

# BMS を用いた効率的な橋梁マネジメント

## — BMS の開発・実用化事例紹介 —

金氏 眞\*

### 1. はじめに

わが国の道路ネットワークにはおよそ 68 万の道路橋がある。平成 19 年 2 月現在の人口 1 億 2 776 万人を 68 万橋で割ると、実に 188 人に 1 橋の割合となる。いかに多くの道路橋がわれわれの生活を支えているかに驚かされるとともに、いかに数多くの橋梁をこれから維持管理していかねばならないかが分かる。

これらの道路橋はつねに風雨にさらされ、交通荷重を受けて変形を繰り返し、徐々に劣化が進行している。これらの劣化が進行している道路橋を適切に維持管理していくためには、定期的な橋梁点検を実施し、劣化現象の発生をできるだけ早い段階で発見して適切な対策を講じるとともに、それぞれの劣化進行の速度に合わせて適時適切な対策を実施していく必要がある。

橋梁に発生する劣化現象がさまざまであり、また劣化進行の速度も様でないことから、数多くの橋梁を対象として効率的・効果的な維持管理計画を策定するのは容易ではない。そこで、数多くの道路橋を管理している地方自治体では、橋梁の維持管理計画策定を支援するブリッジマネジメントシステム (BMS) の開発が進められている。

数多くの道路橋を対象として、予算平準化などの予算制約を考慮したうえで、橋梁全体のライフサイクルコスト (LCC) を低減することを目標として開発され、青森県で実用化された BMS を紹介するとともに、BMS を用いた効率的な維持管理の仕組みを紹介する。

### 2. 橋梁群の維持管理プロセス

#### 2.1 マネジメントサイクル

橋梁の維持管理においては、PDCA (Plan-Do-Check-Action) のマネジメントサイクルをまわすことがきわめて重要である (図 - 1)。なぜなら、橋梁の維持管理は継続して行うものであり、「計画」と「実行」がつねに繰り返され

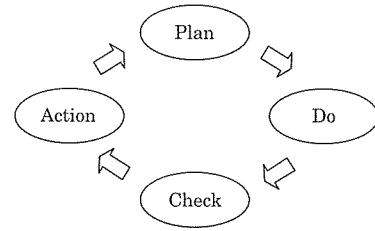


図 - 1 PDCA マネジメントサイクル

るからである。実行後の「Check (評価) → Action (対策)」の結果が次の計画 (次年度計画・次期中期計画) に直接反映されなければ、マネジメントの品質が向上しないだけでなく、計画策定を行うたびに「計画を一から作り直す」ことになりかねない。

#### 2.2 橋梁群の維持管理における課題

橋梁群の維持管理プロセスは、一般的に図 - 2 のように示すことができる。管理事務所の役割は、個別橋梁の維持管理計画を策定・実施することであり、本庁の役割は、橋梁全体の維持管理計画を策定し予算管理を行うことである。管理事務所が実施する内容をミクロマネジメント、本庁が実施する内容をマクロマネジメントと呼ぶこととする。

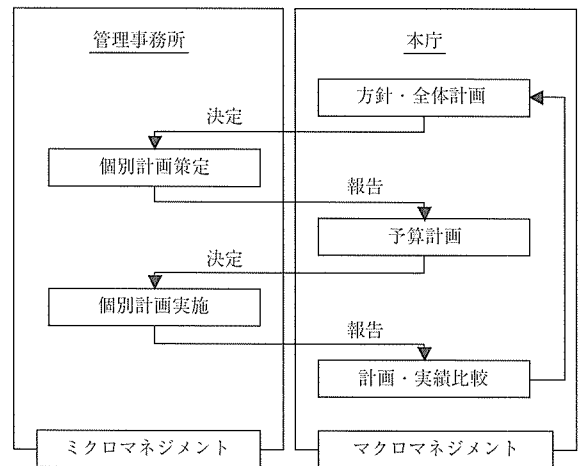
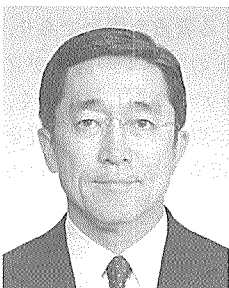


