

1章 道路橋の計画的な管理手法に関する検討

我が国の道路橋は、橋長 15m以上の主要なものだけでも、14 万橋以上という膨大な数に達している。それらは 1950 年代半ば以降の高度成長期以降に集中的に建設されており、このままでは、今後、更新や大規模な補修補強を必要とする時期を一斉に迎えることになる予想される。

一方、道路橋数の増加、供用年数の増大等により、図1-0-1～図1-0-4に示すようなコンクリート床版の疲労、鋼部材の疲労、コンクリート部材の塩害やアルカリ骨材反応といった橋梁の耐荷力や耐久性に重大な影響を与える損傷事例の報告も増加している。

こうした状況の中、道路ネットワークを将来にわたって健全な状態で維持していくためには、データに基づいて科学的に道路橋資産管理を戦略的に実施し、将来の道路橋資産の維持・更新にかかる負担の平準化および低減を図っていくことが重要な課題となっている。

本章では、科学的な資産管理を推進する我が国の道路橋分野における施策動向や研究開発への取り組み状況について報告する。

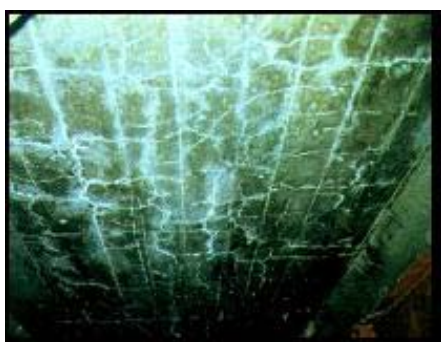


図1-0-1 コンクリート床版の疲労損傷



図1-0-2 鋼製橋脚の疲労損傷



図1-0-3 塩害を受けたコンクリート橋

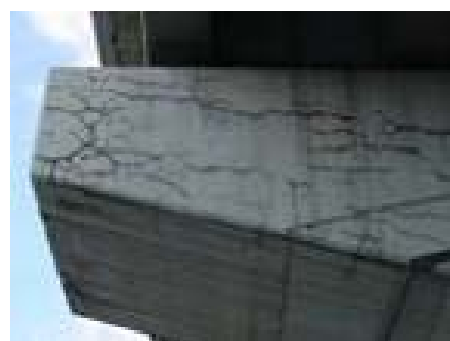


図1-0-4 アルカリ骨材反応を生じた橋脚

1-1. 道路橋資産管理の現状と更新投資の将来予測

1) 道路橋資産の現状¹⁾

現在、我が国には 14 万橋を超える道路橋が存在し、その多くが 1955 年から 1973 年にかけての高度

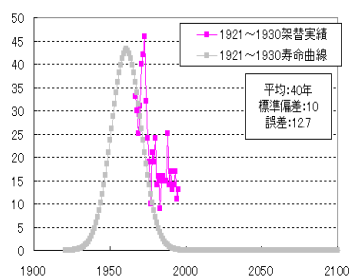
成長期以降に建設されている。一方、橋梁の寿命に関しては、「減価償却資産の耐用年数等に関する大蔵省令」等を引用して一般に 50 年程度と言われることがある²⁾が、国土交通省が定期的を実施している橋梁の架替えに関する実態調査結果^{3)~5)}の分析から、橋梁の寿命は、建設年代によって、傾向に違いがみられることがわかってきている⁶⁾。

表1-1-1 は橋梁の架替えに関する実態調査結果から、橋梁が建設されてから架替えられるまでの年数の期待値を架設年次別に推定したものである。寿命の推定は、寿命の分布が正規分布になると仮定して、過去 30 数年分の架替えデータの適合度が最適となるように寿命の分布曲線を設定した。図1-1-1 に年代別の寿命曲線の推定結果を示す。算定に使用したデータの中には、架替え理由が必ずしも損傷でないとされているものも多く存在するが、架替え時には、それなりに損傷が出ていたと思われること、今後も社会情勢の変化による陳腐化などによる架替えも一定量は避けられないと思われることから、推定にあたっては、すべての架替えを対象とすることにした。

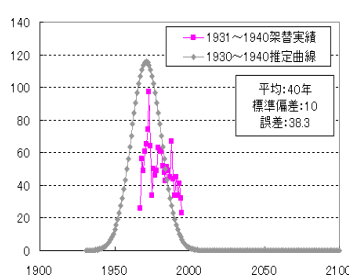
図1-1-2 は、橋梁の建設年代と寿命の関係について概略的に示したものである。ここでの推定結果から、概ね50年程度以上の年数があることがわかるが、物資が不足していた第二次大戦中から戦後にかけての橋梁の寿命が、30~40年程度と短くなっている。その後、地震被害や様々な損傷を経験しながら、順次、基準類が見直され、それに伴い、橋梁の寿命が徐々に長くなっている傾向が読み取れ、近年建設されたものは、少なくとも100年程度の寿命を有するものと推定されている。

表1-1-1 建設年代別の道路橋寿命の推定結果

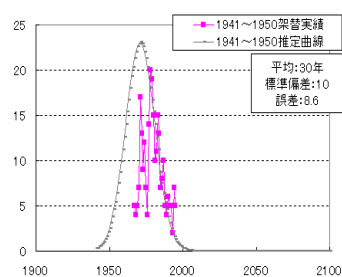
架設年次	平均(年)	標準偏差(年)
1921~1930	40	10
1931~1940	40	10
1941~1950	30	10
1951~1960	60	20
1961~1970	70	20
1971~1980	70	20
1981~1990	100	30
1991~2000	100	30
2000~	100	30



