

# 道路構造物の維持管理システムに関する研究

岩松幸雄\*・早川裕史\*\*・原田隆郎\*\*\*

近年、アスファルト舗装のわだち掘れやコンクリート構造物の早期劣化を引金として、道路構造物の維持管理及びそのシステム化の必要性が高まってきた。本研究では、維持管理はどうあるべきかという維持管理論の設定と共に、それに基づくシステムの開発を行った。維持管理システムにおいては、その構成を①点検システム、②維持修繕システム、③道路管理データベースシステム、④地理情報システムとし、点検システムを除くそれぞれのシステムを構築すると共に検証を行い、その有用性を確認した。

**Keywords :** maintenance management system, maintenance system, data base system for management of road data, geographical information system

## 1. はじめに

「コンクリートクライシス」という言葉に代表されるように、10数年前からコンクリート構造物の早期劣化が問題視され、特に高度経済成長時代に施工された構造物の耐久性について深刻な疑問が提起されてきている。また、道路舗装においても車両の大型化や冬季のスパイクタイヤ等の使用にともない補修頻度が高まっている。

現在、これらの早期劣化に対する防止策として、材の品質管理等における技術的進歩、更には管理担当者の意識の向上が図られているが、今後、驚異的な新素材の開発でもない限り、耐久性の延伸を事前の防止策のみに頼ることには限界が予想される。また、土木構造物の多くが今後ますます厳しい環境下にさらされるようになり、構造物の劣化・損傷が今以上に進行することは避けられない状況でもある。したがって、構造物の劣化・損傷の原因を材の品質、施工管理や環境、気象条件等にはばかり追求するべきではなく、むしろ材そのものの劣化・損傷が必然的なものであると捉え、その必然的な欠陥をも与件として、構造物のライフサイクルの延伸、メンテナンスのあり方等を考えるべきである。

更に、好むと好まざるとに拘らず、21世紀はわが国も高齢化社会に向かうことから、生産年齢人口の比率が高く、貯蓄率も比較的高い水準にあるなどの基盤整備を支える投資余力が維持されている今世紀中に、合理的な補修基準の設定が望まれる。つまり、維持修繕の適正を欠いたために後年の負担が増えることがないように、公共投資の総配分への配慮を施した維持管理のシステム化が望まれているのである<sup>1)</sup>。

以上のような背景のもと、本研究では点検から補修工事までの一連の維持管理業務をより効果的に進めることを目的として、道路構造物の維持管理論と維持管理システムの開発を行った。対象構造物としては、道路構造物の中でもアスファルト舗装とコンクリート橋を取り上げ、これらの研究対象の道路構造物における維持管理論の設定と共に、維持管理の中でも特に考慮されている「診断」「判断」等の部分に関する維持修繕システム、維持管理に関する各種情報を扱う部分に関する情報システムの開発を行った。

## 2. 維持管理の定義及び構成

黒田・内田<sup>2)</sup>は、構造物が時の経過と共に変化(劣化)していくことに対してとられる行動を、総括的に「維持管理」あるいは「メンテナンス」と定義している。また菅原<sup>3)</sup>は、「維持管理」には狭義、広義2つのそれがあるとし、

(狭義) 物理的耐用年数が機能的または経済的耐用年数より短くならないように維持する

(広義) 機能的または経済的耐用年数を延ばすことも含む

と定義している。そして野沢<sup>4)</sup>は、維持管理を「構造物の当初設定された機能を維持するために行われる業務」とした上で、「維持管理」の内容を6つ挙げている。

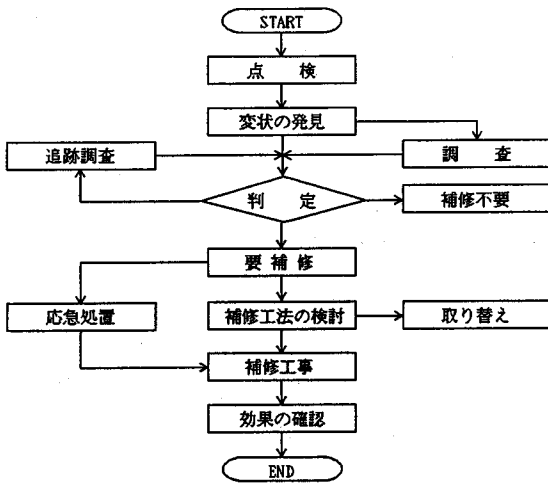
- ① 検査：定期的点検、臨時調査等
- ② 維持：計画時から手当てを必要とされる業務
- ③ 補修(修繕)：計画時に想定しなかった事象によって発生した損傷を回復させる業務
- ④ 取り替え：当初計画と同程度の構造への更新
- ⑤ 改良：当初計画の機能を上回る機能に強化した構造に改良する業務
- ⑥ 廃棄：構造物を撤去し、原状に戻す業務

本研究では、これらを考慮した上で、維持管理を「設

\* 正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科 (〒316 日立市中成沢町 4-12-1)