図 - 2 橋梁群の維持管理プロセス

維持管理プロセスの手順は以下のとおりとなる。

- (1) 本庁：方針を定め、全体計画を策定
- (2) 管理事務所：個別橋梁の維持管理計画策定
- (3) 本庁：個別計画を元に予算計画を策定
- (4) 管理事務所：個別計画を実施
- (5) 本庁：計画と実績を評価して次期計画に反映



\* Makoto KANEUJI

鹿島建設 (株) 土木管理本部 土木技術部 リニューアルグループ長

### 2.2.1 予算制約

必要な予算が確保できる場合には上記の維持管理プロセスのとおり実行できるが、予算制約がある場合には簡単ではない。管理事務所からの報告を元に集計した予算が確保できない場合には、スタートに戻って「方針・全体計画」を修正し、管理事務所「個別計画」を修正し、必要な「予算を再集計する」という(1)から(3)までのプロセスを繰り返し実施しなければならない。

ところが、個別計画を繰り返し修正することは非常に手間がかかることから、事業優先度評価手法を適用して予算を配分する橋梁を選定する、というマネジメントが実施される場合がある。事業優先度評価手法とは、「複数の事業計画がある場合、重要度・緊急度の高い事業を優先して実施する」というものであり、新規プロジェクトの実施優先度を評価する場合には有効な手法であるが、橋梁の維持管理計画のように時間に連動して事業費が変化する(劣化進行によって対策費用が変化する)事業に適用するとさまざまな問題が生じる。

事業優先度評価手法では、予算配分する事業の選定にとどまり、予算配分されなかった事業はその実施が見送られる場合が多い。そのため、予算配分されなかった橋梁は劣化の進行によってLCCが当初計画のLCCから増える可能性があり、予算計画が「方針・全体計画」と整合しなくなる。さらには、予算制約の金額にかかわらず中期事業計画を策定することができるため、維持管理計画と予算制約とが無縁のものになってしまい、アセットマネジメントの本来の目的が果たせなくなってしまう可能性がある。

### 2.2.2 LCC算定と予算計画

橋梁の維持管理計画において予算計画を示すことは非常に重要な要素である。「今までの更新・事後保全主体の維持管理を改め、予防保全主体の維持管理によって橋梁の長寿命化を図る」という方針転換を提案するにしても、「従来の維持管理方針ではどれだけの維持管理予算が必要であり、予防保全主体の維持管理に方針転換するとどれだけの長期予算を節約できるか」という説明をしなければ、道路施設の利用者であり納税者である国民の理解を得ることはできない。

一つ一つの橋梁は、大きさや構造・材料が異なるだけでなく、自然環境・使用環境によってその劣化現象が異なるので、橋梁ごとに維持管理計画を策定してLCC算定を行わなければならない。管理橋梁数が少ない場合は手作業で橋梁ごとのLCCを算定することもできるが、管理橋梁数が数百・数千となると手作業では手に負えなくなり、BMSの開発が必要となってくる。

LCC算定の方法として一般的なのは、橋梁に発生している劣化現象を特定したうえで劣化の進行速度を予測し、対策を実施する管理水準と対策方法を特定して費用を計算する、という方法である。LCC算定結果をベースにして予算計画を策定することから、LCC算定精度をいかに高めるかが大きな課題となる。BMS開発にあたっては、PDCAのマネジメントサイクルをまわしていくことによってLCC算定精度が向上するような仕組みを作り上げておくとともに、

大きなLCC算定誤差を生じる要因を排除しておかなければならない。

## 3. BMSの開発事例紹介

筆者がその開発に携わった青森県版ブリッジマネジメントシステム<sup>2)</sup>の概要を以下に紹介する。なお本BMSは財団法人大阪地域計画研究所<sup>3)</sup>によって汎用化され、普及事業が推進されている。

