

新時代における阪神高速道路の維持管理

新時代における阪神高速道路の維持管理研究会

1. まえがき

阪神高速道路は、現在供用延長221.2km、一日平均利用台数約92万台を数えるに至り、阪神地域の市民生活を支える大動脈として寄与している。

阪神高速道路を支える構造施設としては、道路本体としての橋梁やトンネルなどの土木構造物を始め、照明、標識、非常電話、料金所等の道路付属施設が多岐にわたって整備されているが、建設開始から既に40年以上経過した今日にあって、これら構造施設の良好な維持管理と運用がますます重要となってきた。

「21世紀は保全の時代」とも言え、維持管理の重要性が認識される今日、技報20号の特集に当たり、これら阪神高速道路の維持管理の現状を俯瞰し、新時代における維持管理の動向とあり方について考える機会とするものである。

2. 阪神高速道路における維持管理の現状と課題

2-1 維持管理の基本

阪神高速道路における維持管理とは、図-1に示すように、①快適で安全な自動車の通行サービスの提供、②路下をはじめとした道路空間を活用した他の機能との共存、③遮音壁や環境施設帯などによる良好な居住環境の形成といったことを長期にわたり保持・保全することである。これらは相互に関連しているものであるが、ここでは①や②の視点からの維持管理を中心に論じてみたい。

近年の管理数量の増大、構造物の老朽化、車両の増加・大型化、構造種別や立地条件の多様化などにより以前にましてその業務は膨大・複雑化する傾向にあり、維持管理の重要性が指摘されはじめた1970年代とは少々様変わりしてきている。今日的な課題としては、当時、永久構造物と考えられていた構造

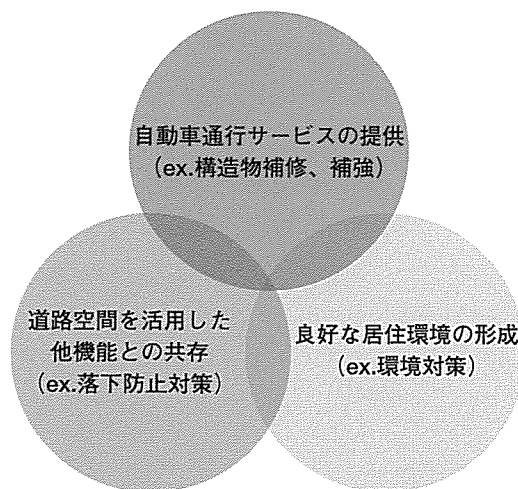
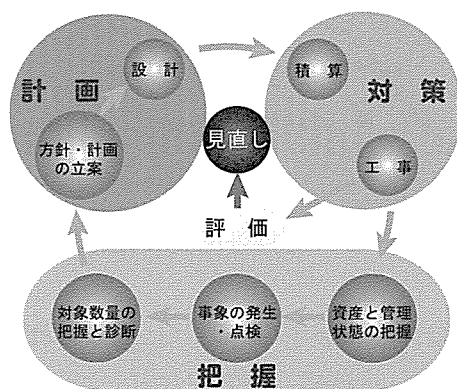


図-1 維持管理の視点

物にも寿命があり、それは適切な維持管理がなされなければ、存外短くなることもあることを損傷数や維持管理コストの増大などの数字からも我々は認識しつつあり、対処療法的な保全でなく、構造物の長寿命化を念頭においた保全がより重要となっている。また、従来から問題となっている車両の積荷の落下に加えて、道路に設置された遮音壁や裏面版など各種付属物が落下する事故が発生しており、これら落下問題は、構造物本体の損傷が第三者に及ぼす影響より現実的で維持管理における重要な課題となっている。

これらの実状を踏まえ、適正かつ効果的、効率的な維持管理を行うことは、阪神高速道路公団(以下「公団」と呼ぶ)のみならず社会的に喫緊の課題となっている。

維持管理は、医療活動に例えられる場合が多いが、基本は常に資産とその管理状態を把握し、効率的、効果的な対策をとる（無対策を含む）ことである。そのため、「資産と管理状態の把握」に始まり「事象の発生・点検」「診断・対象数量の把握」「方針・計画の立案」「設計」「積算」「工事」という各々の段階で処理が的確かつ効率的になされ、このサイクル全体の迅速化が非常に重要である。一見、単純な流れであるが、各々の段階の技術開発研究が積極的に進められているように、業務の膨大化、複雑化、多様化している現状においてこそ、その重要性が一層高まっている。また、日々技術は進歩しており、工事の完了後あるいは一定期間後に、改善・改良すべき余地がないかなど「評価」を行い「見直し」すべきは見直すような取り組みが必要である。（図－2参照）。



図－2 維持管理業務の流れ

2-2 維持管理コスト

(1) 阪神高速道路の現状

阪神高速道路の最初に供用した区間は既に35年以上が経過し、阪神高速全体では15年以上経過した区間が50%を越える状況にある。現在における阪神高速道路の経年別供用延長を表－1に、供用区間における管理構造物の種別を表－2にそれぞれ示す。阪神高速道路では全体の約90%が橋梁区間であり、その内の80%が鋼橋という状況である。

(2) 維持管理費の推移

公団では、1964年の供用以降、構造物を良好な状態に維持するため、構造物の補修をはじめ様々な維持管理を実施してきたが、当然のことながらその管理延長の増加に伴い、費用も増加の一途をたどってきた。阪神高速道路における維持管理費の内、構造物の補修に係る費用の推移を図－3に示す。この図から分かるように、維持修繕費は1993年度をピークに、それ以前の20年間で、その額は年間3～8%の割合で増加してきた傾向にある。しかし、昨今の厳しい財務状況の中、維持管理費の縮減を求められており、公団として様々な施策を実施した結果、その後は減少し現在に至っている。

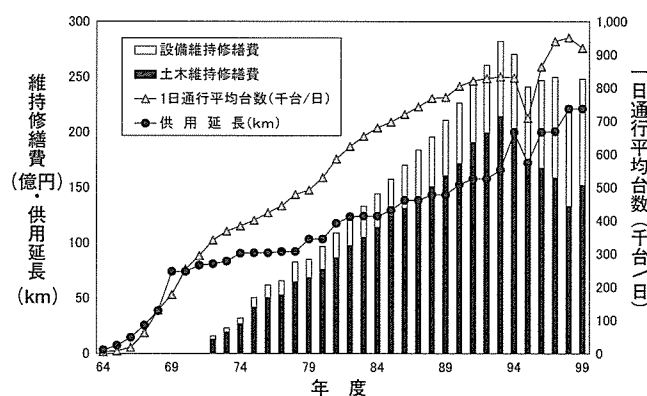
表一 経年別供用延長

(平成13年4月現在)

供用年数	供用延長 (km)			累積率 (%)
	大阪地区	兵庫地区	合計	
0年以上5年未満	8.0	13.2	21.2	100.0
5年以上10年未満	31.2	16.0	47.2	90.4
10年以上15年未満	12.1	11.4	23.5	69.1
15年以上20年未満	13.5	12.5	26.0	58.5
20年以上25年未満	12.4	0.0	12.4	46.7
25年以上30年未満	15.8	0.0	16.8	41.1
30年以上35年未満	41.5	25.3	66.4	33.5
30年以上	7.3	0.0	7.3	3.3
合計	142.8	78.4	221.2	

表二 管理構造種別の内訳

種別	延長 (km)	比率
橋梁区間		
網橋	159.5	72.1%
コンクリート橋	38.9	17.6%
土工区間	16.9	7.6%
トンネル区間	5.9	2.7%
全体	221.2	100%



図一 維持修繕費の推移

(3) 維持管理費の内訳

現在における維持管理費の内訳は、概ね以下のとおりに分類される。

- ①良好な道路状態を維持する費用・・・清掃，電気代など
- ②経年劣化により構造物を補修する費用・・・点検，舗装・塗装・伸縮継手などの各種構造物補修など
- ③構造物の強度向上，財産付加となる改良に要する費用・・・床版補強，遮音壁の設置，高架下の整備工事など
- ④事故，災害時など応急的に補修する費用

一方，大規模な改築が必要な項目については，上記の維持管理費とは別に，それぞれ個別に年次計画を策定し実施している。最近では，1995年に発生した兵庫県南部地震を契機として実施した，緊急橋脚補強工事などがその代表例である。

(4) コスト縮減

公団では，良好なサービス提供に努めるとともに，事業採算性を確保し，業務，経営の合理化・効率化を図るため，1997年度から行動計画を策定し，コスト縮減に取り組んできた。

維持管理の主な施策は，以下のとおりである。

- ①新技術の導入用・・・・・・ノージョイント化，高速路面点検車，など
- ②構造物の長寿命化用・・・耐久性塗装，LED点滅灯，など
- ③管理手法の合理化用・・・通行止め工事等による工事の集約化，など

この取り組みにより，1996年度を基準とした場合，2000年度で13.4%の縮減を達成しており，当面の目標としては2002年度で16%の縮減を目指して，さらなる努力を重ねているところである。

2-3 通行止め等による大規模補修工事

(1) 大規模補修工事の意義

阪神高速道路の補修は、通常、交通量の少ない夜間に車線規制により実施し、騒音や振動を伴うような工事を実施する場合は、沿道住民への影響を考慮して、休日の昼間に実施している。

ところが、路面をはじめとする道路本体および付属構造物の損傷は、広範囲かつ多岐にわたるため、通常車線規制工事によりすべてを補修するには、規制回数の増加や渋滞の多発が避けられない状況にある。そこで、利用者および沿道住民への影響を最小限とし、安全で効率的な補修を行うため、交通管理者、関係機関の協力を得て、短期間で集中的に行う大規模補修工事を計画的に実施している。

大規模補修工事は、通常車線規制工事と比較して、短時間に多くの工事を実施することができるため、交通影響および工事費の面で優れている。また、工事の施工性がよいことから、品質管理、安全管理の面でも優れており、効率的かつ経済的な工事手法であるといえる。

