

◆ 特集：戦略的な道路構造物マネジメント ◆

道路橋の維持管理に関する取り組み

玉越隆史* 小林 寛** 武田達也***

1. 急増する道路橋ストック

我が国の道路橋は、図-1に示すように1955年以降の高度成長期（1955-1973）を境に急激に増加し、現在道路橋では15万橋近い数のストックを抱えている。なかでも高度成長期に建設された橋梁は、全体の約34%を占めている。図-2に示すように現在、これらの橋梁の平均経過年数は約37年であることから、20年後には、平均経過年数は57年となり、大量のストックが老齢化することとなり、相当数の更新や大規模補修を必要となることが懸念される。

1980年代のアメリカでは、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に対し、道路事業の投資額が増加するどころか減少したため、「荒廃するアメリカ」と呼ばれる道路ストックの荒廃を招いた。1980年頃には、図-3に示すように、全橋梁の約45%に何らかの欠陥が存在する状況となっていた。

米国連邦政府は、悪化した財政収支の中、1982年に制定した陸上交通支援法で、ガソリン税率を23年ぶりに引き上げるにより財源を確保し道路投資を拡充した。さらに1991年に成立したISTEA（総合陸上輸送効率化法：1992～1997年）では、橋梁の架け替え・修復に対する補助が大幅に増額された。このISTEAと後継法のTEA-21（21世紀陸上交通最適化法：1998～2003年）により、道路整備の財源が確保・強化され、欠陥橋梁

数が減少した。（図-3）また、現在はTEA-21の投資規模より31.4%も増加させたSAFETEA（2005年～2009年）により対策を実施している。

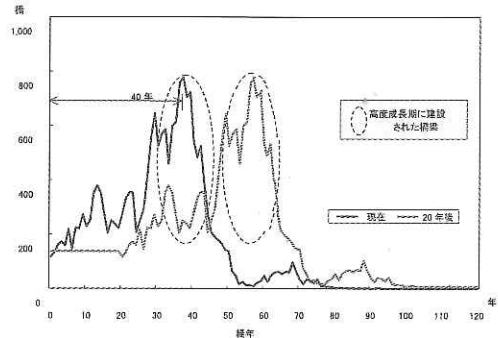


図-2 橋梁の経過年別分布状況²⁾

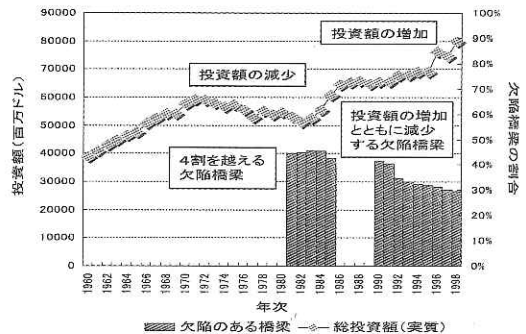


図-3 アメリカにおける道路投資額と欠陥橋梁の割合の推移^{3), 4), 5)}

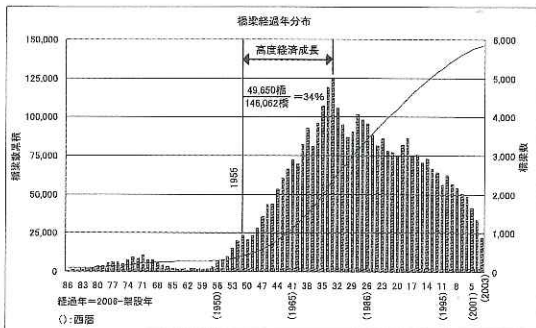


図-1 全国の橋梁数と建設数の推移¹⁾

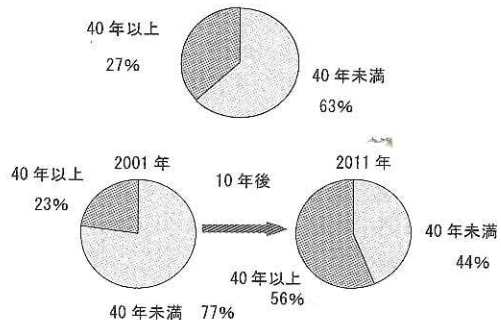


図-4 アメリカの架設後40年以上の割合（1980年時点）（上）、架設後40年以上の橋梁割合の推移（日本：直轄国道）（下）²⁾

日本の橋梁ストックの状況は、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、直轄国道では図-4の通り10年後には当時のアメリカを上回る橋梁の高齢化が進み、既に更新時代の始まりにあるといえる。