(a)1921~1930



(b)1931~1940



(c)1941~1950

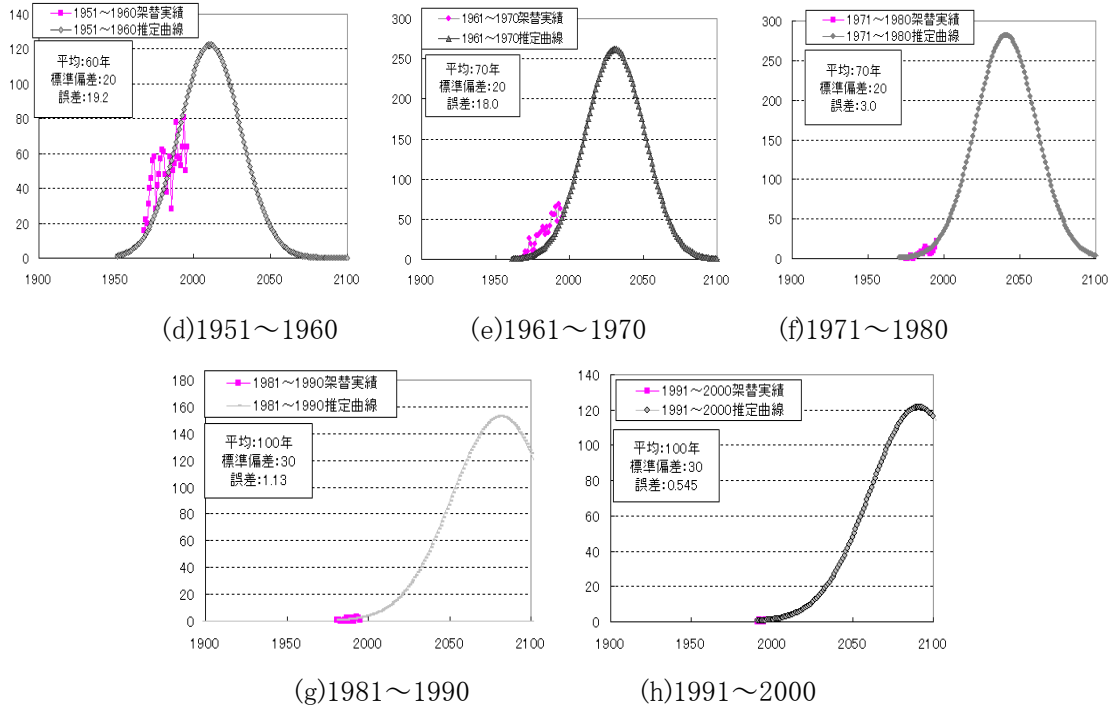


図1-1-1 年代別の寿命曲線の推定

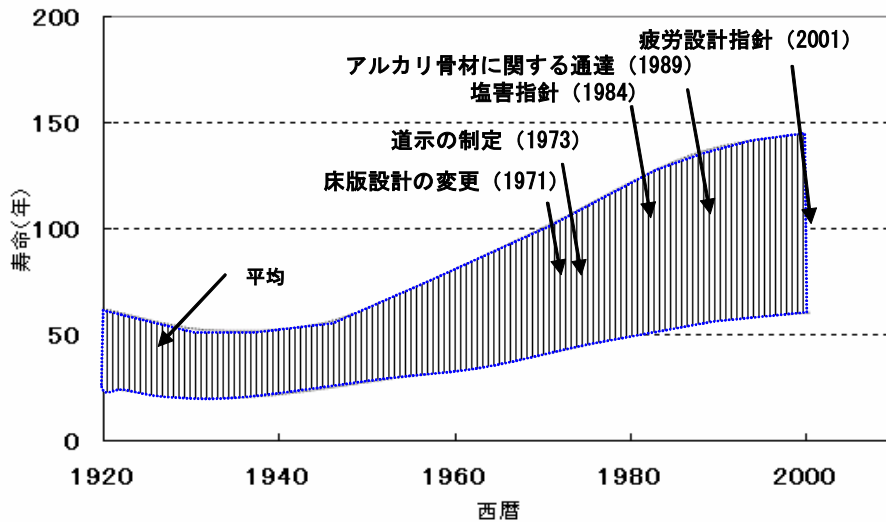


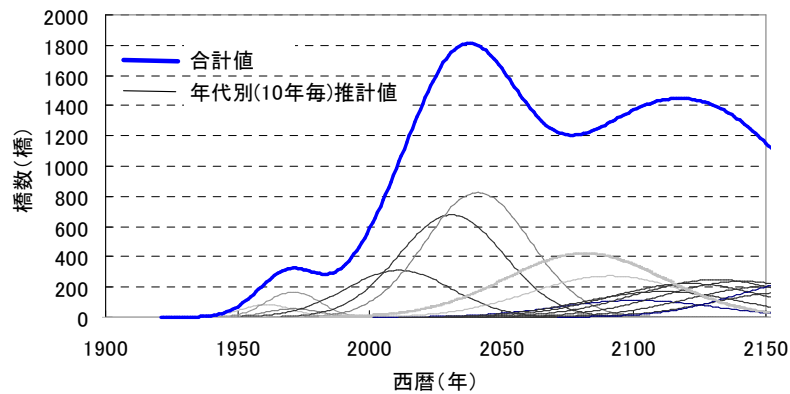
図1-1-2 道路橋の寿命の変化と設計基準の変遷

2) 更新投資の将来予測

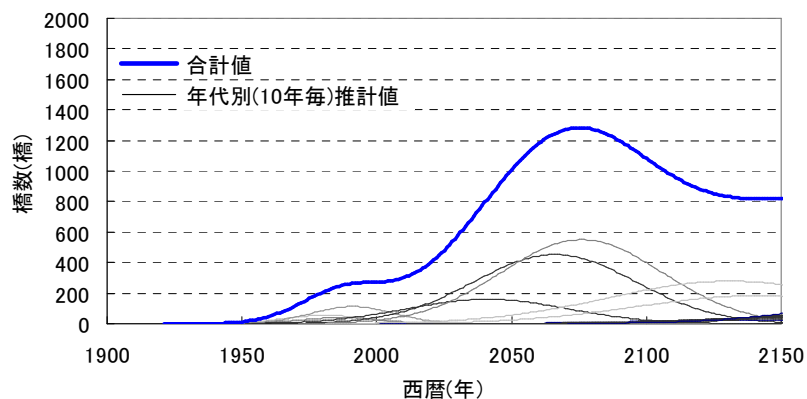
こうした各年代毎の平均寿命の推計値を橋梁建設数の実績にあてはめることによって、将来の架替橋梁数を試算したものを図1-1-3 (a)に示す。なお、試算は橋長 15m 以上の 14 万橋を対象とした。また、試算では、更新数に等しい数の新規建設が行われるものとしている。

こうした既存資産の更新時期の集中による投資負担のピークを低減するためには、損傷や劣化等耐久性を失う要因に対して、予防保全的な対策を実施して、個々の橋梁にかかる管理負担の低減を図るとともに、長寿命化によって負担が大きい更新数の減少を図ることが有効である。

図1-1-3 (b)には、図1-1-3 (a)に対して、各橋梁の平均寿命が、予防的保全や耐久性向上策の導入により、それぞれ1.5倍に延ばせるとした場合の架替数の推計を行ったものを示す。各年代の橋梁を平均寿命が長くなることで、維持更新投資のピークが平準化される傾向にある。このようにデータに基づいて、様々なシミュレーションや傾向分析を行うことで、道路資産管理計画の立案や施策効果の予測や評価の合理化、高度化が図られるものと考えられる。



(a) 予防保全なし



(b) 予防保全あり

図1-1-3 将来の架替数予測

1-2. 科学的な道路橋資産管理システム

1) 道路橋資産管理システム

科学的な道路橋資産管理システムとは、点検で得られたデータや損傷のメカニズムに基づく予測手法を用いて、道路橋を予防保全的に管理するとともに、長寿命化を図ることにより、道路橋のライフサイクルコストを低減させる科学的な道路橋資産管理を支援するシステムである。

道路橋の管理においては、行政各機関の位置づけや役割に応じて、それぞれ実行される意志決定の内容が異なるため、管理施策の検討や判断に必要とする情報もそれに応じて異なったものとなる。図1-2-1 に示すように、より上位の機関では、保全水準や投資規模の最適化計画等の総合的な施策が検討され、直接構造物を管理する現地の事務所のような機関では、個別橋梁等の構造物に対するより具体的管理施策として補修補強工法の検討や工事実施の優先順位の検討などが立案される。こ

のように、道路資産管理システムには、それを活用する機関や施策の性格などにも応じて必要な出力が求められることに注意しなければならない。現在、国総研においても国内の道路橋管理の実態に対応して、どのようなシステムが構築しうるかについて継続的に研究を進めている。

図1-2-2 には、道路橋資産の管理システムの一般的な構成と各構成要素に関連した技術開発項目を示す^{1),7),8)}。システムは、点検等のデータの蓄積、健全度評価、劣化予測、資産評価、投資シミュレーションと計画立案等の様々な部分から構成されており、その高度化にあたっては多様な周辺技術の開発が重要な鍵を握っている。

現在、国土交通省では、例えば、地域的な予算バランスの評価、全国的な維持管理水準の現状把握と将来予測、各橋梁に対する補修補強対策の優先順位の設定といった、様々な切り口から道路橋の計画的な管理を支援できるよう管理システムの検討を行っている。概念的には、一定量の橋梁群に対する投資のあり方について、よりマクロ的に管理の最適化を支援するものと、ネットワークのある区間単位毎に補修補強等対策の優先順位づけやライフサイクルコストが低減できる管理シナリオの立案を支援するようなミクロ的なものがあると考えられるが、本研究では、将来のシステムの高度化も視野に入れながら、マクロ、ミクロ両方の観点で検討を行った。