(2) 大規模補修工事の課題とその対策

大規模補修工事の実施に際しては、道路交通や沿道環境への影響に特に配慮が必要である。このため、それらを最小限とするため、公団では、利用者および沿道住民の皆様にはチラシを配布するとともに、横断幕の設置、テレビやラジオによるCM、および新聞広告など様々な媒体を用いて広報を実施している。また、施工中の騒音や振動を低減させるために、伸縮継手補修のカッター工法（ノーブレッカー工法）、舗装補修のウォータージェット工法といった新技術を開発・採用してきた。

(3) 大規模補修工事の実績

大規模補修工事の実績を表-3に示す。大阪地区では、損傷の著しい路線を対象に、路線単位で通行止めによる大規模補修工事を1973（昭和48年）度からほぼ毎年実施してきた。一方、神戸地区は、市街地および幹線道路等が、東西方向に線的に分布・発達しており、3号神戸線の負担する交通割合は非常に大きく、通行止めを行うには代替路線が十分確保できないとの理由で、連続車線規制による大規模補修工事を、1983（昭和58年）度から実施してきた。なお、兵庫県南部地震後の1995～1997年度までは、震災復旧工事および緊急橋脚補強工事を優先するため、大規模補修工事を休止し、1998年度より再開している。

2-4 保全情報管理システム

(1) 開発の目的と経緯

阪神高速道路は、都市高速道路という性格上、管理構造物の大半が高架形式の橋梁区間で、これら資産管理に関するデータは膨大な量であり、今後とも補修工事や新規路線の供用に伴い、増加する一方である。

これら維持管理に必要な基本的な情報は、従前より各種台帳やカード、また図面についてはマイクロフィルムにより管理をしてきたところであるが、前述のとおり管理構造物の増加に伴い、データの抽出作業などが煩雑となり、迅速な情報の抽出が困難となってきた。そこで、公団では効率的な維持管理業務を支援する目的で、維持管理に関する情報のデータベース化を1990年度から開始し、1993年度から運用を開始した。また近年のめざましい情報技術の発展もあり、維持管理業務へ迅速、かつ有益な情報を提供することを目的に、2000年度からはマルチメディア情報への対応やデータを有効活用するためのデータベース構造の見直しを行っている。

図-4に保全データベース及びシステムの構成を示す。

(2) 保全データベース及びシステムの概要

① 保全データベースの概要

表-3 大規模補修工事の実績

a) 通行止めによる補修工事の実績

大 阪 地 区					
年度	期 間	路線名	上下	範 囲	距離
S48	S45.15(火)~5.22(火)	堺線	下り	環状分岐~堺出路	(11.5km)
"	S48.5.30(火)~6.2(土)	"	上り	堺入路~住之江	(2.9km)
"	S48.10.2(火)~10.5(金)	守口線	下り	森小路分岐~守口出路	(5.1km)
"	S48.10.9(火)~10.12(金)	"	上り	守口入路~森小路合流	(5.0km)
"	S49.2.9(土)~2.11(月)	池田線	上り	池田入路~環状合流	(14.2km)
S49	S49.8.27(火)~8.30(金)	西大阪線	上り	安治川~堺合流	(3.8km)
"	S49.10.7(月)~10.8(火)	守口線	下り	森小路分岐~守口出路	(5.1km)
"	S49.11.13(水)~11.17(日)	環状線	千日前以南	千日分岐~道天園カーブ	(1.5km)
S50	S50.8.13(水)~8.17(日)	池田線	下り	環状分岐~池田出路	(14.2km)
S51	S51.5.21(金)~6.5(土)	堺線	上り	堺入路~住之江	(2.9km)
"	S51.7.6(火)~7.21(水)	"	下り	住之江~堺出路	(3.9km)
"	S51.8.14(土)~8.17(火)	守口線	上り	守口入路~環状合流	(9.8km)
S52	S52.8.12(金)~8.16(火)	池田線	上り	池田入路~環状合流	(14.2km)
S55	S55.8.14(水)~8.17(日)	西大阪線	上下	全区間	(3.8km)
"	S56.1.18(日)	堺線	下り	千日前のみ	(1.3km)
S56	S56.5.11(月)~5.17(日)	"	下り	住之江出路~堺出路	(3.9km)
"	S56.5.18(月)~5.24(日)	"	上り	堺入路~住之江入路	(2.9km)
"	S56.11.21(土)~11.24(火)	"	下り	千日前のみ1.3km	(1.3km)
S57	S57.5.15(土)~5.24(月)	池田線	上り	池田入路~環状合流	(14.2km)
"	S57.10.30(土)~11.8(月)	"	下り	環状分岐~池田出路	(14.2km)
S58	S58.10.30(日)~11.4(金)	堺線	下り	環状分岐~堺終点	(11.9km)
"	S58.11.5(土)~11.10(水)	"	上り	堺終点~環状合流	(11.9km)
S59	S59.10.28(日)~11.2(金)	守口・森小路	下り	環状分岐~守口・森小路終点	(12.6km)
"	S59.11.3(土)~11.8(水)	"	上り	守口・森小路終点~環状合流	(12.6km)
S60	S60.10.27(日)~11.1(金)	東大阪線	下り	本田入路~東大阪JCT ※西宮線合流~東横分岐部を除く	(8.8km)
"	S60.11.2(土)~11.7(水)	"	上り	東大阪JCT~九条出路 ※信濃橋合流~西宮線分岐部を除く	(10.0km)
S61	S61.10.26(日)~10.31(金)	環状線	下り	夕陽丘出路分岐~松原線合流	(12.9km)
"	S61.11.1(土)~11.6(水)	松原線	上り	環状線分岐~松原終点	(14.2km)
"	S61.11.1(土)~11.6(水)	松原線	上り	松原線分岐~淡町北渡り線合流	(14.2km)
S62	S63.1.12(火)~1.18(月)	環状線	南行	梅田入路~夕陽丘出路	(9.3km)
"	S63.1.26(火)~1.31(日)	"	北行	淡町入路~出入橋出路	(6.1km)
H1	H1.11.5(日)~11.13(月)	池田線	上、下	池田入路~環状合流 中之島入路~池田出路	(14.2km) (13.6km)
H2	H2.11.3(土)~11.11(日)	堺線	上、下	堺終点~環状合流 環状分岐~堺終点(千日前線含む)	(12.2km) (13.4km)
H3	H3.10.27(日)~11.4(月)	守口・副都心	上、下	環状合流~守口・森小路終点	(12.1km)
H4	H4.10.25(日)~11.2(月)	東大阪線	上、下	波除~水走終点	(15.8km)
"	H4.10.25(日)~11.2(月)	大阪西宮線	上、下	阿波座分岐~中之島西	(0.8km)
H5	H5.10.17(日)~10.25(月)	環状線	南行	夕陽丘出路~淡町入路	(2.7km)
"	H5.10.17(日)~10.25(月)	松原線	上、下	全区間	(12.1km)
H6	H6.11.19(土)~11.27(日)	池田線	上、下	全区間	(14.2km)
H10	H10.11.1(日)~11.9(月)	堺線	下	環状線分岐(千日前線)~堺終点	(13.4km)
"	H10.11.1(日)~11.9(月)	堺線	上	堺終点~環状線合流(淡町北渡り線)	(12.2km)
"	H10.11.1(日)~11.9(月)	西大阪線	上、下	全区間	(3.8km)
H11	H12.1.19(水)~1.27(水)	守口線	上、下	全区間	(10.8km)
"	H12.1.19(水)~1.27(水)	森小路線	上、下	全区間	(1.3km)
H12	H13.1.30(火)~2.7(水)	環状線、環状線、大阪西宮線	上、下	南港北分岐~水走終点 中之島西~西長堀	(23.7km) (0.8km)
H13	H13.11.20(火)~11.28(水)	環状線	南行	梅田入路~夕陽丘出路	(8.7km)

兵 庫 地 区					
年度	期 間	路線名	上下	範 囲	距離
S49		神戸線	上り	名神渡り	(0.3km)
"		"	下り	名神渡り	(0.3km)
S50	S50.11.2(日)~11.4(火)	"	上り	柳原入路~京橋出路	(3.0km)
"	S50.11.8(土)~11.10(月)	"	下り	京橋入路~柳原出路	(3.0km)
S53	S53.10.15(日)~10.16(月)	"	上り	名神渡り	(0.3km)
S55	S56.3.1(日)~3.2(月)	"	上り	名神渡り	(0.3km)
S56	S56.11.1(月)~11.4(水)	"	下り	京橋入路~月見山出	(8.9km)
"	S56.11.7(土)~11.9(月)	"	上り	柳原入路~摩耶出路	(7.2km)
S57	S57.10.2(土)~10.6(水)	"	上り	摩耶入路~芦屋入路	(9.7km)
"	S57.10.9(土)~10.13(水)	"	下り	芦屋出路~摩耶出路	(9.7km)

b) 大規模一車線規制による補修工事の実績

大 阪 地 区					
年度	期 間	路線名	上下	範 囲	距離
H11	H11.9.18(日)~11.15(月)	湾岸線	上、下	南港南~三宝	(2.7km)
H13	H13.10.13(土)~10.26(金)	湾岸線	上、下	南港北~南港南	(2.0km)

兵 庫 地 区					
年度	期 間	路線名	上下	範 囲	距離
S58	S58.9月~11月	神戸線	上り	月見山~柳原間	(5.5km)
"		"	下り	芦屋~西宮IC間	(3.0km)
"		"	下り	摩耶~京橋間	(3.5km)
"		"	上り	芦屋~西宮IC間	(3.0km)
S59	S59.10月~12月	"	上、下	摩耶~月見山間	(13.0km)
S60	S60.9月~12月	"	上、下	西宮IC~摩耶間	(13.0km)
S61	S61.9月~12月	"	上、下	摩耶~月見山間	(13.0km)
S62	S62.10.18(日)~10.24(土)	"	下り	西宮IC~摩耶間	(13.0km)
"	S62.10.25(日)~10.31(土)	"	上り	"	(13.0km)
S63	S63.11.13(日)~11.19(土)	"	下り	摩耶~月見山間	(13.0km)
"	S63.11.20(日)~11.26(土)	"	上り	"	(13.0km)
H1	H1.10.8(日)~10.14(土)	"	上り	西宮IC~摩耶間	(13.0km)
"	H1.10.15(日)~10.21(土)	"	下り	"	(13.0km)
H2	H2.10.6(土)~10.13(土)	"	上、下	月見山~柳原間	(6.5km)
H3	H3.10.12(土)~10.20(日)	"	上、下	柳原~摩耶	(6.5km)
H4	H4.10.3(土)~10.11(日)	"	上、下	摩耶~芦屋	(8.0km)
H5	H5.10.2(土)~10.10(日)	"	上、下	武庫川~芦屋	(9.0km)
H6	H6.10.8(土)~10.16(日)	"	上、下	尼崎東~武庫川	(5.0km)

