道路構造物の今後の管理・更新等のあり方

提　言

平成１５年４月

はじめに

道路構造物の更新は、道路改良工事等に伴い実施する場合、すれ違い困難解消・交通混雑解消等の機能上の問題を解決するために実施する場合等、その機能の陳腐化に起因して実施する場合が大半でした。しかしながら、わが国は、急激な道路交通需要の増大に対応して高度成長期に大量に建設された道路構造物の高齢化に伴い、補修・更新が必要な道路構造物が飛躍的に増加しており、既に更新時代の始まりにあります。今後も機能の陳腐化による更新はありますが、道路構造物の高齢化がより顕在化し、高齢化した道路構造物の補修・更新費の増大、補修・更新工事に伴う交通規制等の社会的影響が深刻化する恐れがあります。

首都高速道路の鋼桁や鋼製橋脚に、疲労による多数の亀裂や傷が報告され、またコンクリート構造物においては、塩害、アルカリ骨材反応の問題も顕在化しています。このように、これまでの道路構造物に対する信頼性が揺らいでおり、道路の管理・更新に対する関心も高くなっています。また、経済の成熟化と少子高齢化の進展等、経済社会情勢が大きな転換期を迎え、公共投資が抑制される中で、合理的・効率的な道路構造物の管理・更新は道路行政の重要な課題の一つとなっています。

以上のような認識の下、道路構造物の今後の管理・更新等のあり方を幅広く検討することとしました。検討に当たっては、各委員の知識、経験を結集し、今後の管理・更新等における総合的なマネジメントシステムの構築に向けたキックオフとなるものを目指しました。

今後、このシステムの開発と本格的導入のための制度整備が強力に推進されることを期待しています。

平成１５年４月

道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会

委員長　岡村　甫

道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会

委員名簿

委員長	岡村　甫	高知工科大学学長
副委員長	渡邊英一	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻教授
委　員	藤野陽三	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻教授
	三木千寿	東京工業大学理工学研究科土木工学専攻教授 （現　東京工業大学工学部長）
	田村　武	京都大学大学院工学研究科土木工学専攻教授
	魚本健人	東京大学生産技術研究所教授
	岩崎辰郎	日本道路公団技術部調査役
	西川和廣	国土技術政策総合研究所企画部評価研究官 （現　独立行政法人土木研究所企画部長）
行政委員	南部隆秋	国土交通省道路局国道課長 （現　国土交通省四国地方整備局長）
	金井道夫	国土交通省道路局有料道路課長
	大西敏夫	日本道路公団保全交通部長
	高津和義	首都高速道路公団保全施設部長
	松浦健二	阪神高速道路公団保全施設部長
	高澤　勤	本州四国連絡橋公団保全部長
	中村俊行	国土技術政策総合研究所道路研究部部長 （現　国土技術政策総合研究所研究総務官）
	岡原美知夫	独立行政法人土木研究所研究調整官 （現　独立行政法人土木研究所理事）

（平成１４年１１月１４日現在、敬称略、順不同）

提　言　要　旨

１．アセットマネジメント導入による総合的なマネジメントシステムの構築

道路を資産としてとらえ、構造物全体の状態を定量的に把握・評価し、中長期的な予測を行うとともに、予算的制約の下で、いつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを決定できる総合的なマネジメントシステムの構築が必要である。

その構築に当たっては、個々の技術者がこれまで蓄積してきた知識や経験を結集してまず基本的な枠組みをつくり、次いでその精度を向上させていくプロセスをとるのがよい。

２．ライフサイクルコストを考慮する設計･施工法の確立

道路構造物の建設費、供用後の維持費と修繕費、更新費や、渋滞損失や環境影響などを費用化した外部費用をライフサイクルコストの対象とし、ある一定期間の評価期間を設定して、それらの合計費用を最小化することを目的とした設計・施工法の確立が重要である。

３．構造物の総合的なマネジメントに寄与する点検システムの構築

構造物の点検は構造物の健全度評価や劣化予測から対策工事に至る一連のアクションに結びつけることを前提として行う必要がある。

その場合、膨大な道路ストックを効率的に点検するために、環境条件、交通特性、構造物の劣化度等に対応して、適切な点検項目や点検頻度を定めることが重要である。

４．新たな管理体制の構築

道路構造物の管理体制は、構造物の劣化を、構造体としての将来の状態を予測して対処すべきものと、表面的なはく離・はく落など日常の点検で発見して速やかに処置すべきものに区分して構築する必要がある。

前者については、現在までの知見と経験をもとに行う予測と全構造物のデータベースとを有効活用する体制が必要であり、データベースは、画像情報や施工時のデータを含めた点検結果を全構造物について電子化するとともに、共通の資産として維持管理することが重要である。

５．技術開発と専門技術者の養成

総合的なマネジメントシステムの基本フレームが構築されると、必要な専門技術者のレベルと数、重点的に進めるべき研究分野や技術開発の方向性など、取り組むべき個別の課題が明確になるので、必要な専門技術者の養成と技術開発とを積極的に進める必要がある。

その際、技術のニーズを公開し、民間の技術開発を促すとともに、新しく開発された技術の正当な評価と積極的な活用に努めることが重要である。

６．支援策と制度の整備

わが国の道路網は国民の共有財産であり、基本的な社会資本である。そして、高速自動車国道から市町村道までが一体的なネットワークとなって機能を果たしており、あらゆる種別の道路について、総合的なマネジメントシステムを導入するための新たな支援策と制度の整備が必要である。

７．情報提供と住民参加

道路構造物等の現状、道路管理に関する予算やその使われ方、道路管理体制の現状、道路管理に対する今後の取り組み、道路管理の効果、維持修繕工事の実施時期・箇所等の予定等について、国民にわかりやすく情報提供していくことが必要である。さらに、住民が道路管理の計画策定、実施、評価などに参画できる仕組みを構築することにより、一層の理解を得ることが可能になる。このような国民と行政のパートナーシップを向上させる取り組みは、いわゆる道路愛護の精神も醸成することとなり、より適正な管理を推進する上で有効な手法になる。

目　次

１．道路管理についての反省と課題
（１）これまでの道路管理 …… 1
（２）高齢化が進む道路構造物 …… 3
（３）「荒廃するアメリカ」の示唆 …… 5
２．総合的なマネジメントシステムの必要性 …… 7
３．総合的なマネジメントシステムの考え方
（１）基本フレーム …… 9
（２）アセットマネジメントの導入 …… 11
４．総合的なマネジメントシステムの構築
４－１　基本方針
（１）設計・施工 …… 15
（２）点検 …… 17
（３）健全度評価 …… 19
（４）劣化予測 …… 21
（５）管理計画 …… 23
（６）技術開発 …… 25
（７）専門技術者 …… 27
４－２　構築のプロセス …… 29
５．更新時代における道路構造物の適切な管理に向けて
（１）制度・支援策の整備 …… 33
（２）重量超過車両の適正な管理 …… 34
（３）国民への情報提供 …… 35
（４）必要な予算の確保 …… 36

（参考）取り組み事例 …… 38

１．道路管理についての反省と課題

（１）これまでの道路管理

これまでは、道路の新設に力点がおかれ、道路管理においては、その予算は、対前年度比などの指標をもとに決定され、将来を見通した長期的な観点から予算配分が行われてきたとは言い難い。

また、道路管理の取り組みについても、道路構造物をルーチン作業として点検し、劣化が顕著に現れている箇所において対症療法的に修繕するのが一般的であった。点検要領の作成、データベースの構築、技術開発の推進などが個別に行われてきたものの、全体を俯瞰した枠組み、総合的なマネジメントシステムの構築については検討が立ち遅れていた。

一方、国民に対して、道路施設の機能低下がもたらす問題が自分たちの問題であるということや、道路管理を怠ると将来の国民的損失につながるということを分かりやすく説明し、理解を得る努力が十分になされてきたとは言い難い。

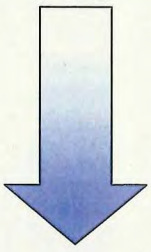
これまで新規の道路構造物の建設に力点をおいてすすめてきたわが国ではあるが、この貴重な社会資本を次世代に継承するための適切な維持管理を怠ると、これまでの努力が介塵に帰すことを認識する必要がある。

さらに、点検、診断、補修などを含む道路管理業務全般に対して、妥当な対価が支払われてこなかった面があり、そのために高い社会的評価が十分に得られていないという問題もある。

＜これまでの道路管理＞

［これまでの取組み］

- 劣化が顕著な部分を対症療法的に修繕
- 実績に基づく硬直的な予算配分
- 総合的取組みの欠如（要素技術のみの開発）



- 道路ストックの増加
- 道路管理費用の増大

［問題の顕在化］

- 道路管理の総合的枠組みの欠如
- 道路管理の重要性のアカウンタビリティ不足
- 道路管理業務への低い対価と低い社会的評価

（２）高齢化が進むわが国の道路構造物

わが国では、高度成長期に大量の道路構造物が建設され、その割合は橋梁では全橋梁数の約 40%、トンネルでは全トンネル数の約 25%を占めている。また、建設後 50 年以上経過した橋梁は 10 年後には現在の約 4 倍、20 年後には約 17 倍に達し、建設後 50 年以上経過したトンネルは、10 年後には現在の約 3 倍、20 年後には約 12 倍に達するなど、道路構造物の高齢化が今後集中的に進むことになる。

また、過去の架け替え実績や架け替え単価を参考に試算すると、直轄国道に現存する橋梁約 19,000 橋のうち、更新のピーク時には、年間 800 橋が更新対象となり、その更新費用として年間約 5,600 億円が必要となる。これだけでも、現在の直轄国道の維持・修繕に係る予算全体の約 2.6 倍に相当し、近い将来、対応が不可能な状況が発生する。

さらに、近年わが国では、第三者被害につながるコンクリート構造物のはく離・はく落や首都高速道路における鋼製橋脚の隅角部の疲労損傷など、新設時から年数を経た道路構造物の損傷事例が報告されており、道路構造物に対する信頼性が揺らいでいる。

本来、50 年は財産管理上の年数であり、構造物の物理的耐用年数ではない。しかし、構造物を設計する際の物理的耐用年数の定義はあいまいであり、また、既存構造物の健全度、損傷度の評価についても確定されているとはいえない。

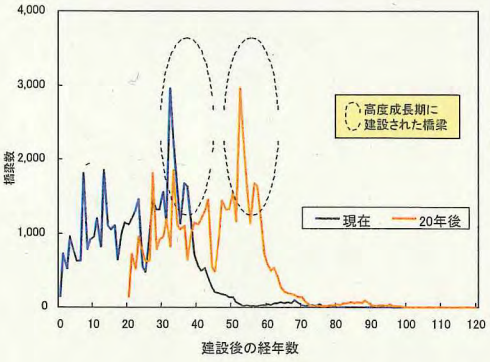
これらの状況を米国と比較すると、わが国の道路構造物は、1980 年代の「荒廃するアメリカ」と呼ばれた状況に近づきつつあり、10 年後には当時の米国を上回る道路構造物の高齢化が進み、既に大規模な更新時代の入口に立たされていると言える。

今後は、適切な補修による道路構造物の延命化や新設構造物の長寿命化、さらには、補修・更新費用の平準化・最小化を図ることが必要となる。

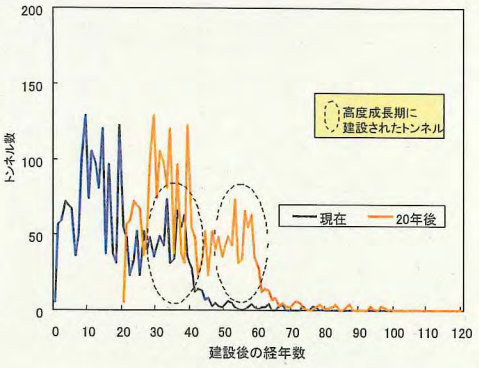
＜高齢化が進むわが国の道路構造物＞

高度成長期に大量に建設された道路構造物

橋梁の経年別分布状況（直轄国道＋4公団）



トンネルの経年別分布状況（直轄国道＋4公団）

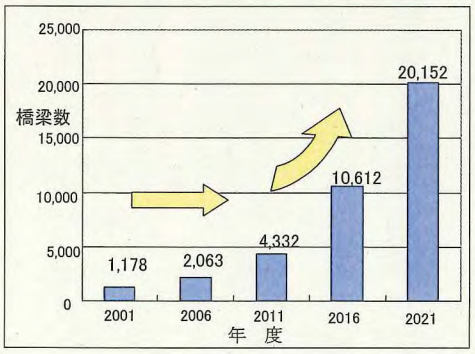


出典：国土交通省資料、及び4公団資料

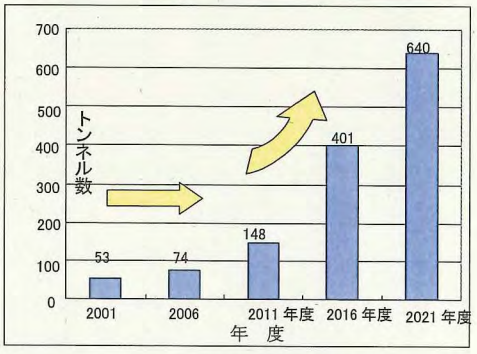
※4公団とは、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、日本道路公団、本州四国連絡橋公団を指す。以下同様。

高齢化する道路構造物は 10 年後から 20 年後にかけて飛躍的に増加

建設後 50 年以上の橋梁の推移（直轄国道＋4公団）



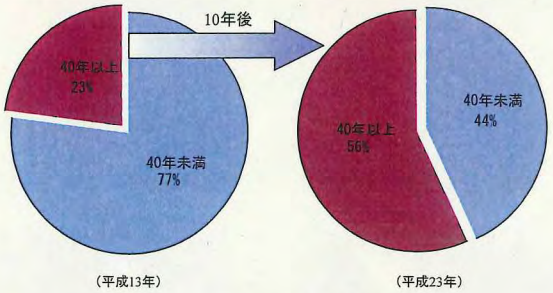
建設後 50 年以上のトンネルの推移（直轄国道＋4公団）



出典：国土交通省資料、及び4公団資料

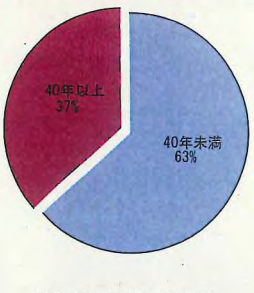
10年後には「荒廃するアメリカ」以上の高齢化

架設後40年以上の橋梁の割合の推移（直轄国道）



出典：国土交通省資料

米国の1980年時点の架設後40年以上の橋梁の割合



出典：橋梁架替・修繕計画
第3回年報（米国，1981.3）

（３）「荒廃するアメリカ」の示唆

1980 年代当初のアメリカでは、1930 年代のニューディール政策により大量に建設された道路構造物の高齢化が進み、例えば橋梁の約 37%が建設後 40 年以上を経過している状況であった。一方、経済状況については、1973 年のオイルショック以降、経済成長率が鈍化し、停滞が続いていた。道路投資についても、こうした状況を反映し、維持管理費を含む資本的投資の推移は、実質換算額では 1968 年以降減少の一途をたどり、1979 年には最大であった 1968 年のほぼ１／２の水準まで減少した。

この結果、1983 年には、橋梁の約 45%に何らかの欠陥が存在するなど道路ストックの荒廃を招くこととなった。当時出版された「荒廃するアメリカ」では、道路の機能が著しく低下し、悪路や欠陥橋梁の増加によって、経済的・社会的に大きな損失がもたらされることが指摘された。また、ニューヨークのウィリアムズバーグ橋の例のように、都市部の幹線路線においては、交通を止めての更新は、社会から容認されないことは明らかである。

こうした状況を克服し、道路の機能の改善を図るため、全米橋梁点検基準（NBIS）を策定するとともに、点検員の資格及び点検員養成を制度化して技術の向上を図った。また、米国連邦政府は悪化した財政収支の中、1982 年に制定した交通支援法で、1959 年以降一定となっていたガソリン税率を 23 年ぶりに引き上げることによって財源を確保し、道路投資額の拡充を行った。さらに 1998 年の 21 世紀交通最適化法（TEA-21）によって、道路整備の財源が一層確保されるようになり、道路投資額の拡充とともに欠陥橋梁数が減少するなど、劣化した道路施設の再生が進められた。

