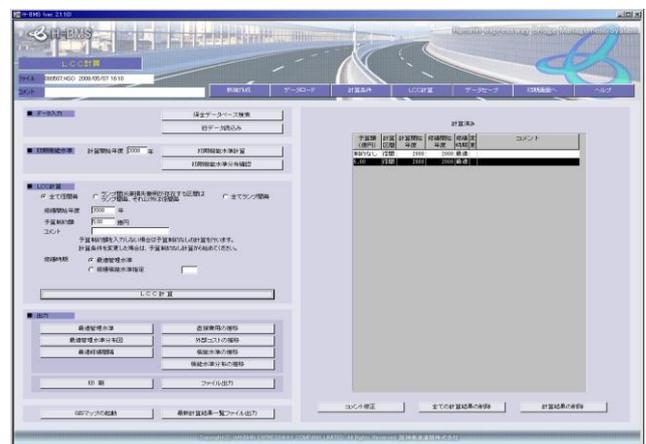


図-8 LCC計算画面(舗装)

予算制約時のルールを先送りのみとしたが、舗装以外では、この後に前倒しと先送りを選択できるようにした。以上の操作の後、LCC 計算ボタンを押すと、LCC 計算と将来予測計算が実行される。計算を実行すると、右側に実行した計算が表示され、選択して出力に配置されているボタンを押すことで、それぞれの計算結果が表示される。図-9に、H-BMS で表示された直接費用と外部費用(外部コスト)の推移を示す。また、画面に表示される計算結果はファイル出力ボタンによって csv ファイルに出力できる。

図-10に、将来予測計算で計算された修繕の優先順位をマップ表示させた画面を示す。これより、優先順位の高い路線や場所を選定することができる。阪神高速道路では、大阪の路線を中心に通行止めによる大規模修繕を実施している。このような H-BMS からの算出結果は、次回の大規模修繕の実施路線の選定の判断材料の一つとして活用している。

5. 今後の改良予定

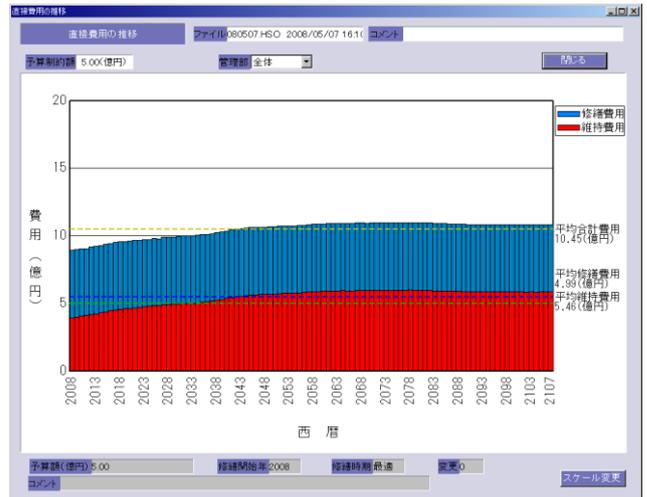
H-BMS はすでに予算や修繕箇所を判断するための支援ツールとして活用している。しかし、現在の出力(計算結果)に対しては、幾つかの問題点が指摘されている。ここでは、現在検討を進めている H-BMS の改良計画について述べる。

(1) 長期・短期予測モデルの分離

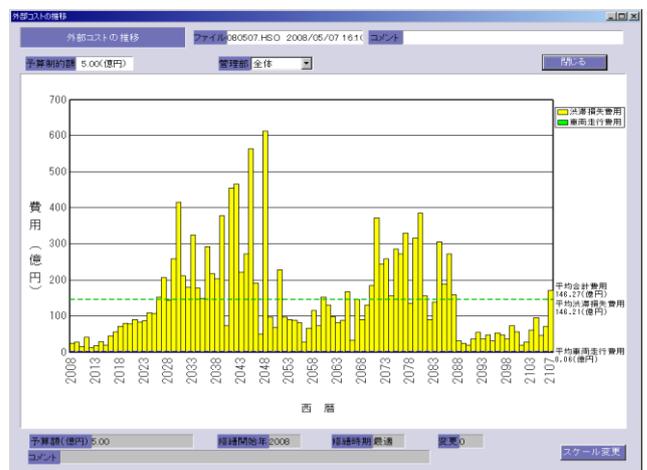
先述したように、現在の H-BMS の将来予測計算では、構造物の機能が、予め設定した確定的な劣化曲線に従って低下すると仮定している(確定モデル)。しかし実際には、将来には必ず不確実性が伴うため、劣化速度が分散し、修繕時期にバラツキが生じると考えられる。

H-BMS では、元々、多段階劣化指数ハザードモデルによって、過去の点検データからマルコフ推移確率行列を推計している。この確率推移行列を直接用いれば、モンテカルロシミュレーション等の手法によって、将来の不確実性を考慮した将来予測が可能となる(確率モデル)。しかし、確率モデルで将来予測を行った場合、修繕の優先順位が一意的に決定できないという課題がある。優先順位の算出は、H-BMS の目的の一つであり、優先順位が算出できない計算モデルは採用できない。

そのため H-BMS では、長期的な予測と短期的な予測で計算モデルを使い分けることにした。つまり、長期予測は確率モデル、短期予測には確定モデルを用いる。長期予測の結果は、必要予算額や中長期的な維持管理方針を判断するために活用される。そのため、長期予測では修繕の優先順位を算出する必要はない。また、予測期間が長いほど不確実性が大きくなることから、長期では確率モデルによる予測が適切と考えられる。一方、短期予測では修繕箇所の選定が最も重要な目的となる。そのため、修繕の優先順位を算出する必要がある。また、今後 5 年程



