

特集：道路橋示方書の改定と関連する道路橋の調査研究

道路橋をとりまく状況と維持管理の信頼性向上に向けた道路橋示方書の改定

玉越隆史* 横井芳輝** 西田秀明*** 堺 淳一****

1. はじめに

道路橋の技術基準である道路橋示方書では、平成24年2月の改定において、全編にわたって維持管理の信頼性向上に向けた規定の拡充がなされた。国土技術政策総合研究所と（独）土木研究所では、全国の道路橋の点検結果の分析や内外基準の調査、管理者への技術的支援、東北地方太平洋沖地震をはじめとする大規模な災害時の現地調査や損傷事例への対応等を実施してきた。また、これらを通じて明らかとなった維持管理に関する課題と技術基準へのニーズに対し、各種調査研究及び技術基準の原案への反映の検討を行ってきた。本稿では、道路橋をとりまく状況と維持管理の信頼性向上に向けて、道路橋示方書の改定に反映された事項について概説する。

2. 道路橋をとりまく状況

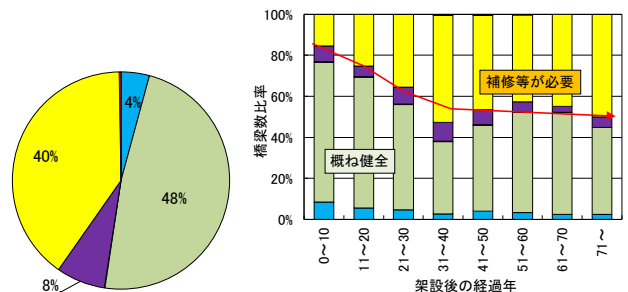
我が国では、戦後の高度経済成長期に急ピッチで道路網が整備され、現在、道路橋数は約68万橋¹⁾に達している。道路は、国民生活や経済活動を支える最も基盤的な社会資本であるとともに、東日本大震災を代表例とする災害時の救援や復旧・復興活動を支えるインフラとして、重要な役割を担っている。今後も将来に渡って、道路ネットワークの機能を良好に保持し続けることは、我が国にとって極めて重要である。

しかしながら、道路橋の高齢化に伴い、通行規制を伴う深刻で様々な様態の損傷が散見され始めた²⁾。図-1は、全国の地方整備局で行われた直轄道路橋の定期点検結果を整理したものである。図-1(a)に、対策区分の判定結果別橋梁数の比率を示す。全国の直轄道路橋の約40%がC（速やかに補修を行う必要がある。）と判定されており、5年間隔で実施している橋梁定期点検において、少なくとも次回の点検までには補修等される必要が

あると判断されている。また、図-1(b)は、架設年代（橋年齢区分）毎の橋の状態を整理したものである。個々の橋梁のおかれる条件は様々であるものの、全体的な傾向としては経年に従ってより深刻な状態のものが多くなっている。なお、供用開始から40年以上経過したものでは状態区分の内訳がほぼ同じとなっており、平均的な劣化の状況に大きな差がない結果となっている。この理由として、供用開始後の補修履歴などの情報が残されていないものも多く正確なことはわからないものの、供用開始から40年以上経過した橋では、塗装の更新など、様々な補修補強が行われているものが含まれている可能性が考えられる。

以上のように、様々な環境で長期に供用される道路橋では、経年に従って様々な劣化や損傷等が生じる可能性は少なくないと考えられる。したがって、設計上の目標や仮定にかかわらず、供用し続ける限り、点検などによる適切な状態の把握と劣化や損傷に対する補修・補強など、維持管理を実施することを前提として整備していくことに合理性があると考えられる。

対策判定区分	判定の内容
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
C	速やかに補修等を行う必要がある。
S	詳細調査の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
A	補修を行う必要がない。



(a)対策区分別橋梁数比率 (b)判定区分の経年変化

図-1 直轄道路橋の定期点検結果

3. 維持管理の信頼性向上に向けた改定

3.1 維持管理の確実性及び容易さ

これまでの道路橋示方書では、設計にあたって、

Revision of “Specifications for Highway Bridges” towards the improvement in reliability of maintenance of highway bridges.

