

## 阪神高速道路におけるライフサイクル評価の一手法

大阪建設局 建設企画部 調査第一課 加賀山 泰一  
保全施設部 保全企画課 広瀬 鉄夫  
保全施設部 保全企画課 丹波 寛夫

### 要 旨

阪神高速道路は、1964年（昭和39年）に供用を開始し、現在までに供用延長が221.2kmに達し、このうち供用後15年以上経過した延長は129.3kmとなり、全体の半分以上を占める状況にある。今後、構造物の維持管理の重要性は一層高まることとなるが、供用年数の長い橋梁数の増加に伴い、維持管理費の増加は避けられない問題となる。このような情勢を踏まえ、土木関係の維持修繕費の中で過去より比較的大きなウェートを占めている工種（塗装、舗装、伸縮継手等）について、保全情報管理システムに蓄積されているデータ等を用い、コスト軽減に向けたライフサイクル評価を行った。その結果、塗装塗り替えにおける仮設備と塗装仕様、舗装補修における舗装種別、伸縮継手補修における施工規模、コンクリート構造物補修における補修時期など、それぞれの項目とコスト関係について、概ねの傾向とそれぞれの課題が把握できた。

キーワード：ライフサイクル，維持管理，塗装，舗装，伸縮継手，コンクリート構造物

### まえがき

阪神高速道路は、1964年（昭和39年）に供用開始し、現在の供用延長は221.2kmに達しているが、このうち供用後15年以上経過した延長は129.3kmとなり、全供用延長の半分以上を占める状況にある。構造種別では、阪神高速道路における全管理構造物のうち、約72%（管理延長比）は鋼橋であるという都市内高速道路を象徴する状況である。

一方、将来における構造物の維持管理の重要性は一層高まり、供用年数の伸びに伴う維持管理費の増加は避けられない問題となるが、厳しい財政状況の中、合理的な維持管理が求められている。

阪神高速道路においては上記のとおり橋梁構造物の採用率が高いことから、維持管理業務の対象も橋梁構造物が主体となっている。以下に橋梁構

造物のうち、維持修繕費の中で継続的に大きな割合を占めている塗装、舗装、伸縮継手、及びコンクリート構造物を対象として実施したコスト分析、及びその評価の一例を紹介する。

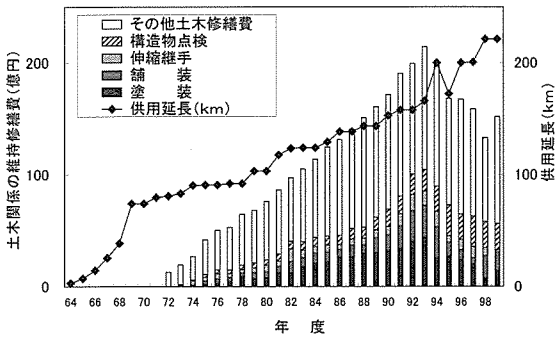
### 1. 維持修繕費の推移

阪神高速道路における維持管理費のうち、土木構造物の補修に係る費用の推移を図-1に示す。

公団では1964年の供用開始以降、構造物を良好な状態に維持するため、様々な維持管理を実施してきたが、管理延長の増加に伴い、維持修繕費は年間3～8%の割合で増加の一途をたどってきた。

これに対し、昨今の厳しい財政状況の中、維持修繕費縮減の要求に対応するために、公団として

様々な施策を実施した結果、1993年度をピークにその後は減少に転じ、現在に至っている。しかしながら、塗装、舗装、及び伸縮継手に関する修繕費は、平均的に土木関係維持修繕費の約3割を占め、これら3工種に関わる合理的な補修計画の立案が、維持修繕費全体の縮減のポイントとなる。



図一 土木関係維持修繕費の推移

## 2. 保全情報管理システムの概要<sup>1)</sup>

維持管理の基本は、構造物を点検し、その内容を評価し、その結果に応じて補修を実施するという単純なサイクルである。これら業務の実施にあたって必要な点検結果や補修履歴をはじめとした各種の情報は、供用路線の伸びや、供用年数の経過に伴い多様化するとともに膨大な量となっているが、将来の維持管理にとって非常に貴重なデータであり、将来予測や、過去の補修効果の分析など積極的に活用する必要がある。

