

# BMSにおける補修事業シミュレーション

## Simulation of repair planning in BMS

北見工業大学大学院 (株) ドーコン	○学生会員	但木純(Jun Tadaki)
北見工業大学	正会員	佐藤誠(Makoto Sato)
北見工業大学	フェロー	大島俊之(Toshiyuki Oshima)
北海道開発土木研究所	正会員	三上修一(Shuichi Mikami)
北海道道路技術センター	正会員	池田憲二(Kenji Ikeda)
		竹田俊明(Toshiaki Takeda)

### 1. はじめに

現在、我国では供用年数が 30~40 年経つ橋梁が増加し続けており、2030 年には我国の道路橋の 50%以上が橋令 50 年以上になるといわれている。しかしながらわが国の経済情勢における財政難は深刻化しており、社会基盤施設への投資が削減され、橋梁に対しても一様の維持管理業務が遂行されにくい状態である。将来の経済状態を考慮すると、限りある予算の効率化を図り、最適な維持管理計画を作成するための橋梁維持管理システム BMS (Bridge Management System)が必要であると考えられる<sup>1)</sup>。しかし、現在までに多数の研究者および技術者によって実務者レベルの提案がされているものの、未だこれらを統一化した橋梁維持管理システムとしての実用化に至っていないのが現状である。そこで本研究では、現在までの蓄積されたデータベースを基に橋梁の長期的かつ合理的な維持管理計画を立案できるシステム (JAM: Japan Asset Management System) の構築を目的としている。

### 2. BMS の概要

#### JAM の構築

本研究の目指すシステム JAM の機能は、図-1 に示すような流れで構成されており、大きく分けて次の 4 点の機能からなる<sup>2)</sup>。

- ① 橋梁諸元データ、点検データの閲覧・検索
- ② 健全度評価 (物理的評価, 資産評価)
- ③ 劣化予測
- ④ 事業シミュレーション (予算配分, 他)

現在は北海道開発局の 1988 年から蓄積されたデータについて、総合健全度、必要補修経費の算出、事業シミュレーションについては補修優先順位、予算配分の解析という流れまできており、ここまでのシステムを橋梁健全度プログラムとしている<sup>3)</sup>。

### 3. 橋梁点検データベースと健全度評価

橋梁点検データは 1988 年の旧建設省土木研究所の「点検要領 (案)」<sup>4)</sup> を基礎として毎年約 300 橋ずつ行われている北海道開発局の点検データを基にして

