

道路橋の新技术評価の現状と課題

玉越隆史* 七澤利明**

1. はじめに

近年、技術の進展や社会資本に対するユーザーである国民のニーズの多様化などへの対応性から、社会資本整備および保全に係る設計・施工・維持管理の各フェーズにおいて、あらかじめ用意された仕様による解決を基本とするような画一的な技術基準類や契約方式を、既存の手法や概念に過度に拘束されることなく様々な工夫をもって合理的に解決することを可能とするような方式へと転換させる動きが進んでいる。このような既存の仕様などによらない場合には、技術基準類や契約条項が要求する性能を満足していることを容易には判断できないため、個々に性能を検証することが不可欠となる。しかし、現状ではその体制や手法は必ずしも十分に確立しているとはいえない。

本稿では、道路橋の設計・施工等を例に、新技术の適用にあたっての性能評価における課題と対応の考え方について考察する。

2. 新技术の考え方

新技术といえ、一般にはリアモーターカーやナノテクノロジーなど、既存技術に対して高度に進歩した革新的な技術を想像しがちである。しかし、道路橋の設計・施工に関する新技术として評価が必要となるものは、革新的な技術ということではなく、むしろ既存技術の改良など従来技術の延長にあるものが多い。例えば、JIS等の公的規格で品質が保証され、かつ現在の設計基準に具体的に許容値等の定めのある材料以外の材料を用いる場合には、材料的な特性に大きな相違がなくても、基準の準用が可能かどうかを確認したり、許容値やそれを前提とした部材設計に関する事項などについて新たに設定するなどの対応が必要となる。部材設計に用いる解析手法や設計理論の場合も同様である。基準に示す規定によっては、許容値や照査基準そのものがある特定の解析

手法や設計理論、あるいは実験データなどを前提に定められている。採用しようとする技術にこうした前提が当てはまらない場合、許容値や照査基準を適用する前に、それらが適用できるかどうかを検証する必要がある。検証の結果、基準に示す手法が当てはまらない、いわゆる基準からの「逸脱」にあたる場合には、個別に許容値や照査基準を設定していくこととなる。

このように性能照査にあたっては、第一に基準に対する逸脱にあたるかどうかの判断を適切に行うことが極めて重要となる。実務においては、始めの段階で逸脱と判断されないと、設計段階での性能評価にとどまらず、施工方法や品質管理など完成に至るまでの全てのプロセスに対して本来適用できない基準に準拠するという誤った対応が実行される可能性が高い。それらを途中段階で発見、是正することは極めて難しいため、認識されないまま不適切な構造物が供用される、あるいは最悪の場合には施工途中で不具合を生じるなど、取り返しのつかない事態をも招きかねない危険性がある。先般の米国の落橋事故の場合も、事故との直接の関係は不明であるものの重要部材に対する設計ミスが初期段階で看過されたために、結局は事

(1) 基準範囲の逸脱 ・規定の前提、根拠となったデータ範囲との乖離または不整合
(2) 基準範囲外の材料 ・基準で想定する範囲外の特性を有する材料 ・基準で想定していない使用方法
(3) 基準に規定のない許容値 ・基準に示されていない許容値 ・規定に示されていない照査手法に対する許容値 ・規定にない細部構造の用途・材料に対する許容値
(4) 基準に規定のない計算手法 ・基準に示された慣用法等の計算手法の適用にあたって前提となる条件が異なる
(5) 基準の前提と異なるメカニズム ・耐荷性能に対する前提となる部材や構造の耐荷力特性が異なる ・耐久性に対し前提となる部材や構造の特性が異なる ・構造の安定性に対する前提となる部材や構造が異なる
(6) 施工条件 ・設計と施工条件の整合 ・設計で要求される品質確保 ・施工時の安全性（安定性） ・施工性を考慮した細部構造
(7) 維持管理条件 ・耐久性の確保 ・維持管理の容易性

表-1 新技术として扱う事項の例

故による調査が行われるまで認知されなかったことが報じられている¹⁾。

表-1に近年の設計・施工実務に対して基準との適合性を検討した事例から、設計段階において新技術として基準からの逸脱の判断に関わる要因、着目点を抽出した例を示す。これらに該当する場合には、少なくとも基準適用の妥当性等の逸脱の判断を慎重に行うことが不可欠となる。