本BMSのマネジメント・フローを図-3に示す。

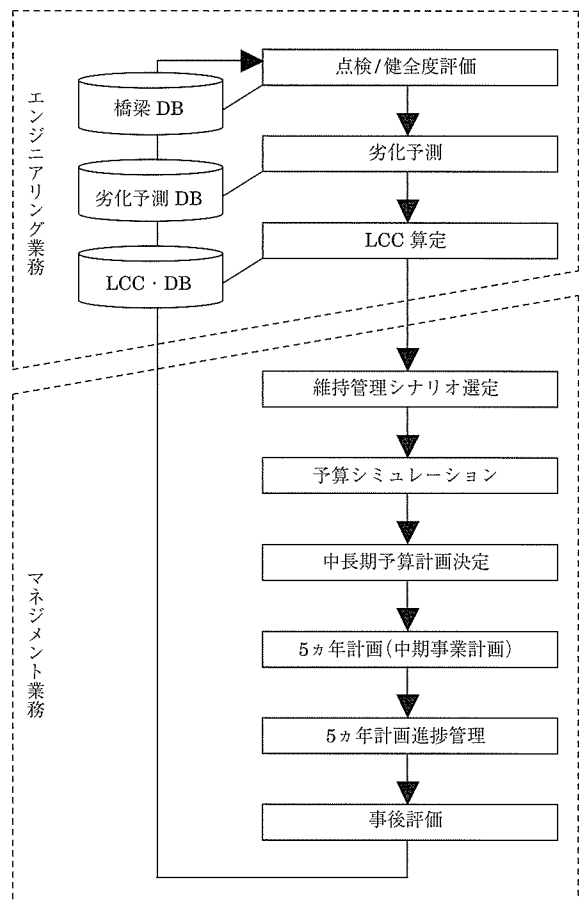


図-3 汎用BMSのマネジメント・フロー

「点検・健全度評価」「劣化予測」「LCC算定」までは一般的なBMSと同じであるが、「維持管理シナリオ」という概念を導入し、LCCを算定する際の管理水準を部材ごと・劣化機構ごとに定めている点が大きな特徴である。以下、汎用BMSの概要を紹介する。

### 3.1 点検・健全度評価

点検は橋梁の生きたデータを収集する貴重な機会であり、点検データをもとに橋梁マネジメントのすべての計画が立案されるので、マネジメントに必要なデータを、精度良く、効率的に収集することが重要である。点検データの品質を確保し、点検作業の効率化・高度化を達成するために独自の「点検支援システム」を開発した<sup>2)</sup>。点検支援システムは、点検を実施する前に事前データ(橋梁を要素分割し、要素ごとに点検情報の記入欄を設けたもの)を作成してこれを

モバイル PC にダウンロードし、点検現場で直接入力するものである。入力結果を BMS にアップロードすることによって、点検調書が自動作成される。

橋梁点検で収集するデータは、大きく次の二つに分けられる。

- 1) 損傷情報：部材に発生している損傷の情報
- 2) 基本情報：LCC 算定のための情報

損傷情報は、損傷の種類や大きさ・程度などの情報であり、国土交通省橋梁定期点検要領（案）に準拠して、あらかじめ部材種類ごとに設定されたプルダウンメニューから選択して記録する。また、CAD 図面に損傷スケッチ図を描いたり、写真撮影箇所を記録することもできる。

基本情報は、劣化予測・LCC 算定などに使用する情報で、劣化機構と健全度を記録する。健全度は 5 段階評価で、表 - 1 に示す共通定義をベースに、部材種類ごと・劣化機構ごとに 35 種類の評価基準を定めている。健全度は、劣化予測、対策工法選定あるいは管理水準設定において共通指標として用いられる。

表 - 1 健全度評価基準の共通定義

健全度	共通定義
5	劣化現象が発生していないか、発生していたとしても表面に現れない段階。
4	劣化現象が発生し始めた初期の段階。劣化現象によっては劣化の発生が表面に現れない場合がある。
3	劣化現象が加速的に進行する段階の前半期。部材耐力が低下し始めるが、安全性はまだ十分確保されている。
2	劣化現象が加速的に進行する段階の後半期。部材耐力が低下し、安全性が損なわれている。
1	劣化の進行が著しく、部材の耐荷力が著しく低下した段階。部材種類によっては安全性が損なわれている場合があり緊急措置が必要。