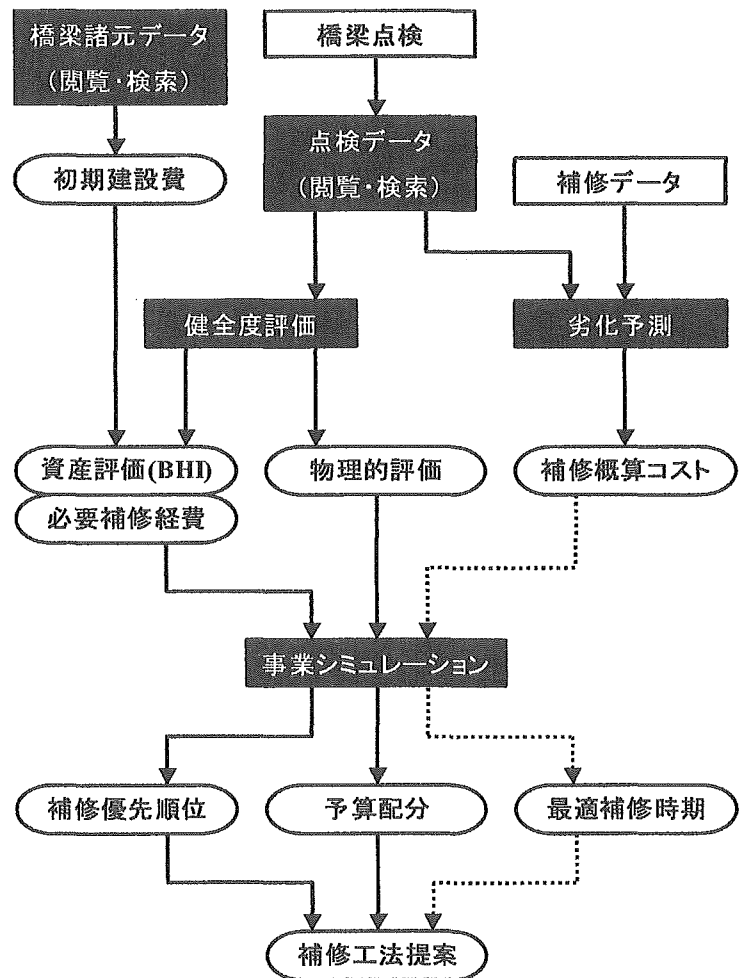


図-1 JAMの流れ

いる。橋梁部材から総合的に健全度を評価する上で必要となる表-1 に示すような 14 項目 (上部構造は部材とその損傷内容から 7 項目, 下部構造は躯体と基礎の 2 項目, その他として支承, 高欄など 5 項目) を選定し損傷データより抽出した。これにより点検対象部材, 点検項目など数多くあるカテゴリーから 14 項目を抽出することにより複雑な損傷内容データを簡略化し評価することができる。データ抽出を行った 14 項目部材は、橋梁維持管理のエキスパートに対するアンケート調査により得られた重みと数量化理論を用いて総合評価を算出し、健

全度を4段階で判定する。表-2に健全度評価基準を示す。ここで評価Iについては早急な補修等が必要となるために点検評価からはずすこととしている<sup>5), 6), 7)</sup>。

#### 4. 資産評価

資産評価では橋梁の各部材の損傷度と橋梁の資産価値から総合的に健全度を評価し、橋梁健全度指数や必要補修経費の算出を行っている<sup>8), 9)</sup>。橋梁健全度指数(Bridge Health Index : BHI)の定義を以下に示す。

$$BHI = \frac{\text{現在資産 (建設費)}}{\text{再調達価格 (建設費)}} \times 100$$

ここで、再調達価格とは橋梁の全部材が健全な状態の橋梁全体としての資産価値、現在資産とは今現在、すなわち供用開始後、劣化損傷により各部材の健全度が低下した状態の橋梁全体の資産価値であり表-1に示す部材の内、9つの主要部材に対して算出し、その合計を橋梁の現在価値としている。再調達価格は物価変動を考慮して現時点に統一した単価を用いている。また、現在資産は径間各部材の再調達価格と点検データにおける各部材の最大損傷度から求める。すなわち、  
(部材の現在資産) = (部材の再調達価格) × (低下率)  
で表される。部材損傷度と損傷による資産低下率の関係を表-3に示す。BHIは建設費が高価である部材は重みが大きく、各部材の損傷状況を経済的視点から評価するものといえる。図-2は各部材のBHIについて1橋ごとにグラフ化したものである。点検が複数回行われている橋梁は点検年ごとのグラフを並べて表示しているので、前回の点検と比較して、どの部材がどの程度資産が低下または補修により増加したのか把握することができる。

ここで、必要補修経費とはBHIを100にするために必要な補修経費のことで、(再調達価格) - (現在資産)で表される。

#### 5. 事業シミュレーション

##### 5-1 補修優先順位

既存の橋梁において、架け替えや補修・補強の優先順位というのは明確に規定されておらず、これまでは悪い橋から対処するという形で事業が行われてきた。このような事業形式が今後続くと、限られた予算では対処しきれず老朽橋梁が増大することが予想される。そこで社会的に重要な橋梁をいかに優先的に補修・補強の対象とするかを決定するために“補修必要度レベルLn”によって補修優先橋梁の順位づけを行った。補修必要度レベルを用いることにより、路線に対して社会的価値や交通量、橋梁に対して健全度や資産的価値を考慮することで社会的に優先度の高い橋を総合的に選定することができる。補修必要度レベルLnの定義を以下に示す。

$$Ln = (1 + \alpha)(1 + \beta)(1 + \gamma) \left\{ \frac{Sto - St}{Sto} \right\}$$