そこで公団では、これらの情報を合理的に蓄積するため、データベースである保全情報管理システムを約10年前に構築し<sup>2)</sup>、その後も必要な改良を加え運用している。その保全情報管理システムのデータ構成は図-2のとおりであり、資産、点検結果、補修工事及びこれに関連する図面などに関する情報を電子化している。これらの内、管理構造物の資産データは全てについて蓄積・管理しているが、点検ならびに補修のデータについては、データ入力に関わる労力等の理由で1985年以降のデータの蓄積にとどめている。

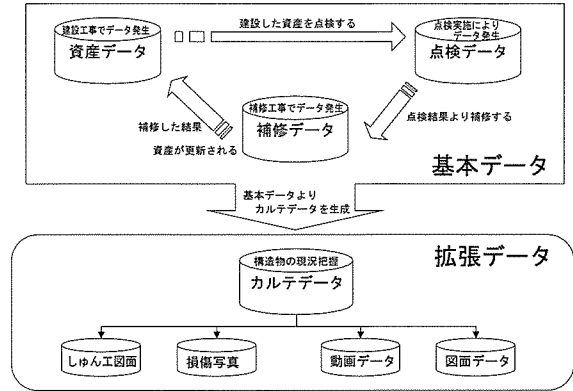


図-2 保全情報管理システム

## 3. データ分析

### 3-1 概要

従前は、保全情報管理システムは過去のデータを蓄積し、検索や集計等に利用してきた。しかし、今後は老朽化した構造物が増え、効率的な維持修繕計画を立案することが重要となり、そのためには過去における点検ならびに補修関係データは、単なる検索・集計だけではなく、将来の構造物の劣化予測など、十分にその有効活用を図る必要がある。

そこで以下に、維持修繕費のうちその執行額が多い工種を対象として、システムに蓄積されている点検データならびに維持補修データを主として利用し、コスト分析などを実施した例を紹介する。

### 3-2 塗装塗り替え

阪神高速道路における過去からの塗装塗り替えに関する状況を把握するため、過去実施した塗装修繕費の累計額、供用延長と供用累積年数及びそれを指標とした単位塗裝修繕費を図-3に示す。この図から、1993年度までは一定の割合で増加していた単位塗裝修繕費が、その後は減少の傾向を示していることがわかる。これは、図-1に示した維持修繕費全体の推移と同様の傾向であり、1995年後は、兵庫県南部地震の被災に伴う復旧や補強工事を優先したことや、塗装塗り替え工事単独ではなく、足場を共用した補修工事の集約など、鋭意進めてきたコスト縮減対策の結果であると考

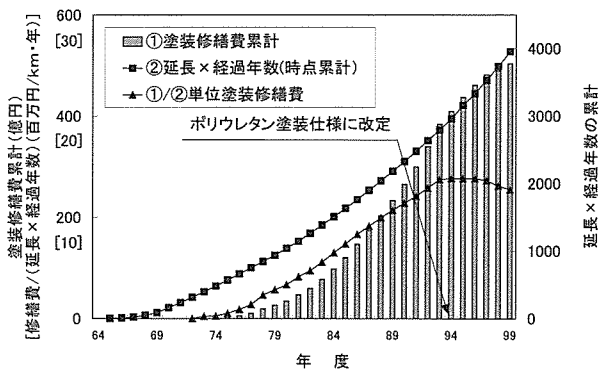


図-3 塗裝修繕費の推移

次に、阪神高速道路における標準塗り替え塗装仕様<sup>3)</sup>であるポリウレタン系塗装(a-3)と、ふっ素系塗装(a-4)、ならびに従来の標準塗装仕様であったフタル酸系塗装を加えた3種類の塗装系を抽出し、各種塗装系と、将来の塗裝修繕費との関係を予測・評価した。