これらを踏まえ、今後、顕在化する道路橋の高齢化に対し早急かつ適切に対策を進めていく必要がある、本稿では現在、当研究室等、関係機関が取り組んでいる計画的管理に向けた取り組みについて述べる。

2. 道路資産が直面している課題

我が国の道路橋は、経年的に劣化していく損傷に加え、コンクリート橋の塩害、アルカリ骨材反応（以下「ASR」と呼ぶ）、疲労損傷といった、高度成長期には想定していなかった種類の損傷が近年多く報告されており、早急な対応が必要とされている。

塩害は、写真-1に見られるように、1980年代から大きな問題となっているが、依然として厳しい状況がつづいている。特に冬の季節風が強い日本海側の沿岸部において、その損傷が顕著であり多くの橋梁が大規模な補修や架替を余儀なくされている。新設橋梁においては、近年塗装鉄筋の使用やコンクリート塗装などの塩害対策により、塩害を予防する措置がとられている。しかし、既設橋梁についてはすでに塩分がコンクリート内部に多量に浸透しているものが多く、脱塩工法などにより塩分を除去したり、損傷の大規模な補修や架替が必要とする橋梁が今後数多く発生すると考えられる。

ASRは、コンクリート中の反応性骨材から発生するゲルが吸水し膨張することによりコンクリート内部から膨張しコンクリートに無数のひび割れを発生させる現象である。これまでは、コンクリートの膨張はケミカルプレストレスが入ること等により問題が無いとされていた。しかし、写真-2のように近年鉄筋が破断するという事例が数多くされている。このような損傷が発見されることより、コンクリート構造物の耐荷力への影響も懸念されており、将来の維持管理を考慮して損傷部位の更新にいたった事例も報告されている。

鋼部材の疲労損傷は、都市部を中心とし大型車が多い重交通路線での橋脚の隅角部や鋼床版の溶接部を中心に顕在化している。写真-3のように疲労損傷等の亀裂が進展することにより脆性的に主部材を破断させることがあり、落橋など大規模な事故になることも懸念されるため早急な対策が

必要となっている。

また、コンクリート床版においても昭和40年～50年代頃に多く発生した抜け落ち等の疲労損傷に対して床版の最小厚さを制限するなど基準の改訂が行われてきた。しかし、基準改訂前に施工され



写真-1 塩害による損傷を受けた橋梁



写真-2 ASRによって破断した鉄筋

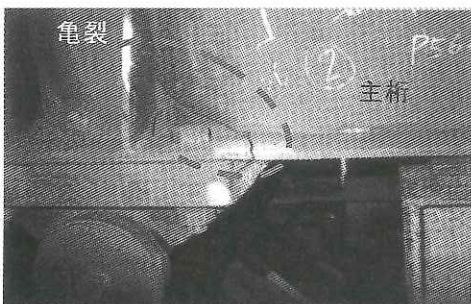


写真-3 疲労によって破断した主桁

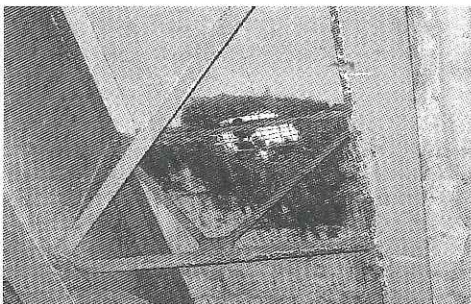


写真-4 コンクリート床版の抜け落ち

た既設の床版については現在でも疲労により抜け落ち等の損傷が報告されている(写真-4)。これらの損傷は、自動車の走行安全性に直接的に影響を与えるため、点検等による早期の発見・対策が必要となる。

3. 計画的管理の必要性

膨大な道路橋資産を合理的かつ効率的に管理していくには、当該橋梁に対して建設時にかかる費用だけではなく、補修費、更新費等を含めた橋梁一生にかかる費用であるライフサイクルコスト(「LCC」と呼ぶ)を試算し適切な時期に適切な方法で対処していく必要がある。

