

## ◆特集：橋梁の耐久性を向上させる技術◆

## 東京都における鋼橋の耐久性向上技術とマネジメント

高木千太郎\*

## 1. はじめに

東京都は、管理道路延長2,239kmにおいて、道路橋1,235橋、横断歩道橋674橋、人道橋99橋の計2,008橋を管理している。管理橋の規模としては、道路1.83kmに1箇所割合で橋があり、総数としては、少なく感じるかもしれないが、総延長は約68kmと比較的長く、面積は、総計で1,104,651.2m<sup>2</sup>、内道路橋1,024,226.7m<sup>2</sup>となっている。他の地方自治体（例えば、広島県の場合3,157橋で総延長62km）と延長を比較すると1橋当たりの長さが長く、東京都の橋梁は、中小橋梁が少ないか、長大橋が多いと判断される。

これら管理橋を材料で区分すると、鋼橋が486橋、その他が738橋と数で判断するとバランス良く建設されているように見えるが、橋面積の割合は、鋼橋が660,430.6m<sup>2</sup>、その他が444,220.6m<sup>2</sup>で全体の59.8%で半分以上を占めるのが鋼橋である。

管理橋の特徴は、図-1で示すように建設のピークが2つで、一つは、関東大震災復興期、もう一つは東京オリンピックを契機とした高度成長期である。経過年数を見ると、勝鬨橋（昭和15年建造）以前の橋梁は、297橋であり、全体の24.3%の約1/4を占めている。また、東京オリンピック

を契機とする高度成長期（1959～1975）に建設された橋梁は、485橋と39.6%となっている。

本報文においては、管理橋として多くを占める鋼橋の現況と損傷別の対策概要及び新たな道路施策として導入する道路アセットマネジメントについて紹介するものである。

## 2. 鋼橋の代表的な事例と原因

管理する鋼橋の代表的な損傷は、大きく3つに分けられ、腐食損傷、疲労損傷、変形損傷がある。

## 2.1 腐食損傷

東京都の腐食環境は、海浜地域、市街地域、田園地域、山間地域（融雪剤散布地域含む）の4地域に分けられる。これら東京都の環境において、橋梁用一般構造用鋼材の裸使用は不適で、何らかの防食が必要となる。これまでに4地域の環境下で発生する腐食損傷を最小限とするために採用した防食法は、塗装が主で、全体の約60%が鉛系さび止め下塗り塗料に合成樹脂調合ペイントを塗布したA系、約30%がエポキシ樹脂塗料下塗り塗料にポリウレタン系を塗布したC系、残りが今はほとんど使われなくなった鉛系さび止め下塗り塗料に塩化ゴム系上塗り塗料を塗布したB系となっている。塗装以外の防食対策は、耐候性鋼材、金属溶射、めっきがあるが、使用例は数少ない。

最も多く使用している塗装の劣化判断を紹介する。塗装の塗り替え判断であるが、昭和59年頃までは、塗膜の剥離状況や錆の発錆状況などを要素として遠望目視で定性的に対策時期を判断していた。しかし、昭和60年（1985）以降は、「鋼橋の塗替え塗装要領・東京都建設局」を新たに規定したことから、本要領に従って計画的に塗り替えを実施するようになった。

本要領に規定した塗り替え判定は、5年に一度の頻度で実施する定期点検時に対象橋梁の代表的な箇所を近接目視で塗膜調査を行ない、塗膜の劣化程度を把握し、塗り替えを決定する。ここで挙

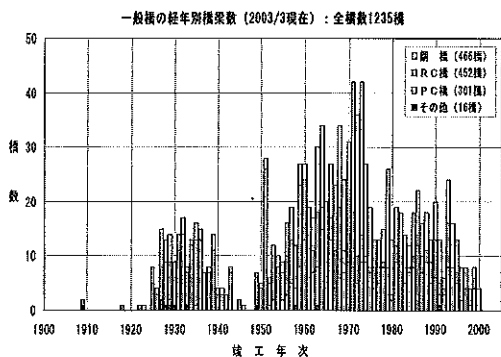


図-1 道路橋の建設年次別グラフ

げた塗膜点検とは、当初期待している性能を保有する塗膜（活膜）剥がれ程度と錆発生程度をそれぞれ4段階評価し、次に3段階①～③を、総合判定する。判定内容は、①当面塗り替えの必要性なし、②数年後の範囲で塗り替えを計画、③早期に塗り替えが必要と判定、塗り替え計画を策定することとしている。なお、景観上の配慮が特に必要な地域にある橋梁は、①や②でも変退色が著しい橋梁について塗り替えを可能としている。

