

## 第 2 回新都市社会技術セミナー

### 研究報告 4

「インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究」

プロジェクトリーダー 小林 潔司（京都大学大学院工学研究科教授）

平成 16 年 11 月 10 日

新都市社会技術融合創造研究会

# Bridge Management System Ver. 1

## 経過報告書

平成16年11月

新都市社会技術融合創造研究会

インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究プロジェクト

➤ 進捗状況

昨年度は暫定プロジェクトヒアリングを含め、計11回の研究会を開催した。マネジメント対象を橋梁1橋に絞り、プロジェクトレベルでのアセットマネジメントシステムについて議論した。ライフサイクルコスト最小化を目的とした最適修繕戦略の導出、およびその計算に当り必要となってくるデータの選出、劣化過程のモデル化を行った。また、実際にプロトタイプとしてのVer.0を作成した。

本年度は、マネジメント対象を国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所が管理している2号バイパス全体の橋梁に広げることを目的とし、ネットワークレベルでのアセットマネジメントシステムの構築を目指している。例えば予算内での優先順位づけ機能、必要予算算出のためのシミュレーション機能、橋梁の修繕計画を合理的に作成するために必要な管理会計情報機能などがある。また、システムに必要なデータセットの選出も引き続き行っていく。さらに、昨年度は不十分であった劣化予測についての精緻化も行う。これまでの研究会における議事内容を表-1に示す。

表-1：これまでの研究会における議事内容

第1回（4月27日）	
議論	「昨年度の成果と今年度の目標」
議論	「タスクチームの立ち上げ」
第2回（6月1日）	
報告	「平均費用最小化(AER)原則による最適修繕政策」(京都大学)
報告	「データの整備状況及びVer.1の経過報告」(京都大学)
報告	「今年度の課題：劣化予測手法を取り入れた推移確率の算定」(長大)
報告	「ハザードモデルを用いた戦術レベルでの劣化予測手法」(京都大学)
報告	「状態IをDo-nothingとした場合のコストについて」(中央復権コンサルタンツ)
報告	「BMSVer.1の構築に向けて」(JIPテクノサイエンス, 駒井鉄工)
第3回（7月6日）	
報告	「マルコフ推移確率の推計方法」(京都大学)
報告	「劣化予測手法を取り入れた推移確率の算定：検討の方向性」(長大)
報告	「平均費用最小化原則による最適修繕政策」(京都大学)
報告	「集計化について」(中央復権コンサルタンツ)
報告	「データの整理方法」(日本建設コンサルタント)
第4回（9月13日）	
報告	「集計化について2」(中央復権コンサルタンツ)
報告	「アセットマネジメントシステムの全体構成について」(京都大学)
報告	「マルコフ推移確率の算出結果」(京都大学)
報告	「アセットマネジメント関連委員会」(駒井鉄工)

以下に、本年度の成果、および継続中のプロジェクトの1部について、1.アセットマネジメントシステム、2.集計化、3.推移確率の推計、4.推移確率の算定、5.橋梁会計、6.データセットの作成、7.Ver.1の作成の順で説明している。

# 1. アセットマネジメントシステム

昨年度は、主にアセットマネジメントの戦略レベルにおける要素技術についての議論を中心に重ねてきた。アセットマネジメントシステムの運用にむけて、その全体構成を整理し、戦略レベルから戦術レベルに至る詳細フローを定義することが必要である。

## (1) 橋梁補修戦略【戦略レベル】

- 橋梁をタイプ、重要度、劣化の損傷具合等から、グルーピングし、それぞれのグループに対する修繕戦略を決定する。（予防修繕 or 事後修繕）
- 長期的（5～10年）の予算枠をシミュレートする。
- サービス水準の設定（利用者へのアカウントビリティ）
- 点検の合理化（間隔、次回実施箇所等の見直し）
- 対策工法の合理化

## (2) 中期計画【戦術レベル】

- 橋梁の健全度を評価する。（定期点検の実施）
- 中期（5年）の整備計画を立案する。
- 費目別（改築、補修）の予算枠を決定、見直しを行う。
- 予算執行状況の確認（会計システム）

## (3) 単年度計画【維持修繕レベル】

- 単年度の整備計画決定
- 予算費目別の事業優先順位
- 優先順位の総合評価

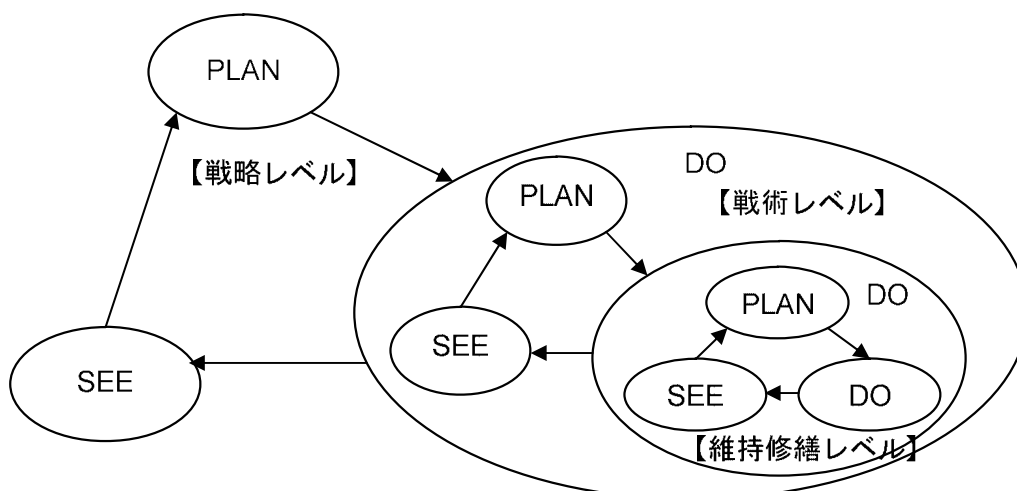


図 1-1 アセットマネジメントの階層的マネジメントサイクル概念図

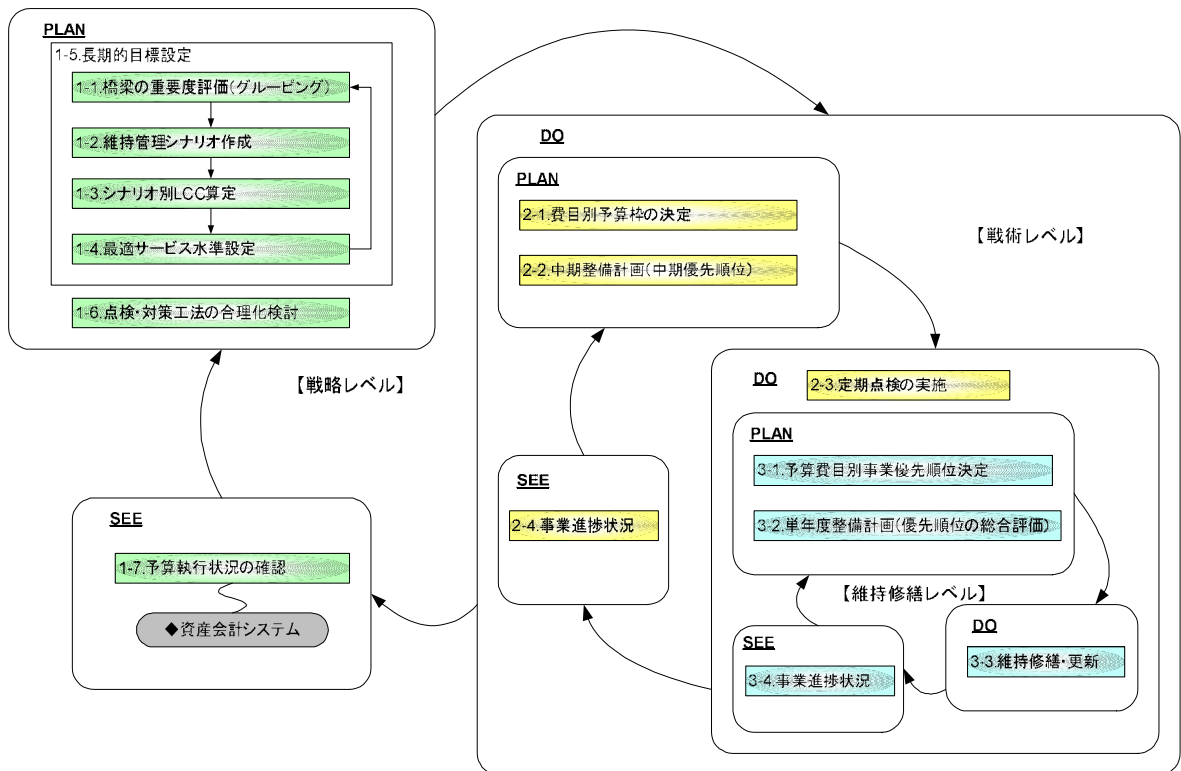


図 1-2 階層的マネジメントサイクル

## 2. 集計化

昨年度に作成した Ver.0 は 1 橋梁を対象としたシステムであった。本年度、構築する Ver.1 は姫路バイパス全橋梁を対象とする。したがってネットワークレベルでのマネジメントをどのように行っていくかを考慮する必要がある。考えられる拡張機能として、中長期的な予算解析がある。その際、ここの橋梁・部材レベルの情報を集計化し効率的に計算を行う必要がある。情報を集計化し、予算配分の決定に関する情報を提供する方法として、以下の 3 通りが既存研究に見られた。

- ① 個々の橋梁部材単位で費用便益比等による評価で修繕順位を決定し、これを積み上げて予算配分を決定する方法
- ② 橋梁郡に対し、ある修繕政策がとられる橋梁の割合として修繕率を導入し、この修繕率によって予算配分を決定する方法

参考文献：武山泰，福田正：修繕率を用いたネットワークレベルでの舗装の修繕計画の最適化，第 1 回舗装工学講演会講演論文集，1996 年 1 月

- ③ モンテカルロシミュレーションにより集計化を行う方法

Ver.0 において個々の橋梁部材ごとに修繕政策の最適化を行っている。このことを考慮すれば、集計化方法は①による方法が望ましいと考える。一方、中長期的な修繕費用を最適化したい場合には、②や③による方法も考えられる。

### 3. 推移確率の推計（統計学的アプローチ）

本研究会において、橋梁部材の劣化過程をハザードモデルにより表現するとともに、推計されたハザードモデルに基づいてマルコフ推移確率を推計するという方法論を提案する。

#### 3. 1 ハザードモデルの概要

ハザードモデルは、信頼性解析など多くの分野で適用事例があり、研究成果が蓄積されている。上木構造物の劣化予測に対するハザードモデルの適用事例に関してもいくつかの先行研究が存在する。以下に、ハザードモデルを定式化する。

➤ 寿命： $\zeta$

寿命は確率変数であり、確率密度関数  $f(\zeta)$ 、分布関数  $F(\zeta)$  に従うと仮定

➤ 生存確率：時点  $y$  まで生存している確率

$$\tilde{F}(y) = 1 - F(y) \quad (1)$$

➤ ハザード関数： $\lambda(y)$

時点  $y$  まで生存し、かつ期間  $[y, y + \Delta y)$  中に壊れる条件付き確率は

$$\lambda(y)\Delta y = \frac{f(y)\Delta y}{\tilde{F}(y)} \quad (2)$$

この確率密度  $\lambda(y)$  をハザード関数と呼ぶ。

#### 3. 2 マルコフ推移確率への応用

このセクションでは、ハザード関数とマルコフ推移確率の関係を定式化する。

寿命  $\zeta_i$  を損傷度  $i$  に留まっている期間長として定義

損傷度  $i$  における確率密度関数、分布関数をそれぞれ  $f_i(\zeta_i)$ 、 $F_i(\zeta_i)$  とする。

マルコフ性：現時点以後の推移が、過去の履歴と無関係に、現在の状態にのみ依存して起こる

マルコフ性を仮定すると、ハザード関数は

$$\lambda_i(y_i) = \theta_i \quad (3)$$

と表せ、時刻  $y_i$  に依存しない一定の値をとる

このハザード関数  $\theta_i$  を用いれば  $f_i(\zeta_i)$ ,  $\tilde{F}_i(\zeta_i)$  はそれぞれ

$$f_i(y_i) = \theta_i \exp(-\theta_i y_i) \quad (4)$$

$$\tilde{F}_i(y_i) = \exp(-\theta_i y_i) \quad (5)$$

と表せる。

今、1段階劣化（損傷度が  $i$  から  $i+1$  に落ちた場合）のケースを例にマルコフ推移確率を求める。

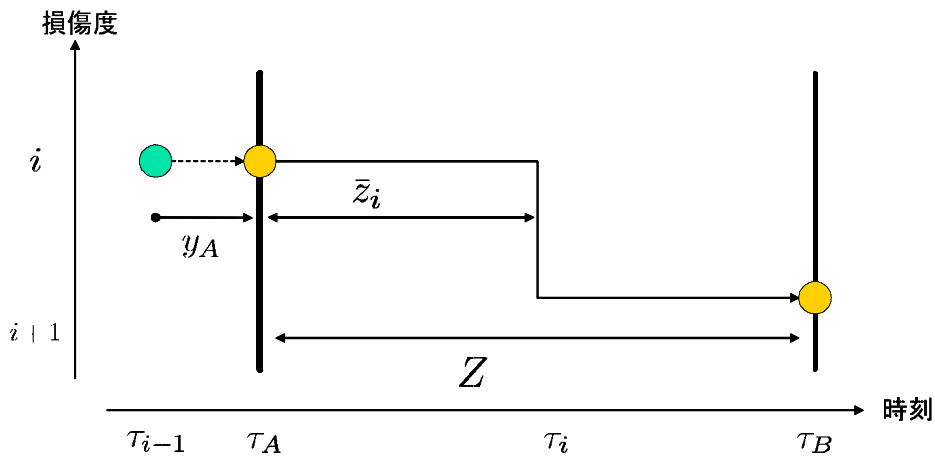


図 3-1: 1 段階劣化

- ・ 時刻  $\tau_A$ ,  $\tau_B$  で定期点検
- ・ 点検間隔  $Z$
- ・ 時刻  $\tau_{i-1}$  に損傷度  $i$  になり、時刻  $\tau_A$  までその損傷度を保っている確率  $\tilde{F}_i(y_A)$
- ・ 時刻  $\tau_i$  で損傷度  $i+1$  に進む確率  $f_i(\bar{z}_i + y_A)$
- ・ 時刻  $\tau_B$  まで損傷度  $i+1$  を保つ確率  $\tilde{F}_{i+1}(Z - \bar{z}_i)$

したがって、図のパスをたどる条件付き確率  $q_{i+1}(\bar{z}_i | \zeta_i \geq y_A)$  は



$$\begin{aligned}
& q_{i+1}(\bar{z}_i | \zeta_i \geq y_A) \\
&= \frac{f_i(\bar{z}_i + y_A)}{\tilde{F}_i(y_A)} \cdot \tilde{F}_{i+1}(Z - \bar{z}_i) \\
&= \theta_i \exp(-\theta_{i+1}Z) \exp\{-(\theta_i - \theta_{i+1})\bar{z}_i\} \quad (6)
\end{aligned}$$

ただし、 $\bar{z}_i$ は範囲 $[0, Z)$ の中で変化しうるので、求めたいマルコフ推移確率  $\pi_{ii+1}$  (点検間隔  $Z$  の間に損傷度が  $i$  から  $i+1$  に落ちる確率) は次式で表せる。

$$\begin{aligned}
& \pi_{ii+1} \\
&= \int_0^Z q_{i+1}(z_i | \zeta_i \geq y_A) dz_i \\
&= \frac{\theta_i}{\theta_i - \theta_{i+1}} \{-\exp(-\theta_i Z) + \exp(-\theta_{i+1} Z)\} \quad (7)
\end{aligned}$$

同様にして、マルコフ推移確率  $\pi_{ij}(i \leq j)$  を  $\theta_i, \theta_{i+1}, \dots, \theta_j$  の関数として定義できる。

$$\pi_{ij} = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_k Z) \quad (8)$$

### 3. 3 ハザード関数の推計方法

モデルの推計には

- 点検期間間隔  $\bar{Z}^k$
- 時刻  $\tau_A^k$  (前期観測時刻)での損傷度
- 時刻  $\tau_B^k$  (後期観測時刻)での損傷度
- 特性ベクトル  $\mathbf{x}^k = (x_1^k, \dots, x_M^k)$

が必要である。

ここで特性ベクトルとは、橋梁の劣化速度に影響を及ぼす、橋梁の構造特性や使用環境を表す。例えば、交通量などである。

なお、添字  $\mathbf{k}$  は同種部材に関する  $\mathbf{K}$  個の定期点検データが得られた時の  $\mathbf{k}$  番目のサンプルを表す。

この観測データの下、ハザード関数を

$$\theta_i^k = \mathbf{x}^k \boldsymbol{\beta}_i' \quad (9)$$

とにおいて、未知パラメータ  $\boldsymbol{\beta}_i = (\beta_{i,1}, \dots, \beta_{i,M})$  を最尤推定法により推計する。ただし、記

号  $\prime$  はベクトルの転置操作を表す.

### 3. 4 本モデルの特徴

本モデルは、以下の有用な特長を持っている.

#### ➤ 時間的整合性

点検間隔  $Z$  を明示的に示すためにマルコフ推移確率行列を  $\mathbf{II}(Z)$  と表す. 指数ハザードモデルを用いて導出したマルコフ推移確率行列は以下の条件式 (時間的整合性条件) を満足することが理論的に保証される.

$$\mathbf{II}(nZ) = \{\mathbf{II}(Z)\}^n \quad (10)$$

すなわち、推移確率に含まれる点検期間間隔  $Z$  の値を変化させることにより、任意の時間間隔  $Z$  に対してマルコフ推移確率行列を求めることが可能となる.

#### ➤ 個々の橋梁部材の特性を考慮

特性ベクトル  $\bar{x}^k = (x_1^k, \dots, x_M^k)$  を設定することにより、個々の橋梁部材の構造特性や利用環境といったミクロなデータを反映させている.

### 3. 5 推計結果

橋梁点検データ「E031 橋梁部材損傷」を用い、コンクリート床版に関してマルコフ推移確率の推移確率行列を推計した. データセットは 2 セットを作成した. 各データセットの作成方法は以下の通りである.

#### ➤ データセット 1

- ① 損傷種類ごとに点検履歴を分ける
- ② その損傷種類ごとに 2 時点間の健全度推移の組を作成
- ③ それらをまとめて 1 つのデータセットとする

ただし、健全度が回復しているものはデータセットから削除した.

また、構造特性・使用環境として初め、架設竣工年・塩害地域距離、舗装上層厚、舗装面積、床版厚さ、床版面積を考えていたが、それらのデータがないものに関しては、一部は補完し、一部はデータセットから削除した. 以上の操作により、340 個のデータサンプルが得られた.