そこで、LCCを縮減するための手段としてもっとも有効と考えられるのが、これまでの事後保全的な維持管理から予防保全的な維持管理への転換である。

累計工事費(実際にかかった費用を1)

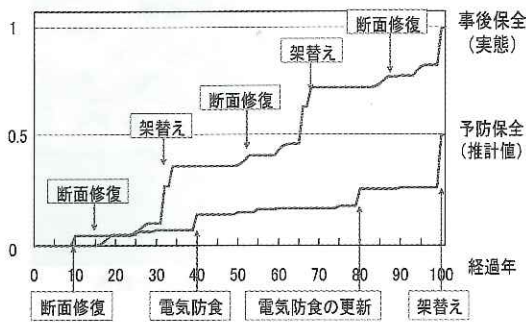


図-5 塩害地域でのコンクリート橋試算例

累計工事費(実際にかかった費用を1)

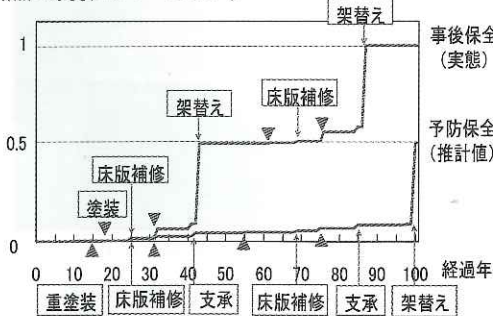


図-6 海岸に近い場所に位置する鋼橋試算例

表-1 適切な管理を実施した場合の試算条件

対象	試算条件
塩害地域でのコンクリート橋(図-5)	<ul style="list-style-type: none"> 桁: 10年で断面修復、40年で電気防食 下部工: 25年で断面修復、55年で電気防食 桁、下部工とも80年で電気防食更新
海岸に近い場所に位置する鋼橋(図-6)	<ul style="list-style-type: none"> B塗装系を10年間隔で塗替(実態調査より設定) その他は実績と同じ時期に計上

例えば、図-5は塩害地域のコンクリート橋で事後保全的な維持管理をしていた結果、建設後34年で架替に至ったある橋梁のLCCを表したものである。仮に架替後も同様の維持管理を実施した場合100年間かかった費用を1とすると、早い段階でコンクリート内部への塩分侵入を防止し電気防食等の塩害対策を実施した予防保全的な維持管理を実施した場合はおよそ半分程度のコストになると試算される。

また、海岸部に近い場所に位置し腐食等による損傷で架替に至ったある鋼橋の事例を図-6に示す。腐食等が発生する前に早期に重防食塗装等を実施するなど予防保全を行う場合、事後保全的な維持管理を実施した場合の100年で必要となる費用に比べて約半分程度で済むと試算される。なお、試算に用いた条件の概要を表-1に示す。

以上より、事後保全的な維持管理から予防保全的な管理を実施することでLCCを大きく低減することが可能となる。

4. 計画的管理に向けた取り組み

LCC削減事例に示したように、これからの道路橋の管理については、限られた予算制約の中で、管理目標を達成するため計画的に管理マネジメントを行う必要がある。そのためには、図-7に示すようにデータ取得→予測→評価→対策といった一連のサイクルを効率よく展開させるとともに、個々で必要な技術開発等を実施していくことが肝要である。

まず、点検等により、構造物の状態診断に必要なデータを取得することから始める。取得したデータについては、一元管理を行い、集計・分析が効率よくできる環境を整えることが必要である。例えば橋梁点検は、図-8に示すとおり通常点検、定期点検、特定点検、異常時点検に分けられ、各々の目的に沿って実施されている。中でも定期点検

