

# 阪神高速の橋梁マネジメントシステム(H-BMS)の開発

保全施設部保全企画グループ 西林 素彦  
保全施設部保全企画グループ 西岡 敬治  
大阪建設部工事企画グループ 丸山 悟

## 要 旨

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る一方、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にある。今後、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ことから、阪神高速道路の橋梁マネジメントシステム(H-BMS)の構築に向けた検討を進めている。本稿では、これまで検討したH-BMSの概要について報告するとともに、システムの概要について紹介する。

**キーワード** : 維持管理計画, 橋梁マネジメントシステム, H-BMS, ライフサイクルコスト

## はじめに

阪神高速道路は、約9割が高架構造物(橋梁)で構成されているが、平成16年現在、経年30年以上の区間が全延長の約36%(83.3km)、20年以上の区間が約53%(124.1km)を占め、構造物の高齢化に伴い、今後構造物の維持管理費が増大することが懸念されている。

一方、構造物の維持管理費は近年減少傾向にあり、将来を見通した長期的な観点からも、今後、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。また、利用者等への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いる。

これらの課題に対処するため、保全施設部では、平成14年度より、阪神高速道路の橋梁を対象として、短期的な補修計画のみならず、長期的に適切な維持管理を実施していくための支援システムと

して、補修等の費用の最適化を図ることができる阪神高速道路の橋梁マネジメントシステム(略称:H-BMS)の構築に向けた検討を行っている。本稿は、これまで検討したH-BMSの概要について報告するとともに、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、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ものである。

## 1. H-BMS の概要

### 1-1 目的・特徴

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）を果たすことなどを目的としている。

H-BMS は、保全情報管理システムに蓄積されているデータに基づいている。このデータは構造物の諸元だけでなく、過去の点検、補修の細かな履歴が構造物単位（径間、橋脚）毎にまとめられており、これを統計的に用いれば、阪神高速道路の構造物の実際の状態やその変化が明らかになり、実態を反映させたより説得力がある結果を得ることができる。

### 1-2 H-BMS を導入した新しい維持管理手順

H-BMSの活用を想定した阪神高速の管理手順（マネジメントルーチン）を図-1に示す。

H-BMSでは、保全情報管理システムに蓄積されたデータ（資産、点検、補修）を基に、構造物の状態の把握及び劣化予測を行い、これに基づいて機能を継続的に維持するための維持補修費の必要額（A）を算出し、それを参考に年度予算を決定する。決定された予算は当該年度の補修に費やされ（B）、実際に費やされた維持補修費（B）とH-BMSによって算出された維持管理費の必要額（A）を比較する（A-B）ことによって橋梁が適切な水準に維持されているかどうかを把握する。そして、この過不足を管理会計情報として記録するとともに、この結果を参考に今後の維持管理計画を立案する。

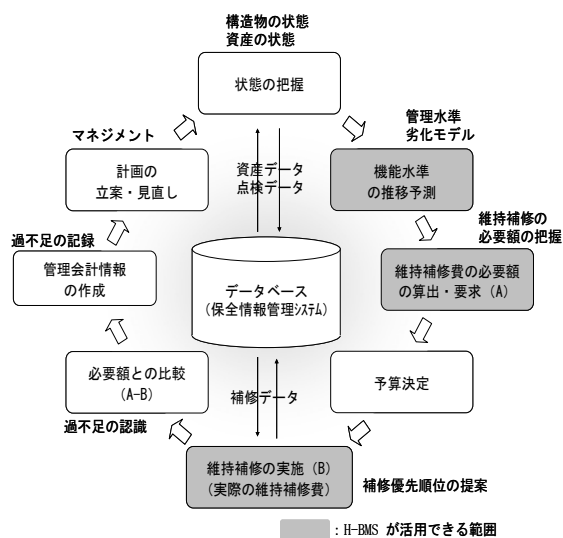


図-1 H-BMSの活用を想定した維持管理手順

このように、H-BMS は維持管理計画を構築するための支援システムとして活用するものである。

### 1-3 活用対象のイメージ

H-BMSを活用することによって、管理する橋梁群を適切な水準で維持するために必要な費用（年間必要額）や補修の優先順位を算出することができる。これらの算出結果は、意思決定の支援や外部への説明資料として活用することができる。H-BMSの活用方法として下記のものと考えられる。