昭和59年度は一車線ロング規制で土・休日に実施。(平均規制長約5.0km)
 昭和60年度は一車線ロング規制で休日に実施。(平均規制長約5.0km)
 昭和61年度は一車線ロング規制で休日に実施。
 昭和62,63,平成元年度は終日連続一車線ロング規制で実施。
 平成2,3,4年度は終日ロング規制で上下線同時に一車線を規制して実施。
 平成6年度は終日連続二車線規制で実施。

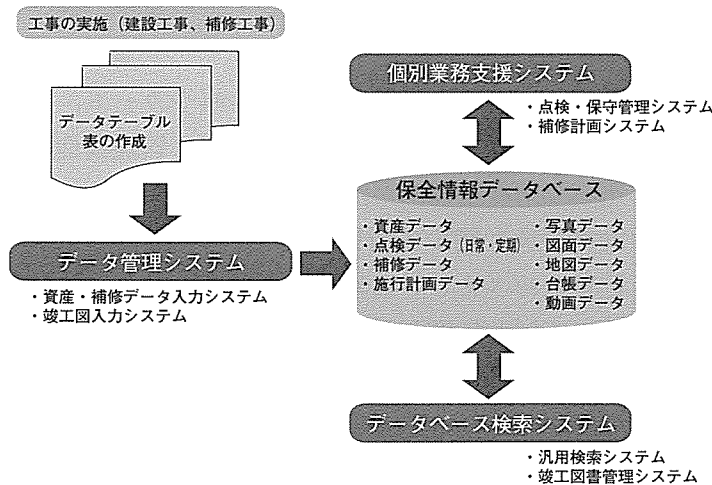


図-4 保全情報データベース及びシステムの概要

- 資産データ

資産データとしては、土木構造物を主体に22種類の構造・部位別に分類し、従前の維持管理業務において使用していた紙ベースによる各種台帳をイメージしたデータ構成として、現時点で総計16万件以上のデータを保有している。これらのデータは、システム構築の際に、従前使用していた台帳や竣工図から必要なものを読みとり、電子化している。

- 補修データ

資産データと同様に、補修データとして補修工事に関する10種類、総数32万件以上におよぶデータを電子化している。

- 点検データ

点検データは日常点検データと定期点検データとに大きく分かれ、その結果をそれぞれ電子化している。日常点検はその点検の性格上、第三者への影響度を主たる判定基準とし、構造物の損傷状況を速やかに把握する目的で実施しているため、点検の結果を写真とともに電子データとして、点検業者が通信回線を利用して直接入力し、その内容を精査した後、結果をデータベースとして蓄積している。

一方、定期点検は、従来公団で使用していた点検結果のフォーマットに準じた形式で、文字データとしてデータベース化している。

- 図面データ

上記3種類のデータとともに、資産・補修に密接に関連するデータとして工事に伴い作成される竣工図をデータベース化している。従来公団では、竣工図を永久保管資料としてマイクロフィルムにより保管し、通常の維持管理業務では、必要な部分を紙に印刷し活用してきた。本システムでは、これらをより効率よく活用するため、過去の竣工図全てをイメージデータとして電子化している。その数は現時点で50万枚以上におよび、日常の維持管理業務に役立てている。

- 施行計画データ

道路構造物の維持管理のための予算の立案、工事の契約状況、および決算に関する一連の情報をデータベース化している。これらのデータは、年度毎に更新している状況であるが、1993年度以降の決算データを確認することが可能であり、維持管理に関するコスト分析を行う場合、貴重な基礎資料となるものである。

②システムの概要

本システムは、データ管理システム、データベース検索システムと2つの個別業務支援システムで構成されている。

データ管理システムは、工事の竣工時に発生する資産・補修関連データを入力する「資産・補修データ入力システム」と竣工図のデータ入力のための「竣工図入力システム」で構成される。これらは、それぞれ数値・文字、図面等のデータ形態に応じて、入力用のシステムが用意されている。これらのシステムによって蓄積されたデータを利用する側のシステムには、以下に述べる不特定の業務に汎用的に利用される「データベース検索システム」と特定の業務専用で用意されている「個別業務支援システム」とがある。

データベース検索システムは、データベースを利用するあらゆる業務の要望に応えるために用意されたシステムで、数値・文字情報の検索・集計処理を行う「汎用検索システム」と竣工図を参照するための「竣工図書管理システム」で構成される。「データベース検索システム」では、従来、資産、補修、点検、図面の各種データを個別にアクセスしデータを閲覧していたが、2000年度より、同一シ

システム内から橋梁径間毎にカルテ型式での検索が行えるよう改良した。

個別業務支援システムは、補修計画の策定や予算管理の業務を効率的に進める「補修計画システム」と点検の結果を各種報告書にまとめるとともに補修情報を管理する「点検・保守管理システム」で構成される。

(3) 今後の改良予定

今後もさらに的確な情報提供を目的として、以下のような改良が考えられる。

- ・ 定期点検・保守管理システムの構築(定期点検結果への補修情報の追加)
- ・ 施設構造物への拡張
- ・ 動画を含めた画像データの取り込み
- ・ GISの活用
- ・ データ精度維持を目的としたチェックシステムの導入

以上のうち、特にデータ精度維持のチェックシステムは、本システムの信頼性に関わる問題であり、データの入力状況、並びに更新状況が確認できるシステムや、誤データの訂正システムなど、今後運用面を含め詳細に検討してゆく予定である。

3. これからの維持管理

3-1 効率的維持管理手法の研究

(1) ライフサイクルコストを考慮した舗装管理システム

「2-2 維持管理コスト」でも述べたように、近年公共事業においても、個々の事業の採算性に関心が向けられるようになり、コスト意識が高まっている。事業計画や構造計画の段階においても、供用期間における将来の維持管理コストや更新にかかるコストも含めた、いわゆるライフサイクルコストを事前に評価することが重要となってきている。

図-5は一般的なライフサイクルコストの概念図である。どのような施設でも必ず劣化し、性能限界に達することとなる。公共施設においては、性能限界に達してしまえば再建更新が必要となり、撤去・構築という初期コストを上回る費用が発生することから、できるだけコストをかけずに性能を維持する必要がある。方法としては二通り考えられる。一つは日常的な点検によりできるだけ性能が劣化する前に小規模な修繕工事を頻繁に実施する方法であり、もう一つは劣化曲線の勾配を緩和するとともに耐用年

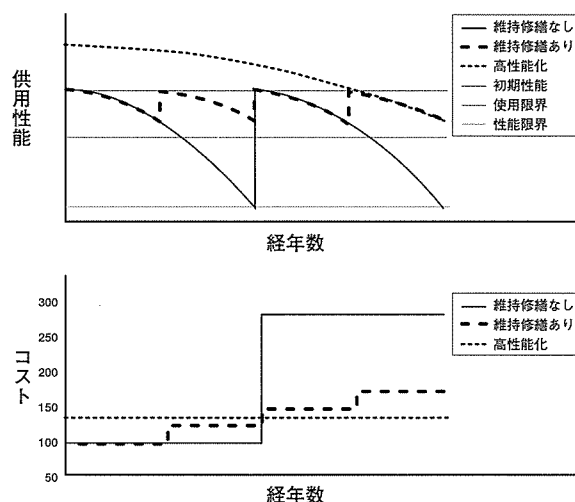


図-5 ライフサイクルと維持管理コストの概念図

数の長期化を図るため初期コストを高め、高機能化を図り、極力維持管理コストを削減する方法である。

ライフサイクルコストを考慮した維持修繕計画は、図-5における劣化勾配を何らかの方法で予測し、どの路線または区間においても、常にある使用限界状態以上の機能を確保するように供用性能を平準化し、最適化することを意味する。そこで以下では、維持修繕工事の代表例として舗装補修工事を取り上げ、具体的に補修計画の立案手法を検討する。

維持修繕工事の代表的な工種である舗装補修工事は、1998年度における公団の実績では、土木構造物に対する維持管理費の約15%を占めている。1999年度の阪神高速道路における調査によれば、舗装補修工事を実施するきっかけとなった理由としては、定期的な点検によるものの他、苦情のウェイトも大きい。これはおそらく、伸縮継手差部における衝撃音や振動に起因するものが多いと考えられるが、ポットホールや不陸等の存在による異常走行音も考えられる。いずれにしても本来定期点検により把握すべき項目が原因と考えられることから、点検頻度や劣化予測手法についてさらに検討が必要なることを物語っている。そのためには、過去の点検履歴や補修履歴のデータベースを基に舗装劣化曲線に影響する因子を抽出する必要がある。公団の調査では、舗装の損傷要因として大型車混入率、年間渋滞時間、平面線形の影響度合いが大きいとされている。

次にライフサイクルコストを考慮した各区間毎の舗装補修工事の年次計画は、図-6に示すように、まず点検結果や過去の補修履歴を基に区間別の劣化傾向を予測し、次に予算の制約下において最大便益を得る舗装のライフサイクルパターンを検討し、そのライフサイクルコストが最小となるように策定する。

