

道路構造物の長寿命化と LCC 縮減に向けた取り組み

道路研究部 道路構造物管理研究室長

玉越 隆史

道路構造物の長寿命化と LCC 縮減に向けた取り組み

道路構造物管理研究室長 玉越 隆史

1. まえがき

近年、橋梁関係者のみならず、道路施設の安全性について意識することなく日常的に利用している多くの人にとって、衝撃的ともいえる深刻な道路橋の事故や不具合の報告が目立つようになってきている。鋼橋に限っても、都心部の橋脚における深刻なき裂損傷、重交通路線の鋼床版におけるデッキを貫通したき裂損傷、都市間の大動脈である幹線道路にある橋の主げたがほぼ断裂するような大きなき裂損傷、トラス橋の斜材の腐食による破断などが挙げられる。国土交通省では、このような安全性に係わる重大な損傷や不具合が明らかになった場合、自ら管理する以外の橋梁に対しても同種の損傷や不具合による事故を未然に防止するために、地方公共団体など他の道路管理者にも必要に応じて様々な形で情報提供と注意喚起を行うとともに全国の実態把握のための情報収集を行っている。その結果、多くの場合、同種の事象が各地で発見され、中には通行止めなどの緊急措置が執られるに至ったものもある。そのような状況のなか、昨年には米国で通勤時間帯で渋滞していた大規模なトラス橋が突然崩落して多数の犠牲者が生じる事故が発生した。事故の原因は本稿執筆時点で未だ明らかにされておらず調査中である。しかし、これまでに本橋に対しては事故に至るまで毎年のように点検が行われ、様々な調査や補修・補強の検討も行われていたこと、また、事故当時も補修工事が行われており、橋の状態についてはかなり詳細に情報が把握されていたものと推測される。

道路は、日々の安全で快適な国民生活や経済活動を支えるとともに、災害時には避難路や物資輸送路などの防災機能をも果たす基幹的交通施設である。現在我が国は、道路橋を長さが 15m 以上のものだけでも約 15 万橋抱えている。これらは毎年着実に高齢化し、例えば現在約 6% の 50 歳以上の比率が 20 年後には約 50% に急増するとも試算される。一旦供用を開始すると道路の一部としての機能は何らかの形で半永久的に維持されることが求められることがほとんどであることを考えると、橋の高齢化は避けられないとしても、その状態を把握して適切に判断し、適切な対策を行って重大な損傷の発生による事故を未然に防止するとともに、老朽化させない対策の確立が急務となっている。

これらの状況を踏まえて国土交通省道路局では、昨年、我が国の道路橋の保全のあり方を議論する有識者会議を発足させ、本年 5 月には、その提言がとりまとめられた。提言書の目次を表-1 に示す。

本稿では、直轄道路橋（国管理の道路橋をいう。以下同じ。）の現状と課題を述べた後、社会資本の管理のあり方に言及した上で、直轄道路橋を中心に現状と課題及び有識者会議提言を踏まえた予防保全への取組状況と今後の方向を概観する。

表-1 有識者会議提言¹⁾

道路橋の予防保全に向けた提言	
平成20年5月16日 有識者会議	
1. 点検の制度化	～すべての道路橋で点検を実施～
2. 点検及び診断の信頼性確保	～技術基準、資格制度、人材育成を充実～
3. 技術開発の推進	～信頼性を高め、負担（労力、コスト）を軽減する 技術開発を推進～
4. 技術拠点の整備	～損傷事例の集積と発信、高度な専門技術者の育成～
5. データベースの構築と活用	～効率的な維持管理とマネジメントサイクルの確立～

2. 直轄道路橋等の現状と課題

直轄道路橋は約2万橋、橋長15m以上に限っても約1.1万橋があり、これら橋梁に対しては定期的に比較的詳細な点検が実施されている。定期点検結果による橋梁に発生している損傷の状況を、建設年（年齢）毎に比較したものを図-1に示す。橋の劣化特性は構造や架橋環境にも左右されることからそのばらつきが非常に大きく、個々の橋の劣化や損傷の程度と経年の関係はそれぞれ大きく異なると考えられるにも拘わらず、全体としては経年に従って異常の現れる率が增大する傾向が顕著である。

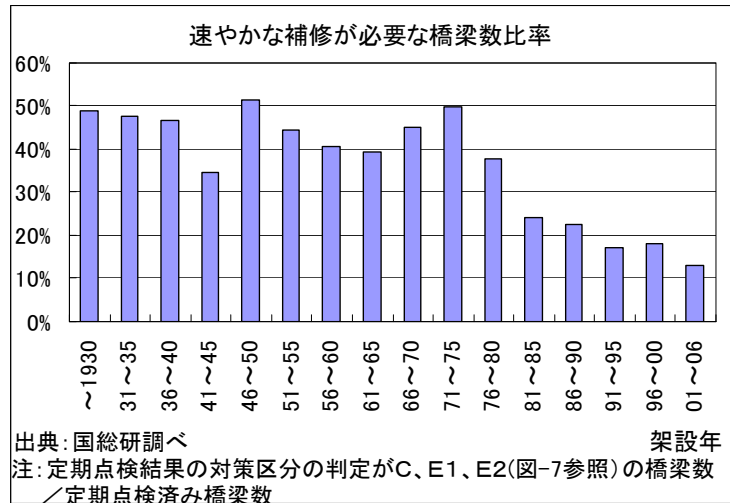


図-1 架設年（年齢）別の補修が必要な橋梁数比率

国では、耐久性に関する信頼性の向上やライフサイクルコストの低減など新設される道路橋の設計基準等への反映や、地域や構造特性に応じた合理的な点検、補修・補強等の維持管理手法の実現を目的とした既設橋に関する調査の一環として、昭和52年以降、概ね10年毎に橋長15m以上都道府県道以上を対象として既設橋の架替実態に関する調査を実施してきている^{3)～6)}。図-2に過去4回の調査毎の架替理由構成比を、図-3に平成18年度調査における上部工の損傷による架替理由を示す。架替理由の約8割は陳腐化（機能上の問題及び改良工事）であるものの、主たる原因が損傷であるとされた架替が全体の約2割にも達することは着目すべき実態である。上部工の損傷としては、鋼橋では鋼材の腐食と床版の破損で約8割を占め、コンクリート系橋では桁の亀裂・剥離が大半を占め、PC橋においてはなかでも塩害を原因とするものが顕著である。

このように、これまで構築してきた膨大な数の道路橋では、経年に伴って徐々に損傷や劣化や変状を生じるに至るものの数が増える傾向にあること、その結果、陳腐化などの社会的ニーズの変化に伴うもの以外に、損傷に対して更新することで性能回復を図ることが合理的と判断されるものも増える傾向にあることが推測される。定期的な目視点検が比較的きちんと行われている直轄道路橋ですら更

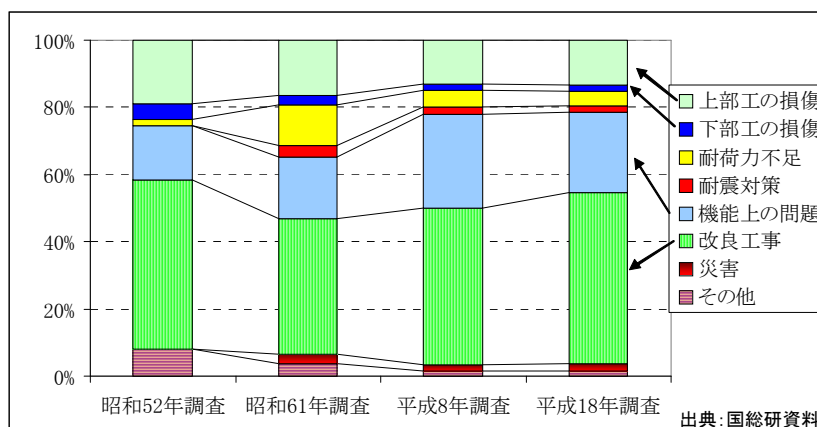


図-2 道路橋の架替理由構成比 ^{3), 4), 5), 6)}

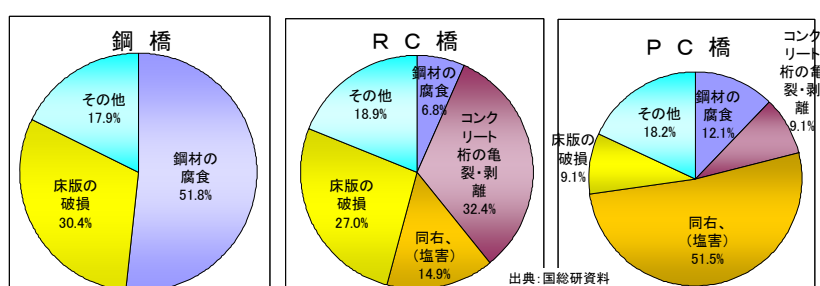


図-3 上部工の損傷による架替理由 (H18 調査) ⁶⁾

新を余儀なくされる状態までに劣化や損傷が進行してしまう事例が相当数になることから、コンクリート内部への塩分の浸透による塩害など外観目視点検だけでは適切に劣化程度を把握できない事例への対策が課題であること、あるいは変状を認識して膨大な資産を鳥瞰して対策の必要性の評価やその優先度付けを行ったり、必要となる対策を必ずしも適当なタイミングで確実に実施できていないことも伺わせる。