#### a) 総括部門

- ・現状を踏まえた管理部門からの要望とH-BMSによって算出された必要額をもとに年度予算を決める。
- ・管理部門からの要望とH-BMSによって算出された優先順位をもとに、管理部門への予算配分を決定する。
- ・H-BMSによって算出された客観的な結果を示すことによって、説明責任（アカウンタビリティ）を果たす。

#### b) 管理部門

- ・現場の状況を踏まえて、対象橋梁を適切な水準に維持するための必要額をH-BMSを用いて算出し、総括部門に予算要求する。
- ・総括部門から配分された予算を踏まえて、H-BMSによって算出された優先順位と現場の状況をもとに予算の執行計画を立てる。

### 1-4 対象構造物

H-BMS では、通常劣化に対する維持修繕を対象とし、橋梁の部位（工種）については、舗装、塗装、伸縮継手、床版、鋼構造物、コンクリート構造物の6工種を検討対象とする。平成18年8月段階では、このうち舗装、塗装、伸縮継手を網羅した version1.0 が完成している。今後随時残りの部位も組み込み、システムを更新していく予定である。

## 1-5 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 ( $= 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7}$  C: ひびわれ率 (%), D: わだち掘れ量 (mm)) を用いる<sup>1)</sup>。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、ひびわれ率 0%, わだち掘れ量 2.0mm として MCI=9.5 と設定する。

舗装以外の部位に関しては、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、それぞれの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、当初過去の点検及び補修結果を基に、直線回帰して求めていた。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、初期段階で圧密の効果で劣化が速く、その後落ち着いてくることが知られている。また、データにばらつきが多く、回帰分析上の相関性は大きくなかった。

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、一定期間を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した<sup>2)</sup>。これにより、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再現することができ、理論値との整合性を取りやすくなる。また、その推定を劣化進展の違いを支配すると考えられる要素ごとに行うことで、劣化モデルを細かに設定することが可能になる。

一例として図-2に床版種別、路線別毎の舗装の劣化モデルを示す。当初の直線回帰と比較しているが、マルコフ推移確率を用いるほうが経験的に得られている劣化の推移状況をより忠実に再現している。さらに床版別に劣化速度に違いがあることも、実際の状況と一致している。路線別にすることは、舗装の劣化に影響すると思われる大型車交通量や線形等の要素を総合的に表現していると考える。その他舗装種別等も検討したが、明確な違いが分析上でなかったため、現段階では省略し

ている。今後のデータの蓄積を待って再評価する。

同様に、塗装の場合は塗料種別、塗装箇所（端部、中央部）を考慮して劣化モデルを設定した。また、伸縮継手は継手種別、点検種別（路上点検、はり上点検）を考慮している。

劣化モデルを設定するにあたっては、データ数に限りがあるため、やみくもに劣化モデルを細分化するのは得策ではない。統計的に有意で、実際の傾向と大きく食い違わない範囲にとどめておくべきである。

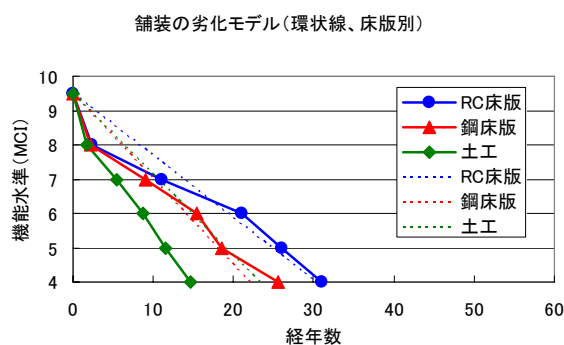


図-2 要素別劣化モデルの一例

(実線:マルコフ推移確率, 点線:直線回帰)

### (3) ライフサイクルコストの定義

構造物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、会社から直接支出される直接費用（修繕費用、維持費用）の他、利用者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 年間に於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 が最小となるときに機能水準を最適管理水準とする。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：補修工事に伴う工事費用に、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修正など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：車両の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) LCCの検討期間

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) 外部費用の推定方法

##### a) 車両走行費用

既往の研究<sup>3)</sup>において，車両の走行に伴う燃料費や車体の減価償却等を考慮した車両走行費用が提案されているが，本稿においては，舗装の劣化による費用損失の評価が目的となることから，健全な状態と劣化した状態とでの差額を車両走行費用とすることとする。