従来ライフサイクルコストの算定には、建設費と維持修繕費が考慮されてきたが、舗装補修工事のコストを考える上で、補修工事に伴う利用者への影響を無視できない。すなわち舗装のライフサイクルコストには、建設費、維持修繕費に加え、工事渋滞による時間損失、走行経費の増大、沿道産業活動への影響や、工事による騒音・振動の発生等の補修工事に伴う損失便益を加える必要があると言われている。しかしながらこれらのコストの算定手法は確立されておらず、民営化された企業会計の中でこれを考慮すべきかどうかについては議論のあるところである。また有料道路制度のもとでは、舗装補修工事に伴う通行止めが発生した際には、通行料金の減収も発生する。

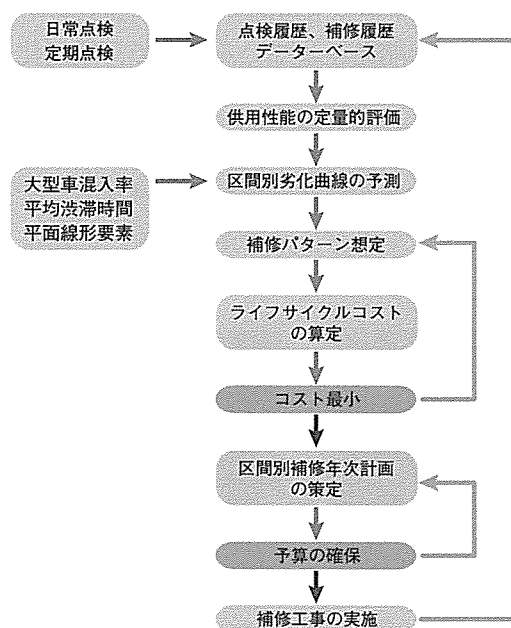


図-6 舗装補修工事における区間別優先順位の検討フロー

これに対し、舗装補修によりもたらされる便益としては、走行快適性の向上、走行経費の減少、走行安全性の確保による交通事故の減少やそれに伴う時間便益、沿道環境の改善、あるいは道路構造物の保護が考えられる。これらの便益について、現状では具体的コストの算定は困難であり、別の指標を示す必要がある。実務的には、図-5における供用性能の評価を行うことであり、1回の補修工事による便益は、供用性能の回復量と言い換えることができる。そこで、舗装の供用性能として考えられる具体的な要素を以下に示す。

- ① 走行快適性の確保・・・わだち掘れ、伸縮継手部の段差、ひび割れ
- ② 走行安全性の確保・・・すべり抵抗、ポットホール
- ③ 沿道環境への影響・・・騒音、振動
- ④ 道路構造物の保護・・・床版との一体性、橋梁本体の耐久性

ライフサイクルコストの具体的評価を行う上では、今後上記項目について定量的評価手法を確立することが重要である。

(2) 保全情報管理システムの活用(エキスパートシステム)

橋梁に限らず、構造物の維持管理におけるコンピュータを使ったシステムの変遷は、およそ図-7のとおりであり、各世代が求められたニーズ、あるいは各世代のキーワードを列挙している。

第1世代ともいうべきデータベース(Data Base または Data Base Management System)は、大学などでも大型コンピュータからパソコンへ移行しつつある70年代後半から80年代初頭にかけて盛んに研究されていた。

第2世代のエキスパートシステム(Expert System, ES)では、如何に専門家と同等の知識をコンピュータに持たせるかが課題であり、「if・then～」ルールに代表されるようなAI(Artificial Intelligence)技術とファジィデータの処理方法が盛んに研究されていた。世の中に、ファジィ洗濯機など、ファジィの冠した電化製品が登場する少し前の80年代初頭からのことである。

構造物の診断までが主な守備範囲であった第2世代までに対して、第3世代のBMS(Bridge Management System)では、橋(構造物)の一生にわたって管理するという概念が生まれ、ライフサイクルコストを最小にすることが1つの目標とされた。

各世代の成熟度は、BMSの研究が盛んになった90年代に、漸くDBが実用化されているが、ESやBMSはプロトタイプ的なものは数多く開発されているものの、実用化されて効果をあげているものとなると非常に疑わしいのが現状である。

公団における保全情報管理システムは、BMSに発展するポテンシャルを十分に持ったシステムであり、既にデータベースとしては実用化レベルにあるばかりではなく、その容量やシステムとしての成熟度は、おそらく世界的に見ても最高レベルにあると考えられる。これをES、さらにBMSまで展開さ

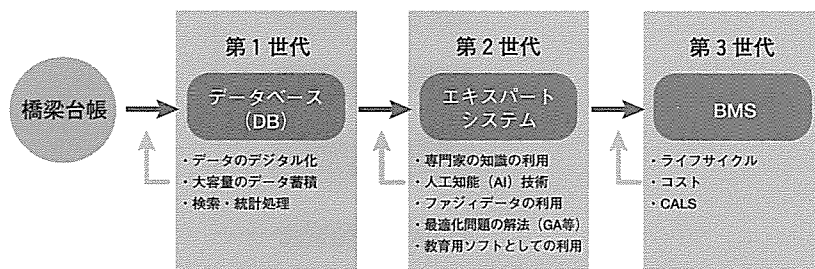


図-7 維持管理におけるシステムの変遷

せるには、特に以下の技術開発への取組が必要である。

- ・将来の損傷の予測
- ・損傷の原因の推論と補修・補強工法の推奨
- ・ライフサイクルコストの算出と最適な補修・補強計画策定

ここで、最も困難と考えられるのは、ただ単に損傷が起こるか否かではなく、「いつ頃」起こるかまで正確に予測しなければならないことである。これは、最終的にライフサイクルコストを算出するためには、補修・補強といったアクションのタイミングを特定しなければならないからである。この「いつ頃」を予測するには、構造物の状態を時系列的に把握することが必要であり、たとえば、構造物の劣化曲線や損傷がランクアップ（B→A、A→@など）する確率を示す遷移マトリックスを作成する手法がある。このためには、膨大なデータの蓄積と種々の因子を加味した統計上の処理が必要であり、舗装や塗装など、寿命の短い項目ほど容易になるが、橋梁の本体構造物では極めて難しい課題である。

ライフサイクルコストが正確に算出されても、さらに地元の状況や予算上の問題など、必ずしも最適なアクションをとれるとは限らない。このようなときの判断をコンピュータに求めるのは非現実的で、やはり究極の「橋守」は個々の技術者ということになるのではないだろうか。しかし、200kmの高速道路について、その建設の年代毎の構造的特徴や施工上の問題点、点検結果や補修・補強の履歴を全て把握するなど、一生を費やしても不可能である。今後、ESやBMSの方向性は、知識も経験も未熟な現代の「橋守」でも、正解または正解に近い判断が出来るように、如何に「支援」するかにあるのではないだろうか。保全情報システムについては、優秀な支援システムとなるために、表-4に示すような更なる改良が望まれるところである。

表-4 維持管理や保全情報システムの現状と課題

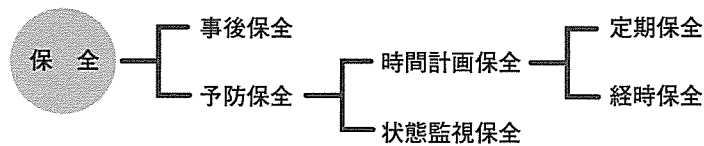
現 状	今後の課題
予測、推奨、教育は出来ない	知識データベース、推論エンジン等の開発
現代の橋守は分業制 (建設、点検、判断、補修・補強…)	データの共有、双方向性の充実 (CALS)
システムと橋守の一体化は十分?	操作性の向上、画像データ・GISの利用
個々の構造物のデータの把握は十分?	カルテの充実

(3) 信頼性工学を採り入れた道路附属施設の維持管理

道路附属施設（電気通信・機械設備等）の維持管理とは、一言で言えば必要な機能を常に安定して稼働させるために、日々運転運用・管理することである。すなわち常用系の機器においては、いつも健全に稼働していること、また非常用系の機器においては、緊急時に確実に稼働する状態に保つことが肝要となる。

その点検保守の方法として現在公団では、日常・巡回点検、定期点検(半年・年点検)、分解整備(オーバーホール)及び機器故障に迅速に対応するための緊急対応(障害処置)などをおこなっている。こうした点検等においては、構成設備に関する専門的知識と豊かな経験を有したスペシャリストが養成が不可欠となる。

日常点検においては、機器の状態を点検員の目視等五感によるチェックや簡易測定を行い稼働状況の健全度を確認している。また、定期点検においては、機器の機能確認をするために予め定めた項目について点検し、経験則による総合判断で健全度を確認している。そして、分解整備点検では、定期点検よりグレード高い保守作業で、機器を分解、清掃、点検、部品交換、調整などを行うもので、定期的また



図－8 保全の概念

はある状態になった時に機器の消耗劣化による機能低下を機器の細部に渡りチェックし必要な部品類を交換して機器をリフレッシュするもので、故障を未然に防ぐことを目的としている。

一般に保全方式の概念としては、図－8に示すように区分されている。

公団の道路付属施設の維持管理においても、効果的、経済的な上記保全方式に基づく点検をおこなっており、その具体的な実施例について次に述べる。

一般的には、通常予想される故障が比較的短時間で修復可能な設備については、事後保全を採用しており、道路照明設備の不点灯球交換や建物の倉庫・トイレ等の換気扇類について故障が発生した時に対応している。機器の修理取替えが容易で短時間で対応出来、低コストでかつ機器故障の影響が軽微ある場合はこの方法による。道路照明設備は、設備数が多く不点灯球点検巡回作業の省力化のため不点監視システムの導入が望まれるが、費用対効果の点で技術開発段階にある。

また、大半の道路付属施設には、予防保全の定期保全方式を採用しているが、各設備の1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月または1年毎の定期点検であり、その点検周期は、各設備の重要度・稼動状況を勘案して決定している。

次に、経時保全としては、予定の累積動作時間に達した時に行う点検あるいは規定時間に達した時に行う点検で、例として駆動装置の潤滑油の給油とか、空調機のフィルター交換等がある。また、法令に基づく点検もこれに含まれ、非常用発電設備、消防設備、エレベータ設備、ゴンドラ設備等が代表例である。