➤ データセット2

データ数を増やすために、架設竣工の時に健全度 OK とし、点検履歴に追加した。ただし、その間の補修履歴は考慮されていない。以上の操作により、2858 個のデータサンプルが得られた。

以上の2組のデータセットに基づき、推計を行った。

当初、特性変数として、架設竣工年・塩害地域距離、舗装上層厚、舗装面積、床版厚さ、床版面積を考えていたが、推計の結果、説明力のある変数として最終的にデータセット1においては架設竣工年と床版面積を、データセット2においては床版面積を残した。データセット1に関しては、健全度IV～IIの間での推移履歴しか残っておらず、健全度OKからの推移確率また健全度Iへの推移確率を求めることは出来なかった、また同様に、データセット2に関しても健全度Iへの推移履歴は存在しなかった。説明変数には山田高架橋(下り)第5径間の値を用いている。

・データセット1

表3-1 推計結果

健全度	定数項 $\beta_{i,1}$	架設竣工年 $\beta_{i,2}$	床版面積 $\beta_{i,3}$
IV	-4.128 (-6.407)	10.170 (6.122)	4.829 (6.525)
III	0.107 (5.173)	-	-

表3-2 推移確率行列

健全度	IV	III	II
IV	0.90254	0.09641	0.00105
III	0	0.97885	0.02115
II	0	0	1

・データセット2

表3-3 推計結果

健全度	定数項 $\beta_{i,1}$	床版面積 $\beta_{i,2}$
OK	1.913 (7.172)	-
IV	0.117 (10.820)	0.382 (8.635)
III	-	0.178 (12.933)

表3-4 推移確率行列

健全度	OK	IV	III	II
OK	0.68209	0.31049	0.00740	0.00003
IV	0	0.95637	0.04341	0.00022
III	0	0	0.99019	0.00981
II	0	0	0	1

推計するに当って、問題点がいくつか残されている。例えばデータセット1のデータが少なすぎる。データセット2では架設竣工年を履歴に追加したが、竣工してから補修を行っている可能性を否定は出来ない。また、床版の劣化に大きく影響してくるであろう交通量などのデータも不足している。交通センサスなどのデータを下に補っていく必要があると思われる。

#### 4. 推移確率の算定（技術的アプローチ）

3. で示したように道路管理者が所有している現状のデータベースは、精度の高い推計を行うには内容が乏しく、推移確率の理想的な推定手法を採用することは困難である。そこで、以下に技術的アプローチにより将来の劣化を予測し、過去の点検履歴が少なくても対応可能な推移確率のデフォルト値を算定することを目指す。

橋梁構造物は、その形式や建設された年代、適用示方書、立地条件（環境条件）、使用条件（交通量、凍結防止剤など）が多岐にわたるため、各橋梁の経年劣化を一つの推移確率で、表現することは適切ではない。そこで、橋梁を諸条件により分類し（グルーピング化）、各グループの推移確率を算定することにより、より高精度の劣化予測が可能になると考えられる。表4-1に橋梁の分類手法のイメージを示す。橋梁の諸条件による分類は、深く検討すればするほど、細くなる恐れがある。劣化に多大な影響を与える条件の選定が重要となると考えられる。

表4-1：橋梁分類手法のイメージ

条件	分類	備考
橋梁形式	1 鋼橋	
	2 RC橋	
	3 PC橋	
建設年次 (適用示方書)	1 昭和31年より前	自動車荷重：13tf以下
	2 昭和48年より前	自動車荷重：20tf
	3 平成6年より前	自動車荷重：20tf（交通量による割増）
	4 平成6年以降	自動車荷重：25tf
立地条件 (塩害)	1 海岸線から50m. 以内	塩害の影響が激しい
	2 海岸線から200m. 以内	塩害の影響を受ける
	3 凍結防止剤散布地域	塩害の影響が懸念される
	4 その他	塩害の影響を受けない
・	・	
・	・	
・	・	

対象とする2号バイパス（加古川BP、姫路BP、太子竜野BP）の橋梁について、示方書、橋梁形式に基づいて分類した結果を表4-2に示す。

表4-2：集計結果（2号バイパス）

路線名称	適用示方書	PC橋	RC橋	鋼（鉄） リベット橋	鋼溶接橋	橋梁形式 不明	合計
2号加古川バイパス	不明	1	2			15	46
	昭和39年	12	2		14		
2号姫路バイパス	昭和39年	50		9	6		140
	昭和47年 道路橋示方書	38	2		11		
	昭和53年 道路橋示方書	10		2			
	昭和55年 道路橋示方書	1	2		4		
2号姫路バイパス側道	不明					5	140
2号太子竜野バイパス	昭和53年 道路橋示方書	8	8		2		29
	昭和55年 道路橋示方書		7	2	2		
合計		120	23	13	39	20	215

## 5. 橋梁会計（案）

### 5. 1 管理会計情報

地方自治体の会計方式は地方自治法の定めにより現金主義を採用しており、会計処理において現金の収入と支出というフローの情報が管理される。しかし、近年では発生主義に基づいて会計情報を作成する地方自治体が増加している。発生主義の会計ではフローの情報だけでなくストックに関する情報も管理され、過去に獲得した資産の現時点における状態を評価できる。通常、会計情報は外部報告を目的とする財務会計情報と内部報告を目的とする管理会計情報に大別される。財務会計情報は「公的サービスが効率的な形で行われているか」、「公的サービスは将来的にわたって安定的に提供されるのか」といった点に関する情報を公的サービスの受益者に対し提供すること（すなわち、アカウントビリティの確保）を目的とする。一方、管理会計情報は公的主体内部での意思決定や業績に関する情報を公的主体内部で共有化し、関連する部局における意思決定を合理化することを目的としている。両者とも情報源は同一であるが、その利用目的によって提供される情報の形態が異なる。

本研究会では、橋梁のアセットマネジメントを支援する管理会計システム（BMAS(仮)）を提案する。本来、BMASは地方自治体の管理会計システムを構成するサブシステムとして位置づけられるべきものである。さらに、地方自治体が橋梁を含めたインフラ資産全体を効率的にマネジメントするための管理会計システムが必要である。BMASは橋梁の効率的なアセットマネジメントに資することを目的とするものではあるが、単に各会計年度における予算の効率的配分のための情報を提供するのではなく、過去の橋梁新規整備の結果として実現した当該会計年度の橋梁の資産価額を評価し、将来、橋梁の修繕計画を合理的に作成するための管理会計情報が必要となる。したがって、BMASでは橋梁資産の時価評価を通じて橋梁の修繕需要を的確に把握することを目的とした発生主義による会計処理が必要となる。

### 5. 2 橋梁の資産価額評価

橋梁は、1) 社会経済活動の基盤施設を構成する公共財である、2) 長期間にわたる使用によりサービス水準が劣化する。サービス水準が低下すれば、修繕投資によりサービス水準を所定のレベルまで回復することが義務づけられた資産である、3) 計画から維持管理まで一貫した適切な管理が必要とされる、という特性を持つ。本研究会で提案するBMASは、橋梁管理者が橋梁施設のサービス水準を一定水準以上に保つための予算管理を目的とするものであり、ライフサイクルに対応した費用の発生を的確に認識・評価をすることが課題となる。橋梁のライフサイクルに応じて多様な費用が発生するが、本報告ではすでに供用された橋梁施設の運営者の立場から、橋梁施設のもたらすサービス機能を所与の水準に保つために必要となる修繕費に着目する。ただし、災害等による

滅失や機能向上のための道路舗装の改良に関しては考察の対象外とする。

表5-1に示すように、資産評価の方法は、1) 資産の取得に要する支出額を基礎として決定するのか、あるいは、保有資産の売却によって得られる収入額を基礎として決定するのか、2) 過去の価額を基礎とするのか、現在の価額を基礎とするのか、あるいは、将来の(予想される)価額を基礎として決定するのかに応じてつぎの4つの概念に分類できる。

表5-1 資産評価の考え方

	過去の価額	現在の価額	将来の価額
支出額	取得原価	再調達価額	—
収入額	—	賞味実現可能価額	割引現在価値

橋梁の修繕予算の管理を目的とする BMAS は、橋梁管理主体の修繕投資能力を適切に評価することを目的としており、橋梁を再調達価額を用いて時価評価することが必要となる。

➤ 再調達価額(取替原価)

保有している資産を測定日(例えば貸借対照表日)で再取得した場合に支払われる現金または現金同等物をいう。実際取引した金額ではなく、測定日に購入市場で成立している価格を指す。物価変動時には資産価額(時価)を適切に反映する。しかし、橋梁を直接取引する市場が存在しないため、市場価格を資産価額として用いることが非常に困難であり、資産評価の客観性、検証可能性を確保する努力が必要である。

### 5.3 減価償却に関する問題

固定資産の評価額を、それが利用される各期間にわたって規則的に費用(あるいは行政コスト)として配分するとともに、その額だけ資産の繰越価額を減じていく会計上の手続を「減価償却」という。減価償却を行うにあたっては、1) 固定資産の当初取得時の評価額、2) 耐用年数、3) 残存価額の3つの要素が必要となる。このうち、1)については、企業会計上では取得価額を基礎とするが、BMASでは再調達価額を用いるべきであろう。耐用年数は、当該固定資産の使用可能期間である。

インフラ資産が減価償却資産に該当するか否かに関して会計学上の論争が続いており決着がついていない。橋梁に関しても同様の議論が成立する。橋梁が減価償却資産に該当しないという立場に立てば以下の議論が成立する。橋梁を適切に維持・修繕すれば、橋梁は常に良好で安全な状態に維持され無限の耐用年数を持ちうる。したがって、価値の減少は発生しない。橋梁のサービス水準を保つために必要な維持補修支出額が支出される。実際に支出した維持補修支出額が所与の橋梁施設のサービス水準を維持するために必要な繰入額よりも少ない場合は、繰延引当金が計上される。一方、減価償却が必要であるという議論も存在する。橋梁は適切な維持・補修によって使用可能年数が延びるにしても、修繕をしない限り反復的な使用や時間経過とともに減価しており、当初の資

産価額についての減価償却が必要となる。また、資産の維持・サービス提供能力の確保・運用成果を評価するためにはコスト情報が必要であり、そのために費用として減価償却すべきであると主張する。このように橋梁の資産評価において減価償却を考慮すべきかどうかに関して見解が対立している。

減価償却の取り扱いの方法に応じて、異なる管理会計システムを設計することができる。表 5-2 に示すように、橋梁を減価償却資産と考えれば減価償却会計、非減価償却性資産と考えれば更新会計、あるいは繰延維持補修会計が適用できる。いずれの方法が望ましいかは、管理会計システムの目的に依存する。しかし、BMAS の目的は橋梁管理者が橋梁の現状のサービス水準を適切に判断し、修繕予算獲得のための基礎情報を獲得することにある。したがって、減価償却を実施する場合でも、橋梁施設のサービス水準の減少を的確に反映したものでなければならない。

表 5-2 会計方式

	減価償却	会計方式
a	不適用	更新会計
b	不適用	繰延維持補修会計
c	適用	減価償却会計

#### 5. 4 減価償却と会計方式

橋梁のアセットマネジメントを実施するためには、橋梁のサービス水準を工学的に検査し、あわせて各会計年度において「現実に支出された維持補修支出額」と「工学的に設定したサービス水準を維持するために必要となる修繕費」に基づいて、橋梁のサービス水準が適切に維持されているかどうかを貸借対照表上に明記できるような管理会計システムを構築することが求められる。橋梁の資産評価にあたっては、減価償却に対する考え方の違いにより、1) 更新会計、2) 繰延維持補修会計、3) 減価償却会計という3つの異なった会計方式を定義できる。繰延維持補修会計の様式を図 5-1 に示している。この図は、フローとストックのバランスを表現するために、会計諸表における貸借対照表と損益計算書を統合した残高試算表を示している。残高試算表は会計年度の期末で決算のために作成される。なお、同図では橋梁管理会計と関連する部分のみ記述しており、それ以外の会計情報を省略している。

➤ 繰延維持補修会計

<b>資産の部</b> 固定資産 $S_2$ 繰延維持補修引当金 $\Delta D_2$	<b>負債の部</b> 繰延不足維持補修引当金 $B_2$
	<b>資本の部</b>
<b>費用の部</b> 繰延維持補修引当金繰入額 $A_2$ 不足維持補修引当金繰入額 $f_2$	<b>収益の部</b>

図 5-1：繰延維持補修会計の残高試算表

繰延維持補修会計では資産利用に関わる費用が、当該資産システムを維持するのに費やされるべき見積額によって決定される。繰延維持補修会計では、長期的な資産管理計画に基いて維持補修費総額を算出するとともに、その費用総額を各年度に割り振る。管理対象の橋梁全体にわたって、工学的検討により適切な修繕時期と修繕費を算出することにより、各年度における維持補修引当金繰入額  $A_2$  を費用の部に繰入れる。一方、当該期の実際の維持補修支出額  $C_2$  が確定したとしよう。仮に、 $A_2 - C_2 > 0$  であれば、その残高を負債として認識し、繰延維持補修引当金  $D_2$  に繰入れる（あるいは、負の繰延維持補修引当金  $\Delta D_2$  として資産の部に繰り入れる）。すなわち、前期の期末の繰延維持補修引当金を  $\bar{D}_2$  とすれば、今期の期末の繰延維持補修引当金は  $D_2 = \bar{D}_2 - C_2 + A_2$  と計上される。逆に、今期支出された維持補修支出額費が維持補修引当金繰入額を超過している ( $C_2 - A_2 > 0$  が成立する) 場合、前期の負債の部の繰延維持補修引当金  $\bar{D}_2$  を  $C_2 - A_2$  だけ取り崩す。なお、ある橋梁部材の修繕を繰延べたことにより、当該部材の損傷度が低下し、再調達価額を算定する際に想定した最適工法より、大規模修繕が必要になった場合を考えよう。この時、大規模修繕のために必要となる修繕費と最適工法による修繕費の差額を追加維持補修費として定義する。さらに、当該年度に発生した追加維持補修費相当額を不足維持補修引当金繰入額  $E_2$  として費用の部に繰り入れる。その上で、当該年度に、大規模修繕のために追加維持補修支出額  $f_2$  が支出されれば  $E_2 - f_2$  を繰延不足維持補修引当金  $B_2$  に繰り入れる。すなわち、前年度期末の繰延不足維持補修引当金を  $\bar{B}_2$  とすれば、今期末の繰延不足維持補修引当金は  $B_2 = \bar{B}_2 + E_2 - f_2$  となる。橋梁の資産価額  $S_2$  は取得原価、あるいは再調達価額で評価される。繰延維持補修会計では、橋梁部材の劣化による資産価額の減少分が繰延維持補修引当金、及び繰延不足維持補修引当金として管理会計上に現れ、各会計年度における橋梁の資産水準を評価することが可能となる。

工学的検討を踏まえた耐用年数を用いて減価償却費が計上され、会計年度における橋梁の修繕資産価額とストック管理水準が（たとえば脚注に）記載されるのであれば、更



新会計，繰延維持補修会計，減価償却会計のいずれを用いても必要な管理会計情報を獲得することが可能である。しかし，会計情報の分かり易さという視点に立てば，以上の情報が会計諸表の中に明示的に記載される繰延維持補修会計がもっとも望ましい。

## 5. 5 平均費用法

橋梁，マネジメントのための管理会計情報の目的は多様であるが，例えば次の2つがあげられる。

- 橋梁システム全体をマネジメントするために必要となる各会計年度の平均的な予算規模を求めるとともに，必要な補修費用が経年的に費消されているかどうかを検討できるようなモニタリング情報を提供すること
- 過去の時点において積み残された補修需要規模を求めるとともに，このような補修需要が計画通り解消されているかを検討できるモニタリング情報を提供すること

以上の2点に対して，平均費用法を用いれば橋梁を非償却性資産として位置づける繰延維持補修会計原則に従ったインフラ会計を作成することが可能である。

### ・ 平均費用法とは

ライフサイクル費用評価において，目標計画期間の任意性を克服する単純な方法は，ある補修戦略の下で発生する補修費用を単位期間（たとえば1年）当たりの平均費用に変換する方法である。すなわち，建設時点から更新時点までの期間を構造物の寿命期間と定義し，その期間中に発生する補修費用の総和を寿命期間長で割ることにより，単位期間当たりの平均費用を定義する。このような平均費用に基づいてライフサイクル費用を評価する方法を，平均費用法と呼ぶこととする。本研究会では橋梁の不確実な劣化過程をマルコフ連鎖モデルを用いて表現するとともに，将来にわたって生じるライフサイクル費用を毎年等価な平均費用の期待値の流列として評価する方法を提案する。

（モデルからの抜粋）

補修戦略  $d$  の下で，時点  $t=0$  から時点  $t=n$  までに，アセットマネジメントのために必要となる期待累積ライフサイクル費用  $u_i^d(n)$  は，十分大きな  $n$  に対して，近似的に

$$u_i^d(n) = nq^d + v_i^d$$

と分解できる。 $q^d$  は毎期の平均費用を， $v_i^d$  は時点  $t=0$  における橋梁の健全度に応じた相対費用を意味する。

## 6. データセットの作成

現在、最適修繕政策やシミュレーションを行う際に、既存のデータベースから必要なデータを呼び出している。効率的に計算を行うためには、それらを1つのデータセットにまとめることが望ましい。また、必要なデータにもかかわらず、現在、電子化されていないデータもある。足りないデータで入手可能なものについては、補う必要がある。

## 7. Ver.1 の作成

上述の機能を Ver.1 に取り込んでいく。

# 付録

## 昨年度報告書

# 1章 アセットマネジメント

## 1.1 アセットマネジメントの役割

社会資本は、国土の保全、産業活動の基盤、生活環境の質的向上など多側面にわたって社会・経済の発展に寄与する国民共有の資産（アセット）であり、我々はその有効活用と保全を図り、将来世代に継承していく義務がある。

我が国では明治以来、社会資本の整備が進展し、現在に至るまでそのストックは膨大な量に及んでいる。高度成長期に蓄積された社会資本の中には、構造的な劣化や経済的・機能的な陳腐化の進行により、早急に修繕・更新を必要とするものも少なくない。今後は、更なる修繕・更新需要の増大が予想される。旧経済企画庁の試算によると、新規改良実質投資額の年間伸び率を3%とすると、投資額に占める維持補修・更新比率は2010年で36%になる（2004年度以降の伸び率を横ばいであると仮定しても、31%になる）ことが報告されている。一方で、少子高齢化社会の到来による税収減少や社会保障費用の増大により、今後、社会資本整備の財源基盤が一層縮減することは明らかである。こうした状況下で、新規の社会資本整備のニーズに応えつつ、既存の社会資本を有効に活用するために、社会資本を効率的に維持・修繕、更新していくためのアセットマネジメント技術の高度化が求められている。

社会資本のアセットマネジメントでは、最小の投資で最大の効果をもたらす最も有効な構造物機能の維持・向上対策を立案・推進していく必要がある。そこでは、施設の安全性や健全性を維持しつつ、施設の維持管理に必要な中長期的な費用、すなわちライフサイクルコストを可能な限り低減するようなマネジメント戦略を立案することが課題となる。しかし、社会資本は維持・修繕を一時的に先送りしても、社会資本のサービス水準の低下が直ちには顕在化しないことから、ともすれば必要な維持・修繕予算を一律に削減されたり、修繕予算が将来に繰り越される可能性がある。修繕投資のために十分な予算が確保されなければ、社会資本のサービス水準を適切に維持することは不可能となる。社会資本の健全度や資産価値を体系的に把握・評価するためのインフラ資産会計や管理会計システム等の情報適用機能の整備を通じて、長期的維持管理計画の策定ならびに安定的な財源確保を目指すことが不可欠である。

## 1.2 ライフサイクルコスト

アセットマネジメントにおいては、社会資本の耐用年数や劣化の過程とそれら不確実性を考慮に入れながら、社会資本から発生するライフサイクルコストを最小とするようなマネジメント戦略を立案することが課題となる。社会資本のライフサイクルコストとは、計画、設計、施工、運営、維持・管理、廃棄あるいは再利用といったライフサイクルの各段階において発生する費用の総現在価値のことである。

これまでの社会資本に関する経済評価では、社会資本の整備によってもたらされる便益の計量化に主眼が置かれ、費用に関してはそれほど詳細に検討されてこなかった。近年、財源の逼迫や新規社会資本の限界便益の縮小が顕在化し、これまでの新規の社会資本整備から既存の社会資本の有効活用へとマネジメントの重点をシフトせざるを得ない状況になっている。また、老朽化が進む社会資本の保全に要する修繕・更新費用は今後大幅に増大することが予測されている。こうした状況下で、既存の社会資本に対する効率的な維持・管理、更新戦略の実施によるライフサイクルコストの軽減が期待されている。また、新規に整備を実施するとしても、将来発生する維持管理費用を軽減するような施策を実施しておかなければ、将来新たに必要となる社会資本整備や既存施設の維持管理のための財源を圧迫する恐れがある。こうした理由により、より積極的にライフサイクル費用の評価に取り組む必要がある。