3. 評価の背景

我が国では、社会資本の整備とその保全については、国や地方公共団体など、管理者となる公的機関が発注者となり、民間企業等と請負契約を締結することで実施されてきた。請負者は契約内容として示される発注者側の基本的な方針に対し、設計や施工の主体部分を実行する。最終的な成果品の品質については発注者である官側が確認、成果を受領し、ユーザーである国民に提供する。これまでは、技術基準類や契約方式が概して既存の技術や手法を前提とした画一的、仕様規定的なものであったため、こうした構図が高い信頼性で成立してきた。

しかし近年、①将来の投資余力の減少や国等の財政状況の悪化に伴う社会資本整備に係るコスト縮減への強い要求、②社会資本に対する国民のニーズの多様化、③国際化の中で基準類、契約制度等の透明性や説明性の確保等のため、従来型の仕様規定や契約方式から、設計基準類については満足されるべき性能のみを遵守すべき事項として規定する性能規定化が、また契約方式についても業務の特性に応じた性能発注方式や技術提案型の契約方式が導入され、あるいは充実が図られ、新技術の採用など柔軟かつ多様な手法の適用が可能な環境となってきた。反面、発注者は請負者の提案の適切性や、要求した機能等を満足する品質を成果が有していることなどを検証・承認しなければならず、従来以上に技術力や判断能力が要求されることとなる。

4. 課題と対応

新技術の適用が可能な環境が整備される一方、制度と体制の不整合などの理由により、個々の検証の場において様々な課題が生じている。課題の原因と対応の考え方について以下に述べる。

(1) 提案の自由度と評価体制・期間の不整合

自由な提案（新技術）を可能とする契約等の枠組みに対して、提案内容と評価体制や評価にさくことのできる期間との不整合が生じた場合には、適切な評価が行えないことがある。すなわち契約制度や実務上の体制の問題から、評価に従事できる技術者等の体制や評価期間にはあらかじめ制約条件がある。

しかし、提案者にとっては企画競争の中でそれらの前提条件を考慮して適正な評価が行える範囲の提案を過不足なく提示することは、一般に困難である。評価者である発注者にとっても、体制や期間に応じて予め逸脱の程度を制限することで適正な評価が可能となるものの、提案者に対して許容される逸脱の程度などを提案要件として予め適切に提示することは困難であり、行われていない場合がほとんどである。また、提案内容が不明な段階で、評価に不可欠な高度な知識や経験を有する専門技術者などを、多岐にわたる分野に対して確保する目処を立てておくことは不可能に近い。

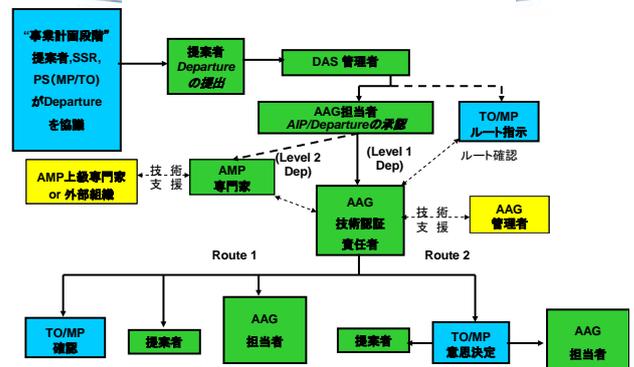


図-1 英国道路庁における逸脱審査の流れ

英国道路庁（Highways Agency）の例では設計内容を照査する技術審査制度の一環として逸脱審査システム（Departure Approval System）を設けている。逸脱の度合いに応じて、道路庁安全基準研究局の下の当該事業の認証担当者、あるいは性能照査の専門家が審査を行う制度である（図-1）²⁾。日本においても、高度な専門技術力等を有する技術者からなる機関を設けたり、支援体制を含めて少なくともどのような体制、期間で逸脱の度合いに応じた審査が用意されているのかについて広く明確にすることで、より合理的な新技術評価が可能となるものと考えられる。逸脱に応じた提案技術の区分と審査体制のイメージを図-2に示す。体制の構築にあたっては、逸脱の度合い