状態監視保全は、設備の運用状態及び使用中の動作状態の確認、劣化傾向の検出、故障の確認、故障に至る経過の記録・追跡等を行う保全である。動作値やその傾向を連続的・間欠的または定期的に点検・試験・計測などの手段もしくは装置によって行う方式で、重要度として高い設備の維持管理手法として用いている。代表例としては、高圧受電設備やトンネル防災設備の遠方監視制御装置による監視・制御・計測等リアルタイムでおこなう管理がある。また、定期保全と状態監視保全の組合せ方式を執る場合もあり、トンネル換気設備の送風機、車両重量計設備の分解整備等が挙げられる。以上の様に各種設備毎の稼動状況や重要度の評価から、各種の保全方式が執られている。

昨今の公団を取り巻く状況はきびしく、採算性というテーマで維持管理費用のコスト縮減が実施されていく中、今後の道路付属施設の維持管理としては、機能を良好な状態で確保しつつ、より低コストな保全手法の確立と合理的な機器更新のあり方について、今後ますます重要なテーマとして取組む必要がある。

そこで、信頼性工学の視点を取入れることを少し提案したい。

1つ目は、点検項目・周期について、従来経験則上から決めていたものを、各設備の稼働率、平均故障間隔(MTBF)、平均故障時間(MTTR)等の分析することにより、設備毎の劣化傾向を把握し、より合理的な点検項目・周期を見つけ出すことである。

2つ目は、設備寿命の推定である。点検から得られる機器故障情報履歴、故障率、修理費を含む維持費、建設費等の推移を統計解析して機器余寿命の推定を行い、機器更新時期を導く方法である。そして、推定寿命がくる数年前より設備診断を定期的実施して、推測値を補正してより精度の高いものにして

いく。即ちライフサイクルコストマネジメント手法(設備が一生涯に係る総費用の最小化を目指す手法)の確立である。

一方、設備機器の安定稼動をより確保するとともに故障時に迅速対応するための原因及び因果関係が把握しやすい方法として、最近のエレクトロニクス関係及びコンピュータ技術の進歩とコストダウンに伴い、機器の稼動故障履歴を残すシステム(航空機でいうフライトレコーダ)が導入可能になりつつある。機器の稼動故障履歴を残し状態監視保全をしやすくし、安定稼動と故障時の迅速対応、原因把握の容易さを追求していける情勢にある。その結果、点検項目の合理化、点検周期の見直しができ、結果として点検費の縮減につながるものと考えられる。

こうした視点を導入することで、設備故障の原因及び因果関係が把握し易くなり、復旧の迅速対応が可能となり、さらに構成機器設計へ原因をフィードバック出来れば、故障率、平均故障間隔(MTBF)、平均故障時間(MTTR)等が向上した機器開発にもつながるものと思慮される。

(4) 橋梁モニタリング技術の展望

a) 点検業務の現状と課題

当公団においては、道路構造物の状態を把握するために、日常点検、定期点検、および臨時点検を実施している。日常点検は、安全かつ円滑な交通の確保および第三者に対する障害の防止を図ることを目的として、ほぼ毎日行っている。次に定期点検は、構造物の損傷度を把握するとともに、補修計画作成のための資料を得ることを目的として、4～8年周期で実施している。また臨時点検は、日常点検および定期点検を補完するもので、追跡・詳細点検、災害時点検、および事故時点検などを適宜実施している。そのような状況の下、最近の付属構造物の落下事故を契機として、点検の重要性が高まる一方で、点検費用も含めた維持管理コストの縮減が叫ばれているところである。

b) 橋梁モニタリング技術とその利点

上記課題に対し、より合理的な維持管理に取り組むための有効な手段として、各種センサー類を用いた橋梁モニタリングを臨時点検の一部において実施している。また、コンピュータ技術は近年著しく進歩しており、今後はそれらと情報技術(IT)とを組み合わせた橋梁モニタリングシステムを構築することが有効と考えられる。

橋梁モニタリングシステムは、一般に、遠隔地にある構造物の状態やその変化等を捉えるための各種センサーをデータの入口とし、異常が発生した場合はデータ伝送経路を経て、出口の管理者にそのデータあるいはそのデータに基づいて評価・判定された結果を速やかに提供するものと定義される。

維持管理業務における橋梁モニタリングシステムは、日常点検と定期点検と並行して運用されるもの、すなわち、維持管理業務の中で、構造物の状態あるいは変状に関する情報を速やかに提供し、維持管理業務(特に点検業務)が効率よく実施されるよう補助的に用いるものである。

このような橋梁モニタリングシステムの活用は、橋梁を維持管理する上で次のような利点があると考えられる。

- ①センサーを用いて計測することにより、橋梁各部の状態を数値化して評価できるため、橋梁各部の損傷度を定量的に把握できる。
- ②阪神高速道路のように同種の高架橋が連続する区間においては、代表的な橋梁を選定し、その橋梁を他橋梁の維持管理の基準値として常時監視することにより、効率的な維持管理に結びつけることが可能となる。
- ③橋梁各部の状態あるいは状態の変化を計測することにより、重点点検箇所の抽出が可能となる。
- ④遠隔地(管理事務所)にいながら常時、橋梁の状況およびその変化を捉えることができる。
- ⑤顕在化していない損傷や劣化の状況変化を捉え、さらに構造的・力学的な検討を加えることで、予

防保全を目的とした補修や補強が可能となり、維持管理の省力化および効率化を図ることが可能となる。

⑥ ITを利用することで大量のデータを数値化、データベース化することが可能となり、効率的な点検計画、補修計画などの立案に有効な資料となる。

c) 今後の課題

橋梁モニタリングの目的とモニタリングに要求される測定項目や測定精度、サンプリング間隔などのモニタリングシステムの構築手法については、まだ体系的にまとめられたものが見られず、今後の管理手法として注目されてきているのが現状である。したがって、今後、実用的なモニタリングシステムを構築し、総合的な評価・判定システムとしてゆくために、基礎データを得て蓄積していくことが必要であり、まず実橋に適用可能な予備的なモニタリングからシステムの構築に取り組んでいくことが重要である。

3-2 構造物の長寿命化の技術

(1) 新しい舗装技術

阪神高速道路における舗装は、①交通量が多いだけでなく大型車混入率が高く、かつ渋滞が発生する、②橋梁が多く床版の変形を考慮する必要がある、③舗装厚さが限られる、と言った厳しい条件下で、円滑な走行性等の機能を確保すると共に、床版を水から守ると言う機能も担う。

また、付属構造物も含めた道路構造物の中でも、最もライフサイクルが短いものの一つである一方、維持修繕費全体に占める舗装工事の割合は、塗装に次いで大きな割合を占め、より耐久的な混合物の開発が、道路構造物全体のメンテナンスコストを大きく下げることにつながる。また、走行車輦と道路構造物が接する部分でもあり、表層はその表面状態が運転者や周辺環境へ与える影響も大きく非常に重要な部分でもある。

阪神高速道路の構造物の特徴は、高架構造、なかでも鋼床版の比率が高いことが挙げられる。鋼床版橋は湾岸線で特に多く採用されており、湾岸線では、床版面積でみた鋼床版の割合が50%を越える。鋼床版上では、長年、グースアスファルト(以下「グース」と呼ぶ)が標準的な基層材として採用されてきた。グースは、①防水性、②変形の大きい鋼床版への追随性、③添接版ボルト部での密着性などの点で、優れた混合物と言えるが、その一方で、①特殊な施工機械を必要とする、②単価が高いなどの点が問題点である。

近年、湾岸線で試験施工を重ねている碎石マスチックアスファルト(SMA)は、耐摩耗性・耐流動性・水密性に優れる粒径2mm以上の骨材が70~80%のギャップ粒度のアスファルト混合物である。また、施工においても、クッカー車などの特殊な施工機械を必要とせず通常の舗設機械で施工できるという特徴を持つが、締固めが不十分になりやすい混合物でもあるため、施工を誤ると所要の水密性が確保できないと言うデメリットも併せ持つ。時間的・空間的な制約を受ける現場で確実な施工を実現する技術の確立が、今後の課題である。このような理由から現時点では防水層を併用することとしているが、その場合でも、グースと比較してコスト的に有利な混合物である。

合理的な維持管理を実現するには、より耐久的な混合物を開発するだけでなく、舗装の断面構成についても検討を進める必要がある。例えば、レベリング層としての基層にはより耐久的な混合物を採用することにより、表層のみの打ち替えを促進すると言ったような検討も必要である。さらには度重なる基層の打ち替え工事で減少したと考えられるRC床版上面の被りコンクリートを補うことともにRC床版の疲労耐久性の向上を目的として、ファイバーコンクリートを基層に採用することも選択肢の一つである。また、打ち替えによる補修が必要な段階まで放置するのではなく、劣化がある程度進行した段階で

表層に表面処理層を設けるなどの延命策を講じることも選択肢の一つである。これらの選択肢は実橋による評価が必要であり、公団においても一部で試験施工されているが、一朝一夕に結果が出るものではなく、長期の追跡点検が必要となることは言うまでもない。

3-1で示した補修計画も含めた舗装管理システム、いわゆるPMS(Pavement Management System)も重要な技術である。実際の補修工事にあたっては、交通規制上の制約による工事の範囲や施工時間帯、さらには交通規制による社会的影響など、様々な要因が考えられ、これらを総合的に判断するためのツールとしてのPMSの重要性は、今後、さらに高まると考えられる。PMSの重要な構成要素であるデータベースについては「保全情報管理システム」が既に整備されている。今後は、蓄積すべきデータの選定やこれを用いた劣化予測が、重要な技術として求められている。

また、221.2km、428万㎡にもおよぶ舗装を熟練した点検員に頼らず、正確かつ効率的に点検する技術も、効率的な維持管理を支える重要な技術である。3-3に述べる現行の高速路面点検車は更新の時期を迎えつつあり、新しい技術の採用も踏まえ、次世代機の検討に着手したところである。

(2) 新しい防水技術

水が構造物に悪影響を与えることは、論を待たない。冬季における凍結防止剤(塩化ナトリウム溶液)の散布を考えるなら、鋼構造、RC・PC構造の別を問わず、防水工は道路構造物の耐久性を考える上で、非常に重要な対策技術の一つである。