いつ、いくら初期投資するのか、どのタイミングでどれぐらいの頻度で修繕を行うのか、サービス水準をどのレベルに設定するのか、耐用年数を何年に設定するのかなど、様々な意思決定の結果に応じて、ライフサイクルコストの値は決定される。適切なマネジメントを実施した場合、ライフサイクルコストの低減が達成される。アセットマネジメントにおいては、ライフサイクルコストは単なる費用そのものとしてではなく、マネジメント施策の経済評価のための統一的な管理指標としての機能を有する。

近年、ライフサイクルコストの削減を目標とするアセットマネジメントに関する研究が進展している。2章では、劣化過程の不確実性を考慮した上で、最適な維持修繕政策とライフサイクルコストを同時に決定することのできる維持修繕モデルを提案する。

### 1.3 アセットマネジメントシステム

アセットマネジメントシステムは主に管理会計システム、マネジメントシステム、点検修繕システム、データベースシステムの4つのシステムにより構築されるものである。図1-1はアセットマネジメントシステムを構成する4つのシステムの関係を表している。以下では各システムにおける役割とアウトプットに関して簡単に説明する。

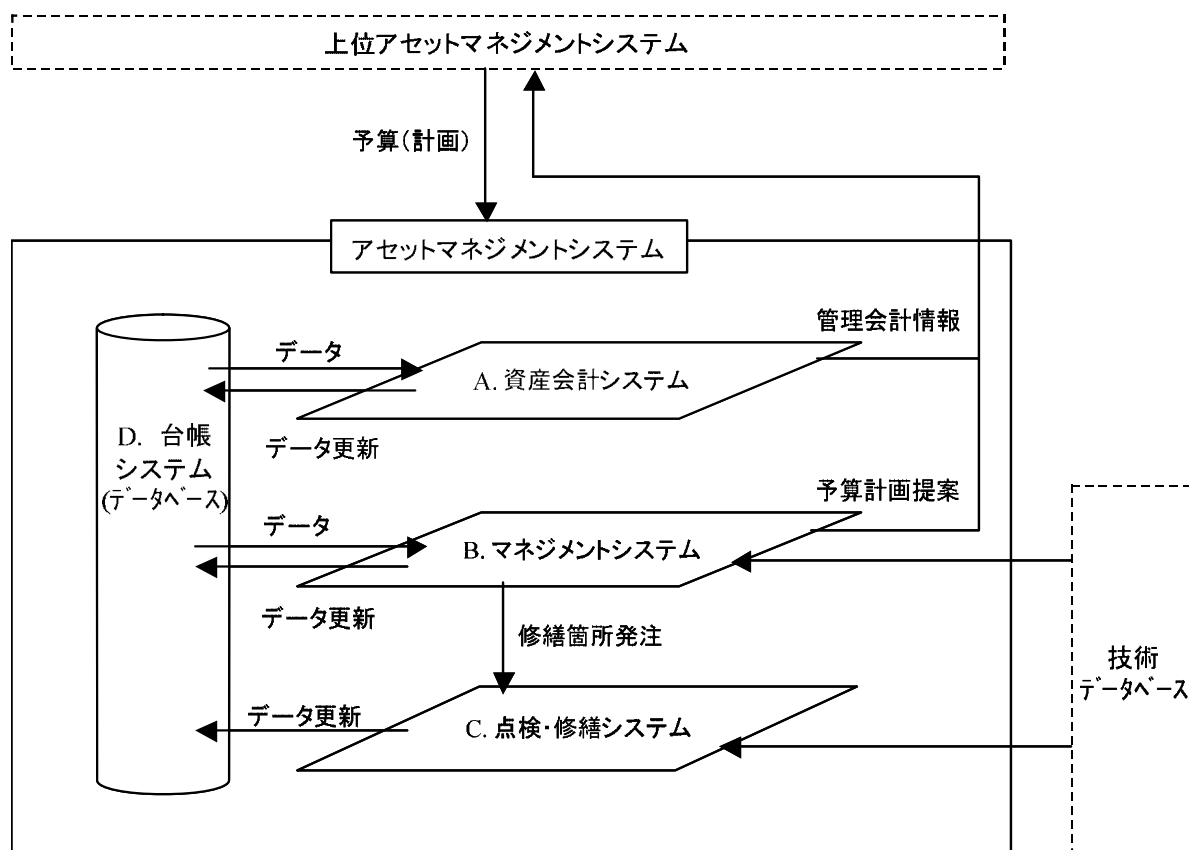


図1-1: アセットマネジメントシステム

#### ・資産会計システム

今後、財政基盤の縮小が予想される中で、新規投資の余力を残しながら既存の社会資本に対して効率的な修繕を実施するための予算管理が重要となってくる。企業会計においては、売上や利益など目標値の設定とその達成度合いを会計的に測定し、その業績評価・管理と企業行動をコントロールするための管理会計システムが発展してきた。社会資本のマネジメントにおいても、施設の機能を維持するために十分な修繕が継続的に実施されているかを評価し、適切なサービス水準を持続的に維持するための予算を自律的に調達するための管理会計システムを構築することが極めて重要である。

アセットマネジメントシステムにおける資産会計システムでは、台帳システムをもとに橋梁を金銭ベースで資産評価を行う。また、マネジメントシステムで求める長期的維持修繕戦略をもとにした資産・負債の将来推計を行う。資産会計システムにおけるアウトプットは管理会計情報として上位アセットマネジメントシステムに対して予算の請求等に利用可能である。

#### ・マネジメントシステム

マネジメントシステムでは、まず点検データベースに蓄積された履歴より劣化過程の予測を行い、その結果を用いてライフサイクルコストの最小化が実現するような最適維持修繕戦略を導出する。さらに現実的な問題である予算の制約を与え、各修繕箇所の優先順位を決定する。優先順位の決定方法としては費用便益比の高いものから行うルールや劣化水準の高いものから行うルールなどが考えられるが、目的に応じて使い分けることも可能である。優先順位を決定することにより、長期的に橋梁の劣化状態を安全かつ経済的な水準に保持することが可能な維持管理のための予算水準や、長期的な維持管理水準の推移を視覚的に理解することができる。それらの結果を用いることにより、上位アセットマネジメントに対して予算計画の提案を行うことも可能である。また、予想と異なる劣化過程をたどったとしても、再計算を行うことにより迅速な対応が可能である。なお、舗装管理システム(PMS)や橋梁管理システム(BMS)は、マネジメントシステムに相当する。

#### ・点検・修繕システム

点検・修繕システムは点検の結果を台帳データベースに更新するためのシステムである。詳細な点検データを蓄積することにより精度の高い劣化予測システムの構築に役立てることができる。また、マネジメントシステムにもとづいて行われた修繕に関する実施データも蓄積する。これにより修繕工法の回復性能に関する情報を蓄積することができ、修繕工法の選択のための情報を与え、また将来的により精度の高い修繕計画を作成することを可能とする。逆に、精度の高いシステム作りのために求められる入力データを洗い出し、既存の点検・修繕マニュアル改善への提案を行う材料となる。

#### ・台帳システム

台帳システムは、各橋梁の諸元データをはじめ、資産会計システム、マネジメントシステム、点検・修繕システムにより作成された新しい情報を蓄積し、保存するシステ

ムである。また、ユーザーとのインターフェースもこのシステムで行う。アセットマネジメントシステムにおいて、点検データ等の情報の蓄積は非常に重要であり、台帳システムはアセットマネジメントシステムの核となるものであると考えられる。



## 2章 Bridge Management System (BMS)

### 2.1 BMS の役割と構成

我が国では、橋梁施設の高齢化が深刻な問題となっている。その進展は加速度的で、建設後 50 年以上経過した橋梁数が 2011 年には 2001 年時点の約 4 倍、2021 年には約 17 倍に達するという試算も報告されており、今後は維持・更新需要の大幅な増大が予想される。橋梁を安全かつ経済的に維持管理していくための橋梁管理システム(以下、BMS と呼ぶ)の構築が急務である。BMS とは、橋梁に関わる全ての行為である計画、設計、施工、点検、劣化診断、補修、補強、架替を経済性や品質、安全性、機能性などの観点から適切に実行するための支援システムである。本報告では、特に、ライフサイクル費用を最小とするような最適維持管理計画を橋梁管理者が立案し、実施していくための意思決定支援システムの構築を目標とする。

BMS の構築にあたり、プロジェクトレベルとネットワークレベルという 2 つのマネジメントレベルを考える。プロジェクトレベルでは、個別橋梁を対象に、橋梁を構成する個々の部位や部材に関して最適な修繕戦略の決定することを目的とする。一方、ネットワークレベルでは、管理対象の橋梁全体をネットワークとしてとらえ、限られた予算の中で要求される性能に対して最大の効果を得るための最適維持管理計画を作成することを目的とする。

本研究会では、個別橋梁の部材を対象としたプロジェクトレベルでの修繕管理戦略、並びに予算制約下での複数橋梁施設を対象としたネットワークレベルでの修繕管理戦略を策定するための BMS の構築を念頭に置く。提案する BMS では、まず、プロジェクトレベルにおいて個別橋梁の部材をマネジメント単位とし、各部材毎のライフサイクル費用を最小化する最適修繕戦略を導出することにより、各橋梁単位の修繕投資の意思決定に関する支援情報を提供する。さらに、複数橋梁施設を対象にした予算制約下での維持修繕において、トータルのライフサイクル費用を低減化する修繕ルールを提案することにより、ネットワークレベルにおける維持管理計画の策定に関する支援情報を提供する。

提案する BMS におけるマネジメントプロセスを図 2-1 に示す。BMS は、管理対象橋梁の諸元データや調査・点検結果を記録するデータベースシステム(台帳システム)とライフサイクル費用の観点から合理的な修繕戦略を立案する維持修繕管理システムという 2 つのサブシステムによって構成される。

データベースシステムは、橋梁台帳、及び点検調査報告書をデータベース化したも

のである。データベースシステムには、各橋梁施設に関する諸元データ、構造形式、修繕実績、点検時に観測された部材エレメントにおける劣化状態が記録されている。さらに、実地点検による新しい観測値、及び修繕工事の実績情報が得られるたびに、記録されている管理情報は更新される。昨今、国や自治体といった橋梁管理主体によって橋梁の管理情報のデータベースを作成しようという試みが見られるが、その多くがデータを整理し、保管することを主な目的としており、BMSのサブシステムとして維持修繕投資に関する意思決定を積極的に支援することを念頭に置いて設計されたものは少ない。

維持修繕管理システムは、ライフサイクル費用の観点からプロジェクトレベル、及びネットワークレベルでの修繕戦略を立案するサブシステムである。更に細かく分類すれば、維持修繕管理システムは、劣化過程モデル、ライフサイクルコスト最小化モデル、及び修繕箇所選定モデルの3つのモデルによって構成される。

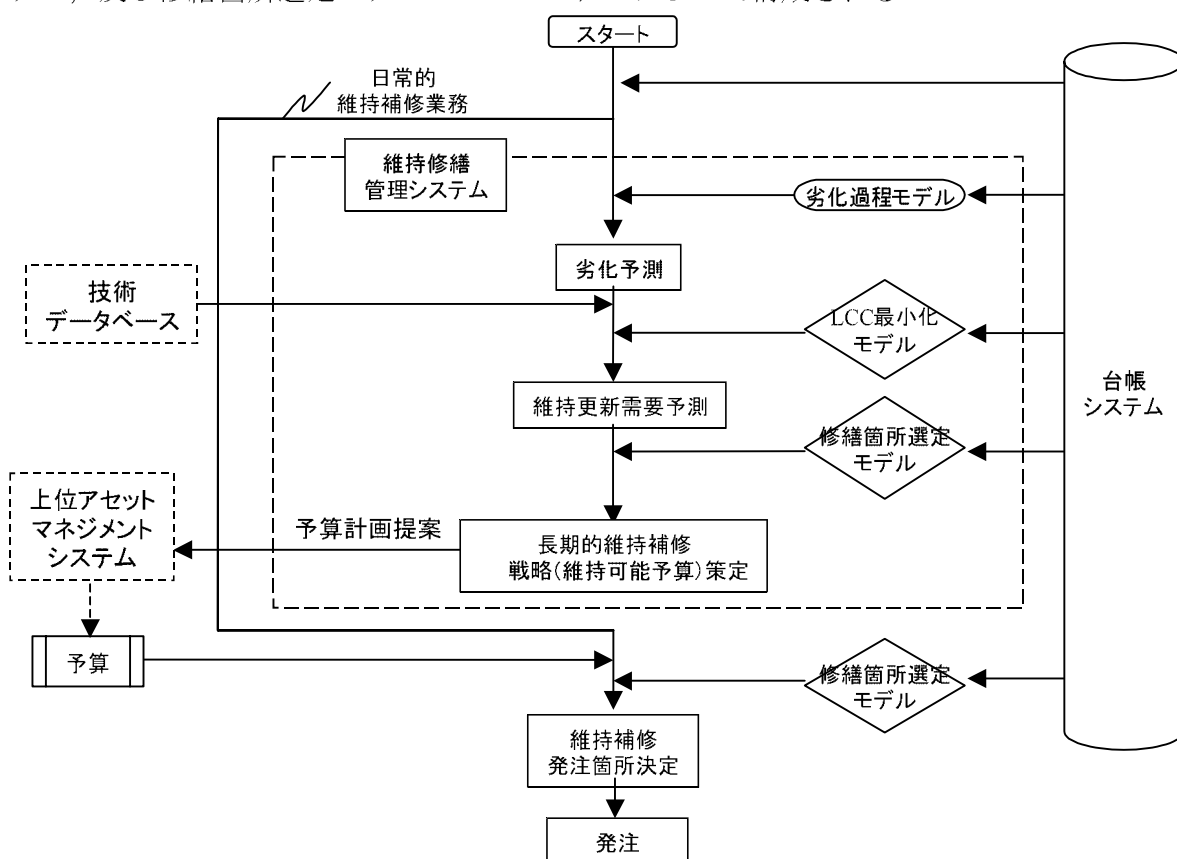


図 2-1 : マネジメントプロセス

劣化過程モデルは、ライフサイクルコスト算出に必要な橋梁構造物の劣化過程を推定する役割を担う。より精緻な分析を行うためには、より正確な劣化予測が不可欠であり、調査・点検を通じて蓄積されるデータをもとに劣化過程を逐次更新していくこ

とが望ましい。

ライフサイクルコスト最小化モデルでは、道路管理者が修繕予算を自由に調達できるという前提の下で、橋梁の各構成部材に対してライフサイクル費用を最小化する、プロジェクトレベルにおける修繕戦略を導出する。一方、修繕箇所選定モデルでは、修繕予算の制約下で複数の道路橋施設における修繕投資において、ライフサイクル費用を低減化する修繕ルールに基づいた修繕戦略を導出し、当該年度に修繕が必要となる部材をリストアップした上で、予算制約の範囲の中で修繕実施可能な箇所を選定する。さらに、導出される修繕戦略の下で、長期に亘る修繕予算水準と橋梁施設の劣化状態の関係を分析することにより、橋梁構造物が長期的に健全な状態を維持可能であるかを検討し、ネットワークレベルの維持修繕管理計画を策定する。

以下、2.2では、管理対象となる橋梁構造物に対して、BMSを適用することを念頭に置き、最適修繕管理の観点から必要となる管理情報、及び支援情報について述べる。2.3では、BMSのサブシステムに相当する維持修繕管理システムにおいて、ライフサイクルコスト最小化モデルを定式化し、個別橋梁における部材レベルでのライフサイクル費用を最小化する最適修繕戦略を決定する方法論について述べる。さらに、修繕箇所選定モデルを定式化し、予算制約の下でネットワーク全体のライフサイクル費用を低減化する修繕ルールを提案する。2.4では、以上の検討を基に作成したBMSプロトタイプシステム(以下、Ver.0と呼ぶ)の構造を説明する。さらに、アプリケーションソフト化したVer.0の有する基本機能を紹介する。

## 2.2 橋梁構造物

### 2.2.1 構成部材

アセットマネジメントでは橋梁を複数のサブシステムで構成される複合システムと捉える。表 2-1 に現在、点検対象になっている部材の名称と記号一覧を示す。一つの道路橋構造物は、ラーメン橋の様に上部工と下部工が剛結した構造を有する構造物もあるが、複数の部材から構成される上部工と下部工に大きく分けることができる。上部工と下部工は、構造形式や構成する各部材の使用材料によって分類される。上部工は主に床版、主桁、縦桁、横桁、対傾構、舗装から構成され、下部工は主に橋台、橋脚、基礎から構成される。道路橋を構成する部材の主な使用材料として、鋼材、及びコンクリート材（鉄筋コンクリート（RC）、及びプレストレスコンクリート（PC）を含む）がある。道路橋が単一の使用材料の部材により構成される鋼橋、及びコンクリート橋があり、また一方で、部材断面が異種材料の組み合わせによって構成され、一体として挙動する合成構造を有する道路橋もある。上部工、及び下部工を構成する部材以外に道路橋構造物を構成する部材として、支承、落橋防止装置、伸縮装置、排水装置、高欄、遮音壁等の付属物がある。

表2-1：点検対象部材の名称と記号

名称	記号	名称	記号
鋼主桁	Ms	縁石	Cu
コンクリート主桁	Mc	舗装	Pn
鋼横桁	Cs	鋼製伸縮装置	Js
コンクリート横桁	Cc	ゴム製伸縮装置	Jr
鋼縦桁	Ss	排水施設	Dr
コンクリート縦桁	Sc	鋼製落橋防止装置	Ts
対傾構	Sw	コンクリート製落橋防止装置	Tc
横構	Lb	点検施設	Al
鋼床版	Ds	遮音施設	So
コンクリート床版	Dc	照明施設	Il
鋼橋脚	Ps	標識	In
コンクリート橋脚	Pc	袖擁壁	Ww
橋台	Ac	添加物	Ut
基礎	Fo	照明用配管	le
鋼支承	Bs	橋門構	Pb
ゴム支承	Br	上下主構	Xx
鋼製高欄	Es	斜材	Xy
コンクリート高欄	Ec	垂直材	Yy
鋼製防護柵	Rs	上下横構	Xz
コンクリート製防護柵	Rc	垂直材の対傾構	Yz
鋼地覆	Fs	上アーチリブつなぎ材	Za
コンクリート地覆	Fc	垂直材のつなぎ材	Zb
鋼中央分離帯	Ns	下アーチリブつなぎ材	Zc
コンクリート中央分離帯	Nc	上横桁	Zz

この様に、道路橋は上部構造と下部構造の構造形式、構成部材の組み合わせ、及び構成する各部材の使用材料の組み合わせにより一つの構造物として成立している。BMSを適用して、単一道路橋における構成部材に対して最適修繕戦略の決定、及び複数道路橋における構成部材に対して予算制約下での修繕投資における優先順位の決定を行う。以下にコンクリート部材と鋼部材の劣化について述べる。

#### ➤ コンクリート部材

道路橋を構成する部材に発生する変状は、使用材料によって様々である。コンクリート構造物は、日常点検、及び定期点検レベルにおいては外観上の変状に関する情報しか得ることができない。コンクリート部材に発生する変状は劣化現象に起因する変状以外に、施工不良等の初期欠陥、及び地震や衝突等の過大な外力の作用に伴う損傷によって発生する変状がある。そのため、道路橋管理者がコンクリート部材に発生した劣化変状に対する劣化機構を推定する際には、劣化変状が初期欠陥、及び損傷に起因する変状以外であることを特定した上で、環境条件や使用条件である外的要因、及び劣化変状の特徴から劣化機構を推定しなければならない。『コンクリート標準示方書【維持管理編】』によると、主な劣化機構は、中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応、疲労である。ひび割れ、及び剥離・鉄筋露出等の劣化変状は、起因する劣化機構によって劣化過程が異なる。中性化、及び塩害においては、コンクリート内部の鉄筋の腐食が進行することによりひび割れ、及び剥離・鉄筋露出の劣化変状が生じる鉄筋腐食先行型である。アルカリ骨材反応においては、コンクリート内部での化学反応によって生成されるシリカゲルの吸水膨張によりコンクリートが異常膨張し、内部からひび割れが生じる。凍害及び化学的侵食においては、繰り返し作用により外部からひび割れが生じる劣化ひび割れである。中性化、塩害及びアルカリ骨材反応の劣化機構に起因して内部から生じるひび割れは、ひび割れが生じた時点で既に劣化が相当進行している状態である。一方、凍害及び化学的侵食の劣化機構に起因して外部から生じるひび割れは、ひび割れが発生した時点で修繕を行えば対処可能である。