わが国は、「荒廃するアメリカ」を教訓として、「荒廃する日本」としないための政策と技術開発の方向性を明確に打ち出すシステムが必要である。

＜「荒廃するアメリカ」の示唆＞

一時期に大量建設された道路構造物

↓

集中化した道路構造物の高齢化

↓

○道路ストックの荒廃

↓

○道路投資額の増大
○未だに残る欠陥橋梁

○経済の停滞
○道路投資額の減少
○技術者数の制約
○不十分な管理体制

↓ 教訓として

高齢化した道路構造物が増加するまでに、システムを早急に確立する必要

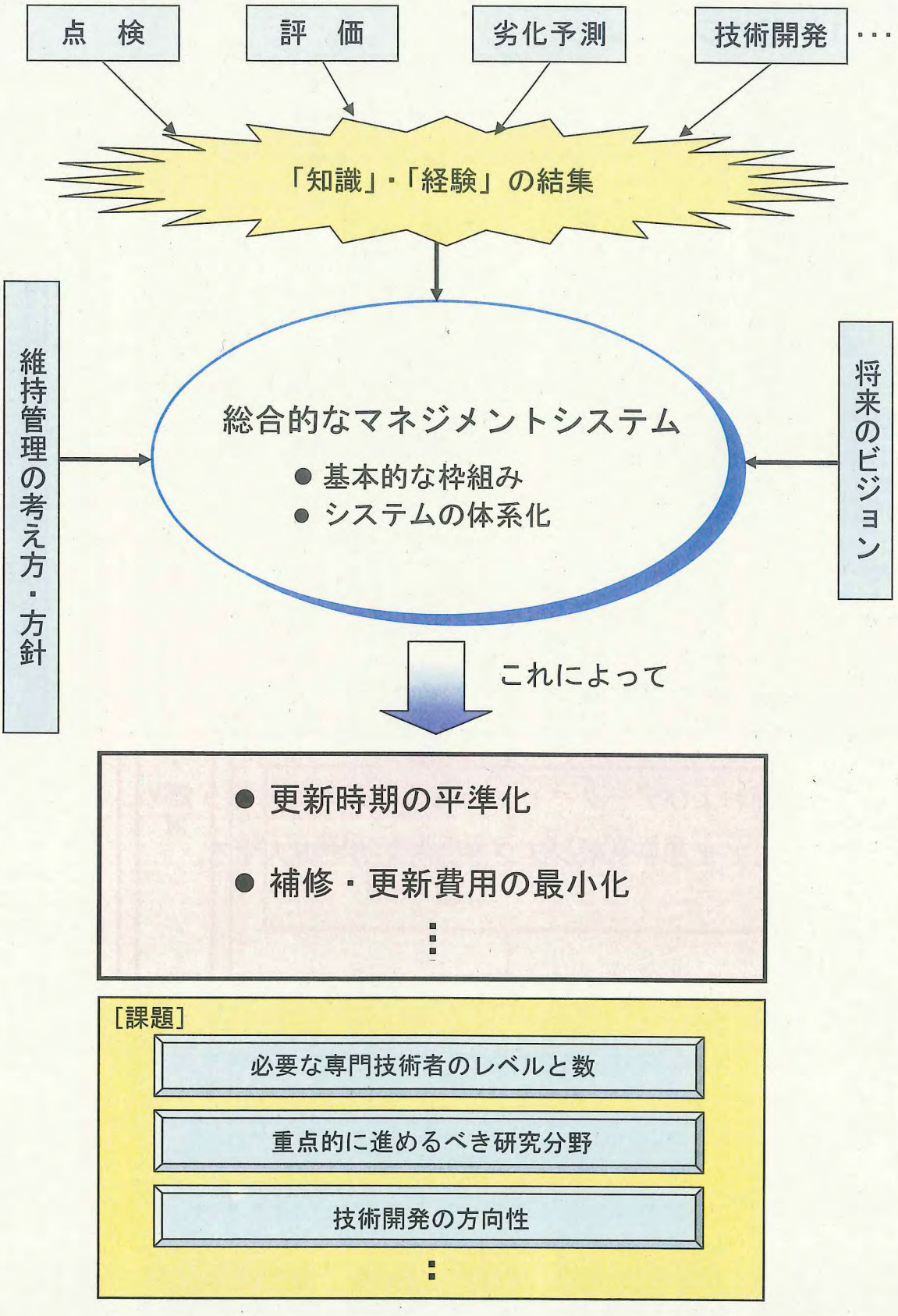
２．総合的なマネジメントシステムの必要性

高度成長期に大量に建設された道路構造物の高齢化が急速に進んでおり、更新時期の平準化、補修・更新費用の最小化等、長期的な観点から、今後の管理・更新等のあり方を検討しなければならない。そのためには、まず道路構造物の維持管理に対する基本的な考え方や方針を明確にし、さらに将来のビジョンを見据えた上で、現在の技術の粋を結集した総合的なマネジメントシステムをつくることが必要である。

これまでの道路構造物の維持管理・補修では、点検、評価、劣化予測、技術開発などについて、個別に取り組みが行われてきた。まず、それらを総合してマクロな視点で基本的な枠組みをつくり、さらにそれらを体系化することによって、道路構造物の維持管理を進めるためのシステムを具体的に検討することができる。それにより、必要な専門技術者のレベルと数、重点的に進めるべき研究分野、技術開発の方向性など、次に取り組むべき個別の課題が明確になる。

個々の技術者がこれまで蓄積してきた知識や経験を結集し、それに加えて、高度な専門知識を持つ技術者の科学的知見と最新の技術開発の成果を適所に取り入れることにより、精度の高いマネジメントシステムが構築できると考えられる。

＜総合的なマネジメントシステムの必要性＞



３．総合的なマネジメントシステムの考え方

（１）基本フレーム

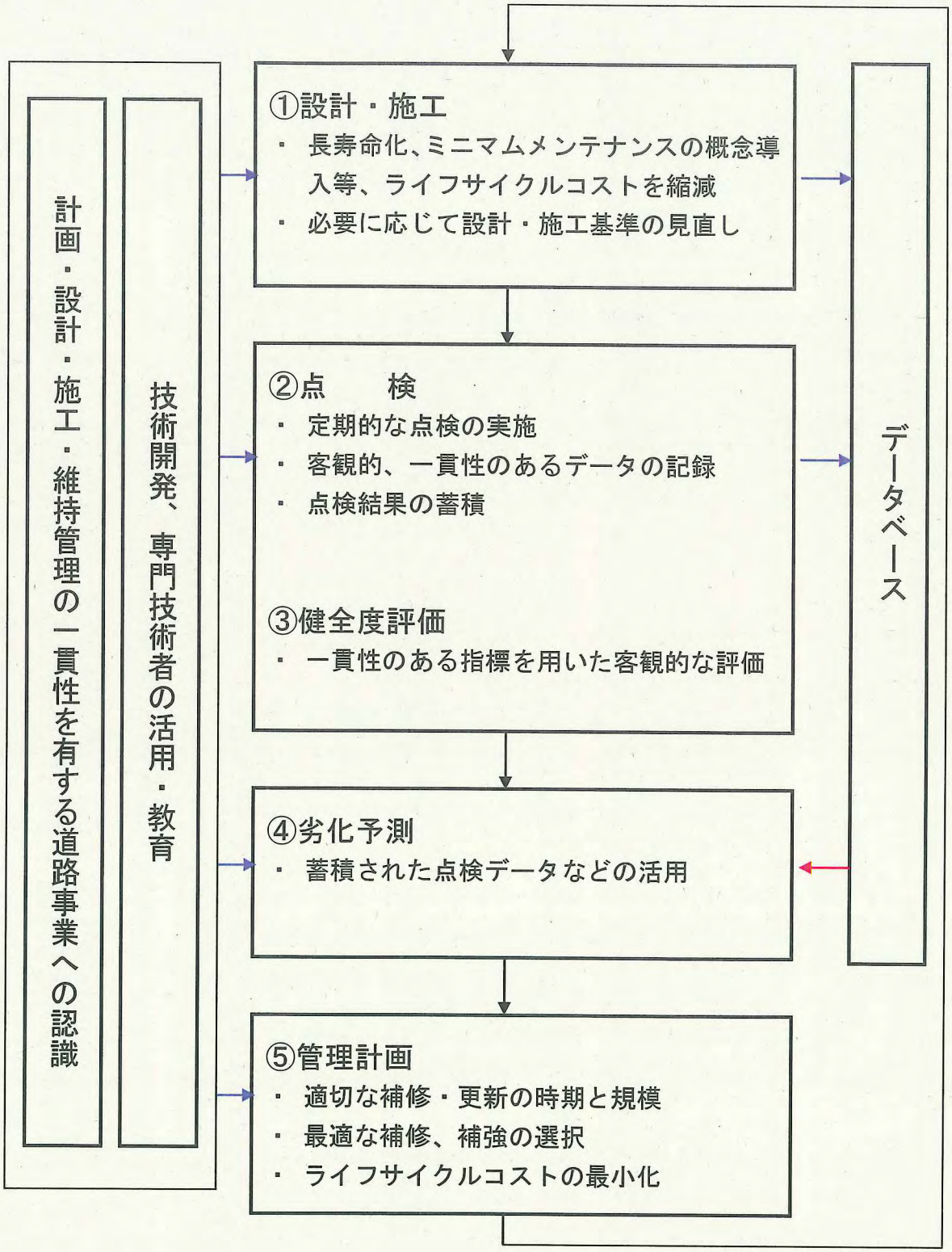
総合的なマネジメントシステムの基本フレームを提示する。（次頁参照）

システムは、①設計・施工、②点検、③健全度評価、④劣化予測、⑤管理計画のフローで構成されるものとし、技術開発や専門技術者の活用・育成、データベースがこれらをサポートするしくみとした。また、⑤管理計画は、①設計・施工にフィードバックして、全体がPDCA (Plan Do Check Action) のサイクルでまわるしくみとした。

この基本フレームを構成する各事項について、今後の検討の方向性、留意点等を「４．総合的なマネジメントシステムの構築」の「４－１　基本方針」にとりまとめる。

また、この基本フレームにおける点検、健全度評価、劣化予測、管理計画およびデータベースの部分を効率的に行うため、次項に記述するアセットマネジメントの考え方を導入する。

＜基本フレーム＞


①設計・施工
・ 長寿命化、ミニマムメンテナンスの概念導入等、ライフサイクルコストを縮減
・ 必要に応じて設計・施工基準の見直し
②点　　検
・ 定期的な点検の実施
・ 客観的、一貫性のあるデータの記録
・ 点検結果の蓄積
③健全度評価
・ 一貫性のある指標を用いた客観的な評価
④劣化予測
・ 蓄積された点検データなどの活用
⑤管理計画
・ 適切な補修・更新の時期と規模
・ 最適な補修、補強の選択
・ ライフサイクルコストの最小化
データベース
技術開発、専門技術者の活用・教育
計画・設計・施工・維持管理の一貫性を有する道路事業への認識

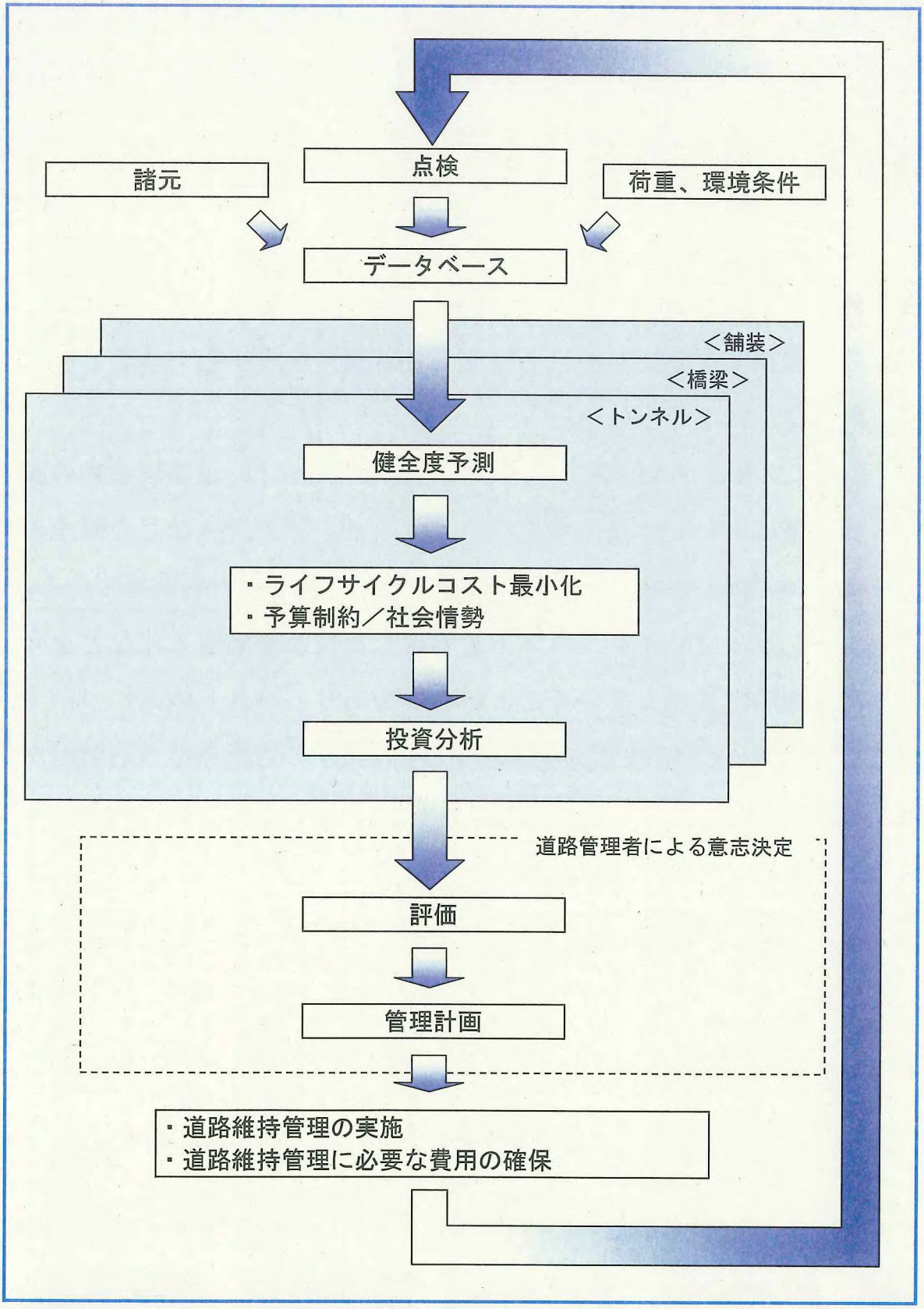
（２）アセットマネジメントの導入

これまでは、道路橋の架け替え理由について見てみると、劣化や損傷によるものよりも、機能低下や陳腐化によるものが多くを占めていた。しかしながら、今後は、劣化した道路構造物の荒廃を防ぐことを最優先して、限られた予算を充当していかなければならない。

道路構造物の劣化は、経過年数とともに加速度的に進展し、早期に予防的な対策を行った方が、維持管理を先送りしてそのまま放置するよりもトータルコストが安くなる、というのが一般的な見解である。従って、道路構造物が今どういう状態にあって、どこで対策を行うとどういう効果があるか、逆に放置するとどれだけ劣化するかを明示できるシステムを構築することが重要である。

そのため、「道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路構造物を計画的かつ効率的に管理すること」という「アセットマネジメント」の考え方を総合的なマネジメントシステムの中心として位置づけて、システムを構築していくことが望ましい。

＜道路アセットマネジメントの考え方＞



アセットマネジメントにおいては、道路を効率的に管理するためには、道路の安全性や健全性を維持しつつ、道路構造物の建設と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最小化することが必要である。道路構造物の建設費、供用後の維持費と修繕費、更新費や、渋滞損失や環境影響などを費用化した外部費用をライフサイクルコストの対象範囲とし、ある一定期間の評価期間を設定して、それらの合計費用を最小化することを検討しなければならない。

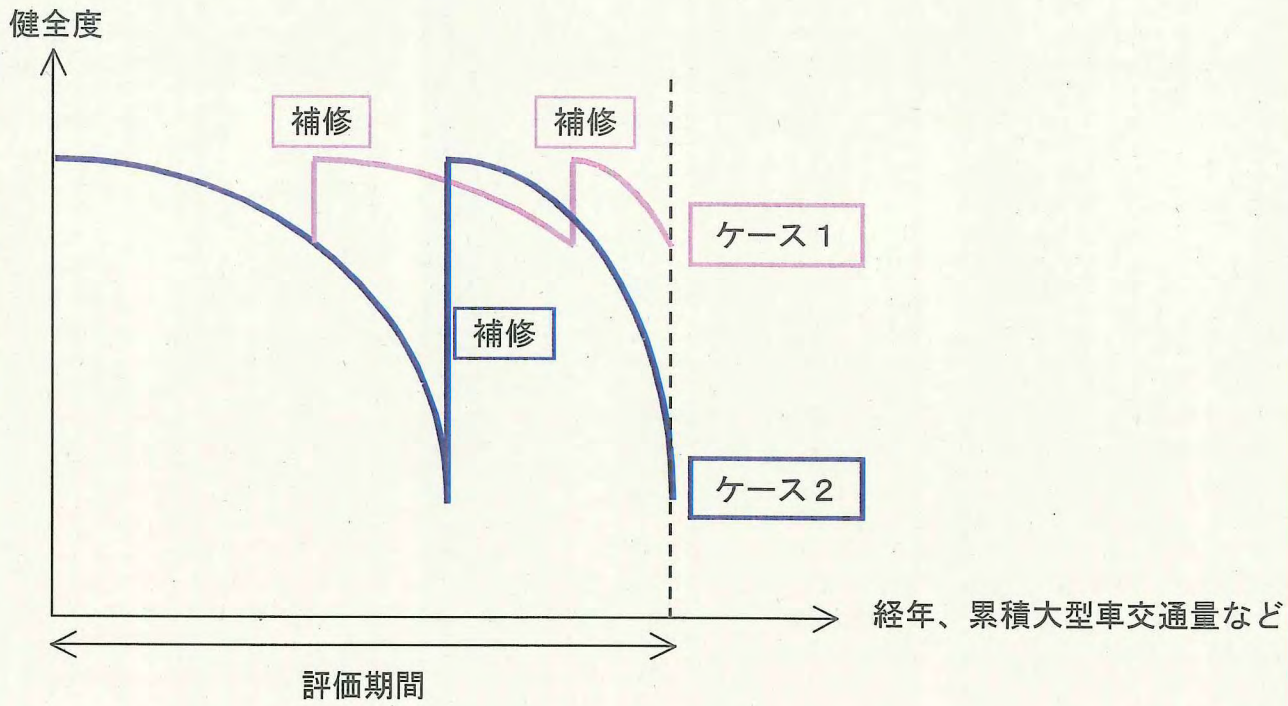
ライフサイクルコストの最小化を図るためには、道路構造物の設計段階において、長寿命化やミニマムメンテナンスなどの概念の導入が必要であり、疲労を考慮した設計を行うことも重要である。また、ライフサイクルコストを考慮した技術提案型入札などを今後積極的に採用していくことが必要であり、コスト体系についても、維持、修繕、更新は、新設の場合とは別の考慮を払う必要がある。

