

J-BEC

レポート

2014 Vol. 10



一般財団法人 橋梁調査会
Japan Bridge Engineering Center

目 次

巻頭言

長岡技術科学大学名誉教授 丸山 久一

「道路橋点検士」資格の創設について 01

橋梁点検業務の 10 年 04

橋梁診断室の発足と期待される役割 08

自主研究

・道路橋コンクリート床版の「土砂化」に関する調査報告 11

助成研究

・世界最大橋梁震動台実験を基にした橋梁システムの数値解析技術の高度 18

化とそれに基づく橋梁上部構造 2 次部材を利用したダンパーの効果

・接触電気抵抗を指標としたボルトの緩み点検手法の開発 27

海外調査報告

・第 36 回 IABSE シンポジウムに参加して 33

トピック

・国土交通行政関係功労者表彰の受賞について 35

・橋梁研究開発助成等について 36

・第 2 回賛助会員特別講演会の報告 37

・橋梁床版に関するセミナーの報告 38

古(いにしえ)の橋探訪 39

重厚さと軽快さの調和した六連アーチ橋

新潟・萬代橋(ばんだいばし)

お知らせ

・第 2 回 国際シンポジウム 開催のご案内 41

・平成 27 年度 橋梁点検技術研修会 開催のご案内 42

インフラ整備技術の今後の展開



長岡技術科学大学名誉教授
丸山 久一

その昔、“当たらない”ものの代名詞として天気予報が挙げられていた。当たらない天気予報の精度をいかに上げるかに捧げられた多くの人々の献身的な努力により、現在では、気象予報と言えは非常に精度が高いものとなっている。毎日の天気予報では気象衛星の画像が示されていて、視聴者でも数日先の変化を読み取ることはそれほど難しいことではない。新田次郎氏の小説「芙蓉の人」は、富士山頂に初めて気象観測所を設置した夫妻の感動の物語で、関係者の思いと献身的な努力の一端が垣間見える。

気象とインフラ整備との関係については、数年前に阪田憲次先生（当時、土木学会長）から伺った話を思い出す。1959（昭和34）年に中部地方を襲った伊勢湾台風による被害と2009（平成21）年の台風18号による被害の比較である。上陸時の台風の規模は超特大級（伊勢湾台風：中心気圧925hpa、最大風速50m、台風18号：中心気圧955hpa、最大風速40m）で、進路はほぼ同様であったが、被害の程度には雲泥の差があった。ダムを始めとする流域の河川整備により、50年後の台風18号では被害を非常に小さくすることができた。

さて、わが国も先進国の社会現象とされる少子高齢化が進みつつある。マスコミや有識者の間では年金問題、社会保障問題、国家予算の課題等が喧伝され、一時期、無駄遣いとして公共事業バッシングも起きた。国家予算の5%程度しかない公共事業費を削ることで、将来の問題が全て解決するかなのような錯覚を与える“空気”が醸成された。

しかし、3年前の東日本大震災や2年前の笹子トンネル事故により、改めてわが国が置かれている自然環境の厳しさに思いを致すこととなり、“空気”が一変した。ただ、「糞に懲りて膾を吹く」きらいがないわけでもない。復興に懸ける強い思いは国家予算にも現れているが、あまりに“二度と同じ思いは繰り返さない”に囚われ過ぎて、復興そのものが遅れている。社会インフラの老朽化も大きくクローズアップされ、早期発見早期対策が叫ばれているが、早めの対策は劣化の速度を抑えることはできても、インフラの寿命を無限に長くすることはできない。いずれは取り替える時期がくることを想定しておく必要がある。

構造物を未来永劫使用し続けるという考えが本当に良いのかという点も、再考すべきことである。現在の状況が変わらず、これ以上の進展はありえないのであれば、数百年の耐用年数のある材料、構造は大きな意味を持つ。ただ、未来については、誰も正確な予測ができない。少なくとも、100年前、あるいは50年前を振り返ってみても、当時に現在の状況が予測できていたとは思われない。1884年に竣工したガラビ鉄道橋（錬鉄アーチ橋、フランス）や1930年竣工のサルギナトーベル橋（RCアーチ橋、スイス）は名橋であって、建設当時は世界の最先端の橋梁であった。耐久性にも優れていて、現在でも供用されている。ただ、ガラビ鉄道橋では、5両編成の列車が一日数往復、しかも非常にゆっくり走行している状態だし、サルギナトーベル橋は、幅員が3.5mしかないため、自動車の片側通行がやっとである。構造物に求める性能や機能は、建設時点での社会の要請に基づくものである。社会は時代とともに変わり、人々の求めるものも変わってくる。

インフラは何のために整備するのかという命題については、塩野七生女史の名著「ローマ人の物語」に我が意を得たりという表現がある。曰わく、“人間が人間らしく生きるために”。2,000年も続いたローマ帝国がなぜ滅んだかは多くの歴史家の興味を引いてきたようで、数多くの著作が残されている。滅亡の原因として、インフラの維持管理費が増大して国家経営が破綻したためというものがある。塩野女史の見方を敷衍すると、人間が人間らしく生きるのを諦めたために滅んだと言えなくもない。

本年7月に国土交通省から省令としてインフラの点検が義務づけられ、既存施設・設備の維持管理が強調されるようになった。それは必要なことであり、目下の緊急業務であるが、忘れてならないのは、20年後あるいは50年後の社会において、その時点で必要なインフラを整備できる技術を伝承し、新たな技術開発を可能とする能力を失わないことである。そのためには、技術開発が求められるプロジェクトを恒常的に用意し、ベテランと新鋭の技術者が共に苦勞して目的を達成する環境が是非とも必要である。

「道路橋点検士」資格の創設について

審議役 兼 企画部長 大石 龍太郎

1. 「道路橋点検士」資格創設の背景

1) 道路橋の急速な高齢化と劣化損傷の進展

我が国の道路橋は、高度経済成長期（1955年～1974年）に多くのもが建設され、日本の社会経済文化の発展に寄与してきた。しかし、図-1に示すように、それらの道路橋は、今後急速に高齢化し、それに伴う劣化損傷も急速に進展していく可能性が大きく、道路橋の点検、診断、措置、記録というメンテナンスサイクルの確立が従来にも増して重要となっている。

2) 笹子トンネル天井板崩落事故を契機とした道路構造物総点検

平成24年12月2日に起きた笹子トンネル天井板崩落事故を契機に、道路橋を含む道路構造物の総点検が国土交通省により平成25年2月から開始された。この総点検は第三者や利用者の被害防止の視点から実施されたものである。崩落した天井板はトンネルの付属物であり、道路構造物の中でも事故の危険性が高いのは道路付属物（構造上、本体施設に付加するため、接点部の面積が小さく、応力集中、腐食等の劣化が進みやすい）であることを再確認させられたものである。

3) 道路橋の維持管理に関する法令の制定

その後、国土交通省により、長年定められてい

なかった道路法における維持管理に関する政令が平成25年9月2日に施行された。さらに、道路橋等の重要構造物の定期点検はそれらを適正に行うために必要な知識及び技術を有する者が行うこととし、5年に1回近接目視を基本として、健全性の評価も行うという内容の省令、告示が平成26年7月1日施行された。併せて、道路橋定期点検要領も定められた。

4) 社会資本整備審議会による答申、警告

平成25年12月25日には、社会資本整備審議会の「社会資本メンテナンス戦略小委員会」から答申が出され、維持管理に関する諸課題について様々な有益な提言がなされた。その中で「法令や基準を理解し、個々の施設特性に応じた適格な点検・診断業務を確実に実施できる技術者・技能者の育成、点検や診断に関する資格制度の確立、民間資格の活用、資格取得者による維持管理業務の履行の推進」が謳われている。さらに、平成26年4月14日には同審議会道路分科会より「最後の警告」と題して「今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れ」との提言が出された。

5) 公共工事の品質確保に関する法律(品確法)の改正

平成26年5月29日に品確法が改正された。その内容には公共工事に従来より必要とされていた重要な

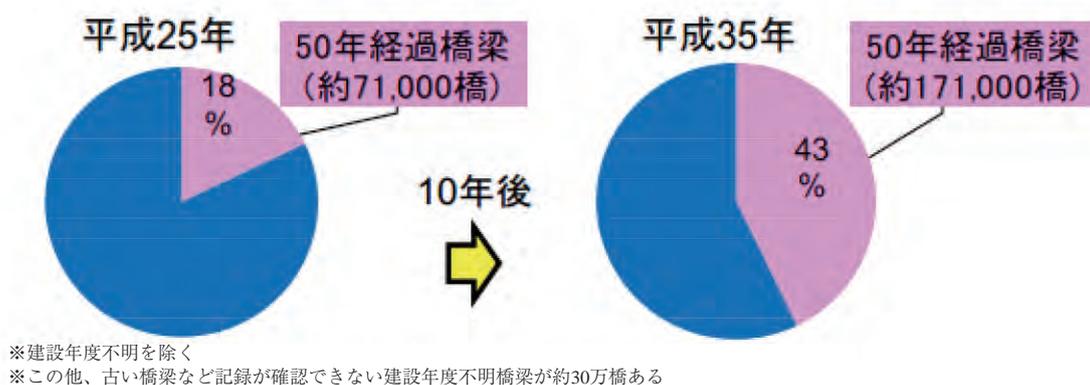


図-1 道路橋の高齢化

事項を多く含んでおり、その中で「公共工事に関する調査（点検・診断を含む）及び設計に関し、必要な知識又は技術を有する者の能力を十分に活用することによる品質確保（資格制度の活用等）」が謳われている。

以上のような状況に鑑み、今後は、道路橋の点検技術者の更なる技術力の向上や点検結果の精度・信頼性の確保を図る必要があるため、（一財）橋梁調査会は、「橋梁点検技術研修会」を継続教育制度を取り入れた更新研修を含む「道路橋点検士技術研修会」に発展的に改組し、この研修会を修了し、試験に合格し、かつ所定の実務経験を有する者を「道路橋点検士」として認定する制度を創設し、道路橋の点検技術に関する民間資格として、上記の政策や法令に呼応せんとするものである。

2.（一財）橋梁調査会における人材育成と研修終了者の活躍

今から20年ほど前、道路橋の塩害や疲労等の損傷が全国的に深刻化し、一方で平成5年には設計自動車荷重が20tfから25tfへ変更され、橋梁保全の重要性が強く認識され始めた。そこで、平成6年度から主に直轄国道の道路橋の点検業務に従事する技術者を対象に、道路橋の点検方法や記録方法の標準化のために定められた「橋梁点検要領（案）（建設省土木研究所S63）」の理解と基礎的な点検技術の取得を目的に、「橋梁点検技術研修会」が開始された。その後、（財）海洋架橋・橋梁調査会（現（一財）橋梁調査会）が引き継いで、平成16年に改訂された「橋梁定期点検要領（案）（平成16年3月国土交通省国道・防災課）」に沿った研修内容に変更し、「橋梁点検技術研修会」を毎年実施してきた。

この20年間で68回の研修会が開催され、学科及び実地試験に合格した延べ9,435名（民間5840名、道路管理者3595名）の道路橋の点検技術者を養成してきた。それらの技術者は、国道の点検業務はもとより、地方公共団体における道路橋点検業務においても活躍している。ちなみに、国土交通省の業務では、道路橋点検業務の受託者は本研修終了者が実体的に当たっている。地方公共団体では、当調査会で調べてみたところ、道路橋点検業務における入札参加要件に本研修修了者を指定している自治体もあるが、更なる活用が期待される。

3.「道路橋点検士」資格について

前述のように、今後、道路橋が急速に老朽化していくことを踏まえ、各道路管理者の責任による点検→診断→措置→記録というメンテナンスサイクルを確立するために法令等の整備が進められている。この道路橋の点検を担う点検技術者の更なる技術の向上や点検結果の精度、信頼性の確保を図るため、国が定める統一的な「橋梁定期点検要領」に基づく点検調書を適切かつ正確に作成できる技術力を有する技術者の資格として、（一財）橋梁調査会は「道路橋点検士」を創設した。

1) 道路橋点検士技術研修会の概要

研修会に参加するための受講要件として、大学卒業後5年以上（土木等の指定学科は3年以上）の橋梁に関する実務経験を有する者としている。これは、点検技術を取得するためには、橋梁に係る知識と経験が不可欠なためである。この研修会は、3日間の研修プログラムの中で、橋梁の維持管理全般、国が定めている橋梁定期点検要領（平成26年6月）、損傷評価基準、点検調書の記入要領、対策区分判定要領、鋼橋・コンクリート橋の点検方法、鋼橋・コンクリート橋の補修補強に関する講義と橋梁点検の現地研修を実施している。また、研修の最後には、橋梁の設計、施工、維持管理（点検技術を含む）に関する知識の試験及び実橋における点検調書作成技術の試験を実施し、両試験の合格者に研修修了証を授与している。なお、橋梁調査会では、試験問題の作成に当たり、道路橋に関して経験豊富な大学教授や元行政官による委員会を設置し、試験問題の妥当性を評価している。

2) 資格取得に向けて

資格取得までの流れを図-2に示す。橋梁点検技術研修会修了者は、平成16年度以降の既設道路橋に関する一定の点検・診断に関する業務実績を添えて登録申請を行い、当調査会の道路橋点検士制度委員会にて審査し、当調査会理事長に認定されれば、道路橋点検士として登録される。有効期間は4年間で、4年後には更新研修を受講することにより、再登録できる。この更新講習では、最新の道路橋の維持管理政策や新たな点検技術等に関する知見を提供することとしている。詳細は当調査会ホームページを参照されたい。

4. 全国70万道路橋の安全確保に向けて

日本の道路橋の危機的な現状を考えると、まず、道路橋をしっかりと点検することが重要である。道路橋の安全を確保するためには近接目視等による損傷状況の把握と評価がまず必要となる。それらの技

術を有する者が「道路橋点検士」である。かつての1980年代の「荒廃するアメリカ」の二の舞とならないように、産学官が総力戦で臨まなければならないが、現場の第一線での道路橋の安全に係るリスクを捉え、対処できる「道路橋点検士」が全国で活躍されることを期待している。

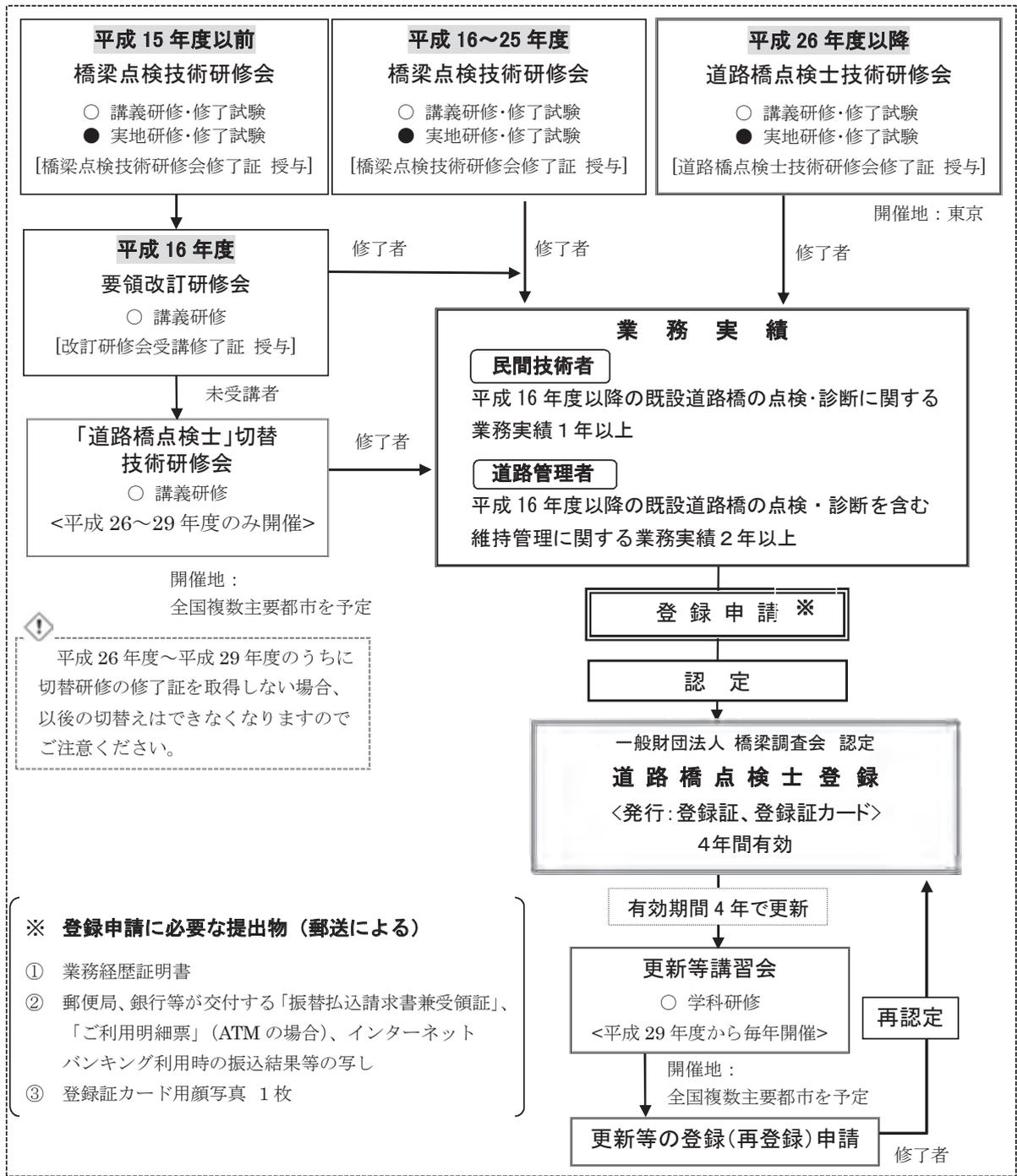


図-2 道路橋点検士資格取得までの流れ

橋梁検査業務の10年

関東支部長 兼 上席調査役(前調査部長) 関口 利昭

1. 直轄国道の橋梁検査(診断)