\*\* 正会員 工修 ㈱長大 情報システム部

\*\*\* 学生員 茨城大学大学院 工学研究科建設工学専攻



図一 維持管理の概念図

計で設定した機能をできる限り少ないライフサイクルコストで目標とするライフサイクルまで、あるいはそれ以上維持するための行為」と定義する。ここで、機能とは耐荷力、耐久性、環境適合性、さらに、安全、快適性をも含んだ総合的なものを考えた<sup>5)</sup>。

次に、維持管理は図一に示すように、

- ① 検査 (点検, 調査)
- ② 補修の要否の判定
- ③ 補修工法の検討
- ④ 補修工事

から構成される。

維持管理の流れを簡単に説明すると、まず構造物の現状データを検査によって得る。そのデータを基に補修の要否の判断、そして補修が必要となれば補修工法の検討を行い、構造物の損傷の度合い、経済性等によって補修工法の決定をする。ここで、補修を行ってもその効果の見込みがないほど構造物の劣化が進行していれば取り替えをする。そして、補修工法の決定に基づき補修工事をし、その効果の確認をして終了とする。

### 3. 維持管理の概念

人間に寿命があるのと同様に、構造物にもその形、機能を維持するには限界がある。これは「形あるものは必ず滅する」という言葉のとおり万物共通の真理である。

ここで人間と構造物を比較してみると、表一に示すように人間の懐妊期間から出産、あるいは教育期間までを含めた段階が、構造物の調査、計画、設計、施工までの段階に相当し、成人して親元を離れ老人になるまでの段階が供用開始から劣化していく段階に相当する。人間はこの間に病気や怪我をした場合、医療によってそれを克服しながら寿命を延ばしているが、これと同様のこと

表一 人間と構造物の比較

人間	構造物
懐妊期間 出産 教育期間	調査 計画 設計 施工
成人 医療 老人	供用開始 維持管理 劣化
死去	撤去

が構造物における維持管理である。

人間が病気や怪我をした場合、その処置を医者の手へ委ねるのが常であり、自分の身体に異常を感じたなら、どこが、どのような症状なのかということをお訴え、その訴えをもとに医者が診断し病気を判断して治療をしてくれる。また、定期的な健康診断を行って、本人が不調を感じる前に異常な箇所を発見し病気を未然に防ぐこともできる。一方、構造物は人間のように症状をお訴えすることができないために、点検により構造物の現状のデータを得て、そのデータを基に管理担当者の判断によって補修や補強を行い「寿命」を延ばしている。しかし、この判断は管理担当者による経験的直感によるところが大きく、医学のように「どこが」「どの様な状態ならば」「どのような処置をする」という公知公認の基準が整備されているとは言い難いという問題が挙げられる。すなわち、

- ① 構造物のどこを、どの様に調べたら良いかという調査基準
- ② 調査により得られたデータに基づいて劣化損傷を診断する診断基準
- ③ 診断に基づいてどのような処置を行うかという判断をする判断基準

を設定することが必要となる。

また人間の場合、病気が見つかったから治療するのは時間や費用もかかり、手遅れになると致命的になる可能性もある。それを防ぐために定期検診や予防接種を行って病気を未然に防いでいるのと同様に、構造物においても劣化・損傷が起こってから補修を行うというような後追いの維持管理ではなく、劣化・損傷を未然に防ぐ予防的維持管理でなければならない。

更に、個人の病歴や検査の結果、診断の結果等のデータはカルテとして保存され、それを基に医者が患者に対する処置を行っている。構造物の場合も同様に、補修履歴、点検データ等のデータは効果的な補修を行うためには欠かせないものであり、システムをよりリーズナブル

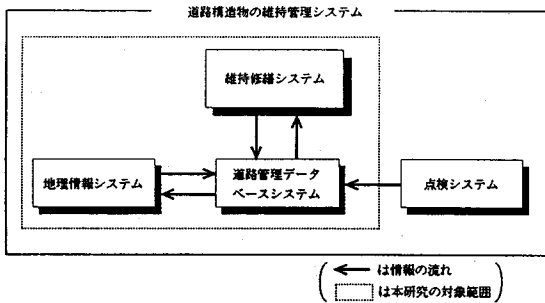


図-2 維持管理システムの構成

なものとするためにも整備されたデータが必要である。そして、そのデータを効率よく利用するためには、それらのデータをデータベースに収納して、データベースシステムで管理することが必要である。

以上が維持管理の概念であり、本研究ではこの概念を基に維持管理業務のシステム化を試みた。

#### 4. 維持管理システムの基本構想と支援サブシステム

##### (1) 維持管理システムの基本構想及び構成

前節で述べたように、維持管理の基本概念は、設計で設定した機能をできる限り少ないライフサイクルコストで目標とするライフサイクルまで、あるいはそれ以上維持するという目的のために「どこを」「いつ」「どのような工法」で維持修繕するかを合理的、経済的に決定することである。維持管理システムもこの概念を基本として構築している。また維持管理は、