建設当初から塗装で防食を実施している鋼構造物に比べて、コンクリート構造物は、当初、防水(表面保護)という概念が無かった。しかしながら、鉄筋の腐食・膨張によるかぶりコンクリートのほく落(鉄筋コンクリート高欄外面水切り部など)のみならず、鉄筋コンクリート床版の疲労損傷に与える水の影響、あるいは、アルカリ骨材反応におけるASRゲルの吸水膨張など、従来には無かった、建設時には想像もできなかった劣化が水によってもたらされた。これに対して、鉄筋コンクリート床版の防水工やコンクリート構造物の表面保護工に代表されるように、コンクリート構造物を水や二酸化炭素などの劣化因子から守ることを目的とした技術が開発され、この分野における公団の果たした役割は大きかったと言えよう。

しかしながら、①劣化因子である水の存在が即、重大な損傷発生につながるものではないこと、②水の進入経路の特定が困難であること、③実構造物での防水工の効果を評価しにくいこと、④ライフサイクルコストへの寄与を定量化しにくいことなどが原因となって、十分な議論がされてこなかったことは否めない。

阪神高速道路においても、鉄筋コンクリート高欄や鉄筋コンクリート橋脚天端、路肩コンクリートへのウレタン樹脂吹き付け、鉄筋コンクリート高欄への防汚塗料の施工など、様々な試験施工を実施している。今後は、これらの防水工をライフサイクルコストの視点から評価することが重要である。また、これと平行して、年々開発される新たな材料を、効率的に評価する試験方法やシステムについても検討を進める必要がある。

(3) 新しい防食技術

阪神高速道路の鋼橋の総延長はおよそ160kmに達し、この中には鋼桁や橋脚、あるいは付属構造物に至るまで多種多様に加工されたものが一つの部材として機能している。鋼材には多くの利点があるが、一方で鋼材の宿命として腐食するという弱点があり、環境条件によってはさらに腐食が促進することもある。したがって鋼構造物を長く維持するには鋼材を防食することが必須となっている。防食方法としてもっとも一般的な施工法は塗装であり、メッキや溶射といった金属被覆、さらには防錆効果のある耐候性鋼材を使用した鋼構造物も採用されている。ここでは、阪神高速道路に使用している塗装の概要と塗装を必要としない耐候性鋼材を使用した無塗装耐候性橋梁について紹介するものである。

表－５ 阪神高速道路の一般部の塗装仕様

適用	一般外面	標準 使用量 (g/m ²)	標準 膜厚 (μm)	上塗りの耐久性を重視する 場合の一般外面	標準 使用量 (g/m ²)	標準 膜厚 (μm)
前処理	無機ジンクリッチプライマー	200	15	無機ジンクリッチプライマー	200	15
第1層	無機ジンクリッチペイント	700	75	無機ジンクリッチペイント	700	75
第2層	ミストコート	160	—	ミストコート	160	—
第3層	エポキシ樹脂塗料下塗	300	60	エポキシ樹脂塗料下塗	300	60
第4層	エポキシ樹脂MIO塗料	360	60	エポキシ樹脂MIO塗料	360	60
第5層	ポリウレタン樹脂塗料中塗	140	30	ふっ素樹脂塗料中塗	140	30
第6層	ポリウレタン樹脂塗料上塗	120	25	ふっ素樹脂塗料上塗	120	25

1) 阪神高速道路の塗装仕様

阪神高速道路における塗装仕様は、構造物が建設された場所の腐食環境や構造形式に応じて区分されている。すなわち、一般環境である住宅地、市街地から腐食性ガスや海塩粒子の影響を受ける工業地帯、海岸、海上までの全地域に設置されるI桁や箱桁に適用する塗装系と、斜張橋、トラス橋等の大規模橋梁のように部材が太陽光線を常に受ける位置にある橋梁や、特に色調保持による美観性が重視される橋梁に適用する塗装系に二分される。前者は上塗りにポリウレタン樹脂を用い、後者は上塗りにフッ素樹脂を採用している。一般部の塗装仕様を表－５に示す。

このような新しい塗装系のライフサイクルコストを比較した場合、従来使用されていた塩化ゴム塗装系は当初工費は安価であるが塗装周期が短く、フッ素塗装系に比べ15年目以降、ポリウレタン樹脂塗料に比べ17年目以降は、塩化ゴム塗装系の累積費用が上回り、フッ素、ポリウレタン塗装系の方がトータルコストを低減できる。また、将来の人手不足や塗り替え工事に伴う高架下街路の交通渋滞や安全性などの社会的影響を考慮すると、できるだけ塗り替え周期の長い塗装系の採用が望ましい。現在さらに長寿命化をはかるため、いわゆる重防食塗装と呼ばれる、新たな塗料や塗装の設計に関する検討を進めている。

2) 無塗装耐候性橋梁

1975年頃に、阪神高速道路の鋼構造物の腐食による経年劣化が、維持管理上の問題として提起され始めていた。そこで、1979年に学識経験者や専門技術者からなる防錆橋梁研究委員会を組織し、調査・研究を実施した。委員会では、橋梁の防食工法として耐候性鋼材の無塗装仕様および錆安定化処理工法について主として取り上げ、溶融亜鉛メッキや金属溶射の利用についても検討された。その中で、湾岸線出島出路において実験橋を架設し、その追跡調査を17年間にわたり実施した。その後これらの調査データや実績を基に無塗装耐候性橋梁に関する問題点の検討を行い、1992年に無塗装耐候性橋梁設計・施工指針を制定した。この指針には、既往の設計基準などでは明確に規定されていない橋梁計画なども盛り込まれている。

公団ではこの指針に基づき、その後建設された阪神高速道路北神戸線において無塗装耐候性橋梁を全面的に採用し、1998年に供用開始した。この路線は、図－9に示すように六甲山系の北側に位置し飛来塩分量が比較的少ないことから、適用可能と判断したものである。この北神戸線に建設された無塗装耐候性橋梁群は、延べ橋梁延長約5,000m、桁重量約13,200t、橋数38橋(107径間)をかぞえ、構造形式では単純合成桁橋から連続鋼床版箱桁橋に至るまで様々な構造形式が採用されており、国内では例を見ないものである(写真－1参照)。供用後は、冬季における凍結防止剤散布の影響等を把握するため、現在定点調査が継続して実施されている。

このように、現在JISで規定される耐候性鋼板は飛来塩分の影響を受け適用箇所が限定される。今

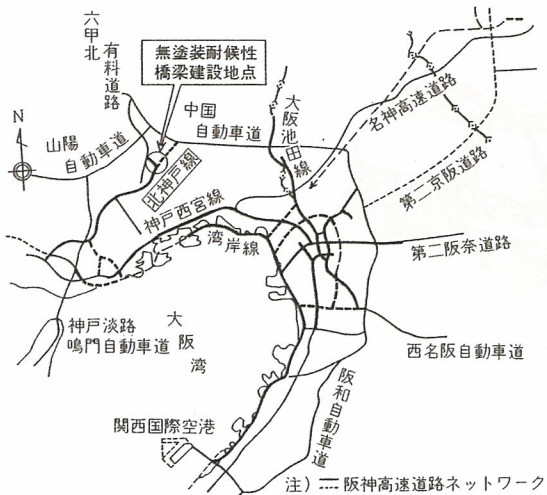


図-9 北神戸線無塗装耐候性橋梁の建設地点 写真-1 無塗装耐候性橋梁の一例(北神戸線・有野五社橋)

後湾岸線など海浜部での適用を考える上では、飛来塩分の影響を比較的受けにくい新しい鋼材を各メーカーが開発しており、これらの適用の可能性が検討課題となっている。

3-3 維持管理のための新技術

阪神高速道路を自動車走行する利用者が安全で快適な走行ができるように、日常のおよび定期的な構造物の点検を実施している。しかしながら道路構造物の現状は、建設後の使用年数から老朽化が進み、また交通量増大や過積載車の走行などにより構造物に損傷を早めている場合もある。

一方、これからの社会を考えた場合、点検技術者の高齢化による減少などが考えられる。また、現在行っている点検の質を踏襲し、更なる合理化・効率化を図り、かつ安全性の向上や客観的データの取得などを目的とした各種点検機器の開発が望まれているところである。公団ではこのような問題にいち早く取り組み舗装などの路面状況を判定できる高速路面点検車を開発し現在運用中である。また、定期点検作業においては、路下条件に大きく左右され、都市内にある阪神高速道路は種々の制約条件が課せられることから、点検員が構造物に接近するという従来の点検方法から視点を変えて、IT技術の進歩を活用した点検ロボットの実用に向けて開発中である。さらには照明柱などの付属物や高速道路下の通信ケーブルの状況をリアルタイムに管理する光ケーブルセンサーを開発中である。以下に機器の詳細について記述する。

(1) 高速路面点検車

道路舗装面は、通行車両の増大や大型車両の増加などにより常に過酷な条件下となっている。舗装面の損傷としては、舗装面にひびわれが生じたり、またポットホールという丸く凹んだものや、通行する車両のタイヤ位置にわだちが生じたりすることもあり、通行車両にとっては安全で快適な走行ができない状況になる。このような損傷をいち早く発見し的確な補修対応が望まれる。

図-10の高速路面点検車は、このような損傷を自動的に測定するものである。この高速路面点検車のシステム構成は、フロント部の上側に3台のCCDカメラを設置し、2台のレーザー光線投光器と、CCDカメラより得られたデータを処理する画像処理を搭載している。また、損傷位置を特定するためにVICSビーコン受信装置と車輪速センサのシステムも搭載している。

高速路面点検車は規制内速度で計測することが可能であり、一般走行車両と同様に走行しながら舗装面の点検を行うものである。図-11は一例として、高速路面点検車に設置してあるCCDカメラにより撮影された舗装面のポットホールを画像処理により損傷度の判定を行うもので、その損傷検出処理の流れを体系的に表したものである。CCDカメラより撮影された現画像は階調変換処理され、区画線など