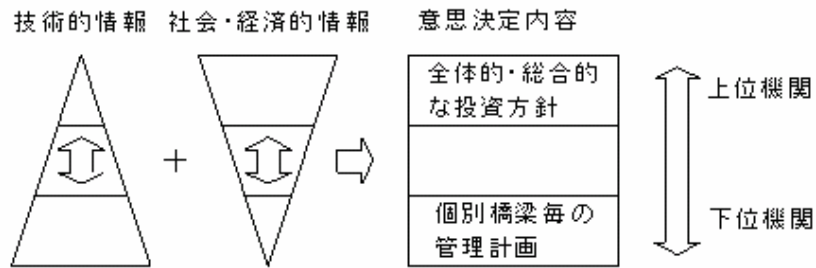


図1-2-1 行政の意思決定レベルと必要とする情報

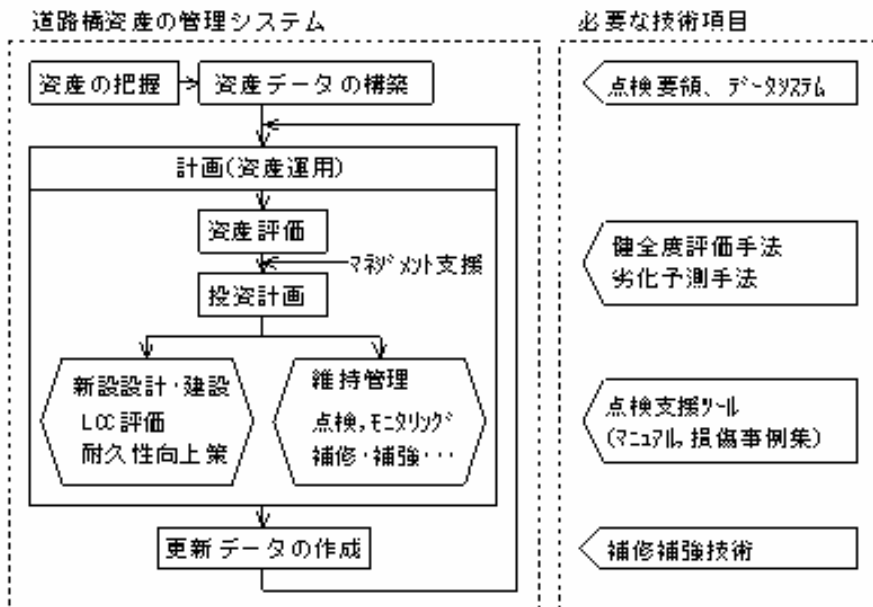


図1-2-2 道路橋資産の管理システムの構成

2)ミクロなマネジメントへの活用例

図1-2-3 に、点検データに基づいて予防保全的に管理するとともに、長寿命化を図ることにより、道路橋のライフサイクルコストを低減させる科学的な道路資産管理の基本的な考え方を示す。

また、予防保全の効果の具体的な例として、表1-2-1 から表1-2-3 にそれぞれコンクリート床版の疲労、コンクリート部材の塩害、コンクリート部材のアルカリ骨材反応に対する補修補強法を示す。例えば、コンクリート床版の疲労を例にとると表1-2-1 に示すように、損傷が軽微な段階では、炭素繊維や鋼板接着といった軽微な補修ですむが、損傷が進むと上面増厚工法や取り替えのように、交通規制を要する大規模な工事が必要となり、長期的には、早い段階で対策を講ずるほどコストが小さくなる。長寿命化については、多額の費用を要する更新の回数が少なくなることにより、長期的なコストが低減される。

このように小規模な橋梁群や個々の橋梁単位毎について、具体的な部材の損傷や劣化の予測を行い、それらに対する対策効果のシナリオを最適化することによって、マネジメントの合理化が図られることがわかる。

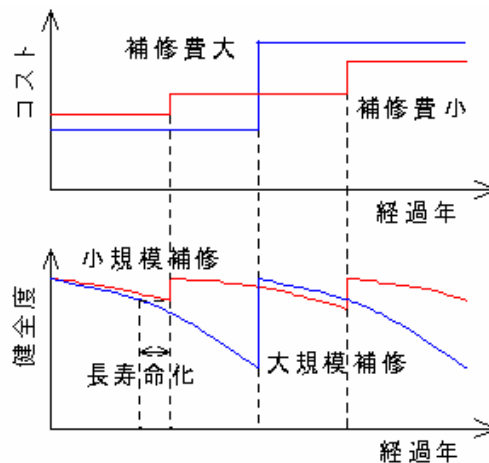


図1-2-3 道路橋の計画的管理の考え方

表1-2-1 コンクリート床版の補修補強

状況	損傷段階	対策の考え方
	損傷無し	モニタリング、経過観察
	乾燥ひび割れの発生 梁状化	曲げ補強 炭素繊維接着
	ひび割れの格子状化	曲げ補強 鋼板接着
	格子状化の進行・貫通	曲げ・せん断補強 鋼板接着、上面増厚
	ひび割れ面の擦れ合い せん断抵抗力の低下	曲げ・せん断補強 上面増厚、取替え
	コンクリートの抜け落ち	取替え

表1-2-2 コンクリート部材の塩害に対する補修補強





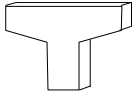
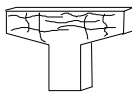
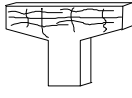
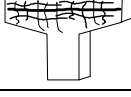
状況	損傷段階	対策の考え方
	塩分濃度限界値以下 (鉄筋位置)	モニタリング、経過観察、 表面被覆
	腐食の開始 (鉄筋)	断面修復
	ひび割れの発生開始 (かぶりコンクリート)	電気防食
	有効断面の減少	取替え

表1-2-3 コンクリート部材のアルカリ骨材反応に対する補修補強

状況	損傷段階	対策の考え方
	損傷無し	モニタリング、経過観察、 表面被覆
	ひび割れ幅:小 ひび割れ密度:小	ひびわれ注入、表面被覆
	ひび割れ幅:中 ひび割れ密度:中	ひび割れ注入、断面修復、 鋼板巻き立て、炭素繊維補強
	ひび割れ幅:大、ひび割れ密度:大 コンクリートの浮き、剥離、さび汁、鉄筋破断	コンクリートの打換え、取替え

3) マクロなマネジメントへの活用例

道路橋資産の管理システムを全国的な維持管理水準の決定のようなマクロ的な検討に活用する事例を示す。図1-2-4 は、MICHl データ(2001年3月現在)に登録されている北海道および沖縄を除く全国 35,189 橋の橋梁を対象に、健全度を良好な状態から劣悪な状態まで I から V の5段階に区分し、今後、維持管理費用を 300 億円に固定し、その範囲内で健全度の低いものから順に対策を施した場合(ケース1)、予防保全的に健全度Ⅲとなった橋梁に対して対策を施した場合(ケース2)それぞれについて、橋梁の健全度区分毎の比率および維持管理費用の推移を試算したものである。ただし、健全度 V となる橋梁がある場合には、予算枠に関係なく投資するものとした。

健全度の評価は、桁の健全度のうち最低ランクのものを当該橋梁の健全度として扱い、健全度曲線としては、次式を使用した。

$$Y=10.0-0.1t$$

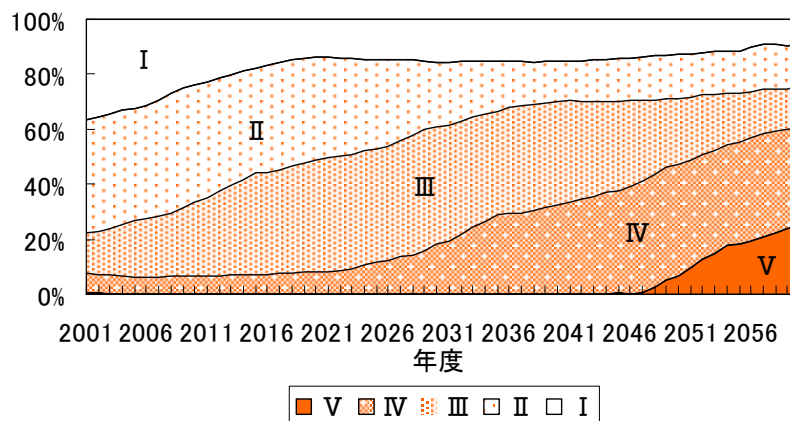
ここに、Yは、表1-2-4 に示す健全度、tは時間(年)である。なお、この試算では、計算期間を 2001