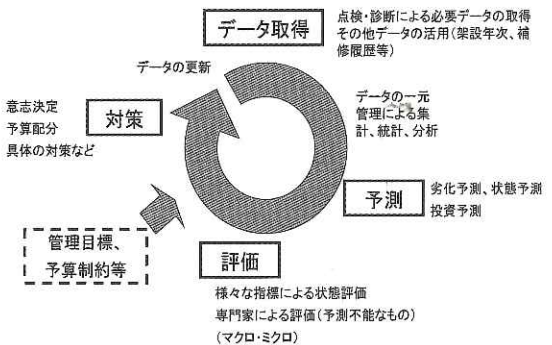


図-7 計画的管理に必要な行為のサイクル

は、平成16年3月に「橋梁定期点検要領(案)」を昭和63年「橋梁点検要領(案)」を改訂する形で、道路局より通達された。図-9に示すように、H16改訂点検要領では、損傷などの状況の客観的事実である「損傷状況、損傷程度」と、着目している損傷について発生原因、構造物の安全性、第三者への影響などを考慮して対策の必要性や緊急性等を推定する「対策区分」との二つの側面から記録するとともに点検頻度や項目など全般にわたって見直しがなされた。

次に、取得したデータをもとに、将来の劣化度を予測する。研究途上ではあるが劣化現象の発生時期、劣化の進行度等が劣化予測式等により推測が可能となっている。

さらに取得したデータをもとに指標による道路橋の健全度評価や専門家による状態評価を行う。道路橋の状態を評価する指標としては現在「道路構造物保全率」や「予防保全率」といった指標が

用いられている。道路構造物保全率は、「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保全が行われている延長の割合」と定義されている。また、「予防保全率」は、3大損傷(疲労、塩害、ASR)それぞれにおいて「対象となる橋梁数」に対する「早急な対策の必要がない橋梁数」の比率として表わされている。これらの指標は、道路橋全体の保全率を管理するものであり、個々の構造物の健全度等の状態を定量的に評価する指標がないことが課題となっている。

そこで、当研究室では、図-10に示すように道路橋の総合指標として、「耐荷性」「災害抵抗性」「走行安全性」の3つの要求性能を設定し、その性能に対して構造物がどのレベルの状態にあるかを点数付けすることにより評価する方法を検討している。評価方法は、要求性能に対して必要な評価項目(部位・損傷種類)評価式および重み係数をそれぞれ設定し、それに対して点検結果を用いて点数として算出される。しかし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元に定量的な指標で表現する場合、その精度には限界がある。したがって指標化にあたっては「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つの区分を設定し、区分内の相対関係よりも、どの区分に分類されるかについての精度を重視することとした。これは、実橋とのキャリブレーションからしきい値を60点、30点の2つに設定し、健全、要補修、緊急対策の3段階の判別はなるべく工学的にも経験的にもできるだけ妥当なものとなるように調整し、各区分内での点差や序列についてはあまり厳密性を求めないこととした。算出された点数は、健全、要補修、緊急対策の3段階のレベルに分類され維持管理の対応をわかりやすく表現できるようにしている。また、3つの要求性能に対する関する指標は、レーダーチャートなどを用い道路構造物がどのような状態を示しているかを視覚的にわかりやすく表現し、国民への説明性を向上させるものとしている。

点検種別	概要	写真
通常点検	日常の道路巡回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1度、それ以降5年に1度実施	
特定点検	塩害・ASR等特定の事象に予め頻度を定め実施	
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	

図-8 点検の種類

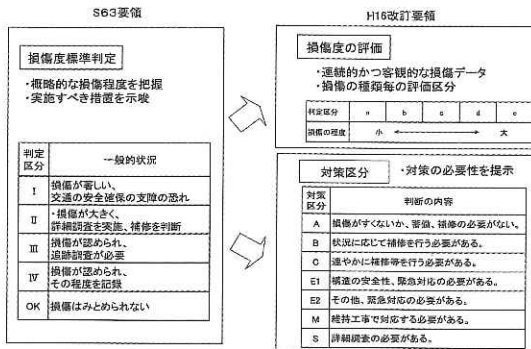


図-9 新旧定期点検の評価の方法

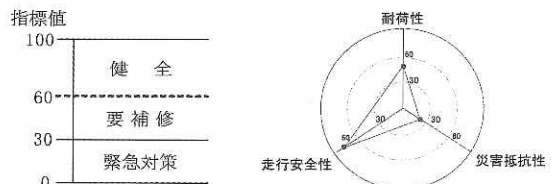


図-10 新しい指標のイメージ

5. マネジメントシステムの開発

国土交通省では、道路橋の計画的な管理を支援するツールとして、ブリッジマネジメントシステム(以下「BMS」と呼ぶ)の開発を行っている。BMSは、橋梁に関わる既存のデータベースと連携させ必要なデータ(諸元データ、点検データ、補修履歴データ)を取り込み、劣化予測・最適対策方法の選定を実施し、最適な管理計画の策定を行うものである。図-11にBMSの位置づけを示す。