(※) ミニマムメンテナンスの概念

① メンテナンスフリーを狙うのではなく、維持管理の力を借りて長寿命化を図る。
② 最小限の維持管理で最大限の寿命を実現することを目標とする。
③ 今の技術で(技術的&経済的に)可能な範囲での「永久」を目指し、速やかに実行に移す。
④ 目標を明確にすることで技術開発を促す。

＜道路構造物のライフサイクルのイメージ＞

（コンクリート床版や舗装の例）



（例）　ケース１：評価期間内に軽微な補修を２度行ったケース

ケース２：評価期間内に大規模な補修を１度行ったケース

４．総合的なマネジメントシステムの構築

４－１　基本方針

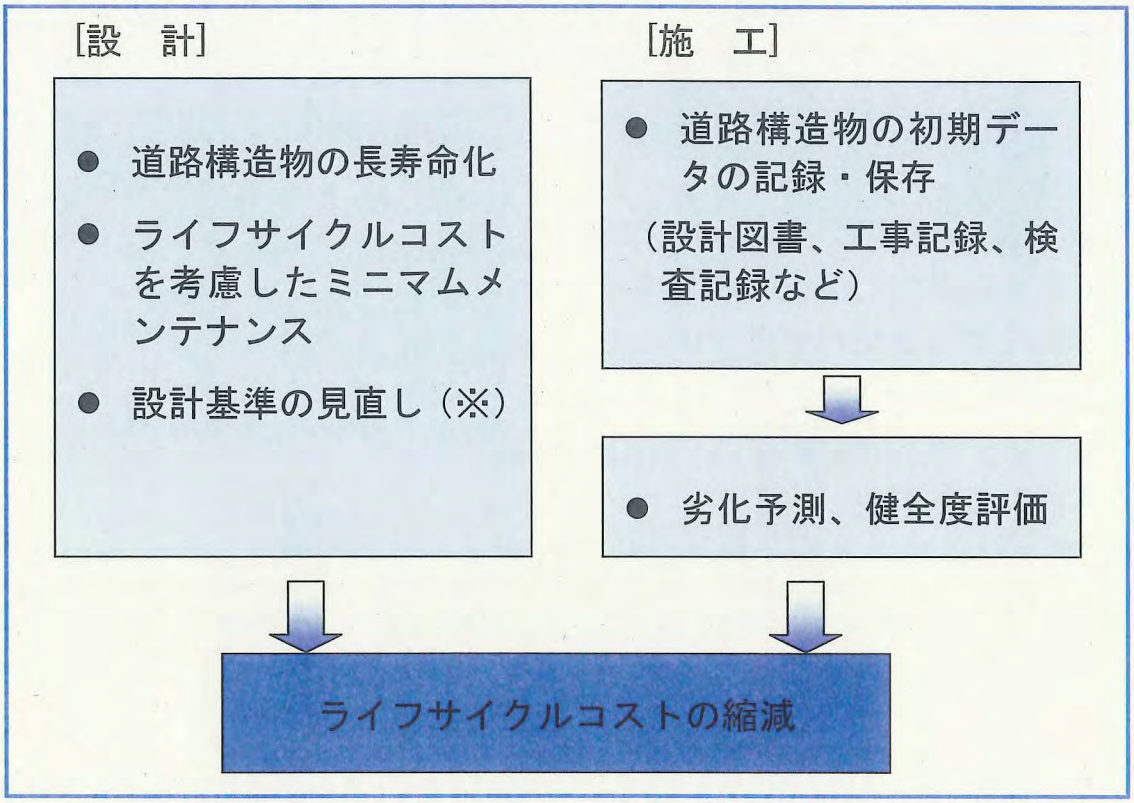
（１）設計・施工

設計・施工の段階では、道路構造物の初期の条件や状態が決定され、完成後の維持管理に大きな影響を与える。そのため、長寿命化や維持管理の軽減を目指して、以下の方策が必要である。

設計時には、道路構造物の長寿命化やミニマムメンテナンス等、ライフサイクルコストの縮減に資するような設計を行い、必要に応じて、設計基準の見直しを検討することが必要である。

施工時には、道路構造物の初期状態を確実に記録・保存する必要がある。施工時のデータは、道路構造物の初期の実態を示すものであり、その後の健全度評価や劣化予測のベースとなる極めて重要なファクターである。

＜設計・施工＞



（※）設計基準の見直し

＜橋梁：道路橋示方書＞

	[現状(H13.12.27 改訂版)]	[今後の検討課題]
耐久性の向上	「耐久性の検討」を章立て ・コンクリート橋の塩害対策を規定 ・鋼橋の疲労設計を規定 ・鋼橋の防せい・防食を規定	・設計供用期間の設定 ・鋼橋の疲労設計手法の確立
維持管理の軽減	設計の基本理念において「維持管理の容易さ」を設計段階で考慮することを明記 （例） 伸縮装置の構造は、維持管理の容易さに配慮した構造とする	

＜トンネル：道路トンネル技術基準・同解説＞

	[現状（平成元年６月）]	[今後の検討課題]
耐久性の向上	・温度応力等が原因となる覆工のひび割れ防止対策を規定 ・トンネル内への漏水を防ぐための防水工およびトンネルの湧水をトンネル外へ排出する排水工を規定 ・覆工コンクリートの配合に耐久性を考慮（過去の実績に基づいた一般的な配合例を明示）	・鋼繊維補強コンクリート等を用いた覆工の設計法

（２）点検

点検は、道路構造物の状態を把握することが主たる目的であるが、それに止まらず、健全度評価や劣化予測から対策工事に至る一連のアクションに結びつけることを前提として行う必要がある。そのためには、その後の劣化予測、対策方法や時期について意思決定を行うために必要な情報の収集を伴わなければならない。たとえ点検を外部に業務委託して行う場合でも、点検結果やアクションの判定にあたっては道路管理者が最終的に判断するなど、点検から補修実施までの一連の流れにおいて道路管理者が主体的に関与することが不可欠である。

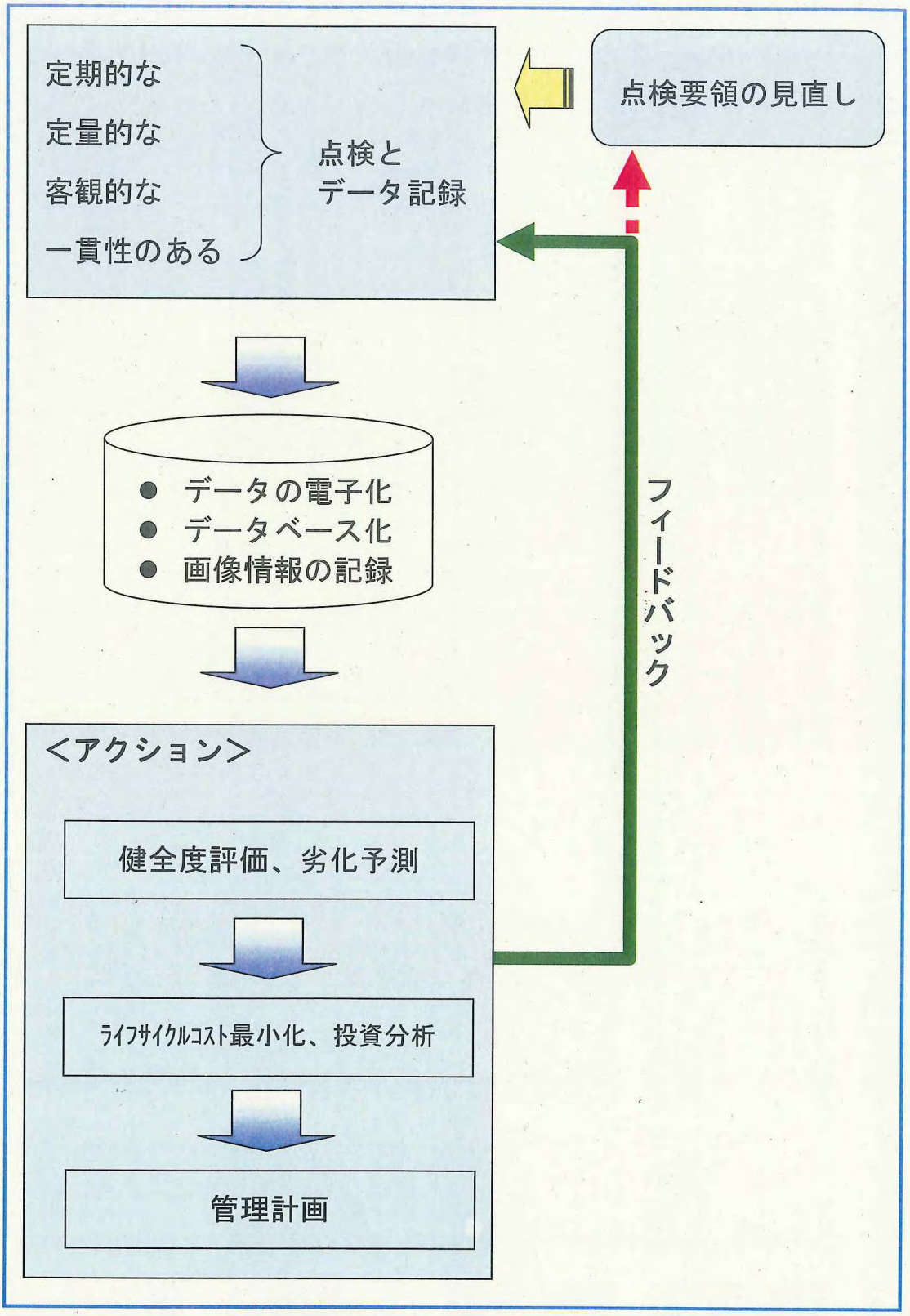
膨大な道路ストックを効率的に点検するためには、工学的かつ統計的な裏付けを持った点検項目や頻度の見直しが必要である。その地点における環境条件を反映するとともに、大型車の重量および積載量遵守状況を把握するなど、交通特性を点検に反映しなければならない。また、劣化が確認された場合には、その性状と予測の精度に応じて、適切な点検間隔を設定する必要がある。

点検結果については、数値情報や画像情報を必要に応じて用いるなど可能な限り定量的かつ客観的に記録することが望ましい。健全度評価や劣化予測等に有効なデータを対象として一貫性のあるデータ記録を行うことが重要である。データは、電子化して今後のマネジメントに活用するとともに、点検の結果発見された損傷データは継続して観察し、点検から補修完了までの一貫した履歴をデータベースとして保存・蓄積・更新する必要がある。

加えて、これらの情報を道路管理者の全技術職員が共有することが、健全度評価や劣化予測から対策工事に至る一連のアクションを行う上で効果的である。

このように、道路構造物の点検対象について、劣化の特性やメカニズム、道路利用者への影響等を考慮した上で、どのような点検頻度と方法で行うかを、現行の点検要領の見直しも含めて検討することが必要である。

＜点　検＞


定期的な
定量的な
客観的な
一貫性のある
点検と
データ記録
点検要領の見直し
● データの電子化
● データベース化
● 画像情報の記録
フィードバック
＜アクション＞
健全度評価、劣化予測
ﾗｲﾌｻｲｸﾙｺｽﾄ最小化、投資分析
管理計画

（３）健全度評価

道路構造物の状態を把握するため、健全度の評価方法を客観的なデータに基づく一貫性のある評価へと改めていく必要がある。これにより、設計基準の改訂や維持管理方法を変更した場合の効果を追跡、検証することも可能となる。また一方で、専門的知識に基づく総合的な判断が要求される複雑な場合もあり、必要に応じて外部の専門技術者の協力を得て評価する必要がある。

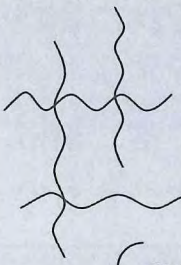
コンクリート構造物においては、塩害やアルカリ骨材反応のように、地域特性により損傷の発生頻度や進行速度が異なる場合や、損傷レベルによっては長期の交通規制が必要になって対策工事が困難になるといったこともあり、画一的に運用するのではなく、対策方法などのアクションを意識した総合的評価が必要である。

例えば、次頁に示す橋梁の床版の健全度を評価する場合、これまでの床版の損傷レベルの評価に加えて、今後は、損傷レベルに応じてとりうることのできる対策などを含めた総合的な評価手法が必要である。

＜健全度評価＞

（例：コンクリート床版のひびわれ）

● 見かけ上の評価



２方向ひびわれ

ひびわれ最小間隔が 50cm 未満

ひびわれに沿って鉄筋の錆汁が認められる。または幅 0.3 mm以上

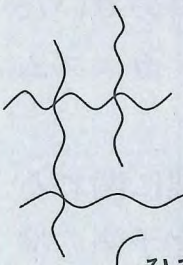
位置あるいはパターン（X）
２方向ひびわれ ⇒ 大

深さ（Y）
錆汁を伴なうひびわれまたはひびわれ幅大 ⇒ 大

拡がり（Z）
ひびわれ最小間隔小 ⇒ 大

健全度のランクを評価

● 対策を考慮した評価（イメージ）



２方向ひびわれ

ひびわれ最小間隔が 50cm 未満

ひびわれに沿って鉄筋の錆汁が認められる。または幅 0.3 mm以上

例えば、

この段階であれば下面からの補修・補強が可能。（炭素繊維貼り付け、鋼板接着など）

雨水の浸透と鉄筋の防食対策が必要。（床版防水工の施工）

健全度のランクを評価

（４）劣化予測

道路構造物の劣化については、構造体としての将来の状態を予測して対処すべきものと、表面的なはく離・はく落など日常の点検で発見して処置すべきものに区分して考える必要があり、それに合わせた管理体制を構築する必要がある。例えば、コールドジョイント、かぶり不足などに起因するコンクリート片のはく離・はく落、鋼桁のボルト抜け落ちなどは後者に分類され、速やかに処置すべきものと考えられる。

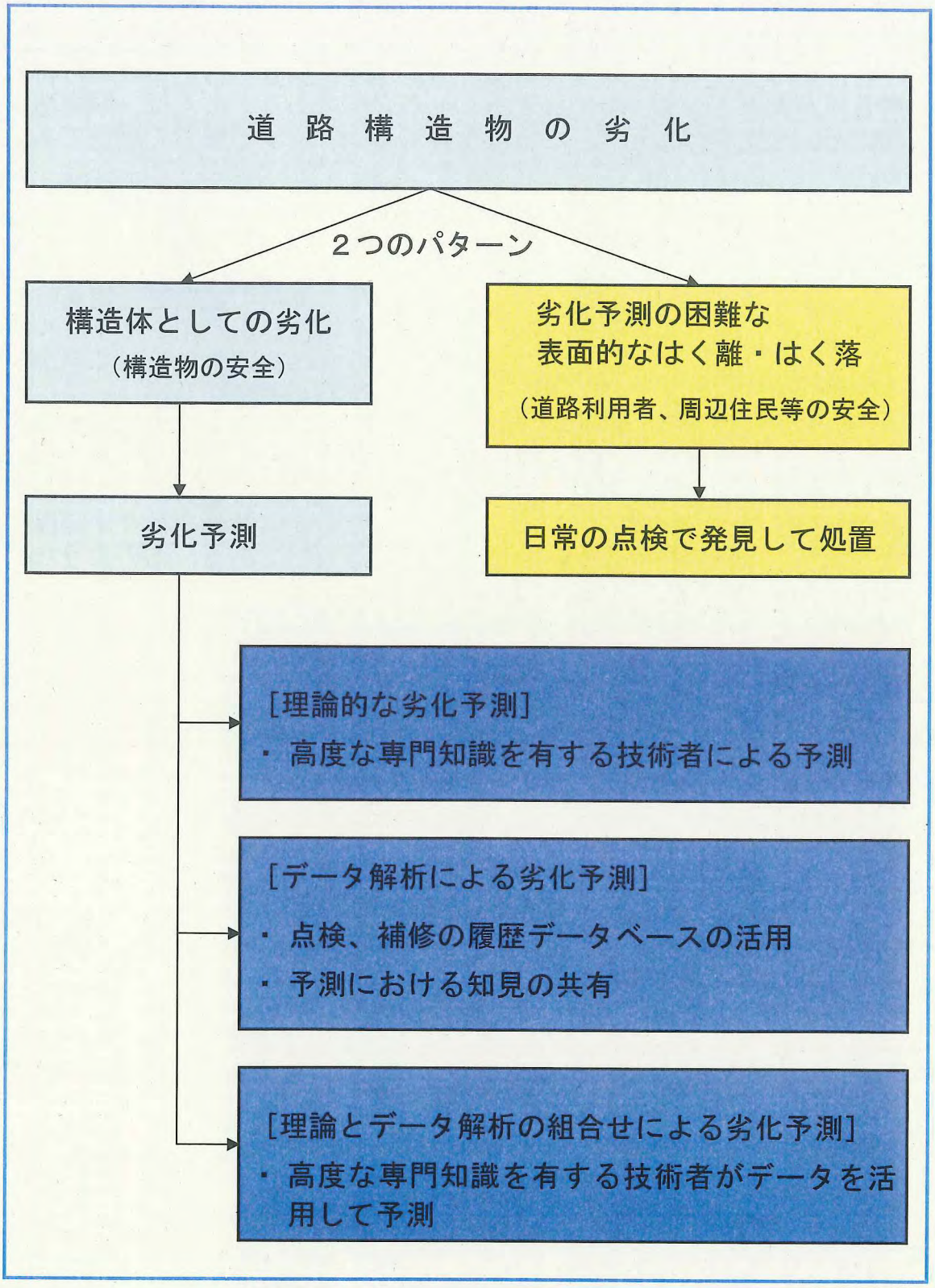
また、構造体として劣化予測を行う場合には、現在までの知見と経験をもとにした理論的な劣化予測、データにもとづく類推・分析、およびそれらを組み合わせた予測が行なえる体制が必要である。