塗装材料については、塗膜厚の衰耗状況や耐用年数に関するデータが極めて少ないのが実情であるが、公表されている暴露試験結果<sup>4)</sup>等から年衰耗率を仮定し、図-4のような塗膜劣化曲線を用いて、今後の塗装塗り替え費を予測・評価するために必要な塗り替え時期を設定した。ここで、塗装塗り替え時期は、上塗りと中塗りまでがすべて衰耗した状態の時に、全面塗り替えを実施するものと想定した。

上記の3種類の塗装系に対し、過去の一般的な実績より求めた工事費と、図-4より求めた各塗装系の塗り替え周期を表-1に示す。この値を用いた今後50年間における各塗装別のトータルコストの試算結果を図-5に示す。

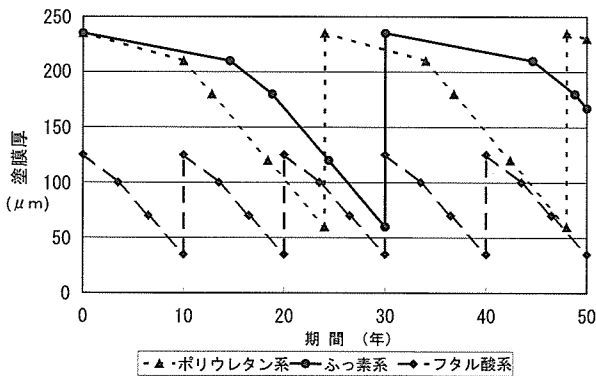


図-4 塗膜劣化曲線

表-1 各種塗装系の工事費と補修周期

塗装系	膜厚 μm	工事費(円/塗装面積㎡)				補修 周期	
		材料	労務	仮設備	経費		
フタル酸	125	272	2,140	900	1,186	4,497 (1.00)	10
ポリウレタン	235	1,000	2,608	1,340	1,771	6,718 (1.49)	24
ふっ素	235	1,601	2,608	1,570	2,069	7,848 (1.75)	30

この結果から、現在の標準仕様であるポリウレタン系塗装は、以前のフタル酸系塗装に比べ、50年間の塗り替え費用を約6割に軽減でき、高い効果を得ていることが確認できる。なお、ふっ素系塗装が、よりコスト低減を期待できることから、今後は、ふっ素系塗装の耐久性について十分検討し、最適な塗装系について評価する必要があると思われる。

一方、過去に公団が実施した塗装塗り替え工事における工事費用の内訳を路下条件別に整理した結果を図-6に示す。この図から、仮設備費が全体工事費に占める割合は、路下条件により15~30%と大きく変化していることがわかる。そこで

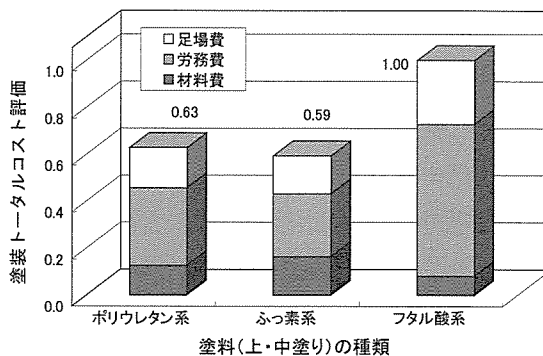


図-5 各塗装系のトータルコスト

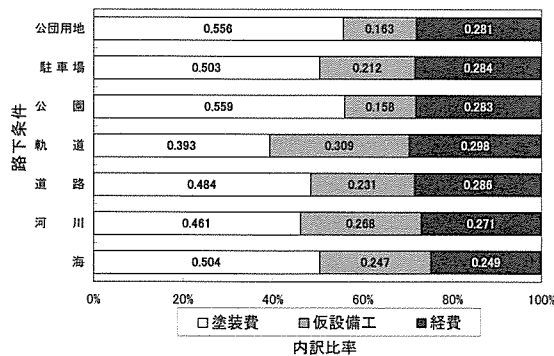


図-6 路下条件別塗装費内訳

仮設備費の割合を変化させた場合、50年間に於けるポリウレタン系塗装とふっ素系塗装の塗り替え工事費を同様に試算した結果を図-7に示す。縦軸はポリウレタン系塗装補修費に対するふっ素系塗装補修費の比率としている。この結果から、仮設備費の占める割合が大きくなる補修ほど、ふっ素系塗装の方がより有利となることが分かる。すなわち、路下条件などに厳しい制約を受ける場合、1回あたりの塗り替え費が高くて、塗り替え周期を長くとれるふっ素系塗装の方がポリウレタン系塗装に比べて、最大で10%以上縮減できる結果を得た。