このように、腐食損傷に対し計画的な塗装を行っている状況下での腐食の傾向と実態について紹介する。

昭和62年（1987年）から東京都は、一般道路橋の定期点検を「橋梁の点検要領・東京都建設局」によって5年に一度の頻度で行ってきている。第5次定期点検（平成10年～12年実施）結果を分析すると、腐食損傷を対象としたランクC（30%以上の発錆もしくは欠損）以上の橋梁は、分析対象とした486橋の17.7%となる86橋であった。

ランクCとなった橋梁の損傷原因を調査すると、最も多いのは、伸縮装置からの漏水を原因とする支承回りの鋼材腐食で、53橋、次が桁端部の狭隘な箇所で防食作業の不良による腐食が20橋、床版損傷部からの漏水を原因とした腐食が17橋、河川や運河の飛沫を原因とした腐食が10橋、その他となっている。

また、2003年までに塗り替えを行った510橋について塗り替えの頻度を抽出すると、昭和62年（1987）までは、年間一桁の塗り替え実績であったが、要領を規定した昭和60年以降は、定量的な判定を基礎として計画的に予算を要望する方式に

転換したことから、年間二桁の16～50橋の橋梁を塗り替える実績に改善されている。

次に、写真-1のように、桁下が埋め立てられ、撤去橋梁となったため塗り替えを実施していない橋梁の耐久性を分析した結果について報告する。調査橋梁の諸元：

- ①橋長：19.3m、幅員：23.0m、主桁高：1.308m
- ②構造：単純非合成I桁
- ③完成年月：昭和4年1月（1929.1）
- ④最終塗り替え年月：昭和52年3月（1977.3）

超音波板厚測定によって鋼桁（本桁）の腐食（断面欠損）実態を計測した結果、端部垂直補剛材の一部は、写真-2のように極端に断面欠損（110×120）している箇所もあるが、全体としては、約80～90%の断面を保有している。歩車道境界の直下の鋼桁以外の桁は、本桁と比較すると全体的な欠損率は少なく、下フランジに一部断面欠損があるものの、ほぼ健全で全体の剛性に影響はないように見えた。この傾向は、中桁になるとより顕著であり、26年放置していても断面欠損は一部に留まっている状況が明らかとなった。

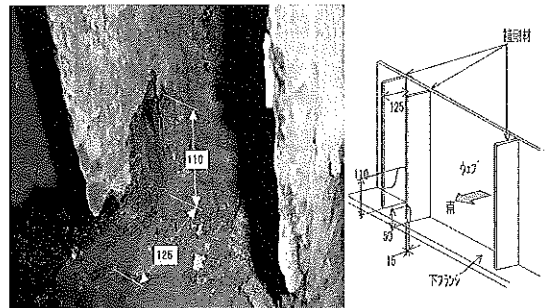


写真-2 鋼桁断面欠損状況



写真-1 耐荷性能確認橋梁（腐食）外観

本事例、断面の欠損橋梁について断面欠損率から残存耐荷力（B活荷重）を算定したところ、鋼桁一部の断面積が30%程度欠損しても残存耐荷力は、71.2%保有する計算結果となった。この結果から、橋全体としては、予想に反し耐荷力が落ちていないことが明らかとなった。

都において、ここまで断面欠損している管理橋は非常に稀であるが、過去の載荷実験などの実績から外観で耐久性を危惧される橋梁でも、実際には十分な耐荷力を保有している場合がほとんどである。次に、疲労損傷について紹介する。