##### b) 渋滞損失費用

渋滞損失費用は，基本的には工事の有無で比較した所要時間の差に工事中の通過交通量及び単位時間あたりの評価値を乗じることにより計算される。しかし，工事規制に伴う時間ロスは，規制区間での通過の際に生じるだけでなく，そこでの速度低下に起因する手前の渋滞によってもたらされる。従って，その2つの要因をできるだけ忠実に表現するために，当システムでは交通管制システムの交通流シミュレーション機能（HEROINE）を用いることにした。HEROINEは，同システムに蓄積されている交通量データを入力値として，規制地点での交通容量の低下とそれに伴う利用者の迂回行動等の変化を考慮して，所要時間の変化や渋滞状況を再現する<sup>4)</sup>。シミュレーションを工事規制の有無で行えば，損失時間量（損失時間×交通量）が自動的に算出される。この計算を阪神高速ネットワーク内の代表地点で，実際に工事が行われる時間帯で行い，損失費用を算出した。

なお本計算においては，既存の文献<sup>5)</sup>より，時間評価価値を73.9円/台・分としている。なお，この時間評価価値には加重平均により大型車の混入も考慮されている。

この結果，損失費用は交通量の少ない地点では規制を行っても渋滞が生じないので0円，逆に環状線や環状線近傍の放射線下り方向では，交通量の比較的少ない時間帯でも渋滞が生じるので，1～2億円と，地点によって大きく異なることになった。これは，実際の渋滞状況や時間損失具合の感覚と適合しているものと考えられる。

#### (6) 最適補修タイミングの算定

図-3は，補修を行う機能水準を変えてLCCを計算し，図に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（この舗装の事例の場合，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，全体で統計処理を行うことになる。

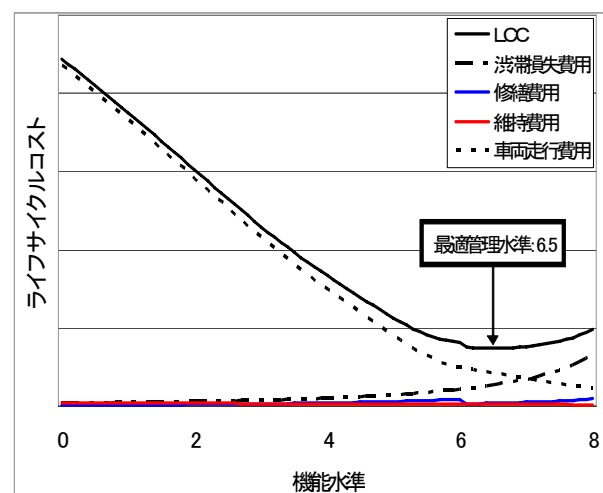


図-3 最適管理タイミングの考え方

#### (7) 補修優先順位の設定

予算制約を考慮する場合には，全ての区間で最適管理水準での補修が出来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，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「補修効率（D/C）」の大きい箇

所から優先的に補修を行うこととする(図-4)．補修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、そこは他よりも早く補修すべき場所であることになる。

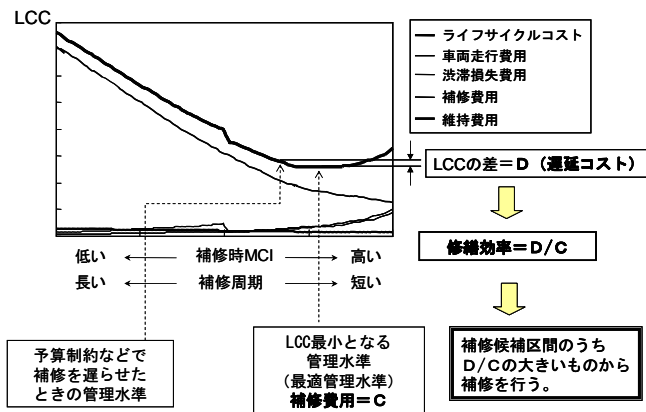


図-4 最適管理タイミングの考え方

## 2. 計算結果

### 2-1 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。上段の区間では、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、なるべく渋滞を起こさないように、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。