一般財団法人橋梁調査会(以下JBEC)は、平成16年度より国土交通省が管理する直轄国道の橋梁について、橋梁検査(診断)を行ってきた。直轄国道の橋梁点検・検査(診断)は、「橋梁定期点検要領(案)」(平成16年3月 国土交通省道路局国道・防災課)に基づき実施している。

定期点検要領では、一般国道の2m以上の橋梁について、5年に1回の頻度で近接目視によって行うことを原則としており、点検業務はコンサルタント等が行い、検査(診断)業務はJBECが担当して実施している。

平成16年度より全国(沖縄を除く)で検査(診断)した橋梁数は10年間で約5万橋となっている。平成25年度までに2巡目点検がほぼ完了し、平成26年度からは3巡目点検が実施されている。平成25年度までに実施された橋梁数及び判定結果は表-1及び図-1のとおりである。

我が国の橋梁は、高度経済成長期(1955年～1975

年)に約3割が建設されており、建設後50年を経過した橋梁は、2012年は16%、10年後の2022年は40%、20年後の2032年は65%になると公表されている。道路橋の点検・診断に関しては、平成20年5月に国土交通省で行われた「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」において、道路橋の保全の現状は「見ない、見過し、先送り」であり、放置すると重大事故につながる危険な橋が増大すると分析され、早急な対応として5つの方策が提案された。その1つに「点検及び診断の信頼性の確保」があり、人材育成の充実とともに、点検者及び診断者の技術能力と責任を明確にする資格制度が提案された。

JBECは平成6年～平成15年に実施された(財)道路保全技術センターの「橋梁点検技術講習会」を引継ぎ、平成25年までの研修終了者は9,435名となった。平成26年からは、道路橋点検士技術研修会に改組し、試験に合格し、必要な業務実績を有する者を「道路橋点検士」と認定することとした。

表-1 直轄国道の橋梁点検・検査(診断)の実施状況

年度		地整	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	合計
H16年末	管理橋梁数(A)	—	—	2,755	2,605	1,693	3,572	3,551	2,708	1,941	2,907	21,732
H16～H20	検査(診断)(B)	—	—	2,990	3,015	1,626	3,271	3,040	3,189	2,015	2,408	21,554
実施率(B/A)		—	—	109%	116%	96%	92%	86%	118%	104%	83%	99%
H21年末	管理橋梁数(C)	3,931	2,917	2,689	1,711	3,793	3,681	2,969	2,040	3,052	26,783	
H21～H25	検査(診断)(D)	4,051	3,047	2,740	1,774	4,407	3,825	2,991	2,304	3,459	28,598	
実施率(D/C)		103%	104%	102%	104%	116%	104%	101%	113%	113%	107%	

※北海道は平成24年度より、JBEC・ローメックJVで受託した。

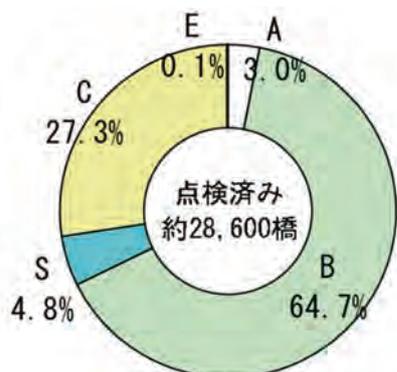


図-1 直轄国道の対策区分判定結果(平成21年度～平成25年度)

判定区分	判定区分の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
S	詳細調査の必要がある。
C	速やかに補修等を行う必要がある。
E	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。

平成25年6月には道路法の一部を改正する法律が公布され、道路法施行令、同規則の改正が行われ、橋梁定期点検要領も変更された。平成26年度からは新要領により点検・診断が行われることとなり、新たに道路橋毎の健全性の診断が行われる。

2. 橋梁検査（診断）業務の内容

橋梁検査（診断）業務は、橋梁検査（診断）員が自ら近接目視による現地確認（写真－1）を行って損傷状況を把握し、部位・部材単位で補修等の要否とその時期を示す対策区分を判定し記録する業務である。

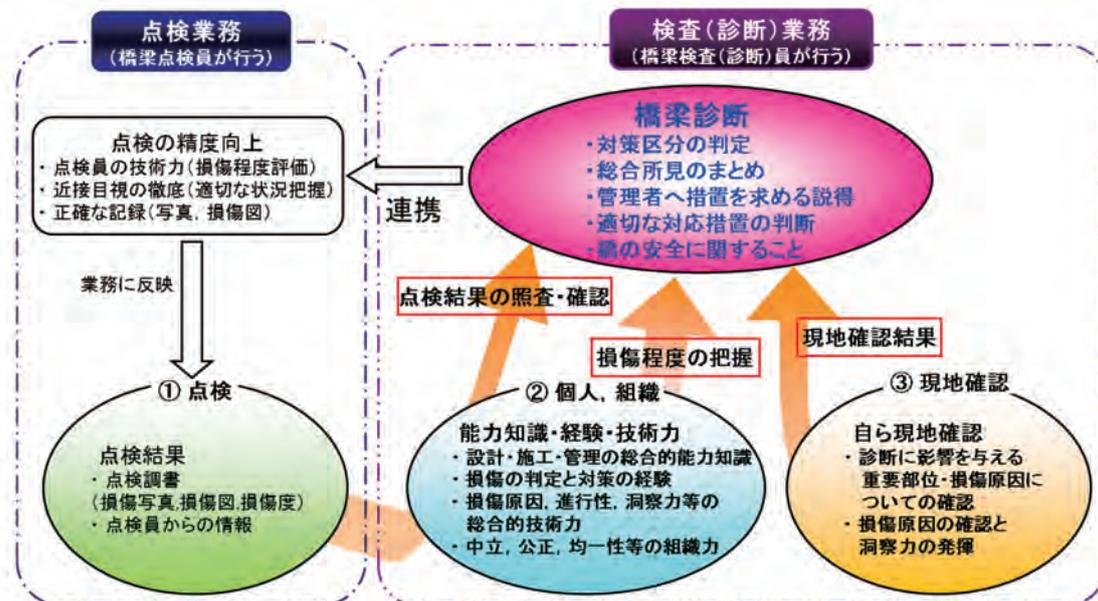
対策区分の判定を行うには、点検で確認された複



写真－1 近接目視による現地診断状況

表－2 検査（診断）業務で考慮する主要な項目

主な項目	考え方（判定に影響する事象）
①構造形式と橋梁諸元	・構造形式の違いによる損傷の特徴 ・橋長、支間、幅員、勾配等と損傷の関係 ・ゲルバーヒンジ部、鋼部材埋込部など特定部位の損傷と影響
②架設年次と適用示方書	・架設後の経年劣化による材料劣化等の影響 ・設計時適用示方書の違いによる損傷の発生と種類
③大型車交通量	・大型車交通量が損傷に与える影響 ・交通量の多い路線の補修の難易度
④周辺環境	・塩害環境（融雪剤含む）が損傷に与える影響 ・寒冷地域が損傷に与える影響
⑤補修、補強履歴	・補修、補強が未施工な場合に損傷に与える影響



図－2 橋梁検査（診断）員が行う検査（診断）

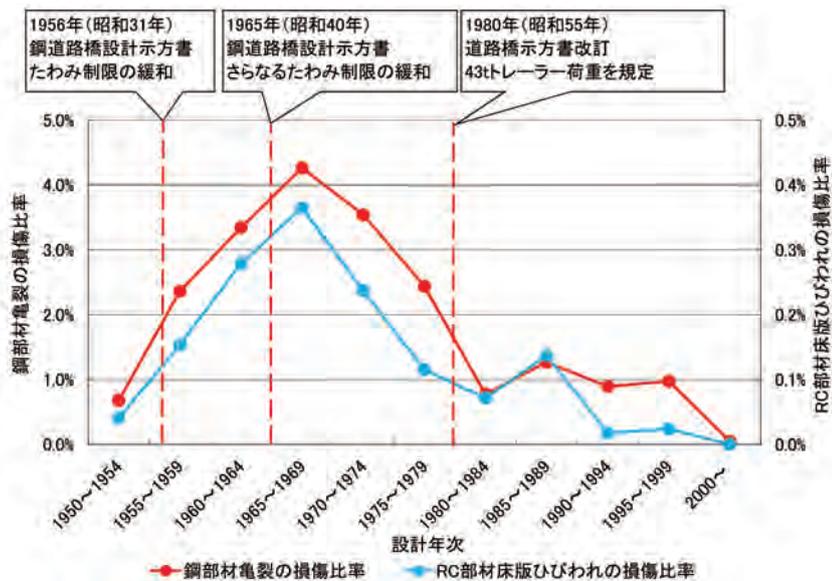


図-3 適用示方書と亀裂、床版ひびわれの損傷発生比率



数の部材の複数の損傷について主要な項目(表-2)を考慮して評価し、橋梁全体について総合的な評価を行い、所見を記録する。また、橋梁検査(診断)員には、道路管理者の理解や判断のための情報として、橋梁構造の安全性や適切な対応措置に関する説明力も求められている。図-2はそれらを概念的に示したものである。

表-3 データ処理項目

項目
管内橋梁数(地整・事務所別)
橋梁数の内訳、橋面積の内訳(15m未満・以上)
橋長別橋梁数、架設年次別橋梁数
材料別橋梁数(地整・事務所別)、材料別橋梁形式の比率
架設年次別材料別橋梁数とC判定橋梁数
橋梁リスト(三大損傷原因付)
点検・検査の進捗状況(地整・事務所別)
対策区分の判定(橋梁数による比率)(地整・事務所別)
対策区分の判定(部材数による比率)(材料別)
材料別損傷部材の比率(鋼橋・PC橋・RC橋)
架設年次別 損傷種類別損傷部材数
材料別損傷原因の比率(鋼橋・PC橋・RC橋)
塩害地域別経過年別コンクリート部材損傷の比率
大型車交通量と損傷の関係
路線別架設年次別大型車交通量別損傷比率
RC床版の張出し部別漏水遊離石灰損傷の比率
設計年次別鋼橋上部構造鋼部材亀裂の損傷比率
設計年次別鋼橋RC部材床版ひびわれの損傷比率
補修の優先度の算定リスト

3. 損傷の概要

定期点検結果から得られた一般的な損傷の特徴は、以下のとおりである。

- ① 鋼主桁の腐食は桁端部が多い(写真①)
- ② 鋼支承の腐食は桁端部が多い(写真②)
- ③ コンクリート主桁の剥離・鉄筋露出は外桁に多い(写真③)

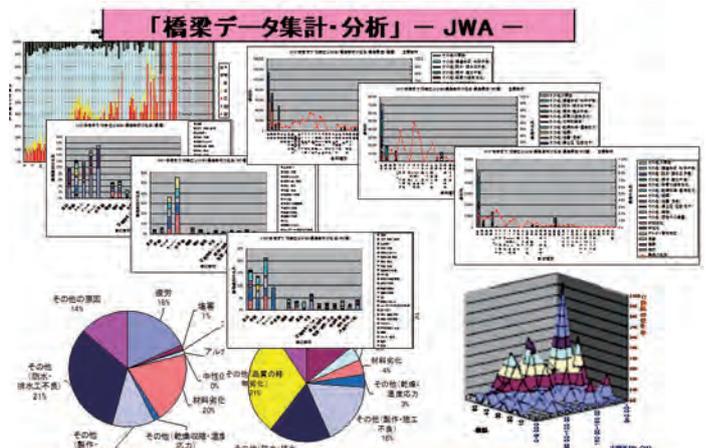


図-4 データの集計・分析結果イメージ

表-4 評価要素・項目

評価要素	評価項目	優先度の判断要素の例	
I. 損傷	損傷	I-1 種別	三大損傷
		I-2 進行性	進行が早い
	損傷部位	I-3 損傷部位	主要部材のC損傷数
		I-4 損傷範囲	C損傷の部材数
	架設環境	I-5 塩害環境	塩害の影響地域
		I-6 防災関連	河川状況等
II. 橋梁特性	特性等	II-1 建設年次	建設後50年経過
		II-2 交通量	大型車交通量
		II-3 路線	重要路線
	重要度	II-4 本線橋	本線橋/側道橋
		II-5 橋長	15m以上
		II-6 迂回路	有無・迂回距離
	他工事予定	II-7 工事予定	耐震補強工事予定の有無など
III. 第三者への影響	III-1 交差物	跨線橋・跨道橋等	
	III-1 損傷部位	伸縮装置段差、防護柵破断など	

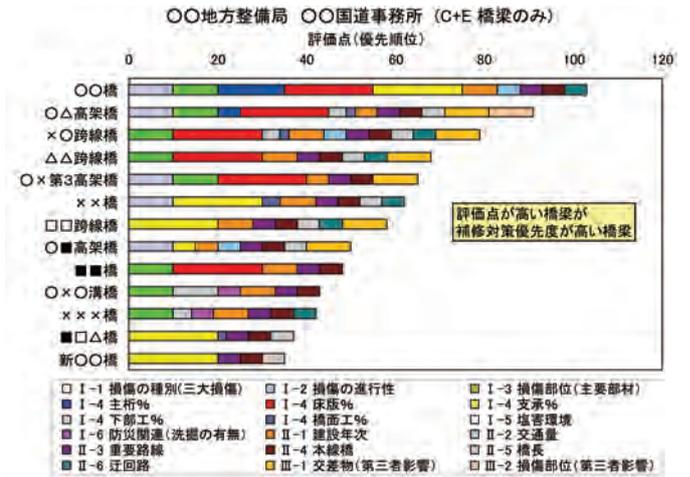


図-5 補修優先度の算定例

計画」立案の支援を行っている(表-4、図-5参照)。

- ④鋼橋の対策区分Cの損傷は腐食が大半である
- ⑤RC床版の漏水・遊離石灰は床版張出部に多い
- ⑥大型車交通量の多い橋は対策区分Cの損傷が多発している
- ⑦昭和31年、39年適用示方書は、亀裂、床版ひびわれが多発している(図-3参照)
- ⑧緊急対応が必要なE1損傷は桁端部に集中している

4. JWAシステムによるデータの集計分析

橋梁診断を効率的に実施するためのワークアシスタントであるJWAシステムを独自開発し、橋梁診断に必要な損傷傾向などの集計分析を短時間で実施可能としている。(表-3、図-4参照)

5. 橋梁マネジメント

点検・検査の結果を受けて、データの集計分析を行い、データにもとづいた効率的な補修補強計画を立案することが重要である。橋梁マネジメントでは、ライフサイクルコスト最小化を目指し、予防保全型の橋梁管理、長寿命化、予算の平準化等が検討されている。JBECでは、対策区分Cの橋梁の補修優先順位を算定するシステムを開発し、「戦略的な補修補強

6. 橋梁検査から橋梁診断へ

橋梁検査業務は、平成16年度より平成26年度までの10年間は、「橋梁定期点検要領(案)」(平成16年度 国土交通省道路局国道・防災課)に基づき損傷状況の把握、損傷原因、対策区分の判定などを行ってきた。このH16要領では、これらの作業を「検査」業務と位置づけ、業務に携わる人員の名称は、「橋梁検査員」としている。しかし、これらの作業は、一般的には「診断」業務と呼ばれることが多く、診断業務として説明した方が理解されやすい。