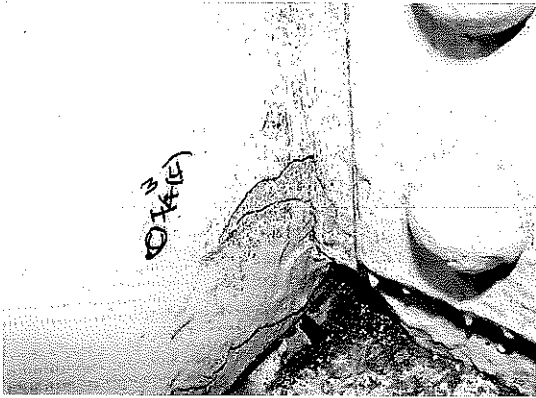


写真-3 疲労損傷（亀裂）発生状況

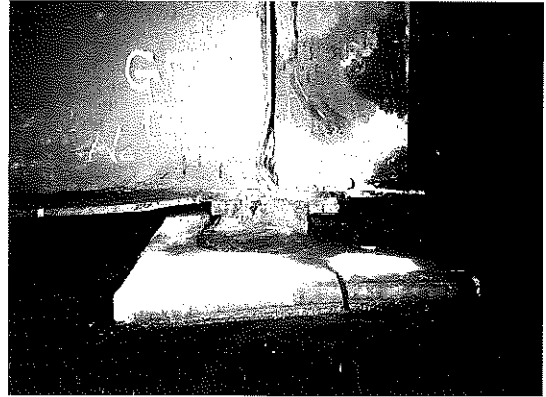


写真-4 鋼桁支点部座屈状況

## 2.2 疲労損傷

活荷重実態を把握する目的で、都内の主要幹線道路に架設されている52橋において、昭和60年～平成12年にかけて載荷試験を行なった。その結果、7日間の応力頻度測定によって測定された最大値は、最小 $36\text{kg/cm}^2$ ～最大 $1,350\text{kg/cm}^2$ であった。また、20トンダンプ車両を $20\text{km/h}$ ～ $40\text{km/h}$ でモデル走行させる動的載荷試験による応力値は、最小 $8\text{kg/cm}^2$ ～最大 $310\text{kg/cm}^2$ と予測値より少ない値を示したが、応力頻度測定によって得られた最大値と比較すると、4.3倍～4.5倍を示し、過積載の車両が走行している実態が明らかとなった。

応力頻度測定結果と計算値（TL-20）とを比較すると、最大は130.0%（ $1,050/809\text{kg/cm}^2$ ）、全体として今回測定した15.4%が計算値を超え、超重量違反車両が走行している実態が明らかとなった。

次に疲労損傷（亀裂）が発見された橋梁の実応力を測定した値は、 $800\text{kg/cm}^2$ ～ $1,350\text{kg/cm}^2$ で、応力頻度測定値が設計値を超える結果を示し、いずれもモデル走行で得られた値の4倍以上を超える応力値となっていた。

これらの結果は、近年の重車両による橋梁への疲労損傷発生を裏付ける結果を示している。

## 2.3 変形損傷

これまでの変形損傷について報告された国内の事例は、兵庫県南部地震などによる地震荷重による損傷が主であったが、今回の報告は、下部工の移動を主原因とする稀な事例である。

東京都で多いのは、橋台の移動や沈下で予測していた支承の許容移動量を超えたため、主桁端部にバラベットの接触し、予想外の力が作用したため鋼桁が座屈した事例である。次に多いのは、支

承が腐食や塵埃などで移動が不可能となり、温度変化による桁の収縮を移動によって解消できず過大な力が作用したことで、鋼桁が座屈した事例などである。写真-4は、下部の移動と支承の移動不能によって主桁が座屈した事例である。

次に、これら損傷に対応する今後の方針について述べる。

## 3. 代表的な損傷に対応する検討

東京都は、これまでに挙げたような腐食、疲労、変形損傷に対し、安全な交通機能を確保するため損傷に対応した検討の流れを作成し、それにしたがって調査、対策を効果的に行なうこととした。

### 3.1 腐食損傷への対応

腐食損傷は、前述のように、26年間再塗装なしでも環境が悪くなければ耐荷力がほとんど落ちないことが明らかとなった。そこで、対策としては、現行の要領に従って計画的な塗り替えを行なっている現状と腐食に関する健全度の推移を踏まえ、再塗装困難橋を除き、これまでと同様に予防型塗り替え計画を適切に実施すれば良いとした。特に、再塗装困難橋で一部の断面が欠損している場合、例えば、桁下条件が鉄道や高速道路の橋梁や桁端部が狭隘で確実な塗装が不可能な橋梁は、桁端部の支点上座屈耐力、桁端部付近のウェブせん断耐力、桁全体の曲げ耐力などの照査を行い、使用鋼材降伏点の70%程度の耐力を保持するよう管理することとした。また、このような管理困難橋の塗り替えは、長期防錆型の塗料や金属溶射を採用することなど一般的留意点以外に、塗装の良否を大きく左右する素地調整の確実な施工、付着塩分の確実な除去（ $100\sim 50\text{mg/m}^2$ 以下）などの対策を