表-1 部材14項目

上部構造	主桁1
	主桁2
	主桁3
	補剛材
	床版1
	床版2
下部構造	躯体
	基礎
その他	支承
	高欄
	地覆
	舗装
	伸縮装置

表-3 資産価値の低下率

部材損傷	低下率
II	0.25
III	0.50
IV	0.75
OK	1.00

表-2 健全度評価基準

総合評価	橋梁の健全度評価
II	補修より架け替えを進める
III	大がかりな補修を要する
IV	軽い補修を要する
OK	現状維持

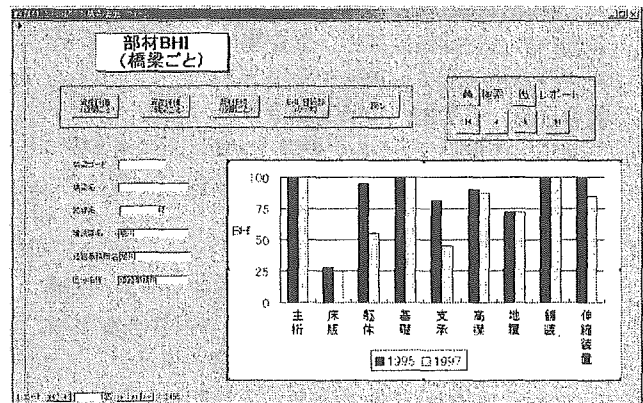


図-2 BHIグラフ表示画面



図-3 補修優先順位画面

α : 路線の重要度係数

β : 走行費用係数

γ : 橋梁の重要度係数

St : 橋梁健全度指数 (BHI), Sto : 100

Lnの数値が高い橋梁を補修・補強の必要性があるもの

とする。

本システムにおいては、すべての点検橋梁に対して補修必要度レベルの算出を行い、開発建設部ごとに補修優先順位を決定した。図-3は、建設部内でのランキングを表示したJAMの画面である。ここでは、Lnの値のほか、路線の重要度、橋梁の重要度、またBHIや必要補修経費などの値が把握できるため、維持管理の目安とすることができる。

### 5-2 予算配分

限られた予算条件の下で社会的に重要な橋梁から優先に補修していくためには、どの橋梁にどれだけの予算を配分して補修すべきかということが重要な課題となる。そこで本システムでは必要補修経費と補修必要度レベルLnを用いて、最適な予算の配分を提案するシミュレーションを行った。図-4に予算配分シミュレーションの流れを示す。

#### ※全道レベル

- ① 対象橋梁は全道の橋梁でBHIが目標値未満の橋梁とする。この値は管理目標によって決まるため、管内ごとに異なる場合も考えられる。
- ② 各管内の必要補修経費の合計を算出し、全道の必要補修経費に対する割合を算出する。
- ③ 割合に従い各管内へ予算を配分する。

(図-5、図-6はBHIの目標値を80とした場合の、各管内の必要補修経費の合計と割合である。)

#### ※管内レベル

- ④ 管内ごとにLnを算出する。
- ⑤ Lnの値により各橋梁のBHIの目標値を決め、必要補修経費を算出する。ここでの必要補修経費とはBHIを目標値にするための補修経費とする。
- ⑥ 必要補修経費を配分した結果、管内予算の条件を満たす場合は、それを補修費として配分する。また管内予算を超過する場合は、配分を再検討する。

### 6. 補修工法提案

補修工法提案プログラムでは、各径間の損傷内容から損傷部材の代表的な補修工法を選定し、補修経費を単価により表示している。補修工法を選定する基準は各管理機関によって独自のものがあがるが、本プログラムでは旧建設省などの資料を参考に補修工法を選定する。例として表-4に本プログラムで使用したコンクリート主桁の損傷状態と補修工法を示す<sup>3)</sup>。実際に工法を選択する段階になると単に損傷の大きさや状態だけでなく交通条件や構造条件、施工条件など多様な観点から判断する必要があるため、与えられた条件からだけでは工法を一律に基準化することはできない。そこで今後の課題として、架橋環境等をユーザーに選択してもらうようにすること、予算に適した工法が選択できること、劣化予測の機能により今後予想される損傷状況に応じた工法が選択できることなどが考えられ、総合的に見て最適な補修工法を選択できるようにすべきである。例として現在までに作成されている補修提案画面を図-7に示す。補修提案