に応じて、意志決定に従事する人（発注者）や審査体制に求められる専門性や基準等に対する知見の質・量が異なること、知的財産権や営利の利害関係上、審査体制に中立性・透明性の確保が求められることに配慮する必要がある。

提案技術区分	基準逸脱内容(箇所)	主たる安全確認の方法	実績	専門性	照査体制	適用構造の例	
Standard	-	-	多	低	少	-	
Departure	(低)	・主構造以外 ・材料 ・施工方法	少 or 無	高	多	・外ケーブル構造 ・架設時開断面構造	
	(中)	・主構造 ・材料				・実物大実験 (or実績) AND 理論解析	・鋼コンクリート合成床版橋 ・波形鋼板ウェブ橋 ・ポータルラーメン橋 ・PRC構造
	(高)	・主構造 ・材料				・供試体実験 AND 理論解析	・鋼コンクリート複合トラス橋 ・プレテンションウェブ橋
	(特)	極めて特殊な構造等				・供試体実験 AND 理論解析	・長大橋、特殊橋梁

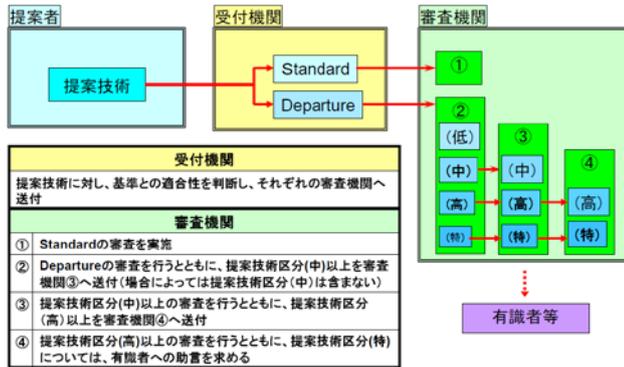


図-2 逸脱に応じた技術の区分と審査体制イメージ

さらに、こうした体制の構築の程度にかかわらず、個人や組織が単独で具備できる知識や経験には限界があるため、多岐にわたる最新技術や基準内容について技術者による判断、評価を様々な観点で支援することも重要である。当室では、独立行政法人土木研究所の関連部署とも連携して、技術者への事例の紹介や技術情報の収集・周知等に取り組んでいる。様々な観点で新技術の評価に係るナレッジを共有する仕組みの構築により、より合理的に新技術評価を行うことが可能となる。

(2) 技術の複雑性

橋梁は多様な部材から構成される構造物であり、地盤も含めた抵抗機構が極めて複雑である。また、自動車による荷重、地震や風による影響など橋に作用する荷重の種類やばらつきが大きく、これらが組合わされた状況を想定しなければならないことから、求められる性能を定量的に示すことは容易ではない。したがって、基準に示す標準解から逸脱した提案を評価する場合、基準が求める性能

を有しているか検証する必要があるものの、その性能評価方法を提案内容に応じて一般化、標準化することは難しい。

道路橋の技術基準である道路橋示方書（「橋、高架の道路等の技術基準」として国土交通省道路局長、都市・地域整備局長より通達）は、平成13年に性能規定の概念を導入した改訂がなされた。従来の種々の規定について、それらが要求している事項（達成されるべき性能）をできるだけ規定として表現する一方、従来の規定内容の多くを、要求が満足できる解の一つと位置づけ、それによらない方法も許容されるという体系に改めている。これにより、従来型の技術や手法によらない設計も可能となったものの、実際には基準の要求が定量的あるいは具体的検証方法としては示されていないものも多い。このような場合、一つの解として示された従来規定による場合との同等性を証明することで性能照査とするなど、要求性能を合理的に直接検証することが困難な場合も多い。

このため、次期の道路橋示方書の改訂作業においては、性能照査型の基準としてより実効性を高め、新しい材料や工法などの導入に際してもより具体的に性能検証ができることを目標の一つとして検討を進めている。例えば、様々な不確実性等の要因にかかわる安全余裕を一つの安全率に集約した許容応力度設計法を基本としている現在の規定から、種々の要因や荷重の種類毎に安全率を合理的に設定できる部分安全係数設計法への移行の検討もその一つである。基準が求める安全余裕とその根拠についてもできるだけ明らかにすることにより、基準からの逸脱技術を適用する場合に検証すべき事項や有すべき安全性の水準、検証方法等が明らかとなるよう、基準改訂や参考資料の整備等を進めていく予定である。