年度から2060年度までの60年間とし、社会的割引率は考慮せずに計算した。

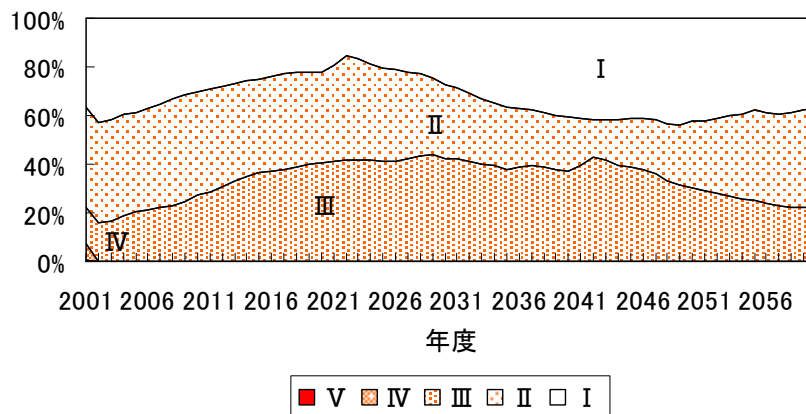
図1-2-4に示すこれらの試算結果より、マクロ的な維持管理水準や予算バランスを管理することにより、予防保全的な維持管理を行うことができ、将来の維持管理負担のピークを平準化できることが示されている。このような試算を行うことで、個々の橋梁の部材に対する精度、信頼性は低いものの一定量以上の規模の資産管理計画としては、例えば、複数のシナリオの相対比較などによって、どのようなシナリオが効果的かなど、マクロ的にマネジメントの合理化を図ることができる可能性があることがわかる。

表1-2-4 健全度区分

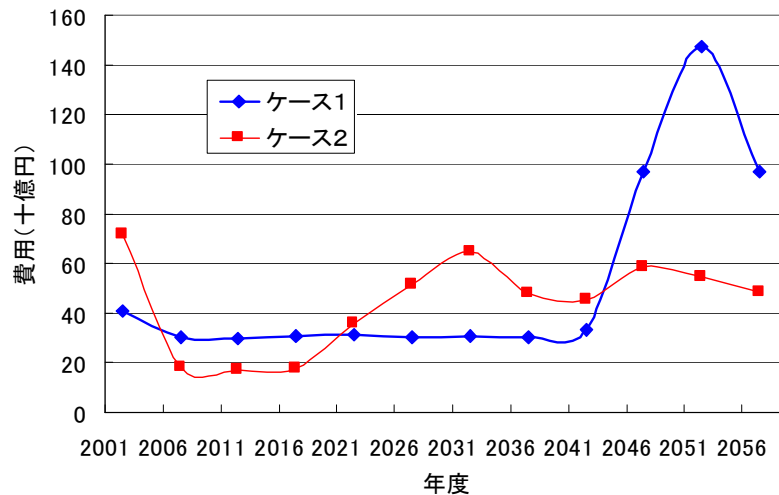
健全度区分	範囲
I	$8 < Y \leq 10$
II	$6 < Y \leq 8$
III	$4 < Y \leq 6$
IV	$2 < Y \leq 4$
V	$0 < Y \leq 2$



(a)ケース1(事後保全的)



(b)ケース2(予防保全的)



(c)比較

図1-2-4 システムの活用例


1-3. 道路橋の点検システム


1) 点検システムの現状

(1) 橋梁点検の体系

定期点検要領に基づく点検は、5年に一度行われる定期点検を中心として、日常的な巡回に併せて行われる通常点検、塩害など特定の事象に特化した特定点検、災害などの大きな事故が発生した場合や予期せぬ異常が発生した場合に行われる異常時点検などに分類される。なお、定期点検において変状が発見された場合には、必要に応じて詳細点検や追跡調査が行われる。表1-3-1 に橋梁点検の種類とその概要を示す。

表1-3-1 橋梁点検の種類

種別	写真	概要
通常点検		日常の道路巡回時に パトロールカー内から点検

定期 点検		損傷状態の把握、判定のため、供用開始後2年以内に一度、それ以降は5年に一度実施
特定 点検		塩害等特定の事象を対象に、予め頻度を定めて実施
異常時 点検		地震、台風など災害や大きな事故による異常発見時に行う点検

(2)定期点検手法の構築と課題⁹⁾

道路橋の点検は、これまで昭和 63 年に発刊された「橋梁点検要領(案)」に基づいて行われてきたが、橋梁点検要領(案)は、平成 16 年 3 月に「橋梁定期点検要領(案)(以下、「定期点検要領」という)」として改訂され、道路局から通達されている。

平成 16 年 3 月の「橋梁定期点検要領(案)」に反映された新しい点検手法の特徴は、将来の劣化予測など、分析、評価に用いる客観的データの取得を目的とする損傷程度の評価と、架橋環境や橋梁形式などの様々な情報に基づいて総合的に評価される診断との関係を明確にした点である。そこで、新しい点検手法では診断という項目が新設され、点検技術者による総合的かつ長期的な診断を取り入れることにより、管理者が具体的にどう行動すればよいかの指針を与える実効性の高いものを目指した。

定期点検の方法は、近接目視を中心に、必要に応じてテストハンマーのような簡易な点検機械・機具を用いて行うのを基本としている。点検結果は、図1-3-1 に例示する橋梁の部位、部材の最小評価単位毎に損傷の状況を記録して、損傷評価基準に基づき損傷程度の評価を行う。損傷程度の評価は、表1-3-2 に示すように、損傷程度小さなものから順にaからeの五段階で行われる。そして、このデータに基づいて表1-3-3 に示すような対策区分を判定し、それらを維持や補修・補強の計画を検討する上での基礎的な資料として記録管理される。

こうした現在の点検方法に関しては、目視では把握することが難しい変状を検知するための非破壊検査手法の開発と活用のあり方、部材の最小単位毎としている点検項目を重点化することによる点検の合理化、マニュアルによるデータの客観化と熟練技術者を利用した総合的な診断や長期的なデータや知見の蓄積などが課題となっている。

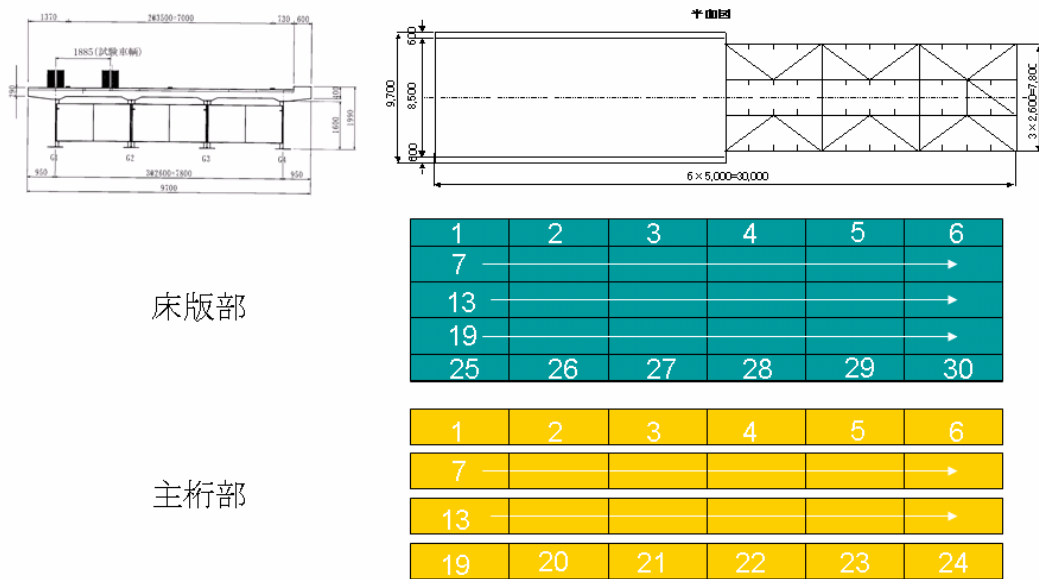


図1-3-1 床版および主桁の最小点検単位の例

表1-3-2 損傷程度の評価区分

評価区分	a	b	c	d	e
損傷の程度	小 ← → 大				

表1-3-3 対策区分の判定基準

判定区分	判定の内容
A	損傷なし。補修、補強の必要なし。
B	状況に応じて補修を行う必要有り。
C	速やかに補修等を行う必要有り。
E	構造の安全性。緊急対応の必要有り。
E	その他。緊急対応の必要有り。
M	維持工事で対応する必要有り。
S	詳細調査の必要有り。

2) 点検システムの高度化

(1) 点検技術に関する調査

橋梁部材の損傷は、塗膜の下や部材の内部のように表面からはわからない状態で進行する 경우가多く、現在の目視を主体とした点検方法では見逃されてしまうケースも多い。また、予防保全の観点からは、変状を目視で確認できる状態に至る前の初期段階で発見したり、劣化の原因となる水分や塩分の存在を検出することは非常に効果的である。さらに、変状が発生した場合であっても、その後の変状の進行状況を監視することができれば、点検の効率化につながる。

