

道路橋の効率的な維持管理を支援する ブリッジマネジメントシステム “BMStar”

※金氏 眞¹・狩野 茂²・池田 真理子³

¹鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)

²鹿島建設株式会社 ITソリューション部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)

³鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)



道路橋の老朽化が進んでおり、近い将来において更新費や維持管理費が急激に増大することが懸念されている。そのため、数多くの道路橋を長期的な視点に立って効率的に維持管理するためのデータベースシステム“ブリッジマネジメントシステム (BMS)”の開発が多くの橋梁管理者で進められている。

BMS 開発においては、劣化予測および LCC 算定に係る不確実性がつねに問題点となっていた。BMStar (ビーエムスター) は、劣化予測や LCC 算定上の問題点を解決し「現場で使える」長寿命化修繕計画の策定を支援する BMS で、すでに青森県で4年以上の運用実績がある。

キーワード：橋梁維持管理，アセットマネジメント，ブリッジマネジメント，劣化予測，LCC

1. はじめに

道路橋は常に風雨に晒され、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一様でないことから、数多くの橋梁を効率的に維持管理するのは容易でない。そのため、橋梁の点検・調査データをもとに維持管理上の意思決定を支援するための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。ここでは、橋梁群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、すでに青森県¹⁾で4年以上の運用実績を持つブリッジマネジメントシステム “BMStar” を紹介する。

2. BMStarの特長

(1) BMStarのマネジメント・フロー

汎用BMSのマネジメント・フローを図-1に示す。「点検・健全度評価」で収集した定期点検データに基づいて「劣化予測」ならびに「LCC算定」を行うことを前提に、劣化過程のどの段階にあるかを評価する「健全度評価基準」を独自に設定した。

道路ネットワークにおける橋梁の重要性を反映させて橋梁ごとに管理目標を設定するためのツールとして「維

持管理シナリオ」を考案・導入したこともBMStarの大きな特長の一つである。以下、マネジメント・フローにしたがって汎用BMSの特長をご紹介します。

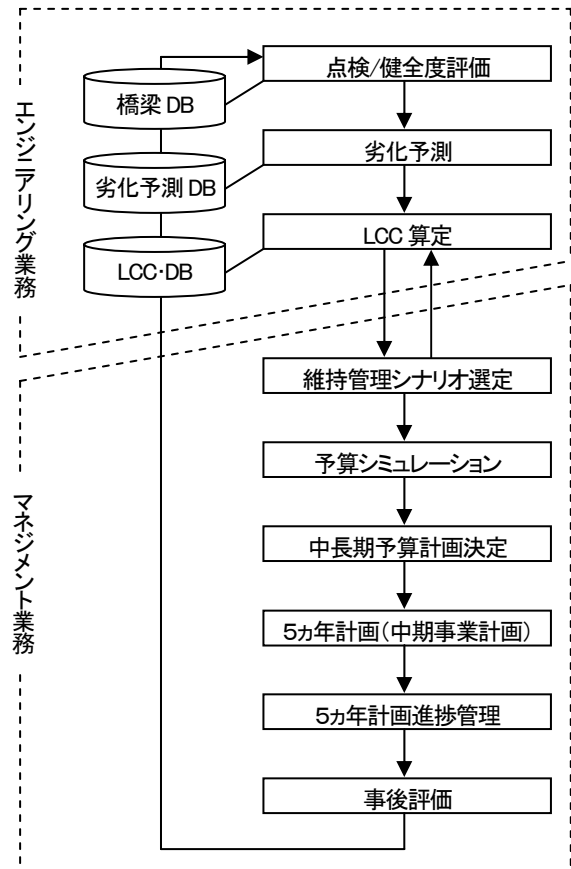


図-1 汎用BMSのマネジメント・フロー

(2) 省力化のための点検支援システム

点検は橋梁の生きたデータを収集する貴重な機会である。点検データをもとに橋梁マネジメントの全ての計画が立案されるので、精度良く、効率的に、橋梁マネジメントに必要なデータを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²⁾。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。従来は、現場で野帳や点検記録用紙に手書きで記録し、事務所に戻ってさらに PC に入力するという 2 回の入力作業が必要であったが、これを 1 回にすることで省力化した。また、写真番号と撮影箇所のリンクによって写真整理作業時間が短縮され、入力結果を BMStar にアップロードすると点検調書が自動作成される。

(3) 劣化メカニズムに着目した健全度評価基準

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。

- a) 損傷情報：部材に発生している損傷の詳細情報
- b) 基本情報：LCC 算定のための情報

損傷情報は、国土交通省橋梁定期点検要領（案）に準拠した損傷の種類・大きさ・程度に関する情報であり、予め設定されたプルダウンメニューから選択して記録することができる。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機能を有する。