今、コンクリート部材に対して最適な維持修繕を考えた場合、中性化、塩害及びアルカリ骨材反応の劣化機構に起因する劣化変状に対して予防修繕を行うためには、詳細点検に基づいた調査結果が必要である。これに対して、疲労、凍害及び化学的侵食の劣化機構に起因する劣化変状は、通常点検及び定期点検での近接目視等による調査結果に基づいた予防修繕が可能であると考えられる。このように中性化、塩害及びアルカリ骨材反応による損傷に対応するためには、詳細な点検を行う必要がある。詳細な点検を行い各劣化機構における劣化指標項目の測定から得られる情報は、劣化機構

の明確化，劣化の進行状況，及び補修，補強等の対策の検討に役立つものである．最適な維持修繕のためには，今後，詳細調査に関してもデータを蓄積していく必要があると思われる．詳細調査に関するデータが乏しい中，当面は 3.2 で述べるように損傷形態の損傷度判定を下に劣化状態のランクを決定する方法をとる．

#### ➤ 鋼部材

鋼構造物は供用中に，当初確保されていた性能や機能の低下を引き起こす変状が構部材に生じる．鋼構造物における変状として主に次の 4 点が挙げられる．

- ・ 劣化・損耗：設計当初から予想されており，耐用期間中に性能が低下すること
- ・ 損傷：通常の条件で使用されているうちに，何らかの原因によって，通常考えられる劣化の程度を超えて性能が低下すること
- ・ 機能の低下：構造物の継手や部材，もしくは構造全体として，要求もしくは期待されている機能が，供用中に十分果たせなくなること
- ・ 事故・災害による突発的な被害：自然環境や人為的破壊工作等によって，突発的に性能や機能が低下すること

これらの変状のうち，劣化・損耗，損傷，及び機能の低下は経年的に生じるものである．ただし，機能の低下は，劣化・損耗，及び損傷に伴う変状の発生，或いは設計基準の変更により生じる変状として評価されるため，ここでは劣化・損耗，及び損傷により生じる変状について議論を進める．鋼構造物の健全度評価は，経年的に発生する変状に対して，損傷度，耐力・耐久性，及び使用性の観点から構造物の性能が維持されているかを評価する．損傷度，及び耐力・耐久性は構造物自身の性能を評価するのに対して，使用性は載荷する荷重に対して要求する性能を評価するものである．また，損傷度は主に部材部分の局部に対する劣化の評価指標となるものであるが，耐力・耐久性は構造物の強度面からの安全性を評価するものである．先述した様に，変状として劣化・損耗，及び損傷に焦点を置いているため，鋼構造物の健全度評価において，変状に対応する評価指標である損傷度を適用する．以下では，損傷度評価による鋼構造物の健全度評価に基づいて，鋼材に生じる変状の状態定義について述べる．

鋼構造物の供用後に部材に生じる変状は，疲労亀裂，遅れ破壊，及び腐食による断面欠損が挙げられる．このうち遅れ破壊については，高力ボルトによる遅れ破壊が一般的で，構造物の健全度に致命的な影響を及ぼすものではない．一方，疲労，及び腐食によって生じる変状は，進行性を備えているため構造物の健全度に影響を及ぼすものであると考えられる．従って，本システムでは鋼材における修繕投資対象を，腐食，及び疲労により生じる変状とする．腐食による変状は進行性を持つが，疲労による変

状ほどの急進性がないために、適切な塗装管理が前提とされていれば、維持管理において構造物の健全度に致命的な影響を及ぼさないとされている。そのため、ここでは腐食により生じる変状を塗装劣化、及び鋼材腐食のみとし、損傷度判定基準に基づいて 3.2 の様に定義する。一方、疲労により鋼材に生じる変状は、内在的で表面に兆候が現れにくく、一旦発生すると急進性を持つために通常の見視検査だけでは十分対応できない場合がある。そのため、疲労亀裂の発生を予測したり、累積疲労の度合いを定量的に把握するために、疲労の進行性、及び冗長性の観点から損傷度評価が用いられる。3.2 では、疲労亀裂から鋼材が破断に至るとして、損傷度判定基準を用いて疲労による劣化変状の状態を定義する。

## 2.2.2 点検と損傷度

『橋梁点検・補修の手引き（近畿地方整備局版）』によると、点検の目的は

- 1) 道路機能の確保
  - ・車両交通の安全性の確保
- 2) 構造物としての耐久性・耐荷性の確保
- 3) 第三者被害の未然防止
  - ・橋梁からの落下物による第三者への被害防止

とある。また今後、以上の目的を限られた予算の中で達成するためにも、最適な維持管理に必要なデータの蓄積という役割も点検は担うことになる。現在、点検は通常点検、定期点検、追跡点検、臨時点検に分けられる。

通常点検とは、パトロール車による路上点検、遠望目視による路下点検に分けられ、路上点検は1回/1日、路下点検は1回/1年を基本とする。損傷の早期発見を図るために実施される。

定期点検は橋梁の健全度を確認するために定期的に行う点検を言う。定期点検は主として目視および簡易な点検機械・器具により行う。定期点検は、基本点検と重点点検に分けられる。基本点検は、徒歩を原則とした遠望目視、および近接目視を組み合わせて実施、重点点検は、点検車、工事用足場を用いた近接目視および携行できる点検機械・器具などにより橋梁の全部材を対象に行う。点検の頻度は、基本点検：1回/5年、重点点検：1回/10年である。定期点検により、各部材ごとに表 2-2 に示す損傷ごとの損傷度を『橋梁点検要領(案)』の損傷度判定基準に基づき決定する。損傷度に基づき、表 2-3 に示す対策がとられる。

追跡点検とは、補修は不要であるが、その進行性を確認する目的で継続して実施する点検を言う。また臨時点検とは、地震、台風、集中豪雨、豪雪、車両および船舶の

橋梁への衝突などの緊急事態が発生した地域や場所において、異常が発見された場合に、橋梁の耐荷性、耐久性を確認するために行う点検を言う。

定期点検により詳細調査が必要と判断された場合、補強の要否、補修の要否が判定される。したがって、現状の点検マニュアルに従えば、損傷度Ⅱに至った段階で補修が考慮される。しかし、必ずしも損傷度Ⅱ以下で行うことによりライフサイクルコストが最小化されているとは限らない。本報告では、ライフサイクルコスト最小化を達成するために最適な実施タイミングを求める。

表 2-2：損傷の種類

材料	損傷の種類		材料	損傷の種類	
	番号	内容		番号	内容
鋼	①	腐食	その他	⑮	遊間の異常
	②	亀裂		⑯	段差、コルゲーション
	③	ゆるみ		⑰	ポットホール
	④	脱落		⑱	舗装ひびわれ
	⑤	破断		⑲	わだち掘れ
	⑥	塗装劣化		⑳	その他
コンクリート	⑦	ひびわれ	共通	21	変色、劣化
	⑧	剝離、鉄筋露出		22	漏水、滞水
	⑨	遊離石灰		23	異常音
	⑩	豆板、空洞		24	異常振動
	⑪	すりへり、侵食		25	異常たわみ
	⑫	抜け落ち		26	変形
	⑬	鋼板接着の損傷		27	土砂詰まり
	⑭	床版ひびわれ		28	沈下
		29		移動	
		30		傾斜	
		31		洗掘	
		32		欠損	

表 2-3：損傷度判定標準

判定区分	一般的状況
OK	点検の結果から、損傷は認められない
Ⅳ	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある
Ⅲ	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
Ⅱ	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修を行うかどうかの検討を行う必要がある
Ⅰ	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある

### 2.2.3 維持修繕政策

維持修繕政策とは、各劣化状態においていかなるアクション(対策)を実施するかについて事前に決定した状態依存的なルールである。2.3 で詳しく説明するが、最適な修繕戦略を求めるためには、劣化状態のランク付け、各ランクに対応するアクション、またそのアクションを実行するためのコストを決定する必要がある。具体的には、表 2-4 のような維持修繕政策マトリクスを作成しなければならない。



表 2-4 : 維持修繕政策マトリクス

状態	No	アクション	単価
0	0	対策無し	***
1	0	対策無し	***
	1	対策 A	***
2	0	対策無し	***
	1	対策 B	***
	2	対策 C	***
⋮	⋮	⋮	⋮
N	0	対策 D	***

劣化状態のランクを決定するために、劣化予測の方法を考える。劣化予測の方法として大きく分けて二つの方法がある(参考: 橋梁定期点検データによる劣化予測に基づく計画的維持管理について; 近畿地方整備局)。①劣化メカニズムを特定し力学的特性の低下を予測する方法と、②点検における判定区分の低下を統計的に予測する方法である。個別の橋梁に対し詳細な調査を行えば①の方法で解析的に推定することも可能だが、点検結果による予測の修正が困難である。管内全橋を対象とした包括的な維持管理を考えた場合、これまで蓄積された点検データを活用した方法②による劣化予測手法のほうが優れている。したがって、本研究会では実際に橋梁点検に用いられている損傷度をもとに橋梁部材の劣化状態を定義する。損傷度により劣化状態を決定した後、建設コンサルタントの方々からのヒアリングにより、各状態に対するアクションである、対策工法と単価を決定する。

## 2.3 最適修繕戦略モデル

### 2.3.1 最適修繕戦略モデル化における前提条件

不確実性下における既存構造物の修繕問題を考える。構造物の管理者は、初期時点  $t=0$  から無限に続く離散時点  $t (t=1, 2, \dots)$  上で発生する構造物の修繕投資に関わるライフサイクル費用を最小にするように修繕政策を決定する。構造物は複数の部材によって構成される。今、各部材の劣化状態は  $N$  個の離散的な状態変数  $i (i=1, 2, \dots, N)$  で表され、 $i$  の値が大きくなるほど劣化が進行していることを意味するとする。各部材の劣化状態は不確実であり、将来生起する状態を確定的に予測できない。構造物の管理者は、離散時点  $t$  において、各部材の劣化状態を観察しながら、当該部材に対し、劣化を回復するために修繕を実施するか否かを決定するものとする。本報告では、構造物における各部材の劣化進行の間に相互関係は無く、修繕は部材毎に行われるものと仮定する。これらの仮定のもとでは、各部材のライフサイクル費用を最小とする修繕政策を個別に決定することにより、構造物全体の最適修繕政策を決定することができる。以下では、任意の部材に関する最適修繕政策を個別に決定する問題の定式化を行う。

### 2.3.2 劣化過程のモデル化

道路橋の各部材は、部材種、材質、環境、劣化機構、等の様々な要因により異なった劣化過程をたどる。本報告では、道路橋の各部材における劣化過程が、部材種、及び損傷形態に依存するものとしている。ある部材の劣化状態を離散的な  $N (\geq 2)$  個の状態に定義される状態空間で記述する。部材の劣化過程は状態空間  $S=[1, 2, \dots, N]$  上で定義される斉次マルコフ連鎖  $\{h_t\}$  に従うと仮定する。今、時点  $t$  で部材の状態が  $i$  である時、時点  $t+1$  に状態  $j$  に推移する時の確率を

$$\text{Prob}[h_{t+1} = j | h_t = i] = p_{ij}$$

と表そう。道路橋における部材の劣化推移確率行列  $\mathbf{P}$  は

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ 0 & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & p_{NN} \end{pmatrix}$$

と表すことができる。ここで推移確率行列  $\mathbf{P}$  の構成要素である  $p_{ij}$  は、推移確率であるので、非負の値をとる。ただし、構造物の劣化状態は修繕が無い限り改善すること

はないので,  $p_{ij} = 0 (i > j)$  が成立する. また, 推移確率の定義より  $\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$  が成立する. 状態  $N$  は構造物を供用していくにあたって, 早急な処置が必要となることを意味しており, 修繕が無い限りはマルコフ連鎖における吸収状態となる. すなわち  $p_{NN} = 1$  が成立する.

つぎに, 対象部材に修繕政策が実施された場合の劣化推移確率を定義する. 修繕政策  $\pi \in \Pi$  は, 部材の劣化状態  $i$  が観測された時点で実施する修繕アクションを指定する. 修繕政策は有限個存在し,  $\Pi$  は, 修繕政策の集合である. 修繕政策  $\pi \in \Pi$  の下で実施される修繕アクション  $f^\pi$  を, 修繕アクション実施後の劣化状態  $f^\pi(i) \in \mathbf{f}(i)$  を用いて次式で定義する.

$$f^{\pi_i} = \begin{pmatrix} f^{\pi_i}(1) \\ \vdots \\ f^{\pi_i}(N) \end{pmatrix}$$

ただし,  $\mathbf{f}(i)$  は部材の劣化状態  $i$  に対して定義される修繕アクションの集合である. 今, 劣化状態  $i$  の時に修繕政策  $\pi$  を適用した場合, 部材における劣化状態の推移確率を

$$q_{ij}^\pi = \begin{cases} 1 & f^\pi(i) = j \text{ の時} \\ 0 & \text{それ以外の時} \end{cases} \\ (j = 1, \dots, i)$$

と表すことができる. つまり, 修繕が実施された後の劣化状態に確率 1 で推移し, 修繕が実施されない場合はもとの損傷度に推移することを示している. ただし, 修繕を実施して劣化状態が悪くなることはないとしている. 以上の推移確率を  $Q^\pi$  として整理することにより,

$$Q^\pi = \begin{pmatrix} q_{11}^\pi & 0 & \dots & 0 \\ q_{21}^\pi & q_{22}^\pi & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{N1}^\pi & q_{N2}^\pi & \dots & q_{NN}^\pi \end{pmatrix}$$

となる. 劣化状態が  $N$  である場合, 直ちに修繕されるとし, 常に  $q_{NN}^\pi = 0$  となる. いま, 時点  $t$  において修繕アクションが実施され, 状態変数が推移確率  $Q^\pi$  により推移した後に, 時点  $t+1$  までに劣化状態が推移行列  $P$  に従って推移すると考える. この場合, 修繕政策  $\pi$  の下で, 時点  $t$  において劣化状態が観測された時点から, 修繕を経て次の時点  $t+1$  に劣化する確率を表す推移確率行列  $P^\pi$  は次式で定義される.

$$P^\pi = Q^\pi P$$

### 2.3.3 最適修繕モデルの定式化

修繕政策  $\pi$  のもとで、各状態における選択可能な修繕アクションに対する修繕費用を

$$C^\pi = \begin{pmatrix} c^\pi(1) \\ \vdots \\ c^\pi(N) \end{pmatrix}$$

と表す。時点  $t+1$  で、部材が劣化状態  $j$  となり、それ以降最適修繕政策  $\pi^*$  の下で達成できるライフサイクル費用の最小値を  $V^*(j)$  と表そう。この時、時点  $t$  において達成可能なライフサイクル費用の最小値  $V^*(i)$  は再帰的に

$$V^*(i) = \min_{f^\pi(i) \in f^\pi(i)} \left\{ c^\pi(i) + \beta E_i^\pi[V(j)] \right\} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (*)$$

と表せる。ただし  $\beta$  は、割引因子である。また、 $E_i^\pi[V(j)]$  は

$$E_i^\pi[V(j)] = \sum_{j=1}^N p_{ij}^\pi V(j)$$

と定義できる。式 (\*) は、部材の各劣化状態に対して定義される最小化問題であり、各劣化状態  $i$  毎に最適修繕アクション  $f^{\pi^*}(i)$  を求める問題となる。

### 2.3.4 最適修繕戦略の決定

最適修繕政策の構造を分析するために、再帰方程式(\*)を行列表記する。この再帰方程式は、 $N$  個の状態変数に対する最適値関数を定義している。 $N$  個の最適値関数を、状態変数  $1, \dots, N$  の順に列ベクトル表記すると

$$V^* = \min_{\pi \in \Pi} \left\{ C^\pi + \beta P^\pi V \right\}$$

と表せる。記号  $\min_{\pi \in \Pi}$  は、対象部材において、各劣化状態  $i$  に対応した最適修繕アクション  $f^{\pi^*}(i)$  を選択する問題であることを意味している。上式は、吸収状態を持つ無限的視野のマルコフ決定過程となっている。また、修繕政策  $\pi_l \in \Pi_l$  は有限であり、吸収状態を持つ無限的視野のマルコフ決定モデルに最適定常政策が存在することが保証されている。

最適修繕モデル(\*)は、標準的なマルコフ決定モデルであり、Howardの政策改良法を適用することが可能である。また、状態変数が有限個であり、時点に依存する変数が存在しないことから、最適政策は時間に関して定常的な政策になる。本報告では、最適修繕政策の解を求める方法として、Howardの政策改良法を採用している。以下

で、ある部材における最適修繕政策の決定を、Howard の政策改良法を用いて具体的な計算手順を説明する。

ステップ 1) 任意の政策  $\hat{\pi}$  を与える。与えられた任意の政策  $\hat{\pi}$  の下で、最適値関数に関する連立方程式

$$\hat{V} = C^{\hat{\pi}} + \beta P^{\hat{\pi}} \hat{V}$$

を解き、その解を  $\hat{V}$  とする。

ステップ 2) ステップ 1) で求めた  $\hat{V}$  を用いて、各状態  $i$  に対して

$$\tilde{V} = \min_{\hat{\pi} \in \Pi} \{ C^{\hat{\pi}} + \beta P^{\hat{\pi}} \hat{V} \}$$

最小となる修繕アクションの組み合わせである修繕政策  $\hat{\pi}$  を求める。

ステップ 3) ステップ 1) で採用した修繕政策  $\hat{\pi}$  と、ステップ 2) で求めた修繕政策  $\hat{\pi}$  が一致する時は、最適修繕政策  $\pi$  となり、計算を終了する。一方、修繕政策  $\hat{\pi}$  と修繕政策  $\hat{\pi}$  が一致しない場合は、ステップ 1) で採用する修繕政策を  $\hat{\pi}$  として、ステップ 1) に戻る。

以上の計算手順により、各状態  $i$  の最適修繕アクションの組み合わせである最適修繕政策

$$f^{\pi^*} = \begin{pmatrix} f^{\pi^*}(1) \\ \vdots \\ f^{\pi^*}(N) \end{pmatrix}$$

を求めることができる。

### 2.3.5 予算制約下での修繕戦略

本年度はプロジェクトレベルのみについてアプリケーションソフト (Ver.0) を作成した。しかし、今後ネットワークレベルでの最適修繕戦略を導出する必要がある。よって、本節ではネットワークレベルにおいて予算制約の下、各部材の修繕優先順位を決定する手法を説明する。

道路橋管理者に各期の予算制約がある場合、3.3.4 で求めた最適修繕政策に従って、管理する全ての道路橋に対する修繕投資を実行できない可能性がある。ここでは、予算制約の中でライフサイクル費用を可能な限り小さくし得るような修繕ルールを提案する。

3.3.2 では、部材の劣化状態を  $i = \{1, \dots, N\}$  で表される離散的な  $N$  個の状態で定義し、部材種、及び損傷形態に対応した劣化過程がマルコフ連鎖に従うものと仮定した。本節では、離散的に表されている劣化状態を連続的な状態変数で再定義した上で、劣化

過程を期待値パスを用いて表すことにする. いま, 実数空間  $\mathbf{R}$  内において, 連続的な状態変数  $x \in [1, N]$  を定義する. すなわち, 3.3.2 で離散的に記述した状態  $i$  ( $i = 1, \dots, N-1$ ) と  $i+1$  の間に新たに仮想的な状態を連続的に定義する.  $x$  は値が大きいほど劣化が進行しているものとし, 最良の状態を  $x = 1$ , 最悪の状態  $x = N$  で表す. 修繕を考慮しない場合の劣化過程の期待値パス  $\tilde{x}(t) = E[x(t)]$  を次式のように表す.

$$\tilde{x}(t+1) = \tilde{x}(t) - \rho(\tilde{x}(t))$$

ここで,  $\rho(\tilde{x}(t))$  は, 時刻  $t$  から  $t+1$  の間の劣化量, すなわち劣化速度を表す. 劣化速度  $\rho(\cdot)$  は時刻  $t$  における部材の劣化状態  $\tilde{x}(t)$  に依存している. 以下では, マルコフ推移確率行列  $\mathbf{P}$  から, 期待値パス  $\tilde{x}$  の劣化速度  $\rho$  を近似的に推計する手法を提案する.