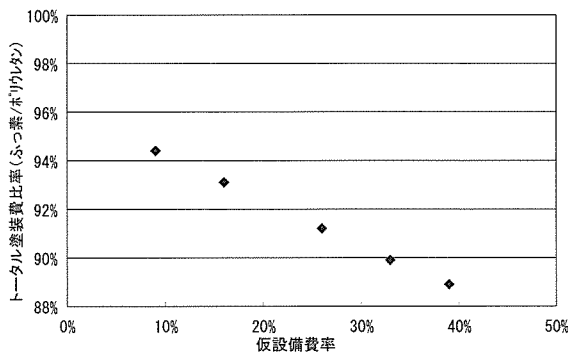


図-7 仮設備費率とふっ素系コスト減少率との関係

以上を基礎資料として、塗装塗り替え費の将来予測を行った結果を図-8に示す。将来予測は、現在管理している構造物の全塗装面積を、表-1に示す塗り替え周期で塗り替えた場合の費用を現在価格で示している。ここで、本評価には社会的割引率を考慮する考え方もあるが<sup>5)</sup>、社会的割引率の設定については、各方面で議論されているが定量化されたものがなく、本報告が基本的なライフサイクル評価を実施することを目的としていることを踏まえ、社会的割引率は考慮しないこととした。なお、本検討にあたっては、単純に各年度の費用のみでは、さまざまな供用年数の構造物が混在する阪神高速道路全体を評価することが困難なことから、次式(1)に示す累積額を指標として評価している。

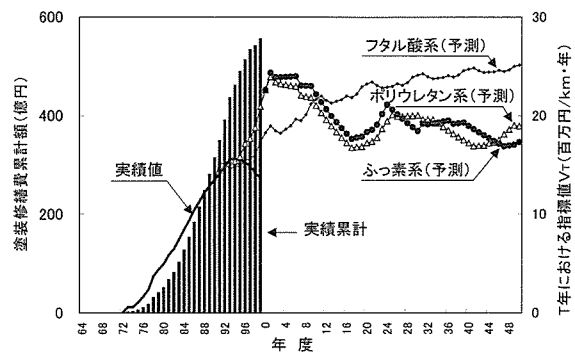


図-8 塗装修繕費の将来予測

$$V_T = \frac{C_T}{L_T} \text{----- (1)}$$

ここに、

$V_T$  : T年における指標値 (百万円/km・年)

$C_T$  : T年までの塗装塗り替え費用の累計額

(百万円)

$L_T$  : T年における (供用延長×経過年数) の

累計 (km・年)

この図から、実績値が予測値に対して低めに推移していることがわかるが、これは、最近実施している塗装塗り替え工事では、仮設備である足場を他の補修工事などと集約し兼用していることや、予定の塗り替え周期に達しても、塗膜の状況から必ずしも塗り替えを実施していないことがその理由と思われる。また、この予測結果では、今後数年間は現行の標準塗装系であるポリウレタン系が、塗り替えコストが増大する傾向を示しているが、中長期的には、短い周期で塗り替えを繰り返すフタル酸系より、塗り替え周期が長くなるポリウレタン系塗装の塗装費が減少する結果を得た。また、2002年ならびに2025年付近で塗り替え費が一時的に増加しているが、これは高度経済成長期に建設された橋梁と湾岸線の橋梁群が塗り替え時期が集中することによるものである。

### 3-3 舗装補修

舗装補修は、修繕費への直接的な影響のみならず、工事に伴う通行規制により、料金収入に影響を及ぼす工種である。ここでは、密粒度改質アスファルト舗装、密粒ギャップ改質アスファルト舗