点検対象の橋梁数が非常に多いことから、近接目視を主体とする定期点検時に劣化予測や LCC 算定に必要なデータを収集し、必要に応じて非破壊検査やサンプリング調査を行う。

### 3.2 劣化予測

劣化予測は、LCC 算定のベースになるもので、中長期の予算計画・事業計画の精度を左右する重要な部分である。しかしながら、橋梁部材の劣化を左右する要因が数多くあり、それらが複雑に絡み合っているために、理論的なアプローチだけで高い精度の劣化予測を行うことは難しい。そこで、本 BMS では劣化予測の精度を向上させるために次の三つの工夫をしている。

- 1) 理論式・実験式・劣化事例・エキスパートの知見など、現時点で得られている知見を最大限に活用して、材料別・劣化機構別に劣化予測モデル式を設定し、環境条件に応じた複数の劣化速度を設定する。
- 2) 同じ橋梁でも部材によって劣化速度が異なることから、点検結果を反映させて、当該要素の劣化予測式を、点検結果を通るように自動修正する（図 - 3）。
- 3) 点検データの蓄積によって、劣化予測モデル式を地域の特徴を反映させてカスタマイズする。

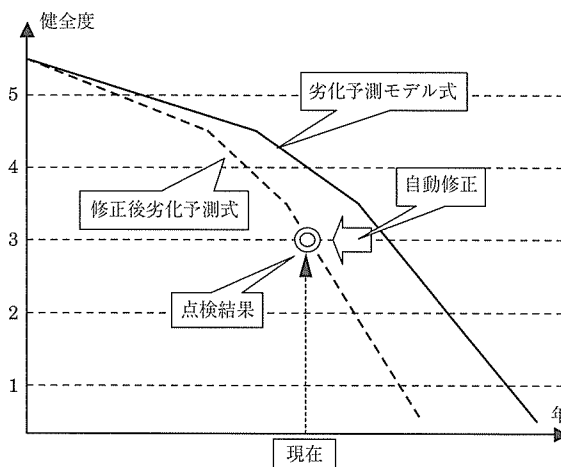


図 - 4 劣化予測式の自動修正

### 3.3 LCC 算定

管理水準を設定し、管理水準に達した時点で所定の補修を繰り返す場合の LCC を算定するには、以下の 7 つの情報が必要となる（図 - 5）。

- ① 劣化予測式
- ② 管理水準
- ③ 対策時期（①と②で決まる）
- ④ 対策工法
- ⑤ 対策コスト
- ⑥ 対策後の回復健全度
- ⑦ 対策後の劣化予測式

対策工法は、部材種類ごと・劣化機構ごとに異なるので、管理水準に応じた対策工法をあらかじめ選定しておく。管理水準（対策を実施する健全度）が異なれば対策工法が変わるのはいうまでもない。

### 3.4 維持管理シナリオ

#### 3.4.1 維持管理水準

従来から行われている「要求性能の確保」を主眼とする維持管理では、どの構造物に対しても一律に、要求水準よりも若干高い管理水準が設定されていた。そのため、管理水準を下回る危険性が生じて初めて対策を施す事後保全が主体であった（図 - 5）。

一般的には、劣化が進行すればするほど対策費が高くなる傾向がある。したがって、LCC を低減させようと思えば、劣化が発生する前に予防的に対策を実施したり、あるいは劣化過程の初期の段階で早めの手当てをするなど、管理水準を多様化して対策実施の選択肢を増やしておき、それらの選択肢の中から LCC 最小の対策を選ぶ、といった方向転換が必要である（図 - 6）。

このような考え方から、部材種類ごと・劣化機構ごとに管理水準と対策方法をあらかじめ設定し、それぞれの管理水準・対策方法に必要な LCC を比較して、LCC を低減する維持管理計画を選択することとした。