こうしたことから、部材内部の変状を構造物に悪影響を及ぼさずに把握したり、変状を監視できる非破

壊検査手法やモニタリング技術を開発し、点検業務に組み入れていくとは、重要な課題の一つである。これらの課題に関しては、独立行政法人土木研究所を中心に非破壊検査、モニタリング技術に関する研究が盛んに行われている。

鋼部材に適用される非破壊検査手法に関しては、超音波探傷試験(UT)、磁粉探傷試験(MT)、浸透探傷試験(PT)、渦流探傷試験(ET)、放射線透過試験(RT)など様々な手法が実用化されている。その中でも、超音波探傷試験は、鋼部材内部の亀裂の判別に適しており、部材の形状や厚さ制限をあまり受けないことから、有力な検査手法であると考えられている。しかしながら、測定に熟練を要したり、条件によっては検出しづらい場合があるなどの課題もあり、測定結果の検証や適用性に関する検討が行われている¹⁰⁾。

一方、コンクリート部材に適用される非破壊検査手法に関しては、部材内部の欠陥を赤外線、超音波、電磁波、放射線、電磁誘導などを用いて検出する方法の他、シュミットハンマーなどを用いた構造物の最小限の破壊によって、塩分量や水分量を測定する手法などについて研究開発が行われている¹¹⁾。

また、長期的なモニタリング技術については、センサーを用いて部材のひずみや振動を常時観測し、変状の兆候やその原因を検知するための技術開発が行われている。



図1-3-2 鋼部材溶接部の超音波探傷試験



図1-3-3 コンクリート部材の非破壊検査

(2)点検内容の重点化に関する調査

点検データに基づく橋梁の損傷程度の判定結果は、具体的な維持管理の方針を決める上での重要な情報となる。現行の方法では、損傷程度の評価は、図1-3-1 に示すような最小部材単位毎に行い、すべての要素のうち、最悪の状態にあるものをその橋の代表値として健全度評価を行っている。しかしながら、損傷の発生頻度や損傷が橋の性能に及ぼす影響は、部材、部位によって大きく異なるため、点検や診断を効果的に行うためには、損傷実態の傾向や構造形式、部材の違いによる影響度を考慮し、点検項目や点検データを用いた健全度評価方法を見直していく必要がある。

例えば、鋼桁の腐食の例にすると、海岸からの飛来塩分の影響で、桁全体が一様に腐食する場合、桁端部の湿気の多い箇所、配水管や床版からの漏水箇所のように特定の場所が集中的に腐食する場合などいろいろな腐食パターンが考えられる。図1-3-4 ～図1-3-6 に、鋼桁の腐食発生パターンの異なるいくつかの事例を示す。図1-3-7 には、鋼桁の位置別腐食発生頻度の分析結果を示す。こ

れは、平成 16 年度の定期点検のデータのうち、鋼合成単純 I 桁及び鋼合成単純 H 型桁の 144 橋分について腐食に関するデータの分析を行ったものである。横軸方向には、両端に位置する各 1 パネルを桁端部として扱い、残りの部分は 4 等分し、中央の 2 つを中央支間、それ以外を 1/4 支間、3/4 支間として扱った。また、橋軸直角方向には、複数ある主桁のうち両外桁を外桁とし、それ以外の桁を全て内桁として扱っている。損傷のカウント方法は、定期点検での損傷ランクに応じて、a=1 点、b=2 点、c=3 点、d=4 点、e=5 点として合計している。この結果から、鋼桁の腐食は桁端部で発生する確率が高いことがわかる。

このような道路橋部材の代表的な損傷パターンを考慮して、損傷の発生頻度や影響度によって、点検箇所を重点化したり、診断時の評価を構造物の性能と関連づけたものに改良することは有益である。図 1-3-8 には、道路橋の性能に着目した点検内容重点化の考え方を示す。本研究では、点検により蓄積されている様々な種類の損傷データを多角的に分析しながら、より効果的な点検体系、項目のあり方について検討を行った。今後は、道路橋において最も重要な性能である安全性に関する項目に特化した点検手法の構築を重点的に進めていく予定である。



図 1-3-4 鋼桁橋の全体的な腐食



図 1-3-5 鋼主桁下フランジ端部の腐食



図 1-3-6 鋼主桁ウェブ端部の腐食

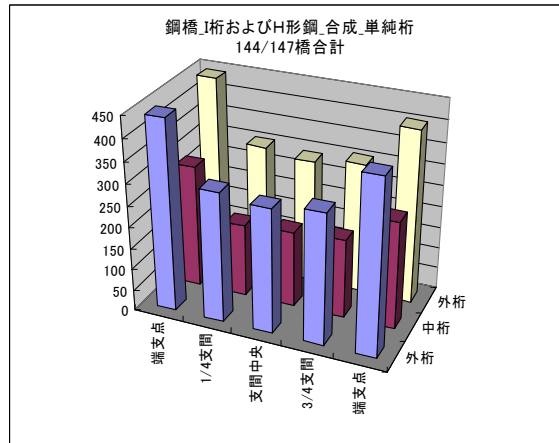


図1-3-7 鋼桁の位置別腐食発生頻度

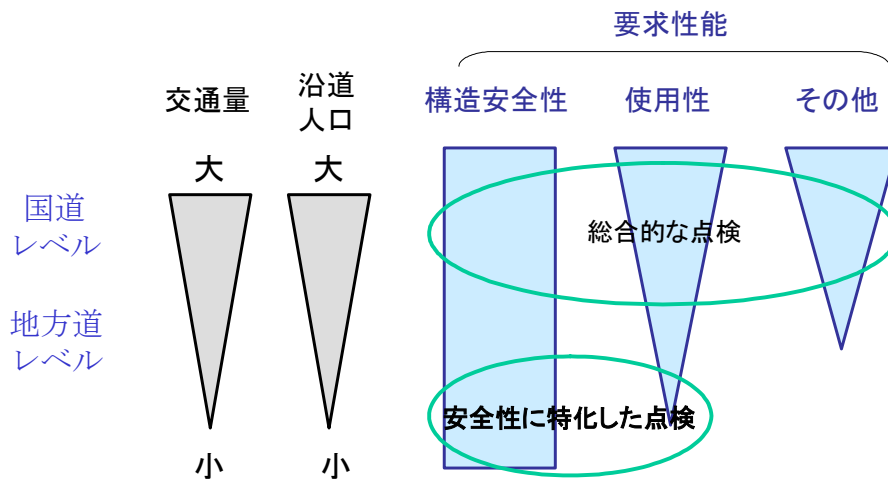


図1-3-8 性能に着目した点検内容重点化の考え方

(3)点検技術者教育と熟練技術者の活用に関する調査

橋梁点検においては、点検者が目視ないしは点検機具を用いてデータが収集され、収集されたデータは、技術者によって評価され、具体的な対応方針についての判断がなされる。橋梁の状態は、千差万別であり、技術者の経験や主観的な要素に左右されることも多く、点検の客観化、定量化は重要な課題である。

本研究では、点検業務への関与のレベルに応じた点検マニュアルのあり方について検討を実施した。例えば、実際の点検作業を行う技術者に対しては、損傷を見逃さないための知識や検査機器に関する知識が必要である。一方、行政サイドで、補修補強の優先順位や工法を計画する技術者に対しては、損傷の状態が橋の性能に及ぼす影響や各補修補強工法の特徴に関する知識が必要である。