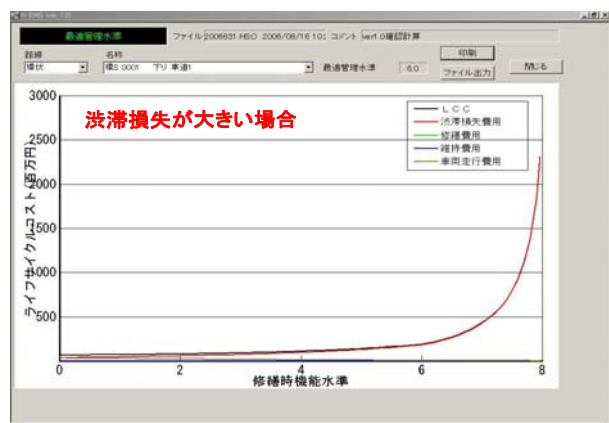
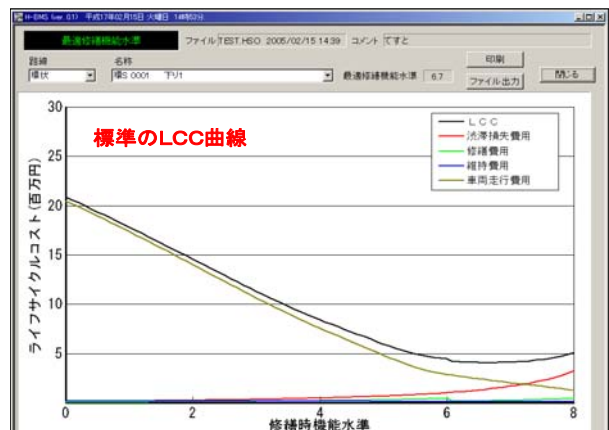


図-5 最適管理水準の算出

### 2-2 直接費用の推移

これ以下では、舗装補修を代表としてシステムの出力結果を示す。

修繕費用に異なる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の一例を図-6に示す。上段の予算水準であると、長期に渡り予算額を満額費やしており、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分かる。

上段より少し予算を増やした下段の場合、修繕費用は時間が経つにつれ余裕ができ、予算範囲内で納まってきており、予防保全のための十分な予算確保の効果が出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。



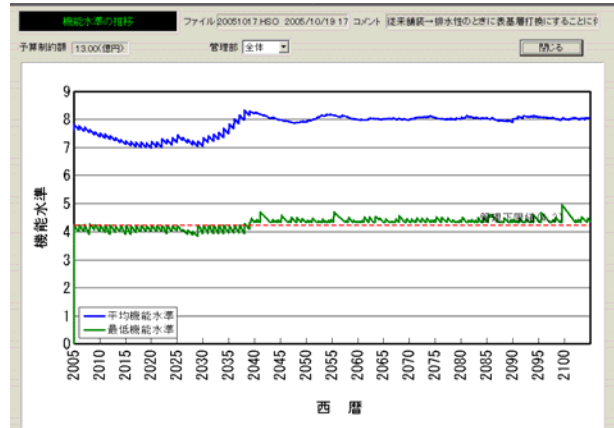
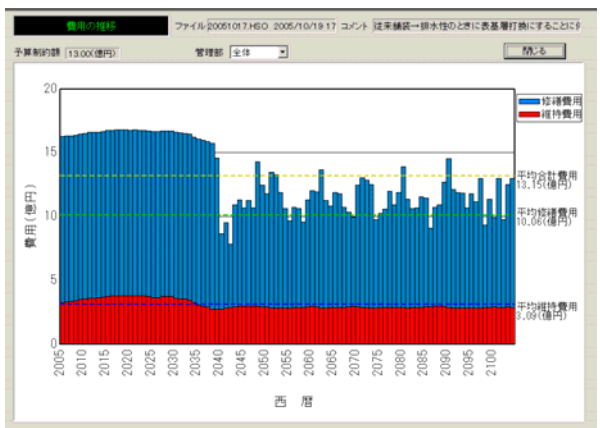
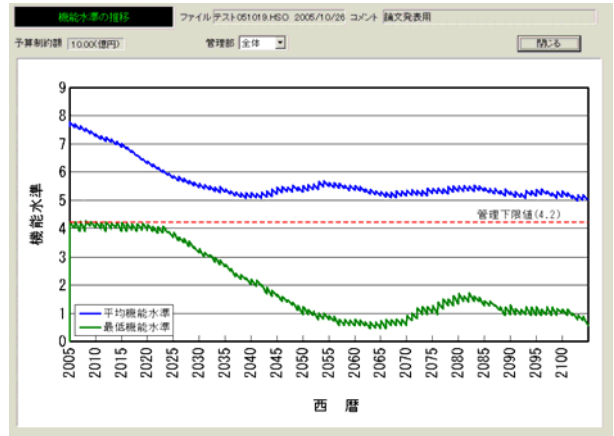
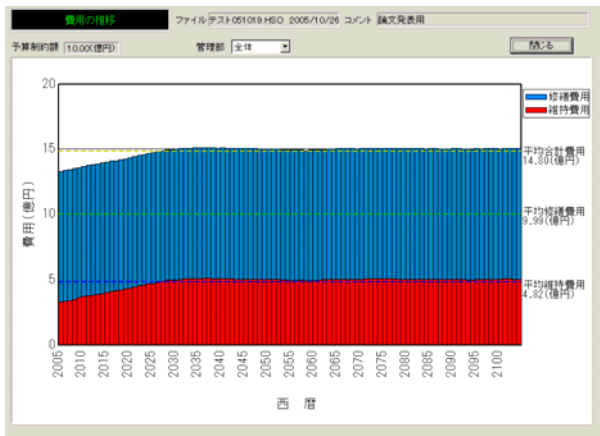