道路橋の管理にあたっては、専門家等の知見による定性的・経験的な評価とデータに基づく定量的・客観的な評価を総合的に勘案し、管理計画を立

案することが理想である。現在の管理においては定性的な評価の比重が大きいが、BMSの導入により、将来予測に基づいた定量的・客観的な評価情報を管理計画立案に入れ込むことが可能となる。

まず、BMSの機能としては、健全度を予測していくにあたり現況の損傷状態の評価を実施することになる。健全度予測が実施可能であるものについては、定期点検結果を活用し損傷状態に応じて図-12の1. 健全度の評価に示すように、IからVまでの健全度を設定し評価することにした。例えば、塩害が原因となるコンクリート部材については、理論式による全塩化イオン量及び鋼材の体積減少率等から、図-12塩害の例に示す土木学

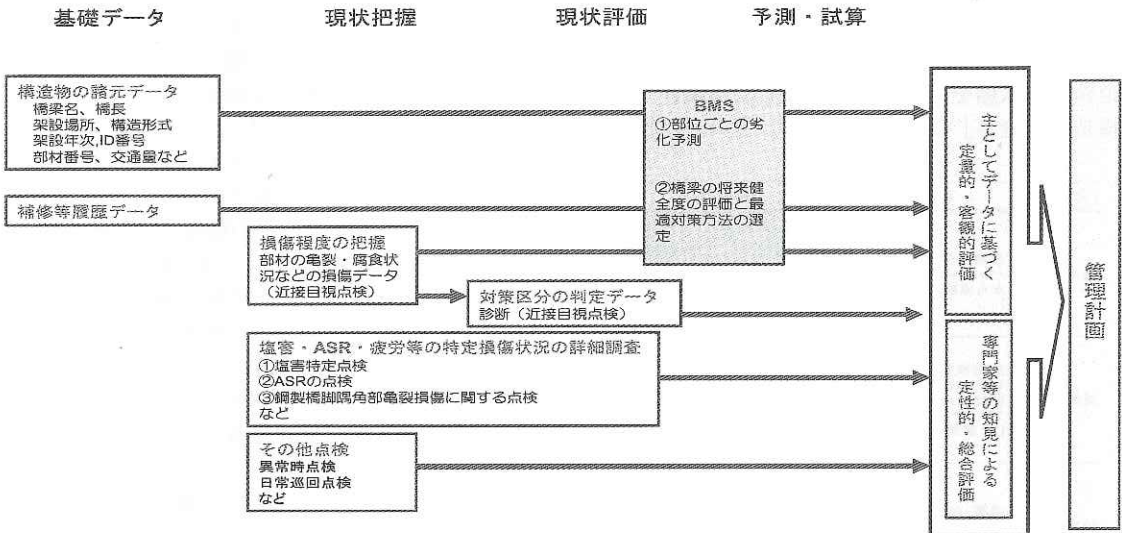


図-11 計画的な管理策定に関するBMSの位置付け

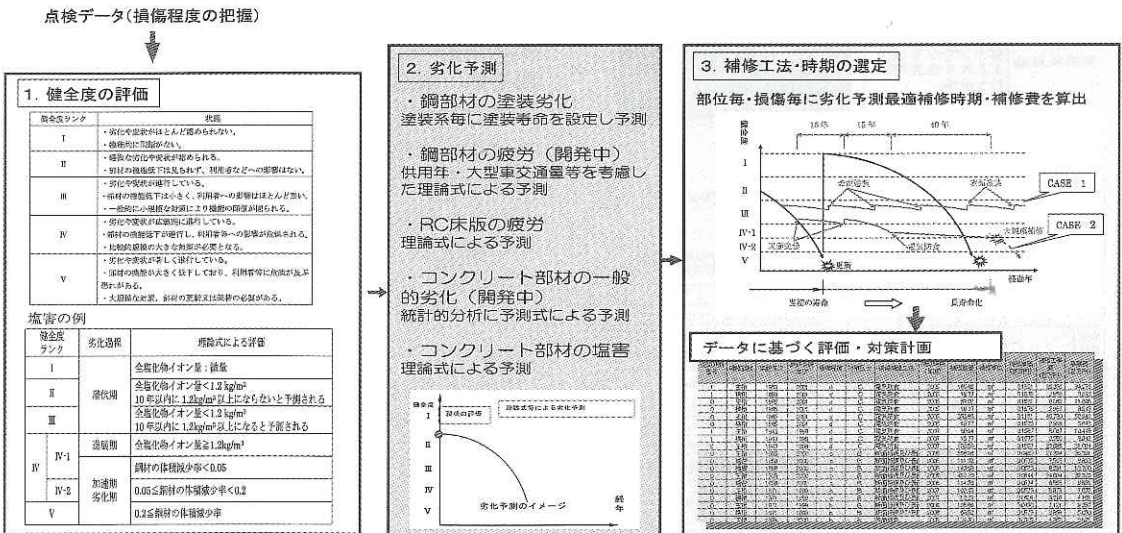


図-12 BMSにおける試算イメージ

会の定める劣化過程に対応させBMSで用いる5段階の健全度への変換方法を定義した。これに対し、交換を前提とする部材などの健全度予測を実施する必要の無いと判断したものについては、表-1の健全度の評価は実施しておらず、サイクル交換等を実施することを仮定し、対策については、定期点検の損傷の評価から判断される対策区分の結果を用いて対応することとしている。

次に、将来の健全度を予測するため対象となる劣化要因ごとに劣化予測法を設定した。劣化予測の設定にあたっては、寿命を設定する方法、理論的な劣化予測式を用いる方法、遷移確率を用いた方法、点検結果等の実績を統計的に分析する方法がある。将来的には劣化予測に必要となる点検データ、対象とする劣化に応じた劣化予測手法を用いることが望ましいが、現時点においては橋梁定期点検要領（案）による点検結果が数少ないこと、塩害、疲労等の劣化要因が特定できる点検結果ではないことからの現段階は必ずしも精度が良いとは限らないものの、理論式による劣化予測式を用いることを基本としている。現時点で、BMSに搭載されているものは、鋼部材の塗装劣化、鋼部材・RC床版の疲労、コンクリート部材の塩害となっている。また、伸縮装置や支承のように劣化予測がなじまないものについては、寿命を設定し、適切なサイクルで交換をするシナリオを採用している。