- ① 検査 (点検, 調査)
- ② 補修の要否の判定
- ③ 補修工法の検討
- ④ 補修工事

から構成されているが、維持管理システムはこれらの中の④補修工事を除く、①検査 (点検, 調査)、②補修の要否の判定、③補修工法の検討を支援するものとした。すなわち、維持管理システムは①検査 (点検, 調査) を支援する点検システムと、②補修の要否の判定及び③補修工法の検討を支援する維持修繕システム、さらに点検や維持修繕業務から発生した各種情報を管理する道路管理データベースシステムと地理情報システムから構成されるとした (図-2 参照)。

本研究では点検システムを除いた、維持修繕システムと道路管理データベースシステム、地理情報システムについて検討を行った。

##### (2) 支援サブシステム

- a) Saw Type 理論曲線と Willow Type 理論曲線  
土木構造物の劣化のタイプは大きく分けると、補修に

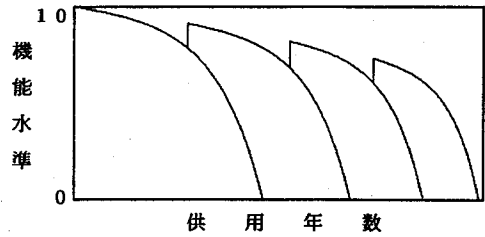


図-3 Saw Type 理論曲線の概念図

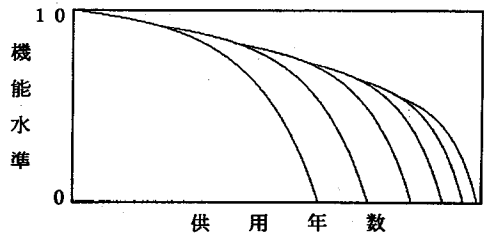


図-4 Willow Type 理論曲線の概念図

より機能水準がある程度回復するタイプ (Saw Type) と、補修により機能水準が回復しないタイプ (Willow Type) があると想定できる (図-3, 図-4 参照)。そして、機能水準の代表として Saw Type ではアスファルト舗装の走行性を、Willow Type ではコンクリート橋の力学的特性を取り上げモデル化した<sup>6)</sup>。以下に各曲線の理論式を示す。

##### ○ Saw Type 理論曲線

$$Z = Z' - R$$

$$Z' = Z_m + 0.7 \cdot (Z_{am} - Z_m) \cdots \text{表面処理の場合}$$

$$Z' = Z_m + 0.8 \cdot (Z_{om} - Z_m) \cdots \text{オーバーレイの場合}$$

$$R = \alpha \cdot a \cdot y^{b \cdot \exp(LCC)} \quad a = 0.176, b = 0.267$$

$$\alpha = \exp\left(\frac{(10 - Z_m)^c}{K_1}\right) + \exp\left(\frac{M_y^d}{K_2}\right) - 1$$

$$LCC = \frac{3.007}{1 + 2.007 \cdot \exp(-0.03419 \cdot y)}$$

$$y = Y - M_y$$

..... (1)

ここで、 $Z$ : 機能水準、 $Z'$ : 補修によって回復した機能水準の値、 $R$ : 補修後の機能水準、 $Z_{am}$ : 前回の補修によって回復した機能水準の値、 $Z_{om}$ : 前回のオーバーレイによる補修によって回復した機能水準の値、 $a, b$ : 定数、 $Y$ : 新設後の供用年数、 $LCC$ : ライフサイクルに係わる係数、 $Z_m$ : 補修時の機能水準、 $M_y$ : 補修時の経過年数、 $\alpha$ : 補修時の機能水準と補修時期、補修工法の影響を表す係数、 $K_1, K_2, c, d$ : 補修工法別の  $Z_m$  と  $M_y$  に影響を与える係数 (表面処理の場合  $K_1 = 40, K_2 = 39, c = 2, d = 1.4$ 、オーバーレイの場合  $K_1 = 35, K_2 = 39, c = 2, d = 1.4$ ) である。

○Willow Type 理論曲線

$$Z_i = 10 - R_i$$

$$R_i = \alpha_i \cdot a \cdot y^b \cdot \exp(aCC) \quad a=0.04116, b=0.2726$$

$$LCC = \exp(-L) + 0.5 \cdot \frac{3.007}{1 + 2.007 \cdot \exp(-0.03419 \cdot y \cdot \alpha_i)}$$

$$y = \exp \frac{10 \cdot (Y - M_i)}{(10 - \sum R_i)} = \alpha_i \cdot (Y - M_i) \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $Z_i$ :補修時の機能水準、 $R_i$ :補修または新設時における劣化度、 $a, b$ :定数、 $Y$ :供用年数(新設後の経過年数)、 $LCC$ :ライフサイクルに係わる係数、 $M_i$ :補修時の経過年数、 $\alpha_i$ :補修時の機能水準による影響を表す係数、 $y: \alpha_i \times$ (補修後の経過年数)である。