国土交通省の平成25年度発注業務は、10業務のうち6業務が「橋梁診断業務」として発注された。平成26年度からは、道路法の改正により2m以上の全ての道路の点検・健全性の把握が位置づけられ、橋梁定期点検要領も改正された。新しい橋梁定期点検要領では、「健全性の診断」を行うこととなり、診断という用語が用いられている。

JBECでは、一般的に用いられる「診断」の意味を十分理解し、対策区分の判定や健全性の判定だけでなく、医者が行っている「処方せん」に相当する部分について、技術の研鑽を行いながら業務を実施していきたい。

橋梁診断室の発足と期待される役割

専務理事 兼橋梁診断室長 西川 和廣

はじめに

平成26年4月、一般財団法人橋梁調査会に橋梁診断室が発足した。地方整備局の橋梁検査（診断）業務に対する意識の変化や、昨年来次々と実施された法令改正に対応するために本部に設けた組織であるが、そこに至った背景と考え方、期待される役割についてご紹介したい。

1. 背景・・・点検の延長としての検査から本格的な診断へ

(1) 検査業務から診断業務へ

直轄管理の道路橋の定期点検は平成16年度にスタートし、同時に橋梁定期点検要領も策定された。時期を同じくして再編、発足した海洋架橋・橋梁調査会は、同要領に位置付けられた橋梁検査業務を主要な業務として取り組んできた。

検査業務とは、点検結果を評価し、橋梁の損傷状況を把握した上で対策区分の判定を行うもので、構造安全性の観点から「速やかに（おおむね次回点検までに）補修等の対応を行う必要がある」、「状況に応じて補修を行う必要がある」等の対策区分に分類するものである。判定結果は、区分ごとに定められたA、B、C、E、M、S等の記号を部材ごと、部位ごとそして損傷の種類ごとに付すとともに、損傷の状況、損傷の原因、損傷の進行可能性、判定理由など、定期点検後の維持管理に必要な所見を記録することとされている。

定期点検が始まった当初は、アルファベットで示された対策区分ばかりが目立って注目され、調書に記入された所見についてはあまり重視されない傾向があった。その後、補修・補強等の対策が進み始めると、対策の優先順位付けや補修工法の選定に対して所見欄の記載事項、とくに橋梁全体に対する総合的な所見についての整備局の意識が高まり、しっかりとした記述が求められるようになった。これと並行して業務の名称も、過半の地整で橋梁検査業務から橋梁

診断業務へと崩し的に変更され、要領に沿った対策区分の分類から、その後の処方を含めた本格的な「診断」へと道路管理者の意識も徐々に変わってきた。

(2) 法令の改正

平成24年12月に発生した中央道笹子トンネルの天井板落下事故の衝撃は、インフラ施設の維持管理に関わる大きな転機となった。長年の懸案であった、道路法および道路法施行令の維持管理に関する条項が平成25年6月改正され、道路管理者の責務として道路橋を始めとする道路構造物の「点検」が初めて法的に位置づけられることになった。さらに翌26年3月31日には、道路法施行規則（省令）の改正と大臣告示が公布され、地方自治体の管理するものも含め、すべての道路橋について、5年に一度、近接目視により点検し、その健全性を「診断」してⅠ～Ⅳの区分に分類することになった。ここで「診断」という言葉が法令の中に初めて登場したのである。

(3) 平成16年要領から26年要領への改訂

橋梁診断室発足後のことになるが、改正された省令と大臣告示が7月1日に施行されると同時に、橋梁定期点検要領が改訂された。要領は地方自治体向けの道路橋定期点検要領と、直轄向けの橋梁定期点検要領とに分けられている。自治体にとっては、すべての橋梁、5年に一度、近接目視という省令の内容が大きな衝撃となったようであるが、直轄管理の橋梁の検査（診断）を主たる業務としている橋梁調査会としては、むしろ点検要領の改訂に本質的な課題を見出すことになった。

平成16年要領では、点検結果を評価し主として「構造安全性の観点」から対策区分を分類していたが、今回の要領では、「予防保全（耐久性）の観点」という視点を加え、速やかに対処すべきとされるC区分が細分化された。構造安全性の観点からの評価（C2）は、文字通り点検時における損傷状態がベースになるが、予防保全（耐久性）の観点から（C1）

ということになると、今後の劣化・損傷の進行予測とそれによって変化する補修工法の適用性を念頭に置きながらでないと評価できない。したがって損傷に対する処方と補修工法の選定という、後工程の知識を必要とする本格的な診断を前提とすることになり、従来の検査業務とは一線を画すことになったのである。

2. 橋梁診断室の発足

橋梁診断室は、以上のような一連の大きな動きの中で発足した。

従来の「検査」であれば、点検要領の規定に沿っている限りそれ以上の責任は生じないが、「診断」といえば一般的な用語であり、医療における「診断」を連想させるために、部外者から無限の責任を問われる可能性がある。さらに、業務が対策区分や健全性の診断の先、すなわちどのような処方＝対策工法を選択すべきかにまで関与することになれば、その「診断」（あるいは見立て）が的確でなければ、早期の再劣化を生じるなど信頼を失うことにもなりかねない。道路管理者の要請に応える形で業務の範囲を広げることは必然だとしても、それに見合った診断担当者（以下、診断員）のスキルアップが必要であることを忘れてはならない。

診断員のスキルアップにはしかるべき時間がかかる。単に知識を積み重ねるだけでなく、変状（症状）データからの損傷（病名）の特定、さらに遡ってその原因を論理的に推理する訓練が必要だからである。橋梁診断室には、後述するようにこのために必要な様々な役割を果たして行くことが期待されている。

3. 橋梁診断室に期待される役割

(1) 診断書の作成支援

ここまで述べてきたように、今後の橋梁診断業務では、対策区分の分類から、健全性の診断、処方すなわち補修工法の選定へと業務の範囲が拡大することが予想される。これまで記録してきた部材や部位ごとの所見、あるいは橋梁全体の総合所見は、いわゆる「診断書」と見なされ、その判定理由も求められることになろう。必然的に支部の診断員が診断書の作成を担当することになるが、困難な案件も少なくないことが考えられる。このような状況に対して、機動的に支部を支援するのが橋梁診断室の第一の役

割である。

現時点で筆者が専務理事兼任で橋梁診断室長に就任した以外、組織的な異動や補強は行っておらず、調査部の一部に各支部の問い合わせに対応し、後述する橋梁診断会議の事務局の役割を担ってもらうことでスタートしたが、当面、以下のような仕組みで業務を軌道に乗せるとともに、需要をにらみながら、組織の充実を図るつもりである。

i. 橋梁診断会議

各支部が抱える案件の中で診断とその対処法の判断が困難な損傷橋梁について、担当者が資料を持って本部に出向き、本部の技術職員で構成する橋梁診断会議において議論を行って、診断書の内容を調整することとしている。橋梁診断会議のメンバーは、室長と調査部職員および次項で紹介する技術アドバイザーのほか、議論の内容を共有する目的で常務理事、企画部の一部職員にも参加を求めている。

診断会議はすでに数回開催しており、伸縮装置の遊間異常として持ち込まれた案件が実は下部構造の異常に起因する可能性が高いことを指摘したり、再劣化が多発する塩害PC床版橋の対処方法を提案するなど、有益な成果が得られている。

ii. 技術アドバイザーの委嘱

本格的に診断業務に取り組むためには、実際の調査検討手法、補修・補強工法とその効果についての豊富な知識と、実務経験が是非とも必要である。そこで、コンサルタントや補修会社に長く在籍し、豊富な知識と幅広い経験をお持ちのベテラン技術者2人を技術アドバイザーとして委嘱し、診断会議の議論に加わっていただくことにした。より多くの角度からのアドバイスは、診断の信頼性を高めるとともに、議論に参加する職員の知見を広げる意味でもきわめて有効である。

iii. 出張診断室

橋梁診断会議は支部の担当者が自らの案件を携えて本部で行うことを基本としているが日程調整が難しい場合も多い。また、一方で支部全職員の議論への参加も必要だと考えられる。そこで本部から室長と調査部職員が支部に出張し、時には現地を見ながら議論を深め、診断書の作成を支援する方式も取り入れることとしている。

(2) 診断員のトレーニングの場として

橋梁診断に関する技術力の向上については、すで

に検査（診断）担当者会議等を通じ、診断業務への取組みに必要な考え方についての研修を行っているが、自ら担当する具体的な案件に対し、本部職員やアドバイザーを交えた議論を通じて診断書を練り上げて行くプロセスは、損傷原因を推理し適切な処方導き出す論理的思考のトレーニングの場として有効だと考えられる。信頼される診断員を養成する場としても、橋梁診断室を活用して行きたい。

4. 今後の課題、道路橋診断士制度について

点検技術者の資格制度の必要性が高まる中、道路保全技術センター時代から20年来続けてきた橋梁点検技術研修会を模様替えして道路橋点検士制度を構築し、本年4月からスタートを切った。この動きは時宜を得たものとなり、順調に滑り出しているが、当然のこととして、点検士の次は診断士の制度をいつ立ち上げるのかという問い合わせが少なくない。調査会の中でも議論が交わされたが、現時点では以下のような理由から時間をかけた準備が必要だと判断している。

すなわち、実構造物に生じた外観上の変状を確認して報告する点検業務については、実技を含む研修

と試験によって一定の技術力を付与しかつ確認することが可能と考えられるが、診断業務においては、点検で得られた情報に基づく総合的な判断を行って、変状（症状）をもたらした損傷（病気）の特定と、さらに損傷（病気）を発生させた原因を推理して突き止める必要がある。そのためには豊富な知識もさることながら、論理的な思考能力が不可欠であり、講習や試験だけでなく、実務経験を含む十分な訓練が不可欠である。

以上のことからしばらくの間、橋梁診断室を核として内部職員の診断技術の向上を図ることに努め、将来方法論が明確になった段階で、改めて診断士制度について提言したいと考えている。

おわりに

橋梁診断室の業務は始まったばかりであり、まだ地方整備局等にもその存在や活動は浸透していないが、様々な機会を通じてお知らせすることにより、調査会の業務への姿勢に対する信頼を高めることにつながると考えている。

橋梁診断室の今後の活動にぜひご期待下さい。

道路橋コンクリート床版の「土砂化」に関する調査報告

企画部 開発課長 藤原 英之

1. はじめに

道路橋において床版は、人や車などの荷重を直接支える最重要部材である。それゆえ床版の損傷は、事故に直結することはもとより、その補修には通行規制などの社会的損失を招くことから、致命的な損傷が顕在化する前に変状を検知し、対策をとることが重要となる。

床版の中でも多用されてきた、鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版という）の重大損傷の原因として、輪荷重の繰り返しによる疲労、塩害、アルカリシリカ反応などが挙げられる。中でも、昭和40年代前後に建設されたRC床版で多発した疲労損傷については、これまで数多くの検討が進められてきた。そのうち、松井らにより進められた移動輪荷重試験で詳らかにされた損傷進行過程に関する多くの知見¹⁾は、現在のRC床版の変状（ひびわれ）から疲労損傷程度を評価する根拠となっている。具体的に従来の直轄国道の点検要領²⁾では、RC床版の疲労損傷は、はじめにコンクリートの乾燥収縮による橋軸直角方向の微細なひびわれが生じ、それが貫通ひびわれに進展することで、床版の橋軸方向の連続性が断たれて梁状化する。梁状化し橋軸方向の連続性を失った床版は曲げ耐力の低下により、橋軸方向にもひびわれが生じ、この時点で床版下面には格子状にひびわれが現れる。さらに荷重が繰り返されることで、ひびわれ間隔が狭まるとともにブロック化したコンクリートがせん断変位によりひびわれ幅も拡大し、格子点ではコンクリートの欠け落ち（角落ち）が見られるようになり、最終的に抜け落ちに至るという過程を前提として、床版下面のひびわれ状態に基づく損傷評価方法が示されている。

また、松井は同時に湛水によりRC床版の疲労寿命が大幅に低減すること、輪荷重載荷位置の床版上面にコンクリートが粉碎してモルタル分が流出し、骨材だけが洗われた状態で残留する現象、いわゆる「土砂化」（骨材化、砂利化ともいう）が生じること



写真-1 「土砂化」の状況
（舗装をはつり取ったあとのRC床版上面の状況）

も明らかにしている³⁾。RC床版の疲労損傷へのこれら水の影響については、その後の防水層設置義務へと繋がるとともに、点検においても上述した床版下面のひびわれ状況とともに、ひびわれからの漏水や遊離石灰の発生への一層の注意が喚起されることとなった。

以上、RC床版の疲労損傷に関する損傷程度評価における従来からの主な視点を示したが、それでもなお、写真-1に示すような「土砂化」を伴うRC床版の抜け落ち損傷は発生している⁴⁾。

当調査会では、平成25年4月に発生した、秋田県内の国道でのRC床版の抜け落ち損傷について、本橋の至近時の点検結果の調査と現場状況のヒアリングをおこない、4年5ヶ月前に実施された定期点検では、当該箇所のRC床版下面には抜け落ちが危惧されるほどに進行したひびわれは確認されなかったこと、抜け落ちが発生する5ヶ月前に局所的な補修舗装がおこなわれており、その際、RC床版上面の「土砂化」が確認されていたことが判明した。

本事例の調査結果により、次の3つの重要な示唆を得た。

①原則5年間隔で実施する定期点検では、予見する

ことが困難なほど、RC床版の疲労損傷の進行が速い場合がある。

- ②床版下面の状況だけで抜け落ちに対する健全性を評価することはできない。
- ③舗装面の異常箇所では、床版の「土砂化」が進行している場合がある。

こうした観点を踏まえて、RC床版の損傷事例を収集、分析した結果、文献⁴⁾に示された比較的床版厚の薄い床版以外でも「土砂化」が関与したと見られる抜け落ち事例が幾つか見られ、また、それを予見するためには、文献⁴⁾にも示された舗装面の異常を捉えることが有効であるとの見解に至った。

本報では、「土砂化」の事例や関連する既報の収集結果をもとに、現在考えられる発生原因を整理し、「土砂化」損傷に共通する舗装面に現れる特徴的な異常事例を示すとともに、点検・診断作業での留意点と補修方法に関する基本的な考え方を示す。

2. 事例からの考察

収集した「土砂化」を伴う RC床版の抜け落ち損傷状況の代表事例を表-1に示す。

収集事例から抜け落ち損傷の発生箇所では、概ね以下の3つの共通する特徴を有する。

- ①直上の舗装にくぼみや網の目状のひびわれが確認されていた。(多くの場合、ひびわれから濁水が染み出た跡がある)
- ②同一箇所での部分的な舗装補修が繰り返しおこなわれていた。
- ③短期間のうちに同じ橋梁の別箇所と同様の損傷が発生する。
- ④少なくとも前回点検までは床版下面の著しいひびわれ等の損傷は観察されていない。(遊離石灰が抜け落ち範囲周辺一面に現れる場合もある。)

①、②について、従来から舗装面の局所的な損傷は、その直下の RC床版に「土砂化」等の損傷を伴うことは、実験、実橋の両面から認識されていた。しかしながら日常的には、単に舗装の傷みとして取り扱われる場合が多く、その対応として土砂化したコンクリートを除いた後、舗装の補修のみ、あるいは床版面を速硬モルタルなどで断面修復した後に補修舗装がおこなわれていた。この場合、補修面の処理が不十分であったり、部分補修部に防水工の不連続部があれば、短期間のうちに同じ損傷が再現することは容易に想定される。

③については、「土砂化」は何らかの発生条件（構造、材料、施工、地域条件など）下で生じる。「土砂化」が発見された橋梁や同じ環境下にある RC床版には顕在化する前の「土砂化」箇所があることを疑うことの必要性を示す。

④については前述のとおり、「土砂化」により上面損傷を伴う場合、従来の主に床版下面の変状のみに着目した評価法に比べて早期に損傷が進行するため、現在行われている定期点検間隔と手法では十分な予測ができないことを示唆する。

3. RC床版上面の「土砂化」を伴う抜け落ちプロセスの推定

近年、「土砂化」を伴う RC床版の損傷に関する研究が積極的に進められており、その原因が徐々に解明されつつある。現在考えられている「土砂化」の発生原因としては、以下の5つが主に挙げられる。いずれも舗装下の床版上面に水が滞留することで発生、進行を促進することは共通している。