今,  $T_{ij}$  を状態  $i$  から出発したマルコフ連鎖  $\{h_t\}$  が初めて状態  $j$  を訪れるステップ数を表す確率変数とすれば,  $T_{ij}$  の確率分布は,

$$\begin{aligned} g_{ij}(m) &= \text{Prob}[T_{ij} = m] \\ &= \text{Prob}[h_{t+m} = j, h_{t+l} \neq j; l < m | h_t = i] \\ &\quad (m = 1, 2, \dots) \end{aligned}$$

で表せる.  $g_{ij}(m)$  は  $h_t$  が  $i$  から始まり  $m$  ステップ後に初めて状態  $j$  に到達する確率を表す. 確率変数  $T_{ij}$  を, 状態  $i$  から状態  $j$  への最小到達時間と呼ぶ. このとき, 状態  $i$  ( $i = 1, \dots, N-1$ ) から状態  $j$  ( $j = i+1, \dots, N$ ) に到達するまでの期待到達時間  $\xi(i, j)$  は

$$\xi(i, j) = \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot g_{ij}(m)$$

と表せる. また, 特に, 状態  $i$  から一段階劣化が進行した状態  $i+1$  までの期待到着時間を

$$\xi_1(i) = \xi(i, i+1)$$

と表すこととする. この時, 時刻  $t$  において観測可能な連続な劣化状態  $\tilde{x}$  が  $i < \tilde{x} \leq i+1$  を満たすときの劣化速度を次のように表す.

$$\rho(\tilde{x}) = \frac{1}{\xi_1([\tilde{x}])} \quad (i = 1, \dots, N-1)$$

なお, 記号  $[A]$  は,  $A$  を超えない最大の整数値を表すガウス記号である. 今, 着目する時刻における修繕投資対象である複数道路橋施設における各構成部材の劣化状態を  $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_n\}$  と表そう. 添え字である  $1, \dots, n$  は管理対象の複数道路橋施設における各構成部材の管理番号を表しており, 管理番号により部材種, 劣化状態は明らかになっているものとする. 修繕投資による便益を, その時刻に直ちに修繕を行った後に得られる期待ライフサイクル費用と当該時点で修繕をせずに一定の期間 (ここでは  $k$  期とする) 放置し, その後に修繕を行った場合の期待ライフサイクル費用の差として定

義する. いま, 管理番号 $l$ である部材を $k$ 期間放置した場合の期待ライフサイクル費用を $\check{V}_l(x_l, k)$ , 直ちに修繕を行った後の期待ライフサイクル費用を $V'_l(1; \pi_l^*)$ と表記すると, 該当部材における修繕投資の便益は $\check{V}_l(x_l, k) - V'_l(1; \pi_l^*)$ と表すことができる.  $\pi_l^*$ は部材 $l$ に対する最適修繕政策を表し,  $V'_l(1; \pi_l^*)$ は, 修繕投資により劣化状態が1に回復した状態から, 3.3.4 で求めた最適修繕政策 $\pi_l^*$ の下で発生する期待ライフサイクル費用を表している. 但し期待ライフサイクル費用は, 対象とする修繕を行った以降の修繕を期待ライフサイクル費用を最小にする最適修繕政策 $\pi_l$ を実施すると仮定して求める. また, 劣化状態 $\bar{x}_l$ が $\bar{x}_l \in [i, i+1)$ を満たす場合に選択可能な修繕アクションは, 劣化状態 $i$ の場合と同様であり, 修繕費用は $c^{\pi_l}(i)$ であるとする. この時,  $k$ 期間放置した場合に対して定義される現時点の修繕工事の費用便益費 $(B/C)_{l,k}$ は

$$(B/C)_{l,k} = \frac{\check{V}_l(x_l, k) - V'_l(1; \pi_l^*)}{c^{\pi_l}(x_l)}$$

$$\check{V}_l(x_l, k) = \frac{c^{\pi_l}(\bar{x}_l)}{(1+\alpha)^{t_k}} + \frac{V'_l(1; \pi_l^*)}{(1+\alpha)^{t_k}}$$

と表せる.  $t_k$ は現時点から $k$ 期までの経過時間であり,  $\bar{x}_l$ は $k$ 期後の部材 $l$ の劣化状態である. 修繕が遅延した場合に生じる期待ライフサイクル費用を用いて, 当該期における修繕の費用便益比 $(B/C)_{l,k}$ を定義する. ただちに修繕を行うことが望ましい場合には, 修繕が遅延することにより期待ライフサイクル費用は増加するため, 任意の $k$ に対して $(B/C)_{l,k} > 1$ が成立する. 一方, 修繕を見送ることが望ましい場合, 最適修繕政策下で修繕を実施すべき状態に劣化が進行するまで修繕を見送ることで期待ライフサイクル費用が低減される. 以上で定式化した費用便益比を用いれば, 予算制約下で修繕順序を求める実用的な手順を以下に示すように取りまとめることができる. すなわち,

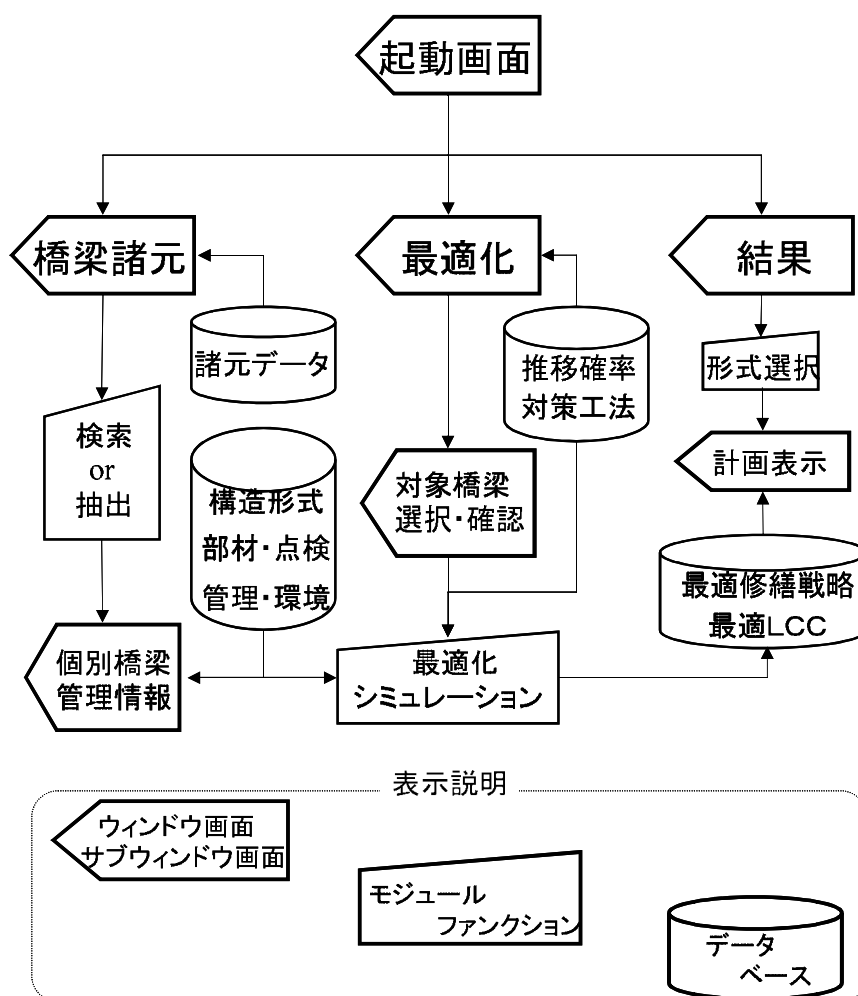
- ステップ1) 最適修繕政策 $\pi_l$ に従い, 修繕を行うべき劣化状態 $\bar{x}_l^1$ を定める.
- ステップ2) 修繕を遅らせる期間を $k=1$ とする.
- ステップ3) 劣化状態 $\bar{x}_l^1$ に到達している部材を最も優先順位の高い部材として抽出する.
- ステップ4) 全ての管理部材 $l$ に対して, 費用便益比 $(B/C)_{l,k}$ を算定し, 費用便益比 $(B/C)_{l,k} > 1$ となる部材の中で $(B/C)_{l,k}$ が最も大きい部材を選択する.
- ステップ5) 以上より決定した優先順位に基づいて, 予算制約の範囲内で修繕を行うべき部材を決定する.

以上の方法により, 予算制約がある場合の複数橋梁施設を対象とした部材修繕における望ましい修繕戦略を決定することができる.

## 2.4 システムのストラクチャー

### 2.4.1 現状

本システムでは以上で提案した橋梁管理システムに基づき、姫路河川国道事務所が所轄する道路橋を対象としたデータベースアプリケーション (Ver.0) を設計した。本研究会で設計したデータベースアプリケーションは、VB.NET(Visual Basic.NET)により開発を行っている。VB.NETを用いることにより、エンドユーザーがデータベース(本システムではデータベースに Microsoft Access を採用している)に保存されている管



理情報に対して選択，追加，削除，更新といったデータ操作を可能にしている。

図 2-2 : Ver.0 の全体構成

本アプリケーションは、アセットマネジメントシステムの中で主に台帳システムとマネジメントシステムの機能を有するシステムとして位置づけている。台帳システム



としての役割は、データベースに格納されている異なるデータテーブルから、エンドユーザーの利用目的に応じた管理情報（例えば構造形式、管理主体、及び部材損傷度）を抽出し提供する。マネジメントシステムの役割は、道路橋を構成する部材に対してライフサイクル費用を最小化する最適修繕戦略を導出する。また、この部材に関する最適修繕戦略は管理情報としてデータベースに格納される。以下では、図 2-2 に示したように 3 つのインターフェイスモジュールから構成される本研究で設計したアプリケーションの各モジュールの概要について述べる。

**橋梁諸元：**姫路河川国道事務所が所轄する橋梁点検対象橋梁（橋長 14.45m 以上）は 154 橋あり、H12 年度末までに橋梁点検が実施された 144 橋を対象とした電子データは、各橋梁毎に付された橋梁コードに基づいて一元管理されている。そのため、姫路河川国道事務所が管理するデータベースにおいて、「橋梁基本」、「橋梁幅員構成」、「橋梁高欄防護柵」、「橋梁交差状況」、「橋梁添架物」、「橋梁上部工」、「橋梁下部工」、「橋梁径間」、「橋梁部材番号図」、「橋梁部材損傷」、及び「橋梁補修履歴」という 11 個のデータテーブルに目的別に格納されている管理情報は、主に橋梁コードを主キーとしてデータテーブルに格納される管理情報を識別している。橋梁諸元モジュールでは、全対象橋梁における諸元データを表示する諸元画面と、エンドユーザーが選択した個別橋梁の管理情報を表示する個別橋梁画面より構成されている。個別橋梁画面においては、先に挙げた 11 個のデータテーブルから、構造形式、部材番号・部材損傷、及び管理主体・環境に関する管理情報を抽出し、電子データを羅列するのではなく、目的毎に加工して表示している。この様に、橋梁諸元モジュールは、エンドユーザーに対して利用目的に応じた橋梁管理情報を提供する。

**最適化：**最適化モジュールでは、2.3.3 で提案した最適修繕モデルを用いて、ライフサイクル費用を最小化する最適修繕戦略の導出をするシミュレーションの実行を行う。最適修繕戦略の導出において、部材種、及び損傷形態に対応したシミュレーションを行う。シミュレーション実行の際に、インプットデータとして用いるデータベースに格納されている対策工法、推移確率、及び修繕単価の設定が可能である。また、本モジュールの管理対象ファンクションを用いて管理対象道路橋を設定することにより、結果モジュールにおいてエンドユーザーが対象とする道路橋における最適化修繕戦略に関する管理情報を得ることができる。

**結果：**結果モジュールでは、最適化モジュールにおいて実行されたシミュレーション結果をビジュアル化する。シミュレーションにより得られる結果は、部材、及び損傷形態に対応して、部材の各劣化状態における対策工法、及び部材の各劣化状態での無限期間において発生するライフサイクル費用である。個別道路橋における総ライフ

サイクル費用は、各部材のエレメント数をもとに、損傷形態、及び劣化状態に応じた各部材エレメント毎のライフサイクル費用を積み上げたものとする。

以上の様に、BMS を適用した本アプリケーションは、エンドユーザーである多数の道路橋を管理する道路管理者が、道路橋に関する膨大な管理情報にアクセス可能な環境を提供するとともに、道路橋構成部材を独立とする前提条件の下ではあるが、修繕投資における合理的な意思決定支援情報を提供でき得るものであると考えている。また、VB.NET を用いたアプリケーション開発を行っているため、多数のユーザーが同一のデータベースに格納されている管理情報にアクセス可能である。そのため、異なる使用目的を持つ複数のユーザーがアプリケーションを利用する際において、各ユーザーが管理業務に対応した管理情報を更新することにより、アプリケーションを通じてデータベースにアクセスすれば、ユーザーは更新された最新の管理情報を得ることができる。

#### 2.4.2 今後の目標

Ver.0 では単一橋梁のみを対象としているが、update version では、ネットワークレベルでの管理システムの構築を目指している。BMS では橋梁管理者を想定ユーザーとしており、橋梁管理者が携わる各種業務を支援するのが目的である。ここでは一概に橋梁管理者と記しているが、本システムでは橋梁管理者を管理計画者、管理技術者、管理実施者の3者と想定している。各管理者のそれぞれの役割は、管理計画者が意思決定、管理技術者が分析・診断、管理実施者が修繕・点検の実施と分類する（表 2-5 参照）。また、この三者三様の橋梁管理者がどういった業務に携わるかを検討することにより、BMS が提供可能な管理情報と橋梁管理者が必要とする管理情報の整合を図る。BMS で想定する各種業務を表 2-6 に示す。また、表 2-7 に BMS に必要と思われるモジュールとその機能を示す。さらに、橋梁点検調査業務報告書に記載される管理情報とシミュレーションアウトプット内容を BMS の提供可能な管理情報とし、その管理情報を表 2-6 で示される支援業務①～⑧に分類したものを表 2-8 に示す。

表2-5：施設管理者と役割

施設管理者	I 管理計画者	管理技術者の分析・診断結果に基づいて事業の意思決定を行う。事業に要する予算請求を行う。
	II 管理技術者	専門的な知識を有しており、橋梁点検の結果に基づいて、損傷の程度を分析・適切な処方診断を行う。管理計画者の意思決定を支援。
	III 管理実施者	各種点検（通常・定期・追跡・臨時）、修繕・改良工事を管理技術者による分析・診断結果、管理計画者の策定した実計画に基づいて実施。

表2-6：BMSで想定される支援業務

業務内容	概要
調査・計画	①一般的な調査計画の支援
	②緊急保全対策のための調査計画の支援
	③実施計画・予算請求などの基礎資料の提供
設計・施工	④橋梁工事における参考資料の提供
	⑤発注準備のための基礎資料の提供
管理	⑥交通対策関連の基礎資料の提供
	⑦特殊車両管理のための基礎資料の提供
	⑧点検のための基礎資料の提供

表2-7：BMSに必要なモジュール及びその機能

モジュール	機能
橋梁諸元	A：管理情報DB，B：条件検索，C：管理情報編集
最適化	D：劣化推移確率設定，E：補修費用設定，F：保全最適化PG
結果	G：アウトプット形式選択
	☆ 部材レベル最適工法・修繕費用・管理LCC
オプション	H：部材コード設定，I：損傷形態コード設定，J：シミュレーションパラメータ設定

注記) ☆・・・シミュレーションアウトプット内容

《各機能に関する補足説明(案)》

B. 条件検索：

業務上頻繁に参照する事項を設定し、ユーザーが知りたい管理情報にアクセスし易い環境を提供

C. 管理情報編集

点検結果、修繕実績に基づいて、管理情報DBに格納されている管理情報を更新

D. 劣化推移確率設定：

部材レベルで材質・環境・構造形式に基づいて、経年的劣化推移確率を設定

部材レベルで材質・環境・構造形式に基づいて、補修工法に対する推移確率を設定

E. 補修費用設定：

部材レベルで材質・環境・構造形式に基づいて、部材の状態に対応する補修費用を設定

F. 保全最適化シミュレーションプログラム：

シミュレーションパラメータ・その他設定に基づいて、部材レベルで管理LCCを最小にする補修計画算出

H. 部材コード設定

橋梁部材を種類、材質、構造形式に対応したコード設定を行い、システム全体を通じて共通コードで管理

I. 損傷形態コード設定

橋梁部材に発生する損傷を形態に対応したコード設定を行い、システム全体を通じて共通コードで管

理

J. シミュレーションパラメータ設定：

部材レベルでの補修を実施すべき閾値の設定，割引率の設定・・・etc

表 2 - 8 : 支援業務と管理情報関連表

	管理情報
①	橋梁名・距離標・管轄・管理機関コード・橋梁コード・供用開始日・橋梁区分・橋長・橋梁種別・最大支間長・架橋状態（交差状況・交差物名称）・径間数・交通量・大型車混入率・交通規制（通行規制・荷重制限）・全幅員・有効幅員・地覆幅・歩道幅・車道幅・車線・中央分離帯・橋面積・平面形状・最小半径・縦断勾配・活荷重・設計示方書・架設年次・上部工形式・下部工形式・基礎形式・床版（材料・厚さ・防水工）・舗装（種別・面積・粒度混合物・アスファルト種別・厚さ）・照明（種別・基数・灯数）・歩道添架の有無・点検設備・排水設備・落下物防止策（高さ・延長）・高欄（材料・形式・高さ）・防護柵（材料・形式・高さ）・塗装面積（上部工・下部工）・基本耐荷力（主桁・床版）・車両用防護柵・遮音壁・遮光壁・側面図・断面図・平面図・損傷写真
②	損傷部位（部材レベル）・損傷部位（エレメントレベル）・損傷ランク・損傷形態・処方・側面図・断面図・平面図・損傷写真・橋梁接続（起点側・終点側）・添架物・現況写真
③	点検日・点検種別・損傷部位（部材レベル）・損傷部位（エレメントレベル）損傷ランク・損傷形態・処方・損傷写真・現況写真・最適工法・管理LCC・修繕費用
④	橋梁種別・設計示方書・供用開始日・上部工形式・下部工形式・基礎形式・側面図・断面図・平面図・損傷写真・最適工法
⑤	点検日・点検種別・損傷部位（部材レベル）・損傷部位（エレメントレベル）・損傷ランク・損傷形態・処方・損傷写真・現況写真・最適工法・修繕費用
⑥	交通量・大型車混入率・交通規制（通行規制・荷重制限）・幅員・有効幅員・歩道幅・車道幅・車線・中央分離帯・歩道添架の有無・防護柵（材料・形式・高さ）・車両用防護柵
⑦	架橋状態（交差状況・交差物名称）・設計示方書・交通量・大型車混入率・交通規制（通行規制・荷重制限）・幅員・有効幅員・歩道幅・車道幅・車線・中央分離帯・平面形状・最小半径・縦断勾配・基本耐荷力（主桁・床版）
⑧	橋梁名・距離標・管轄・管理機関コード・橋梁コード・供用開始日・橋梁区分・橋長・橋梁種別・最大支間長・架橋状態（交差状況・交差物名称）・径間数・交通量・大型車混入率・交通規制（通行規制・荷重制限）・全幅員・有効幅員・地覆幅・歩道幅・車道幅・車線・中央分離帯・橋面積・平面形状・最小半径・縦断勾配・活荷重・設計示方書・架設年次・上部工形式・下部工形式・基礎形式・床版（材料・厚さ・防水工）・舗装（種別・面積・粒度混合物・アスファルト種別・厚さ）・照明（種別・基数・灯数）・歩道添架の有無・点検設備・排水設備・落下物防止策（高さ・延長）・高欄（材料・形式・高さ）・防護柵（材料・形式・高さ）・塗装面積（上部工・下部工）・基本耐荷力（主桁・床版）・車両用防護柵・遮音壁・遮光壁・点検方法・点検日・点検種別・損傷部位（部材レベル）・損傷部位（エレメントレベル）・損傷ランク・損傷形態・側面図・断面図・平面図・塗装履歴・補修及び改良履歴・点検調査履歴・損傷写真