この理論曲線では補修履歴を入力することによって、現在および将来の機能水準の予測をすることができる。維持管理システムにおいては、補修時期の判断や維持修繕計画の策定等に利用している。

b) 数理計画法

数理計画法とは「与えられた制約条件のもとで、ある目的を達成するための手段」である。維持管理業務においては、管理区域内の構造物を限られた予算内で如何に効率よく補修を行うか、またひとつの構造物において限られた補修工法の中でライフサイクルコストを如何に小さくし、ライフサイクルを延伸させるか等を決定するために用いることが考えられる<sup>7),8)</sup>。

維持管理システムにおいては、予算等の制約条件に対する補修構造物の決定、及びライフサイクルを伸ばしライフサイクルコストを小さくする補修工法と補修時期の決定に利用している。

c) ファジ理論

維持管理業務で扱うデータは必ずしも確信の持てるものでなく、「あいまいさ」を伴うものである。そこで、その「あいまいさ」をそのままシステムに取り入れるためにもファジ理論が必要となる。また、専門家が過去の経験や勘に頼って判断している部分にもファジ理論を用いることは有効である<sup>9),10)</sup>。

維持管理システムにおいては、損傷の状態を判断する指標として算出される補修ポイント(損傷ポイント)において、その算出過程でファジ理論を利用している。

5. 本研究で提案する維持管理システム

(1) 維持修繕システム

道路構造物の維持修繕の要否の判断は、これまで道路管理者の経験や勘を頼りにその場その場で処理してきたが、これでは予防的、合理的、経済的な維持修繕とは言えない。そこで管理区域内の道路構造物それぞれに対し、同様の評価で維持修繕を「いつ」「どこを」「どのように」

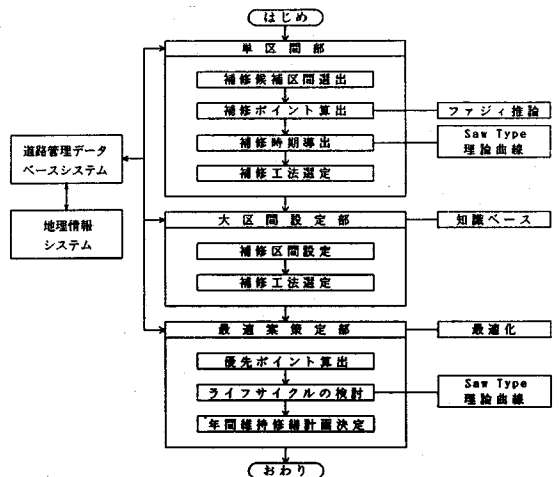


図-5 アスファルト舗装の維持修繕システムのフロー

行うかを判断する維持修繕システムが必要になってくる。本研究では、アスファルト舗装とコンクリート橋に対し維持修繕システムの構築を行った。

a) アスファルト舗装の維持修繕システム<sup>11)</sup>

○単区間部

維持修繕システム運用の際に最も重要となるのは路面性状データである。これが100 m単位に収納されていることから(図-5)、100 mの区間を対象区間(単区間)とした。そして、単区間部では補修区間を1つの点として捉えることにより、その1区間だけに着目して「どこを」「いつ」「どのように」補修するかを導出した。

まず、管理区域内の膨大な数の区間の中から、維持修繕の要否を判断すべき区間を補修候補区間として選出した。この補修候補区間の選出に際しては、道路管理者側の指標である維持管理指数 MCI だけでなく、利用者側の指標として乗り心地指数 RCI を導入した。MCI 及び RCI の算出式は次の通りである<sup>12)</sup>。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \dots \dots \dots (3)$$

$$RCI = 8.9 - 1.27\sigma \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $C$ :ひび割れ率(%),  $D$ :わだち掘れ量(mm),  $\sigma$ :縦断方向凹凸量(mm)である。

次に、補修の必要度を表す補修ポイントをファジ理論によって算出した。この補修ポイントが大きいほど路面の状態は悪く、補修の必要度が高いことを表している。算出にあたっては、専門家の過去の経験による判断を反映させたファジ関係(行列で表される)に、区間毎のデータをあいまいさを含ませた形で入力し、得られた結果を非ファジ化して求めた。

更に Saw Type 理論曲線を用いて対象区間の過去と将来を曲線化し、次の補修はいつであるかという補修時期を導出した。ここでは供用限界(サービス性能の限界)なるものを設定し、それを下回らないように将来の補修