管理橋梁数が少ない場合は、橋梁ごと・部材ごとに一つ一つ管理水準を設定することもできるが、管理橋梁数が多くなるとその作業が煩雑となるため、部材単位の管理水準・

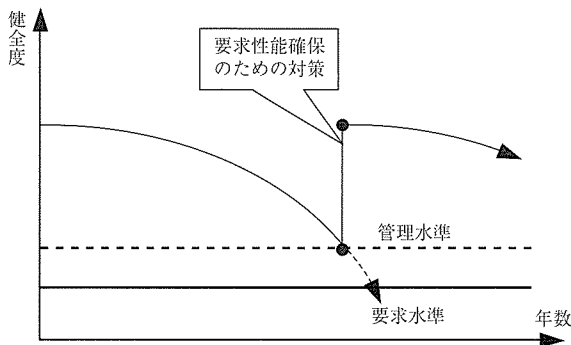


図-5 画一的な管理水準（事後保全）

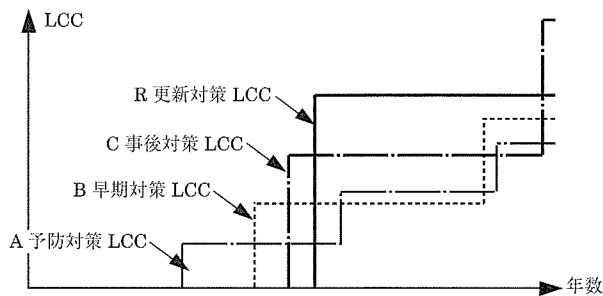
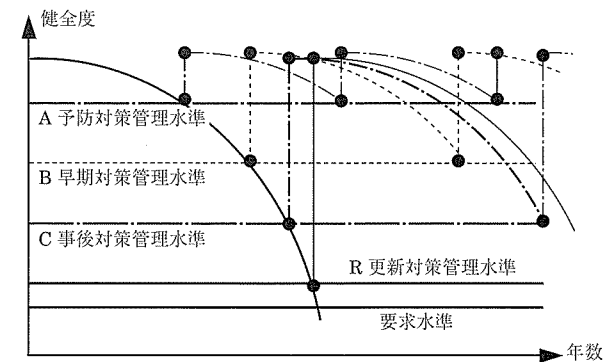


図-6 管理水準の多様化による LCC 低減

対策方法を効率良く設定する手法を工夫する必要がある。そこで、「維持管理シナリオ」という概念を導入し、橋梁ごと・部材ごとに管理水準を設定する効率的な手法を開発した。

### 3.4.2 維持管理シナリオの設定

維持管理シナリオとは、維持管理の基本方針を定めたいうえで、部材ごと、劣化機構ごとに管理水準と対策方法を定めたもので、橋梁単位で選定されるものである。

表-2に、汎用BMSで標準設定している維持管理シナリオを示す。

維持管理シナリオは、長寿命化シナリオと更新シナリオに大別される。長寿命化シナリオは、「更新を避け、適時適切な補修対策を繰り返し実施して長寿命化するシナリオ」であり、更新シナリオは「所定の時期に更新することを前提に安全性を確認しながら更新計画時期まで維持管理するシナリオ」である。

長寿命化シナリオでは、それぞれ標準的な管理水準（主

要部材をどの健全度で対策するか）が示されているが（表-2）、ここに示されている健全度はあくまでも目安であり部材によって異なる。部材によっては対策方法がかぎられていて部材交換しかない、という場合があり、そのような場合は、その部材に適した健全度で部材交換する、という設定がなされる。