基本情報は、劣化予測・LCC 算定に使用する情報で、劣化機構と健全度を記録する。健全度は、劣化予測の指標として用いることを前提に、劣化過程を 5 段階に分けて、どの劣化段階にあるかを示すものとして設定した。表-1 はすべての劣化機構に共通の健全度評価基準であり、この共通定義をベースに、部材種類ごと・劣化機構ごとに 35 種類の評価基準を設定した。

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	劣化現象が加速度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	劣化現象が加速度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。

(4) 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、BMStar では劣化予測の精度を向上させるために次の二つの工夫をしている。

- a) 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、環境条件に応じて複数の劣化速度を設定した。
- b) 同じ橋梁でも部位によって劣化速度が異なることから、点検結果を反映し、当該要素の劣化予測式を点検結果を通して自動的に修正する（図-2 参照）。

(5) LCC 算定

LCC を算定するには、健全度がどこまで低下したら、どのような対策を実施するかを予め決めておかなければならない。図-3 は、コンクリートの塩害に対する管理水準と対策工法を図示したものである。

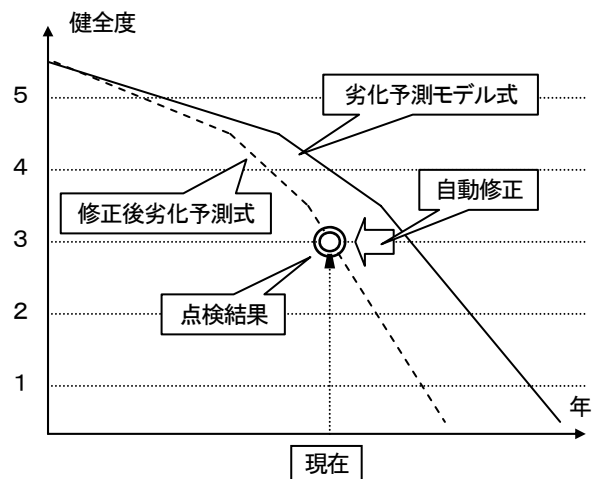


図-2 劣化予測式の自動修正

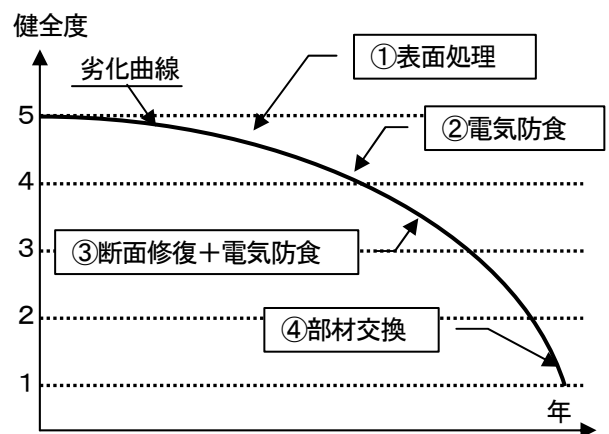


図-3 管理水準と対策工法の設定

LCC を算定するには、以下の7つの情報が必要となる。

- 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。

(6) 管理水準の多様化とLCC低減

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最小となる対策を選ぶ、といった方策が有効である(図-4)。