上記のとおり設定された現状の評価及び将来予測を用いて、部位・損傷毎に最適な補修時期・補修費用を算出して対策計画の検討を実施している。また、劣化予測を伴わない部位部材に対しては、将来の維持管理費用の算出などにおいては、一定のサイクルで交換・補修の計画としているが実際の補修計画の実施にあたっては、定期点検の結果等を総合的に判断して時期を決定している。

BMSは現在、地方整備局において試行運用の形をとっており、実際の維持管理とBMSによる

維持管理の結果の差異について分析を行い、分析結果に基づき現況の健全度の評価方法、劣化予測法および補修最適時期等の見直しを適宜実施しているところである。

6. 今後の課題

上記のような取り組みを踏まえ、道路資産管理を合理的かつ効果的に運営していくため、予防保全的な管理方法に転換していくことが現在進められている。しかし最適な時期に最適な対策を行うにあたっては、現状の構造物の状態評価をさらに正確かつ簡便に実施する技術の開発等が必要であるほか、劣化予測の対象箇所拡大（損傷種類、部位）や予測精度の向上、効果的かつ経済的な補修補強技術の開発・高度化が必要不可欠である。今後とも引き続きこれらの課題に精力的に取り組み、データに基づく科学的かつ計画的な道路資産管理システムの確立を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 道路局：道路統計年報2005
- 2) 国土交通省：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方提言
- 3) Federal Highway Administration Office of Highway Information Management：Statistics Summary To 1995
- 4) Federal Highway Administration Office of Highway Information Management：Highway Statistics 1999
- 5) Federal Highway Administration Office of Highway Information Management：Conditions & Performance Report 1999

玉越隆史*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

小林 寛**



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官
Hiroshi KOBAYASHI

武田達也***



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室研究官
Tatsuya TAKEDA