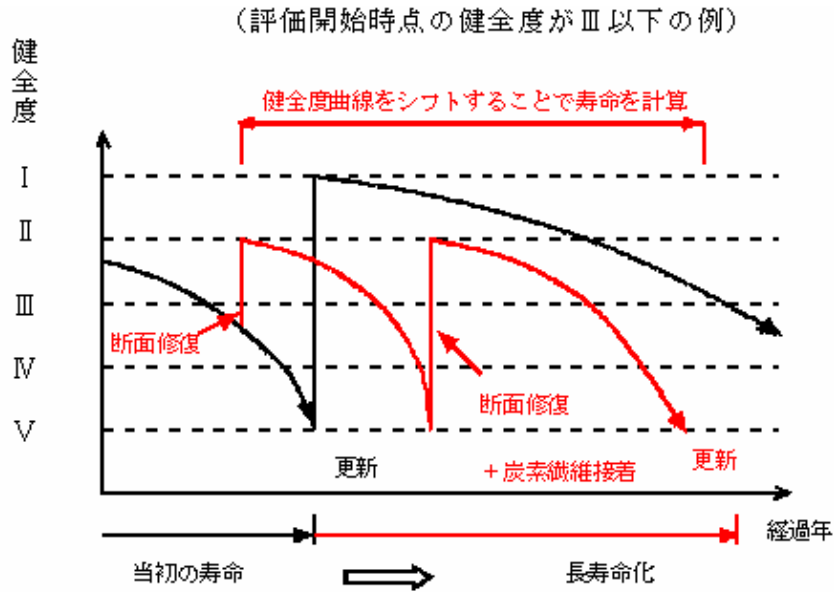
一方で、総合的な評価や判断を行うためには、すべてを定量化、マニュアル化しようとするのではなく、熟練した技術者による長期的な診断、総合的な判断も重要であり、効果的な点検体制を実現するために必要となる事項について基礎的な調査を実施した。

1-4. 劣化予測手法

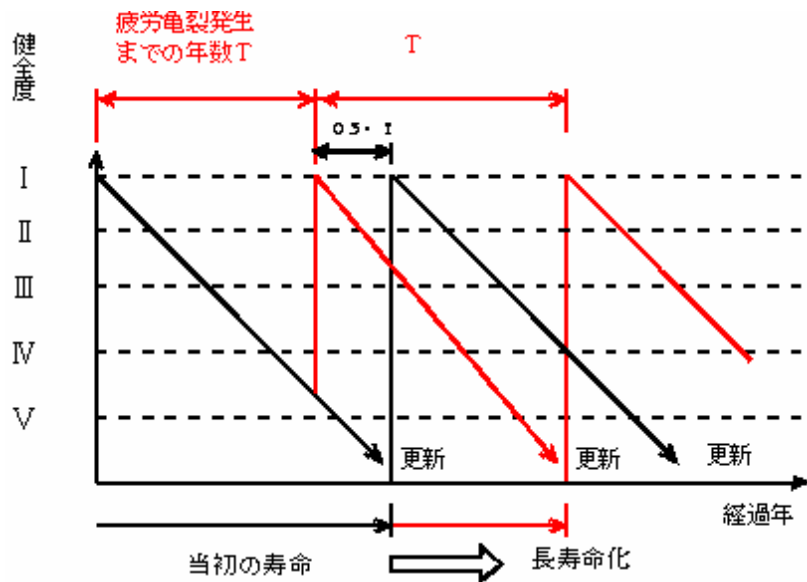
1) 劣化予測手法の現状

個々の橋梁のライフサイクルコストを考慮して、最適な補修補強計画を立案するためには、劣化予測手法を劣化メカニズムに基づいて高度化し、将来発生するコストを精度良く算定することが課題となる。

本検討では、図1-4-1 に示すように、コンクリート部材の塩害、床版の疲労といった主要な損傷毎に、標準的な補修周期と性能の回復程度を調査、分析することにより、維持管理に要する将来の費用を予測できる手法を設定した。



(a)コンクリート部材の損傷



(b)鋼部材の疲労

図1-4-1 道路橋の劣化予測手法の例

2)劣化予測手法の高度化

道路橋部材の劣化の進行状態は、交通条件、環境条件、構造条件等により、傾向が異なると考えられ、劣化予測の精度を高めるためには、実際に起こりうる様々な条件に対応した劣化シナリオを構築していく必要がある。そのため、損傷メカニズムが明らかになっていない損傷に対しては、これを明らかにするとともに、定期点検データの蓄積を進め、実態を反映した劣化予測手法の確立を目指し、検討を継続していく必要がある。

1-5. 個別損傷に対する取り組み

1)概説

ここでは、橋梁の耐久性に重大な影響を及ぼす危険性が高く、将来の道路橋資産管理のコスト縮減上、重要な耐久性喪失要因であるコンクリート床版の疲労、鋼部材の疲労、コンクリート部材の塩害、アルカリ骨材反応に関する検討状況について報告する。

2)コンクリート床版の疲労

道路橋に用いる床版の疲労に対しては、昭和 40～50 年代頃に多く発生した抜け落ち等の深刻な損傷に対する反省から、床版の最小厚さを制限するなど、数度にわたって基準の改定を行い、耐久性の確保を図ってきた。また、最近では、輪荷重走行試験機を行って、耐久性がある程度明らかな床版との相対比較による耐久性評価が行われるようになっている。

しかしながら、現在のところ疲労耐久性を定量的かつ絶対的に評価する手法は確立されておらず、既設床版に対しては劣化予測や最適な補修補強時期の推定を精度よく行うことができない。また、新設橋の設計においても、要求される耐久性に応じて柔軟に合理的な床版構造を提案することが困難な状況にある。

こうした背景をふまえ、本研究では、既往の輪荷重走行試験データを改めて多角的に分析し直すなど、床版の損傷過程の分析と挙動の解明を進めた。さらに、コンクリート系床版の疲労耐久性を絶対評価する手法を確立するため、輪荷重の繰り返し作用下において、床版コンクリートが鋼部材で適用されているような累積被害則に従って疲労破壊に至るものと仮定した疲労設計用の劣化モデルを設定し、輪荷重走行試験での疲労損傷過程の再現性の分析を行った。今後、多様な条件を有するコンクリート床版を対象にした検討を進め、評価手法の一般化を進め、設計法の構築のあり方を検討する予定である。

3) 鋼部材の疲労

鋼部材の疲労に関しては、平成 13 年 12 月の道路橋示方書の改訂で、疲労設計が義務づけられ、具体の設計手法の例として、「鋼道路橋の疲労設計指針」が示されている。しかしながら、現在のところ、一部の代表的な構造形式以外の橋梁や応力状態が複雑な構造部位に対する疲労照査方法としては、適用性が十分ではないという問題を有している。

こうした背景をふまえ、本研究では、鋼製橋脚隅角部や鋼床版のような応力評価に基づく疲労照査が

困難かつ緊急度の高い課題に対しては、損傷事例の分析を行うとともに、鋼製部材の構造最適化に適した解析手法に関する検討を行い、構造詳細の違いが疲労耐久性に及ぼす影響に関する基礎的な調査を実施した。また、トラス構造やアーチ構造のような鈹桁以外の構造形式に対しては、モデル化の方法の違いにより、実際に生じている応力状態と解析上の応力状態との相違を分析し、これらの構造の疲労耐久性照査に適したモデル化手法のあり方について検討した。

4) コンクリート部材の塩害

コンクリート部材の塩害については、依然として厳しい被害状況が継続している状況をふまえ、平成 13 年 12 月の道路橋示方書の改訂で、塩害に関する規定が見直され、塩害環境が特に厳しい地域では、かぶりによる対策に加えて、別途、塩害対策を講じることとされた。

こうした中、塗装鉄筋、コンクリート塗装、電気防食などの様々な塩害対策技術が開発されている。しかしながら、それらの塩害対策工法に本来要求されるべき性能に対して、所要の機能を有することを評価、検証する手法が十分に確立されておらず、採用が円滑に進んでいない現状がある。

そこで、本研究では、代表的な塩害対策の一つである塗装鉄筋について、製作、運搬、架設、供用の各段階における外力作用に関する基礎的な調査を行い、供用時の塗膜の疲労耐久性の評価法について検討を行った。

5) アルカリ骨材反応による変状

アルカリ骨材反応によるコンクリート部材の損傷については、近年、一部の鉄筋が破断している場合もあるなど、深刻な被害が報告されており、変状を生じたコンクリート部材の耐荷性能の評価と、補修補強設計法の確立が緊急の課題となっている。

現在、各関係機関と連携しながら実橋調査や各種実験を進めており、本研究においては、変状を生じたコンクリートの物性変化、付着性状、プレストレスの変化等の評価方法とそれらを考慮した補修補強設計法に関する基礎的な調査を実施した。