このようなことから、現在既に膨大な量となっている道路構造物を限られた予算と人員で適切に維持していくためには、従来行われてきた対症療法的な維持管理を脱し、データに基づく計画的な予防保全を行うなどによってライフサイクルコストを低減する合理的なメンテナンスマネジメントの確立が急務となってことを示唆していると考えられる。従来の対症療法的とは、損傷が発見される都度、当該損傷の重大性等を判断根拠として行う対策であり、このような手法では顕在化した時には既に有効な補修・補強策による性能の回復が困難な状態になっている事態もある程度避けられないなど、長寿命化のための対策機会の減少などライフサイクルコストを合理的に低減することが困難である。一方、データに基づく計画的な予防保全とは、損傷を発見した後、当該損傷の劣化予測等を行い、さらに対策時期と対策方法を想定して、最もライフサイクルコストが小さくできるように対策を行おうとするものである。例えば塩害等の着実に進行する劣化型の損傷のなかには、損傷が顕著になった時点では既にその進行を防止したり部材の耐力力などの性能を回復するには手遅れの状態となる場合もある。これら損傷に対しては損傷が発生する前に損傷の要因や進行度に関連する情報（塩害の場合にはコンクリート中の塩分量など）を適時把握

して、ライフサイクルコスト最小化の観点から最も適切と考えられる時期に、例えばその時点ではまだ所要の性能が確保されていたり外観的な変状は軽易であったとしても、必要な対策を実施することが可能であれば、長寿命化とライフサイクルコストの減少に有効である。さらに、このような既設橋梁から得られる様々な知見を活用して、今後新たに建設する構造物の耐久性向上を図ることは、将来の維持管理コスト全体の抑制に大きく貢献するものと考えられる。そのためにも、長寿命化や予防保全として行った対策の効果や既設橋の劣化特性に関する調査や分析を行うこともアセットマネジメントの一環として重要である。

この維持管理体系をいわゆるPDCAサイクルに当てはめて表現すると、図-4のように整理することが可能であると思われる。すなわち、Planは計画（意思決定）、Doは措置（補修・補強等）、Checkは点検・診断、Actionは状態評価である。なお、維持管理サイクルの場合、Actionとしては単に維持管理計画の策定などの意思決定だけではなく、維持管理で得られた知見を今後構築していく新設橋をより耐久性が高く長寿命化しライフサイクルコストの低減が図れるものへと改善していくものに活かすというフィードバックも生じる。

しかし、昨年9月に道路局が実施した地方公共団体へのアンケート調査で約8割の市区町村で橋梁定期点検を実施していない実態が明らかとなっている²⁾ことや、劣化や損傷を理由として更新を余儀なくされる橋梁が少なからず存在すること、さらには定期点検や緊急調査を行う度に安全性に係わる重大な損傷を既に有している橋が確実に見つかり

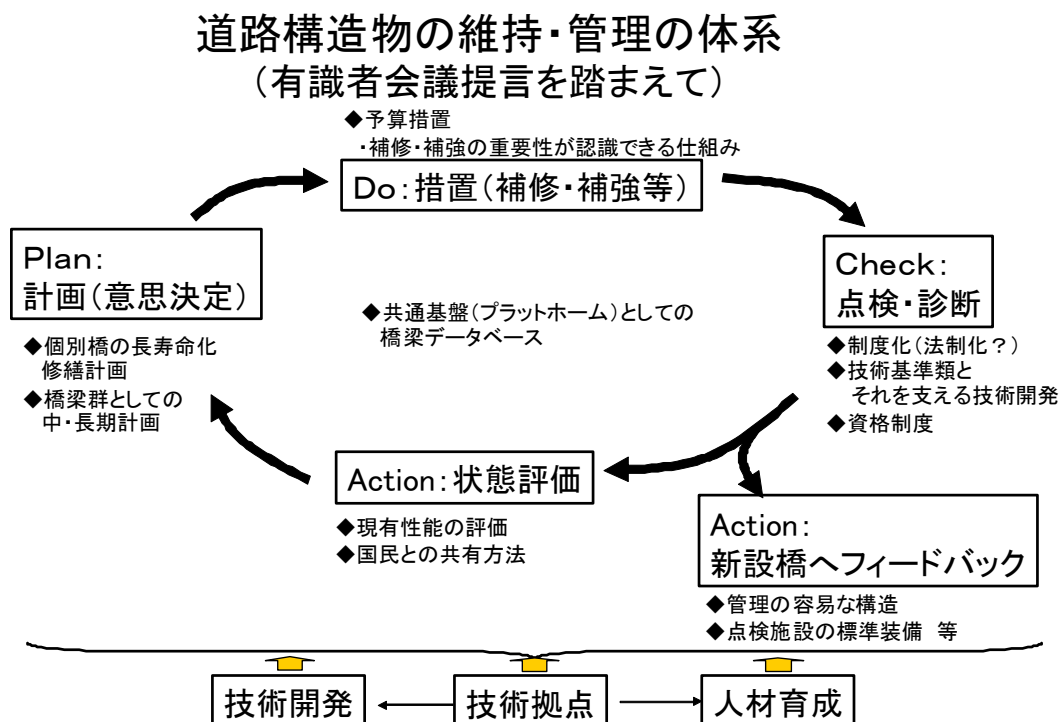


図-4 道路構造物の維持・管理の体系

る実態などを考慮すると、この維持管理サイクルが適正に機能するために解決すべき以下のような極めて基本的な問題点が浮かび上がってくる。

- ①見るべきものが見られていない
- ②見ても分からない
- ③先のことが十分に考えられない
- ④適切な治療が受けられない
- ⑤やるべきことの全てが十分にはできていない

①と②は点検等による橋の状態に関する情報の取得とその評価、③はその結果を踏まえての将来予測、④は診断とそれに基づく補修・補強などの適切な処方決定、⑤は緊急性や予防保全などの観点からライフサイクルコストの最小化に資する適切な予算措置や必要な補修・補強等の維持管理行為の実行である。

本稿では、これらのうち適正な維持管理サイクルが機能するための全ての基本となる点検、その点検結果を用いた状態評価及び維持管理の高度化に向けた技術開発について、現在国総研で行っている取り組みと今後の方向を中心に紹介する。

3. 社会資本の管理のあり方

社会資本は、道路・港湾・上下水道・公園・公営住宅・病院・学校等、産業や生活の基盤となる公益施設であり、国民福祉の向上と国民経済の発展に必要不可欠な施設である。例えば、道路法第1条では「もって交通の発展に寄与し、公共の福祉を増進することを目的とする」となっている。

これら社会資本のほとんどは、一般の用に供されるとほとんどの場合にはそれらが正常に機能することを前提として社会経済活動が営まれることとなる。公園などのように必ずしも常時その機能が維持される必要性がないものも例外的には存在する。しかし、少なくとも道路や上下水道などのいわゆるライフライン施設ともいえる社会資本では、地震直後や台風時等の異常時に点検等のため一時的に通行止めなどの使用停止状態にすることはあっても、平常時にその機能が停止したり制限される事態は極力避けられなければならない。また、地震等の災害に対してもできるだけ機能障害の程度は軽減されるべきであり、早期に復旧が行われることが求められる。

なお、ここでいう機能が維持されている状態とは、一定水準以上の信頼性をもってその機能（性能）が確実に発揮され得る状態であることを意味している。道路橋の場合であれば、日常的に繰り返される温度や自動車の通行による影響、様々な要因による材料的な劣化などによってその性能状態は絶えず変化（基本的には低下）することが避けられない。そのなかで、例えば突発的な地震等の外力に対しては、国民と合意したレベルとして設計基準等で実現しようとした確実な性能の発揮が求められる。いくら高齢化していてもその橋の位置する道路の利用者が個々の橋の安全性に疑問を持ちながら利用することはあってはならず、国民の共通認識として許容される信頼性をもって確実に地震等の外力に対する抵抗を示すことができることが必要なのである。

一方、道路橋をはじめとする社会資本では、求められる性能とそれが発揮される確実性

の程度について、それを明確に定義することは一般に困難である。また、要求性能が仮に明確に示されたとしても、既設の構造物がどの程度の性能を有しているのかについては、劣化や損傷の有無とその程度、設計と実構造物の挙動の乖離、材料特性など非常に多くの要因が関連するためこれを証明することは極めて困難であるという実態がある。そのため、社会資本に求められる性能や供用状態でそれが満足されていることについて、例えばどのような方法で整備され維持管理されているのかなどの方法を定めて、これが行われることでもって必要な水準で保証されているとする方法などもとられている。

4. 直轄道路橋における予防保全への取組状況と今後の方向

4. 1 概要

本章では、直轄道路橋を例として、社会資本に対してそれらに求められる性能を定義し、維持管理段階でそれを国民に保証するための方策としての法制度や社会システムなどの現状と課題を展望した後、国総研における研究の重要かつ代表事例として、維持管理の根幹となる点検体系、現有性能の評価及び技術開発に関する取組状況と今後の方向を概説する。

4. 2 道路に係る法体系

道路に関する法律である道路法（昭和 27 年法律第 180 号）には、路線の指定及び認定、管理、構造、保全、費用負担区分等に関する事項が定められている。

道路管理者は、国、地方公共団体、高速道路会社その他と区分される。なお、連邦制をとる米国では最上位の行政組織（連邦）が自ら管理する道路をほとんど持たないのに比べて、我が国では国自らが非常に多くの道路を管理する管理者であることが特徴として挙げられる。また、現在民営化されている旧道路 4 公団の民営化前はほぼ全ての道路管理者が公務員を主体とする公的機関であったが、現在は有料の高速道路のほとんどが民間株式会社によって管理されている。