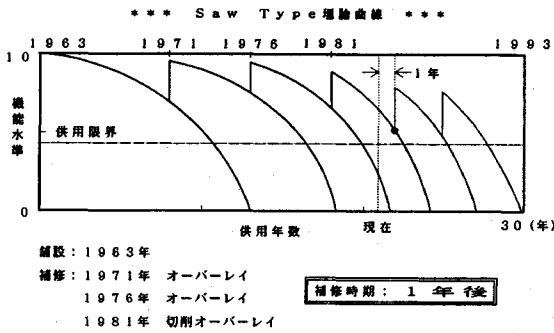


図-6 補修時期の導出方法

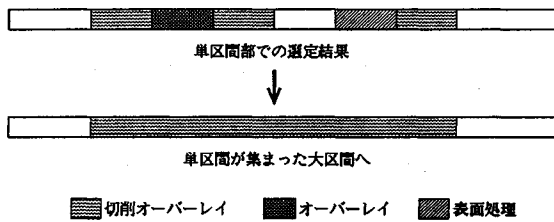


図-7 単区間から大区間へ

すべき時期を導出した(図-6参照)。

最後に、既設舗装の新設時あるいは最新補修時の性能水準と現時点での性能水準の差から求められる構造的健全度  $T$ 、および先に求めた路面性状毎の補修ポイントにより補修工法を選定した。なお補修ポイントの基準値は、損傷の状態にあった補修工法が選定できるように設定した。

○ 大区間設定部

単区間部では 100 m の区間を補修対象区間として検討を進めたが、実際の補修工事は 100 m 毎に工法が変わるような 1 区間単位での補修区間設定を行っていない。そこで、単区間部で得られた結果を踏まえ、実際の補修工事に対応できる補修区間を設定した(図-7参照)。その手順は、① 単区間部での 100 m 単位の結果を考慮し、連続性をもたせて補修工事区間を設定する、② 対象としている区間とその両隣の区間の状況を判断して大区間を作る、③ 設定した補修区間について単区間部で選定された補修工法をもとに外的要因を加味して大区間としての補修工法を再設定するものであり、外的要因には道路利用者、沿道住民への影響を考慮した。

○ 最適案策定部

実際の維持修繕業務では、管理区域内の路線に対し補修区間を現地の路面性状を視察する事によって選出し、「構造的な効果」や「社会的な効果」を検討した上で維持修繕予算を配分していく。ここで「構造的な効果」とは、ひび割れ等の損傷を修復することにより、道路の機能を回復し、安全な交通サービスを提供できることであり、「社会的な効果」とは、路面の損傷に起因する沿道

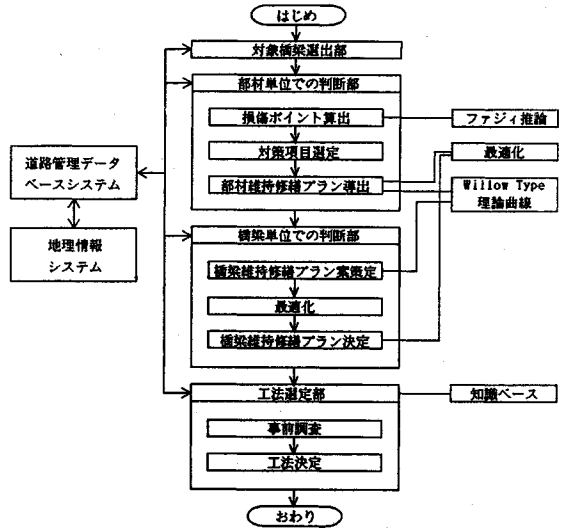


図-8 コンクリート橋の維持修繕システムのフロー

住民や道路利用者などからの苦情や要望に対応した補修をすることにより社会のニーズに応えられることである。また予算は 1 年毎に立てられるために、これらの予算配分に関する検討も毎年行われることになる。

そこで最適案策定部では、大区間設定部で設定された補修区間に優先順位をつけ、今年度維持修繕を行うのに最適な区間を選出して 1 年間の維持修繕計画を策定した。

b) コンクリート橋の維持修繕システム<sup>13)</sup>

○ 対象橋梁選出部

管理区域内には多数の橋梁が存在し、その中には維持修繕の対策を行う必要のない橋梁も多数存在する。これらすべての橋梁に対して維持修繕の必要性等を本システムにより判断させるとすれば、維持管理の効率化という目的を達成することは不可能となる。そこで、維持修繕の必要性判断対象とする橋梁を限定し診断・判断の対象とした。

○ 部材単位での判断部

橋梁は、各部材または部位によって、損傷の種類や規模、進行性、それに対する対策・工法、及びその判断基準等が異なる。そこで本研究では、部材単位で損傷ポイント算出、対策項目選定、部材維持修繕プラン導出を行った。

まず、橋梁の損傷状態を把握するためにファジィ理論を導入し、部材単位の現在の損傷状況をポイントによって表現した。次に、先に算出された各部材の損傷ポイントから現時点での損傷状況を把握し、それに対してどのような維持修繕対策(対策項目)を施せばよいかを判断した。本研究では、損傷に対する対応策(対策項目)として「無対策」「追跡調査」「補修」「補強 A」「補強 B」