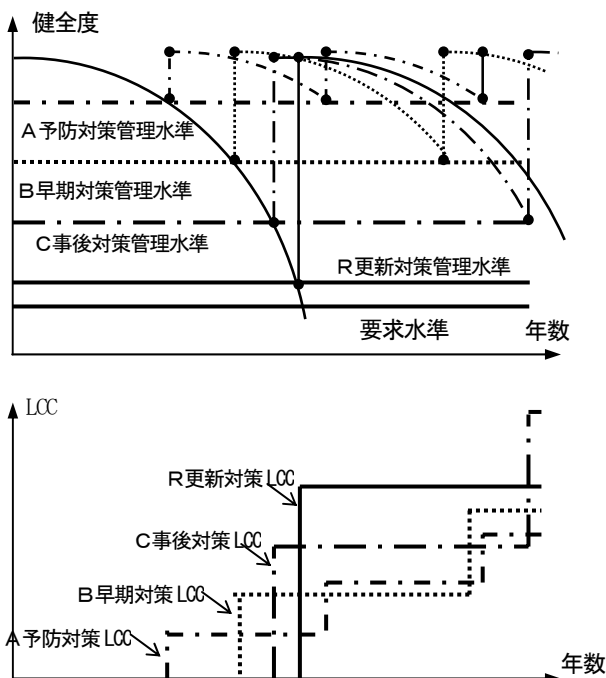


図-4 管理水準の多様化によるLCC低減

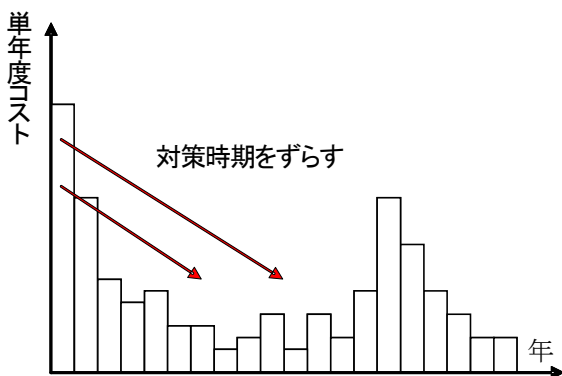


図-5 予算制約による対策時期の変更

(7) 管理目標の設定と変更

橋梁ごとにLCCが最小となる管理目標を設定して全橋梁のLCCを合算すると、LCCを最小にするための理想的な中長期予算計画が出来上がる。必要な予算が確保できる場合はこの予算計画を実行することができるが、予算制約があって要求どおりの予算を確保できない場合には、一部の橋梁の対策時期をずらさなければならなくなる(図-5)。「対策時期をずらす」ということは「管理水準を変更する」ことを意味するので、橋梁ごとに予め複数の管理目標を設定しておく必要がある。

管理目標は、道路ネットワークにおける橋梁の重要度を反映して設定するのが望ましい。重要度が高い橋梁は管理目標を高く設定し、何らかの原因で維持管理予算が一時的に削減されても健全度が大きく低下しないようにする。一方で、架け替えが予定されている橋梁は安全が確保されるぎりぎりの健全度で管理し、重要度が低い橋梁は管理目標に幅を持たせて、予算制約に柔軟に対応できるようにする(図-6)。

(8) 管理目標と維持管理シナリオ

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目標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・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。維持管理シナリオとは、維持管理目標を定め、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設定するものである(図-7)。

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。

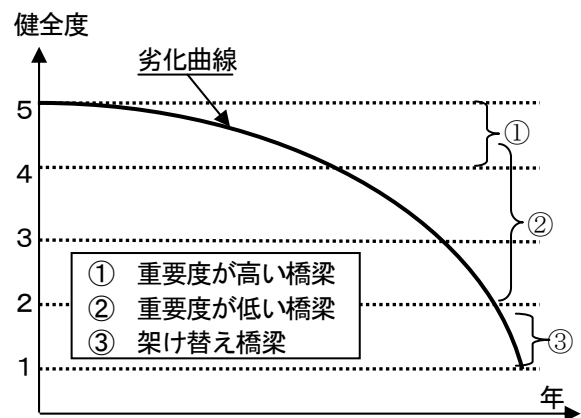


図-6 重要度を反映した管理目標の設定

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種類・劣化機構によって異なる。部材によっては対策方法が限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。

(9) 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。例えば、架け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）に伴って架け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・重要度、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。

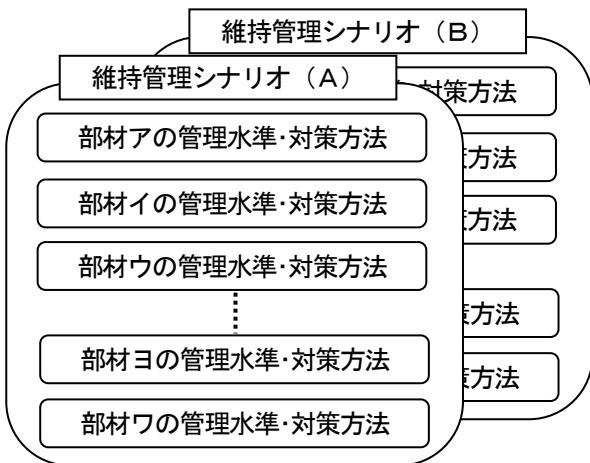


図-7 維持管理シナリオ

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み合わせ
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

図-8は、維持管理シナリオ選定の一例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架け替えを必要とする橋梁に更新シナリオを選択する。残りの橋梁はすべて長寿命化シナリオとする。

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」を適用する。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。

(10) 予算シミュレーションと中長期予算計画

すべての橋梁に対して、道路ネットワークにおける橋梁の重要度を反映して適用可能な維持管理シナリオが選定されている。したがって、予算制約を満足する維持管理シナリオの組み合わせを探し出すことにより、各橋梁の維持管理目標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理シナリオの組み合わ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、次年度あるいは中期予算（例えば、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同じにする「平準化⁴⁾」が求められる。