法律である道路法には、「道路を常時良好な状態に保つように維持し、修繕し、もって一般交通に支障を及ぼさないように努めなければならない」とされている。しかし、具体的に何をもって良好な状態であるのかは明示されていない。このため、道路の管理状態については、それぞれの道路管理者がどのような管理を行うのかによって自ずと差が生じてくること、ある程度避けられない。しかし、利用者にとっては国内の道路網として路線毎の管理者を意識することなく様々な目的で利用していることから、安全性などの性能の水準が異なっているとは考えてはならず、またそれが大きく異なることは許容もされていないのではないかと考えられる。

道路に橋を新設する場合の構造等の技術的事項については、道路法第 30 条に「道路の構造の技術的基準は、（略）政令で定める」と規定され、それに基づく政令（道路構造令）及び省令（道路構造令施行規則）が定められており、ある程度要求される性能についての考え方は示されている。しかし、具体的な安全率や性能の水準の詳細までは定められておらず、個々の道路管理者がその趣旨を解釈して実構造物に反映することとなる。国に

においては「橋、高架の道路等の技術基準」（いわゆる道路橋示方書）により具体的な設計外力や許容値、設計手法などを定め、これを道路局長、都市・地域整備局長からの通達として組織内で統一した運用を行っている（図-5 参照）。この通達は、その位置付けが国土交通省の組織内の規定にとどまるため、本来的に国以外の管理者には強制力は持たない。しかし、道路構造令等の法令の解釈基準として国が採用しているものであり、地方公共団体などの他の管理者が他に独自で代替の技術基準を整備することは困難でもあり、国内のほぼ全ての道路橋には同じ基準が適用されている。

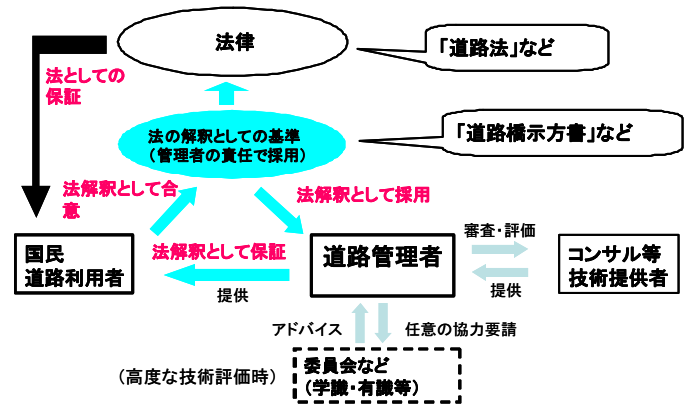


図-5 道路橋（直轄）技術基準の体系

また、設計基準以外に、実際の建設工事に対しては施工者の資格等が建設業法に規定されているなど、ある程度その品質水準が法制度として明確にされている。

一方、保全に関しては、道路法第 42 条に「道路を常時良好な状態に保つように維持し、修繕し、もって一般交通に支障を及ぼさないように努めなければならない」とされているほか、「維持又は修繕に関する技術的基準その他必要な事項は、政令で定める」とされている。しかし、政令は現在まで未制定であり、各管理者がその責任において道路法の趣旨を満たすべく対応しているものと理解できる。

新設に対しては、先に述べたように具備すべき性能を外力条件や材料の許容値等で具体的に定めることで、ある水準以上の性能を有する構造物を実現することは比較的容易である。すなわち、完成した構造物に対してそれが実際に求める性能を具備していることを厳密に証明することは困難であるものの、一定の設計法や許容値等を定め、これらの手法によった場合には必要な性能が満足される構造物が実現しているものとみなすと解釈することで、少なくともある基準に従って同じ程度の性能を有する構造物を確実に実現することは可能である。

一方、一旦供用を開始すると、橋の状態は温度や自動車の通行による影響、材料的な劣化などによって絶えず変化させられることとなる。また、実際の橋では、例えば設計で考慮しない部材にも応力が負担されるなど設計の仮定と実構造物の挙動には少なからず乖離がある。このため、様々な作用等の影響の履歴もある複雑な橋が実際にどの程度の性能を有しているのかを特定することは、その手法も確立されておらず極めて困難である。さらに、橋の性能に係わる部材の劣化や損傷の状態や程度は極めて多岐にわたり、その影響も橋の構造や特性によって千差万別であることから、維持管理段階の橋の性能を特定するために必要な構造物の情報の内容、程度、それらを取得する方法、さらにはそれらの結果の解釈の方法についても、これを一概に定めることは困難である。

このことが、現在までに道路橋に関して法令や技術基準等で維持管理の水準として、

具体的な性能照査の手法や点検手法やその結果の評価方法などを定めることができていない一つの要因であると考えられる。

表-2 に、我が国の道路以外の主な社会資本管理の法等の制度を示す。港湾や鉄道では「点検を実施しなければならない」ことを、空港では管理の適正実施の確認のため国土交通大臣が年2回以内で定期検査すべきことを定めている。建築では、不特定多数が利用する等の特殊建築では有資格者による概ね3年以内の定期調査が法定化されている。

すなわち、定期的な状態の把握やそれらに従事する技術者の資格要件や結果報告義務等を定めることで、維持管理の品質を一定水準以上に確保させようとしているものと理解できる。しかし、点検で得られた結果をどう解釈するのかなど、維持管理段階の構造物そのものの具体的な性能評価の方法までは定められていない。

道路橋の場合には、先に述べたように維持管理段階における橋の性能の評価基準のみならず、点検頻度や従事技術者の資格などについても現在のところ法令等で定められたものではなく、表-3 に示すように、通常は道路管理者（国、都道府県、市町村、高速道路会社等）毎に組織として要領等を定めて点検や評価が行われる。そのため、その実施内容や達成水準、結果に対する対処の考え方などは同じではない。また、前述のとおり市区町村の約8割では定期的な点検が行われていないという調査結果もあり、維持管理レベルには極めて大きな差異が生じているのが実態である。

道路橋でも、米国など海外には点検頻度や従事者の資格、結果評価の方法等の法定化事例はあり、国民が将来まで安心して全国の道路を利用できるためには、管理者の別なく最

表-2 社会資本施設の維持管理に関する法体系

	港湾	鉄道	空港	建築
法	・ 省令で定める技術基準に適合するよう維持すること	・ 建設は、省令で定める技術基準によること	・ 管理は、省令で定める技術基準によること大 ・ 臣が政令による検査を行う	・ 省令で定める技術基準により、資格者による定期調査を行うこと
政令	・ 技術基準対象施設を規定		・ 大臣が行う検査は、毎年2回以内	・ 定期調査対象施設を規定
省令	・ 維持管理計画を定めること ・ 点検、診断を行うこと ・ その他告示で定める	・ 実施基準を定めること ・ 定期検査を行うこと ・ 告示に従うこと	・ 保安上の基準を規定	・ 定期報告は概ね6月から3年の間隔 ・ 有資格者を規定
告示	・ 維持管理計画に定める標準的事項を規定	・ 定期検査の周期を規定（橋梁は2年以内）		

表-3 定期点検の比較²⁾

	直轄国道	高速道路3社	東京都	米国	英国	仏国
点検頻度	5年毎	5年毎	5年毎	2年毎	6年毎	3年毎／6年毎
点検方法	近接目視	近接目視・打音	近接目視	近接目視	近接目視	近接目視
点検範囲	全部材	全部材	全部材	全部材	全部材	全部材
点検者の資格要件	実務経験等	実務経験等	実務経験等	法で規定	交通省基準で規定	3年毎：なし 6年毎：面接合格者
損傷程度の評価	部材の最小要素毎、損傷毎に、5段階	部材の最小要素毎、損傷毎に、5区分と第三者被害の恐れ	部材の最小要素毎、損傷毎に、5段階	部材毎、損傷毎に3段階＋定量値（延長等）	部材毎、損傷毎に、範囲（4段階）、重大度（4段階）、対策（7区分）、優先度（3区分）	部材毎、損傷毎に5区分
健全度の評価	構造上の部材毎、損傷毎に、7区分		径間毎に、5段階	床版、上部構造、下部構造、水路、カルバート毎に、10段階		

低限行われるべき橋の維持管理手法や内容について確立し、それらが確実に実施されるような施策の検討が必要と考えられる。

また、道路橋のように利用者をはじめ一般の国民にとって劣化による機能障害や性能の低下が体感しにくく日常生活の中でそれらを意識することがない社会資本の場合、その性能の維持のための管理行為やそれにかかる費用の必要性やその程度や内容の妥当性について、適正な評価をすることは容易ではない。仮に必要な情報を得ようとしても、先に述べたように、少なくとも道路橋の場合には損傷や劣化の状態に関する情報すら管理者によっては十分に把握されておらず、維持管理状態を理解するための情報も国民にわかりやすい形で示されているとはいえない。例えば、欧米諸国には道路橋はじめ様々な社会資本の状態を点数あるいは数段階にランク付けし、地図上に図示するなどによって結果を公開している例もある。しかし、我が国の道路橋では、緊急輸送道路における耐震補強プログラムの達成状況や達成見込みをホームページで公開するなどの例はあるものの、その取り組みは限定的である。社会資本や地域の安全性などに係わる情報について一般に広く公表することは、指標等の信頼性やそれらの情報がどのように解釈され、また社会経済活動等にどのように影響を及ぼすのかについて不確実な要因もあることなどから、これまで慎重な対応がなされてきたものと考えられる。しかし、近年、災害等に関する各種のハザードマップが作成され公表されてきているように、国民の意識や社会のニーズは時代とともに変化する。道路橋の維持管理に関しても、時代のニーズに合わせて、国民に十分な情報が共有されるような取り組みについて積極的に検討を行っていく必要がある。