装, 及び排水性舗装(高機能舗装)を対象として, 補修実績と13号東大阪線等で実施した追跡調査結果とに基づき, それぞれの舗装の補修周期を設定し, 舗装種類別にライフサイクル評価を実施した。なお, 補修周期の設定にあたっては, 表-2に示すように舗装の主たる補修原因となっているわだち掘れを指標とし, 点検結果に基づくわだち掘れ進行量から, 公団基準<sup>4)</sup>において補修が必要とされる値に達するまでの期間を算出し, これを補修周期と設定した。また過去の実績より得られた補修単価を表-3に示す。

表-2 わだち掘れ量点検結果と補修周期

舗装種類	5年間点検結果 わだち掘れ進行量	修繕判定 わだち掘れ量	補修周期
密粒度改質As (表・基層)	3.4mm	12mm※	17.6
密粒ギャップ改質As (表・基層)	2.8mm		21.4
排水性舗装 (表・基層)	1.2mm		50.0

※判定区分B平均値15mmから初期わだち量3mmを減じた値

表-3 舗装工事費と補修周期

舗装	工事費 (円/舗装面積㎡)				補修周期
	舗装費	防水工費	諸経費	合計	
密粒度改質As	3,028	1,767	1,846	6,641 (1.00)	17.6
密粒ギャップ改質As	3,038	1,767	1,850	6,655 (1.00)	21.4
排水性舗装	3,557	1,767	2,050	7,374 (1.11)	50.0

舗装打ち替えに伴う料金収入への影響は, これまでの実績を基に, 1車線規制に伴う平均的な減少交通量に, 大阪地区での料金を乗じた値を基に, 1回の規制工事による補修規模を1,000㎡とし, 舗装の種類に関わらず, 打ち替え1回あたりの料金収入減少額を3,986円/㎡に設定した。

これら舗装の工事費に料金収入の減少額を考慮した50年間におけるトータルコスト試算結果を図-9に示す。これより, 工事費がほぼ同じである密粒度改質アスファルト舗装と密粒ギャップ改質ア

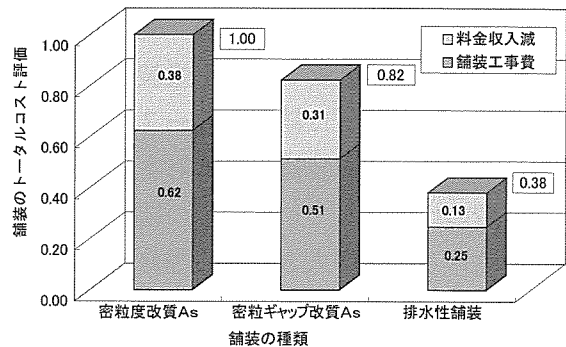


図-9 各種舗装のトータルコスト

スファルト舗装との比較では, 補修周期が長くとれる密粒ギャップ改質アスファルト舗装の方がトータルコストを低減できる結果となっている。また, 既往の点検結果のみに基づく排水性舗装の評価は, トータルコストが非常に小さくなるが, 公団における採用後の年数が短いことや, 現在までの修繕実績が非常に少ないため, 今後の追跡調査や補修実績を見極め, 実態に応じた耐用年数の設定が今後の課題である。

### 3-4 伸縮継手

伸縮継手については, 阪神高速道路において採用実績の多い荷重支持型のゴムジョイントと鋼製フィンガージョイントを対象とし, 3路線における補修実績を分析した補修間隔の結果を図-10に示す。この図から, その補修間隔にはかなりばらつきはあるものの, 平均的にゴムジョイントは10年程度, 鋼製フィンガージョイントは20年以上の耐用年数があることがわかる。さらに詳細な分析を行う目的で, 交通量や上部工形式など, 数種類