表-2 維持管理シナリオ

長寿命化シナリオ	
A1 戦略的対策	主要部材を健全度4で対策する予防保全型
A2 LCC最小	新設橋梁に適用するとLCC最小となる対策工法の組合せ
B1 早期対策(1)	主要部材を健全度3で対策する（ハイグレード）
B2 早期対策(2)	主要部材を健全度3で対策する（コスト抑制）
C1 事後対策(1)	主要部材を健全度2で対策する（交通安全性確保）
C2 事後対策(2)	主要部材を健全度1.5～1.0で対策する（構造安全性重視）
更新シナリオ	
RD 床版更新	床版および関連部材を更新
RS 上部工更新	上部工および関連部材を更新
RW 全体更新	橋梁全体を更新

### 3.4.3 維持管理シナリオの選定

橋梁が置かれている環境条件（自然環境・使用環境）によって、維持管理方法は制限される。たとえば、架替えが非常に難しい橋梁については更新シナリオを除外しなければならないし、関連事業計画（河川改修計画）に伴って架替えが予定されている橋梁に対して長寿命化シナリオを選定する必要はない。

そこで道路ネットワークにおける橋梁の役割・重要性、あるいは現状の健全度等を考慮して、適用可能な維持管理シナリオを一つまたは複数選択する。

図-7は、青森県橋梁アセットマネジメントにおける維持管理シナリオ選定のフローを示したものである。選定手順としては、まず道路拡幅整備や河川改修などの関連事業により更新が決定している橋梁、劣化が著しい橋梁、あるいは幅員や耐荷力が不足していて架替えを必要とする橋梁に更新シナリオを選択する。次に、長寿命化シナリオの絞込みの第一段階として、超長大橋など特殊な環境条件にあって更新や大規模補修ができないものに対して「A1：戦略的対策シナリオ」を適用、第二段階として、道路ネットワークにおける重要性を考慮して長寿命化シナリオの絞込みを行い、最後に残った橋梁に対してA1シナリオを除く全シナリオを選定する。

### 3.5 予算シミュレーションと中長期予算計画<sup>5)</sup>

3.4で述べたように、予算シミュレーションに先立って橋梁ごとに適用可能な維持管理シナリオが選定されているので、選定されたシナリオの中から予算制約を満足する維持管理シナリオの組合せを探し出すことができれば、個別橋梁の維持管理方針と予算制約の両方を満足する中長期予算計画を策定することができる。予算制約を満足する維持管

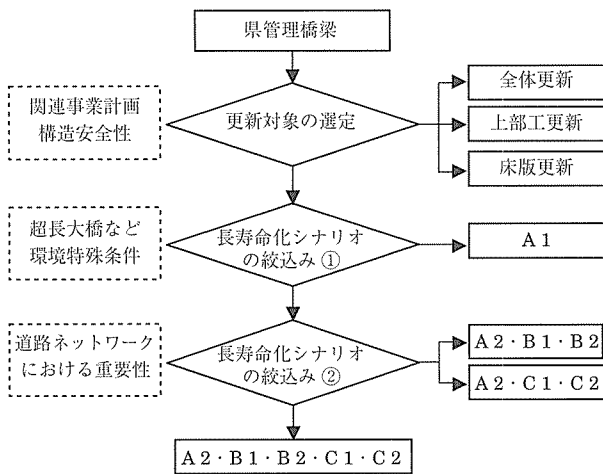


図-7 維持管理シナリオの選定

理シナリオの組合せを探し出す作業を「予算シミュレーション」と名付ける。

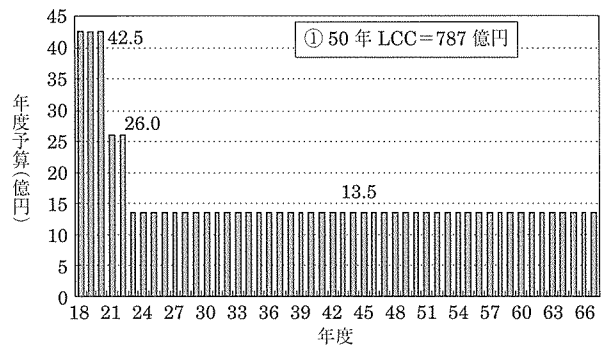
多くの事業体では、単年度会計を原則としているため、次年度予算あるいは中期予算（たとえば、5カ年予算）が予算制約として示されることが多い。また、維持管理予算はその性格上、年度ごとに大きく変動するのではなく一定期間平準化させることが望まれ、年度ごとに多少の凹凸があっても複数年間の平均値を予算とする平準化<sup>5)</sup>が行われる。