4. 3 道路橋の点検体系

橋に限らず構造物の維持管理では、その状態に関する最新の情報を把握することがまず第一に重要であり、点検によってこれが行われる。また、通常、点検には損傷の有無やその程度などの現状に関する客観的事実としてのデータの取得以外に、それらを基にした橋などの対象物の機能状態などの性能や健全性についての一次的な評価を行うことを含める場合が多い（図-6 参照）。

道路橋は、日常的な交通荷重や温度の履歴以外にも、風雨、地震などの自然外力や塩分、二酸化炭素等の作用による劣化、火災等の突発的作用など様々な要因でその状態は変化する。このため、橋の状態を定義するために必要な情報の取得は、着目する事象や構造物の特性に応じた頻度、時期、手段によって行われることが合理的である。

例えば路上の落下物や舗装のはがれ、路面段差の発生などは、絶えることのない交通の走行安全性に係わるためできるだけ高頻度に把握して速やかに取り除くなどの対処が行われるべきである。一方、環境作用の影響で徐々に進行する塗装の劣化などは、

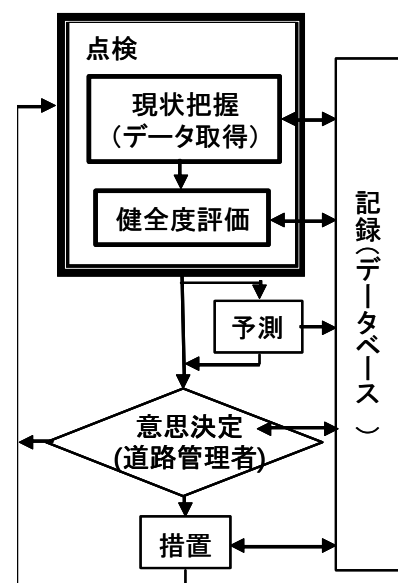


図-6 維持・管理のフロー

その変化速度は遅く数年に一度の把握でも十分である。また、地震等の事前に予測することが困難で突発的な作用に起因する変状に対しては、固定的な頻度での点検ではなく事由の発生後できるだけ速やかに点検を行い、供用性の判断や復旧方法の検討に必要な情報を得ることが求められる。さらに、コンクリート内部への塩分浸透の程度や、鋼部材の塗膜下などに発生する疲労き裂の発見、水中部で進行する洗掘など通常の外観目視だけでは検出が困難な事象に対しては、専門的知識のある技術者による非破壊検査技術などを駆使した点検を別途行うことも必要である。

表-4 に直轄道路橋に対する現在の点検体系を、表-5 に米国道路橋の点検体系を示す。両者とも損傷状況や機能状態を主として目視によって網羅的に調査する定期点検を核として、疲労等の特定事象に着目した点検、地震等発災時点検、洗掘など特定条件に対応した点検など、複数の点検体系を同じ橋に対して組み合わせて実施している。

日本と比較して米国の特徴の一つは、特定の部材の損傷が橋全体に深刻な悪影響を及ぼすような場合には、その橋梁を「Fracture Critical Bridge」として一般の橋と区別し、特別な詳細点検を実施することを義務付けていることが挙げられる。例えば、平成19年にミネソタ州で突如崩壊した鋼上路トラス橋は、橋全体が極めて短時間に全て崩落してしまうという破壊形態を呈した。この橋がまさに「Fracture Critical Bridge」であった。複雑に部材が組み合わされた道路橋にあつては、人為的、計画的に破壊されたのであれば多数の部材が同時に破壊することは考え難く、その構造的特徴によっては一部の部材の破壊によって橋全体が一瞬にして崩壊し得ることが証明された事故であつた可能性はある。そして、そのような橋梁について特に重点的に詳細な点検を課すという考え方には一定の合理性もあるものと考えられ、構造の特徴や着目する事象などの条件に応じて点検手法や内容を差別化する考え方は、点検の合理化・高度化の面から参考となる。

表-4 直轄道路橋の点検体系⁷⁾

通常点検	通常点検とは、損傷の早期発見を図るために、道路の通常巡回として実施するもので、道路パトロールカー内からの目視を主体とした点検をいう。
定期点検	定期点検とは、橋梁の損傷状況を把握し損傷の判定を行うために、頻度を定めて定期的の実施するもので、近接目視を基本としながら目的に応じて必要な点検機械・器具を用いて実施する詳細な点検をいう。
中間点検	中間点検とは、定期点検を補うために、定期点検の中間年に実施するもので、既設の点検設備や路上・路下からの目視を基本とした点検をいう。
特定点検	特定点検とは、塩害等の特定の事象を対象に、予め頻度を定めて実施する点検をいう。
異常時点検	異常時点検とは、地震、台風、集中豪雨、豪雪等の災害や大きな事故が発生した場合、橋梁に予期していなかった異常が発見された場合などに行う点検をいう。
詳細調査	詳細調査とは、補修等の必要性の判定や補修等の方法を決定するに際して、損傷原因や損傷の程度をより詳細に把握するために実施する調査をいう。
追跡調査	追跡調査とは、詳細調査などにより把握した損傷に対してその進行状況を把握するために、損傷に応じて頻度を定めて継続的に実施する調査をいう。

なお、米国では点検従事者に対する法的資格制度があり、点検品質の確保が図られている。先に述べたように、橋に近接して詳細な状態を把握する点検の中で、単に損傷の有無などのデータ取得が行われるだけでなく一次的な性能評価などの診断行為まで行われることを考えると、我が国においても点検に従事する技術者で、特に診断に関与する者に対して資格要件を定めるなど、点検の品質確保策を講じることについても検討の余地があるものと考えられる。

点検で把握される損傷や劣化などの客観的事実としてのデータは、損傷の原因推定や現在の性能評価に不可欠である以外に、継続的に把握することで将来予測や傾向分析等にも活用される。統計処理や定量的予測に用いるには、点検者の主観などに左右されず、経年的にも相対比較が可能な統一的基準に基づく客観的データであることも重要となる。

一方、橋の機能状態などの一次診断は、必ずしも全ての橋の状態を実際に確認することも、損傷等の事実関係から橋の性能への影響を適切に判断するだけの専門的な技術力をもたない管理者にとっては、通行規制や補修・補強等の措置に関する適切な意思決定を行うための行動を起こすために極めて重要な意味を持つ。すなわち、個々の損傷の種類や進行程度などの事実以外に、損傷が橋の機能状態に及ぼしている影響やそれを踏まえて実施すべき対応の考え方に関わる所見を得てはじめて、管理者はさらなる詳細調査を行うなどの対応をとることが可能となるのであり、一次診断で問題がないとされた場合、必ずしも専門的知見を有さない管理者にとって、その結果に疑いを持つことは極めて困難である。

例えば、鋼部材の疲労き裂は発見時には小さくとも部位によっては急速に進展して橋が危険な状態になることもある。このように多岐にわたる道路橋の劣化損傷とその影響に対して適正な対策等の措置がなされるには、専門的知見を有する技術者が適切な一次診断を

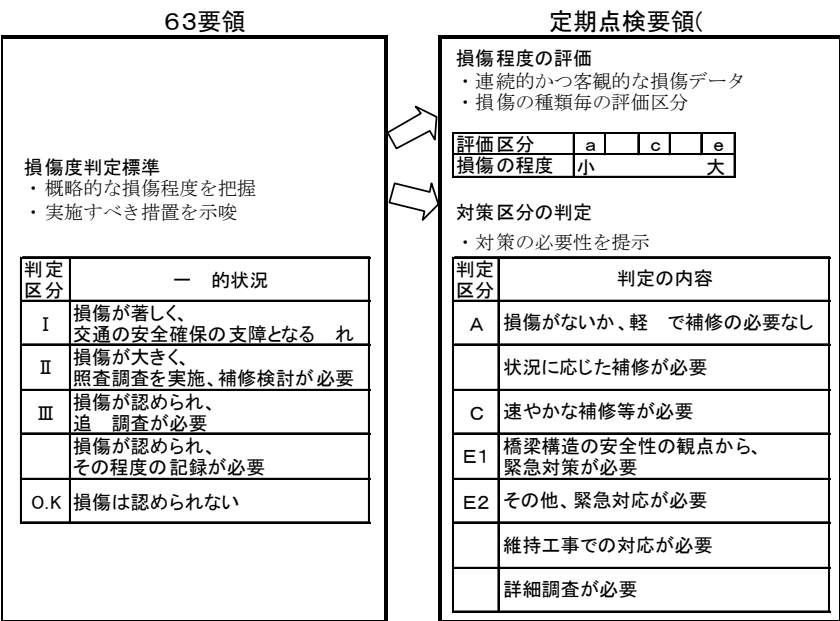
表-5 米国道路橋の点検体系²⁾

点検の種類	点検内容
初期点検 Initial (Inventory) Inspection	橋梁に関する最初の点検であり、全ての構造台帳と評価 (Structure Inventory & Appraisal) データ及びその他の関係データを提供するとともに、基本の構造状態を確認するための橋梁ファイルの一部となる。
定期点検 Routine (Periodic) Inspection	定期的に予定された点検であり、橋梁の物理的及び機能的状態を判断するとともに、初期の状態又は以前に記録された状態からの変化を確認し、構造物が目下の供用要件を引き続き満たしていることを保証するのに必要な観察と測定から成る。 (通常、24月を超えない間隔での点検が必要)
水面下点検 Underwater Inspection	水面下にあり、目視での点検ができず、一般的に潜水やその他の方法が必要な橋梁構造物及び周辺水路の水面下部分の点検。 (通常、60月を超えない間隔での点検が必要とされており、定期点検の一種)
破壊危険部材点検 Fracture Critical Member Inspection	破損危険部材の近接点検であり、目視点検又は非破壊検査を含む。 (24月を超えない間隔での点検が必要とされており、定期点検の一種)
損傷点検 Damage Inspection	環境要因や人的行為による構造的損傷を評価する予定外の点検。
詳細点検 In-Depth Inspection	水面下又は水面上の部材のクローズアップ点検であり、定期点検の方法では検知が困難な欠陥を確認するためのもの。場所により、近接点検が必要な場合もある。
特別点検 Special (Interim) Inspection	橋梁管理者の裁量で予定される点検であり、ある種の判明した欠陥や疑われる欠陥をモニターするために行われる。