常に念頭におくべき事項として規定されている設計の基本理念の一つに、「維持管理の容易さ」が挙げられていた。しかし、近年の損傷事例や災害時の点検等において、点検や補修などの維持管理が困難な部位や構造がある事例²⁾も散見されることから、「維持管理の確実性及び容易さ」と改め、設計の段階から、将来の劣化や損傷、被災などの事象に対して、できるだけ維持管理ができない箇所や部位、構造を避けることについても配慮することを求めている。

海外の基準類においても、維持管理に関する規定が設けられているものもある。例えば、土木構造物の設計に関する国際規格であるISO2394「構造物の信頼性に関する一般原則」³⁾においては、「構造物の部分が点検できるように、すなわち、取り外し等が困難でないようにしておくこと」が設計で要求されることが記述されている。また、AASHTO（米国全州道路交通運輸行政官協会）の道路橋の設計基準においては、維持管理に関する基本的要求事項として *inspectability*（点検性）を掲げ、点検するために必要であれば点検設備を設けるべきことや、*Maintainability*（維持管理性）として、維持管理が困難となる構造は避けるべきであるとも明記されている。

設計の基本理念に掲げた維持管理の確実性及び容易さに関連して、維持管理の方法や必要となる維持管理設備などについて、橋の設計段階から可能な範囲で、具体的に想定して、配置計画や構造設計に反映すべきことも条文で明記している。写真-1の事例は、地震で被災したPC橋に対して、既設の検査路により供用性の判断に重要な支承部やPC定着部に近接した調査が速やかに行うことができた例である。また、写真-2は、支承の補修のための仮支持に必要な補強が主桁に施された事例である。支承部は、滞水や粉塵等が堆積しやすい上に、大規模な地震時には支点部という位置づ

け上、損傷が生じやすく、橋本体と同等の耐久性が結果的に得られないことも多い。こうした部位については、供用期間中の補修や交換等について考慮し、具体的な維持管理の方法について、計画、設計段階から考慮することで復旧性やLCCの低減の観点から合理的となる場合も多いと考えられる。このように、維持管理における利用形態などについて、設計の段階から充実した検討を行うことは、将来の維持管理負担が軽減されるだけでなく、災害に対するリスク管理の観点からも、良質な資産の形成につながるものと考えられる。

3.2 維持管理のための記録

供用開始後に劣化や災害等によって変状を生じた場合の診断や原因究明、補修・補強等の対策の検討を安全かつ合理的に行うためには、その橋の調査、設計、施工、品質管理等の各種記録などの様々な情報が残されていることが極めて重要となることが実績からも明らかである^{4),5),6)}。

一方で、これらの情報が適時に参照できない場合、橋の応力状態の推定や外観からは判断できない部材内部の構造の推定に多大な時間と手間が必要となる。また、条件によっては、不確定要素を安全側となるように仮定せざるを得なくなることもある。

以上を踏まえて、今回の改定では、共通編の1章「1.7 設計図等に記載すべき事項」の内容を充実するとともに、新たに6章「6.3 設計・施工に関する事項」の規定を設けている。これにより、橋の完成後に、その橋の設計思想から施工に関する記録に至るまで、将来の維持管理の合理化に資すると考えられる情報についての記録を作成し、かつ供用期間中に活用できるよう保存することが求められる。

なお、様々な情報をどのような形態や体制で管理していくのかについては、管理者によっても異なると考えられることから、その具体の方法までは示していない。各機関で、将来も見据えた様々な記録が各組織体制に応じて活用可能な形で適切に保存されるようになることが期待される。