理論的な予測では、既往の研究事例から予測方法を定めることにより、データにもとづく解析では、既存の点検結果や補修等の履歴データを収集し分析することにより劣化予測を行うことになる。いずれにしてもその前提として、道路構造物の物理的な劣化メカニズムを十分に理解しておく必要がある。

また、劣化予測を行う場合には、対象構造物の保有する特性（累加交通量や気象環境などの外的要因、設計時期や使用材料の違いなどの内的要因、過去の補修履歴等）を考慮した劣化予測メカニズムの統計的な分析が必要である。

さらに、蓄積したデータ、予測における知見を道路管理に関わる技術者間で共有することが重要である。これにより、劣化予測の検証が図れるとともに、新たな知見が生まれる場が提供されることになる。

＜劣化予測＞


道路構造物の劣化
２つのパターン
構造体としての劣化
（構造物の安全）
劣化予測の困難な
表面的なはく離・はく落
（道路利用者、周辺住民等の安全）
劣化予測
日常の点検で発見して処置
[理論的な劣化予測]
・高度な専門知識を有する技術者による予測
[データ解析による劣化予測]
・点検、補修の履歴データベースの活用
・予測における知見の共有
[理論とデータ解析の組合せによる劣化予測]
・高度な専門知識を有する技術者がデータを活用して予測

（５）管理計画

適切な管理計画を策定するためには、道路構造物の現在の状態を適正に評価し、将来の状態を的確に予測した上で、さまざまな対策工法の中から最適なものを選定し、適切な時期に適切な規模の対策を行うことによってどういう効果が得られるか、逆に放置するとどれだけ将来負担が大きくなるかを把握することが必要である。例えば、鋼構造物について先ず行なうべきことは既設構造物に対する疲労の照査である。

実際には、維持管理に関する技術データなどが共有されていないため、ある工法で補修を行なうことによってどの程度改善したのかを示すデータが不足しており、現場技術者もよくわからないまま対処しているのが現状である。構造物ごとにさまざまな対策工法とその実施時期について工事実施による交通への影響等も考慮してライフサイクルコストを算定し、その最小化が図れるような方法を選定するしくみが必要である。

これらの考え方は、補修・更新費の最小化、道路構造物の長寿命化を図るために、今後積極的に導入を図っていかなければならない。特に、損傷状況等を考慮して点検を適切な頻度で行うとともに、点検により損傷の発生を把握し、著しい損傷にいたる前に対策を行う予防保全的な管理は、今後の管理計画の基本となるものである。このような新しい管理計画の考え方を、現場レベルでも問題意識を持って、実行していく必要がある。

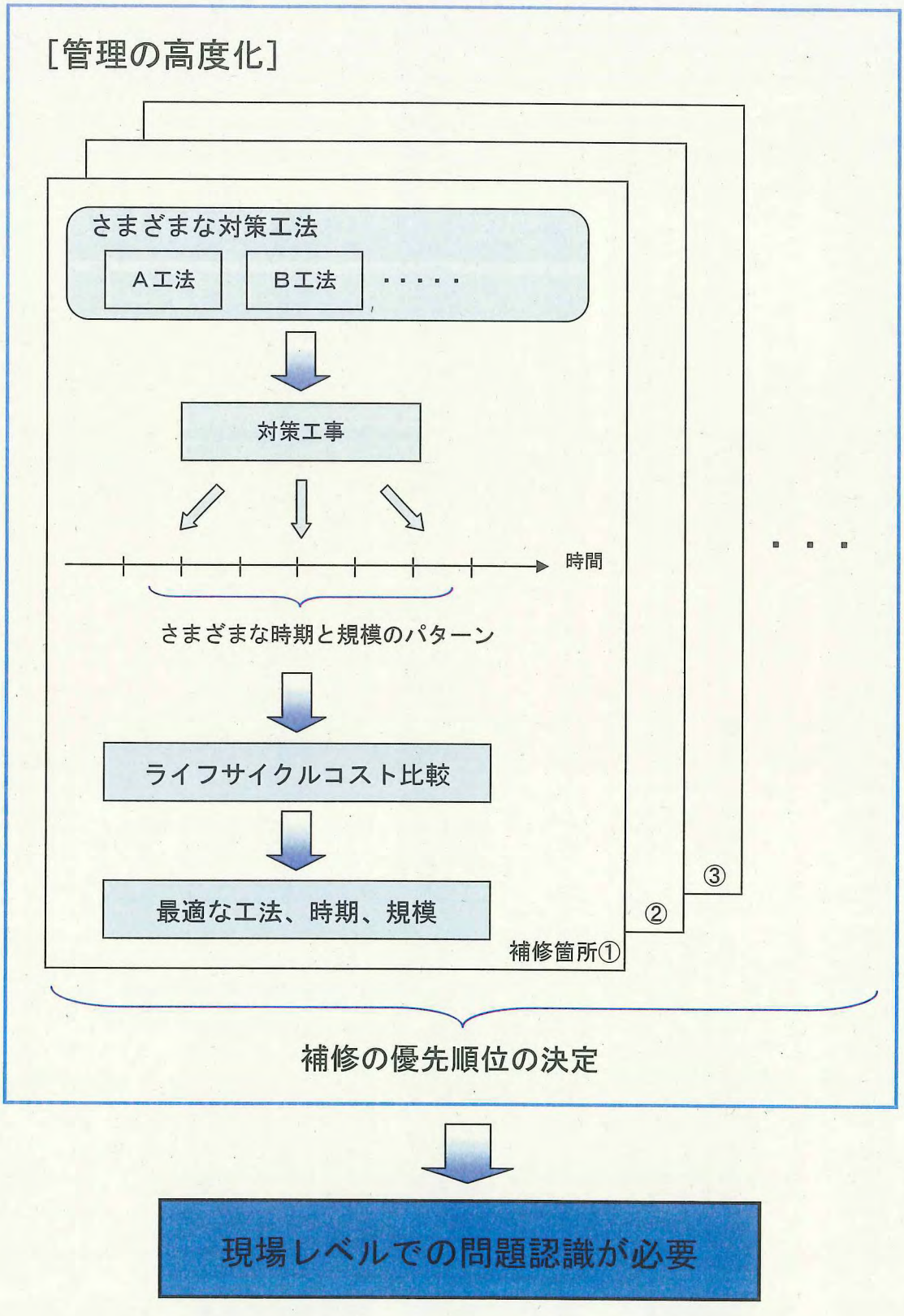
後述の＜鋼橋の基本ライフサイクルについて＞に示されるように、維持管理のシナリオは、対症療法すら行わないシナリオＡ、対症療法のシナリオＢ、さらに進んだ考え方としてリスク管理型のシナリオＣが考えられる。シナリオＢの中でも、より積極的に早期治療を施す予防保全の考え方があり[1)]、シナリオＣは３つの対策の組み合わせにより構成される[2)]。いうまでもなく、今後の維持管理においては、シナリオＡよりもＢ，ＢよりもＣへシフトして行くことが、ライフサイクルコストの最小化においても、既設橋梁の延命化及び更新時期の平準化のいずれの面においても望ましい。

今後、予防保全を主とした管理を実施するためには、これまで以上に長期的な視点からの対策工法の立案が重要となる。その際、長期間の工事実施による道路規制に伴う経済損失や、対策工事に伴う環境への影響など、外部コストについても十分配慮することが必要である。

1）道路関係４公団による予防保全の定義：　予防保全とは、初期劣化段階は①、少し劣化が進行した段階は②をいう。
①損傷が著しくならないうちに早めの補修を行ない、ライフサイクルコストが最小になるように対処すること。
②緊急的な処置を必要とする段階に至らぬよう、時間的に余裕を持った保全対策を行うことで、計画的な管理を可能にすること。

2）リスク管理型維持管理の３要素
①リスクコントロール：過去の経験から、損傷を生じないような設計・施工・維持管理を行う。
②ダメージコントロール：避けられない損傷や損耗に対し、部品交換などが容易になるような構造・材料を採用する。
③トラブルシューティング：小さな損傷、損傷の兆候あるいは一定の傾向を持つ損傷がほかの構造物で生じた場合、原因の特定と除去を適切な時期に実施する。

＜管理計画＞


［管理の高度化］
さまざまな対策工法
A工法
B工法
・・・・・
対策工事
時間
さまざまな時期と規模のパターン
ライフサイクルコスト比較
最適な工法、時期、規模
補修箇所①
②
③
・・・
補修の優先順位の決定
現場レベルでの問題認識が必要

（６）技術開発

道路構造物に対する総合的なマネジメントシステムの基本フレームを構成する設計・施工、点検、健全度評価および劣化予測の各段階での技術開発ならびに補修・更新を効率的に行うための技術開発を推進する。その際、技術のニーズを公開し、民間の技術開発を促すとともに、新しく開発された技術の正当な評価と積極的な活用に努めることが重要である。

今後開発が必要と考えられる技術のうち、設計・施工技術としては、ミニマムメンテナンス橋のように、橋梁の健全性を保ちつつライフサイクルコストの低減を図る新たな設計思想の導入や施工時の品質管理技術などが考えられる。

点検技術では、点検作業の効率化とその有効な記録方法に関する技術開発が必要である。例えば、通常の目視点検では視認できないコンクリート内部の空洞や変状を把握するための赤外線や超音波、光ケーブルなどを活用した技術の開発が必要である。また、構造物表面の状態を記録するためのレーザー光線やハイビジョンカメラ、CCD カメラなどを活用した映像を記録する技術も必要となる。さらに、劣化が顕在化する以前にその兆候を把握したり、発生している応力を検出するための非破壊点検手法や、コンクリート中の鉄筋の腐食程度を精度よく効率的に測定するための検査方法、現地に到達することが困難な個所の遠隔点検技術やモニタリング技術の開発も必要である。

補修技術では、道路構造物の耐久性を向上させ、長寿命化を図るための技術や、道路工事による通行規制などの社会的影響を少なくするための技術が必要である。例えば、トンネルの裏込め注入に新たな材料を用いることにより覆工の耐久性を向上させる技術などが考えられる。

＜技術開発＞

［今後必要となる技術］

● ライフサイクルコストを低減するための設計・施工技術

- 環境や耐用年数に応じた設計を可能とする耐久設計の導入
- 品質施工管理・検査技術の高度化

● 高精度で効率的な点検技術、記録技術

- 赤外線、超音波、光ケーブルなどを活用した構造物内部の点検技術
- レーザー光線、ハイビジョンカメラ等による構造物の表面状態の定量的な記録技術
- 発生応力等を把握するための非破壊手法による点検技術
- 現地に到達することが困難な箇所の遠隔点検、モニタリング技術
- 点検結果の記録技術・活用技術の高度化

● 精度の高い評価・予測技術

- 健全度評価、劣化予測等に結び付けるための定量的・経時的なデータ評価と予測技術

● 効果的な補修・更新技術

- 効果的な補修・補強技術の選定・適用手法
- 長寿命化技術、社会的影響を少なくするための技術

（7）専門技術者

総合的なマネジメントシステムの基本フレームにおける設計・施工、点検、健全度評価、劣化予測、管理計画の各段階で、一定レベルの知識と経験を有する技術者が必要である。

点検については、日常の点検と道路構造物ごとの定期的な点検に大別される。日常点検は日々の巡回において目視により実施しているものであり、道路管理者等がその知識と経験に基づき実施している。今後は、点検を行う者の専門能力をより一層向上させることにより、点検水準の確保を図る必要がある。道路構造物の定期点検及び健全度評価は民間と協力し、点検要領等に従って実施していることが多い。定期点検の確実な実施、客観的で一貫性のあるデータの蓄積、点検結果に基づく正確な健全度評価を行うためには、一定の水準以上の知識と経験が必要であり、組織の内外ともに所要の技術力を有する技術者が必要である。

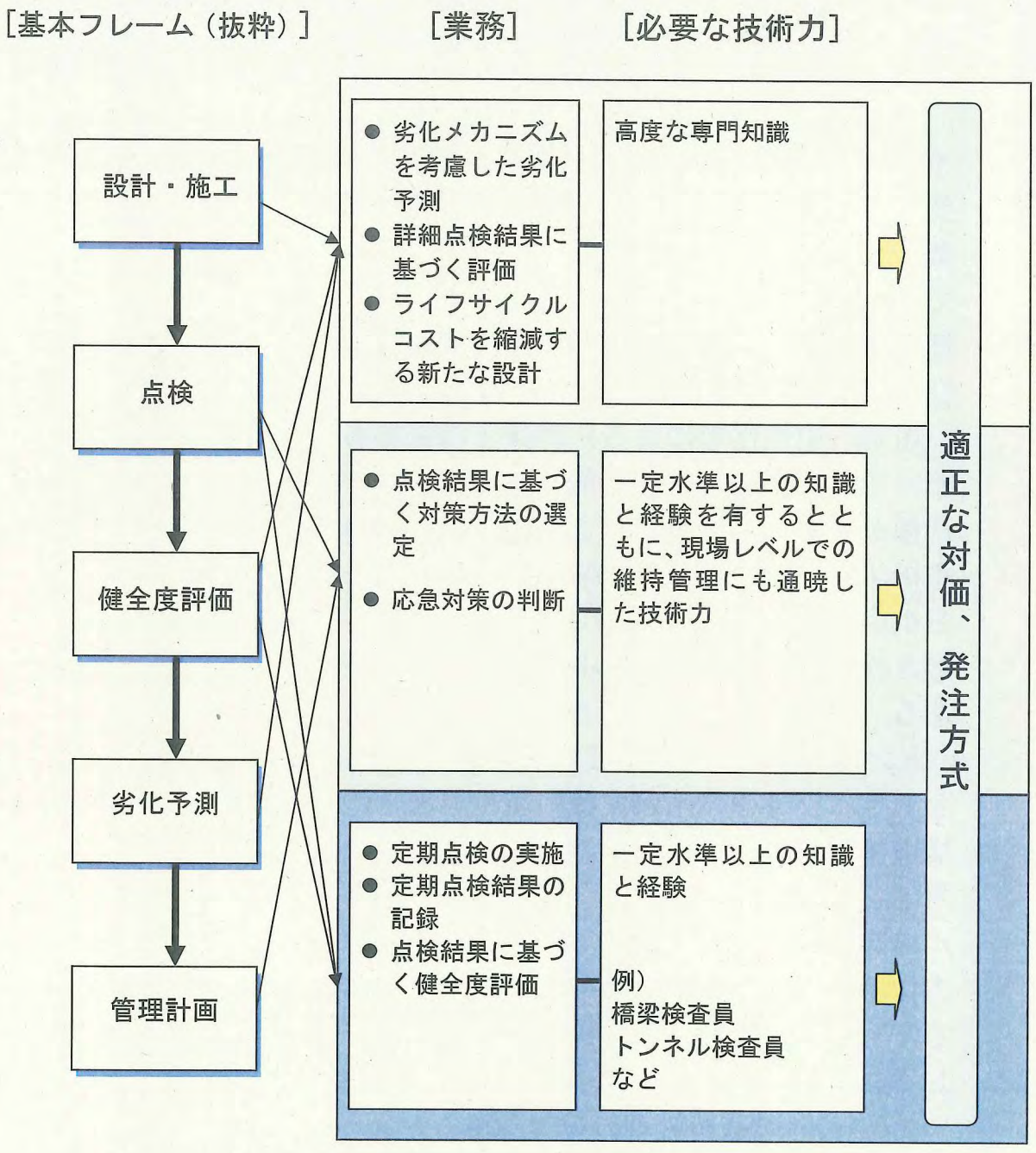
道路構造物の将来の状態を構造体の劣化メカニズムを考慮して正確に予測するには、高度な専門能力が必要である。また、劣化予測に基づき補修や更新等の管理計画を作成する際には、道路構造物について一定水準以上の知識と経験を有するとともに、現場レベルでの維持管理業務にも通暁した技術力が求められる。

さらに、設計においてライフサイクルコスト最小の思想を導入する際、劣化した構造物の状態を精査するための詳細点検を実施する際にも高度な専門能力が必要となる場合がある。これらの比較的高い技術力と判断力を要する業務は、道路管理者が自らの技術力に基づき実施することが基本であるが、必要に応じ、外部の高度な技術力を有する技術者を活用することが有効である。