行い管理者にどのような対応をすべきかについて適切な提案を行うことが不可欠かつ極めて重要である。このような考え方から、国土交通省道路局が直轄道路橋に対する現在の定期点検要領を策定するに際して、国総研では既往の点検結果とその活用に関する課題などの分析を行い、損傷の大きさなどの客観的事実を「損傷程度の評価」として記録すると同時に、適当な技術者によって橋や構造の機能状態に関する一次的診断として「対策区分の判定」の評価を行うべきことを、さらにその評価体系は既往の点検データが無駄にならないよう新旧対応がとれることに配慮すべきことを提案した。図-7 に評価体系の改訂内容を示す。これにより、現在、直轄道路橋については、昭和 63 年の旧要領にもとづく点検データを新たに定めた新点検要領の評価体系に置き換えたデータと、平成 16 年度から新点検要領に基づいて取得されつつあるデータが、比較・分析可能な形でデータベースに蓄積されつつある。

点検データの取得単位については、今後点検の合理化の検討等に用いる基礎データともなるため、現在のところできるだけ細分化したものとなっている。すなわち、客観的事実としての損傷の程度についてのデータは、原則全部材を対象とし、一つの部材をその構造に応じて更に細分化した小さな要素単位で評価している。一方、健全性などの一次評価である対策区分の判定は、部材や橋の機能等の状態を評価する性質上、部材単位以上に細分化することは適切でない。一方、複数の部材を組み合わせた大きな構造単位や橋全体の機能状態を外観目視に頼る定期点検で得られている情報だけから総括することは、信頼性の点で問題があることが既往の点検結果の再評価によって明らかであった。そのための機能状態等の性能との関わりにおける対策等についての定性的評価による管理者への助言としての対策区分の判定では、主桁や橋脚といった部材単位での評価を行うことを基本とした。

点検に関する他機関の評価方法の例を表-3 に示した。直轄道路橋と同様に、損傷状況以外に橋の機能等の観点からの評価は東京都や米国など内外の機関で例がある。ただし、直轄道路橋のような技術者の知見に基づく総合的・定性的な評価ではなく、損傷等のデー



タを数値化して一定のルールで算出する点数で健全度評価点を付ける例であるなど、橋の総合的な性能や機能状態を評価できる方法は確立していない。また、多くの地方公共団体等で、直轄道路橋の旧要領と同様に損傷程度の評価と機能や性能の観点からの評価が混在した定義で一本化された評価を行っている事例も多い。現時点ではデータも少なく各機関の評価方法の優劣は一概に言えないものの、構造的特徴や架橋環境、外力履歴など様々な条件で異なる個々の既設橋の機能状態や性能を定形のマニュアル等で機械的に診断することは、評価の信頼性の面では懸念がある。国総研では現在も点検結果の分析を継続的に行っており、今後も引き続き評価方法の改善を図っていく予定である。

以上のように、点検の中でも診断の性格を持つ部分は、その品質が従事技術者の質に大きく依存することとなる。海外では米国のように点検技術者の資格要件を法等で定める例もあるものの、診断に必要となる道路橋の設計・施工から各種材料、劣化現象、検査技術などの広範な知識と経験を的確に規定することは容易ではない。維持管理に関する諸制度の検討や基準化の際には、点検内容や方法のみならずその品質に支配的影響を及ぼす従事技術者に求めるべき要件や条件についても明確にして適切な形で反映しなければ、維持管理の品質が保証されないことにもなりかねないことを念頭におく必要がある。また、近接目視を主体とする点検結果のみからの判断には自ずと限界もある。これらを補完する方策、例えば非破壊検査の活用や事象によってはより高度な専門技術者による技術支援を組み合わせて行うなども検討する必要があるものと考えられる。

直轄道路橋では平成 16 年に定期点検要領を見直した際に、先述のように定期点検における評価体系を 2 分化した以外にもいくつかの変更が行われている。

第一は、初回点検の導入である。これは、既往点検結果などから、いわゆる施工品質に起因する塗膜のふくれやはがれなどの不具合、導排水経路や防水措置の不備による漏水や滞水、コンクリート部材の初期ひび割れなど、実際の架橋条件で数年供用した段階で現れる変状の多くは、早期に対策することで容易に是正でき、ライフサイクルコストの低減に効果が大きいことを考慮したものである。これは、より早期に対策を講じることで長寿命化とライフサイクルコストの低減を実現する維持管理方法である一種の予防保全でもある。なお、初回点検結果は、設計・施工の記録とともに供用期間中の補修や補強などの様々な維持管理行為の際に、当該橋の初期値としても重要な意味を持つことが多い。

第二は、点検頻度を 10 年毎から 5 年毎へと倍増した。これも、既往の点検結果や事故・不具合等の調査を参考に決定したものである。我が国における道路橋の劣化に関するデータが十分でなかった時には、10 年に一度の定期点検でも適切な維持管理が可能と考えていた。しかし、データは限られていたものの、補修後に再劣化を生じた実績、疲労や塩害など経年で変化する劣化や損傷の進行度に関する知見からは、より短い間隔での定期点検が不可欠であると考えられた。ただし、米国では 2 年に一度を定期点検の基本としているなど、最適な点検頻度については現在も定説はない。橋の安全性等の性能の確保とライフサイクルコストの低減のためのより早期の変状把握には頻度は多いほど良いものの、橋の各部に近接することが求められる詳細な定期点検に要する費用負担も大きくなる。表-3 に国内外橋の点検頻度を示した。現在、平成 16 年度から始まった新点検要領に基づ

く点検が概ね一巡しつつあるところであり、今後これらのデータを詳細に分析し、点検頻度を最適化するための検討を実施していく予定である。

定期点検の手法は、基本的に近接目視によって全部材を対象に一般的な損傷種別のすべてに着目して評価する方法が踏襲された。これは、過去の重大な損傷事例等から、橋の構造安全性確保、第三者被害の予防、損傷兆候の早期発見による予防保全の実現の観点において、局部的に生じる損傷の発見、部位等によって極端に速く進展する重大損傷の進行の的確な把握には、このような点検手法に依ることが現時点では経済性を考慮しても最も合理的かつ不可欠と判断した結果である。すなわち、人材的・財政的制約を考慮すると、遠望目視の併用や非破壊検査手法など高度点検技術の導入についても検討すべき余地はあるものの、鋼部材のき裂や腐食による断面欠損など橋の安全性に致命的な影響を及ぼす深刻な損傷の中には遠望では確認困難なものも多く、これらを見落とす危険をカバーする合理的な手法が現在のところ確立していないためである。現在国総研では、これまで得られている点検データや損傷の記録から、橋の形式や構造特性、適用基準、材料、架橋条件など様々な条件について損傷発生や進行との傾向の分析を進めており、点検品質確保と負担軽減が両立できる点検体系の確立に向けた検討を行っていく予定である。

4. 4 道路橋の管理状態の評価

点検で得られる情報は、当該橋の現状を把握して対策の必要性などの意思決定に用いられるだけでなく、劣化傾向の分析等を行って将来の維持管理の合理化の検討に用いたり、劣化予測などによる将来の維持管理計画の策定にも用いられる。

しかし、このような様々な評価が行われた結果として補修や補強の対策や通行制限などの交通管理が行われる橋の状態について、それらの利用者や一般の国民に理解しやすい形で示されているとはいえず、点検、補修・補強などの維持管理行為の必要性や重要性が適切に理解されているかは明確でない。

そのため国総研では、定期点検のデータを用いて橋の管理状態を示すものとして、その現有性能を理解しやすい形で評価する手法について開発を進めてきた^{10)、11)}。

指標化の対象となる道路橋の要求性能としては、全ての道路橋に該当し、かつ供用性や安全性の観点から不可欠と考えられる耐荷性（重量車両の通行に対する信頼性）、災害抵抗性（災害時に所要の機能・性能が発揮されることの信頼性）、走行安全性（日常的な安全・快適な車両走行に対する信頼性）の3つを設定した。また、多数の部材が複雑に構成された道路橋の状態を、部材単位毎のデータを基に機械的に定量化する指標ではその精度に限界がある。したがって、定量的な計算値を「補修等の必要性のない程度の健全状態」

「早期に補修する必要性が高いと考えられる状態」「所要の性能を満足していない可能性が高い状態」の3つに区分し、どの区分に該当するのかの適合度を指標のアウトプットとしてできるだけ精度が確保されるよう優先することとした。

それぞれの指標値は、その性能に関連する部材の点検結果に基づく損傷度と、性能への影響度に応じた重み係数で計算される。同種同機能の部材が複数ある場合には、それらの重要性や橋梁全体の性能に与える影響に応じて最悪値や平均値が用いられる。