注記) 網掛け部分はシミュレーションアウトプット内容である。

## 2.5 機能説明

以下に、画面の図を用いて現状の BMS(Ver.0)の機能を説明する。

### ・[橋梁諸元]

橋梁諸元画面（**図 2-3**）は橋梁諸元のメイン画面である。メイン画面では、管理している橋梁を一覧できるようになっている。橋梁のデータとして、距離標(自～至)，所在地(自～至)，管轄，橋梁区分，橋長，交通状況，設計示方書，設計活荷重，架設竣工年の項目をグリッド上に表示している。

橋梁ID	距離標(自～至)	所在地(自～至)	管轄	橋梁区分	橋長	交通状況	設計示方書	設計活荷重	架設竣工年
1001	1000	1000	東京都	一般橋	1000	一般	標準	1000	1000
1002	1001	1001	東京都	一般橋	1001	一般	標準	1001	1001
1003	1002	1002	東京都	一般橋	1002	一般	標準	1002	1002
1004	1003	1003	東京都	一般橋	1003	一般	標準	1003	1003
1005	1004	1004	東京都	一般橋	1004	一般	標準	1004	1004
1006	1005	1005	東京都	一般橋	1005	一般	標準	1005	1005
1007	1006	1006	東京都	一般橋	1006	一般	標準	1006	1006
1008	1007	1007	東京都	一般橋	1007	一般	標準	1007	1007
1009	1008	1008	東京都	一般橋	1008	一般	標準	1008	1008
1010	1009	1009	東京都	一般橋	1009	一般	標準	1009	1009

図 2-3：橋梁諸元画面

条件選択画面（**図 2-4**）は図 2-3 で選択ボタンをクリックした時に表示される。出張所，起点所在地，終点所在地，架設年次，適用示方書についての条件を選択することで，橋梁の絞込みを行うことができる。その他のボタンをクリックすることによって，橋梁の抽出，削除，追加を行うことが可能である。また，データグリッドの値を直接変更して更新することも可能である。

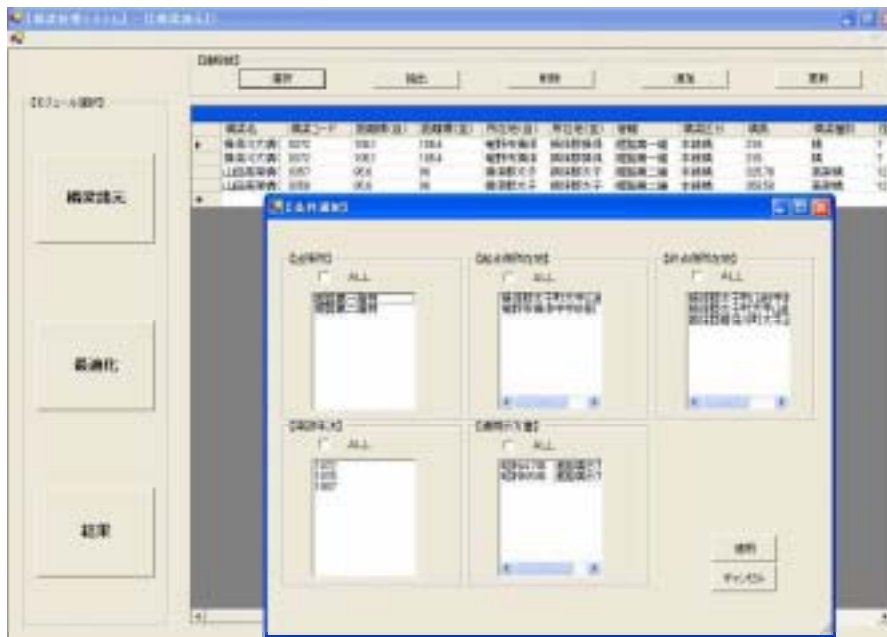


図 2-4：条件選択画面

構造形式画面（図 2-5）は図 2-3 で各橋梁レコードをダブルクリックすることにより表示される。ここでは個別橋梁の構造形式(幅員，上部工，下部工，床版，舗装，高欄防護柵，諸々)に関する詳細な情報を得ることができる。



図 2-5：構造形式画面

構造部材・損傷画面（図 2-6）は図 2-5 から表示することができる。ここでは、部材レベルの情報を得ることができる。部材を選択することにより、点検記録を表示できる。点検記録には点検調査年、損傷種類、『橋梁点検要領』に基づいた損傷度を表示できる。また点検記録の追加もこの画面から行うことができる。



図 2-6：構造部材・損傷画面

管理・環境画面（図 2-7）も図 2-5 から表示することができる。ここでは、橋梁の管理情報や環境状況を表示できる。



図 2-7：管理・環境画面

・[最適化]

最適化画面（図 2-8）では対策工法と推移確率を設定することによって、各状態での最適対策工法と各状態で発生するライフサイクルコストを計算することができる。



図 2-8：最適化画面

追加項目画面（図 2-9）では、補修工法と推移確率を入力する。



図 2-9：追加項目画面



アウトプット画面（図 2-10）は結果の表示に用いられる。図 2-8 で最適化を実行し計算が終了すると表示される。最適補修工法とライフサイクルコストの結果より修繕計画を設定することができる。



図 2-10：アウトプット画面

・[結果]

結果画面（図 2-11）は、シミュレーション結果をグラフ化して表示する機能である。

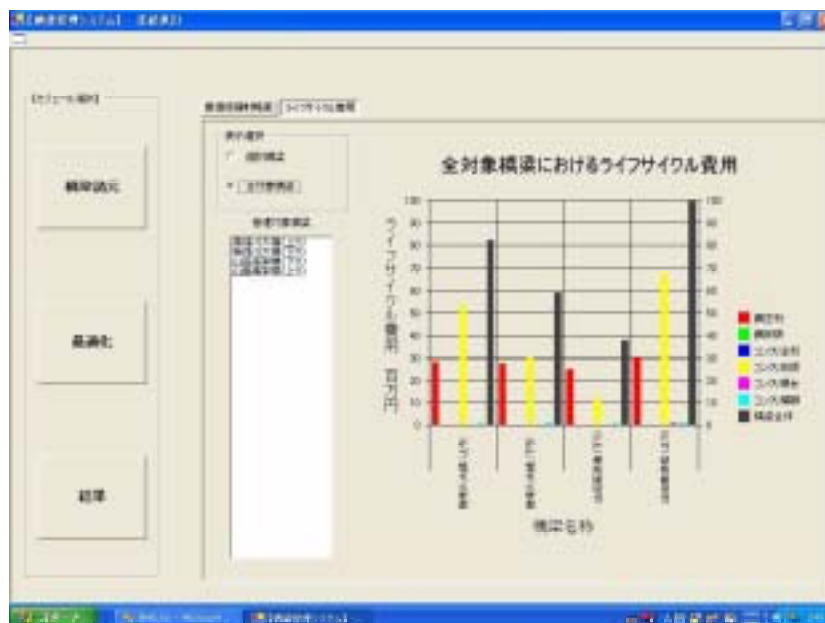


図 2-11：結果画面

### 3章 データベース

#### 3.1 既存データ

資料「平成13年度姫路管内橋梁構成部材データベース整備業務 姫路管内橋梁履歴データ入力業務 概要版」によれば、(財)道路保全技術センターでは橋梁を構成する全部材および補修履歴のデータベース化を行い、最適な橋梁の維持補修計画策定のために必要な各部材の劣化速度の予測を検討する際のデータとして活用することを目指している。その段階でのデータベースの整備状況は図3-1のようになっている。

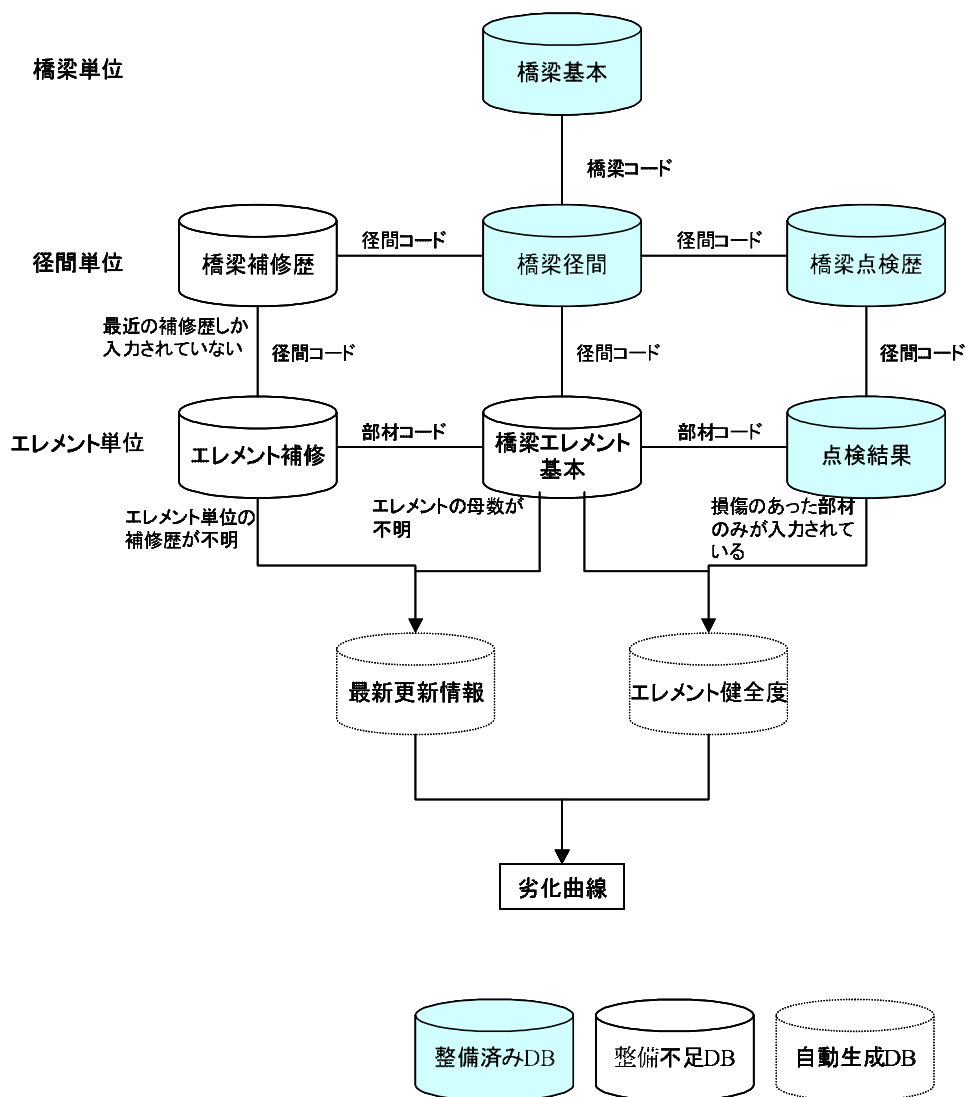


図3-1: データベースの基本構成

出典: 「平成13年度姫路管内橋梁構成部材データベース整備業務 姫路管内橋梁履歴データ入力業務 概要版」

現在姫路河川国道事務所で実際に管理されている ACCESS ファイルには、表 3-1 で示される 11 のデータテーブルがある。

表 3-1 : データテーブルとフィールド名

テーブル名	フィールド名
D010 橋梁基本	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3            地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 調整年月日            改訂年月日 施設完成年度 施設改修年度 名称 橋梁種別C 橋梁種別 橋梁区分C 橋梁区分            架設竣工年 等級C 等級 適用示方書C 適用示方書 総径間数 歩道添架C 歩道添架 昇降形式C            昇降形式 事業区分C 事業区分 路線名称 百米標目 距離自 百米標至 距離至 橋長 橋面積            平面形状C 平面形状 最小半径 縦断勾配 落下物防止柵高さ 落下物防止柵延長 遮音壁有無C            遮音壁有無 遮光壁有無C 遮光壁有無 踏掛版有無C 踏掛版有無 点検施設C 点検施設            排水施設C 排水施設 床版防水種別C 床版防水種別 床版防水範囲C 床版防水範囲 床版防水面積            上部工工費 下部工工費 水平震度 設計活荷重C 設計活荷重 特殊荷重1C 特殊荷重1            特殊荷重2C 特殊荷重2 特殊荷重3C 特殊荷重3 特殊荷重4C 特殊荷重4 特殊荷重5C            特殊荷重5 特殊荷重6C 特殊荷重6 主桁トラス基本耐荷力 トラスその他基本耐荷力 床版基本耐荷力            縦桁横桁基本耐荷力 通行制限C 通行制限 荷重制限 制限高さ 制限幅 迂回路有無C 迂回路有無            交通現況C 交通現況 上部工分離橋脚一体別C 上部工分離橋脚一体別 起点側市区町村C 起点側市区町村            起点側検査数字 起点側所在地 終点側市区町村C 終点側市区町村 終点側検査数字 終点側所在地 地域橋長            起終点区分C 起終点区分 橋梁接続起点側市区町村C 橋梁接続起点側市区町村 橋梁接続起点側点検数字            橋梁接続起点側橋梁種別C 橋梁接続起点側橋梁種別 橋梁接続起点側事務所 橋梁接続起点側出張所            橋梁接続起点側橋梁コード 橋梁接続起点側分割番号 橋梁接続終点側市区町村C 橋梁接続終点側市区町村            橋梁接続終点側検査数字 橋梁接続終点側橋梁種別C 橋梁接続終点側橋梁種別 橋梁接続終点側事務所            橋梁接続終点側出張所 橋梁接続終点側橋梁コード 橋梁接続終点側分割番号 塩害地域区分C 塩害地域区分            塩害地域距離 凍結防止剤散布回数C 凍結防止剤散布回数 照明有無C 照明有無 照明種別C 照明種別            基数 灯数 舗装種別C 舗装種別 舗装上層粒度C 舗装上層粒度 舗装上層種類C 舗装上層種類            舗装上層厚 舗装下層粒度C 舗装下層粒度 舗装下層種類C 舗装下層種類 舗装下層厚            舗装面積 消雪パイプ有無C 消雪パイプ有無 ロードヒート有無C ロードヒート有無            初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>
D011 橋梁幅員構成	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3            地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 供用開始年月日            全幅員 有効幅員 左側車線地覆幅 左側車線地覆高 左側車線歩道幅 左側車線路肩幅            左側車線車道幅 左側車線車線数 中央帯 中央分離帯 右側車線車線数 右側車線車道幅 右側車線路肩幅            右側車線歩道幅 右側車線地覆幅 右側車線地覆高 初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>
D012 橋梁高欄防護柵	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3            地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 高欄防護柵設置場所C            高欄防護柵設置場所 高欄防護柵別C 高欄防護柵別 高欄防護柵材質材料C 高欄防護柵材質材料            高欄防護柵形式C 高欄防護柵形式 防護柵設計種別C 防護柵設計種別 高欄防護柵高さ            初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>
D013 橋梁交差状況	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3            地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 架橋状況C 架橋状況            協議有無C 協議有無 交差物名称 協議機関 初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>
D014 橋梁添架物	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3            地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 添架物区分C            添架物区分 添架物種別C 添架物種別 添架物寸法 添架物重量 添架物管理者名 占用物件本数            初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>