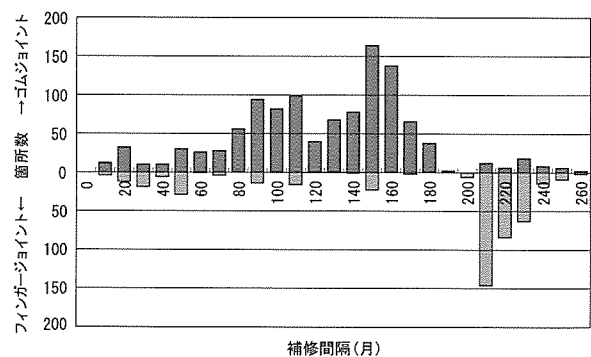


図-10 伸縮装置の補修間隔

の因子による影響も分析した中で、比較的明確な相関関係が得られたのは、図-11に示すように、橋梁端部の遊間部においてブラケット追加などによる端部補強であった。それ以外の因子では明確な傾向が認められず、今後、さらに詳細な検討が必要と思われる。

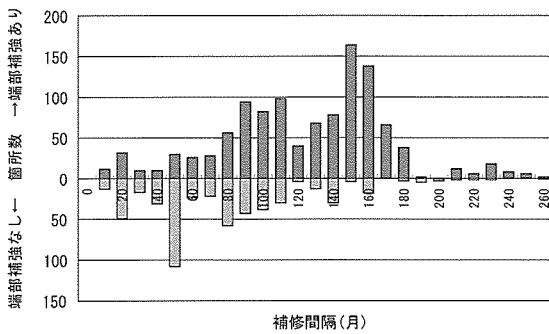


図-11 端部補強の有無による補修間隔

次に、今後50年間における伸縮継手の補修に関わる舗装補修と同様のトータルコストの試算した結果を、図-12、図-13に示す。伸縮継手補修は、舗装補修と同様に、高速道路上の通行規制が伴うことから、その料金収入(減少交通量)への影響についても考慮し、補修周期はゴムジョイントについて図-10の平均値を基に10年とし、一方、鋼製フィンガージョイントについては、この図に示す以外にも未補修のフィンガージョイントが全体の30%以上存在するため、25年に設定した。その結果、1回の規制による補修規模を1箇所とした場合では、鋼製フィンガージョイントの方が30%以上高くなる傾向にあるが、実際の補修では、1回の交通規制で可能な限り補修できる箇所を集約

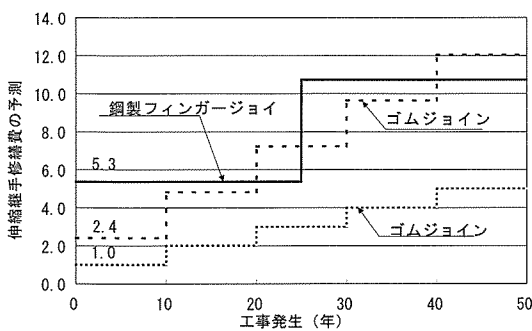


図-12 伸縮継手の修繕時期と工事費比率

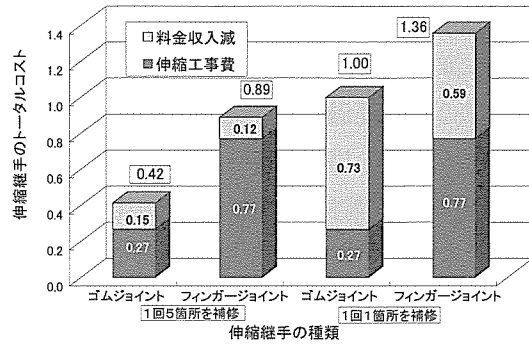


図-13 伸縮継手の修繕箇所数と工事費比率

して実施しているため、その効果を検証するため、1回の交通規制における補修を5箇所とした場合の試算をした。その結果、料金収入への影響のため、1箇所ずつ補修する場合より、5箇所まとめて補修することで、ゴムジョイントの場合では50%以上の縮減効果が得られ、今後は最適な工事規模を検討することが必要である。

### 3-5 コンクリート構造物

最後にコンクリート構造物のうち、比較的損傷事例が多く、点検データの多いコンクリート橋脚の梁部と、PC桁の後埋めコンクリート部を対象とし、過去の点検結果をもとに、劣化曲線を想定し、最適な補修時期の分析・検討を実施した。