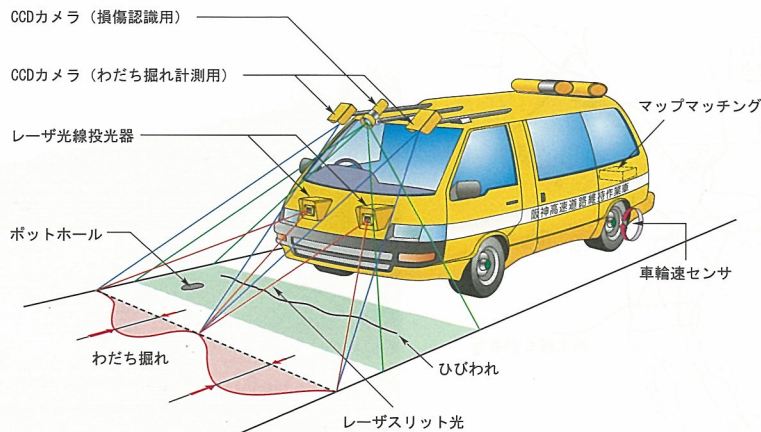


図-10 高速路面点検車の概略図

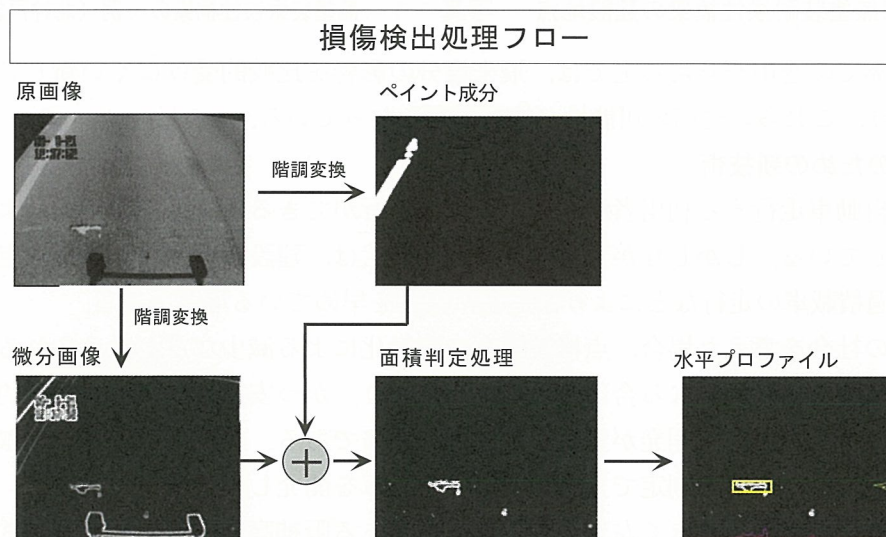


図-11 損傷検出処理の流れ

の白色部分抽出と微分画像とに分けられる。微分画像に白色部分をマスクし、残った微分画像に対して面積判定処理、および水平プロファイル処理を行ったポットホールなどの損傷に対して判定を行うものである。舗装面に発生したひびわれについても同様の処理により損傷の判定を行うものである。

現在、阪神高速道路の延長はおよそ200kmにおよぶ都市内高速道路網を形成しており、交通量についても100万台近くとなっている。高速路面点検車は、道路利用者に支障を来すことなく、また過酷な条件下にある舗装面の状態を常に把握するために運用中である。

(2) 橋梁点検ロボット

公団では、構造物の健全性を把握するために、道路構造物を対象にした定期点検を実施している。この定期点検は各構造部材に接近し目視、たたき、または簡単な計測を行っている。しかしながら都市内に供用されている阪神高速道路の路下は、幹線道路や鉄道、河川といった立地条件から作業期間の限定や作業時間の制約などあり、また交通規制条件においても同様の制約がある。また、社会経済情勢の変化に伴い、公共事業の効率化・重点化にあわせ、コスト縮減が求められている。そこで次世代に対応できる新しい点検方法について検討し、点検ロボットの開発を行ってきたものである。点検ロボットの性能および概要について以下に記述する。

阪神高速道路の既設橋で最も多いとされている上部工形式は、鋼橋 I 桁形式である。この鋼橋 I 桁形

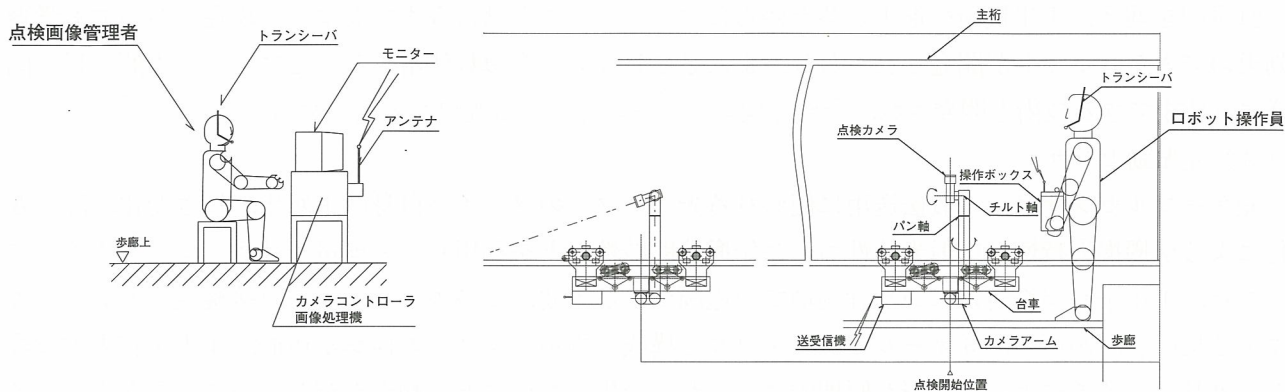


図-12 点検ロボットの操作イメージ図

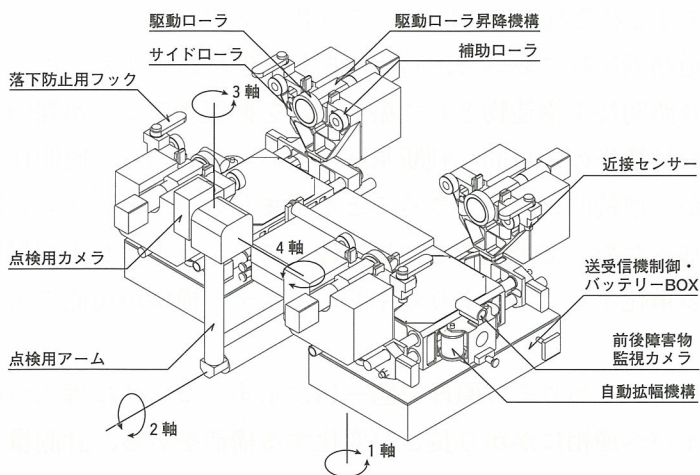


図-13 点検ロボットの構成

表-6 点検ロボットの主な性能

項目	内容
CCDカメラ性能	<ul style="list-style-type: none"> ・68万画素 ・光学10倍/デジタル40倍ズーム
操作ボックス	<ul style="list-style-type: none"> ・点検機器の走行およびCCDカメラのズーム ・チルト機能が可能
画像送受信機能	<ul style="list-style-type: none"> ・無線伝送はワイヤレスビジョン方式 ・伝送は動画としリアルタイム ・記録が必要な損傷画像はハードディスクに静止画像で保存 ・損傷位置が特定できるように書き込み可能
機器の性能	<ul style="list-style-type: none"> ・走行機能 (点検時cm/sec、移動時cm/sec) ・重量100kg (1パーツ25kg以内) ・縦断勾配10%対応 ・構造物の傷害をクリア



写真-2 点検ロボット

式を対象に点検ロボットを開発したものである。図-12のように点検ロボットが自走するレールの代わりに主桁の下フランジ部を活用し、そのフランジ上面を点検ロボット本体の駆動ローラで自走するものであり、新たなレールを設置しなくても良い。点検ロボットの構成は図-13に示すように、点検ロボット本体に取り付けられたアームが4軸に回転し、その先端にはCCDカメラが設置されている。また、点検ロボットの操作は無線による遠隔操作が可能であり、CCDカメラよりリアルタイムで得られたデータは、無線で伝送され地上にある移動基地局に受信しモニタに映し出される。このモニタの動画像から構造物に損傷が発見された場合は、損傷状況の画像とその位置やコメントなど入力したものをコンピュータに保存することができるシステムとなっている。点検ロボットの性能は表-6のとおりである。

21世紀を迎え、IT技術の進歩が益々盛んになっていくことは言うまでもない。現在においても学習効果のできるロボットが開発されており、またCCDカメラを複数使用することにより、人間の目と同様に立体視できる技術も開発され、今後点検ロボットのさらなる改良が考えられる。

(3) 光振動センサ

光ケーブルセンサは、一般伝送用に使われる光ケーブルのファイバ自身の歪変化、長さ変化、温度変化による伝搬損失特性、反射光特性および伝搬時間特性などを利用して物理量を計測しようとするものであり、①電子回路を持たない為計測地での電源供給が不要、②多数のセンサを直接接続しセンター等による集中計測が可能、③オールオプティカルで構成の単純なシステム構築が可能、④雷・有害電波などの外乱電磁誘導による悪影響が原理的にまったく発生しないなどの利点を有している。現在光ファイバをセンサとして応用する計測技術としてラマン散乱方式、ブリルアン散乱方式、OTDR方式、FBG方式、干渉方式などがありそれぞれの特徴に応じて利用されている。

2000年2月に阪神高速道路湾岸線において、特異な振動形態に起因すると推定される照明柱の損壊事故が発生した。これにより照明柱を構造物として振動環境を把握することが課題となった。また照明設備の維持管理において柱取替補修の定量的な判断基準が求められている。照明柱の振動環境を把握するためには、長期にわたりかつ連続的に監視できることが望ましいが、センサの設置環境が高速道路上の照明柱に添架することとなるため、従来型のものに比較してセンサ本体が小型軽量で電源供給の必要が無く、かつデータ伝送が多重化することにより効率的なシステム構築が可能である点で、光ファイバセンサが有効である。