ここに挙げる5つの原因については、そのすべてが解明されているわけではなく、また実際には、それぞれの環境下でこれら原因が単独ではなく、複合的に作用していると考えられる場合が多いことも念頭に置く必要がある。

- ①上載荷重の繰返し（疲労）
- ②凍害（凍結融解の繰返し）
- ③塩害（主に凍結防止剤から供給される塩分）
- ④ASR（コンクリートの剥離、分裂）
- ⑤その他（水平ひびわれなど）

各要因の詳細は各項に示す文献に譲り、ここでは簡単に各機構について概説する。

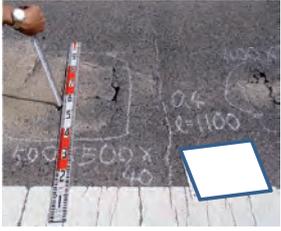
(1) 上載荷重の繰返し^{6), 7)}

鋼材の疲労についてはよく知られるが、コンクリートにも疲労は存在する。コンクリートの疲労寿命は湿潤状態に依存し、材料や試験条件でばらつきはあるものの、静的圧縮強度と200万回圧縮疲労強度の比で、乾燥状態では60%程度であるのに対して湿潤状態では40%弱程度まで低下するとの報告もある。床版上面は、直接大きな輪荷重が作用するため、飽水状態にあるコンクリート表面に疲労破壊が生じ、それを起点として、水のくさび効果や擦り磨きにより、「土砂化」が発生、進行すると考えられる。

(2) 凍害^{8), 9)}

凍害は、コンクリート内部の水が凍結融解を繰り返す

表-1 RC床版の抜け落ち損傷事例

		事例 1		事例 2				
		建設後：43年 適用示方書：昭和 39年 床版厚：不明 床版支間：2250mm 防水工の有無：なし 昼間 12h 交通量(大型混入率)：2,263 台(22.7%)		建設後：46年 適用示方書：昭和 31年 床版厚：17cm 床版支間：2020mm 防水工の有無：不明 昼間 12h 交通量(大型混入率)：18,154 台(18.0%)				
抜け落ち発生前					局所的にひびわれが発生。濁水が湧き出した形跡がある。	遊離石灰を伴うひびわれが幾つか見られる程度	パッチ補修部に濁水の湧出した形跡が見られる。 (抜け落ち箇所の写真がないため、別位置での状況を示す)	局所的にひびわれが集中して発生。全体的な薄い遊離石灰が見られる。
	抜け落ち状況					上段写真撮影から 5ヶ月後に抜け落ち。(補修舗装時にサンプル採取した孔の影響により抜け落ちが早まった可能性あり。)	上段写真撮影から 2年3ヶ月後に抜け落ち。	
		事例 3 建設後：37年 適用示方書：昭和 47年 床版厚：22cm 床版支間：2250mm 防水工の有無：不明 昼間 12h 交通量(大型混入率)：8,450 台(23.4%)		事例 4 ⁵⁾ 建設後：76年 適用示方書：大正 15年 床版厚：15cm 防水工の有無：なし 昼間 12h 交通量(大型混入率)：6,688 台(8.6%) 30年前(昭和 56年)に鋼板接着補強を実施				
抜け落ち発生前					抜け落ちの 5ヶ月前に補修舗装(ジェットコンクリート)を実施。(写真は補修部分が再劣化した状況。抜け落ち発生の約 1.5ヶ月前)	抜け落ち箇所には、ほとんどひびわれ等の損傷は見られず。	抜け落ちの 15日前 (上写真の補修から 1年を経ず再劣化) 抜け落ちの約 1年前 (この直後に舗装補修を実施している)	(抜け落ち後の写真であるが、抜け落ち範囲外の状況と同様であったと想定される)
	抜け落ち状況					上段右写真から 4年5ヶ月後に抜け落ち。(物損 自動車パンク等8件)	上段写真撮影から 15日後に抜け落ち。(物損 自動車4台パンク)	

返すことにより、コンクリートにスケーリングを生じさせたり表層をフレーク化させることで知られる。舗装下面に水が滞留することで、床版上面において同様のことが発生し、それが繰り返されることで、「土砂化」が生じるものと考えられる。また、凍結防止剤の散布により、コンクリートの凍害を助長するとの報告も見られる。

(3) 塩害^{10), 11)}

RC床版の塩害は内部鉄筋が腐食し、それに伴う体積膨張により、露出しているコンクリート表面にひびわれや剥離といった損傷を招くことが知られる。舗装下面に水が滞留することで、床版上面であっても同様の条件となり、特に凍結防止剤を散布する地域で多くの報告が見られる。

(4) ASR^{12), 13)}

ASRが直接的に「土砂化」の原因とした報告は、調べた範囲では認められないが、RC床版上層がASRにより連続性を損なうことで、「土砂化」の原因になることも考えられる。また、文献ではASRが原因で後述する水平ひびわれが発生することが示されている。

(5) その他^{14), 15)}

近年注目されるRC床版の損傷のひとつに水平ひびわれがある。

床版内の上鉄筋配置面で水平ひびわれが生じた場合、版状に剥離したかぶりコンクリートが上載荷重や凍害により粉碎して「土砂化」すると考えられている。

水平ひびわれの原因は必ずしも明らかではないが、塩害やASRのほか、床版コンクリート打設後に生じる鉄筋下でのブリージング水の滞留やコンクリートの沈降による鉄筋周辺に生じる微細な空隙やクラックが面状な弱点となっていることが推定されている。また、疲労によるRC床版のひびわれの進展過程における床版内部の応力伝達機構の変化が原因とする報告も¹⁶⁾ある。いずれも単独でその原因となり得るが、現実には「土砂化」と同様、環境に応じてこれらが複合的に作用するものと考えられる。

4. 「土砂化」を伴う RC床版の抜け落ちの事前検知方法

前項までに見たように、「土砂化」を伴う RC床版の抜け落ちの発生は、従来重視された床版下面のひびわれ状況からの判定では、その進行状態を見誤る。

「土砂化」の原因は幾つか考えられるが、いずれの場合でも直上の舗装に共通する兆候が見られる。

従って、「土砂化」を伴う RC床版の抜け落ちの発生を予見するためには、床版下面のひびわれ状況と合わせて、以下の項目に対する留意が必要となる。

(1) 舗装補修履歴の確認

「土砂化」が進行した事例では、対象箇所の舗装補修が短周期で繰り返されている場合が多い。

通常、舗装補修は損傷の程度や範囲によりパッチングや切削オーバーレイ等の工法が用いられるが、これらは単に舗装面の修復をおこなうものであるため、RC床版にその原因となる損傷があれば、舗装は短期間(数ヶ月~2年程度)で同じ損傷を繰り返す。したがって、実橋検査前に舗装補修履歴を確認することは、検査対象橋梁をスクリーニングする際には非常に有効である。

(2) 舗装面の目視検査

床版上面は通常、直接観察することはできないため、舗装の異常から床版の土砂化を類推することとなる。

日常的な巡回において留意すべき、土砂化が懸念される「舗装の異常」事例を表-2に示す。留意すべき特徴は、次の6項として挙げられる。これらが、単独あるいは複合的に見られる場合には、以降の詳細検査を実施する必要がある。

①網目状のひびわれを伴うくぼみ

②幅の大きい直線的なひびわれ(数mmオーダーのひびわれ幅)

③車輪走行位置に並ぶピット状のくぼみ

④部分補修した部位の再劣化

⑤ひびわれからの泥あるいはモルタル色の水の滲出

⑥常に滞水が見られるひびわれを有するくぼみ

(3) 床版下面の目視検査

床版上面から土砂化等の損傷が進む場合でも、うきや漏水・遊離石灰を伴うひびわれ、あるいは薄く広がった遊離石灰等の異常が床版下面に出現する場合がある。舗装面の目視検査と合わせて同位置の床版下面の状態を確認し、損傷程度や損傷原因を類推することも必要である。

(4) 舗装はつり検査

舗装をはつりとして露出させた床版面の状態を直接目視する。土砂化の程度を知る確実な方法であるが、復旧まで含めて広範囲を調べるためには交通規制が必要となる。土砂化の範囲と深さ(床版の残存厚さ)、鉄筋の腐食や断面減少状況などを調べ、補修計画の基礎データを得る。また水平ひびわれが疑われる場合には、周辺の打音検査やコア抜きを併用

表-2 土砂化が懸念される「舗装の異常」事例

 <p>a) 網目状のひびわれを伴うくぼみ (再劣化)</p>	 <p>b) 網目状のひびわれを伴うくぼみ</p>
 <p>c) 直線上のひびわれ (滲出跡あり)</p>	 <p>d) 直線上に発生した局所的なくぼみ (再劣化)</p>
 <p>e) 舗装補修部の再劣化</p>	 <p>f) 舗装補修部の再劣化</p>
 <p>g) 舗装損傷部の滞水 (再劣化)</p>	 <p>h) 滲出物(泥状)を伴う舗装ひびわれ</p>
 <p>i) 補修舗装境界からの滲出物跡</p>	 <p>j) 補修舗装境界からの滲出物跡</p>

して上層コンクリートのうき、剥離を確認する。

5. 「土砂化」した RC床版の補修方法について

「土砂化」した RC床版の補修方法についての基本的な考え方を以下に示す。

(1) 補修規模の検討

「土砂化」の発生原因が輪荷重や凍害あるいは塩害であるとすれば、同じ使用環境下にある未だ舗装面の陥没やひびわれが見られない範囲にも、同様の損傷が潜在していると考えらるべきである。事実、幾つかの事例では、数ヶ月の時差で他の箇所に土砂化による路面の陥没が発生している。こうした事例では、その都度部分的な補修を繰り返すも、結果的に全車線分の床版打ち替えが必要となる場合もある。したがって、補修計画では第一に補修規模を慎重に考える必要がある。

図-1に補修規模を考える上での参照項目と判定指標の概念を示す。なお、補修規模に関わらず防水工は必ず施工する。

(2) 部分補修要領

全車線分の床版打ち替えを要する場合であっても、現実には応急処置や経過的措置を含めて部分補修が必要とされるケースは多いと推定される。ただし、幾つかの事例において、数日後に再劣化が見られたこと、また、経過的措置が1年以上にわたることもあることから、部分補修であっても十分な品質管理が要求される。

特に、①脆弱化した既設コンクリートの除去、②新旧コンクリートの一体化、③防水性の確保の3つの品質確保が重要となる。

具体的には、①脆弱化した既設コンクリートの除去作業では、マイクロクラックの発生予防、除

去面の性状の観点からウォータージェットによるはつりが望ましい。小規模の補修で、経済的、時間的な制約によりウォータージェットの採用が難しい場合は、小型のはつり工具（電動ピックなど）を用いて、健全部のコンクリートを傷めないように注意しておこなう。また、健全部との境界部は砂状になったモルタルや細骨材が堆積しており、これらの除去は手作業による掃き出しや吸引器では十分とは言えないため、はつり作業後の清掃は高圧水を使用するのが良い。

②新旧コンクリートの一体化では、脆弱化したコンクリートを除去した際、上鉄筋が露出した場合には、新コンクリートが露出した鉄筋に定着するように、上鉄筋の下方まで旧コンクリートをはつり取る。

鉄筋の錆びは除去し、コンクリートとの付着を損なわない防錆剤を塗布する。新コンクリート打設前には旧コンクリート面に打継用のコンクリート接着剤を塗布するなどの配慮が必要である。さらに、新コンクリートは無収縮タイプを使用する。また、上鉄筋まで土砂化が進行していない場合には、新コンクリートが薄く剥離、圧壊しやすいため、旧コンクリートとの付着性が良く、曲げ強度の高いポリマーセメントモルタルの使用が望ましい。

③防水性の確保では、新コンクリート打設面を旧コンクリート面と段差が生じないように仕上げるとともに、舗装のはつり範囲をあらかじめ土砂化の範囲に対して広く設定し、既存の防水工に新規防水工を重ねて施工する。また、新防水工の端辺には瀝青材を塗布して境界部の水密性を高めること、既設舗装の切断面にはタックコートを塗布して、新アスファルトとの一体性を高めることも重要である。

補修規模	全面打ち替え ^{※1}	⇔	部分打ち替え	⇔	部分補修
損傷範囲(損傷箇所数)	大(多)				小(少)
損傷程度	深い				浅い
床版厚 ^{※2}	薄い				現行示道相当
その他の床版損傷	深刻な損傷あり				軽度の損傷のみ

※1: 状況に応じて、下面増厚補強や架け替えも検討する。

※2: 現行の道路橋示方書に従った床版厚との比較で評価。

適用示方書が昭和48年版より旧版の場合は一般に薄い床版となる。

図-1 「損傷状況等に対応した補修規模のイメージ

6. おわりに

近年見られた「土砂化」を伴う RC床版の抜け落ち事例等から、その発生機構や事前検知方法、ならびに補修の考え方についての考察を示した。H26年度に発行された新しい直轄国道向けの橋梁定期点検要領¹⁷⁾でも、これまでよりも「土砂化」を意識した改定がなされているが、本稿が「土砂化」を理解する上での一助となり、重大事故に繋がりにかぬない床版の抜け落ち損傷を未然に防ぐための保守業務における参考になれば幸いである。「土砂化」に関してはすべてが解明されているわけではなく、また限られた事例からの推測に基づく考察であることから、誤解や思い違いを含むことも危惧される。読者の皆様からのご指導、ご指摘をお願いして、本稿のまとめとする。

参考文献

- 1) たとえば、松井繁之、大田孝二、西川和廣：RC床版とその損傷（その2）、橋梁と基礎、Vol.32、No.6、pp.47-50、1998.6
- 2) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領（案）、2004.
- 3) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年次論文報告集、第9-2、pp.627-632、1987.
- 4) 田中良樹、村越 潤：橋面アスファルト舗装の変状と RC床版の疲労、土木技術資料、第53-2、pp.22-27、2011.
- 5) 坪田浩昭：神戸橋の損傷と対応について、第29回日本道路会議、道路橋の維持管理、事例紹介資料、2011.11.
- 6) 松下博通：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究、土木学会論文報告集、第296号、pp.87-95、1980.4
- 7) 菅田紀之、尾崎 訊：各種コンクリートの疲労強度および疲労破壊性状に関する研究、土木学会論文集、No.669/V-50、pp.1-16、2001.2.
- 8) 三田村浩、佐藤 京、太田幸一、松井繁之：道路橋 RC床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響、構造工学論文集、Vol.55A、pp.1420-1431、2009.3.
- 9) 澤村俊寿、岡田慎哉、山崎達哉：一般国道275号志寸川橋の床版陥没について、防水層を含めた床版の劣化損傷状況の調査、国土交通省北海道開発局第56回（平成24年度）北海道開発技術研究発表会、2013.2
- 10) 本荘清司、藤原規雄、葛目和宏、牧 博則：凍結防止剤による塩害で劣化した鋼橋 RC床版の詳細調査、コンクリートの補修、補強、アップグレード論文報告集、第10巻、pp.51-56、2010.10
- 11) 出戸秀明、新銀 武、竹内栄太朗：積雪寒冷地における橋梁床版劣化に及ぼす塩化物供給の影響について、東北支部技術研究発表会講演概要、第41巻、pp.56-57、2006.
- 12) 伊戸康清、島田 守、大田孝二、五島孝行、柴田辰正：アルカリシリカ反応で損傷した鋼道路橋RC床版の調査、第1回北陸橋梁保全会議報文集、pp.63-66、2013.11
- 13) 橋 吉宏：鉄筋コンクリート床版の損傷事例と調査、橋梁と基礎、Vol.48、No.5、pp.53-59、2014.5
- 14) 太田孝二：道路橋 RC床版の設計と損傷、橋梁と基礎、Vol.47、No.11、pp.62-67、2013.11
- 15) 土木学会鋼構造委員会道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会：道路橋床版の維持管理マニュアル、2012.6
- 16) 田中良樹、村越 潤、長屋優子、吉田英二：鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性に関する最近の研究、土木技術資料、第56-3、pp.30-35、2014.
- 17) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領、2014.6.