所要の技術力を有した技術者を確保するためには、米国における橋梁検査員制度のような、その技術力に見合った資格制度の活用が有効であると考えられる。わが国においては、道路構造物の管理・更新等の技術に関連すると思われる資格として、例えば（社）土木学会が認定する技術者資格や（社）日本コンクリート工学協会が認定するコンクリート診断士などの資格があり、これらの既存の資格の活用に加え、新たな資格制度の創設も含めて、技術者の育成と活用のあり方について検討を進めることが必要である。

また、道路管理に係る業務に対する技術的報酬や社会的評価が高くないとの指摘が多いことから、点検、調査、評価、予測に関する技術を適切に評価し、その対価としてのエンジニアリング・フィーの考え方や発注方式なども改善していくことが求められる。

＜マネジメントシステムの基本フレームの各段階と技術力＞



４－２　構築のプロセス

システムの構築に当たっては、道路構造物ごとに基本フレームに照らし、科学的、工学的、統計的な見地から、プライオリティをつけつつ、可能なものから取り組んでいく必要がある。

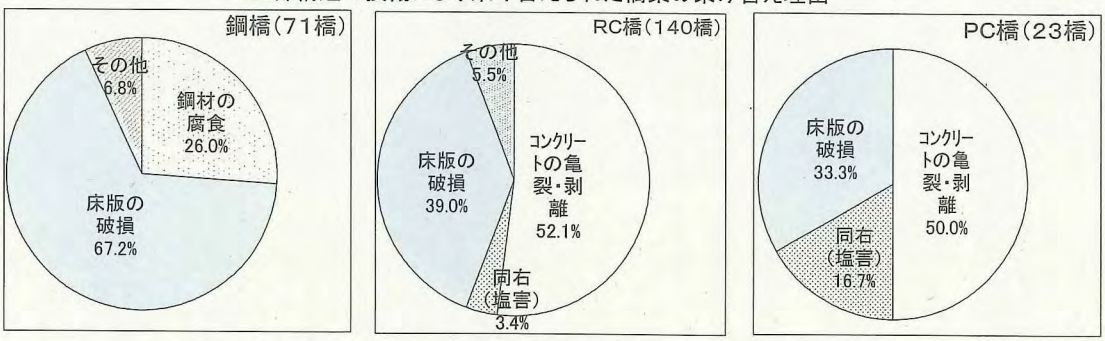
橋梁については、床版、桁、橋脚、支承等の集合体であり、全体を更新する場合も一部を補修・更新する場合もある。また、劣化要因についても疲労、腐食・発錆、塩害、中性化等があり、部材、要因ごとに検討することが必要である。損傷を受けた橋梁について、これまでの架け替え理由をみると、上部構造においては、鋼橋では床版の破損（主に疲労による）が大部分であり、ＲＣ橋及びＰＣ橋では床版の破損（主に疲労による）と桁の亀裂・はく離（塩害、中性化等による）がほとんどである。また、下部構造においては、橋台・橋脚の亀裂（塩害、中性化等による）と基礎の洗掘がほとんどであり、さらに、近年、鋼桁や、鋼橋の主桁及び主桁に取り付く部材、鋼製橋脚などのさまざまな部材、部位で疲労損傷の発生事例が報告されており、将来の疲労損傷の増大も懸念されることから、これらについての検討を優先することが重要である。

トンネルについては、ほとんどの場合、変状発生は部分的であるとともに、外力作用が変状の発生原因となることは少ないため、構造体としての劣化を検討するよりも、点検によるはく離等への対応を優先すべきである。ただし、矢板工法で建設されたトンネルの建設時あるいは漏水等により発生した覆工背面の空洞は、外力作用の要因となるばかりでなく、構造体としての劣化を助長するため、点検によりその有無を確認し、予め適切な対策を行っておくことが必要である。

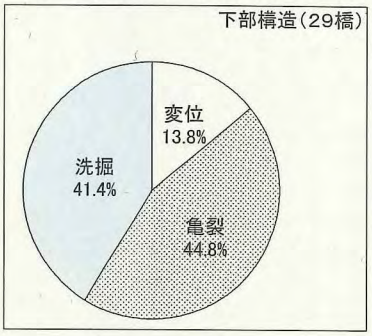
また、実際の道路管理の現状と照らし合わせながらフィードバックしつつ、その精度を向上させる枠組みを構築することが重要であり、この枠組みの中で、点検手法、劣化予測手法について、改善を図っていくものとする。また、それに伴う技術開発の方向性、専門技術者の役割を明らかにしていくものとする。

橋梁の架け替え理由

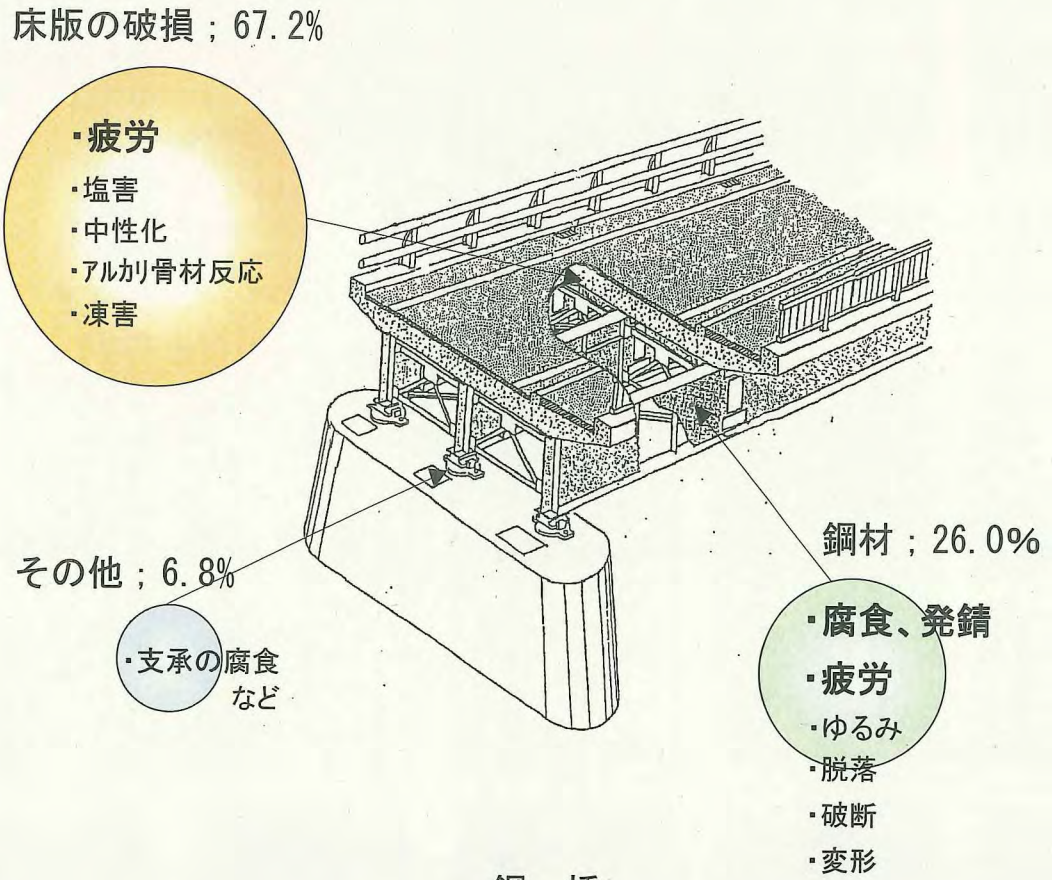
上部構造の損傷により架け替えられた橋梁の架け替え理由



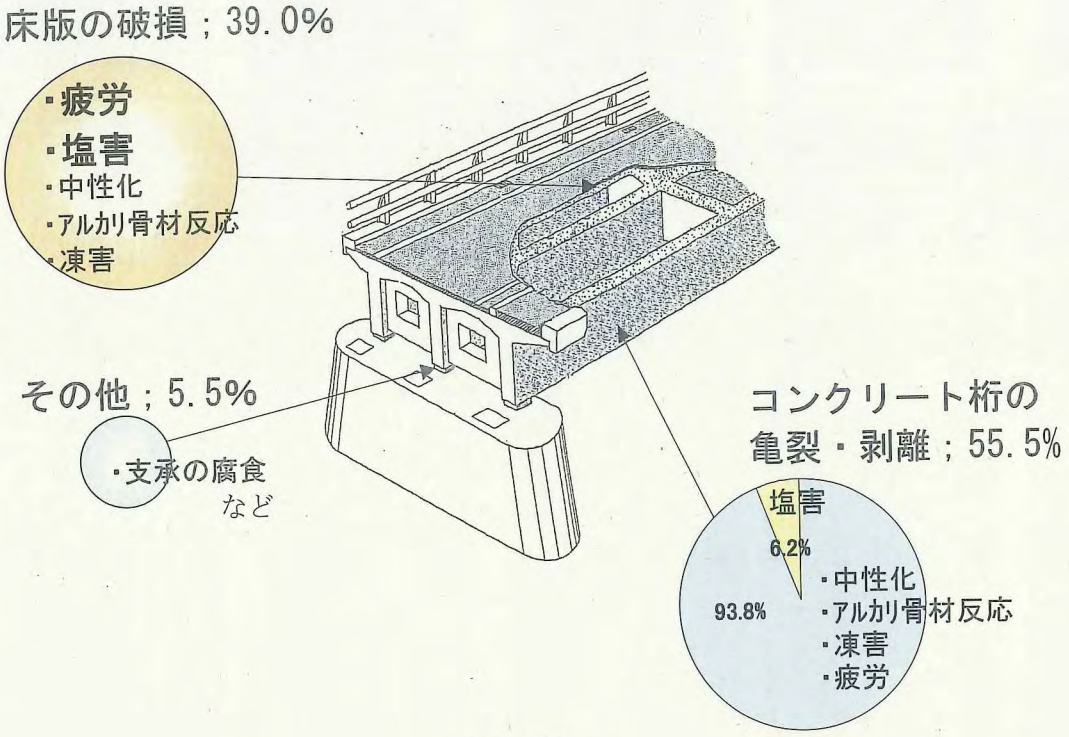
下部構造の損傷により架け替えられた橋梁の架け替え理由



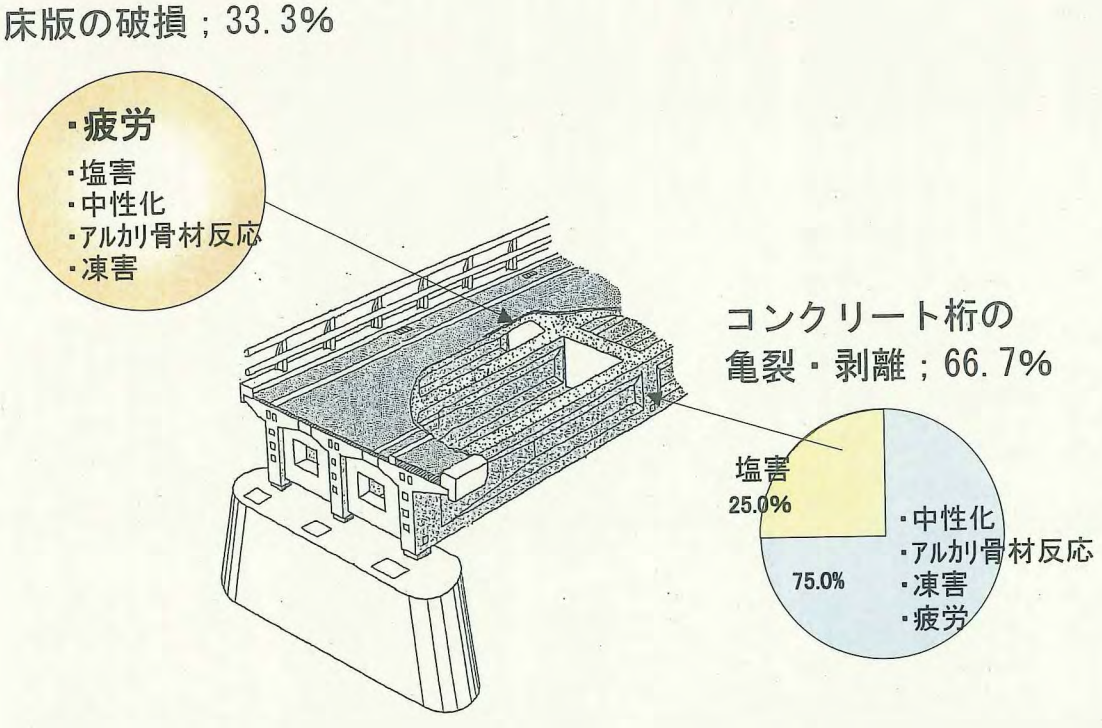
注）1.「土木研究所資料第3512号　橋梁の架替に関する調査結果（Ⅲ）平成9年10月 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室」より引用。
2. 昭和61年7月から平成8年6月までに架け替え工事に着手した一般国道、主要地方道、一般都道府県道の橋長15m以上の橋梁を対象に、道路管理者にアンケート調査を行った結果得られたデータである。



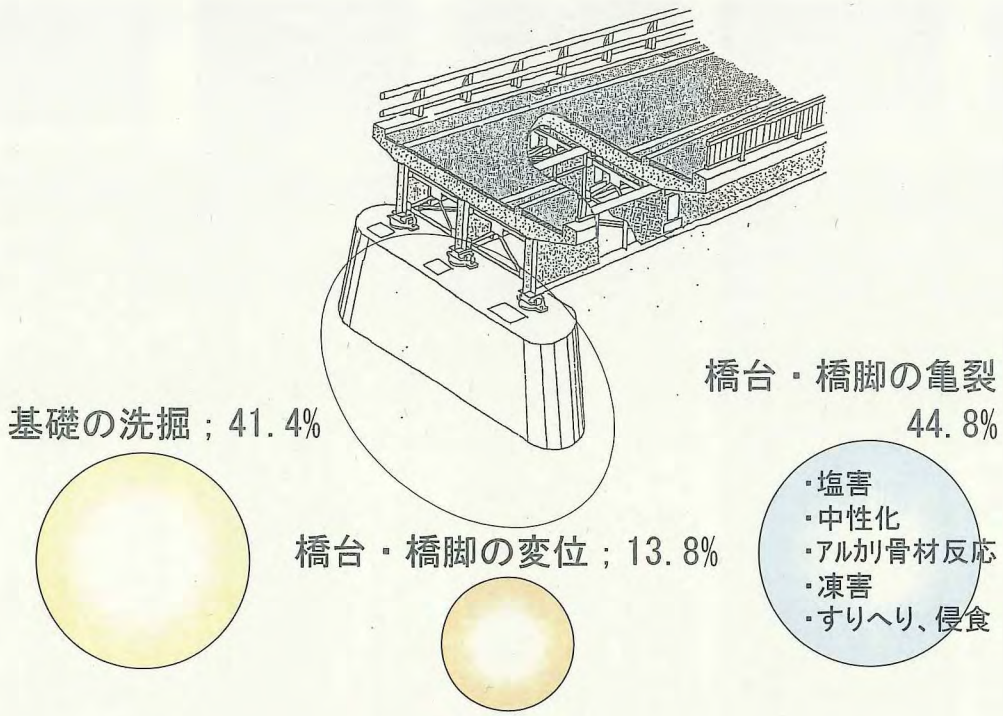
鋼　橋


床版の破損；39.0%
・疲労
・塩害
・中性化
・アルカリ骨材反応
・凍害
その他；5.5%
・支承の腐食
など
コンクリート桁の
亀裂・剥離；55.5%
塩害
6.2%
93.8%
・中性化
・アルカリ骨材反応
・凍害
・疲労

ＲＣ橋

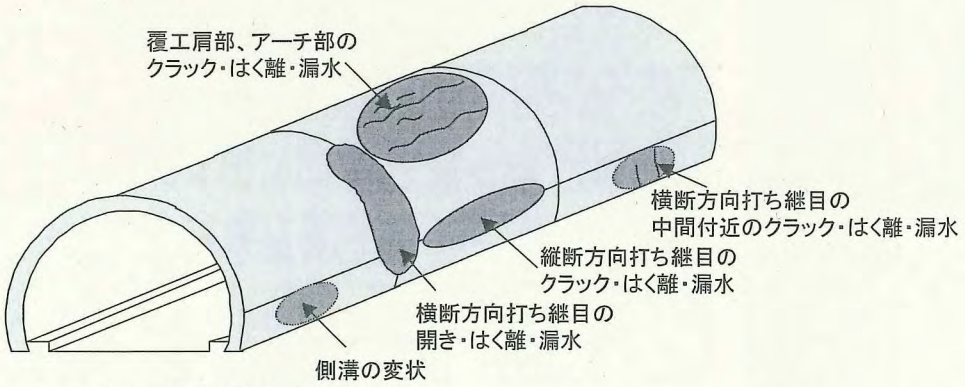

床版の破損；33.3%
・疲労
・塩害
・中性化
・アルカリ骨材反応
・凍害
コンクリート桁の
亀裂・剥離；66.7%
塩害
25.0%
75.0%
・中性化
・アルカリ骨材反応
・凍害
・疲労