図-8 に、指標値の試算結果の例を示す。健全度の喪失程度が着目する機能毎（図では耐荷性と災害抵抗性）に異なる評価となることがわかる。また、指標値算出過程をたどることで具体的にどの部材のどのような損傷状態がその評価の原因となっているのか容易に知ることができ、機械的な定量化による判定の限界を個々に確認して適正に評価し直すことを可能としている。

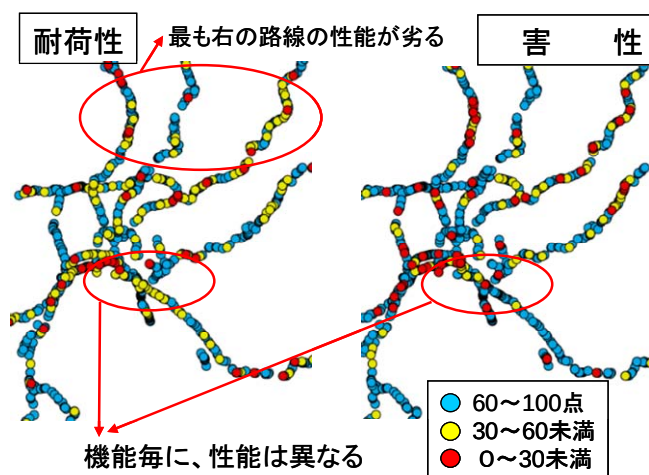


図-8 指標値の試算結果

引き続き、実際のデータによる算出事例を増やしながら、精度の検証と実用化に向けた検討を行っていく予定である。

道路橋が道路網の一部を担うものであることから、道路橋の機能状態はそれが位置する道路網の性能にも強く関わっている。また、道路網としての性能を合理的に管理する視点からは、橋梁だけを対象とするのではなく、将来的にはトンネル、舗装、土工などの道路網の性能に係わる様々な道路構造物について共通の観点で評価を行い、道路網の性能確保のためにどの構造物の対策を優先すべきかなどの検討が行われることが合理的である。

そのため、橋梁に加えて、ある範囲の道路構造物群全体を評価して構造物種を越えて対策の優先度を決定する等の道路網に着目した合理的な管理手法の構築に向けた検討を進めている（表-6、図-9 参照）。ここでは橋梁の総合指標を発展させ、

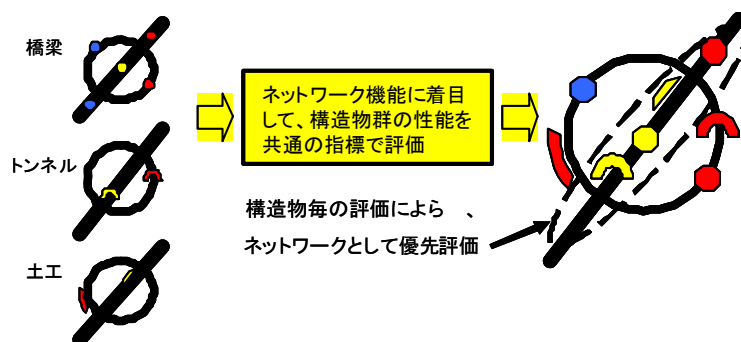


図-9 道路構造物群の指標化（イメージ）

表-6 道路構造物群の共通指標の設定

	耐荷性	走行安全性		害 性		
	荷重制限	突発的事故	路面状態	地震	雨	
	早期に荷重制限や通行止めにする 程度	突発的な事故等が生じる 程度	安全かつ 適 かな 走行が される 程度	地震時や 雨時に所定のネットワーク機能が 発 生 される 程度	突 により自動車 が横転する 危険性の 程度	
橋梁	・主桁 ・床版 の 損傷や 材料劣化	・床版の け ち	・ 差（ 縮装 置）の 状 況	・下部工の傾 斜 ・支 の 損 傷 ・ 橋	—	—
トンネル	—	・覆工コンクリ ート片の 下 ・覆工の	—	・覆工の 損 傷	—	—
舗装	—	・路面陥没	・わ ち ・ 水 の 状 況	—	—	—
土工	—	・ ぎ石の 下 ・路 壊 ・対策工の 損 傷	—	・対策工の 損 傷 ・ 差の 発 生	・対策工の 損 傷 ・のり面の 壊	—

構造物群を同一の視点で評価することで、例えば災害抵抗性に劣る路線が浮き彫りになり、その路線の中でも対策を優先すべき構造物が明確になるなど、個別最適から全体最適への管理につながる手法の構築を目指しているところである。

さらに、地方公共団体等管理の構造物群にも同じ視点の評価を行うことで、管理主体にとらわれることのない道路網としての全体最適管理に繋がるものと考えている。このためには、管理者を越えて様々なデータが様々な主体に活用されることを含め、全国的に統一された橋梁データベースの構築が必要であると考えられる。

4. 5 維持・管理の高度化に向けた技術開発

4. 5. 1 技術開発分野と技術開発ニーズの提示

維持管理の合理化に資する技術開発は急務であり、産学官が適切に役割分担しつつ戦略的・計画的に進めていくことが重要である。

図-10 は、維持管理の合理化のために必要と考えられる様々な技術開発分野を維持管理の改善の観点からの取り組むべき課題に関連づけて体系的に整理することを試みたものである。図の左側の領域は、例えば構造物内部の欠陥検知など、点検や診断の信頼性の向上のために必要な技術開発領域である。一方右側は、例えば点検手法の機械化や自動化による省力化やモニタリングによる速やかな異常検知など、点検の効率化・最適化に必要な技術開発領域である。また、左右の領域のそれぞれ上側の領域は、現在の維持管理体制の改善として導入が可能なもの、下側の領域は、維持管理の人員配置など体系そのものの改革を伴うものとなっている。このように整理することで、開発目標を見失うことなく、過不足なく効率的に新たな技術開発や既存技術の応用が図られやすくなるものと考えている。

さらに、これらの技術開発に産官学のそれぞれあるいは連携によっていかに合理的に取り組むことができるかが、早期に有効な成果が得られるためには重要な鍵である。例え

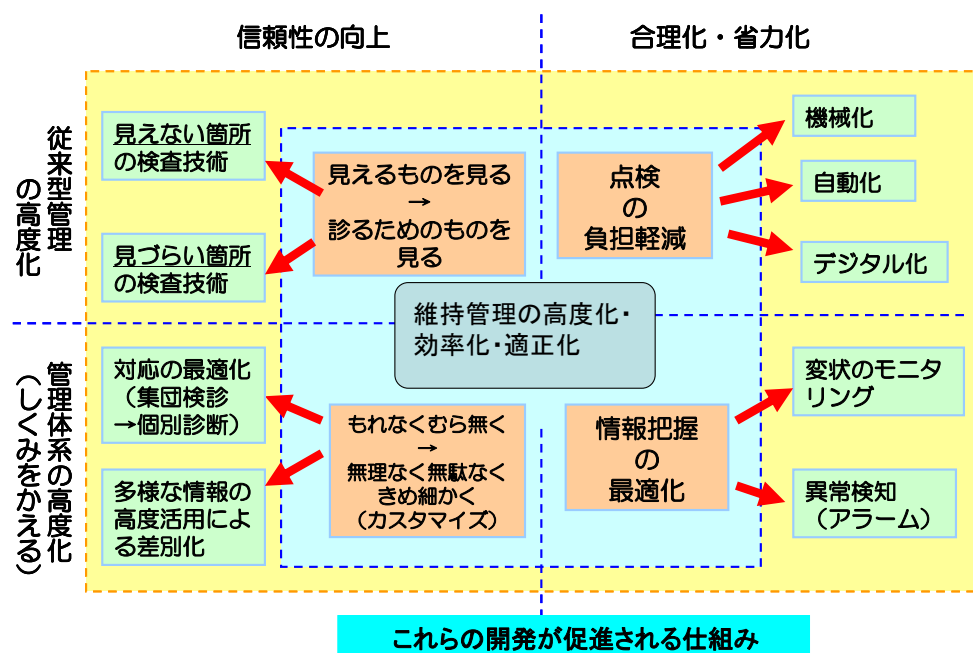


図-10 維持管理の高度化・効率化・適正化に向けて

ば、構造物の内部等目視での点検が不可能な部位の点検を行うために必要な非破壊検査手法の開発や活用において、多くの場合、非破壊検査による調査結果の評価方法、診断のため機器に求められる精度が不明のため、合理的な機器の開発や適用の促進・普及に結びついていない。維持管理では、緊急対応から監視、詳細検査、補修・補強の実施と、段階的に対策が行えることから、点検や検査の技術には次の段階へのスクリーニングや異常の有無のみの検出など、実際の対応との関連付けで過不足のない精度や特性があれば活用の余地がある。このため、点検の高度化に資する技術の開発目標となる要求レベルの設定について検討を進めている。

また、民間が技術開発を行うには、要求レベルに加えて市場規模等、開発リスクが判断できる材料を提供することが不可欠であると考えられる。要求性能を明確にし、開発主体を想定した上で、技術開発が効率的、効果的に進むよう実施体制の整備や民間等への支援制度の充実の検討が必要である（図-11 参照）。