世界最大橋梁震動台実験を基にした橋梁システムの数値解析技術の高度化とそれに基づく橋梁上部構造2次部材を利用したダンパーの効果

岐阜大学 工学部社会基盤工学科 助教 木下 幸治

1 はじめに

巨大地震に対する橋梁構造物の耐震性能の評価をいかに正しく行なうことができるかが、地震防災上重要である¹⁾。しかし、大断面でかつ、長大である橋梁構造物の宿命から、これまでに実大規模の震動実験による検討には殆ど至っていない¹⁾。このため、橋梁システム内の上部構造、支承、隣接径間といった各要素が相互にどのような影響を及ぼすか正確に解明されておらず、橋梁システムとしての正確な耐震性能評価ができていない。

これまでに、我が国では、我が国で開発された世界最大の震動台E-Defenseを用いた橋梁の実大構造実験が進められたが^{1) 2)}、いまだ橋脚単体の耐震性を対象としている。また、橋梁システムの挙動を解析により、橋脚の実際の損傷を実験により得る解析と実験を組み合わせた大規模な分散ハイブリッド実験が実施され、橋梁システムの耐震性能評価も進められた³⁾。しかし、解析に用いられている解析モデルの精度検証自体が行われておらず、結果の妥当性に大きな疑問が残ったままである。一方、米国のネバダ・リノ大学^{4) 5)}、また最近では中国の同済大学に複数の震動台を並べた橋梁震動台試験システムが構築され、大規模な橋梁震動台実験が精力的に実施され、橋梁システムの耐震性能評価が進められている。このように、我が国の橋梁システム全体系の耐震性能評価が立ち後れ始めている。

このような現状に対して著者は、平成24年度に世界最大の橋梁震動台実験を実施しているネバダ・リノ大学に1年間長期滞在し、世界最大の橋梁震動台実験の汎用的でかつ実用性の高いファイバー要素を用いた解析モデルを開発し、実験との比較を進めた。特に、ここでは、これまでに注目されてきていない上部構造の床版や鋼桁、それらの接続方法等に関するモデル化手法の差異が与える影響について詳細に検討し、それらの精微なモデル化



図-1 大型橋梁震動台実験の高架橋モデル

表-1 プロトタイプと橋梁モデルの比較

	プロトタイプ	モデル
全長	110.5	44.2
スパン長	32-46.5-32	12.8-18.6-12.8
半径(中心)	61.0	24.4
全幅	9.1	3.7
桁間隔	3.4	1.4
橋脚高さ	5.8	2.3
橋脚直径	1.5	0.6

(単位：m)

方法を提案した。

この研究成果を基に、本研究では我が国で培った耐震解析技術の検証と高度化を進め、橋梁防災技術の飛躍的な発展を目指した。具体的には、ネバダ・リノ大学で行われたRC高架橋システムを対象とした世界最大橋梁震動台実験を基に、RC高架橋システムとしての曲線を有する上部構造のモデル化方法の検証、ならびに減衰の正確な設定方法、複数回の地震動による損傷蓄積も再現可能な解析技術等を検討した。さらに、この成果を基に、地震減災対策として新たに提案されている鋼橋上部構造の対傾構や横構といった2次部材を対象とした地震エネルギー吸収を目的とした制震デバイスの設置効果に関する実験的検討を目的とした実験システムの構築などを進めた結果を報告する。

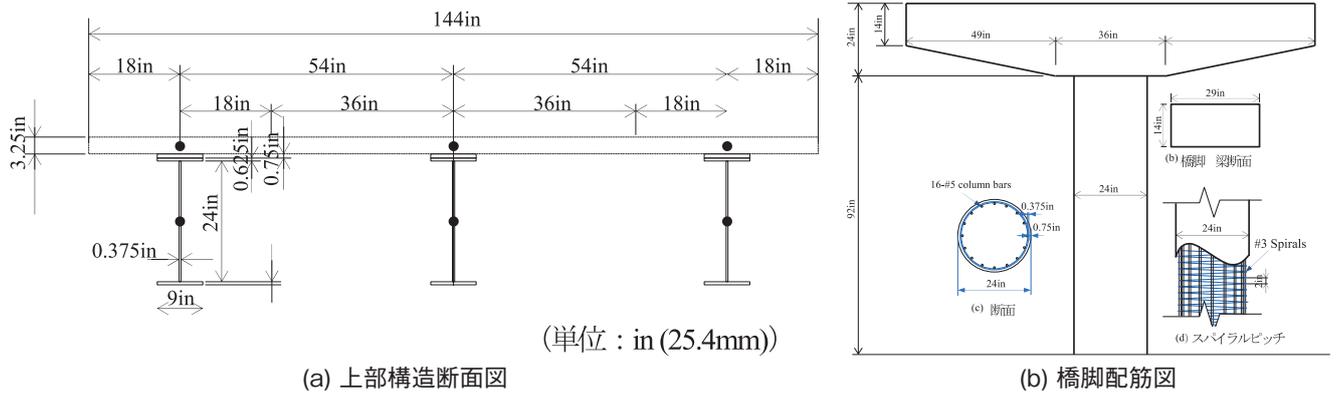
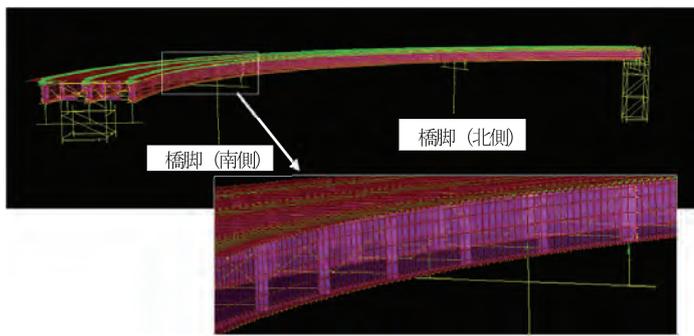
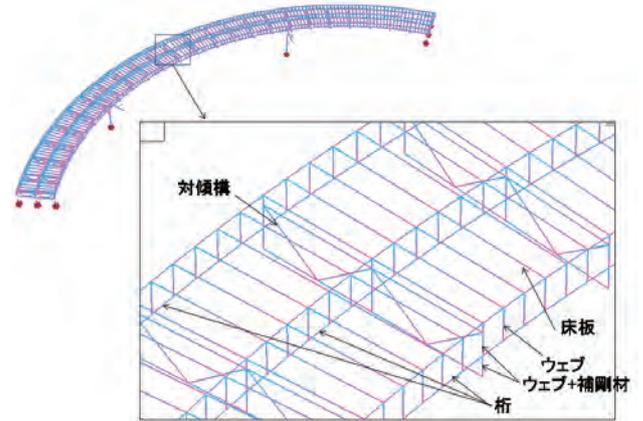


図-2 上部構造の断面図と橋脚配筋図



(a) FEMモデル (SAP2000)



(b) 提案モデル

図-3 解析モデル

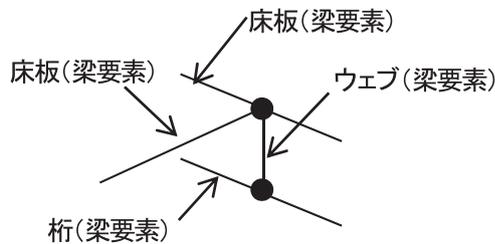


図-4 桁と床板との接続のモデル化詳細

表-2 解析モデルの固有周期の比較

モード No.	方向	周期 (秒)		FEM/提案
		FEM	提案	
1	橋軸直角方向	0.634	0.661	0.96
2		0.486	0.503	0.97
3	橋軸	0.426	0.412	1.03
4	鉛直	0.325	0.386	0.84

2 橋梁震動台実験を基にした橋梁システムの数値解析技術の高度化

2.1 橋梁震動台実験の概要

図-1にネバダ・リノ大学で実施された橋梁震動台実験に用いられた橋梁モデルを示し、そのモデルの諸元を表-1に示す。震動台実験はネバダ・リノ大学のthe Large-Scale Structures Laboratoryにあるthe four NEES shake tablesを用いて行われた。橋梁モデルは、実大のプロトタイプ0.4スケールのRC橋脚を有する3径間連続高架橋である。図-2に上部構造の断面図とRC橋脚の配筋図を示す。上部構造はコ

ンクリート床版の鋼I形3主桁である。中央径間は二つのコンクリート橋脚により支持され、左右の径間は橋台により支持されている。コンクリート橋脚上の支承には、3次元の回転方向に対応したピン支承、橋台上の支承にはテフロン系のすべり支承（可動支承）を用いている。

表-1にプロトタイプと橋梁モデルの比較を示す。橋梁モデルの設計地震動に1994 Northridge EarthquakeのSylmar recordを用い、S1で0.41gと調整した地震波形を100%とされている。

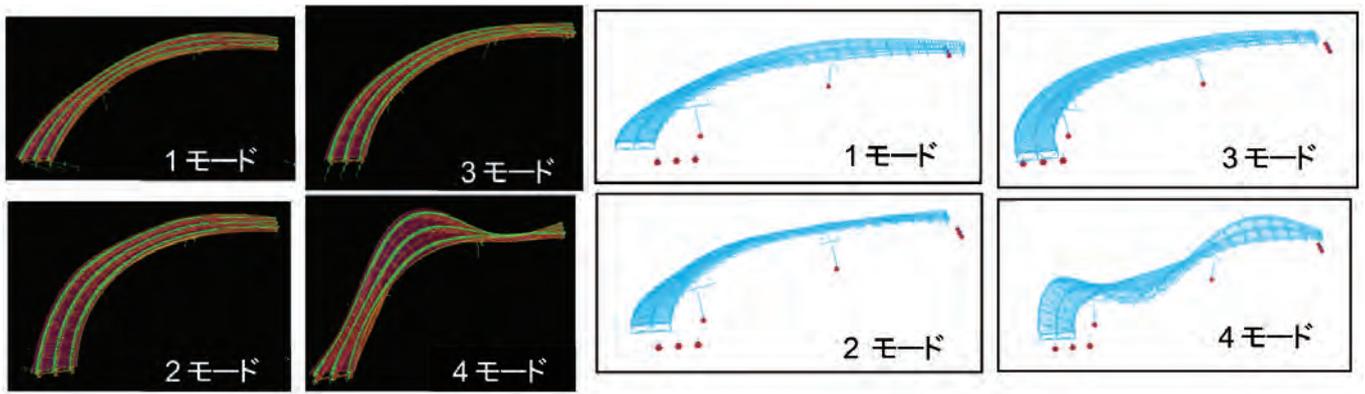


図-5 固有振動モード

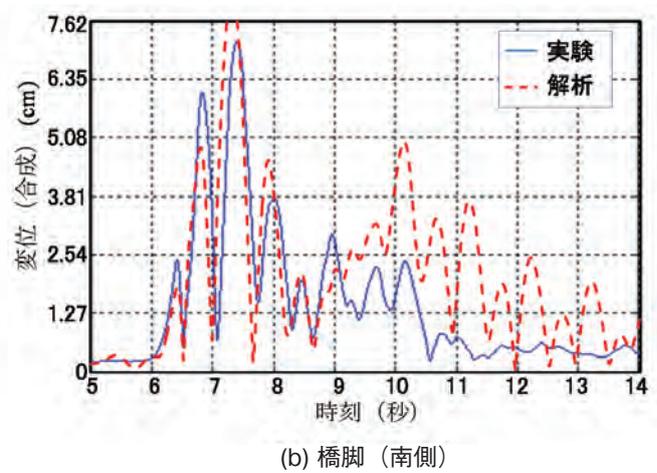
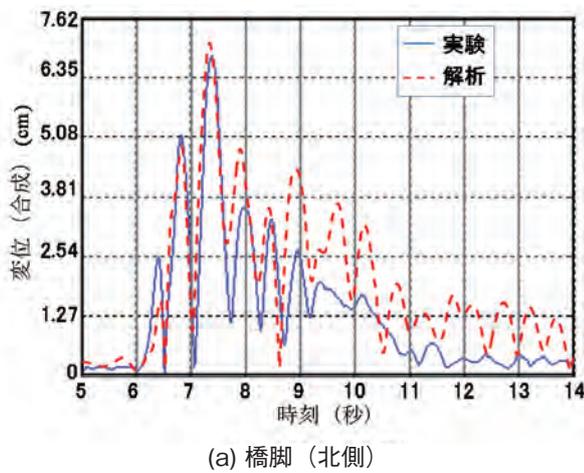


図-6 地震応答解析結果

2.2 上部構造のモデル化に関する検討

図-3に解析モデルを示す。図-3(a)はSAP2000を用いて作成したFEM解析モデルであり、上部構造は主にシェル要素にてモデル化されている。図-3(b)は、UC-win/FRAME(3D)を用いて作成した解析モデルであり、本研究で提案したモデルである。提案モデルは上部構造にシェル要素を使用せず、全て梁要素によりモデル化して解析コスト削減を狙った。例えば、ウェブの床版と鋼I桁との接続に用いた梁要素はウェブの剛性を有し、またコンクリート床版の橋軸直角方向の接続に用いた梁要素はコンクリート床版の橋軸直角方向の剛性を与えている(図-4参照)。従来、梁要素を用いた上部構造のモデル化では剛体がいられることが多く、例えば、鋼I桁と床版の接続などに剛体がいられるが、鋼I桁のウェブ剛性が十分に評価できていない等の課題が

あることから、新たな解析モデルを開発した。

図-3(b)に示す本研究で開発した解析モデルの妥当性の検証を目的に、FEM解析モデルの固有振動解析結果との比較を実施した。この比較を通じて解析モデルの動的特性が把握できる。表-2にFEM解析と本開発モデルの固有周期結果の比較を示し、図-5に4次までの振動モードの比較を示す。図-5より、本開発モデルは1次から3次の振動モードまで良くFEM解析と一致し、4次のモードは上下振動であるが、逆位相となっている。表-2より本開発モデルは1次から3次の振動モードまで良くFEM解析と一致していることがわかる。4次の振動モードでは若干の差異が見られた。これは、図-5に示すように逆位相となったことが要因と思われる。これら結果より、本提案モデルはFEM解析と概ね同様の動的特性を有していると考えられることから、本解析モデ



SAP2000

- ・ Dell Desktop Optiplex990
- ・ Core(TM) i7-2600
- CPU @ 3.40GHz 3.40GHz
- ・ Memory 8GB



UC-win/FRAME (3D)

- ・ Panasonic Let's Note CF-S10
- CPU @ 2.50GHz 2.50GHz
- ・ Memory 4GB

図-7 解析に使用したパソコン

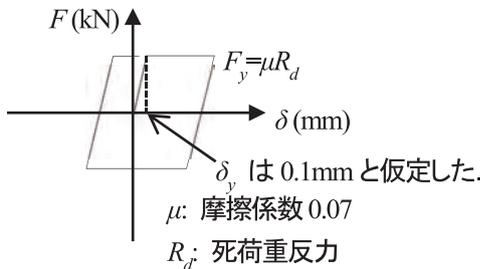


図-8 すべり支承の摩擦履歴モデル

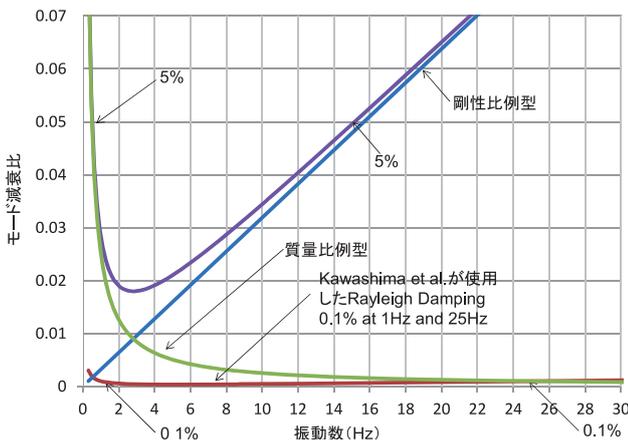


図-9 Rayleigh 減衰

ルを用いた地震応答解析より得られる応答変位の結果はFEM解析と良く一致すると考えられる。

次に、本提案モデルの地震応答解析結果（橋軸方向と橋軸直角方向を合成した変位の時刻歴）と橋梁震動台実験結果との比較を図-6に示す。図-6(a)は橋脚（北側）の結果であり、図-6(b)は橋脚（南

側）の結果であり、100%設計地震動を入力した場合の結果である。図-6より、本提案モデルの結果は実験のピーク変位と良く一致していることがわかる。ただし、ポストピーク領域では、解析と実験に違いが見られることから、ポストピークを踏まえた解析モデルの精度向上が必要であると言え、ポストピークに関しては次節で精度向上について検討する。

以上より、本研究で提案した梁要素により上部構造をモデル化する解析モデルは、FEM解析と概ね同様の固有周期を与えるとともに、実験結果のピーク変位も良く評価可能である。ただし、ポストピークについては更なる解析モデルの精度向上が必要である。