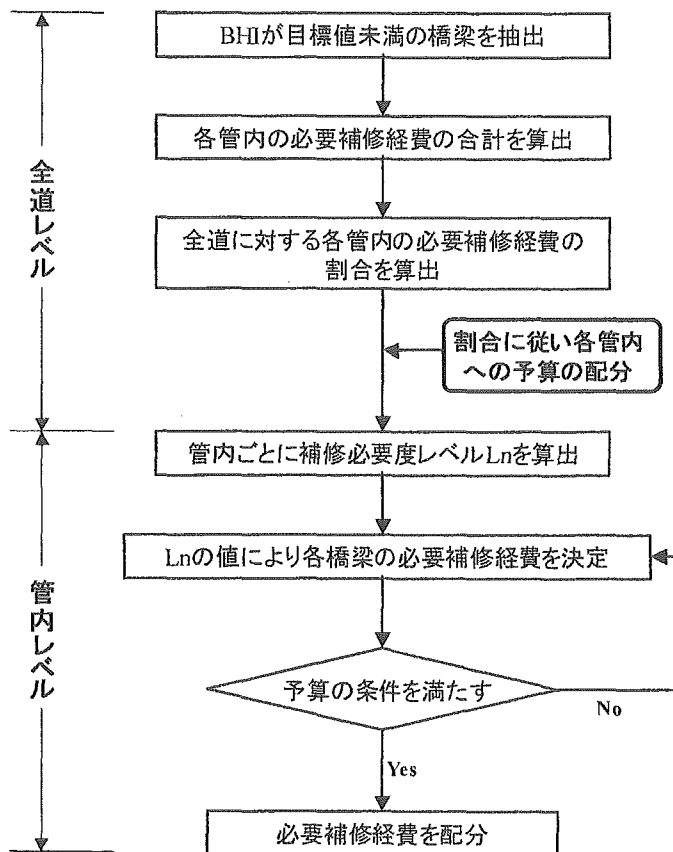


図-4 予算配分フロー

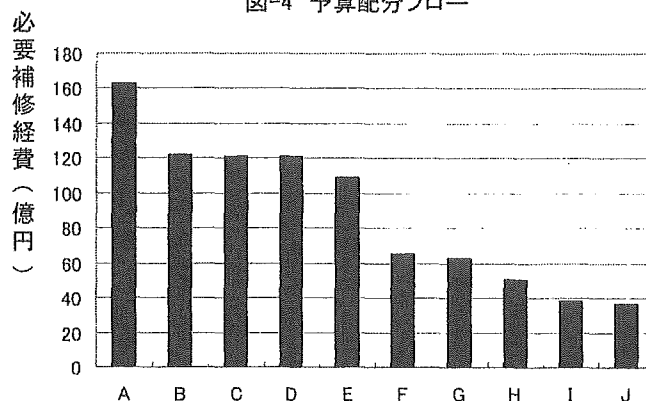


図-5 各管内の必要補修経費の合計

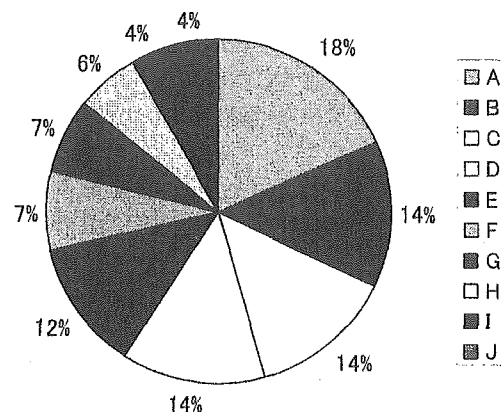


図-6 各管内の必要補修経費の割合

画面では、橋梁の諸元データ、BHI などの資産データ、各部材の損傷データ、補修工法データを見ることができると。

### 6. まとめ

本研究では、橋梁諸元データ・点検データを基に最適な維持管理計画を作成するためのBMSの開発を行った。最後にまとめとして要約すると以下ようになる。

- 1) JAM は橋梁点検データから健全度評価、資産評価など様々な角度から橋梁を診断することができるシステムである。
- 2) 1 橋ごとに BHI や必要補修経費をグラフ表示することで、どの部材がどれだけ資産低下しているかが容易に把握できる。
- 3) 路線の重要度、橋梁の重要度を考慮することで社会的に必要と考えられる橋梁を総合的に判定し、補修優先橋梁としてランキング表示することができる。
- 4) 必要補修経費と補修必要度レベルを用いた予算配分シミュレーションにより、最適な予算の配分をすることが可能である。
- 5) 補修工法提案プログラムでは、資産と損傷状況を比較しながら、補修計画を立てることができる。