1-6. 道路資産管理の説明性の向上

1) 管理指標の現状

道路資産の管理において、最適な時期に最適な規模の投資を戦略的に実施していくためには、道路管理者が適切な合意形成の下に必要な投資を行っていくことが課題となる。そのためには、管理者が道路橋のあるべき保全水準といった管理意図をわかりやすい指標を用いて定量的に示し、利用者に対しても説明責任を果たしていくことが重要である。しかしながら、道路橋では、経年的な機能低下などの状況を利用者や管理者が体感しにくく、特に予防保全的な対策の必要性を正確に認識することは容易ではない。

現在、道路橋の管理においては、「構造物保全率」という指標を用いて管理水準や管理目標が示されている。道路構造物保全率の意味は、「今後5年間程度は通行規制や重量制限の必要がない段階で、

「予防的保全が行われている延長の割合」とされており、点検データから、各部材の損傷程度の最悪値から求めた健全度がある一定レベル以上となっている橋の割合として計算されている。図1-6-1 に直轄国道における構造物保全率を示すが、平成15年現在の87%から、平成19年までに93%まで改善することを目標している¹⁾。しかしながら、道路のユーザーや管理者にとって、この数値が何を意味するのか感覚的にわかりにくく、また、個々の橋の条件が、評価には反映されていないため、実際の維持管理行為を行う上での参考指標として問題を有している。

こうした背景をふまえ、本研究では、それぞれの重要度や損傷の種類、程度、発生箇所、構造特性等の個々の橋の条件に応じて、定量的に橋梁の状態を表現できる総合指標の開発するための基礎的な調査を行った。

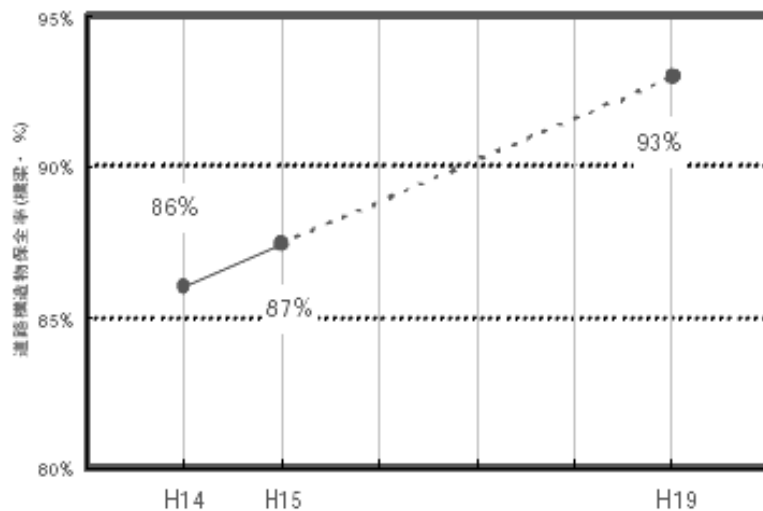


図1-6-1 道路構造物保全率

2) 指標を用いた評価体系の整理

道路橋のあるべき保全水準といった管理意図を管理者がわかりやすい指標を用いて定量的に説明できる評価指標の開発にあたり、まず、道路橋の状態の評価体系のあり方について整理を行った。

管理意図に応じたわかりやすい説明をするためには、構造安全性、使用性、他者への影響といった橋の基本的な性能と関連した評価項目を設定し、それぞれの観点からみた道路橋の状態を定量的な数値で示していくことが課題となる。橋の性能と関係した評価項目の体系については、いろいろな分類の方法があると考えられるが、表1-6-1 では、構造物としての安全性、交通路としての使用性、その他の3つに大別し、その下に小項目を例示している。

総合指標は、その利用目的に応じて、必要な評価項目の組み合わせや項目間の重み係数を柔軟に変更しながら使用できると適用の幅が広がり有効であると考えられる。例えば、緊急時の通行可否の判断では、耐荷性、走行性などが重視され、都市部で人口密度の高いところに位置する橋梁では、他者への影響に関する諸項目が重要となると考えられる。表1-6-2 に、評価指標の利用目的に応じた評価すべき項目の例を示す。

評価の結果から、道路管理者が速やかに管理行動をとれるようにするためには、評価結果が、緊急的

な対策が必要か否かのような維持管理行為と関連している必要がある。表1-6-3 は、構造物の状態を100点満点で評価する場合の得点、健全度、維持管理行為との関係を例示したものである。

道路橋には様々な要求性能が存在すると考えられるが、評価の中心として位置づけられるのは、橋の構造安全性のうちの耐荷性に関わる部分であり、本研究では、耐荷性の評価方法の検討を優先的に進めることとした。そして、部材毎の点検データを用いて、損傷の程度、種類、発生箇所、橋梁構造の特性などの違いが橋としての耐荷性に及ぼす影響度合いの違いを反映した重み係数などを用いて、橋全体として耐荷性を評価する方法を提案した。表1-6-4 に、鋼橋の耐荷性に着目した場合の評価体系を示す。

表1-6-1 橋の性能項目の例

大項目	小項目
構造安全性	・耐荷性 ・耐震性
使用性	・走行安全性
その他	・落下物等、第三者への被害 ・騒音、振動等の環境問題 ・景観

表1-6-2 評価指標の利用目的と評価項目

利用目的	評価内容	評価項目
要注意橋梁の抽出	自動車荷重や地震荷重に対して、落橋のような致命的な被害を生じるリスク	安全性(耐荷性、耐震性、安定性)
災害時の通行可能性	道路橋を安全に利用できないリスク	安全性、使用性
維持更新計画の立案	道路橋の基本的な性能が満足されないリスク	安全性、使用性、影響性
道路利用者の満足度評価	道路橋を安全で快適に利用できないリスク	安全性、使用性
周辺住民の満足度評価	道路橋が周辺環境と調和なくなるリスク	影響性

表1-6-3 点検結果、健全度、維持管理行為との関係のイメージ

判定	状態	対策
100	損傷が認められない	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
	損傷が認められ、その程度の記録が必要	
	損傷が認められ、追跡調査が必要	
	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修の検討が必要。	
30		必要に応じて、補修が必要
0	安全確保の支障となる恐れあり	速やかに補修等を行う必要がある。
		緊急対応が必要

表1-6-4 評価の体系の例(鋼橋・耐荷性)

部材区分		構造区分	損傷区分	評価
上部構造	主桁	少数主桁 合成桁	腐食	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点
			亀裂	
			...	
	主桁小計 100点~0点			
	横桁	/	腐食	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点
			亀裂	
			...	
	横桁小計 100点~0点			
	対傾構	/	腐食	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点
			亀裂	
...				
対傾構小計 100点~0点				
床版	合成桁	ひび割れ	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点	
		剥離鉄筋露出		
		...		
床版小計 100点~0点				
上部構造小計 100点~0点				
下部構造	橋台・橋脚	/	ひび割れ	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点
			剥離鉄筋露出	
			...	
橋台・橋脚小計 100点~0点				
下部構造小計 100点~0点				
支承部	支承	/	腐食	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点
			亀裂	
			...	
	支承小計 100点~0点			
	アンカーボルト	/	腐食	OK100点/IV75点/Ⅲ50点 /Ⅱ25点/Ⅰ0点
亀裂				
アンカーボルト小計 100点~0点				
氏勝負小計 100点~0点				
橋梁合計 100点~0点				

3) 代表橋梁を用いた試算

提案した指標の基礎的な特性を確認するため、表1-6-5 に示す3橋の鋼単純鈹桁橋を対象として、試算を行った。A橋は、日本海沿岸の厳しい環境に位置し、図1-6-2 に示すように主桁を始めとする鋼部材に激しい腐食を生じた橋梁である。点検の結果、安全性に著しい問題があるとされ、詳細な調査や緊急的な対策が検討されている橋である。B橋は、図1-6-3 に示すように、RC 床版に格子状のひび割れがみられる他、桁端部にも部分的な損傷が生じている。この橋は、点検の結果、床版の補修が必要であるとされている。C橋は、写真1-6-4 に示すように部分的な損傷がみられるものの、補修を要する程度には至っていないと診断されている。