本提案モデルの利用による解析時間の短縮を明確とするためにFEM解析と本提案モデルの解析時間の比較を行った。図-7に示すようにFEM解析(SAP2000)には、Dell Desktop Optiplex990 (Core(TM) i7-2600、CPU@3.40GHz、Memory:8GB)を使用し、本提案モデルの解析(UC-win/FRAME(3D))には、Panasonic Let's Note CF-S10 (CPU@2.50GHz 2.50GHz、Memory:4GB)を使用した。100%設計地震動を入力した場合の解析において、FEM解析は10時間程度であるのに対し、本提案モデルは2時間以内となり、解析時間の大幅な削減が可能となった。

2.3 減衰に関する検討

ここでは、本提案モデルを用いて、上記モデルにおいて摩擦フリーの条件とした橋台上の支承に用いられたテフロン系のすべり支承の摩擦による減衰とこれに合わせた適切なRayleigh減衰(レイリー減衰)の設定方法について検討した。

すべり支承の摩擦とこれに合わせたRayleigh減衰の設定方法について、Kawashimaら²⁾は、図-8のようにすべり支承の摩擦履歴モデルを完全弾塑性型、 δ_y は0.1mmと仮定したモデルを用いている。 R_d は各支点の死荷重反力を用いている。その上で、Rayleigh減衰は1Hzから25Hzのモード減衰比(Modal Damping Ratio) ζ_n を非常に小さい0.1%と仮定し、この設定方法を用いて実験結果と良い結果を得ている。しかし、Kawashimaら²⁾の実験では橋脚単体を対象としており、多径間で、かつ上部構造を有する場合に対しても適用可能か検証の必要がある。そこで、本研究ではKawashimaら²⁾の設定の妥当性について橋梁震動台実験結果より検証した。なお、Rayleigh型の減衰マトリックス、モード減衰比 ζ_n は以下の式で与えられる⁶⁾。

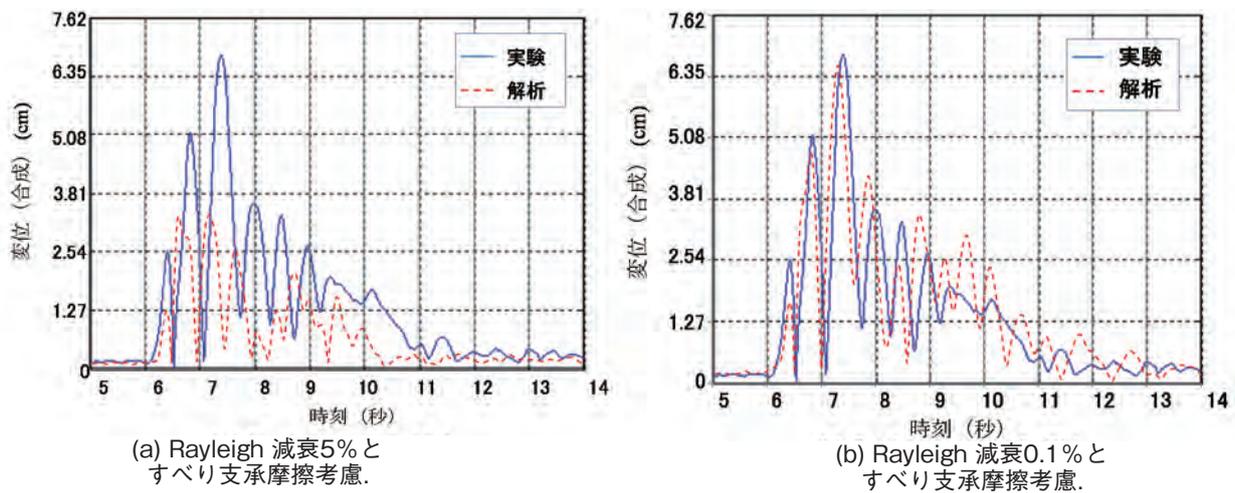


図-10 地震応答解析結果（橋脚（北側））

$$\mathbf{c} = a_0 \mathbf{m} + a_1 \mathbf{k} \quad (1)$$

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad (2)$$

$$a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (3)$$

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (4)$$

ここで、 \mathbf{m} は質量マトリックス、 \mathbf{k} は剛性マトリックス、 ω_n は固有円振動数、 a_0 と a_1 は係数であり、それぞれ上式(2)、(3) で得られる。Rayleigh 減衰は、図-9に示すように振動数 (Frequency) 0.5Hzと15Hzのモード減衰比 ζ_n を5%とした従来RC橋脚に対して設定される方法で2.2の地震応答解析で用いたものであり、この減衰曲線を用いてすべり支承の摩擦の考慮有無を検討した。その上で、Kawashima ら²⁾ を参考に振動数1Hzから25Hzを0.1%とした減衰曲線を用いて、すべり支承の摩擦を考慮した地震応答解析を実施した。なお、図-9には参考に質量比例型、剛性比例型の減衰曲線も示している。また、本研究では各支点の死荷重反力 R_d は重力加速度を与えた静的解析より求めた。

図-10(a) に2.2の解析と同様のRayleigh 減衰を設定し、かつすべり支承の摩擦を考慮した地震応答解析結果を示す。図-10(a) より、解析結果の応答が実験結果に比べ非常に小さいことがわかる。これはRayleigh 減衰とすべり支承の摩擦を同時に考慮したことで、橋梁モデルの減衰を過大に評価したためと考えられる。次に、すべり支承の摩擦の考慮と、

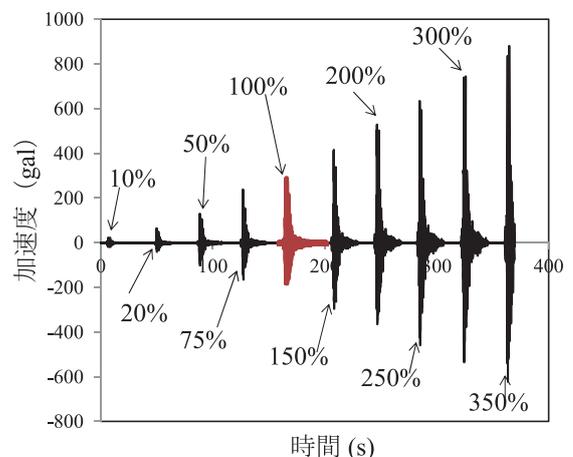


図-11 橋梁震動台実験入力地震波形

Rayleigh 減衰を非常に小さく設定したモデルの解析結果を図-10 (b) に示す。すべり支承の摩擦の考慮と、Rayleigh 減衰を変更することにより、実験結果と解析結果のポストピーク挙動が良く一致していることがわかり、解析精度が改善できたと考えられる。

以上より、上部構造を有する橋梁震動台実験においても、すべり支承の摩擦の考慮とRayleigh 減衰のモード減衰比を1Hzから25Hzまで0.1%と非常に小さく設定したモデルにより、ポストピークも良く再現可能であることを確認できた。

2.4 残留変位に関する検討

ここでは複数地震動による損傷蓄積、並びに大地震損傷に対する解析技術について検討する。橋梁震動台実験では図-11に示すように対象地震波形の倍率を変えた震動台実験が行われており、10%~350%の間で10段階に分けて連続で実験が実施されている。ただし、実際には各波形入力後に損傷チェック、ホワイトノイズを震動台入力後に次の段階へと移行している。ここでは、損傷が明確となった震動実験

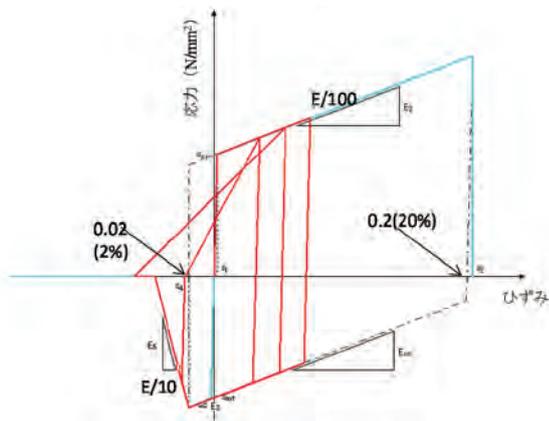


図-12 主鉄筋の応力-ひずみ関係

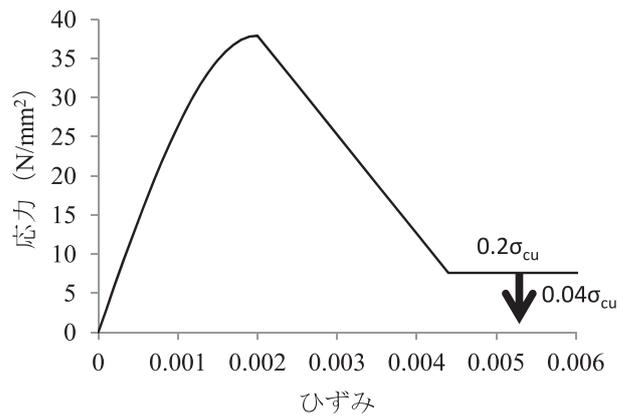


図-13 カバーコンクリートの応力-ひずみ関係

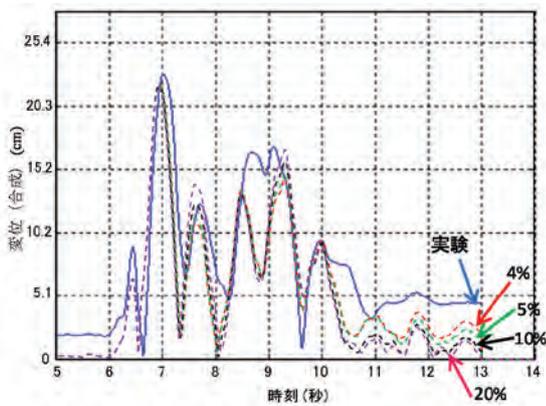


図-14 残留強度変化(350%)させた結果
(橋脚 (北側))

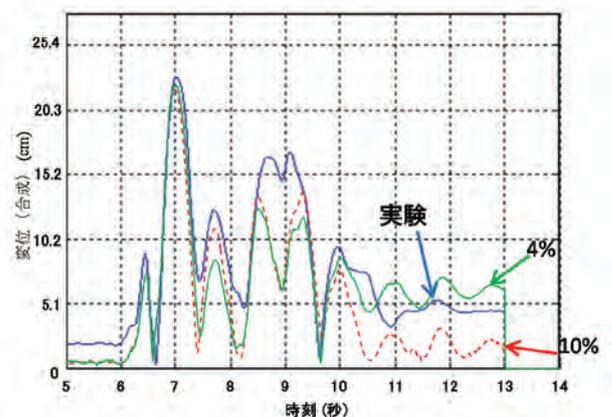


図-15 300%から350%まで連続解析した結果
(橋脚 (北側))

結果を対象に損傷が蓄積、それに伴う残留変位の増大に関する解析精度の向上を検討した。

地震時の橋脚の損傷は、橋脚表面でのひび割れ発生、カバー（かぶり）コンクリートの剥落、主鉄筋の座屈、コアコンクリートの圧壊、その後の鉄筋カゴからの噴出¹⁾²⁾を経て、最終的に倒壊に至る。しかし、現行のファイバー要素を用いた解析では主鉄筋の座屈の精度の良い再現にはいまだ至っておらず、鉄筋を解析モデルに考慮した解析方法⁷⁾が検討されている等、いまだ検討の余地が残されている。ファイバー要素を用いた解析におけるカバーコンクリートは剥落の再現を目的に強度低下後に残留強度を0とする、コアコンクリートについては最大応力以降を軟化曲線とするが、帯鉄筋による拘束効果より最終的に残留強度を一定に保持する、またはピーク後の軟化曲線の傾きを非常に緩やかとするモデルが採用されることが多い。主鉄筋の座屈はカバーコンクリート剥落后であり、主鉄筋の座屈の再現性を向上するためにはカバーコンクリートの強度を0に

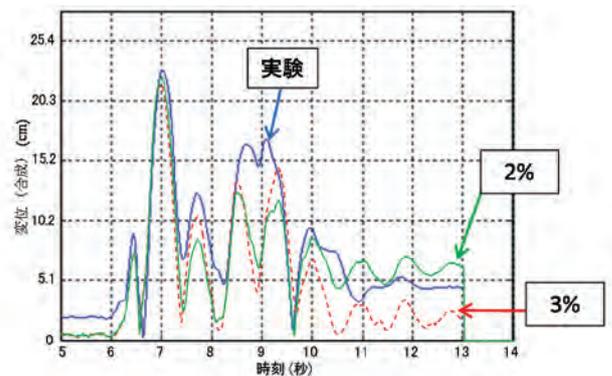
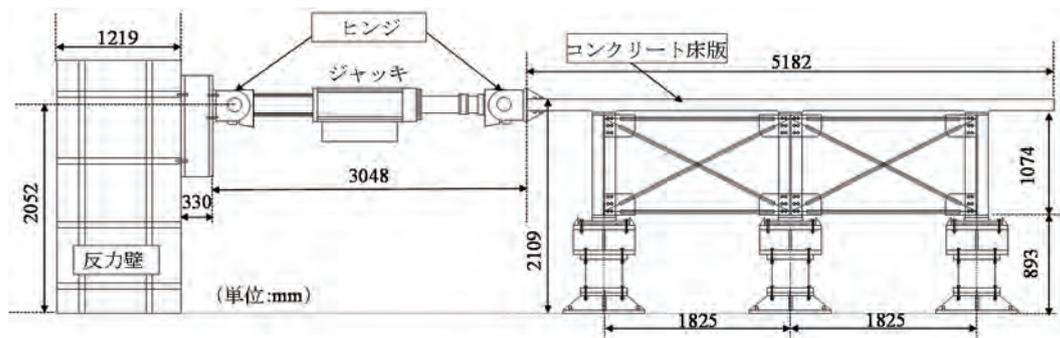
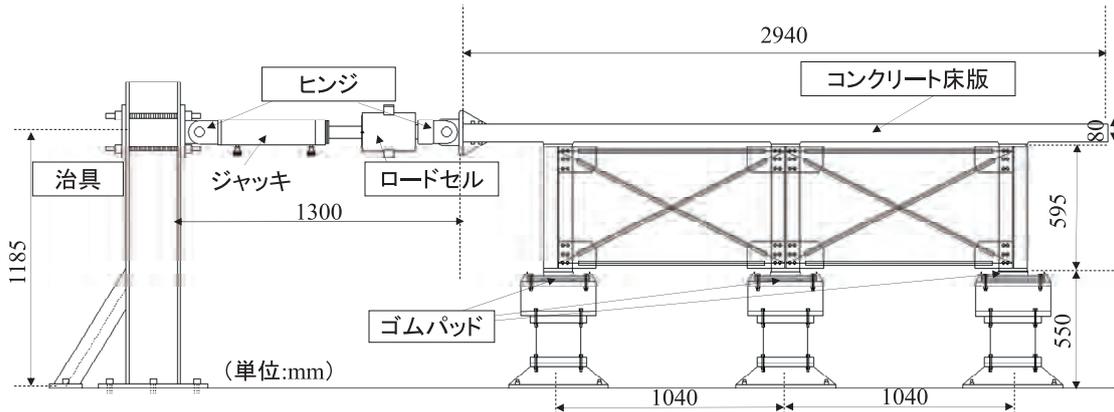


図-16 鉄筋座屈開始時期に関する検討
(橋脚 (北側))

近づけるのが良いと考えられる。しかし、多径間を有する大規模な高架橋梁の地震応答解析の収束計算を安定させるためには少しでも残留強度を有している方が良い。そこで、ここではカバーコンクリートの残留強度と鉄筋座屈との関連について検討することとし、図-12のように主鉄筋の座屈を考慮した鉄筋の応力-ひずみ関係を用いて、Hoshikumaら⁸⁾のモデルにおけるカバーコンクリートの残留強度（図-