<p>D015 橋梁上部工</p>	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3  地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 構造体番号  平面形状C 平面形状 起点側斜角左右別C 起点側斜角左右別 起点側斜角 終点側斜角左右別C  終点側斜角左右別 終点側斜角 起点側伸縮装置形式C 起点側伸縮装置形式 終点側伸縮装置形式C  終点側伸縮装置形式 材料区分C 材料区分 桁形式区分C 桁形式区分 構造形式C 構造形式 路面位置C  路面位置 主桁主構本数 主桁主構高さ 主桁主構間隔 横桁間隔 適用示方書1C 適用示方書1  適用示方書2C 適用示方書2 適用示方書3C 適用示方書3 床版材料C 床版材料 床版種類使用形式C  床版種類使用形式 床版橋軸直角方向支間 床版橋軸方向支間 床版厚さ 床版縦リブ間隔  床版縦リブ種類C 床版縦リブ種類 床版現場接合種類C 床版現場接合種類 床版主鉄筋径  床版主鉄筋間隔 床版配力筋径 床版配力筋間隔 架設工法C 架設工法 架設年月日 鋼上部工材質C  鋼上部工材質 鋼上部工鋼重 鋼上部工表面処理C 鋼上部工表面処理 鋼上部工連結方法C  鋼上部工連結方法 上部コンクリート体積 上部鉄筋材質C 上部鉄筋材質 上部鉄筋重量  塗装年月日 プライマード塗塗料C プライマード塗塗料 中塗塗料C 中塗塗料 上塗塗料C  上塗塗料 塗装方法C 塗装方法 工場塗装面積 本体塗装面積 高欄塗装面積 塗装色  塗装会社 PC鋼材材質C PC鋼材材質 PC鋼材緊張工法C PC鋼材緊張工法 主桁コンクリート強度  主桁打設方法C 主桁打設方法 主桁セメント種類C 主桁セメント種類 主桁細骨材種類C  主桁細骨材種類 主桁粗骨材種類C 主桁粗骨材種類 主桁粗骨材寸法 主桁指定スランプ 主桁混和剤1C  主桁混和剤1 主桁混和剤2C 主桁混和剤2 主桁混和剤3C 主桁混和剤3 主桁混和剤4C  主桁混和剤4 主桁混和剤5C 主桁混和剤5 主桁アルカリ骨材対策1C 主桁アルカリ骨材対策1  主桁アルカリ骨材対策2C 主桁アルカリ骨材対策2 主桁アルカリ骨材対策3C 主桁アルカリ骨材対策3  主桁アルカリ骨材対策4C 主桁アルカリ骨材対策4 床版コンクリート強度 床版打設方法C  床版打設方法 床版セメント種類C 床版セメント種類 床版細骨材種類C 床版細骨材種類  床版粗骨材種類C 床版粗骨材種類 床版粗骨材寸法 床版指定スランプ 床版混和剤1C  床版混和剤1 床版混和剤2C 床版混和剤2 床版混和剤3C 床版混和剤3 床版混和剤4C  床版混和剤4 床版混和剤5C 床版混和剤5 床版アルカリ骨材対策1C 床版アルカリ骨材対策1  床版アルカリ骨材対策2C 床版アルカリ骨材対策2 床版アルカリ骨材対策3C 床版アルカリ骨材対策3  床版アルカリ骨材対策4C 床版アルカリ骨材対策4 初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>
<p>D016 橋梁下部工</p>	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3  地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 躯体番号  完成年月日 橋台橋脚構造形式C 橋台橋脚構造形式 橋台橋脚高さ 起点側縁端距離 終点側縁端距離 基礎形式C  基礎形式 杭頭接合条件C 杭頭接合条件 基礎形状寸法A 基礎形状寸法B 有効根入長 杭径  杭本数 杭長 躯体基部形状寸法A 躯体基部形状寸法B 塗装年月日 プライマード塗塗料C  プライマード塗塗料 中塗塗料C 中塗塗料 上塗塗料C 上塗塗料 塗装方法C 塗装方法 工場塗装面積  本体塗装面積 塗装色 塗装会社 PC鋼材材質C PC鋼材材質 PC鋼材緊張工法C PC鋼材緊張工法  躯体コンクリート強度 躯体打設方法C 躯体打設方法 躯体セメント種類C 躯体セメント種類  躯体細骨材種類C 躯体細骨材種類 躯体粗骨材種類C 躯体粗骨材種類 躯体粗骨材寸法  躯体指定スランプ 躯体混和剤1C 躯体混和剤1 躯体混和剤2C 躯体混和剤2 躯体混和剤3C  躯体混和剤3 躯体混和剤4C 躯体混和剤4 躯体混和剤5C 躯体混和剤5 躯体アルカリ骨材対策1C  躯体アルカリ骨材対策1 躯体アルカリ骨材対策2C 躯体アルカリ骨材対策2 躯体アルカリ骨材対策3C  躯体アルカリ骨材対策3 躯体アルカリ骨材対策4C 躯体アルカリ骨材対策4 基礎コンクリート強度  基礎打設方法C 基礎打設方法 基礎セメント種類C 基礎セメント種類 基礎細骨材種類C  基礎細骨材種類 基礎粗骨材種類C 基礎粗骨材種類  基礎粗骨材寸法 基礎指定スランプ 基礎混和剤1C 基礎混和剤1 基礎混和剤2C 基礎混和剤2  基礎混和剤3C 基礎混和剤3 基礎混和剤4C 基礎混和剤4 基礎混和剤5C 基礎混和剤5  基礎アルカリ骨材対策1C 基礎アルカリ骨材対策1 基礎アルカリ骨材対策2C 基礎アルカリ骨材対策2  基礎アルカリ骨材対策3C 基礎アルカリ骨材対策3 基礎アルカリ骨材対策4C 基礎アルカリ骨材対策4  適用示方書1C 適用示方書1 適用示方書2C 適用示方書2 適用示方書3C 適用示方書3  設計震度地盤区分C 設計震度地盤区分 設計震度 K値 支持力 支持層N値 躯体鋼材質C 躯体鋼材質  躯体鋼重 躯体コンクリート体積 躯体鉄筋材質C 躯体鉄筋材質 躯体鉄筋重量 基礎杭鋼重  基礎コンクリート体積 基礎鉄筋重量 初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>
<p>D017 橋梁径間</p>	<p>地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3  地建 事務所 出張所 補助番号 現旧区分 橋梁コード 分割区分C 分割区分 構造体番号 径間番号  径間分割番号 支間番号 支間長 起点側支承種類C 起点側支承種類 起点側落橋防止1C  起点側落橋防止1 起点側落橋防止2C 起点側落橋防止2 起点側落橋防止3C 起点側落橋防止3  終点側支承種類C 終点側支承種類 終点側落橋防止1C 終点側落橋防止1 終点側落橋防止2C  終点側落橋防止2 終点側落橋防止3C 終点側落橋防止3 起点側躯体番号1 起点側躯体番号2  終点側躯体番号1 終点側躯体番号2 初期登録日付 修正日付 エラー有無フラグ</p>

E011 橋梁部材番号図	地建C 事務所C 路線 整理番号1 整理番号2 整理番号3 橋梁コード 橋梁名称 径間番号 部材区分 部材番号 端部フラグ 鋼板フラグ
E031 橋梁部材損傷	地建C 事務所C 出張所C 路線 現旧区分C 整理番号1 整理番号2 整理番号3 橋梁名称 補助番号 橋梁コード 大分類 径間番号 径間分割番号 点検調査年月日 点検種別C 部材区分C 部材番号 損傷種類C 位置X 深さY 広がりZ その他 損傷度
E040 橋梁補修履歴	LD 管理コード 事務所 路線番号 整理番号1 橋梁C 工事名称 橋梁名称 年度 金額 床版 主桁 補修C 支承 伸縮 舗装 落橋防止 H7耐震補強 その他補修 工事 その他

《注記》

- ・ 下線部はテーブル上で主キーに設定されているフィールド名

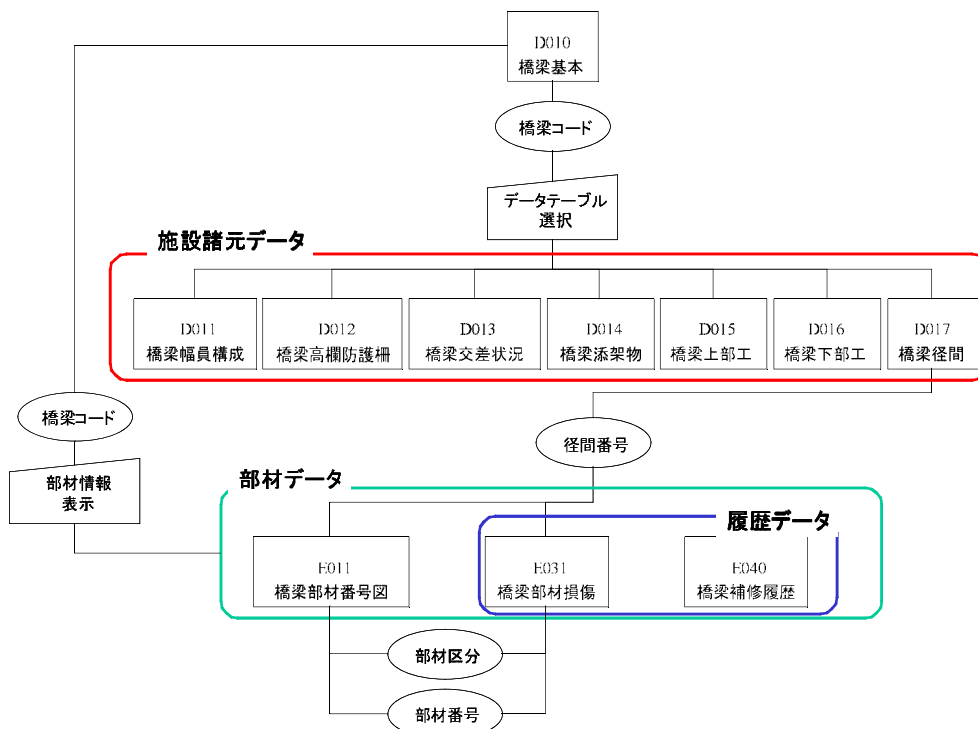


図 3-2：既存データテーブル関連図

表 3-1 で示したデータテーブルとフィールド項目から、D010（橋梁基本）～D017（橋梁径間）、E011（橋梁部材番号図）におけるフィールド項目は、点検業務や補修によって更新や履歴を必要とする情報ではなく、そのためユーザーの利用目的に応じて橋梁の諸元データを利用し易い環境開発が重要であると考えられる。一方、E031（橋梁部材損傷）、E040（橋梁補修履歴）におけるフィールド項目は、点検業務や補修によって更新が必要であり、また点検結果や補修実績による履歴情報を蓄積する必要があると考えられる。

次に各データテーブルとフィールド項目から、D010（橋梁基本）を親データテーブルに設定した場合における、他のデータテーブルとの関係を図 3-2 に示す。例えば、D010（橋梁基本）と D011（橋梁幅員構成）～D017（橋梁径間）において、橋梁コー

ドフィールド項目をリレーションキーとしており、同一の橋梁コードを有するレコードは、D011（橋梁幅員構成）～D017（橋梁径間）の間で関連付けられている。しかし、施設諸元データである D011（橋梁幅員構成）～D017（橋梁径間）の各データテーブルと、部材データである E011（橋梁部材番号図）、E031（橋梁部材損傷）、E040（橋梁補修履歴）の各データテーブルは整理された階層関係にはない。今後、アプリケーションからアクセスしやすいようなテーブル整理が必要となる。

### 3.2 維持修繕政策マトリクス

本報告では、マルコフ決定モデルを用いて最適修繕戦略を決定する。そのためには、部材の劣化状態のランクとそれに対して取り得るアクションを明示する必要がある。既存の履歴データを利用したシステム作りを考えた場合、『橋梁点検要領(案)』記載の損傷度判定基準に基づいて、劣化状態のランクを定義することが妥当だと考えられる。以下に損傷度判定に基づいた部材ごとの損傷度を定義し、その状態に対する工法、その工法単価を設定する。ただし Ver.0 では、対策工法として状態がOKに戻るであろう対策のみを選んだ。なお対策工法・単価については、暫定的なものである。

資料「橋梁定期点検データによる劣化予測に基づく計画的維持管理について」には、近畿地方整備局管内の橋梁データが掲載されている。それによると、点検済み 953 橋の部材損傷種類の内訳は、表 3-2、図 3-2 の通りである。このデータに基づき、対象部材としてコンクリート部材では床版、下部工である橋脚・橋台、鋼部材では鋼桁、その他の部材として支承を取り上げる。コンクリート桁は、今回の対象橋梁(山田高架橋)の部材ではないので除外した。

表 3-2：橋梁点検における部材損傷の内訳

分類	損傷の種類	損傷数	分類	損傷の種類	損傷数
RC床版	床版のひびわれ	48846	下部工	ひびわれ	1745
	遊離石灰	7670		剥離・鉄筋露出	718
	剥離・鉄筋露出	3453		遊離石灰	664
	その他	2006		その他	1917
鋼桁	腐食	10738	伸縮装置	漏水・滞水	1308
	塗膜劣化	9975		欠損	332
	その他	1926		その他	838
支承	腐食	8180	地履・高欄他	剥離・鉄筋露出	799
	その他	3451		ひびわれ	340
コン桁	遊離石灰	2358		遊離石灰	330
	ひびわれ	1942	その他	663	
	剥離・鉄筋露出	1872	排水装置	土砂詰り	1070
	その他	1787		腐食	396
		その他		303	
			その他	4886	

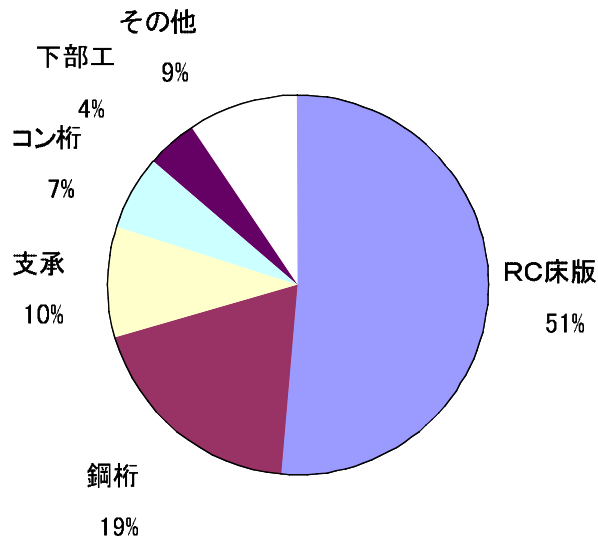


図 3-2：橋梁点検における部材損傷種類の内訳

ただし，図 3-2 におけるその他とは，表 3-2 での伸縮装置，地覆・高欄他，排水装置，その他の合計である．

### 3.2.1 コンクリート床版

1 径間当りのコンクリート床版は図 3-3 のようなエレメントに分けられている．

101					
201	202	203	204	205	206
301	302	303	304	305	306
401	402	403	404	405	406
501					

図3-3：床版の部材エレメント(平面図)

「RC 床版の一般的な損傷過程を示すと，まず，横軸直角方向にひび割れが生じ，貴工場のひび割れ，ひび割れ面のスリット化，水や遊離石灰の滲出と進行，最終的に押し抜きせん断破壊に類似したコンクリートの剥離や抜け落ちに至る．このような損傷過程においては多くの要因が複雑に影響を及ぼしあっており，個々の RC 床版の損傷要因を推定することは困難な場合が多い．一般には，各種要因の中でも過大な輪荷重とその頻度，配力鉄筋量の不足，床版の剛性不足，教養前の乾燥収縮ひび割れや豆板のような施工欠陥などの影響が大きいといわれている．RC 床版の損傷過程においては，すでに述べたようにひび割れの発生，進展が大きな役割を演じている．したがって，対象とする RC 床版の健全度の評価を行うに当たっては，ひび割れの発生進展程度，す



なわちひび割れ密度や漏水の有無を指標にすればよい」(『新体系土木工学 40 橋梁の計画と管理』p221 から引用)

『橋梁点検・補修の手引き』ではコンクリート床版に関して次のような着眼点を挙げている。

- ・ 床版張り出し部先端のひび割れ，遊離石灰，浮き，剥離
- ・ 床版下部のひび割れ
- ・ 鋼板接着部の損傷

「鉄筋コンクリート床版に対して的確な補修・補強を施すためには，まず損傷の状況を詳細に調査し，その損傷が補修・補強を行うことにより再使用が可能となる程度のものか否かを判断する必要がある．ひび割れが過度に発達していなくて，床版がまだ連続体としての機能を保っている状態であれば，鋼板接着工法その他による補強が可能であるが，ひび割れその他の損傷が特に著しかったり，コンクリートの品質や施工の状態が特に不良であったりして，補強工法の適用が困難かまたは補強の効果を期待し得ない場合には，新しいコンクリート床版に打替えるか，他形式の床版に取替えるかしなければならない。」(『新体系土木工学 36 コンクリート構造物の維持・補修・取壊し』p111 から引用)

以下，床版の主要な損傷である床版ひび割れ，遊離石灰，剥離・鉄筋露出について示す．床版のひび割れは種々の劣化，疲労および施工不良等により発生する．遊離石灰は，締固め不良のコンクリート，ひび割れ，施工不良の目地などを通じて浸透した水に，コンクリート中のセメント成分が溶出し，石灰を形成して白色の線あるいは斑点がコンクリート表面に生じる現象である．遊離石灰はひび割れに伴って発生する．剥離・鉄筋露出はコンクリートの劣化あるいはかぶり不足などが原因でコンクリート中の鉄筋が腐食膨張しコンクリートが剥離する損傷である。

損傷	損傷度 判定区分	対策工法	単位	施工単価	備考
床版ひび割れ 遊離石灰	OK	対策無し	—	—	
	IV	表面被覆工	m <sup>2</sup>	¥20,000	保護塗装工法
		対策無し	—	—	
	III	ひび割れ注入工	m <sup>2</sup>	¥35,000	ひびわれ密度4.0m/m <sup>2</sup> を想定
		対策無し	—	—	
	II	鋼板接着工	m <sup>2</sup>	¥80,000	
		対策無し	—	—	
I	床版打ち換え工	m <sup>2</sup>	¥350,000	既設床版撤去+新規床版設置	

損傷	損傷度 判定区分	対策工法	単位	施工単価	備考
剥離・鉄筋露出	OK	対策無し	—	—	
	IV	表面被覆工	m <sup>2</sup>	¥20,000	
	III	断面修復工	エレメント	¥50,000	小断面
	II	断面修復工	エレメント	¥100,000	大断面
	I	部材取替え工	エレメント	¥1,000,000	

なお、本損傷は他のコンクリート部材にも共通して使用できるため、工事費の単位はエレメントとした。そのため工事費の値が、精度を欠くことは否めない。

### 3.2.2 コンクリート橋脚・橋台

鉄筋コンクリート橋脚・橋台における欠陥としては、ひび割れ、剥離その他上部構造に見られるものと同様な損傷の他、橋台の変位、橋台・橋脚の洗掘などがある。コンクリート橋脚の変形は、直接目視によって発見されることは少なく、ひび割れや剥離などの変状に関連して検知されることが多い。一般に、変形量はきわめて小さい。よってコンクリート橋脚・橋台の主要な損傷としてひび割れ、剥離等が考えられる。

損傷	損傷度 判定区分	対策工法	単位	施工単価	備考
ひびわれ	OK	対策無し	—	—	
	IV	表面塗布工法	m <sup>2</sup>	¥10,000	
	III	注入・充填工法	m <sup>2</sup>	¥35,000	
	II	断面修復工法	エレメント	¥50,000	
	I	外ケーブル工	m	¥200,000	

なお、コンクリート橋脚・橋台の剥離・鉄筋露出はコンクリート床版の区分けと同じとする。

### 3.2.3 鋼桁

鋼桁の塗膜劣化・腐食は、橋梁の外的環境によって経年的に進行する。その主な原因は鋼桁の付着物（水分、塩分等）による錆であり、通常鉄面における、錆の発生を防ぐためにペイント塗装が施されている。変状過程としては、まず鋼桁表面に錆が発生し、塗装が剥れはじめる。塗装が剥れて、鋼桁の鉄面にまで達すると、鋼桁に欠食（断面の減少）が生じ、耐荷力に影響を及ぼし始める。欠食がさらに進行すると、孔食（鋼桁に孔があく）を生じ、耐荷力が許容範囲を超えることも考えられる。

対策としては、欠食に至るのを防ぐために、塗膜の剥離が見られた時にペイントを再度施す。塗膜の剥離の程度によって、その際に用いる塗料の種類は異なる。欠食にまで至ると、塗装では変状の進行を防ぐことは難しく、変状箇所の補強が必要となる。変状が進行し孔食が生じはじめ、耐荷力を示す指標が著しく低い時は、部材そのものを交換する。

損傷	損傷度 判定区分	対策工法	単位	施工単価	備考
塗装劣化・腐食	OK	対策無し	—	—	
	IV	再塗装工	m <sup>2</sup>	¥10,000	4種ケレン+C塗装系
	III	再塗装工	m <sup>2</sup>	¥12,000	3種ケレン+C塗装系
	II	当て板補強工	エレメント	¥200,000	
	I	部材取替え工	エレメント	¥1,000,000	

亀裂は、構造上の欠陥により発生する亀裂と、応力の繰り返しによる疲労亀裂に分類することができる。ここでは、疲労亀裂の維持修繕政策について説明を行う。疲労亀裂は、経年的に疲労が累積していき、変状が現れる。そのため変状が発見しにくいことが多い。また、発生した後、疲労亀裂は急速に進行する恐れがある。亀裂は発見された時には既に耐力に影響を及ぼしている。亀裂が進行すると、耐力が著しく低下することも考えられる。

対策としては、疲労亀裂が発見された時には耐それ以上の進行を防ぐために、当て板補強工を行う必要が生じる。また、疲労亀裂が進行し、当て板補強工を行っても、耐力が不十分であれば部材取替え工を行う必要性が生じる。

損傷	損傷度 判定区分	対策工法	単位	施工単価	備考
亀裂	OK	対策無し	—	—	
	II	当て板補強工	エレメント	¥200,000	
		対策無し	—	—	
I	部材取替え工	エレメント	¥1,000,000		

### 3.2.4 支承

支承の変状は、車両等による繰り返し载荷によってシュー座が破損し、続いてその上部に位置するシューの損傷が起こる。シュー座の損傷が比較的軽度であれば、樹脂注入によって、予防的に対策を行うことが可能である。シュー座の損傷度合がひどくなれば、交通に影響を及ぼす可能性もある。上部工の構造的欠陥による亀裂など2次的な損傷を導出することも考えられる。この時はシュー座のモルタルを打ち替えることによりシュー座の補修を行う。また、シュー座の損傷度合がひどく、シューに割れ等が発生すれば、上部工の亀裂など、2次的な損傷を引き起こすことも考えられる。この時は、シュー座の補修と共に、シューの取替も実施する。