(3) 知見や技術の不足

橋梁等のインフラは、社会・経済活動や生活を支える基礎であり、一旦供用すれば極めて長期に渡り機能し続けることが求められる。普段使用している橋がある日突然通行止めとなることは、橋を使用する国民や企業は想定もしておらず、震災などの異常時を除き、そうした事態が生じ得ることも、現代の日本では一般に許容されない。

一方、橋梁の耐久性に係る知見は未だ十分でなく、交通荷重、地震、台風などの自然災害、塩分

の浸透や凍結融解など多種多様な作用を受ける中、長期に渡り機能し続けることについて、工学的・技術的に必ずしも高い信頼性で裏付けられているわけではない。現行の道路橋示方書では、耐久性に関する規定について100年を目安として設定している。しかし、日本で初めてプレストレストコンクリート橋が造られたのは約50年前であること、鋼部材も古くはリベットにより連結されており溶接の規定は昭和47年の示方書からであることなど、現在主流となっている技術の多くが適用されてからの期間は、橋自体に求められる供用期間と比べて短い。プレストレストコンクリート技術など、海外ではより早い時期から適用されている例も少なくないものの、日本とは自然条件や社会条件が異なるため、必ずしも海外での知見がそのまま反映できるわけではない。コンクリートの塩害、アルカリ骨材反応、床版の疲労損傷、鋼部材の疲労き裂など橋を構成する部材の劣化損傷メカニズムや、進展予測、点検・診断・評価手法や対策技術など耐久性に係る損傷と対応についても、未だ知見や技術が十分でない。

昨年8月には米国ミネアポリスで橋梁の崩壊事故が起こり多数の死傷者が生じた(写真-1)。米国運輸安全委員会(NTSB)等の発表によると崩壊の直接の原因については本稿執筆時点でも特定されておらず依然調査中となっている。本橋は供用から40年が経過しており、過去からの定期的な点検に加えて、近年では管理者による詳細な点検や応力計測などの調査が行われていたにも関わらず事故に至っている。また設計図面や事故前後の写真や動画なども公開されるなど膨大な情報が把握されている中、大がかりな原因究明等の調査が行われているにもかかわらず事故後半年以上経過してもその原因は特定されていない。一見単純な構造形式や設計原理に基づくものでも、実際の橋が力学的には複雑な挙動をしている複雑系の構造物であることや、劣化・損傷・崩壊などに対する工学的知見の不十分さ、それらを踏まえた点検・診断の難しさを裏付ける結果となっている。

こうした崩壊事故はもちろんのこと、重大な損傷による突然の通行止めなど不測の事態の発生を最小化するため、劣化・損傷メカニズム、点検、

診断、健全度評価や対策技術の開発が重要であり、国自らによる研究のみならず、産学の研究や技術開発を促進する仕組みづくりが重要となる。

また、新設橋の設計時において、構造的な耐久性の確保はもちろんのこと、点検しやすいことやや損傷が想定される部材をあらかじめ交換が行える構造とすることにより、長期にわたる供用性をより合理的に、高い信頼性で確保することが可能となり、こうした設計技術等の開発や基準類への反映も重要な課題となっている。



写真-1 崩壊した米国ミネアポリスI-35W橋

5. まとめ

本報告で示した新技術の概念、評価の背景と課題、対応に関する考え方を参考に、より適切な技術評価が実施され、信頼性の高いインフラの社会への提供の一助となれば幸いである。

参考文献

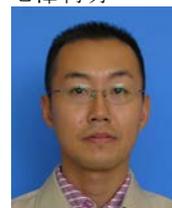
- 1) 例えば、National Transportation Safety Board, US: NTSB Urges Bridge Owners to Perform Load Capacity Calculations Before Modifications; I-35W Investigation continues, Jan 15, 2008
- 2) Brian Allison, HA: Departures Approval System, 2005

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

七澤利明**



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
Toshiaki NANAZAWA