(a) 直接費用



(b) 外部費用

図-9 計算結果の出力画面

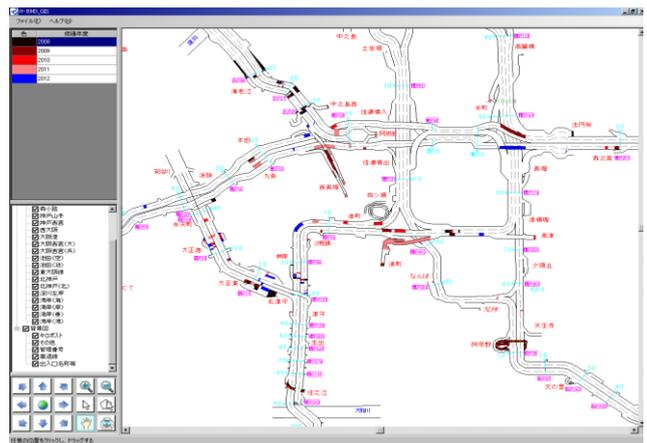
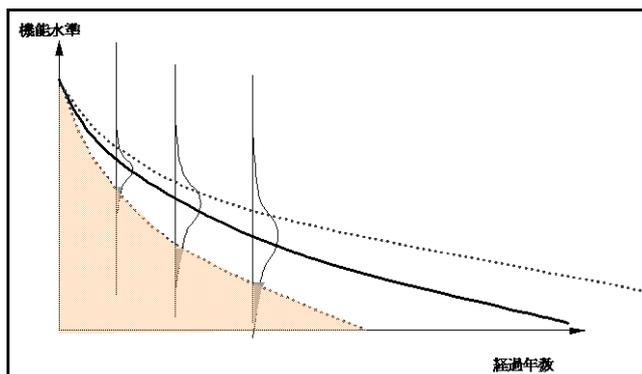


図-10 修繕の優先順位のマップ表示

度の短期予測では不確実性によるバラツキはさほど大きくならない。よって、短期では確定モデルによる予測が適切と考えられる。

以上の理由から、将来予測機能を目的に応じて長期と短期に分離し、前者は確率モデル、後者は確定モデルで



劣化の早い方から一定の割合(例えば 10%)に入る要素群とそれ以外の要素群に分け、それぞれグルーピングする。

図-1-1 劣化モデルのグルーピング(イメージ)

計算されるように改良する予定である。

(2) グルーピングの見直し

塗装とPC 桁を対象に、3.(1)の手法で算出した劣化曲線をベンチマークとし、要素(径間)毎の劣化速度の相対評価を試みた。その結果、劣化予測は要素毎に非常に大きくばらつくことが判明した。また、劣化速度の早い要素における過去の点検データを確認したところ、修繕後も劣化が早い傾向が見られた。これらは、構造的に補修が困難であったり、常に漏水に晒される箇所であり、構造的な問題や建設時の施工不良などが原因と考えられる。

上記のような劣化速度の速い箇所は、抜本的な改良を施さなければ、今後も引き続いて早く劣化すると考えられる。よって、全ての工種に対して同様の検討を行い、図-1-1のような劣化速度の差に応じたグルーピングの見直しを行い、H-BMS の劣化モデルをより実態に近いモデルに改良する予定である。また、これと併せて、相対評価で抽出された劣化の早い箇所に対する対策についても、別途、検討を進める予定である。

謝辞: H-BMS は阪神高速道路株式会社の技術審議会道路資産システム分科会での審議を踏まえて開発を進めている。H-BMS の開発にあたり、貴重なご指導・ご助言をいただいている主査の関西大学大学院古田均教授と委員の神戸大学大学院森川英典教授に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中林正司, 西岡敬治, 小林潔司: 阪神高速道路の維持管理の現状と課題, 土木学会論文集 F, Vol. 63, No.4, pp.494-505, 2007
- 2) 閑上直浩, 西林素彦, 片山大介: 阪神高速道路における橋梁マネジメントシステムの検討について, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集, 6-196, 2005.9, pp.391-392.
- 3) 片山大介, 西林素彦, 閑上直浩: 阪神高速道路にお

ける橋梁マネジメントシステムについて, 第 26 回日本道路会議論文集, No.11007, 2005.10

- 4) 坂井康人, 西岡敬治, 西林素彦: 阪神高速道路のアセットマネジメントシステム, 阪神高速道路技報第 24 号, pp.126-133, 2007
- 5) 有馬伸広, 毛利壮志, 荒川貴之: 「保全情報管理システム」の開発と運用, 阪神高速道路公団 技報第 22 号, pp.141-148, 2005.
- 6) 阪神高速道路株式会社: 道路構造物の点検要領 共通編 土木構造物編, 2005.10.
- 7) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計, 土木学会論文集, Vol. 801/I-73, pp.69-82, 2005
- 8) 建設省道路局, 建設省土木研究所: 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究, 第 41 回建設省技術研究報告, pp.362-381, 1987.
- 9) 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 回日本道路会議論文集, pp.710-711, 1989.
- 10) 石井康裕, 田名部淳: 阪神高速道路における交通流シミュレーションの開発と運用, 第 25 回日本道路会議論文集, No.12950, 2005.11.
- 11) 坂井康人, 井上裕司, 小林潔司: 都市高速道路の舗装修繕における同時施工の有効性検証, 土木学会建設マネジメント研究論文集(投稿中)
- 12) 阪神高速道路株式会社: 道路構造物の補修要領, 2005.4.
- 13) 小林潔司: 分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性, 土木学会論文集, No.793/ IV-68, pp.59-71, 2005