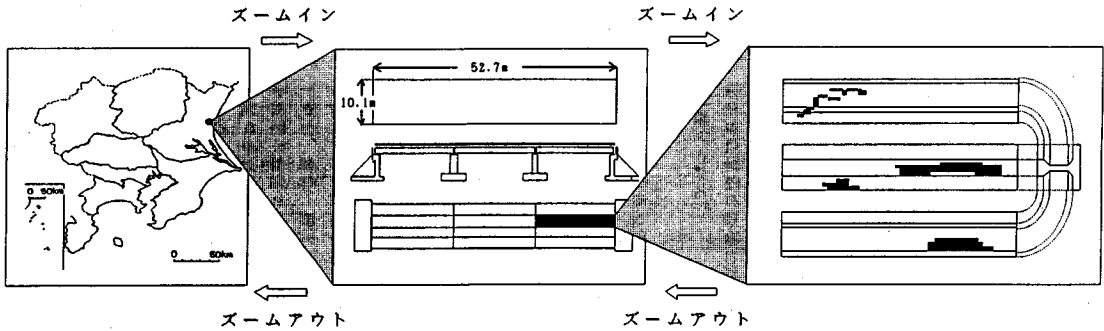


図-9 ズームインとズームアウトの概念

表-2 対策項目の定義

対策項目	内 容
無 対 策	現時点での維持修繕は必要ないが、損傷の有無、種類、位置、程度(規模)等、内容が明らかになるように記録する。
追跡調査	点検により発見された損傷や異常が、直ちに補修などの手当を必要としないが、今後それが進行して、構造物の耐荷力や耐久性に悪影響を与える恐れのある場合に行う。
補 修	耐久性の確保あるいは現有の耐荷力の保持のために対策を施す。
補 強 A	一部分の補強で可能な場合、部材の耐荷力向上を目的として対策を施す。
補 強 B	部材全体の補強が必要である場合、部材の耐荷力向上を目的として対策を施す。

の5つを取りあげた(表-2参照)。

最後に、各部材における将来の維持修繕計画(維持修繕プラン、最適な維持修繕対策の時期、及び工法)を支援サブシステムで述べたWillow Type理論曲線により導出した。この時の制約条件としては「ライフサイクルが50年以上」「ライフサイクルコストの最小化」というTrade offの関係にある2つを採用し、費用便益の最も良いものを最適な部材維持修繕プランとして導出した。

ここで費用便益とは、維持修繕費用1単位で、どれだけ期間橋梁を供用できるかを表したもので、算出式は次の通りである。

$$CBR = LC / \sum_{n=1}^N C(n)$$

ただし、CBR:費用便益比、LC:ライフサイクル(年)、C(n):n回目の維持修繕費用、N:総維持修繕回数である。

#### ○ 橋梁単位での判断部

実務におけるコンクリート橋の維持修繕は部材単位で行われることは殆どなく、橋梁単位で行われることが通常である。これは、工事の規模、足場費等の関係から、橋梁単位で施工をしたほうが経済的であるからである。

そこで、部材単位で導出された維持修繕プランを橋梁単位で再検討し、1橋単位での維持修繕プランを決定した。

橋梁単位の維持修繕プラン決定の際には、先に導出された部材維持修繕プランが変更されることもあり得るので、ここで同時に部材維持修繕プランの決定も行うことにした。なお、橋梁維持修繕プランの導出及び決定は部材における場合と同様に行った。

#### ○ 工法選定部

本研究における工法選定は維持修繕工法を1つに限定するのではなく、損傷に対してどのような維持修繕対策(維持修繕細目)を施せばもっとも有効であるかを判断し、その内容により行うべき維持修繕工法(維持修繕細目の組み合わせ)を選定するものである。ここで「維持修繕細目」とは、損傷に対する処理のことで、本研究ではプラスト処理、はつり、防錆処理、断面修復等を採用している。

また、工法選定あるいは維持修繕を行う際には事前調査を行うものとし、これにより得られるデータを用いてさらに詳細な損傷状況を把握することにより、損傷原因を究明し、各損傷に対して、その原因及び部材単位で導出されている対策項目を考慮して、的確な維持修繕工法を選出した。

#### (2) 道路管理データベースシステム

舗装、橋梁、あるいはトンネルといった道路構造物の維持管理業務のシステム化を考えたときに、それぞれの構造物ごとにデータベースシステムを構築すれば、多くの共通するデータを各データベースシステムで扱うことになり、入力や更新等の作業でその効率を低下させることになる。そこで情報運用の効率化のためには、あらゆる道路構造物に関する情報を管理するためのデータベースシステム、つまりマルチデータベースシステムが必要となる。

本研究では、道路構造物の中でも、特にアスファルト舗装とコンクリート橋の管理に関する情報を収めた道路管理データベースシステムを構築した<sup>14),15)</sup>。