橋梁をはじめとする社会資本の維持管理を対象とする事業計画においては、中期予算制約に対応する長期予算見通しを示したうえで予算計画を検討する必要がある。以下に、2005年度に青森県が実施した予算シミュレーションの事例<sup>2)</sup>を紹介する（図-8）。

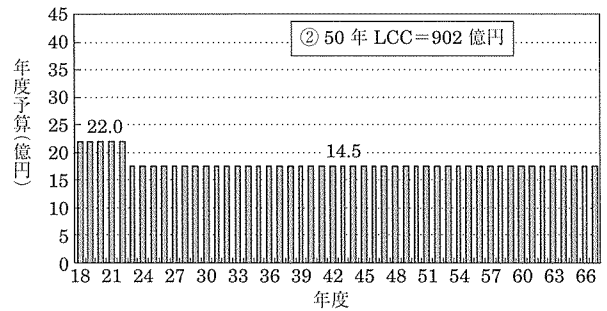
ケース1は、橋梁ごとにLCCが最小となる維持管理シナリオを選定してLCCを集計し、平準化ルール<sup>5)</sup>に従って中長期予算を算定したものである。50年LCCは787億円であり、必要な中期予算（5カ年予算）は179.5億円となった。ケース2は、中期予算を110億円（毎年22億円）とした場合で、50年LCCはケース1よりも115億円多くなる。ケース3は中期予算を3段階154億円にしたもので、50年LCCはケース1よりも20億円多くなる。ケース2と3を比較すると、中期予算を44億円増やすことによって50年間では95億円節約できる計算となる。このようにして、中期と長期の予算計画を比較検討した結果、ケース3が予算案として採択された。

### 3.6 中期事業計画（5カ年事業計画）

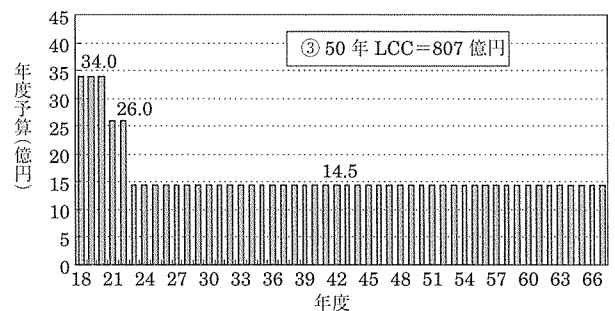
中長期予算計画決定と同時に全橋梁の維持管理シナリオが決定され、橋梁ごとのLCCも算定されている。そこで橋梁ごとのLCC情報をベースに比較的容易に中期事業計画（5カ年事業計画）を立案することができる。手順としては、対策工事を橋梁単位・部材種類単位で集計し、早く実施しなければならない順番に並べ、年度予算を割り振る作業を行う。この段階で、橋梁ごとの特殊事情を考慮して対策工事の順番や組合せを調整すると、中長期予算計画と整合性があり、かつ現場状況を反映させた実行可能性の高い中期



ケース1 LCCが最小となるシナリオの組合せ



ケース2 5カ年を22億円/年とした場合



ケース3 3段階予算(最終決定案)

図-8 予算シミュレーション結果例

事業計画を立案することができる。

## 4. BMS を用いた効率的な橋梁維持管理

2.2で指摘した課題が本BMSでどのように解決されているかについて補足説明を加える。

### 4.1 予算制約への対応

本BMSでは、「方針・全体計画」に沿って橋梁ごとに適用可能な維持管理シナリオが選定され、そのシナリオの組合せを変えることによって予算の集計を行う仕組みを取り入れている。したがって、中長期予算計画が出来上がった時点で確定される全橋梁の維持管理シナリオは「方針・全体計画」に整合しており、事業優先度評価手法で生じるような不整合は発生しない（図-2）。