積極的に行なうこととしている。次に、疲労損傷対策について紹介する。

### 3.2 疲労損傷への対応

管理鋼道路橋の486橋1,598径間において、過去に疲労損傷（亀裂）が発見された橋梁は、11橋ある。それらの亀裂発生原因を対象橋梁ごとに分析し、主要部材に亀裂が発生している場合は、応力頻度測定や近接目視による詳細調査以外に、関連調査も実施することとした。関連調査とは、過去に発見された東京都の突合せ継ぎ手疲労亀裂発生原因や他団体の発生原因調査結果から、必要があれば、亀裂発生橋梁と同一製作会社等の橋梁に対する拡大調査も行い、亀裂発生による重大事故を未然に防ぐ予防調査を行なうこととした。

また、亀裂は発見されなかったが、応力頻度測定値から算定した残存耐用年数が50年以下となる橋梁は、亀裂の有無を確認する現地調査を詳細に行ない、50年以上の橋梁は、現時点において機能上安全であると判断し、当面对策不要として処理することとした。次に、過去に応力頻度測定などの载荷試験を行っていない場合は、疲労損傷を対象としたモニタリング調査を計画的に行なうこととした。モニタリング調査の実施基準は、大型車交通量が1,000台/日/車線以上、設計に用いた道路橋示方書が昭和31年以降で対象橋梁の支間長が35m以下とし、この条件に該当した橋梁220橋(671径間)の中でモデル橋梁として条件に合う16橋について疲労照査と詳細調査を行なうこととした。

モニタリング調査の目的は、安全な交通機能確保であるが、調査結果を分析し、疲労損傷発生の交通実態や構造詳細の傾向を見出したうえで、過去の亀裂発生の原因などを加味し、東京都疲労損傷対策案を策定することである。

次に、変形損傷への対応を紹介する。

### 3.3 変形（座屈）損傷への対応

変形損傷の対策は、都の場合過去の変形損傷発生原因が明らかであることから、定期点検等によって大きな変形発生が予測される橋梁が発見された場合は、支承の機能を確保するため、高圧洗浄などによって汚泥や塵埃を除去することや支承可動面の摩擦力を低減する潤滑剤を補充するなどの対

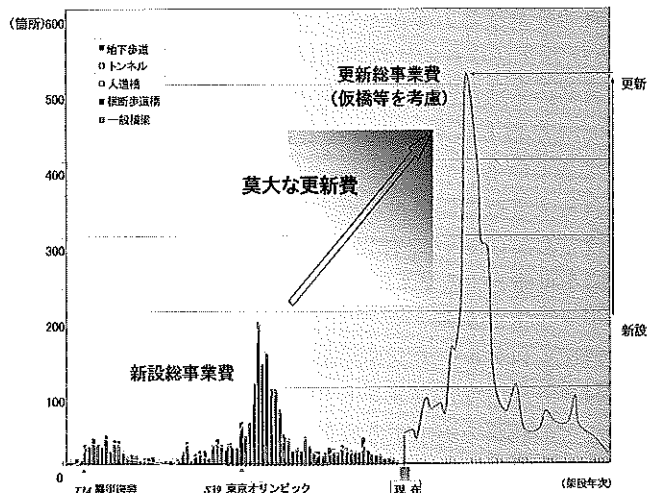


図-2 東京都主要道路施設建設グラフ

策をとることとした。特に、下部の移動を制限する土圧対策や沈下を抑制する地盤改良などが必要な場合は、その都度適切に判断することとした。

以上が、東京都の代表的な鋼橋に発生する損傷の対応策案である。

## 4. 東京都道路アセットマネジメントの導入

次に、今回紹介した鋼橋の損傷対策を含め、他の多くの道路施設を効率的、効果的な管理を可能とし、これまでの対症療法型管理から予防型管理への転換を目的とする東京都道路アセットマネジメントについて紹介する。

### 4.1 背景

都の管理する橋梁は、年々高齢化が進んでおり、現在架設後40年を超える橋梁46%が、約10年後(2015年)には73%を占めることになり、厳しい経済状況において大きな財政負担となることが危惧される状況である。