#### (3) 地理情報システム

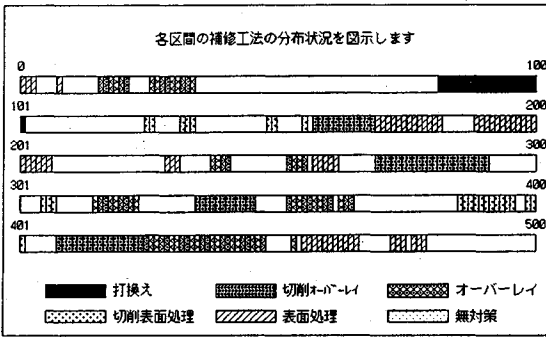


図-10 本システムからの結果

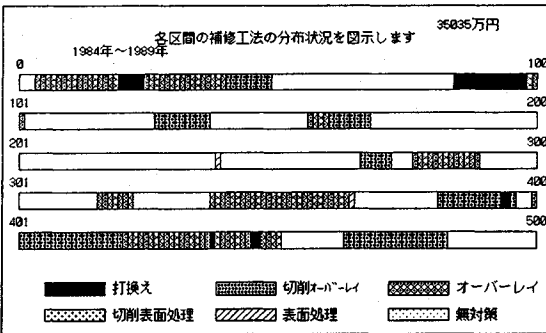


図-11 実験の補修区間

道路管理あるいは道路の各維持管理システムの情報は、路線名、距離標、区間番号等の地理的情報によりその属性が規定されていることから、地図的な表現、地理的な表現ができるということが要求される。地理的な表現とは、管理対象区間の実態を点、線、あるいは面として捉え、ミクロ的なスケールからメソ、マクロ的なスケールまでズームアウト、ズームイン(図-9参照)して表現されるものである。ここでいうマクロスケールデータとは、路線にある構造物の種類やその存在する位置などの情報であり、メソスケールデータとは、環境、橋梁諸元、補修履歴といった個々の構造物に関する属性データである。またミクロスケールデータとは、損傷状況などが構造物のどこにあるかといった情報である。このように道路管理で扱う情報はスケールが異なるため、ズームイン、ズームアウトによってイメージ的な情報として表現できるよう構築した<sup>14),15)</sup>。

## 6. 検 証

### (1) アスファルト舗装の維持修繕システムの検証

アスファルト舗装の維持修繕システムに対して、実際に測定されたデータを入力し運用した。使用するデータは、建設省常陸工事事務所で管理する国道6号線(総延長48.3 km, 下り線のみ, 総区間数483)に対して測定されたデータである。また入力するデータのうち、沿道の状況、歩道の状況、過去の補修履歴、年間の予算等に

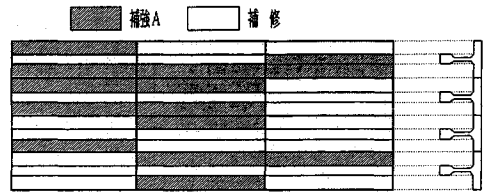


図-12 システムの運用結果(1976年)

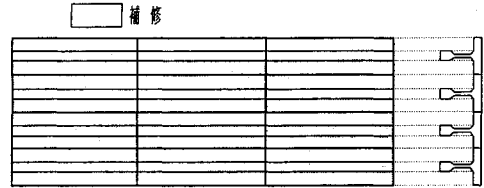


図-13 実際の対策例(1977年)

表-3 R橋の実例と本システムの運用結果の費用便益の比較

	第1回目の対策	費用便益	
	実際の対策	1977年・補修(全部材)	7.14
本システムの運用結果	1976年・補修(22部材)	7.20	平均 7.27
	1976年・補修A(14部材)	7.37	

関するものは入手できなかったため仮定で補った(図-10, 図-11参照)。

補修区間設定では、単区間部からの結果を踏まえた上で、実際の補修工事を想定した場合の補修区間の設定が可能となった。また実際に補修工事を行った区間との比較でもかなり一致した結果が得られたが、補修工法の選定については、今後も知識ベースの見直し、改良が必要である。また、補修が必要と判断された区間が実際には補修されていない箇所も見受けられ、実際の維持修繕が後追的なものになっていることを示すものと考えられる。このように本システムを年度毎に運用することによって、①補修の重要性を認識させるための材料とする、②年度毎に必要な維持修繕のための予算の確保を図る、等で、実際の維持修繕業務を支援していくことが可能になると思われる。

### (2) コンクリート橋の維持修繕システムの検証

コンクリート橋の維持修繕システムに対して、実橋(R橋)の過去の補修履歴と、過去のある時点の点検データをシステムに入力することにより導出された結果とを比較した。

点検データ、履歴データをシステムに入力し運用した結果、図-12に示すような対策時期、ならびに部材単位の対策項目が導出された。システムの運用結果では、その年(1976年)以降第1回目の対策を1976年に行っており、その対策項目は部材単位で異なっている。また履歴データによるすべての部材の履歴は同じであったこ