供用後35年以上を経過している路線の構造物における点検結果<sup>6)</sup>の推移を表-4に示す。通常、点検の結果Aランク、場合によってはBランクに判定された場合、補修工事が実施されることになり、この結果のみでは損傷の進行状況は正確に把握できない。そこで、この結果から損傷を放置した場合、判定Bの損傷は次の点検時には判定Aへ進展しているものと想定し、将来における損傷の進展状況を図-14のように推測した。これを基に、損傷レベルに応じた標準的な補修<sup>7)</sup>にかかる費用

表-4 RC構造物の点検結果

点検時期	橋脚はり				PC桁の後埋め部			
	基数	A	B	C	OK	径間数	A	B
1980	589	29	53	88	419	—	—	—
1990	—	—	—	—	—	161	0	6
1995	483	14	166	118	185	161	0	22
1999	525	16	131	163	215	161	3	18

を算出した。PC桁の後埋め部に関する補修時期と修繕費の算出結果を図-15に示す。この結果から、例えば30年の経過時点で補修をせずに40年まで放置すれば、その損傷はかぶりコンクリートの剥離や、一部鉄筋の腐食まで及ぶことが想定され、結果として3倍近くの補修費用が必要となり、コンクリート構造物については初期の損傷段階での補修がトータルコストに大きな影響を与えること

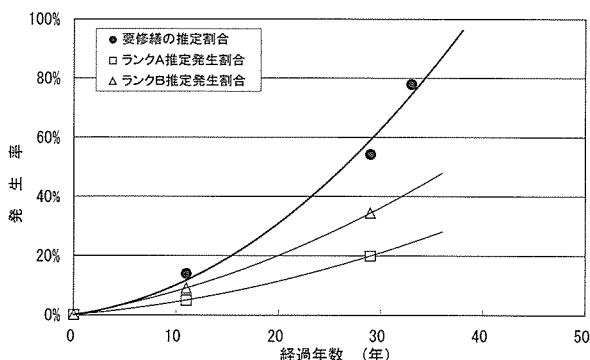
がわかる。これより、今後は最適な補修時期の選定法について検討することが重要である。

#### 4. まとめ

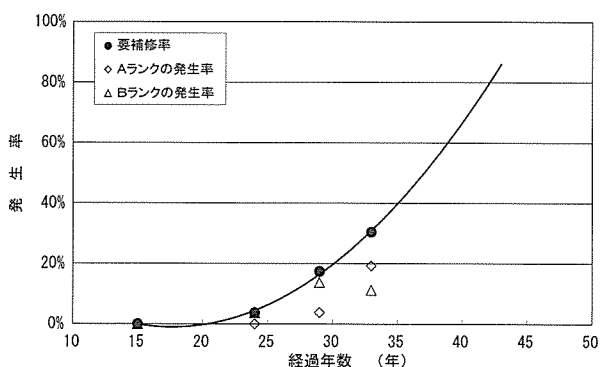
公団では約10年前より、維持管理用データベースである保全情報管理システムを構築し、運用してきた。しかし、体系的なデータ分析については、過去よりその必要性が叫ばれてきたものの、データ不足や具体的な利用手法が不明確なため、構造物の劣化予測やコスト分析など、その積極的な活用までには至っていなかった。

一方、昨今これらデータを活かしたいいわゆるマネジメントシステムに関する研究について盛んに研究され、種々の手法が提案されている<sup>8)</sup>。しかしながら、実際の維持管理に関するデータ不足等より、実績データに基づくシステム構築や実業務への適用までは進んでいない状況である。そこで、今後の合理的な維持管理システムの基礎検討を目的として、保全情報管理システムに蓄積された実績データを用いた様々な分析を実施した結果、過去の維持管理費の実態をはじめ、今後の合理的な維持管理計画の立案におけるいくつかの課題を把握できた。検討精度の点で不十分なことは否めないが、一連の業務をまとめると以下のとおりである。