また、全体の約半数を占める昭和30年代から高度成長期前期に建設された橋梁は、経済性を第一とした設計であったことから、耐久性や安全性に課題が多く、必ずしも優良なストックと言えず道路管理上負担となる場合が多い。このような課題の多い道路ストックを適切に管理するには、施設の健全度、劣化速度、余寿命をヒストリカルデータや室内実験などに基づいて定量的に予測し、急速に進む耐久性向上技術を効果的に実施することで、予防型管理に転換し、更新ピークの平準化を図ることが必要である。また、住民との協働作業を求

められる社会情勢の変化から、管理者の説明責任（アカウンタビリティ）を適切に果たすことを求められている状況に、民間企業の経営判断や顧客サービスを取り入れた新たな公共事業が必要となってきた。

これら大きな課題に対し、これまでの一方的な行政を大きく改善し、住民の数多くの要望に適切な対応を可能とするマネジメントが、道路アセットマネジメントである。

#### 4.2 アセットマネジメントとは

本来アセットマネジメントとは、不動産や金融業界などの利潤を追求する分野で多く使われており、預金、株式、資本、人材、技術などの資産を、リスクや収益性などを勘案し、最大の利潤を得るように全体をマネジメントすることである。

アセットマネジメント導入の理由は、アセットマネジメントが投資対象となる様々な資産を組み合わせ適切な投資配分をし、資産価値を最大にし、保有効率を最善化させることを可能とする経営管理であることが挙げられる。道路施設は、橋梁、トンネル、舗装、擁壁、防護柵、街路灯、機械施設など多種に渡り、これら多くの資産をこれまでのように個別に予算化するのではなく、共通のテーブルの上で適切に建設、維持管理、更新をマネジメントすることが求められているからである。

これまでの道路施設整備は、新たな整備段階で、

対象施設ごとに施設の With, Without による発生便益から B/C を算出し、その効果を施設整備の判断基準としている。しかし、管理施設に対する対策や施設の更新には、Benefit（社会的便益）を算出して事業を評価することは稀であり、その手法も確立されていないのが現状である。

今回、東京都が導入する道路アセットマネジメントは、既成の概念を大きく変え、管理している施設から得られる Benefit として走行時間、走行経費、走行快適性、環境影響、事故影響などを金銭換算し、施設の実劣化速度による最小ライフサイクルコストと求められた最適対策時期の組み合わせを行い、最も望ましい対策実施優先順位と資産価値算定を行うマネジメントである。

#### 4.3 東京都道路アセットマネジメント

東京都道路アセットマネジメント全体のイメージを図-3に示したが、アセットマネジメント構築する過程で必要となる事項について説明する。

##### 4.3.1 劣化速度の推定と対策実施時期

アセットマネジメントは、アセットである道路施設への投資時期と投資効果の判定が重要である。

東京都の場合、これまで各種道路施設に対し、定期的に定量的な点検をおこなってきた。その効果として、例えば、前述の橋梁の場合は、昭和62年度から「橋梁の点検要領」によって定期的に定量的な点検を行っており、得られた健全度の