表1-6-6 は、これらの3つの橋梁について、耐荷性の観点から提案した指標を用いて試算した結

果を示す。その結果、緊急対策を要するA橋、補修を必要とするB橋、補修を要する損傷が見られないC橋とを差別化できていることがわかり、緊急対策や補修補強を必要とするような問題橋梁を道路管理者が適切に把握しておくという目的では、適用できる可能性が高いことが示された。このような対策のあり方を区分するしきい値については、一定の精度を確保できる、もしくは、安全側の評価となるよう設定方法を検討していく必要がある。一方、同じ対策区分に位置づけられた中での相対的な評価の正確性については、精度向上の限界が予想されることや緊急対策や補修補強が必要な橋梁を抽出するという指標の使用目的を考慮すると、優先度が必ずしも高くはないと考えられる。また、橋の構造や損傷の種類は多種多様であり、異なる条件下での適用性や多様な説明目的への拡張性について、引き続き試算を進めながら検証し、算定方法の改良を進めていく予定である。

表1-6-5 試算対象とした橋梁の条件

橋梁名	A橋	B橋	C橋
架設年	1965	1964	1965
橋長(m)	26	33	45.5
構造形式	鋼単純・I型断面	鋼単純・I型断面	単純・I型断面
交通量(台/日)	4620	1561	3747
環境条件	沿岸部		
主な損傷(部位)	腐食(鋼部材)	ひび割れ(RC床版)	部分的な損傷



(a)主桁端部



(b)主桁と対傾構

図1-6-2 A橋の状態



(a)RC床版のひび割れ



(b)桁端部の腐食

図1-6-3 B橋の状態



図1-6-4 C橋の状態

表1-6-6 試算結果

橋梁名	上部構造				下部構造	支承部	合計
	主桁	横桁	対傾構	床版	橋台, 橋脚		
A橋	12	88	94	75	78	86	12
B橋	76	96	98	37	100	93	37
C橋	100	100	100	77	98	93	77

4) 社会的価値の評価

構造の安全性以外にも、道路の重要度や景観、歴史性といった社会的価値も総合的な評価項目の中には含まれている。しかしながら、現在の道路橋の維持管理は、主として物理的指標に基づいて行われており、景観や歴史性といった社会的価値が十分には反映されていないのが現状である。そのため、長年利用された愛着のある橋が、単に物理的理由で架け替えられてしまうケース、あるいは、架け替えよりも延命化する方がライフサイクルコストの面で有利と判断されたために、補修につぐ補修により景観を損ねるケースが生じており、人々の価値観が多様化する時代において、利用者の満足度を適切に考慮した合理的なマネジメントの実施が求められている。

本研究においては、社会的価値を定量的に評価し、道路橋管理に反映するにあたっての問題点を抽出するため、いくつかのサンプル橋梁を選定し、実際に社会的価値の評価を試みた。評価にあたっては、社会的価値と関係の深い項目についてカルテに整理し、複数の橋梁間で維持管理の優先順位を決定するケーススタディーを実施した。表1-6-7 にカルテの例を示す。

このようなケーススタディーを実施することにより、複数の橋梁間での相対的な優先順位の検討には、定量的な社会的価値評価の適用可能性があると考えられるものの、維持管理投資の中で、社会的価値に対する投資が占めるべき量を絶対評価するためには、解決すべき課題が多いことがわかった。

一方で、実際に社会的価値を考慮した国内外の事例に関する調査も実施した。その結果、維持補修計画を策定する過程の中で、適切に社会的価値を考慮する機会が設けられなかったり、逆に、社会的価値の観点からの検討と、耐荷力、耐久性の観点からの検討間の連携が不十分で、社会的価値を考慮したことにより、耐荷力、耐久性といった道路橋の基本的な性能が損なわれた事例も数多く見られた。図1-6-5～図1-6-7 は、景観への配慮が維持管理上の問題を生じさせた例である。

上記に示した調査の結果、景観、歴史性といった社会的価値のように性能の定量的評価が難しい事項

については、現時点では、道路橋資産の管理行為の過程で、それらが適切に考慮されるように、行政システムの中で社会的価値評価を介在させる手法について検討することの重要を認識するに至った。今後は、道路橋の性能に基づいた評価による建設、管理のあり方が重要となってくるため、本研究で得られた知見は、こうした検討における社会的価値評価の基本的方向性を示すものとして役立つこととなる。

表1-6-7 社会的価値評価のカルテ例

評価項目(大)	評価項目(中)	評価指標	評価結果
交流機能の有無	交流空間の有無	ポケットパーク、遊歩道、橋詰広場、展望広場、バルコニー等の待ち合わせ場所の有無	×
		ベンチ等の休憩スペースの有無	×
		橋下の河川公園、海岸公園との一体的整備の有無	×
	交流機会の有無	花火大会、お祭り、川下り大会など地域のイベントの鑑賞場所としての利用の有無	×
		パレードなどの経路としての利用の有無	○
	地域間交流への貢献	観光パンフ、観光HPでの紹介の有無	○
		映画などロケ地としての利用の有無	×
		歌謡曲などで名称使用の有無	×
	...		
美しい景観演出への要素性	橋梁のデザイン性	土木学会「田中賞」の受賞の有無	○
		照明デザイン賞の受賞の有無	○
	...		



図1-6-5 配水管を隠した構造(左)と配水管周囲の腐食(右)

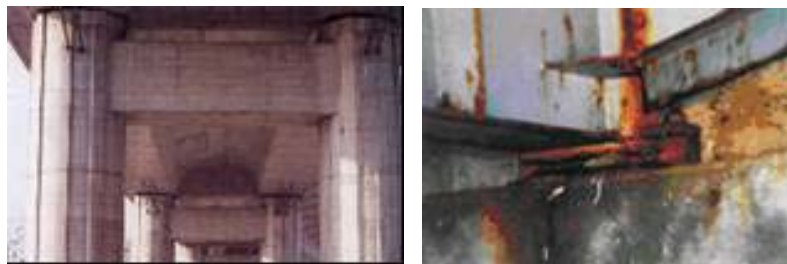


図1-6-6 支承を隠した構造(左)と支承周囲の腐食(右)



図1-6-7 連続性を確保するため桁端部を切り欠いた構造(左)と切り欠き部の疲労損傷(右)

1-7. おわりに

道路橋分野において、科学的なデータ、予測に基づく戦略的な資産管理に向けた本格的な取り組みは、まだ、始まったばかりであり、本報告でも指摘しているように様々な課題が存在する。橋梁研究室では、中長期的なビジョンを議論、提案しながら、こうした課題に対して、関係する機関とともに、戦略的かつ計画的に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 玉越隆史、中洲啓太、石尾真理、武田達也：道路橋資産管理に関する施策動向と国総研の取り組み、土木技術資料、2004.11
- 2) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理、土木学会論文集、1994.10
- 3) 藤原稔、岩崎泰彦：橋梁の架替に関する調査結果(Ⅰ)、土研資料 2723 号、1989.1
- 4) 藤原稔：橋梁の架替に関する調査結果(Ⅱ)、土研資料 2864 号、1990.3
- 5) 西川和廣、村越潤、上仙靖。福地友博、中島浩之：橋梁の架替に関する調査結果(Ⅲ)：土研資料 3512 号、1997.10
- 6) 玉越隆史、中洲啓太、石尾真理、武田達也：道路橋の寿命推計に関する調査研究、国総研資料第 223 号、2004.12
- 7) 玉越隆史、中洲啓太：道路橋資産管理の現状と課題、土木技術資料、2005.1
- 8) 中谷昌一、玉越隆史、中洲啓太：道路橋資産の総合的管理システムについて、アニュアルレポート

2003

- 9) 玉越隆史、大橋章、中谷昌一:道路橋の定期点検に関する参考資料―橋梁損傷事例写真集―、国総研資料第 196 号、2004.12
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所、東京工業大学、日本道路公団、(社)日本橋梁建設協会、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本非破壊検査工業会:鋼道路橋溶接部の非破壊検査手法に関する共同研究(Ⅰ)、国総研資料第 31 号、2202.3
- 11) 久田真、渡辺博志:コンクリート用非破壊検査の原理と応用、土木技術資料、2004.9
- 12) 国土交通省道路局:平成 15 年度道路行政の業績計画書