橋梁をはじめとする社会資本の維持管理計画においては、長期的な見通しに立った予算計画が不可欠であるから、中期の予算制約と長期の予算見通しを比較しながら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 BMStar を使って実施した予算シミュレーションの事例¹⁾を紹介する（図-9）。

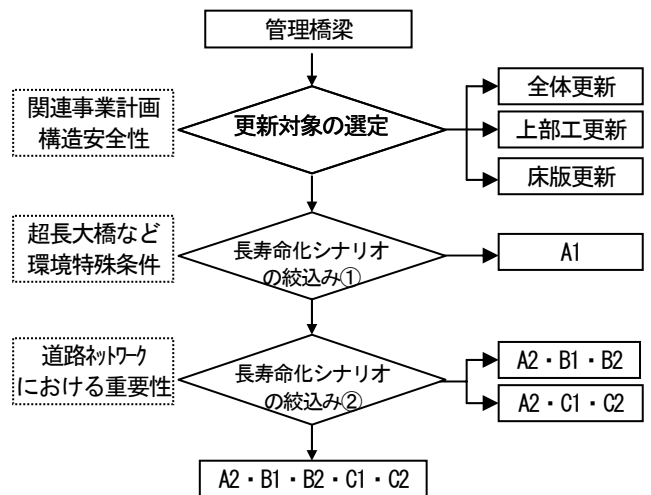


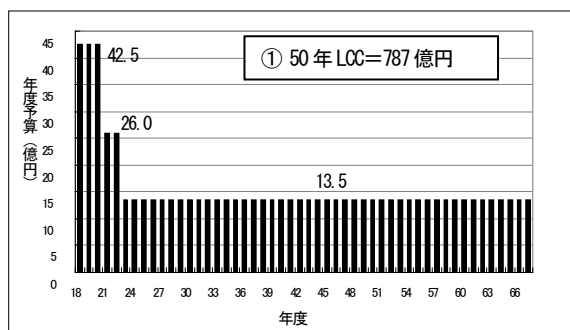
図-8 維持管理シナリオの選定

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⁴⁾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。

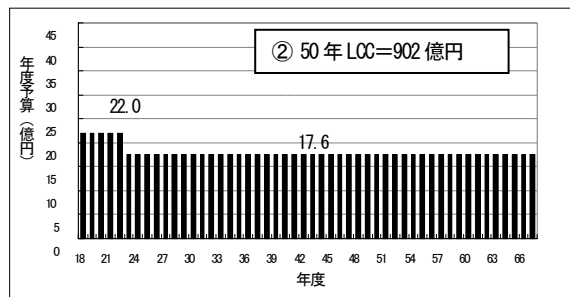
ケース2は、中期予算を110億円（毎年22億円）とした場合で、50年LCCはケース1よりも115億円多くなる。

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。

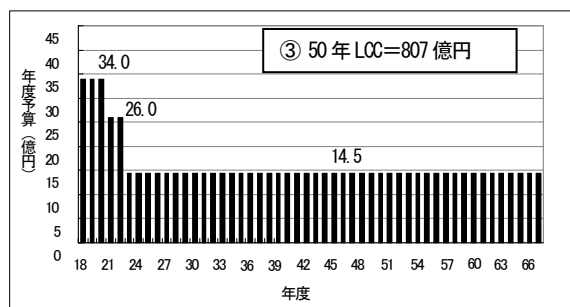
このように中期と長期の予算比較を検討した結果、中期に集中投資することによって長期の維持管理予算を大幅に減らすことができるケース3が予算案として採択された。



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-9 予算シミュレーション結果例

(11) 中期事業計画（5カ年事業計画）

予算シミュレーションが、中長期の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作業であることから、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る。と同時に、決定されたシナリオに対応するLCCがすでに算定されているので、すべての要素の管理水準、対策方法、対策時期に関する情報が得られていることになる。

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、対策工事費を橋梁単位・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事業計画を立案することができる。

3. あとがき

欧州やアメリカの橋梁維持管理に関する視察の機会を数多く与えられたことから、BMS開発に必要な数多くの知見やヒントを得ることができた。それらを元にBMS開発構想を温めていた時期に青森県と協同でBMStarを開発する機会を得ることができた。BMS開発に際しては青森県の職員の方々からは維持管理の現場の意見を数多く頂戴してBMS開発に反映することができた。

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。BMStarは、2004年に開発着手してすでに6年が経過し、青森県での運用実績は5年目を迎える。担当職員の度重なる定期異動にも関わらず継続運用されていることは、BMStarの実用的価値の高さを示す事実として誇りに思う次第である。

参考文献

- 1) 青森県県土整備部道路課ホームページ
<http://www.pref.aomori.lg.jp/douro/>
- 2) 財団法人大阪地域計画研究所 <http://www.rpi.or.jp>
- 3) 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）
- 4) 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）