- ①塗装塗り替えの全体工事費に占める仮設備費の割合が大きい場合、塗装の耐用年数が長い塗装系ほどトータルコストに関し有利となる。
- ②工事に伴う料金収入の減少を考慮した舗装のトータルコスト評価は、密粒度改質アスファルト舗装と密粒ギャップアスファルト舗装の工事費がほぼ同じであるが、舗装周期が長い後者のほうがコストを低減できる。
- ③伸縮継手の補修においては、1回の交通規制でまとめて補修することがコスト低減に大きく寄与する。
- ④コンクリート構造物については、初期の損傷段階における補修が重要であり、トータルコストに大きな影響を与える。



(1) 橋脚はり



(2) PC桁の後埋め部

図-14 損傷の進展予測

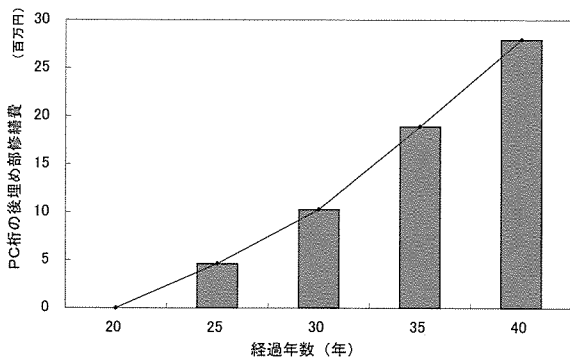


図-15 PC桁の後埋め部補修時期と補修費の関係

## あとがき

本報告では、過去15年程度の点検・補修に関する実績データにより、維持管理コストに関する分析を試みた結果、過去の維持管理における実態や、将来予測など、その概略的な傾向とそれぞれの課題が把握できたものとする。今後、これらのデータからさらに詳細な劣化予測等を行い、それらの分析に基づくライフサイクルコストを考慮した最適な維持管理計画の立案する必要があるが、以下の点が課題と考える。

- ①データの精度を今後とも維持し、分析に必要な項目及びそのデータを確実に収集・保存する。
- ②点検・補修・コストを相互に関連させたデータを収集し、蓄積する。
- ③統計的な詳細分析に対して、公団データのみでは限界もあり、データの基本的な項目を各橋梁の管理各機関で共通化、情報交換することも検討の余地がある。

最後に、本検討、及び保全情報管理システムの改良に当たり貴重なご意見をいただいた、関西大学の古田均教授、山口大学の宮本文穂教授、なら

びにデータの整理・分析にあたって尽力いただいた中央復建コンサルタント(株)の柴田洋氏、中谷武弘氏に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：保全情報管理システム。
- 2) 一海，井口，入谷：保全情報システム，阪神高速道路公団技報第11号，pp155-163，平成4年3月。
- 3) 阪神高速道路公団：土木工事共通仕様書，IV 関係基準編，第6章塗装設計施工基準，平成12年10月。
- 4) (社)日本防錆技術協会：防錆管理vol.32，No.3，1988年3月。
- 5) たとえば五十嵐弘：ブリッジマネジメント，橋梁と基礎，2001年1月。
- 6) 阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準（土木構造物編），平成8年5月。
- 7) 阪神高速道路公団：道路構造物の補修要領，第2部コンクリート構造物，平成2年6月。
- 8) たとえば宮本文穂：橋梁マネジメントフロンティア，橋梁と基礎，2002年8月。

## Life-Cycle Assessment of Structures on the Hanshin Expressway

Taiichi KAGAYAMA, Tetsuo HIROSE and Yoshio TAMBA

Initially opened in 1964, the Hanshin Expressway has currently reached a total length of 221.2 kilometers. The length has grown 129.3 over the past 15 years, more than half of the total length. As the number of aging bridges increases, the expense of maintenance and repairs is also expected to increase. Using the database of the maintenance information management system, we performed life-cycle assessment for paint, pavement expansion joints, and concrete structures that account for large percentage of the maintenance expense. The assessment has enabled us to get a good understanding of the actual situation of past maintenance expense, the general tendency and the various problems associated with maintenance.