### [謝辞]

本論文をまとめるにあたり(株)フジエンジニアリング 秋本正信氏、北海道開発局釧路開発建設部 前田哲哉氏にたくさんの助言を頂きました。記して感謝の意を表します。本研究は平成 15 年度文部科学省科学研究費(代表者 大島俊之)の補助を受けて行われました。

### [参考文献]

- 1) 宮本文穂, 串田守可, 中村秀明, 小野正樹: Bridge Management System(BMS)における維持管理対策選定システムの開発, 土木学会論文集, No.658/VI-48, 121-139, 2000.9.
- 2) 池田憲二, 大島俊之, 佐藤京, 渡邊一悟: 北海道における Bridge Management System(BMS)の現状と今後, 土木学会第 58 回年次学術公演会, I-446, pp891-892, 2003.9.
- 3) 椎橋亜由美, 佐藤誠, 大島俊之, 三上修一, 池田憲二, 丹波郁恵: 橋梁マネジメントシステムの開発, 土木学会第 57 回年次学術講演会, I-242, pp483-484, 2002.9.
- 4) 建設省土木研究所: 橋梁点検要領(案), 土木研究所資料, 第 2651 号, 1988.
- 5) 森弘, 大島俊之, 三上修一, 天野政一, 井上実: コンピュータ・グラフィクスと数量化理論を応用した橋梁の維持点検評価法, 土木学会論文集, No.501/I-29, pp113-121, 1994.10.
- 6) 平成晴, 大島俊之, 三上修一, 本間美樹治, 村上昭治, 水元尚也: 橋梁の健全度評価システムの開発, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 54 号, pp276-279, 1982.2.

表-4 コンクリート主桁の補修工法

損傷名	評価	補修工法	単価
ひび割れ 豆板・空洞 遊離石灰 変色劣化	III	樹脂モルタル注入工法 またはパテ工法	120.0 (千円/㎡)
ひび割れ 豆板・空洞 遊離石灰 変色劣化	II	鋼板接着工法 (炭素繊維接着工法)	110.0 (千円/㎡)
剥離・鉄筋露出	III	樹脂モルタル注入工法	10.0 (千円/㎡)
剥離・鉄筋露出 欠損	II	鋼板接着工法 (炭素繊維接着工法)	110.0 (千円/㎡)
漏水・滞水	II	伸縮装置取替	580.0 (千円/㎡)
異常振動 異常たわみ	II	断面補強・ アウトケーブル設置 架け替え	150.0 (千円/㎡) 300.0 (千円/㎡)
鋼板接着部の 損傷	III	鋼板接着工法	55.0 (千円/㎡)
鋼板接着部の 損傷	II	鋼板接着工法	110.0 (千円/㎡)

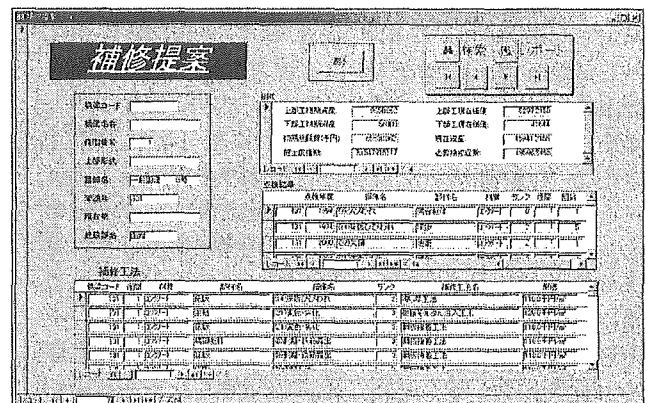


図-7 補修提案画面

- 7) 平成晴, 本間美樹治, 村上昭治, 三上修一, 大島俊之, 丹波郁恵: 橋梁点検評価システムとその改良, 土木学会第 53 回年次学術講演会, I-A, pp530-531, 1998.9.
- 8) 丹波郁恵, 次村英毅, 池田憲二, 安江哲, 三上修一: 橋梁維持管理のための橋梁健全度指数の検討, 土木学会第 56 回年次学術講演会, CS, pp298-299, 2001.10.
- 9) 大島俊之, 三上修一, 丹波郁恵, 佐々木聡, 池田憲二: 橋梁各部材の資産価値と橋梁健全度指数の解析, 土木学会論文集, No.703/I-59, 53-65, 2002.4