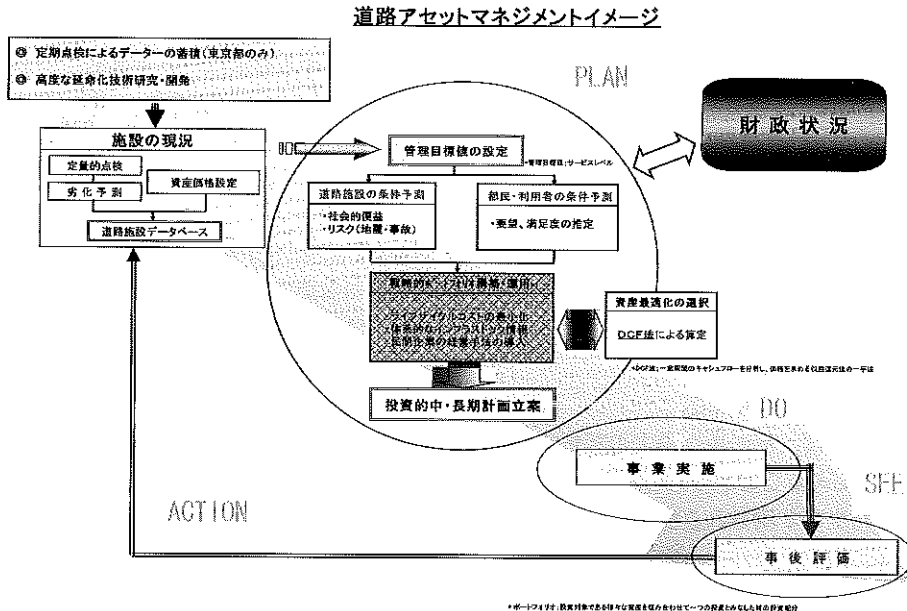


図-3 東京都道路アセットマネジメントイメージフロー

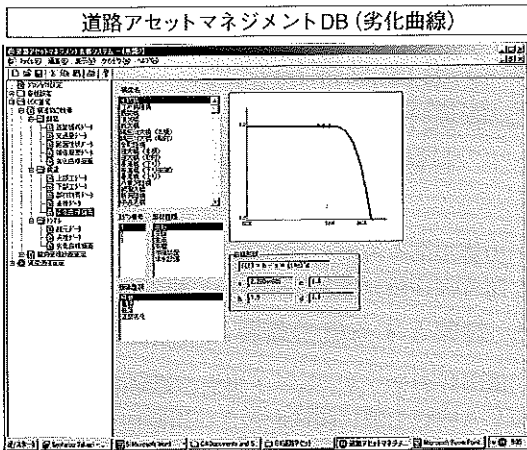


図-4 アセットDBによる劣化曲線算出事例

推移から環境や構造別の劣化診断や予測がある程度可能な状況である。また、舗装も、平成3年からMNI診断（路面性状調査）を行っており、大型車通行量、舗装材料、構造との関連性や劣化推移が予測可能な状況である。

これらの点検ヒストリカルデータを回帰分析し、個別施設の劣化速度と劣化カーブ（図-4）を求め、施設供用時のメンテナンスコスト、長寿命化対策費、更新費、対策時の発生便益などから真のライフサイクルコストを求め、最も好ましい対策実施時期と対策内容を決定することになる。

求められた個別施設の最適対策時期は、道路アセットマネジメントシステムの中で統合、比較され、予算の制限や、住民要望を基に施設別管理水準を設定、将来の個別施設及び全体の各年キャッシュフローをDCF法によって計算し、設定期間における正味現在価値が最大となるように投資的中・長期計画を策定、実施、フィードバックすることとなる。

#### 4.3.2 アセットマネジメント構築の流れ

アセットマネジメント導入の第一ステップは、各施設を統合的に管理することである。

ここで、アセットマネジメントシステムに必要な個別データは、例えば、施設別の点検データ、健全度評価データ、維持管理、耐久性向上対策、施設整備に投じられた事業費データなどであり、何時でも比較検討できる環境を創り出すことである。第二には、これまでになかったファイナンス工学による資産価値評価が必要となることから、民間企業並みの判断で各資産の取得原価、劣化速度に

よって補正した耐用年数、減価償却方式などを求めることである。第三は、新たに収入として捉える社会的便益算出法をより高度に進化させ、道路から得られるプラス便益だけでなく、地震発生時や交通事故によるリスクを換算することである。

求められたリターンとリスクを金銭換算し、収益還元法によって正味現在価値（N.P.V.）を求め、評価期間後の施設処理価格から事業の投資効果を算出し、それらを基本として道路施設の投資的中・長期計画を策定、実施、フィードバックし、より望ましいマネジメントとすることとなる。

以上が、道路アセットマネジメントである。

#### 5. おわりに

—鋼道路橋の望ましい管理に向けて—

東京都において現状の対症療法型管理で推移すると、大量の施設更新ピークに適切な対処が不可能となり、通行止めの箇所が続出する可能性が高い。これは、センセーショナルな話題として取り挙げられた「荒廃するアメリカ」が首都東京において現実問題となることである。

建設中心の時代は、交通機能上必要な施設の不足を解消するため建設は必要であったが、ここまで施設整備が進んだ現状では、管理施設の好ましい管理・運営に転換する時期に来ているのは誰が見ても明らかである。首都東京として、「荒廃する東京」とならないためにも、早急に道路アセットマネジメントを導入することによって、予防型維持管理に転換し、負の遺産を後世に残すことなく、快適で安全な交通機能確保を最小コストで確保することを可能とする理想的な道路行政となる。

今後は、橋梁を中心に構築する道路アセットマネジメントシステムの支援を受けた望ましい道路マネジメントを積極的に進め、地方自治体のリーダーとして早期に望ましい予防型管理に転換する。

高木千太郎\*



東京都建設局道路管理部保全課  
課長補佐  
Sentarou TAKAGI