とから、実際にはすべての部材に対して1977年に補修が行われていた(図-13参照)。

これは、実際の対策ではその時点の損傷状況から対策を行う判断をしているのに対して、本システムではその時点の損傷状況は対策を行う判断をする一つの指標にすぎず、必ずしも損傷状況のみで行う対策を決定しているのではないことによると思われる。

表-3にR橋の実際の対策結果に対する費用便益と、本システムの導出結果に対する費用便益を比較した結果を示す。この結果は、実際行われた第1回目の対策時期(1977年)が本システムで求めた最適な維持修繕プランより1年遅れているために、本システムの結果よりも費用便益が小さくなったことを示していると考えられる。

また、本システムの結果において補強Aを行う部材が14部材もあるにも拘らず、1年後補修を行った実例よりも費用便益が大きいことから、維持修繕を行う時点においてはコストが高くても、ライフサイクル全体を考慮したコストは低く抑えられており、本システムが予防的・予測的な側面を含んでいることが確かめられた。

## 7. おわりに

本研究では、道路構造物であるアスファルト舗装とコンクリート橋を対象として、その維持管理論の設定とシステム開発を行った。維持管理論では、設計で設定した機能をできる限り少ないライフサイクルコストで、目標とするライフサイクルあるいはそれ以上維持するという目的のために、「どこを」「いつ」「どのような工法」で維持修繕するかということ、合理的、経済的に決定することであるという概念を設定し、システム開発では、それに基づく維持管理システムを構築できた。

しかし、維持管理システムのエキスパートシステム化<sup>16)</sup>をはじめ、維持修繕工法の標準化、支援サブシステムとして利用したSaw Type理論曲線やWillow Type理論曲線の改良<sup>17)</sup>、そして維持管理業務に必要なデータの整備等の課題が残されていることも事実であり、これらの課題を解決していくことで、維持管理業務のより効果的な実施が可能となるものである。そして、本論文はその第一稿でもある。

## 参考文献

- 1) 建設大臣官房政策課 政策分析調査室：建設省所管公共施設の維持・管理及び更新に関する調査，1985年3月。
- 2) 黒田勝彦・内田 敬：土木構造物の補修・更新投資モデル，土木計画学研究，講演集No.11，1988年11月。
- 3) 菅原 操：メンテナンス—今後の展望，土木学会誌，1979年10月。
- 4) 野沢三三：メンテナンスの経済的側面，土木学会誌，1979年10月。
- 5) 早川裕史・岩松幸雄：維持管理の概念に関する一考察，土木学会第45回年次学術講演会，講演概要集6，1990年9月。
- 6) 岩松幸雄・田辺秀介・早川裕史：維持管理システムにおける土木構造物の劣化を表すモデルの提案，土木学会第43回年次学術講演会，講演概要集4，1988年10月。
- 7) 五十嵐日出夫・山村悦夫・山形耕一他：土木計画数理，朝倉書店，1976年9月。
- 8) 坂口 実：数理計画法，培風館，1968年6月。
- 9) 菅野道夫：ファジィ制御，日刊工業新聞社，1988年。
- 10) 水本雅晴：ファジィ理論とその応用，サイエンス社，1988年2月。
- 11) 小林正治・岩松幸雄・黒沼秀友：アスファルト舗装の維持修繕システムに関する研究，土木学会第45回年次学術講演会，講演概要集6，1990年9月。
- 12) 建設省道路局国道第一課，建設省土木研究所：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する基礎的研究，1984年，1985年，1986年。
- 13) 原田隆郎・岩松幸雄・黒沼秀友・小森俊秀：コンクリート橋の維持修繕システムに関する研究，土木学会第45回年次学術講演会，講演概要集6，1990年9月。
- 14) 岩松幸雄：新体系土木工学4，電子計算処理，技報堂，1984年12月。
- 15) 小森俊英・岩松幸雄：道路管理データベースシステムに関する研究，土木学会第45回年次学術講演会，講演概要集6，1990年9月。
- 16) William, A.H. and Dennis, J.H.: Computer Model for Life-Cycle Cost Analysis of Statewide Bridge Repair and Replacement Needs, Transportation Research Record 899.
- 17) 阿久澤孝之・岩松幸雄・早川裕史：道路構造物の劣化・損傷を表現するモデルの提案，土木学会第46回年次学術講演会，講演概要集6，1991年9月。

(1991.7.31 受付)

## A STUDY ON MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM FOR ROAD STRUCTURES

Sachio IWAMATSU, Yuuji HAYAKAWA and Takao HARADA

In recent years, maintenance and management of civil engineering structures and their systematization have been of importance because of rutted asphalt pavement roads and early inferiority of concrete structures. This study sets up a Maintenance Management theory, and proposes a Maintenance Management System. The Maintenance Management System constitutes; ① Inspection System, ② Maintenance System, ③ Data Base System for management of road data, ④ Geographical Information System, and these three subsystems expect Inspection System are constructed. The efficiency of the proposed systems is demonstrated by verifications of systems.