### 4.2 LCC算定と予算計画

LCC算定において、直接工事費の算定は「単価×数量」を基本としており、それに劣化予測による対策実施時期予測という要素が加わる。LCC算定結果を左右する三つの要素（単価、数量、劣化予測）のうち、単価や劣化予測は変動要素があるため常に実態をフィードバックして精度向上

を因らざるを得ないが、数量に関しては、システム構築方法によっては大きな誤差を生じかねないので注意を要する。

本 BMS では、国土交通省橋梁定期点検要領（案）の要素分割を評価単位として LCC を算定している。この要素単位は対策工事を実施する場合の最小工事単位と同等の大きさとなっており、対策工事の数量算定で大きな差が生じる心配がない。

一方、評価単位を要素単位よりも大きくとり、橋梁 1 スパンを一つの評価単位とするような点検データ（簡易点検など）をベースに LCC を算定しようとする、計画段階と実施段階で工事数量が一桁以上の誤差を生じる結果となりかねない。たとえば図 - 9 に示すコンクリート床版の場合、所定の点検ルートにしたがって他の部材と一緒に順次点検が行われ、健全度が記録される。一スパンを評価単位とする場合には、もっとも劣化した部分を代表値として健全度評価するのが通常であるから、スパン全体が「健全度 2」として記録されてしまう。健全度 2 を管理水準として対策

を実施する場合、対象となる床版は「2 パネル」であるが、簡易点検結果を用いる場合は「20 パネル」となり、10 倍の誤差を生じることとなる。

本 BMS では点検結果に合わせた劣化予測式の自動修正によって、劣化予測に起因する LCC 算定誤差を低減する工夫がなされている。また、部材種類・劣化機構ごとに管理水準・対策工法・対策コストを詳細に設定し、工事実績データを分析してデータベースを修正することによって予算計画段階の LCC 算定精度を向上させる工夫が組み込まれている。青森県の 2006 年度橋梁アセットマネジメント年次レポート<sup>2)</sup>によれば、予算計画と工事計画実施と予算計画との間に大きなずれはなかったようである。

## 5. あとがき

道路橋の維持管理はこれから永続的に対応していかなければならない重要課題であり、維持管理計画策定は継続して実施する PDCA サイクルのスタートに過ぎない。したがって、BMS は継続的に運用することを念頭において開発することが何よりも重要である。本報告が道路橋維持管理に携わる方々にとって参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) ドイツにおける橋梁マネジメントシステム (BMS) の現状 (共著：出雲淳一、谷倉泉、上阪康雄、金氏眞：橋梁と基礎 Vol.36 No.11 2002 年 11 月号)
- 2) 青森県県土整備部道路課ホームページ  
<http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/>
- 3) 財団法人大阪地域計画研究所 <http://www.rpi.or.jp>
- 4) ブリッジマネジメントシステム構築のポイント (JACIC 情報 85 号 2007 年 3 月；財団法人建設情報総合センター発行)
- 5) アセットマネジメント導入への挑戦 第 5 章 (共著：土木学会アセットマネジメント研究小委員会、技報堂出版、2005 年)

【2008 年 1 月 15 日受付】

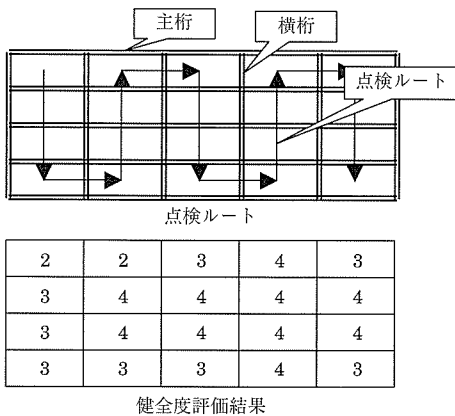
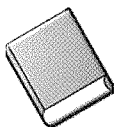


図 - 9 床版の点検ルートと点検結果



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3,500 円 (送料 500 円)

：非会員価格 4,200 円 (送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版