3.3 構造設計における補完性又は代替性への配慮

道路橋の場合、供用性に何らかの制限が生じると物流等に大きな支障を及ぼすなど、社会的な影響が避けられないことも多い。

しかし、平成19年（2007年）に米国で発生



写真-1 検査路による近接点検 写真-2 仮支持のための主桁の補強の事例

した、上路トラス橋が一部の格点部の破壊によって崩落するという事故（写真-3）からも明らかのように、道路橋では、構造の条件によっては、一部の部材の機能喪失によって、橋全体が回復困難な、致命的な状態となる場合がある^{7),8)}。我が国でも、近年になって、供用中に主部材が破壊する例^{4),5)}が報告されている。これらは、結果的には、破壊した部材の機能が他の部材で補われることで落橋までには至らずに済んでいる（写真-4）。

こうした事象に対して、例えば、米国のAASHTOによる道路橋の設計基準¹⁰⁾においては、構造形式の選定において、Multiple-load-path structures（多重荷重経路構造物）及びcontinuous structures（連続構造物）を採用することが望ましいとした上で、設計に用いられる安全率をリダンダンシーの程度により値を変えるなどにより運用されているものもある。

一方、国内では、複雑な構造特性を有する道路橋において、一部の部材の機能の喪失による落橋等の重大な事態を回避できるか否かについて、設計段階で合理的に評価できるための統一的な手法や評価基準は、確立されていない。

このため、今回の改定では、橋の形式や規模によっては、一部の部材の損傷や異常の発生や進展によって、橋全体の性能が大きく損なわれることの影響を設計段階から念頭におくことについて規定している。これにより、橋の条件等に照らして、必要と判断した場合には、そのような事態を回避できるように、橋を構成する部材や構造に補完性や代替性を付与するなどの対策を行うことが基準上は許容される。しかし、どのような橋に対して、どこまでの構造上の配慮を行うのかについては、橋の位置づけや経済性にもかかわる。また、着目する部材の変状が深刻化する前に確実に異常を検出できるようにすることで、部材が破壊に至ることまでは想定しないなど、維持管理の方法による

対応も条件によっては許容される。したがって、それぞれの橋において、橋の位置づけや経済性、維持管理の条件なども考慮して、総合的に判断することとなる。

3.4 橋台部ジョイントレス構造の規定化¹¹⁾

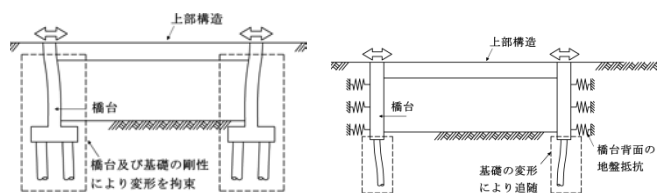
既設橋で見られる維持管理上の課題の一つに桁端部や支承部での腐食や、伸縮装置の損傷などがある。このような課題に対応する方法の一つとして、橋台と上部構造を剛結して支承と伸縮装置を省略する橋台部ジョイントレス構造（門型ラーメン構造、インテグラルアバット構造）（図-2）を採用することで維持管理の合理化を図る方法がある。またこの構造の採用により、地震時の落橋に至るリスクの軽減も期待される。この構造は数が多い中小規模の橋梁に対して適用性があり、新設のみならず更新需要の増加や維持管理のしやすさ等を考慮すると、今後採用される事例が増加すると予想される。このため、（独）土木研究所では、民間との共同研究において国内外の基準類や事例の調査、解析的検討等を行い設計法や施工法について取りまとめを行った。この成果を踏まえて、下部構造編において適用条件、設計で考慮する荷重、解析モデルや抵抗要素の設定、接合部の構造等に関する規定や解説を示した。例えば適用条件については、上部構造の温度変化に伴う変位などの影響を受けることから、門型ラーメン構造については単径間で径間長50m程度・橋台高さ15m程度・斜角75°以上の、また、インテグラルアバット構造については径間長40m程度・橋台高さ10m程度までの直橋に対してそれぞれ適用されていることを示している。なお、インテグラルアバット構造の設計や施工の詳細については、前述の共同研究の成果として取りまとめたインテグラルアバット構造の設計・施工ガイドライン(案)¹¹⁾が参考となる。