図-6 直接費用の推移グラフ(予算制約:上段<下段)

図-7 機能水準の推移グラフ(予算制約:上段<下段)

### 2-3 機能水準の推移

2-2 と同じ予算制約を設けた場合の今後 100 年間の機能水準の推移を図-7 に示す。ここでも上段では、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出来ないことが分かる。一方下段では、現状の機能水準をほぼ維持できていることがわかる。

2-2 及び 2-3 の結果を基に、予算制約値の妥当性を評価できるが、100 年間という非常に長期に渡り機能を維持するという目標のためには、下段の予算値を確保しなければならないと判断できる。これは、評価の一例であり、機能水準の維持すべき期間の設定等の与えられた目標の違いにより、異なる判断をすることは可能である。

### 2-4 最適補修間隔の分布

図-8 に最適補修間隔の分布図を示す。これは、対象構造物の阪神高速全体における平均的な寿命を考察する上で重要な資料になる。事後評価等に使用することを想定した出力例である。

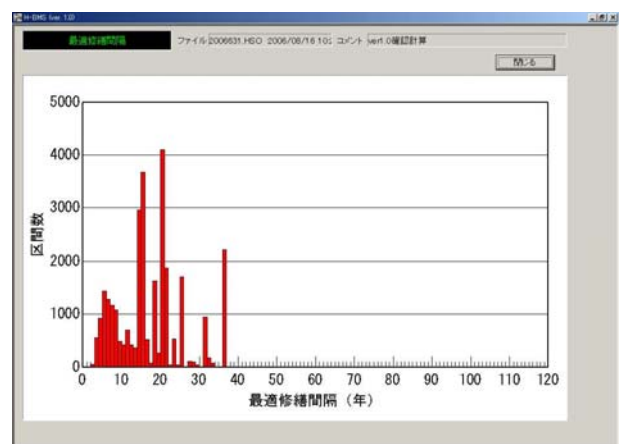


図-8 最適補修間隔の分布図

## 2-5 補修優先順位の推定

図-9に補修優先順位の出力例を示す。上段は径間毎の細かな順位と計算結果を表形式にまとめたものである。このデータをマップ表示システムに入力すると、優先順位の高い区間の分布状況を与えてくれ、路線や区間毎の集中の度合いが視覚的に明らかになる。

実際は、優先順位の高いものから個々に工事をするのではなく、ある程度まとめ、規制の制約条件等を考慮して工区（路線全体、ランプ間等）を設定するので、細かな順位よりもその分布状況を把握することが、この出力の主目的となる。