振動検出には干渉方式を用いておりその原理を図-14に示す。センサには二つのファイバが対称に配置され、計測量が両ファイバへ逆相にかかり長さが変化する構造をもち、計測量（振動など）の大きさによって両ファイバの光路長差が変化するが、これによる干渉光を処理部で復調・解析することで計測量を得る方式である。

また、各センサからの応答信号は時分割による多重化が可能である。光源から一定の間隔でパルスを発光すると、各センサからの応答信号は伝搬距離による時差を発生するため、これをタイミング信号によって同期をとることで多重化が可能となる。パルス間隔は広くすると多重チャンネル数を多くすることが可能になり、逆に狭くすると各センサ計測値の細かいサンプリングができるためより細かい物理量の時間的変化の捕捉が可能となる。現状では0.01~100msの値が計測対象の用途により使用されている。

機能検証として照明柱の振動計測を実施したが図-15に示すとおり照明柱の構造計算上での特徴点

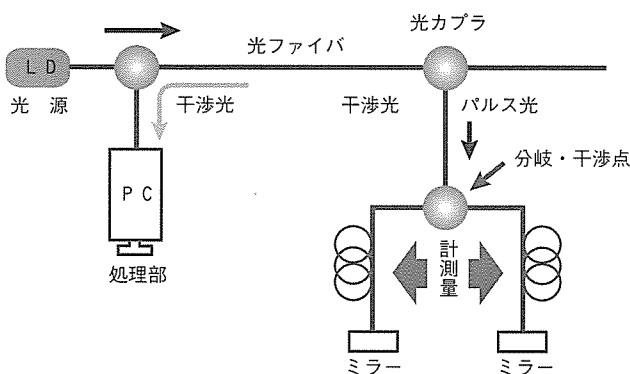


図-14 干渉方式原理

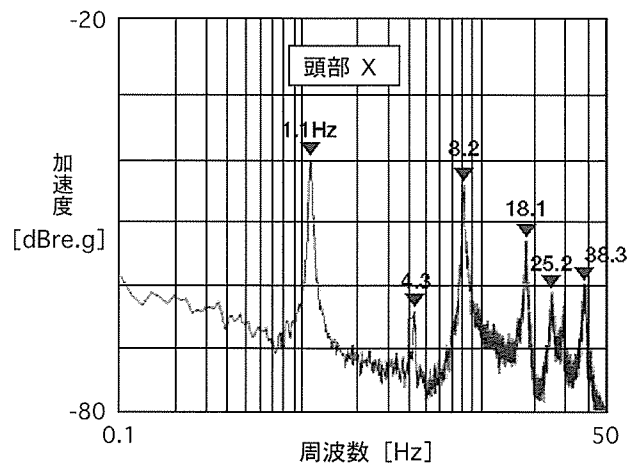


図-15 振動検出結果

(共振周波数)が捕捉できていることから、照明柱振動環境の把握手段としての有効性を示すものと考えられる。今後は照明柱の様々な挙動について調査をすすめ、監視システムの観測データを利用した照明柱劣化判定手法について検討をすすめる予定である。

(4) 光ファイバ温度センサ

近年、阪神高速道路では失火等による電気通信ケーブルの焼損事故が頻発している。

道路管理用に使用している電力通信ケーブルの焼損事故においては、早期発見・早期復旧が重要であり、そのためには線状の監視対象となる各種ケーブルの全区間にわたる温度状況(分布)が常時監視でき、かつ特異点(事故点)の特定が容易であることが求められる。また全線規模で監視網を構築する場合には整備コスト面への配慮も不可欠である。

観測局を離散的に設置する従来の温度監視設備に比べ、光ファイバセンサは一箇所の観測点からケーブル全区間の連続的な温度監視が可能となるため有利である。

ケーブル焼損(温度異常)の検出方式にはラマン散乱方式を用いており、その検出原理を図-16に示す。光ファイバ中に光パルスが通ると、ファイバ中の分子の熱振動等により光の散乱が発生し一部は入射端に戻ってくる(後方散乱光)が、入射端近傍の後方散乱光は遠端のものより早く入射端に戻ってくることとなる。光ファイバ中での光速が一定であることからこれにより計測点までの往復距離が特定できる。また、散乱光の殆どは入射光と同じ波長であるがファイバ中の組成とのエネルギーの授受により僅かに波長の変化した成分が存在する。この散乱光はラマン散乱光と呼ばれファイバの温度変化(組成の保有するエネルギーの大小)により散乱強度が変化する。光ファイバ温度センサは後方散乱光及びラマン散乱現象を利用して観測点の温度と観測点までの距離を計測しようとするものである。

温度計測機能を検証した結果、図-17に示すとおり従来型の観測データと比較して良好な結果が得られており温度計測手段としても有効性を示すものと考えている。

温度異常の判定には、気温の経時変化や観測場所の特異性による影響をなくするため、その地点の温度計測値と計測値変動(温度上昇)の組み合わせによる判定が有効であると考えられる。判定アルゴリズム例を図-18に示す。ただしこの判定手法では年間を通じたケーブルの温度推移を把握し各判断処理における最適な定数を策定するの必要があり、今後これらを含めた精度試験等を重ね実用化に向け検討を行う予定である。

光ファイバセンサを高速道路照明柱の振動監視及び路下ケーブルの温度異常監視に適用したイメージを図-19に示す。

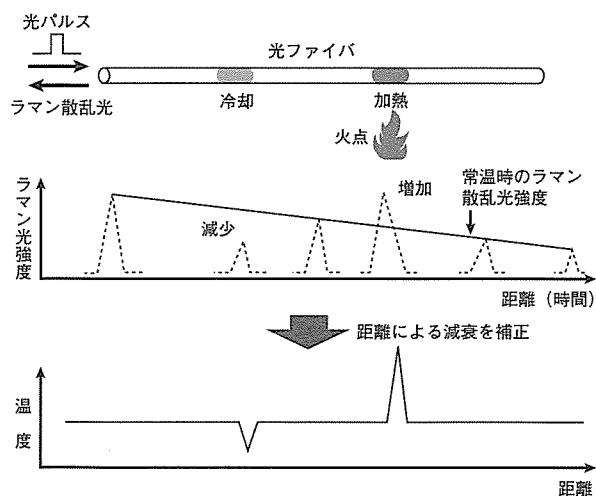


図-16 ラマン散乱方式原理説明図

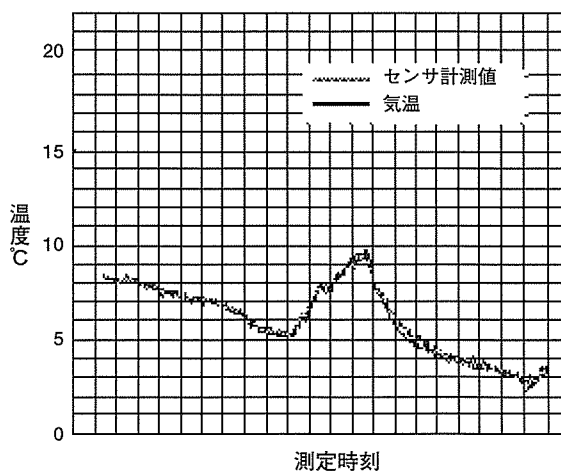


図-17 温度計測結果

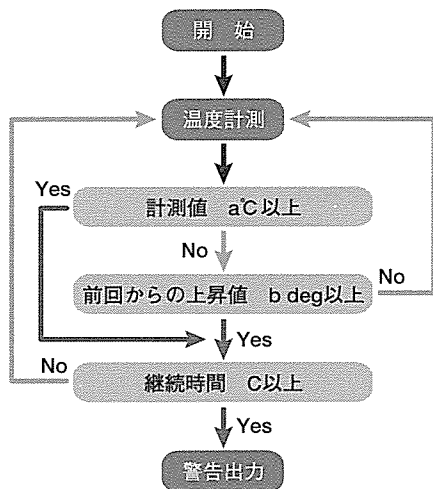


図-18 警報判定アルゴリズム例

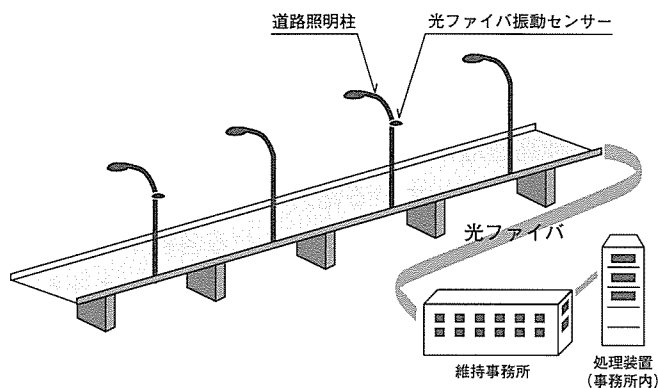


図-19 システムイメージ図

4. あとがき

最近公団保全部門において議論されているいくつかの話題を、「新時代における阪神高速道路の維持管理」として取りまとめ紹介してきた。今後阪神高速道路の構造施設は年々確実に老朽化していくという現実があり、一方で特殊法人改革を巡る情勢も益々厳しくなる中で、維持管理に求められるレベルは一層高度で困難な局面を迎えている。こうした時期に、ここで紹介したような新技術に加え、現実的かつ合理的な維持管理について、今後さらに議論し情勢の変化に応じていくことを提案するものである。

なお本文は、最近保全業務を担当している下記メンバーにより研究会を組織し、討議を経て共同執筆により取りまとめたものである。今後とも阪神高速道路の維持管理に関して発言していきたいと考えている。

(総務部) 谷田 豊

(計画部) 杉江 功

(保全施設部) 丹波寛夫, 野崎 悟, 赤間佳徳, 南荘 淳, 松本 茂, 桃沢宗夫, 相馬裕明,
宮本三郎, 宮下和郎

(管理技術センター) 石崎嘉明, 黒崎剛史