(a) 大型実験モデル⁽¹⁰⁾

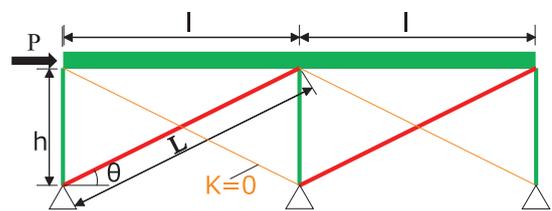


(b) 縮小実験モデル

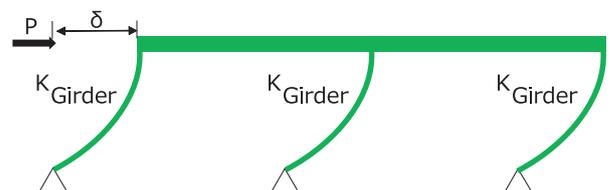
図-17 実験モデル

13) を $0.2\sigma_{cu}$ (σ_{cu} はコンクリートの最大応力) から $0.04\sigma_{cu}$ まで変化させた解析を実施することでカバーコンクリートの残留強度の影響を検討した。なお、橋梁震動台実験の損傷状況については Levi⁹⁾の研究において詳細に示されており、この研究において入力地震動 200%時にカバーコンクリートの明確な剥落が確認され、250%時に剥落が進み、300%時に軽微な主鉄筋座屈が観察され、350%時に明確な主鉄筋座屈が観察されるといった状況であったことから、300%以上を対象に検討した。

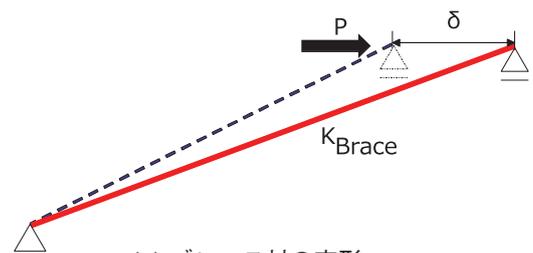
図-14に鉄筋座屈を考慮した上で、コンクリートの残留強度を変化させた入力地震動 350%時の地震応答解析結果を示す。図-14より、残留強度を徐々に小さくすることにより、残留変位が大きくなることがわかる。次に、損傷の蓄積について検討することを目的に入力地震動 300%から 350%を連続して解析した結果を図-15に示す。図-15より残留強度を小さくした残留強度 4%の結果は残留強度 10%の結果よりも実験を良く再現した。以上より、残留変位の再現性、特に損傷の蓄積に基づく残留変位の再現性を高めるためにはカバーコンクリートの残留強度を小さくする必要があると言えるが、4%程度の残留強度



(a) 上部構造の力学モデル



(b) 鋼桁の変形



(c) ブレース材の変形

図-18 上部構造の力学モデル

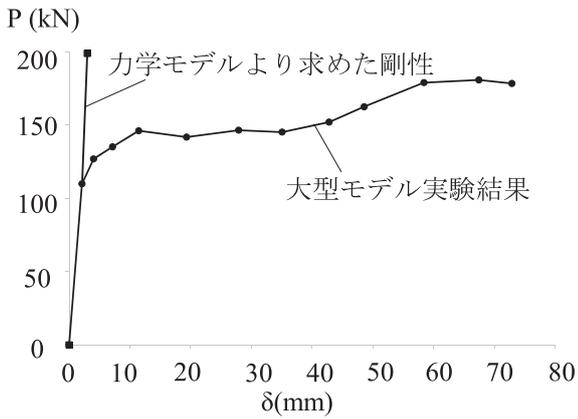


図-19 実験結果と力学モデルの剛性の比較

であっても概ね実験の残留変位を捕えていることがわかった。

次に、鉄筋座屈の開始時の影響を検討するために、図-16に鉄筋座屈の開始時を2%から3%に変化させた結果を示す。鉄筋座屈の開始時を2%から3%に変化させることで違いが生じることがわかる。2%とした場合は過大評価、3%の方は過小評価となるが、いずれも概ね実験結果を捕えていることがわかる。

以上より、コンクリートの残留強度のみならず鉄筋座屈の開始時も影響を及ぼすことがわかり、解析上の安定性を考慮して両者を決定するのが良い。本研究ではコンクリートの残留強度を最大応力の4%程度、鉄筋の座屈開始時のひずみを2.3%程度とするのが良いといえる。

3. 上部構造2次部材を利用した耐震補強の検討

上部構造の構造体内部、すなわち、2次部材に設置可能な地震エネルギー吸収部材の適用可能性を検討することを目的とし、エネルギー吸収部材を対傾構に設置した既往の大型モデル実験結果を基に、その縮小モデル実験の実施とその解析、エネルギー吸収部材の耐力評価のための力学モデルの構築を計画した。ここでは、設計した縮小モデル試験体とエネルギー吸収部材の耐力評価のために構築した力学モデルを報告する。

3.1 上部構造モデル試験体の設計

図-17に大型実験、並びに縮小実験モデルを示す。ここでは、実大の0.57スケールの文献10)の大型実験モデル(図-17(a))を基に、縮小実験モデル(図-17(b))を設計した。大型実験モデルはコンクリート床版を有する鋼I形断面3主桁であり、モデル下端はピン構造とされ、地震エネルギー吸収を目的と

したブレース材が対傾構に設置されている。水平荷重はコンクリート床版に作用されている。図-17(b)に示す縮小モデル(実大の0.24スケール、大型モデルの0.57スケール)は縮小比に従い、縮小モデルの桁高は595mm、主桁間隔は1040mm、そのコンクリート床版は厚さ80mm、幅約3000mmとした。

3.2 2次部材を対象としたエネルギー吸収材耐力評価

上記した載荷試験の実施に先立ち、対傾構へ設置するエネルギー吸収部材を対象に、その耐力評価を行うための力学モデルの構築を行った。ここでは、既往の大型実験モデルを基に力学モデルを構築し、その力学モデルの妥当性の検証を行った。具体的には、力学モデルより水平方向剛性 K を定式化し、その妥当性を検証した。

図-18(a)に上部構造の力学モデルを示す。コンクリート床版を剛体、また、床版と主桁の接続箇所は固定と仮定した。これより、主桁の水平方向剛性 K_{Girder} は図-18(b)の曲げ変形を仮定することで定式化した。ブレース材の水平方向剛性 K_{Brace} は両端をピン固定と仮定し、圧縮力が作用した場合は0、引張力が作用した場合は図-18(b)のようなブレースの変形を仮定することで定式化した。よって、ブレース材の降伏までの水平剛性 K は、 K_{Girder} と K_{Brace} を足し合わせた式(5)を得る。

$$K = 3(3EI)/h^3 + 2 \times (\cos^2 \theta \times EA)/L \quad (5)$$

図-19に大型モデル実験結果と力学モデルより求めた水平方向剛性 K との比較を示す。力学モデルより求めた水平方向剛性 K は実験の初期剛性と概ね一致していることがわかり、本力学モデルより得た水平方向剛性 K が概ね妥当であることが確認できた。

4. まとめ

本研究はネバダ・リノ大学で行われたRC高架橋システムを対象とした橋梁震動台実験を基に、曲線を有する上部構造のモデル化方法、減衰の正確な設定方法、複数回の地震動による損傷蓄積を再現可能な解析技術を検討した。さらに、地震減災対策として新たに提案されている鋼橋上部構造の対傾構や横構といった2次部材を対象とした地震エネルギー吸収を目的とした制震デバイスの設置効果に関する実験的検討を目的とした実験システムの構築を計画した。本研究による成果を以下にまとめる。

1. 曲線橋を有するRC高架橋の震動台実験の梁要素

- を用いた上部構造の簡易な数値解析モデル化方法を提案し、提案モデルが FEM解析と概ね同様の振動特性を有し、かつ FEM解析よりも計算コストを小さくしたにも関わらず、実験結果のピーク変位を良く評価可能であることを示した。
- 提案モデルのポストピークの再現性向上を目指し、文献 2) を基にすべり支承の摩擦の考慮とこれに合わせて Rayleigh 減衰を 1Hz から 25Hz のモード減衰比を非常に小さい 0.1% と仮定する設定方法を検討し、ピーク変位のみならず、ポストピークも良く再現可能であるモデルを構築した。
 - 複数地震動による損傷蓄積、並びに大地震時の損傷に対する解析技術について、カバーコンクリートの残留強度、主鉄筋座屈開始時期、並びに複数地震動を入力した解析により検討した。残留変位の再現性、特に、損傷蓄積に基づく残留変位の再現性を高めるためにはカバーコンクリートの残留強度を小さくする必要があるが、解析の安定性を考慮し、残留強度と主鉄筋の座屈開始時期の両者を決定するのが良い。本研究ではコンクリートの残留強度を最大応力の 4% 程度とし、かつ鉄筋の座屈開始時のひずみを 2 ~ 3% 程度とするのが良いことを示した。
 - 鋼上部構造の実大の 0.57 スケールの文献 10) の大型実験モデルの縮小実験モデル (実大の 0.24 スケール、大型実験モデルの 0.57 スケール) を設計・製作を進め、対傾構を対象としたエネルギー吸収部材の耐力評価の力学モデルを構築した。

今後、鋼上部構造を対象とした縮小実験モデルの実験の実施と、その解析的な検討を進める予定である。

謝辞

本研究の一部は、一般財団法人橋梁調査会の橋梁技術に関する研究開発助成の補助を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 川島一彦, 佐々木智大, 右近大道, 梶原浩一, 運上茂樹, 堺 淳一, 幸左賢二, 高橋良和, 矢部正明, 松崎 裕, 現在の技術基準で設計した RC 橋脚の耐震性に関する実大震動台実験及びその解析, 土木学会論文集, No. 570, I-40, pp.97-106, 1997.
- Kawashima, K., Sasaki, T., Kajiwara, K., Ukon, H., Unjoh, S., Sakai, J., Takahashi, Y., Kosa, K. and Yabe, M., Seismic Performance of a Flexural Failure Type Reinforced Concrete Bridge Column Based on E-Defense Excitation, Doboku Gakkai Ronbunshuu A, Vol. 65, No. 2, pp. 267-285, 2009.
- 高橋良和, 中野陽介, 家村浩和, Steve A. Mahin, Gregory L. Fenves, 逆 L 字形橋脚を有する橋梁システムの日米間分散ハイブリッド地震応答実験, 土木学会地震工学論文集, pp. 944-952, 2007.
- Wibowo, H., Sanford, D.M., Buckle, I.G., and Sanders, D.H., Effects of Live Load on Seismic Response of Bridges: A Preliminary Study, Civil Engineering Dimension, Vol. 14 (3) (Special Edition), pp. 166-172, 2012.
- Wibowo, H., Sanford, D. M., Buckle, I. G., and Sanders, D. H., Analytical Investigation on the Effect of Number of Vehicles on the Seismic Response of a Horizontally Curved Bridge Model, Tenth International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, CD-ROM, 2013.
- Chopra, A.K., Dynamics of Structures, Second edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
- Ichikawa, S., Sasaki, T., and Kawashima, K., Analytical Idealization of Local Buckling of Longitudinal Bars for Analyzing the Seismic Performance of RC Columns, Proc. 13th Japan Earthquake Engineering Symposium, Japan Association for Earthquake Engineering, 13, pp. 3247-3254, 2010.
- Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A.W., Stress-Strain Model for Confined Concrete in Bridge Piers, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 5, pp. 624-633, 1997.
- Levi, M. J., Seismic Response of Columns in Horizontally Curved Bridges, M.S. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Nevada, Reno, 2011.
- Bahrami, H., Itani, A.M. and Buckle, I. G., Guidelines for the Seismic Design of Ductile end Cross Frames in Steel Girder Bridge Superstructures, Center for Civil Engineering Earthquake Research, UNR, Report No. CCEER 09-04., 2010.

接触電気抵抗を指標としたボルトの緩み点検手法の開発

名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 助教 廣畑 幹人

1. はじめに

老朽化した社会基盤構造物の更新が困難な状況の下、構造物の効率的な維持管理・補修補強による長寿命化の重要性が高まってきている。

構造部材を固定するボルトの劣化・損傷を非破壊で検知するため、接触する二つの物体の間の電気抵抗（接触抵抗）を指標として用いることができるかを明らかにすることを目的に一連の検討を実施した。高い軸力が導入されており緩みの検知精度が比較的高くなると予想される高力ボルト²⁾を対象に、接触抵抗によるボルトの緩み検知の可否を検討した。

2. 実験供試体および実験方法

2.1 実験供試体

実験供試体の形状および寸法を図-1に示す。板厚9mmのSS400鋼板（降伏応力：312MPa、引張強度：457MPa）を切断し、長さ700mm、幅90mmの母板、長さ260mm、幅90mmの添接板を作製した。また、母板および添接板に直径26.5mmの貫通孔を3つ設けた。供試体の数は2体であり、1体は母板、添接板共にブラストによる表面処理を施した後、無機ジンク

リッチペイントを塗布した（ジンク供試体と称す）。

もう1体は母板、添接板共にブラストによる表面処理を施した後、屋外に10日間放置し母板および添接板が接触する領域に赤錆を発生させた（赤錆供試体と称す）。

その後、母板を2枚の添接板で上下から挟み、3本の高力ボルトF10T、M24により締付けた。ボルトの締付けにはトルクレンチを用い、設計ボルト軸力の10%増を目標にトルク法により導入した。各ボルトに導入したトルクの値は700N・mである²⁾。また、端部から順に、ボルトの番号を①、②、③とした。

一方、ボルトと添接板の間の接触抵抗を測定するため、図-2に示す位置にプローブとなる直径4mmのスタッドピンを溶着した。

2.2 実験方法

実験では、トルクレンチを用いて対象とするボルトを徐々に緩め、その過程で変化する接触抵抗値を測定した。ボルトを緩める際のトルク値は、トルクレンチの目盛を読み管理した。ボルトの初期導入トルク700N・mから、トルク値を50N・mずつ緩めた。各段階でボルト頭部と添接板に取付けたスタッドピ

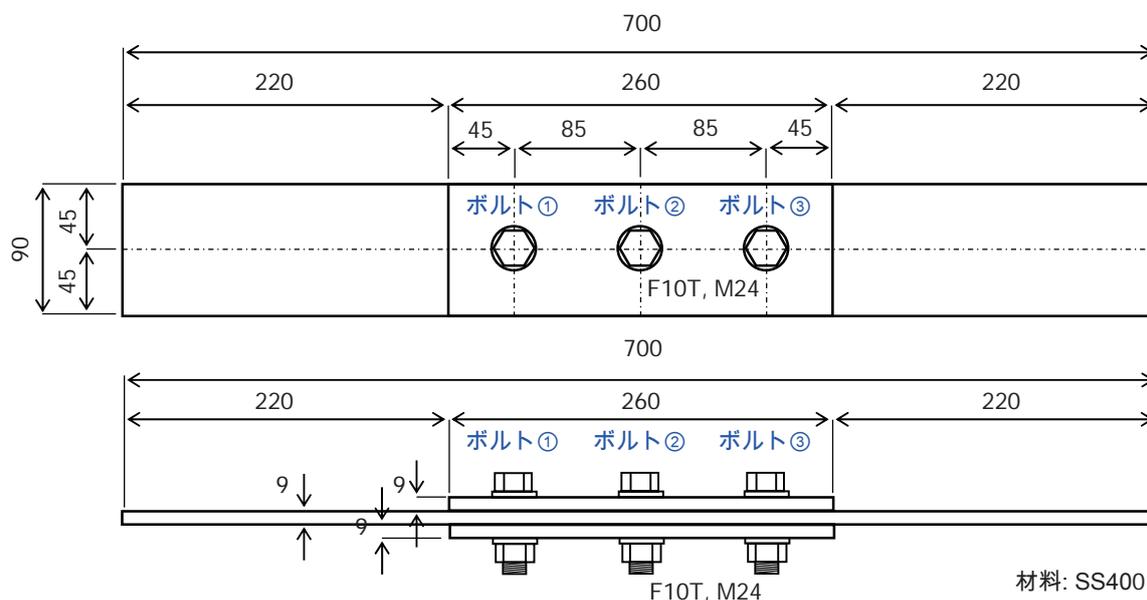


図-1 実験供試体

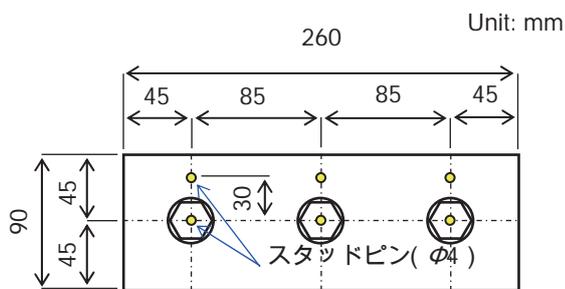


図-2 スタッドピンの取付け位置



図-3 実験状況（赤錆供試体）

ンの間の接触抵抗値を3回ずつ測定し、その平均値と標準偏差を求めた。なお、接触抵抗値の測定には、敦賀電機製のポータブル接触抵抗計 356Hを用いた。実験状況を図-3に示す。