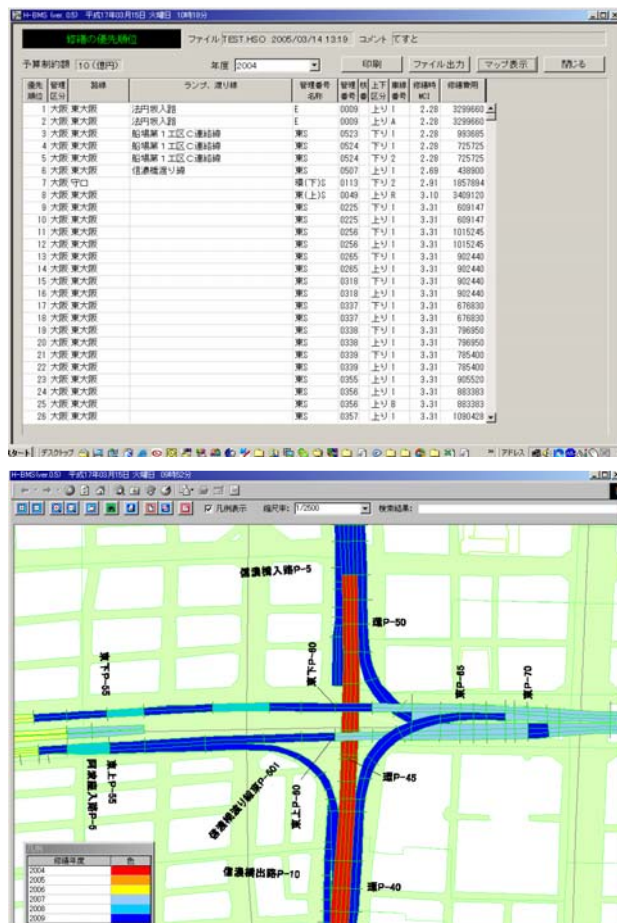


図-9 補修優先順位の出力イメージ  
(上段:表形式, 下段:マップ形式)

## 3. まとめ

H-BMS は保全情報管理システムの充実したデータベースに依存することを前提として開発されたシステムである。このデータベースが既にある

ことでH-BMSの短期間での開発が可能になった。

データに基づく状態把握や劣化予測は技術者の経験則や理論的アプローチと比べても実際の状況をより正確に捉えており、信頼性の面からも計算出力に対して説得力がある。このことは、維持管理業務での定期的なデータの取得やそれらの効率的な蓄積、参照を可能にするデータベースシステムの開発が、ITを駆使したBMSにつながっていくこれからのアセットマネジメントにおいて最重要課題であることを物語っている。

H-BMSは現在関係部門での試行を行っており、その操作性や出力の妥当性を検証している。そして、既にいくつかのフィードバックがあり、それを基にシステムの改良が加えられている。このように、システムは実際に使用に供することで徐々に改善されていくものであり、とにかく利用してもらうことが大事であることを示唆している。

本稿はH-BMSの全体概要を述べており、計算方法の細かな内容や、それまでの検討経緯、またシステムそのものの内容（インターフェイスや操作方法等）は紙面の都合上割愛している。詳しくは、保全施設部保全企画グループに問い合わせされたい。

最後に、本検討内容は技術審議会道路資産管理システム分科会（主査：古田関大教授）で審議していただいている。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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定、土木学会論文集 No.801/I-73,69-82,2005.10
- 3) 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
- 4) 石井康裕、田名部淳：阪神高速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 05039
- 5) 費用便益分析マニュアル（案）平成10年6月 建設省道路局・都市局

## THE DEVELOPMENT OF PRACTICAL BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM BASED ON THE FULL UTILIZATION OF EXISTING DATABASE

Motohiko NISHIBAYASHI, Takaharu NISHIOKA, Osamu MARUYAMA

H-BMS (Hanshin expressway Bridge Management System) was developed with the help of the active database of inspection and repair. Its main objective is providing a systematical tool of building a more rational and efficient maintenance scheme of bridge structures. H-BMS estimates maintenance, repair and other related costs optimized on a long-term basis with the concept of life cycle cost minimization. With the same concept, repair work prioritization by each structural element is determined for constructing a yearly repair planning. The both outputs accompany with explicit information on calculation process, which satisfies the raising demand of accountability on public projects. Thus it is recognized as a supporting tool for rational decision-making process.

西林 素彦



阪神高速道路株式会社  
保全施設部保全企画グループ  
Motohiko Nishibayashi

西岡 敬治



阪神高速道路株式会社  
保全施設部保全企画グループ  
Keiji Nishioka

丸山 悟



阪神高速道路株式会社  
大阪建設部工事企画グループ  
Satoru Maruyama