損傷	損傷度 判定区分	対策工法	単位	施工単価	備考
シュー損傷	OK	対策無し	—	—	
	III	シュー座補修工	エレメント	¥300,000	樹脂注入
	II	シュー座補修工	エレメント	¥1,000,000	モルタル打ち替え
	I	シュー取替工	エレメント	¥1,300,000	

### 3.3 推移確率

最適修繕計画を求めるために必要な推移確率は、例えば以下のようにして与える。劣化の推移確率行列が

$$P = \begin{pmatrix} 0.85 & 0.1 & 0.05 \\ 0.0 & 0.9 & 0.1 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

だとする。ここで注意しなければいけないのは、何の修繕も行われなければ、状態が回復することはないので、 $p_{ij} = 0$  ( $i > j$ )となっている点、さらに $p_{33} = 1$ となり、マルコフ連鎖における吸収状態となっている点、また損傷形態は必ずいずれかの状態に推移するために $\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$ となっている点である。ただし、ここでいう状態とは前述した損傷度のことである。

次に修繕による推移確率を考える。ある政策の下での推移確率行列が

$$Q_{(1)} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 \end{pmatrix}$$

だとする。この推移確率行列は劣化の状態に関わらず、必ず最良の状態まで修繕することを示す。したがって、修繕を行った場合、状態の推移確率は

$$\begin{aligned} P_{(1)} &= Q_{(1)}P \\ &= \begin{pmatrix} 0.85 & 0.1 & 0.05 \\ 0.85 & 0.1 & 0.05 \\ 0.85 & 0.1 & 0.05 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

の対応する要素となる。以上の推移確率行列 $P$ 、 $P_{(1)}$ を用いれば、修繕を行わない場合、行った場合の状態の推移確率を求めることができる。

今、蓄積した点検データから推移確率を推定することを考える。例えば、ある部材の劣化状態が以下のように3段階(1が最も良い状態)で定義されているとする。今期の点検においてその部材の劣化状態が次のように分布している事がわかったとする。

部材の状態	箇所数
1	20
2	16
3	2

次期の点検において同じ箇所を点検し，その経年劣化を見てみると次のようになったとする。

次期の状態 現在の状態	1	2	3
1	10	10	0
2	0	8	8
3	0	0	2

以上より，推移確率行列は次のように表される。

次期の状態 現在の状態	1	2	3
1	1/2	1/2	0
2	0	1/2	1/2
3	0	0	1

このように推移行列を求めることにより，今期の劣化状態がわかれば，次期の劣化状態を予測できる。

しかし現状では推移確率を推定するのに十分なデータがそろっているとは言い難い。今後，アセットマネジメントシステムの一つである点検・修繕システムを用いて，点検結果データの蓄積を行うことにより，推移確率の精度を高めていくことが求められる。

## 4章 シミュレーション

### 4.1 対象橋梁の概要

国道2号バイパスは加古川B P、姫路B Pと太子龍野B Pからなり、延長は約40 kmである。加古川B Pと姫路B Pは、1965～1975年に整備され、供用後30年が経過している。本路線は、日交通量が10万台を超え、大型車両も多く混入することから、繰り返し荷重による床版や鋼桁の疲労損傷などが今後加速することが予測される。さらに現場打コンクリート部材には海砂使用などの影響からアルカリ骨材反応(ASR)による劣化が懸念されている。このような状況の中で、適切な予防的維持管理を実施しないと将来的な更新費用が大幅に増大する可能性がある。このような背景の下、今回 Ver.0では姫路B P内に位置する山田高架橋を対象にシミュレーションを行う。山田高架橋の緒元データに関しては表 4-1 の通りである。加えて、揖保川大橋についてもシミュレーションを行った。推移確率は、米国のBMS、Pontisを参考にした。各橋梁のエレメント数分布は表 4-2 の通りである。ただし今回は工費の算出法として、エレメントに単価をかけたものであるため、全体的にコストは低めに算出されている。

表4-1：山田高架橋緒元データ

橋梁名	山田高架橋	距離標	自 95.6+ 704 ～ 至 96.0+	橋梁コード	0357
所在地	兵庫県揖保郡太子町～ 至 兵庫県揖保郡太子町			管轄	姫路第二維持出張所
橋梁区分	本線橋	橋長	358. 58m		
橋梁種別	高架橋	最大支間長	31. 125m		
架橋状態	一般道路交差, 更地, 都市部	径間数	12		
交通量	17, 171台(昼間12時間)	大型車27. 8	全幅員	9. 80m	有効幅員 8. 80m
設計示方書	S 4 7道示 T L-20	架設年次	1975年		
構造形式	上部	鋼鈹桁(単純桁)			
	下部	控え壁式橋台(既成鋼ぐい), T型橋脚(既成鋼ぐい)			

注) 交通量の調査年は昭和63年

表4-2:エレメント数

橋梁名称	鋼主桁	コン床版	コン橋台	コン橋脚	合計
揖保川大橋(上り)	268	215	2	12	497
揖保川大橋(下り)	315	266	2	12	595
山田高架橋(下り)	264	216	1	23	504
山田高架橋(上り)	322	276	20	24	642

## 4.2 結果

表 4-3 は各部材ごとに最適な実施タイミングで修繕を行った場合のライフサイクルコストである。すなわち、最小ライフサイクルコストを示す。

表4-3：各部材のライフサイクルコスト

橋梁名称	鋼主桁	コン床版	コン橋台	コン橋脚	全体(百万円)
揖保川大橋（上り）	27,869,464	53,640,974	150,266	601,196	82
揖保川大橋（下り）	27,429,930	30,333,561	30,315	1,147,377	59
山田高架橋（下り）	24,732,007	12,004,163	30,288	810,688	38
山田高架橋（上り）	30,346,246	67,252,610	681,330	1,132,385	99

ただし、「全体」の値のみ単位は百万円であり、その他は円である。この結果より、コンクリート床版、鋼主桁に高額な修繕費が必要になることがわかる。

表 4-4 は各状態に対して取るべき対策工法である。今回の設定では、床版に関して予防修繕すべきである、という結果が出ている。

表4-4：修繕政策

部材区分	劣化機構	劣化状態OK	劣化状態IV	劣化状態III	劣化状態II	劣化状態I
鋼主桁	腐食系	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	部材取替え工
	破損系	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	部材取替え工
コンクリート床版	床版の疲労	補修無し	補修無し	ひび割れ補修工	鋼板接着工法	床版打ち換え工
コンクリート橋台	中性化	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	劣化部はつり+鋼板接着工
	塩害	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	劣化部はつり+鋼板接着工
	アルカリ骨材反応	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	鋼板接着工
コンクリート橋脚	その他	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	部分打ち換え工
	中性化	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	断面修復工+鋼板接着工
	塩害	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	断面修復工+鋼板接着工
	アルカリ骨材反応	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	鋼板接着工
	その他	補修無し	補修無し	補修無し	補修無し	部分打ち換え工



## 5章. おわりに

本報告では、インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究プロジェクトにおいて、平成 15 年度に実施した橋梁管理システム(BMS)の開発に向けた検討結果とそれらを基に試作した BMS プロトタイプシステム(Ver.0)について報告した。なお、本年度実施した検討の多くは、今後の発展的な議論の基礎となるものである。今後はさらに、下記のような検討を行う予定である。

### 1. ネットワークレベルにおけるアセットマネジメントモデルへの拡張

管理対象の橋梁全体をネットワークとして捉え、限られた予算の中で要求される性能に対して最大の効果を得るための最適維持管理計画を作成するアセットマネジメントモデルへ拡張する。システム全体のライフサイクル費用の低減化に資するように各年度の修繕順序を決定するような実用的なルールを導入する(参照：2.3.5 予算制約下での修繕戦略)。

### 2. 橋梁部材間の経済的・構造的相互関係を考慮した BMS への発展

橋梁を複数のサブシステムで構成される複合システムと捉え、構造物を修繕する場合、サブシステム間の構造的関係を考慮に入れながら、修繕政策を行う。例えば、橋梁の床版(下部システム)を修繕する場合、その上に存在する舗装(上部システム)も同時に修繕せざるを得ない。これに対して、橋梁の修繕を実施することにより、交通規制による社会的費用が発生するケースを考える。この時、複数の区間を同時に修繕した方が費用低減につながる可能性が存在する。以上のように、期待ライフサイクル費用の低減の観点から、複数のサブシステムの修繕タイミングを一致させるという修繕タイミングの同期化政策を検討することが必要となる。

### 3. 資産評価モデルの構築

橋梁システムを効率的にマネジメントするためには、過去の修繕の結果として実現した当該会計年度の資産価額を評価し、将来の修繕計画を合理的に作成するための管理会計情報が必要となる。そのためには、橋梁システムの資産評価モデルの構築が必要となる。

#### 4. 管理会計システムとの連携

企業会計においては、売上や利益など目標値の設定とその達成度合いを会計的に測定し、その業績評価・管理と企業行動をコントロールするための管理会計システムが発展してきた。社会資本のアセットマネジメントにおいても、施設の機能を維持するために十分な修繕が継続的に実施されているかを評価し、適切なサービス水準を維持するための予算を自律的に調達するための管理会計システムを構築することが極めて重要である。

#### 5. 点検評価システムの開発

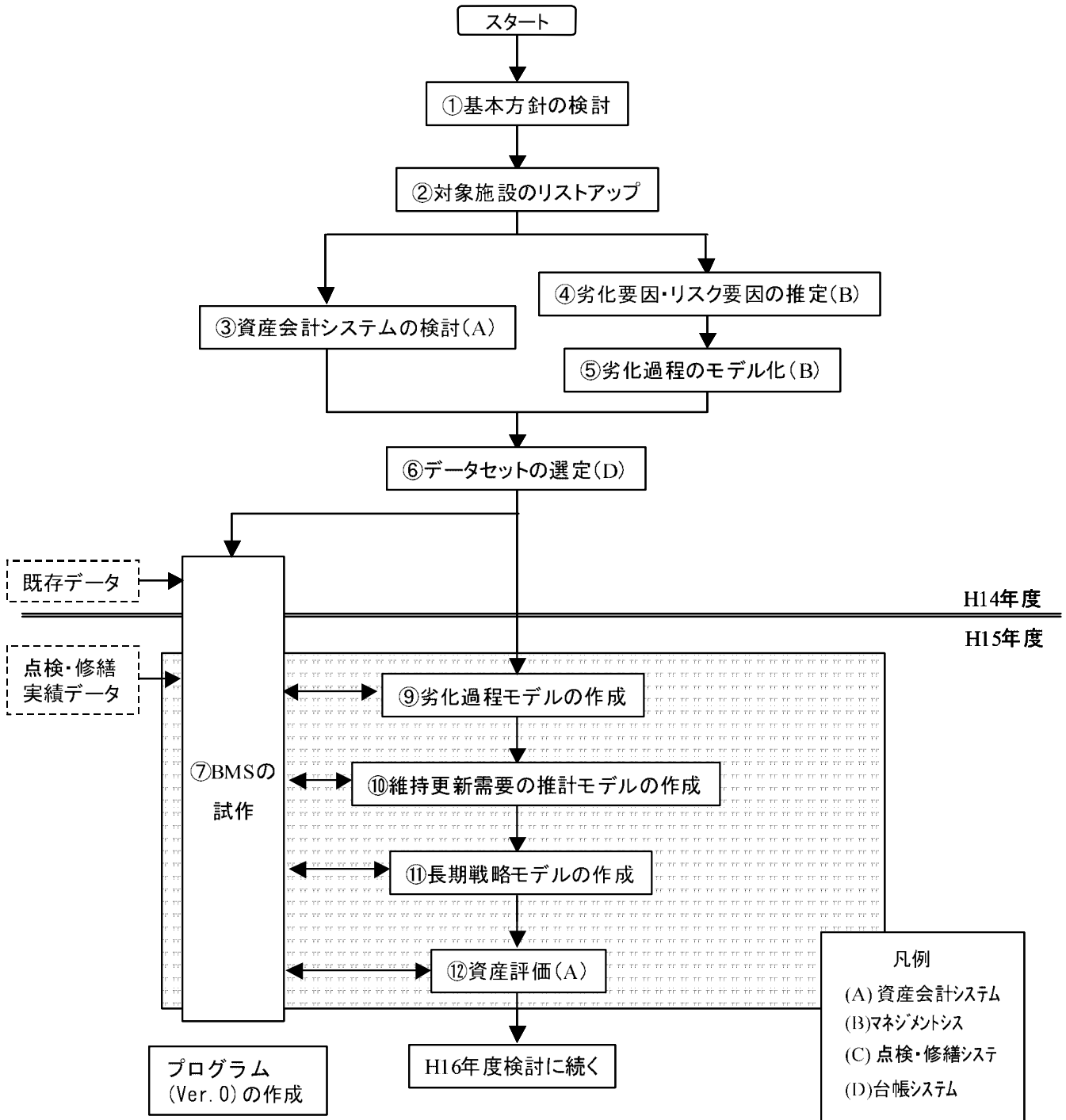
BMS の設計において、劣化予測をモデル化することは非常に重要である。劣化予測の精度が BMS の精度に大きな影響を与える。劣化予測を正確に行うためには点検のシステムを整備しなければならない。点検評価システムを構築することにより自己修正可能な劣化予測モデルを構築することが必要である。

#### 6. 機能更新のモデル化

時間の経過に伴う社会資本の陳腐化や設計変更等による施設の更新の可能性を考慮に入れたアセットマネジメントモデルの定式化を行う。施設の陳腐化等の更新需要を一種のリスクとして捉え、最適更新モデルを構築する。

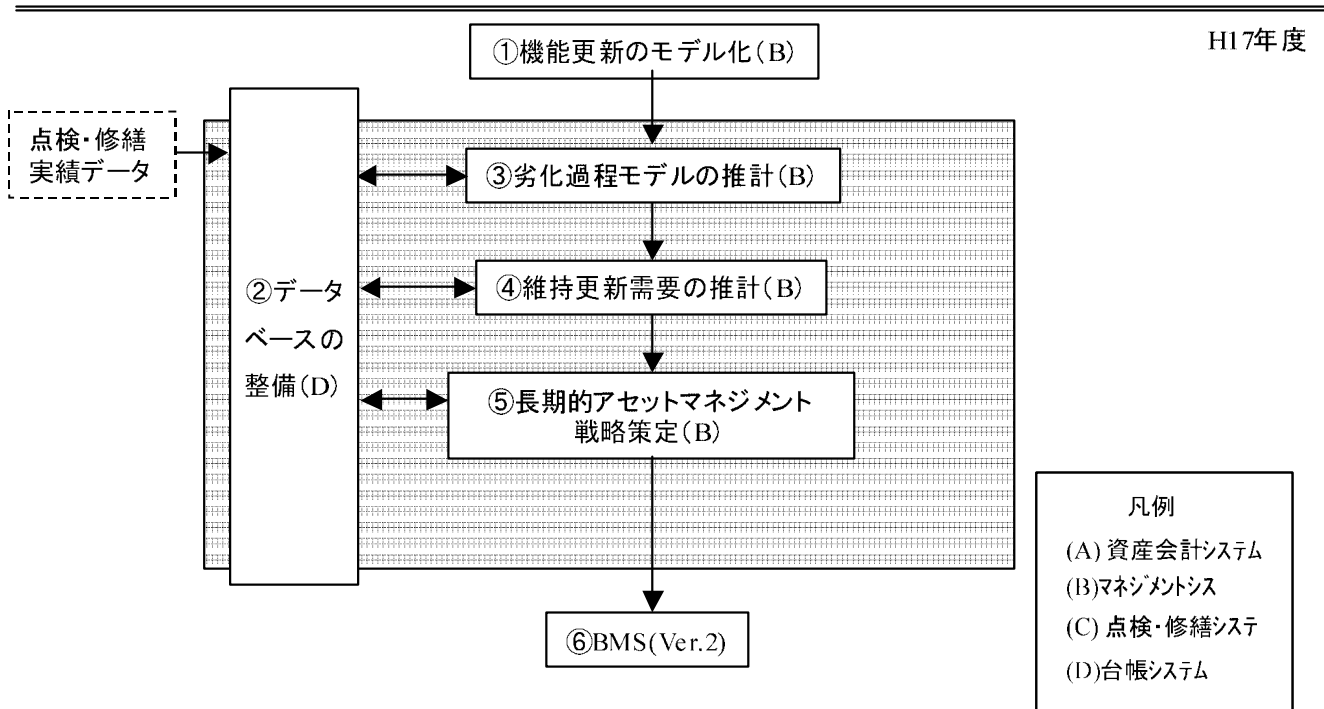
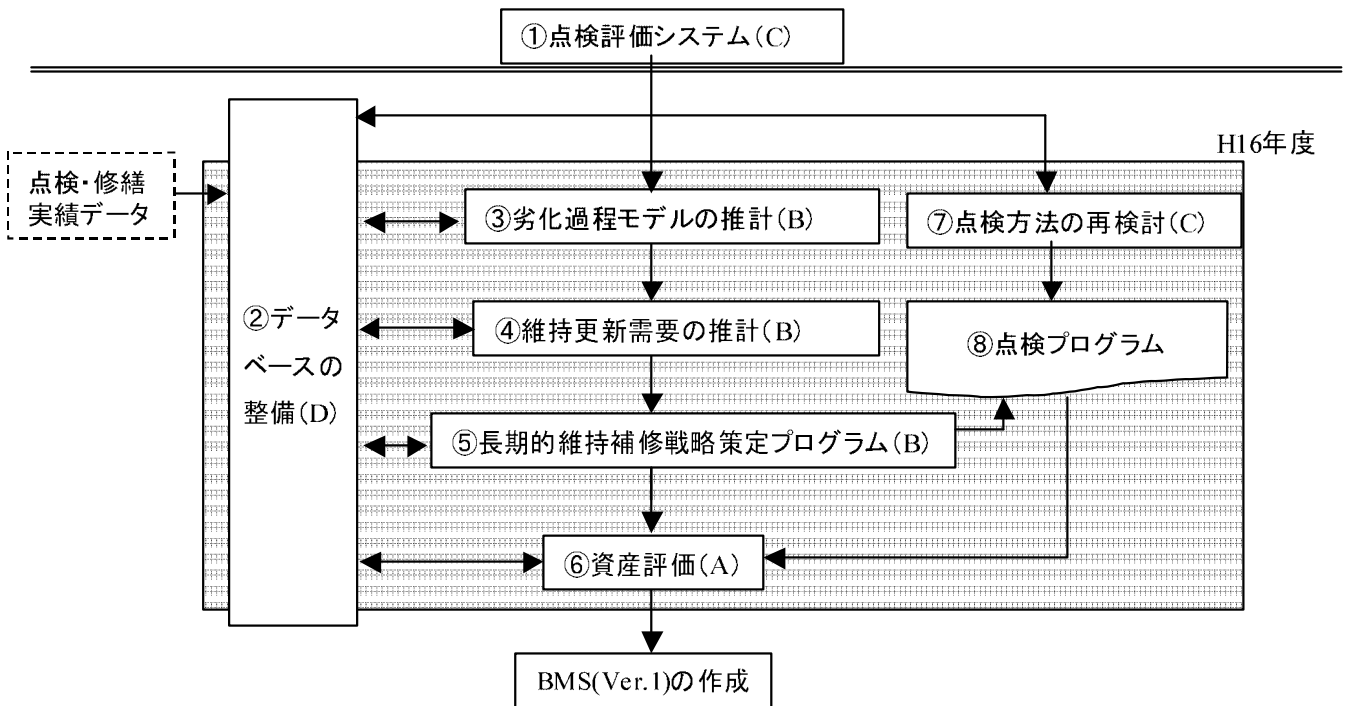
なお、最後に昨年度、今年度、および次年度以降の具体的な研究フロー(案)をインフラ資産評価・管理の最適化に関する研究フローとして示す。

## インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究フロー



注: 網掛け部分は一般国道2号線の一部橋梁を対象として実証分析を行う

## インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究フロー



注：網掛け部分は一般国道2号線全線を対象として実証分析を行う