ＰＣ橋

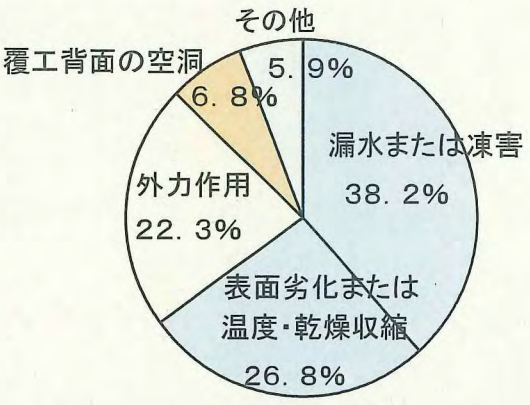


下部構造

道路トンネルにおける主な変状発生部位とその原因



(ａ)主な変状発生部位



出典：「道路トンネル維持管理便覧」、（社）日本道路協会
平成５年11月の資料を一部修正

(b)推定されるトンネル覆工の変状原因

5．更新時代における道路構造物の適切な管理に向けて

以上、総合的なマネジメントシステムについて述べてきたが、更新時代を迎えて道路構造物を適切に管理していくためには、更に次のような対応が必要と考える。

（1）制度・支援策の整備

総合的なマネジメントシステムは、管理の高度化手法と言えるものであり、これをわが国の道路管理全体に普及させることが重要である。わが国の道路網は高速自動車国道から市町村道までが一体的なネットワークとなって機能を果たしており、あらゆる種別の道路について、総合的なマネジメントシステムを導入することが望ましい。

これらの道路網のうち、地方道の現状を見てみると、全道路に占める割合は実延長で約 95%、橋梁数で約 92%、トンネル数で約53%など大部分を占めている。一方、その管理を行っている地方公共団体では、予算制約や技術者不足等により、十分な管理が実施されていないところもあり、これらの管理の高度化を図らなければ、直轄国道や高速自動車国道等だけで高度化、効率化を図ったとしても、その効果はわが国全体で見れば不十分なものとなる。

このため、すべての道路に関連する制度や支援策を整備していくとともに利用者への説明責任を果たす努力が不可欠となる。

例えば、我が国における道路構造物の点検は、点検要領等にしたがって、道路管理者が定期的に実施し、その結果に基づき必要な補修等を行っているが、これらは法令等に規定されたものではな

い。これに対し、米国等においては、道路構造物の点検から補修に至る一連の管理は法令に基づき実施されている。わが国においても、今後高齢化した道路構造物が急増する中で、それらを適切に管理するためには、健全度の状況、総合的なマネジメントシステムの開発状況等を踏まえつつ、点検等の制度化についても検討する必要がある。

（２）重量超過車両の適正な管理

たとえ適正な道路管理を行ったとしても、大型車の過積載などの重量超過車両の通行が様々な損傷を発生させ、道路の耐用年数を大幅に短命化させる。

全通行車両に占める重量超過車両の割合は１％未満に過ぎないものの、橋梁に与えるダメージは極めて大きい。重量超過車両のコンクリート床版の疲労に与える影響は、荷重比の 12 乗則[※1]で試算してみると全通行車両分の実に約 60%にもなる。このような重量超過車両に対しては、道路構造物の損傷に対する観点とともに、他の車両との公平性の観点から、厳格な対処を図る必要がある。このため、特殊車両許可制度の厳格な運用や関係機関と連携した指導取り締まりの強化、道路法や他の関連法による処分の徹底等を図ることが必要である。

また、これに併せ、ＩＴを活用した特殊車両許可申請手続きの簡素化など重量超過車両の減少を誘導する施策の推進を図ることが重要である。

なお、米国の有料道路では、料金体系を軸数によって細かく区分

している例があり、わが国の普通車、大型車という区分に比べて、車輌が構造物に与える影響をよりきめ細かく配慮したものになっている。

※1　「移動荷重を受ける道路橋ＲＣ床版の疲労強度と水の影響について」（コンクリート学会年次論文（1987））

（３）国民への情報提供

道路は国民の共有財産であり、基本的な社会資本である。総合的なマネジメントシステムの導入に当たっては、道路管理の重要性に対する国民の理解を得ることが必要である。

そのためには、まず、道路構造物等の現状、道路管理に関する予算やその使われ方、道路管理体制の現状、道路管理に対する今後の取り組み、重量超過車両が道路資産に与える影響、道路管理の効果、維持修繕工事の実施時期・箇所等の予定等について、国民にわかりやすく情報提供していくことが必要である。

このため、例えば、路上工事に係る情報をインターネットやマスメディア等を活用して情報提供するなど、国民の要望に応えつつ、道路管理に対する理解を醸成するようなタイムリーな情報提供が重要である。

さらに、住民が道路管理の計画策定、実施、評価などに参画できる仕組みを構築することにより、一層の理解を得ることが可能になる。このような国民と行政のパートナーシップを向上させる取り組みは、いわゆる道路愛護の精神も醸成することとなり、より

適正な管理を推進する上で有効な手法になると考えられる。

（４）必要な予算の確保

総合的なマネジメントシステムを導入し、ライフサイクルコストの縮減を図ることで、道路管理に要する費用を中・長期的に可能な限り圧縮させることが可能となるが、これは各年度予算において所要額を確保することが前提である。維持管理はこれから重要になるが、現実には１件ごとの発注金額が少ないため、優秀な技術者を抱える大手企業などが直接関与することが少なく、結果的に、ハード機器を含めた維持分野の技術開発等が欧米諸国に比べてかなり遅れている。

アメリカにおいては、「荒廃するアメリカ」を克服するため、それまで減少傾向にあった道路投資予算を拡充していった結果、例えば、約45%もあった欠陥橋梁が30%を切るまで順次減少し、その結果としてアメリカ経済の回復も実現された。その背景には老化を放置された欠陥構造部の損傷により、人命が失われるという事実が存在したのである。

幸いにして、わが国では、まだアメリカのような放置された欠陥構造物による重大な事故は発生していないが、人命が損なわれてからでは遅きに失っするため、その以前に然るべき措置を講じることは極めて当を得たことと思われる。わが国においても、道路構造物のストックの増加、それらの高齢化、さらには道路管理に対する国民ニーズの高度化・多様化などに伴い、その維持管理・更新に必要な費用が増大していくことから、道路構造物の荒廃が

もたらす影響を十分認識し、所要の予算を確保することが必要である。また、そのためには前述の国民に対するアカウンタビリティの向上を図ることが重要である。

（参考）取り組み事例

コンクリート橋と鋼橋の劣化予測についてその劣化予測のモデルを提示する。これらのモデルはあくまでも１つの例示に過ぎず、今後その精度を向上させた上で、実際に適用すべきものである。

コンクリート橋については、塩害、中性化、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応、疲労、過大荷重などの劣化要因のうち、劣化への影響がもっとも大きいと考えられる塩害に着目した。劣化予測は、「2001 年制定　コンクリート標準示方書[維持管理編]，平成 13 年 1 月：(社)土木学会」を準用した予測方法を提案し、断面修復工と電気防食工の 2 種類の対策工法について将来の費用予測を行った。

鋼橋については、過去の架替えに至る供用年数及び架替え理由に関する実態データをもとに、ライフサイクルのシナリオを 3 種類作成した。鋼材の腐食と床版の損傷を鋼橋の２大架替え要因とし、従来型の設計と施工により対症療法的維持管理すら十分に行われない場合、従来型の設計と施工により従来型の対症療法的維持管理を行う場合、耐久型設計でリスク管理的維持管理を行う場合の３つのシナリオについて、それぞれパフォーマンス曲線の案を提示した。

今後、さらに研究を進めることにより、これらの予測精度を向上することが必要である。

（参考）コンクリート橋の劣化予測について

Ⅰ．コンクリート橋における劣化予測

コンクリート橋における、一般的な劣化原因としては、塩害、中性化、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応、疲労、過大荷重などが考えられる。その中で、劣化への影響が最も大きいのは塩害であるため、今回はまず最初として塩害に着目した劣化予測を実施する。

Ⅱ．コンクリート橋における塩害による劣化予測

1.劣化予測の考え方

塩害による劣化予測は、潜伏期、進展期、加速期、劣化期の長さを予測することを基本とし、塩化物イオンの拡散と鋼材腐食の進行を対象とする。予測の方法は、「2001年制定　コンクリート標準示方書［維持管理編］，平成13年1月：(社) 土木学会」を準用する。

解説 表14.2.1　各劣化期間の定義

劣化過程	定　　義	期間を決定する主要因
潜伏期	鋼材のかぶり位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度*に達するまでの期間	塩化物イオンの拡散 初期含有塩化物イオン濃度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	

注）腐食発生限界濃度は、平成11年度版コンクリート標準示方書［施工編］において標準値を1.2kg/m³と定めている。

しかし、施工編で定めた標準値は、設計用の安全側の値である。実際には、分散状況を考慮することが望ましく、その値を0.6kg/m³とすると1.2kg/m³から2.4kg/m³となる。

よって、今回の劣化予測にあたっては、平均値としての1.8kg/m³を腐食発生限界濃度とする。

2.劣化予測の方法

1）潜伏期における劣化予測式

①塩化物イオンの拡散方程式：フィックの第2法則

$$\frac{\partial C}{\partial t} = Dc\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right) \qquad (解\ 14.2.1)$$

ここに、　C：液相の塩化物イオン濃度
Dc：塩化物イオンの拡散係数
x：コンクリート表面からの距離
t：時間

②鋼材位置における塩化物イオン濃度

$$C(x,\ t) = C0\left(1 - erf\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) + C(x,\ 0) \qquad (解\ 14.2.3)$$

ここに、　C(x，0)：初期含有塩化物イオン濃度(kg/m³)

D：塩化物イオンの見かけの拡散係数（普通ポルトランドセメントを使用した場合）

$$\log D = [-3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5] \qquad (解\ 6.4.2)$$

＊　拡散係数は、2002年制定 コンクリート標準示方書［施工編］に準拠する。

ここに、W/C：水セメント比

C0：表面における塩化物イオン濃度(kg/m³)

飛沫帯	海岸からの距離(km)				
	汀線付近	0.1	0.25	0.5	1.0
13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5

2）鋼材腐食の進行予測

鋼材腐食の進行予測は、塩化物イオン拡散の予測結果に関連させ、各劣化期間を以下のように想定する。

劣化過程	定義	劣化期間
潜伏期	鋼材のかぶり位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	T
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひびわれ発生までの期間	Tの0.4倍
加速期	腐食ひびわれ発生により腐食速度が増大する期間	Tの1/10
劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	Tの0.3倍

＊　潜伏期における劣化期間は、式（解 14.2.3）で塩化物イオン濃度が 1.8kg/m³ となるまでの期間(T)とする。

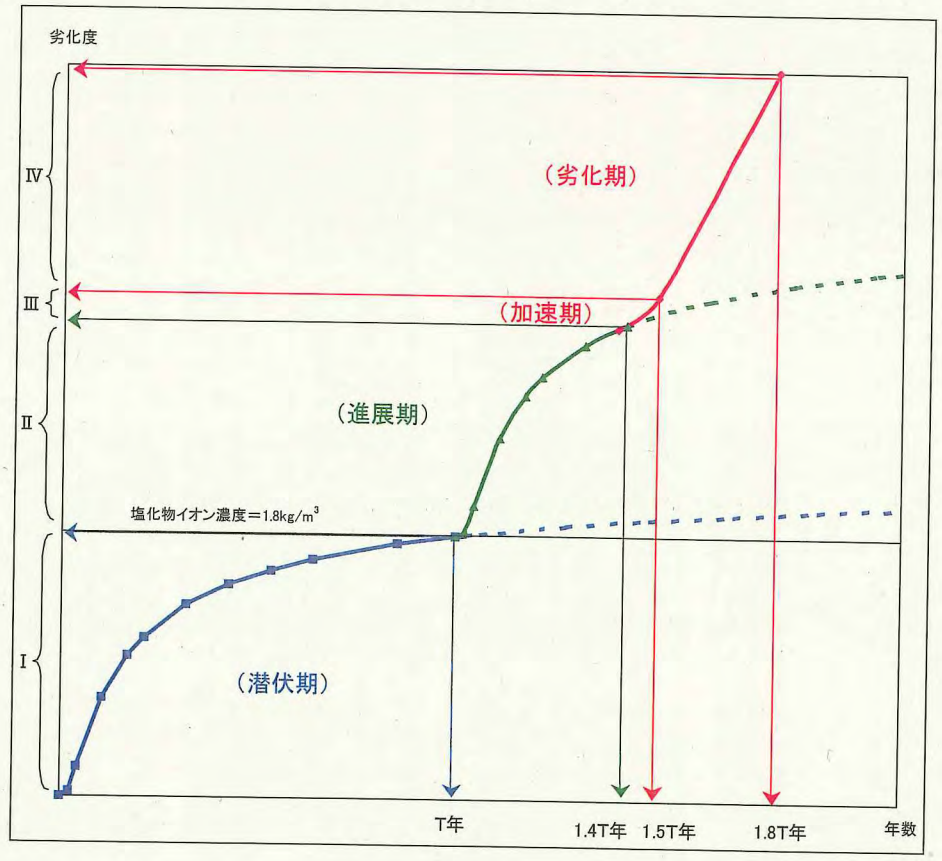
＊　鋼材腐食の進行である進展期の劣化期間は、Tの 0.4 倍と想定する。

＊　補修・補強を前提とした加速期の劣化期間は、Tの 1/10 と想定する。

＊　更新（架替）を前提とした劣化期の劣化期間は、Tの 0.3 倍と想定する。

＊　以上の劣化期間の想定は、現時点において根拠がないため、今後の研究が必要である。

【塩害による劣化曲線のイメージ】



Ⅳ. 将来の補修費用の試算例

1.補修費用の試算の条件

塩害による劣化曲線を踏まえ、ある劣化度の段階において補修対策を施した場合の将来費用の試算を実施する。将来費用の試算の条件を以下に示す。

補修対策実施　　：　劣化度Ⅱから Ⅲへ進行した直後
補修対策実施期間　：　2002 年度現在から 2022 年度までの 21 年間
試算する補修工法　：　断面修復工法、または電気防食工法
補修工法の工事費　：　主桁構造別に示す（事業費）。

主桁構造	ＲＣ桁	ＰＣﾌﾟﾚﾃﾝ桁	ＰＣﾎﾟｽﾃﾝ桁
想定した支間長	15.0m	20.0m	30.0m
断面修復工法	300万円/本	1,200万円/本	700万円/本
電気防食工法	1,200万円/本	5,800万円/本	2,500万円/本

＊　補修対策実施の時期は、桁の変状が明らかになる劣化度Ⅲの時期とする。将来費用の試算にあたって、劣化度Ⅱから Ⅲへ進行した直後の年度の主桁主構本数に対して実施する。

＊　加速期にあたる劣化度Ⅲの場合の補修工法は、実績が多い断面修復および電気防食工法とする。

＊　電気防食工法において外部から電源を使用する方式の場合、工事完成以降、維持管理費として電気代が必要となるが、工事費に対して占める割合が小さいことより無視する。

2.塩害による劣化予測曲線と補修効果のイメージ

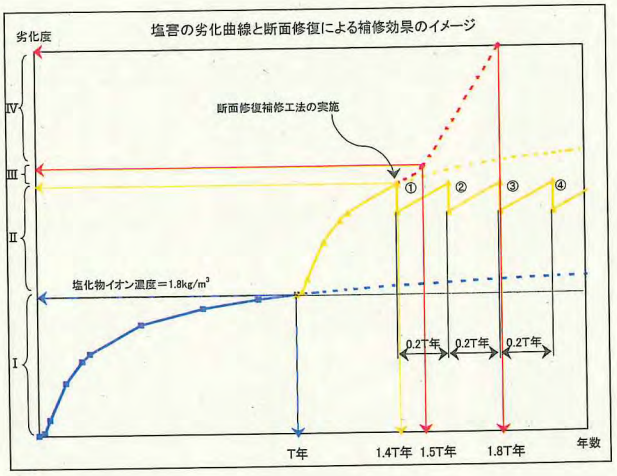
塩害による劣化予測曲線と、断面修復および電気防食工法による補修効果のイメージを下図に示す。それぞれの補修工法について、補修効果の特長を以下に示す。

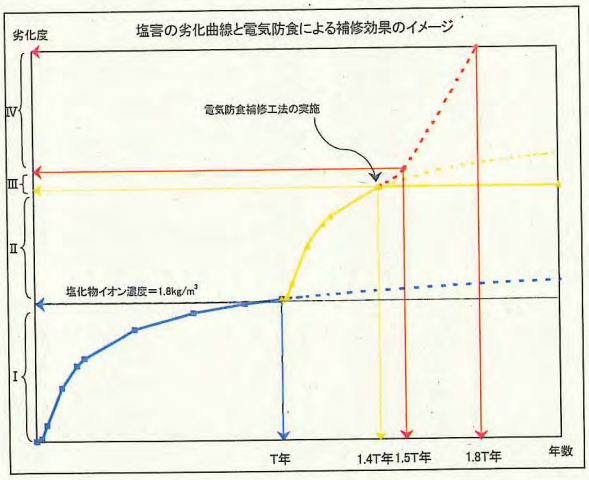
・断面修復工法

対策実施により、劣化度はある程度回復する。
対策実施後、潜伏期の劣化期間：Ｔの 0.2 倍の供用期間で劣化度は再びⅢに戻ると想定する。
0.2Ｔの供用期間後、劣化度Ⅲとなるため、再度補修工を実施する。