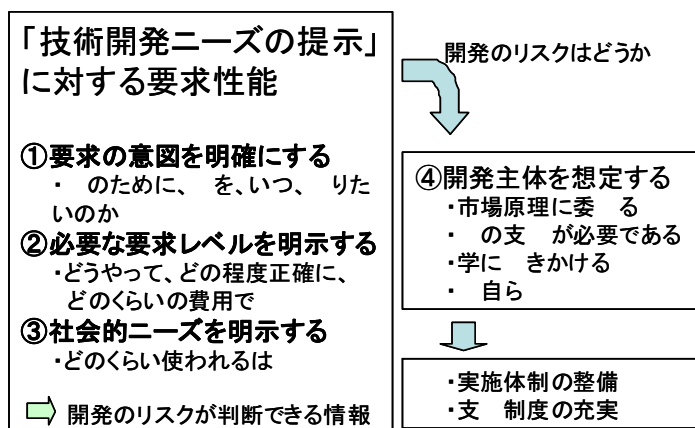


図-11 技術開発ニーズの提示に対する要求性能

4. 5. 2 非破壊検査技術の開発

(1) PC緊張力の状態

PC 橋では、PC 鋼材の劣化や不適切な施工等の様々な原因で、導入されるプレストレスが設計と乖離する可能性が考えられる。しかも、目視によってひびわれを発見したとしても、それらから橋の健全性を判定することは困難が予想される。特に軽微な段階では健全性の適正な評価は困難であり、大規模補修の必要性や落橋の危険性が危惧されるような深刻な事態に至るまで健全性の程度が認識されないまま供用が続けられることも危惧される。この問題は特に目新しいことではなく過去より当然理解されてきたことではあるものの、これまでこの課題を解決できる有効な検査手法や評価技術は確立されていない。

支間長 20～45m のポストテンション形式のT桁橋の試算では、一般的な道路橋では 20～40%までプレストレスが低下すると自動車荷重によって有害なひびわれが発生するおそれが高まるものの、それより少ない低下では大きな性能の低下はないとみなせる（図-12 参照）。この場合、点検では 20%を越えるようなプレストレス低下の有無のみが判断できれば必ずしも精度よく低下量を計測できる技術は必要なく、異常が疑われたものに対して次のステップとして個別に詳細な調

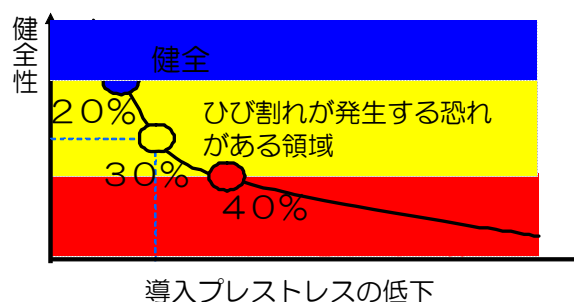


図-12 プレストレス低下による健全度への影響

査が行われればよく、これが要求レベルとなる。

国総研では、このための非破壊検査手法を、現状の技術水準で汎用性のある弾性波法（超音波，衝撃弾性波）に着目して実験的に検討している。¹²⁾

鋼球打撃による入力波を異なる2点で受信し、衝撃弾性波伝搬速度を測定した。計測結果を図-13に示す。桁高方向に採取したデータから、桁の下縁に近づくにつれて弾性波伝搬速度が大きくなる傾向があり、プレストレス状態の相違が反映しているものと考えられた。コンクリートウェブを貫通する方向に透過する超音波の伝搬速度を測定した例を、図-14に示す。桁高方向に超音波伝搬速度の相違が見られ、プレストレス状態の相違が超音波伝搬速度に有意な差を生じさせたものと考えられた。

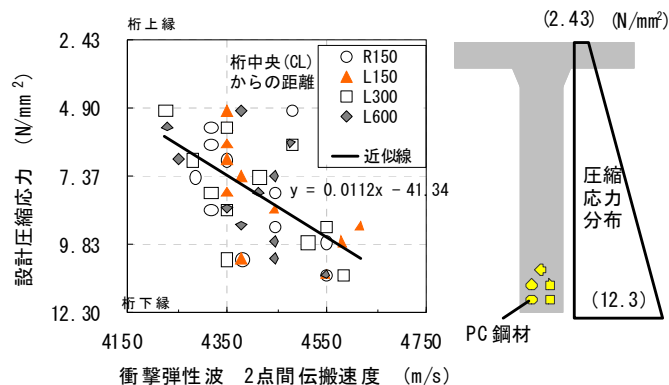


図-13 2点間伝搬速度(衝撃弾性波)

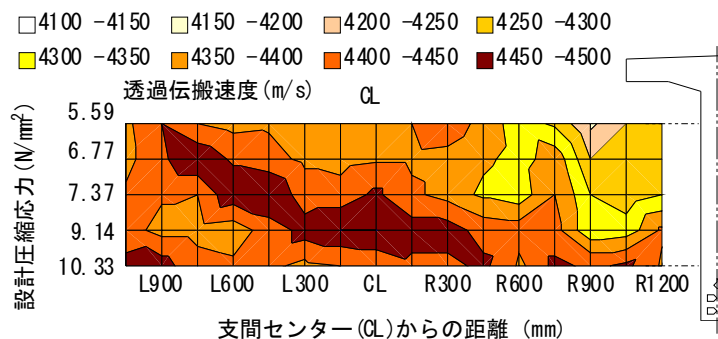


図-14 超音波伝搬速度分布

これは、これまで道路橋の桁部材のプレストレス状態を計測することは精度や信頼性の点で困難と考えられていた非破壊検査技術に対して、応力度の絶対値を精度よく評価できる必要はなく、平面的な応力状態の相対関係さえわかればよいという維持管理ニーズを示すことで、既存の検査技術を応用した現有性能評価手法が確立できる可能性が高いことが見い出された例である。本手法については、現在も引き続き、実務への反映を目指して検討を継続している。

(2) 床版の劣化状態

道路局に設置された新道路技術会議の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」制度を活用し、大阪大学大学院 鎌田 敏郎教授を研究代表者とする研究グループに、「各種道路橋床版における疲労損傷の非破壊検査システムに関する研究開発」を委託研究している¹³⁾。

R C床版において最も点検が困難な水平ひび割れの検出のため、各種弾性波法（インパクトエコー法、EMH (Electro Magnetic Hammer) 法、超音波法）の適用性を比較評価した。弾性波の入力及び受振の条件が水平ひび割れの検出精度に与える影響を把握するとともに、弾性波指標と水平ひび割れ深さ・大きさの定量的関係を調査した。また、舗装部や増厚部が欠陥検出に与える影響についても確認した。その結果、弾性波法毎に表-7 のよ

うな適用範囲があることが明らかとなった。

鋼床版におけるき裂を遠隔から非破壊で検出するため、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法の適用性を検討した。疲労き裂の先端で顕著な応力集中部を示すコントラスト変化とその時系列変動から、輪荷重負荷による応力変動波形を得ることができることがわかった（図-15）。また、橋梁に塗装が施されている状態であっても対象部分を直接視界に捉えることができれば、亀裂の検出、モニタリングは可能であると確認できた。

この例は、膨大な延長となる鋼床版の溶接部のき裂の検出について、これまでのき裂を直接視認したり超音波探傷手法によって形や位置の情報として把握するというのではなく、き裂に付随する応力集中の発生という異なる現象に着目することで、非接触で広範囲を効率的に検査できる可能性を示したものである。すなわち、維持管理ニーズとして、き裂の長さや形をいきなり正確に検知する必要はなく、き裂発生（に伴う現象）の有無だけをまずは効率的に検知できることが最優先の要請であることを示すことで、他分野で開発されてきた技術の応用が図られた例といえる。なお、本技術を含む各種床版の損傷の検知手法について、点検手法として実用化すべく研究を継続しているところである。

表-7 計測手法の適用範囲¹³⁾

欠陥深さ (mm)	インパクト エコー法	EMH 法	超音波法
50	△	○	○
80	△	○	○
100	△	○	○
130	○	○	△
200	○	△	×
250	○	△	×

○：既往の方法で検出可能、×：検出困難
△：適用可能となる可能性あり

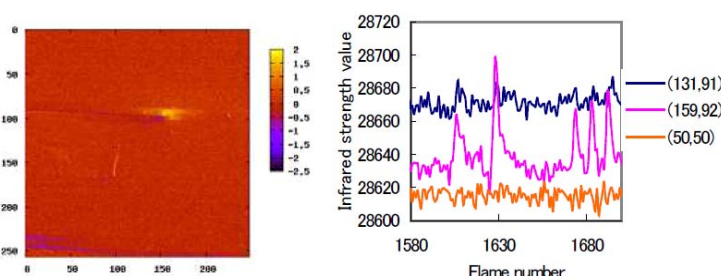


図-15¹³⁾

自己相関ロックイン処理 応力変動波形の計測結果
(値は赤外線強度)

5. 地方公共団体への支援

5. 1 長寿命化修繕計画策定事業費補助制度

国土交通省では、地方公共団体の道路橋を対象として、ライフサイクルコストの低減に資する予防保全などの計画的維持管理が実施されるよう、橋の状態の把握とその結果に基づく合理的で中期的な維持管理計画である長寿命化修繕計画の策定に対する補助制度を過年度より実施している。

これは、多くの橋では深刻な劣化状態に至る前に予防保全的な措置が行われることで、長寿命化され、結果的にライフサイクルコストが縮減される効果が大きいことから、地方公共団体に対してもライフサイクルコストを考慮した中長期の補修・補強あるいは更新などの維持管理計画を立てることを奨励することで、結果的に国全体として道路網をより経