写真-3 崩落後のI-35W橋の全景（出典MN/DOT⁹⁾）



写真-4 トラス斜材の破断事例



(a) 門型ラーメン構造 (b) インテグラルアバット構造

図-2 橋台部ジョイントレス構造の種類

3.5 支承部の設計法の見直し

東北地方太平洋沖地震を含む近年の地震による

現地調査において、レベル1地震動に対して伸縮装置を保護する目的で支承部周辺に設置されていたジョイントプロテクターが写真-5に示すように地震によって破損したあとに落下による第三者被害が懸念された事例が確認された¹²⁾。また、調査時には、支承部周辺の構造が複雑なために、被災状況の正確な把握が困難な事例も確認された。

このような事例を踏まると、地震により支承部が損傷し、その部材や破片の落下による第三者被害が生じないように配慮すること、また、支承部周辺は可能な限り複雑な構造とならないようにする等、支承部の点検や維持管理の確実性及び容易さに対して配慮することが重要である。そこで、今回の改定においては、レベル2地震動により生じる水平力に対して変位制限構造と補完し合って抵抗する構造（従来のタイプAの支承部）の規定は削除し、レベル2地震動に対して支承部の機能が確保できる支承のみを規定した。また、伸縮装置自体をレベル1地震動に対してその機能が確保できるように設計することを基本とした上で、ジョイントプロテクターの設置に関する規定も削除している。



写真-5 ジョイントプロテクターが破損した事例

4. まとめ

今回の道路橋示方書の改定では、維持管理に関連して、設計の基本理念の表現が見直されるとともに、関連する規定が、全編にわたって大幅に充実された。今後、期待される耐久性が確実に発揮

できるように、適切な維持管理が可能な限り、確実かつ容易にできる良質な資産が形成されていくことが期待されるとともに、引き続き、各方面と連携して、維持管理に関連する課題の解決と技術基準への反映に向け、各種研究に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 平成21年度・平成22年度道路構造物に関する基本データ集、国土技術政策総合研究所資料第645号、2011。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0645.htm>
- 2) 玉越隆史：近年発生した橋梁の重大損傷の概要、道路、Vol.816、pp.28～32、2009。
- 3) ISO2394：General Principles on Reliability for Structures, 1998。
- 4) 玉越ほか：鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食への対応事例、土木技術資料、Vol.51、No.8、2009
- 5) 玉越ほか：吊材破断時の安全対策－PCアーチ橋の事例－、土木技術資料、Vol.52、No.7、2010
- 6) 玉越ほか：PC鋼材の腐食損傷への対応事例-妙高大橋のグラウト未充填と鋼材腐食の調査-、土木技術資料、Vol54、No.5、2012。
- 7) 玉越隆史：橋梁事故からの教訓－米国ミネソタ州I-35W落橋事故の例を踏まえて－、土木技術Vol.66、No.9、pp36～41、2011.9
- 8) 笠野英行、依田照彦：米国ミネアポリスI-35W橋の崩壊メカニズムと格点部の損傷評価、土木学会論文集A、Vol.66 No.2、pp312～323、2010
- 9) Minnesota Department of Transportation, Interstate 35W Bridge Photos,
<http://www.dot.state.mn.us/i35w Bridge/photos/>
- 10) AASHTO: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 5th Edition, 2010
- 11) (独)土木研究所、(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(社)日本橋梁建設協会、(社)建設コンサルタンツ協会：橋台部ジョイントレス構造の設計法に関する共同研究報告書（その3）、共同研究報告書第404号、2012.3
- 12) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報、国土技術政策総合研究所資料第646号／土木研究所資料4202号、2011。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0646.htm>

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

横井芳輝**



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
Yoshiteru YOKOI

西田秀明***



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター主任研究員
Hideaki NISHIDA

堺 淳一****



独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター主任研究員、博（工）
Dr. Junichi SAKAI