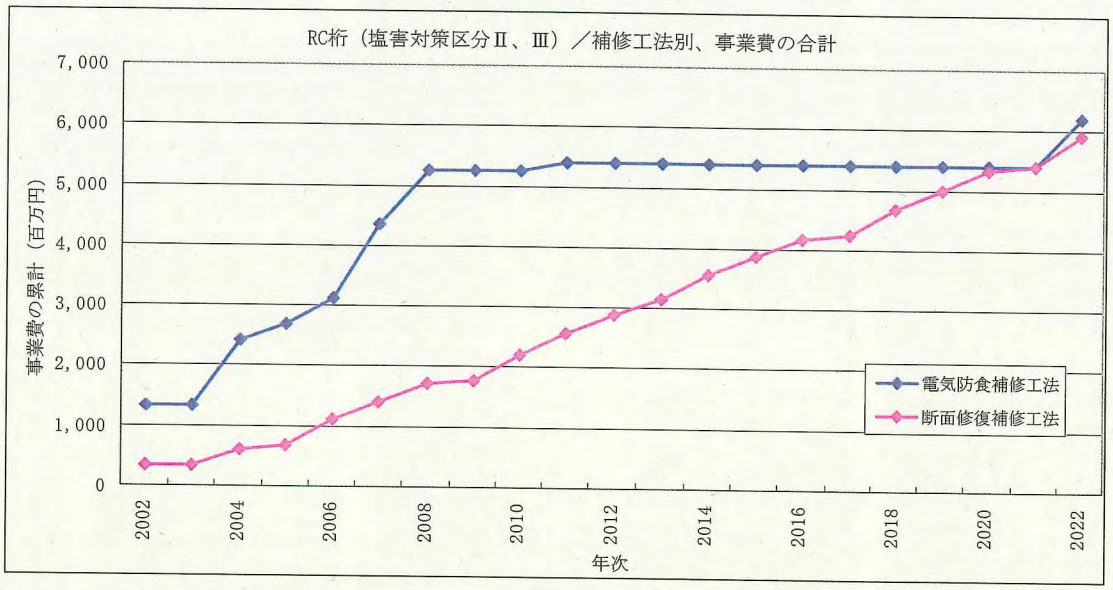
・電気防食工法

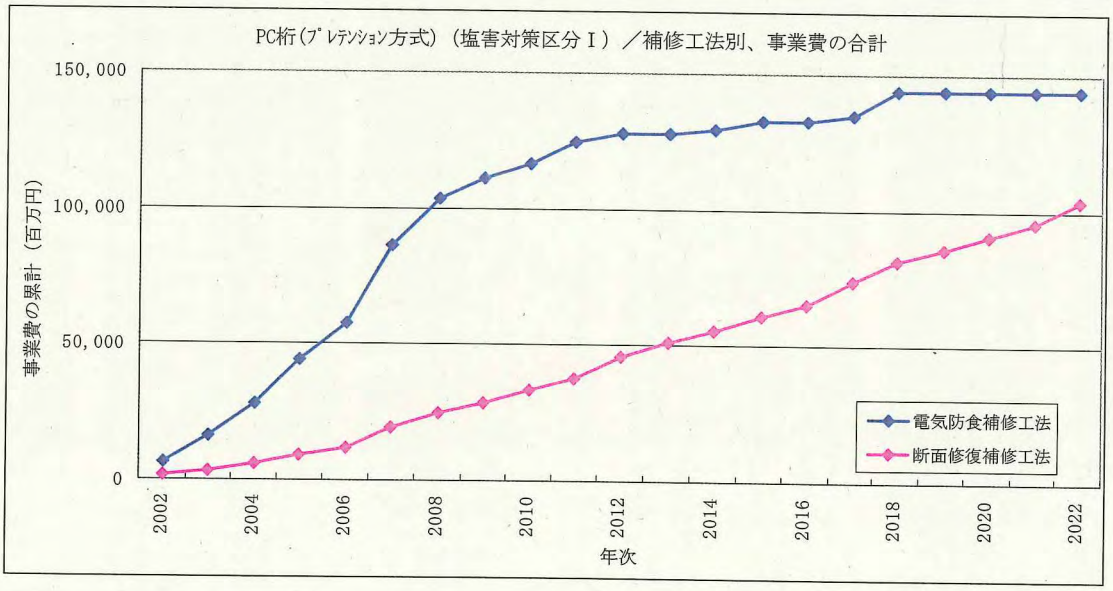
対策実施により、劣化度は進行しないが、回復もしない。

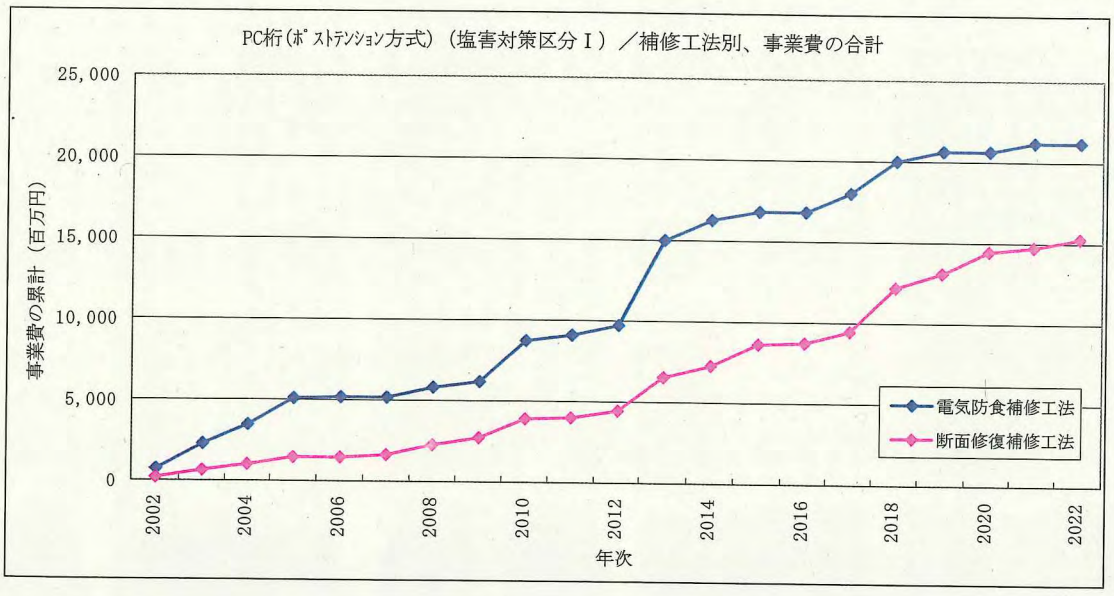




将来の補修費用の試算結果例







(参考)鋼橋の基本ライフサイクルについて

～鋼橋のパフォーマンスカーブ～

1．代表的橋梁の選出

・基本データ（道路統計年報 2001 による）

2000 年 4 月 1 日現在、(橋長 15m 以上)、()内直轄管理区間

道路橋総数	138,672	(9,920)
総延長	8,180km	(1,071km)
平均橋長	71m	(126m)
桁橋の比率	78%	(83%)

☆桁橋を代表として扱うことが適当

2．寿命の推定

(1)既存のデータ（図-１）

・鋼橋の架替えに至る供用年数及び架替え理由に関するデータ
（土研資料 3512 号：橋梁の架け替えに関する調査結果Ⅲ）

・土研及び建設省にて、S42, S52, S61, H8 年において、過去約 10 年間に架け替えられた橋の調査を実施

・それぞれ、436 *, 1545, 1691, 1923 橋が対象(*2 年間のデータ)

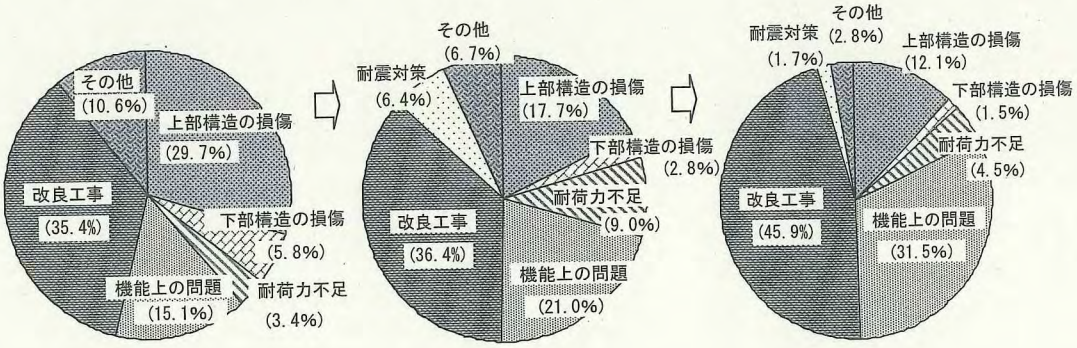
(2)架替えに至る主たる原因

・架替理由の大半は道路改良等、陳腐化によるものであり、上下部構造の損傷に起因するものは、調査年次ごとに比率は減少

・上下部構造の損傷による架替えの比率：35.5%→ 20.5%→ 13.6%

・大半（8, 9 割）が上部構造の損傷

☆橋の寿命が延びたとも考えられるが、他の要因もあり有意性は疑問



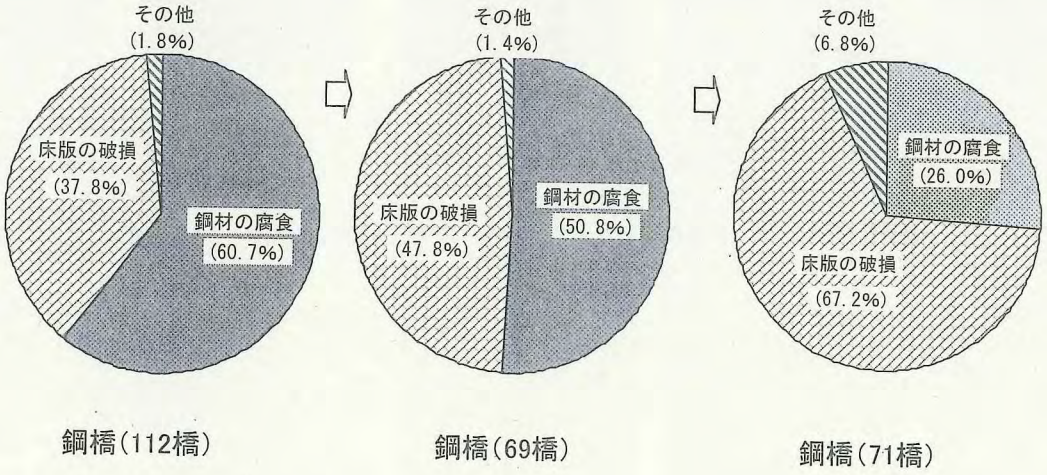
鋼橋(377橋)　　鋼橋(390橋)　　鋼橋(603橋)

・上部構造の損傷のほとんどは鋼材の腐食とＲＣ床版の損傷

・鋼材の腐食	60.7%→ 50.8%→ 26.0%
・ＲＣ床版の損傷	37.5%→ 47.8%→ 67.2%

☆腐食の減少は維持管理(塗装)レベルの向上、ＲＣ床版損傷の増加は設計・品質低下・重車両が要因と推定

(但し、S60 以降の RC 床版は高耐久性、単純に増加することは予想されない)



鋼橋(112橋)　　鋼橋(69橋)　　鋼橋(71橋)

・鋼部材の疲労が主たる架替え要因とはいえない
日経サイエンス 1993 5 「米国の橋はなぜ落ちる」:
一日の交通量と欠陥橋梁の間には逆比例の関係、保守管理の欠落こそが荒廃の最大要因

(3)寿命設定の根拠　その1
・損傷による架替えのピークは常に2箇所に現れ、調査年次に従って伸張 (図-1)
第1のピーク　15 → 20 → 25 → 35 年　(架替要因によらず)
第2のピーク　35 → 40 → 50 → 60 年　(　〃　)
・上部構造の損傷に起因するもののデータに限っても傾向は変わらず(図-2)
・第2のピークは戦前、第1のピークは戦後の橋に対応とも考えられる。
・しかし、最近のデータは、実際に問題になっている橋と符合
☆短命橋約30年、平均的な寿命の橋約60程度とすることにやや説得性あり。

(4)供用年数別架替累積比率
・二つのデータ (S60頃とH8頃の調査) (図-3)
・単純に架替率5%, 50%になる年数を拾うとそれぞれ、
5%　20 → 50 年
50%　42 → 64 年
となる。(但し、すべての要因による架替データが含まれる)

3. ライフサイクルのシナリオ

・基本的に鋼材の腐食と床版の損傷を2大架替え要因とし、その他の損傷要因は捨象する。
・疲労によって寿命が支配されるのは、初期故障 (2次応力疲労を含む) の対処が十全に行われた場合に限定される (本来の寿命)。

シナリオA＝ 5% : 寿命 30 年
＜従来型設計＋施工、対症療法的維持管理すら十分に行われない場合＞
シナリオB＝ 50% : 寿命 60 年
＜従来型設計＋施工、従来型対症療法的維持管理＞
シナリオC＝ 95% : 寿命 120 年 or longer
＜耐久性設計＋リスク管理的維持管理＊＞

＊ Risk Management　: 壊さない設計
Damage Control　: 壊れるモード、部位を限定
Trouble Shooting　: 未知の変状が発見→原因究明、本質的対処、情報共有、FB

4. パフォーマンス曲線(案)

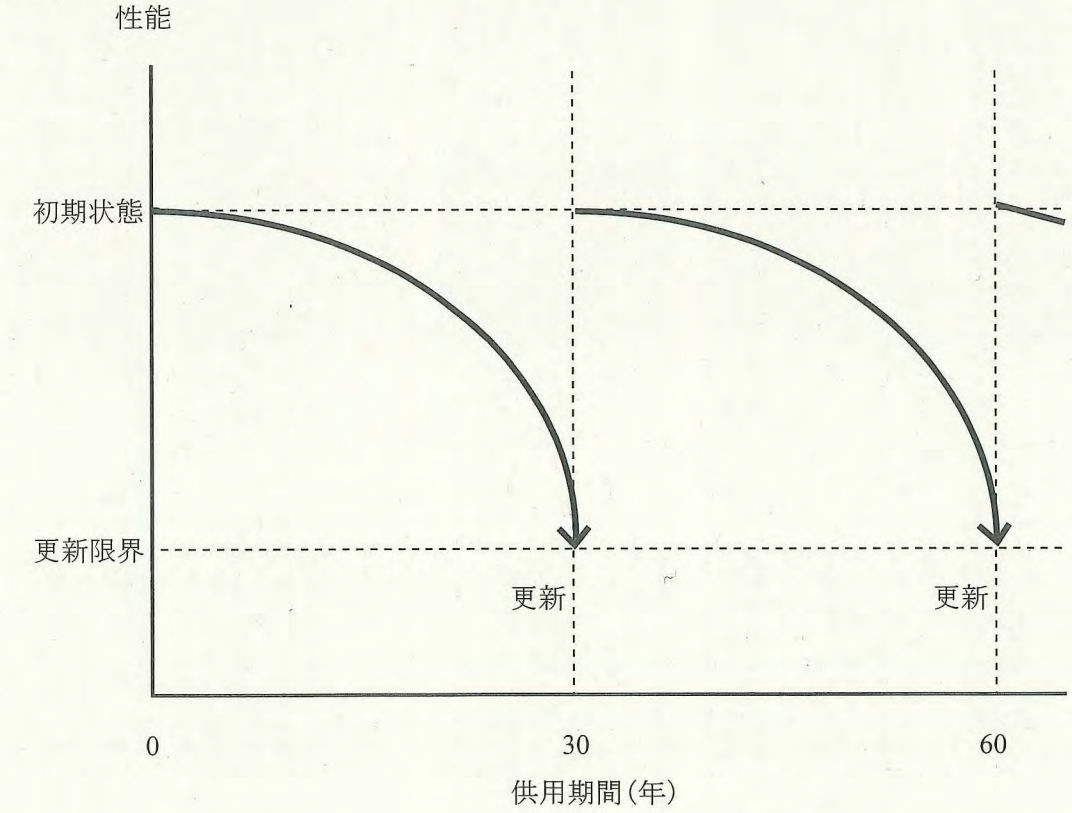
舗装や鋼桁の塗装のように、比較的単純なものであれば２次元の劣化曲線は意味を持つが、多くの要因により決定される橋全体のパフォーマンスを一軸で表現することは不可能。