済的かつ確実に良好な状態に維持できるようになると判断したものといえる。

5. 2 基礎データ収集要領(案)¹⁴⁾

本制度の導入にあたって、これまで十分な定期点検が行われてこなかった地方公共団体では、長寿命化修繕計画を検討するために必要な橋のデータを短期間に収集することに困難が予想された。このため、本制度の導入にあわせて国総研では、これまで得られている直轄道路橋の定期点検のデータから橋の劣化傾向や損傷パターン等の分析を行い、その結果を根拠にできるだけ経済的に橋の状態の概略を把握する手法を検討し、基礎データ収集要領(案)を提案した。

ここでは、点検データの分析結果と基礎データ収集要領(案)の概略について紹介する。

分析結果の代表例を図-16～-18に示す。

図-16 から、鋼桁の腐食は桁端部で先行して進行する傾向が見られる。狭隘部である桁端部は湿気がこもるだけでなく、伸縮装置部など上部構造からの漏水の影響、支承部の滞水や塵埃の堆積などにより腐食環境に劣る場合が多いことが原因と考えられる。

RC床版では、床版の機能に影響を及ぼすひびわれが疲労によって進行する場合が多い。特に路面段差等により自動車荷重の動的影響が大きくなる桁端部付近では劣化が進行しやすいと考えられた。図-17に示すように、平面区分別の分析結果でも端部で損傷程度が相対的に悪くなる傾向が見られた。このことから、床版では、端部のみ増厚したり配筋量が多くなっていることも考慮し、桁端部の2パネル程度までを当該車線方向の代表値として評価することが合理的であるとされる。なお、張出床版部については橋軸方向に分割せず全てのデータを1つに集約している。

RC床版の漏水・遊離石灰についても、ひびわれ同様に端支点部で損傷が多い傾向が見られた(図-18)。床版からの漏水や遊離石灰の析出

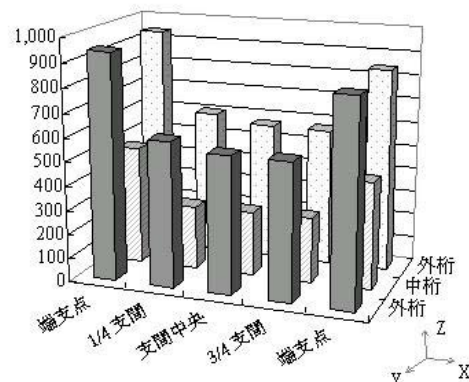


図-16 腐食の部位別損傷点数
(566 径間)

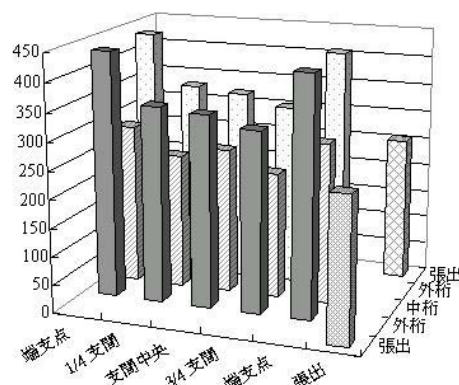


図-17 床版ひびわれの部位別損傷点数
(473 径間)

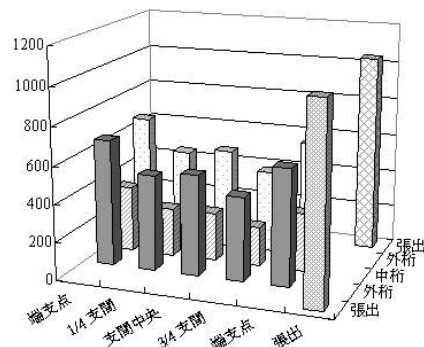


図-18 漏水・遊離石灰の部位別損傷点数
(480 径間)

は床版コンクリートの劣化が内部で進行している危険性があり、損傷の卓越するパターンがひびわれと類似していることから、ひびわれ同様に桁端部から2パネル程度について着目して評価するのが合理的であると考えられる。

表-8 端部が健全で、かつ端部以外に損傷が発生していた割合（リスク率）

	腐食	床版ひびわれ	漏水・遊離石灰
外桁	4.77%	3.81%	7.92%
中桁	2.30%	2.96%	4.79%
全体	7.07%	5.50%	11.88%

既往の点検結果を分析した結果、従来から経験的に損傷が出やすいと考えられていた位置で、損傷発生率が高いなど特徴的な損傷パターンが設定できるものがあることが実証できた。

表-8 は、端部のみ損傷の評価を実施した場合に、損傷を見逃してしまう確率（リスク率）を示したものである。このような分析結果を活用すると、橋の状態を評価する場合に、必ずしも全ての部材・部位で詳細なデータが無くても、桁端部の損傷データを当該桁の代表値として評価すれば、リスクの増加を抑えつつ少ないデータで効率的に評価が行えると考えられる。

以上の分析も踏まえ、著しい劣化の有無など道路橋の健全度に着目して調査時点の概略状況をできるだけ簡易に把握することのできる方法の検討を行った。まず、点検結果等から得られた道路橋の劣化傾向をもとに、一般的な構造形成の道路橋に対して主たる部材の損傷発生頻度が高い箇所や劣化が先行的に進行する箇所を抽出し、次にそれらを優先的に調査することでリスクは抑えつつ危険な状態の橋梁を効率的に見つけることを意図した着目部位・部材の選定を行った。その結果、橋梁の状態を概略的に把握するために最低限必要なデータの収集方法として、以下の提案を行った。

①目視によることを基本とする。

②桁端部や支承部及びその近傍の部材は、直近の橋台や橋脚からできるだけ近接して調査する。

③近接が困難な調査箇所等は、遠望目視と周辺の部材等の状況から推定する。

手法の概要を表-9 に示す。本手法（基礎データ収集要領(案)）は、近接しない部材があることからデータでも示したように、全ての部材に近接する直轄道路橋の定期点検などに比して変状を見落とす可能性も大きく、また、点検のもう一つの大きな役割である健全性等の評価（一次診断。図-7 で示した対策区分の判定に相当）についても触れていない。そのため、これ単独ではいわゆる点検要領の要件を満たしていない。

これまで内外で用いられている道路橋の点検要領について、その妥当性を示す根拠データやそれによる場合に変状等を見落とすリスクなどが明示された例はない。しかし、データ分析結果によると、橋の損傷傾向は極めて多岐にわたっており特異な劣化パターンを呈する橋も少なくない。このため、点検で着目する部位や項目が異なれば、損傷を見落とす確率や一次診断の信頼性も同じになるとはいえない。今後は、引き続き点検データの分析と橋の劣化特性に関する調査を進め、直轄道路橋の定期点検要領の合理化・

表-9 手法の概要

定期点検要領(案)	基礎データ 集要領(案)
26損傷×5 評価 =130区分	12損傷×2~5 評価 =33区分(25%)
橋梁全体	腐食・桁端部 等
近接目視	下部工： 目視 等
損傷程度の評価	5割以上の削減
対策区分の判定	対象外

最適化の方法を検討する一方で、このような明確な根拠に基づいて法制度等で管理者によらず普遍的に課すことができる点検の内容やその表現の方法についても検討していきたいと考えている。

6. まとめ

我が国の道路橋の維持管理の現状と課題を、直轄道路橋の点検体系を紹介して考察した。社会資本の量の増大と高齢化が進む中、道路構造物群をそれが存する道路ネットワークの機能の観点から良好に保全される体系の構築は急務である。

すなわち、一つの路線にあっては、構造物の種類に拘わらず一定の性能が確保された状態で、かつ、路線としてのライフサイクルコストを最小とする管理である。公共投資の効率化が叫ばれ選択と集中が議論される中、構造物を意識することなく路線の性能の観点から、さらには道路ネットワークとしての全体最適の観点から維持管理計画を策定することが、今後ますます重要となってくる。これを説明性のある指標等で表し、合理的に優先度が付けられる手法の開発が重要課題である。

また、維持管理の根幹となる点検の合理化・最適化は、維持管理行為の費用対効果を高め、トータルコストの低減を図る上でも重要な基本課題である。

これらに対する国総研の取組状況を紹介した。今後も、これら課題の解決に向けた研究に積極的に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議：道路橋の予防保全に向けた提言、2008. 5
- 2) 国土交通省道路局HP：道路橋の予防保全に向けた有識者会議（第1回）（第2回）資料、参考資料
- 3) 土木研究所資料第2723号：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅰ）、1989. 1
- 4) 土木研究所資料第2864号：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅱ）、1990. 3
- 5) 土木研究所資料第3512号：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅲ）、1997. 10
- 6) 国総研資料第444号：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅳ）、2008. 4
- 7) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案）、2004. 3
- 8) 土木研究所資料第2651号：橋梁点検要領（案）、1988. 7
- 9) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領（案）、2004. 3
- 10) 玉越隆史・小林寛・武田達也・平塚慶達：道路橋の維持管理に関する指標開発の取り組み、土木技術資料、pp. 66～71、2007. 2
- 11) 道路橋の計画的管理に向けて一総合評価指標の開発と点検データ分析から見た損傷の特徴一、建設物価、2007. 12
- 12) 春田健作、川間重一、高橋晃浩、玉越隆史、山影秀幸：実大PC道路橋のプレストレス状態に着目した弾性波の伝搬特性、土木学会第63回年次学術講演会、5-153、2008. 9
- 13) 国土交通省道路局HP：道路政策の技術研究開発、平成18、19年度中間評価結果、研究状況報告書
- 14) 国総研資料第381号：道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究一道路橋に関する基礎データ収集要領（案）一、2007. 4