だからといって、複雑な表記方法は、解りにくいものになってしまう。そこで以下のように単純化した表記を試みることとした。

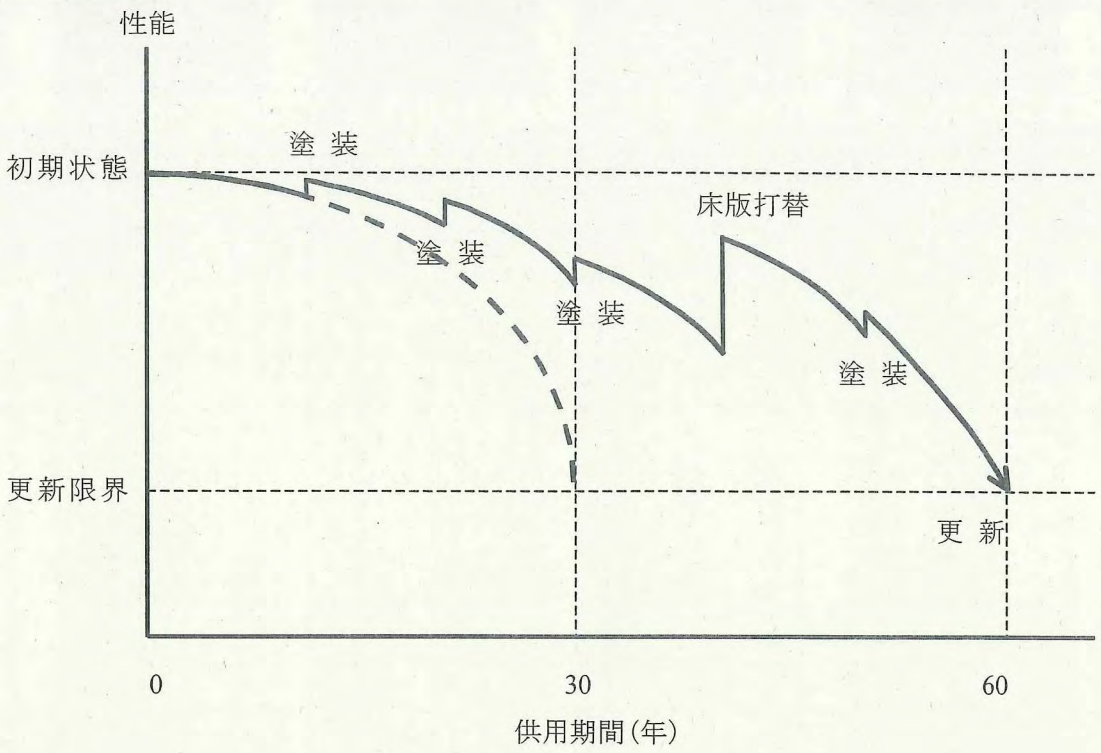
- 縦軸は象徴的な意味での性能(パフォーマンス)を表し、初期レベルと更新レベルのみを表示。
- 横軸は時間(供用年数)とする。累積大型車交通量や飛来塩分量とする考え方もあるが、橋梁群一般を対象とするときには、更新の要因が複数にわたるので、時間を主、他の要因を従とするのが適切。
- 劣化曲線は上に凸な曲線で表し、縦軸上の始点から設定した寿命と縦軸の更新レベルがクロスする点に単純減少で向かう。縦軸が象徴的であるので、曲線の詳細な形状は意味を持たない。寿命の設定のみが重要である。
- 5%, 50%, 95%それぞれの劣化 Vs.維持管理シナリオを曲線上に象徴的に表示する。

☆以下の図を参照しながら、維持管理の改善、技術開発の促進を行うことで、シナリオＡからB, BからＣへのシフトが可能。これにより、将来の維持管理負担を軽減

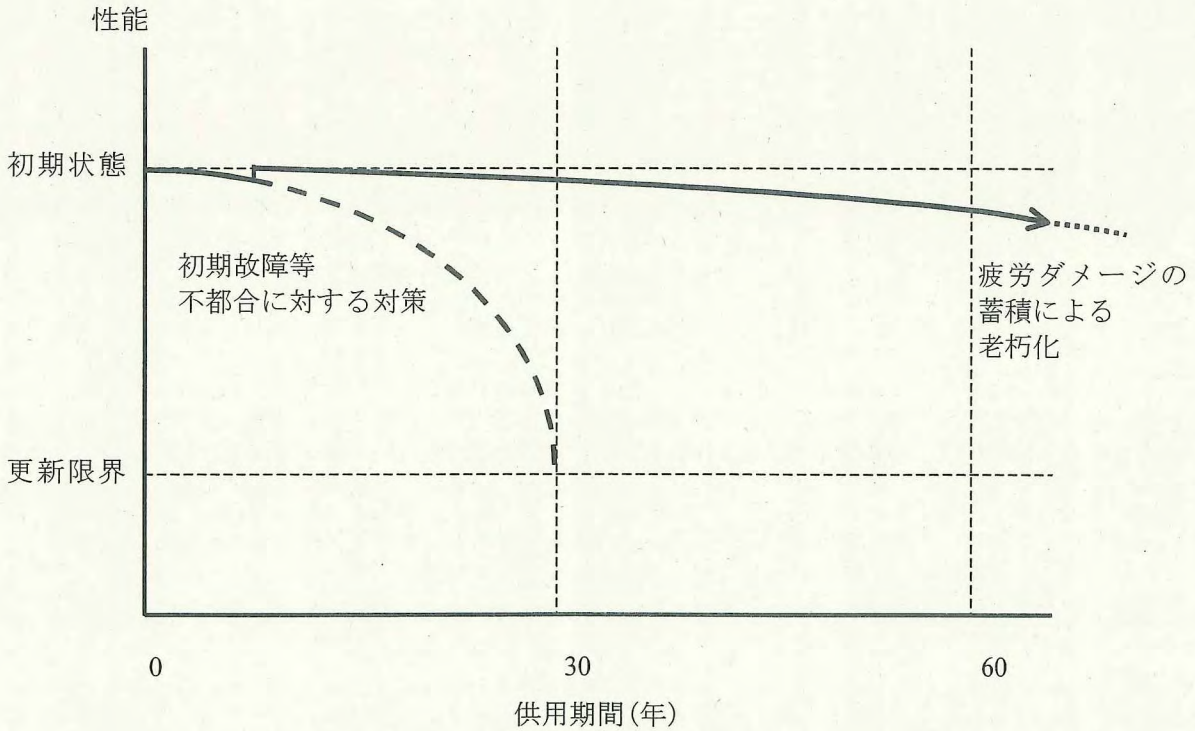
シナリオＡ



シナリオB


性能
初期状態
塗 装
塗 装
塗 装
床版打替
塗 装
更新限界
更 新
0
30
60
供用期間(年)

シナリオC


性能
初期状態
初期故障等
不都合に対する対策
疲労ダメージの
蓄積による
老朽化
更新限界
0
30
60
供用期間(年)

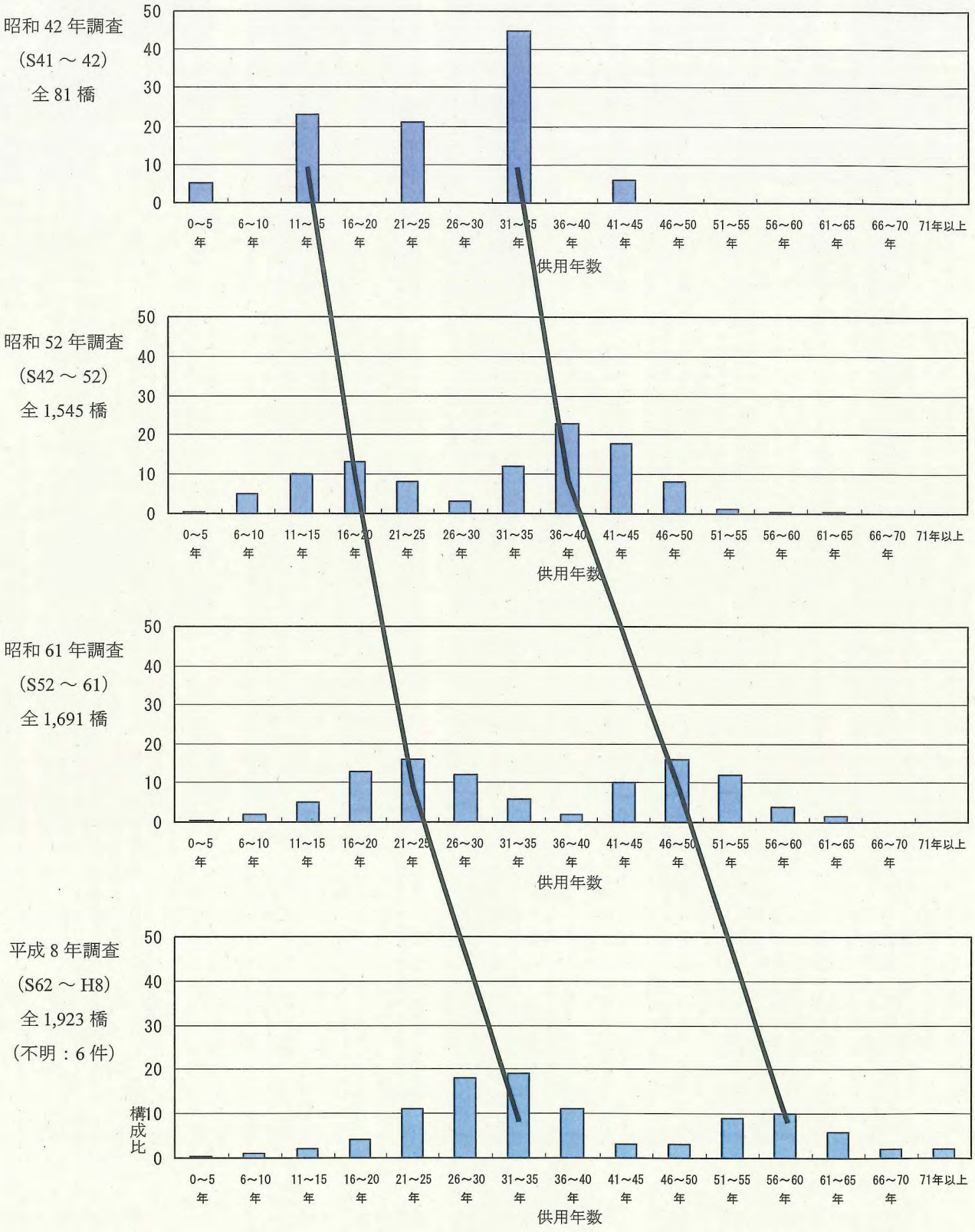
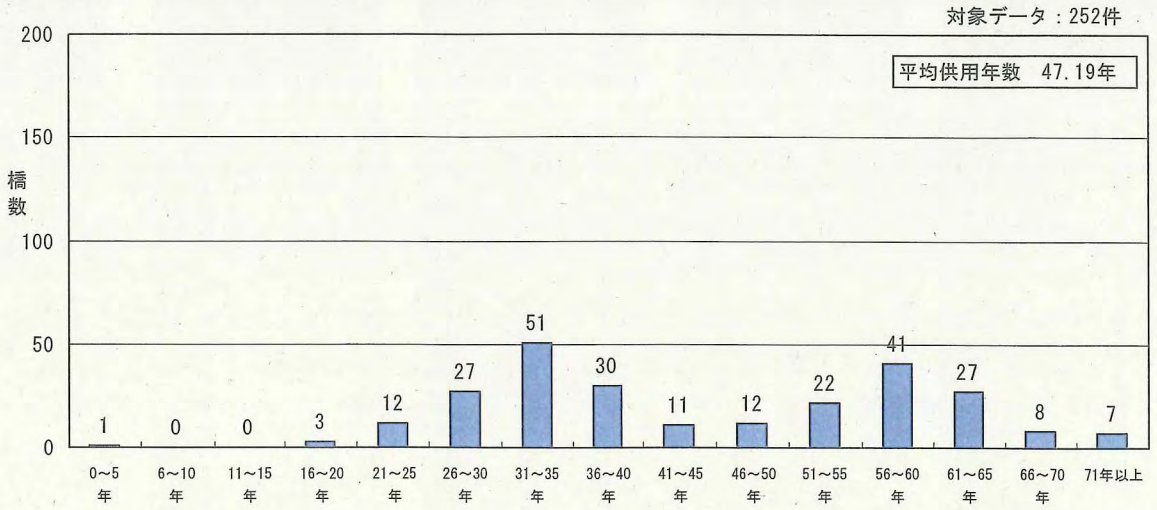
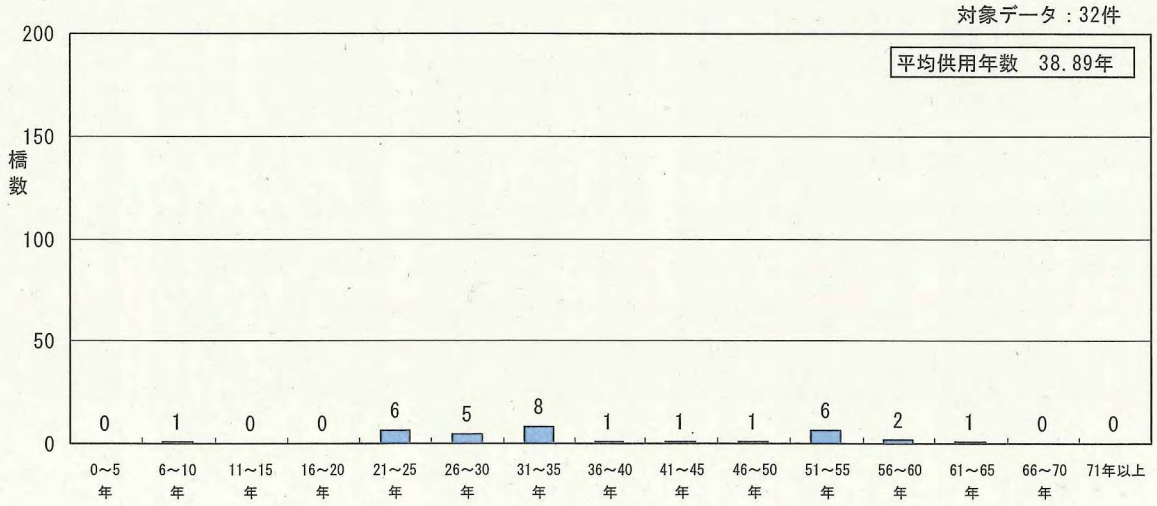


図-1　調査年次ごとの架替橋梁の供用年数(土研資料3512号)

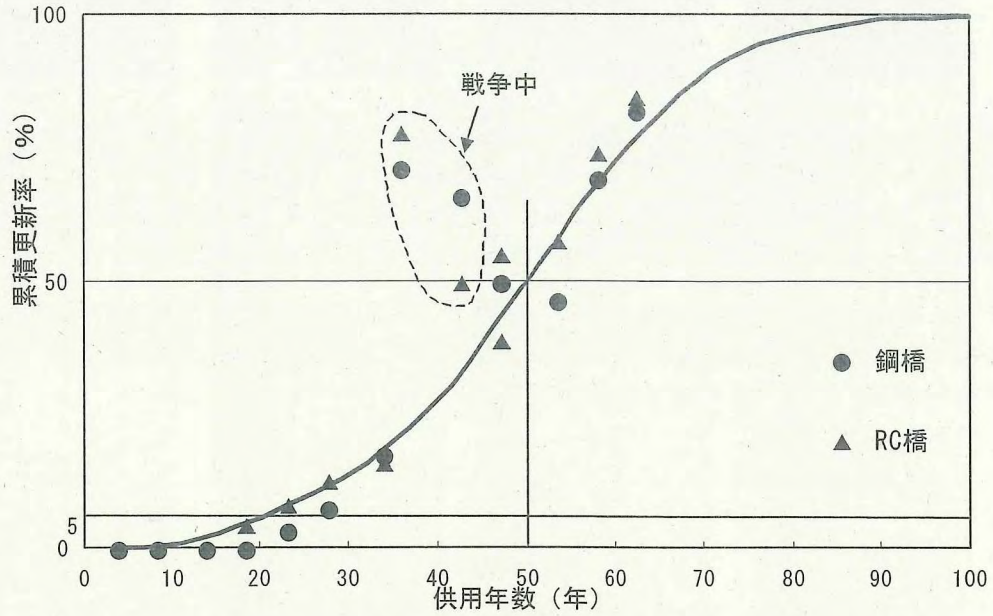


(a) 上部構造損傷

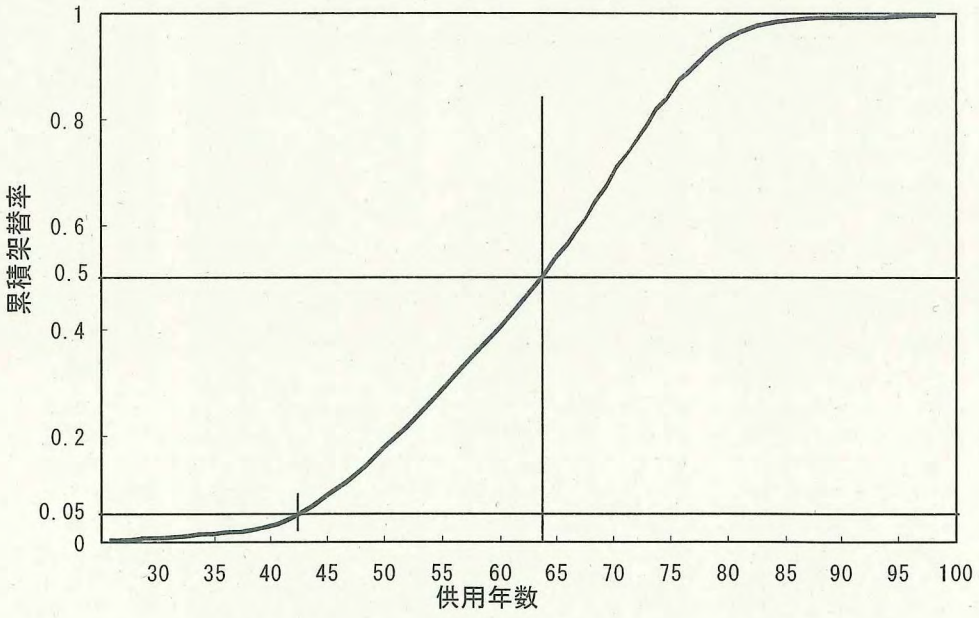


(b) 下部構造損傷

図-2　上下部構造の損傷による架替までの供用年数（H8調査）



供用年数別累積更新率（建設省）　S60ごろ



供用年数別累積架替比率　H8ごろ

図-3　供用年数別累積更新率（S60頃及びH8）