また、ボルトを完全に緩め母板と添接板を分離させた後、ボルトとワッシャーおよびワッシャーと添接板の接触面の状態を観察した。

3. 実験結果

3.1 トルク値によるボルト弛緩の精度検証

本実験において、対象とするボルトを緩める過程で他のボルトが受ける影響の有無を確認すると共に、トルクレンチによるボルトの弛緩精度を検証しておく必要がある。そのため、頭部に2軸ひずみゲージを貼付したボルトを用い、弛緩過程で変化する頭部ひずみとトルク値の関係を調査した。

ボルトに軸力（トルク）を導入すると、頭部には曲げ変形に起因する圧縮ひずみが生じる²⁾。本実験では、各ボルトに700N・mのトルクを導入した時の頭部の圧縮ひずみは約-1000 μ であった。その後、それぞれボルト①、ボルト②を緩める過程におけるボルト頭部の弛緩ひずみを測定した。

ボルト頭部の弛緩ひずみ（2軸の平均値）とトル

ク値の関係を図-4に示す。それぞれボルト①、ボルト②を緩めると共に、頭部のひずみが比例的に増加した。また、対象とするボルトを緩める過程で、その他のボルトの頭部ひずみはほとんど変化しなかった。以上より、トルクレンチを用いてボルトの弛緩が精度良く管理できることが確認できた。また、1つのボルトを緩めることで、他のボルトが緩むなどの影響は無いことが確認できた。

3.2 トルクと接触抵抗の関係

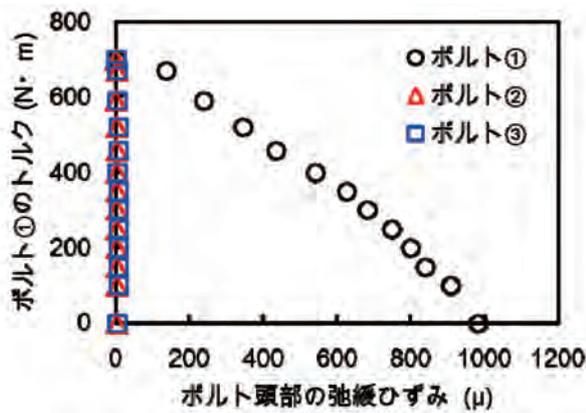
ジンク供試体、赤錆供試体に対し、ボルト①およびボルト②を緩める過程で変化する接触抵抗値を測定した結果を図-5に示す。図には各段階で3回ずつ測定した接触抵抗値の平均値（M）と標準偏差（S）を示している。

ジンク供試体、赤錆供試体共に、初期トルク（700N・m）導入時の接触抵抗は、ボルト①に比べボルト②の方がやや大きかった。ボルトを緩める過程でそれぞれのボルトの接触抵抗は増加した。各段階での接触抵抗のばらつきは小さかった。一方、ボルト②を緩める過程については、ジンク供試体に比べ赤錆供試体の接触抵抗が全体的に大きかった。しかし、ボルト①を緩める過程では両者の接触抵抗の差は比較的小さかった。初期トルク値（700N・m）により無次元化したトルク値と、初期トルク導入時の接触抵抗により無次元化した接触抵抗の関係を図-6に示す。ボルトの緩みに伴う接触抵抗の変化の挙動は類似の傾向にある。本実験の範囲では、ボルトの位置や接触面の処理状態によらず、トルク値が初期トルク値の40%を下回ると、初期状態に比べ接触抵抗が2.5%増加することがわかった。

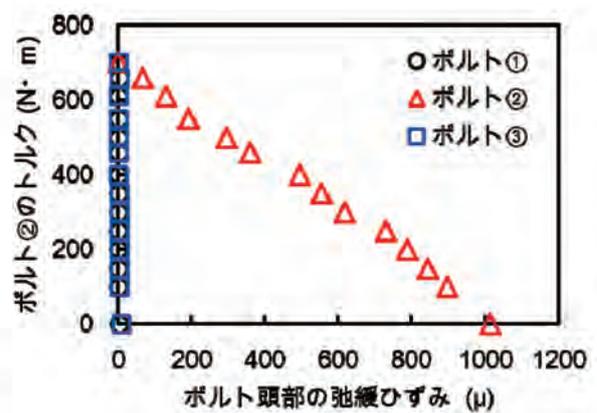
3.3 接触面状態の観察結果

3.2の結果では、接触面の状態（ジンクリッチペイント塗布と赤錆発生）の違いによる接触抵抗の差が比較的小さかった。この理由について検討するため、実験前後のボルトとワッシャーの接触面および各供試体のワッシャーと接触する添接板のボルト孔周辺の状況をそれぞれ図-7および図-8に示す。

実験前のボルトの締付けにより、ボルトとワッシャーの接触面の被膜が削られ、素地鋼材が露出していることが確認できた。また、ワッシャーと接触する添接板のボルト孔周辺は、ジンク供試体ではジンクリッチペイントが剥がれ素地鋼材が露出していた。赤錆供試体では、ブラストにより形成された鋼材表面の凹凸が削られていた。さらに、ワッシャー

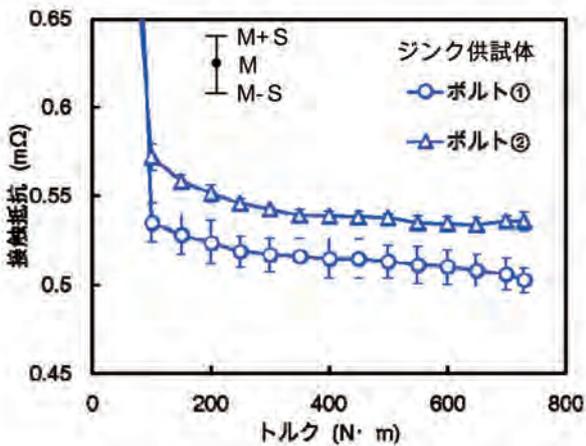


(a) ボルト①を緩めた場合

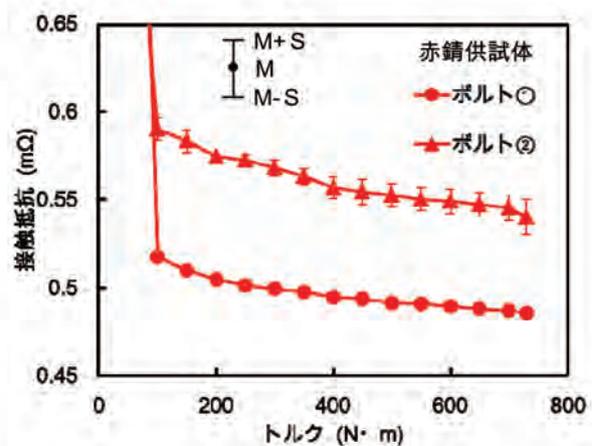


(b) ボルト②を緩めた場合

図-4 トルクとボルト頭部の弛緩ひずみの関係



(a) ジンク供試体



(b) 赤錆供試体

図-5 トルクと接触抵抗の関係

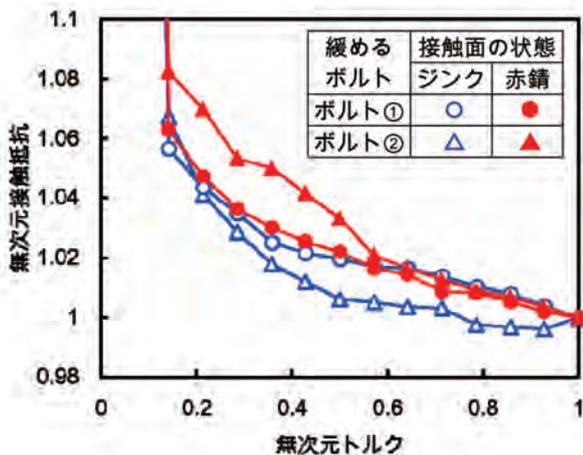


図-6 無次元トルクと無次元接触抵抗の関係

と接触する添接板のボルト孔周辺に対し、実験前後の各種表面粗さ³⁾を計測した結果を表-1に示す。ジンク供試体、赤錆供試体共に、実験前にボルトを締付けたことでワッシャーと接触する添接板の表面が削られ、実験前に比べ、実験後は添接板のボルト孔周辺が平滑になっていることが粗さの計測結果から確認できた。

一方、実験前後共に、ジンク供試体に比べ赤錆供試体の粗さが大きかった。一般に、表面粗さが大きいほど接触抵抗は大きくなる⁴⁾。図-5に示すように、ボルト②を緩める過程では粗さの大きい赤錆供試体の方がジンク供試体よりも接触抵抗が大きかった。しかし、ボルト①を緩める過程では両者の接触抵抗はほぼ同じ値であった。本実験における接触抵抗の測定では、接触面の粗さ以外にも、プローブとなるスタッドピンの取付け位置の精度やスタッドピンと測定端子の接続状態等、接触抵抗に影響を及ぼす因子が存在する。そのため、表面粗さが接触抵抗に及ぼす影響の度合いを明示することは本実験の範囲では困難と考える。

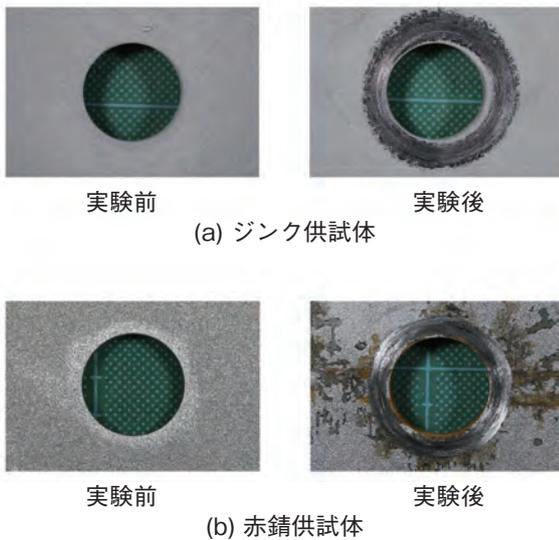
いずれにせよ、ボルトの締付け過程において、ボルトとワッシャーの接触面およびワッシャーと接触する添接板のボルト孔周辺は削られ、素地鋼材が露出すると共にその表面が平滑になる。本実験ではボルト頭部と添接板の間の接触抵抗を測定したが、ボルト、ワッシャーおよび添接板それぞれが接触する

表-1 ボルト孔周辺の表面粗さ

		算術平均 荒さ	最大高さ	十点平均 荒さ
		Ra	Rz	Rz JIS
		μm		
ジンク 供試体	実験前	9.69	66.03	59.15
	実験後	3.26	22.14	15.74
赤錆 供試体	実験前	15.99	176.41	134.82
	実験後	8.68	56.51	39.28



図-7 ボルトとワッシャーの接触面の状況



(a) ジンク供試体

(b) 赤錆供試体

図-8 ワッシャーと接触する添接板のボルト孔周辺の状況

表面は同様の状態となっており、ブラストやジンクリッチペイントの塗布等の表面処理の違いが接触抵抗に及ぼす影響は小さいと推察される。

4. ボルトの緩みに伴う接触圧力分布の変化

3.の実験では、ボルトを弛緩させると共にボルト頭部と添接板の間の接触抵抗が増加することを確認した。ここでは、ボルトがどの程度緩むと、接触抵抗がどの程度変化するのかを定量的に考察するため、接触抵抗の変化の要因となる接触圧力に注目する。すなわち、ボルトの緩みに伴う添接板のボルト

孔周辺の接触圧力分布の変化について検討するため、弾塑性解析によるシミュレーションを行う。

4.1 弾塑性解析モデル

解析モデルを図-9に示す。解析には有限要素解析ソフト ABAQUS Ver. 6.11を用いた。8節点ソリッド要素を用い、対称性を考慮して、1/4モデルを作成した。

高力ボルトおよびワッシャーは弾性体（ヤング率：205GPa、ポアソン比：0.3）としてモデル化し、添接板および母板は図-10に示すバイリニア型の応力-ひずみ関係を用いた弾塑性体としてモデル化した。なお、用いた硬化則は等方硬化則である。ボルトとワッシャー、ワッシャーと添接板、添接板と母板の間にはペナルティ法による接触条件を与えた⁵⁾。

载荷方法であるが、まず、全てのボルトにF10T、M24高力ボルトの締付けボルト軸力262 (kN) を導入した。その際、ボルト頭部の中心部における面内方向ひずみは約-1093 μであった。3.1における実験では、ボルトに締付けボルト軸力に相当するトルク (700N・m) を導入した時、ボルト頭部に貼付したひずみゲージにより得られた面内方向圧縮ひずみが約-1000 μであった。すなわち、解析値は実験値と概ね一致しており、解析モデルが妥当であると判断できる。

その後、ボルト①あるいはボルト②の軸力を徐々に減少させ、ボルト周辺の接触圧力分布の変化を確認した。なお、ボルト①の軸力を減少させる過程では、ボルト②およびボルト③には締付けボルト軸力を導入したまま変化させていない。同様に、ボルト②の軸力を減少させる過程では、ボルト①およびボルト③には締付けボルト軸力を導入したまま変化させていない。

4.2 解析結果

ボルト①あるいはボルト②の軸力を減少させる過程における添接板上面 (z = 13.5 (mm)) の接触圧力の変化を図-11に示す。なお、圧力は添接板の幅方向の中心 (y = 0 (mm)) に沿う位置の値を示している。

ボルト①とボルト②に締付けボルト軸力 (N=262 (kN)) が導入されているとき、すなわち、初期状態では、ボルト①に比べ、ボルト②の方がボルト孔の縁に生じる接触圧力が約5%小さかった (ボルト①：約400MPa、ボルト②：約379MPa)。これは、3.2で実施した実験において、ジンク供試体、赤錆供試体共にボルト①に比べボルト②を緩める過程の方が接触抵抗の値が大きかったことと定性的には整合している。

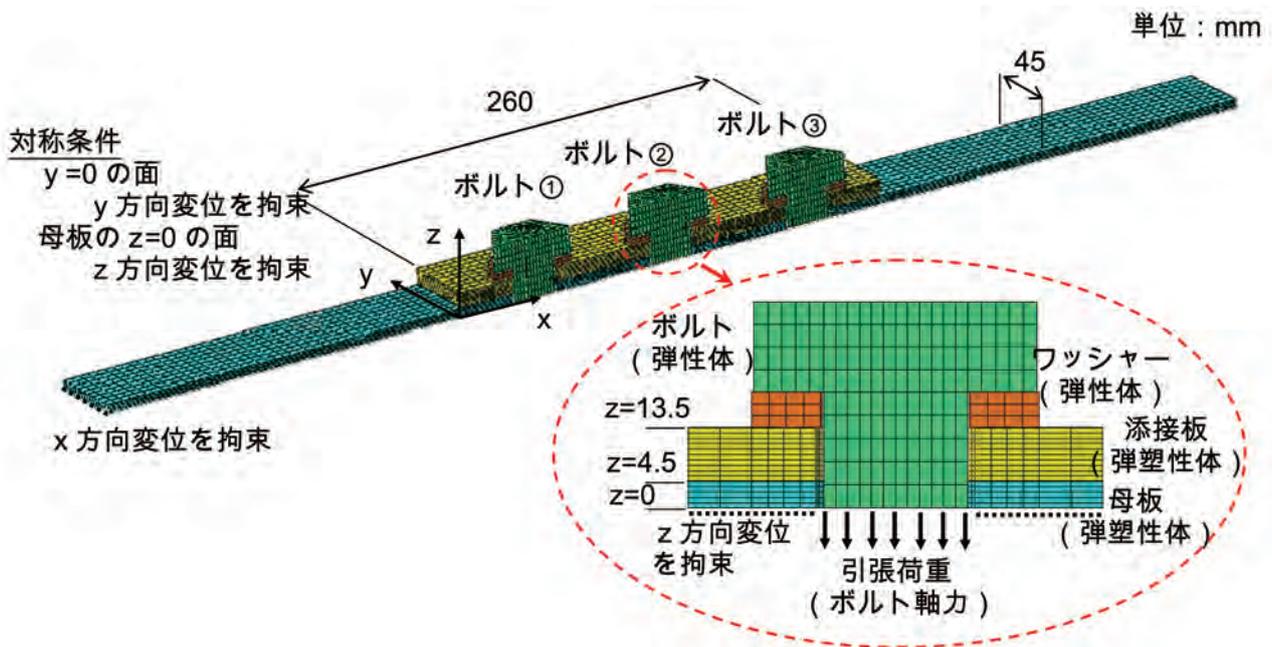


図-9 弾塑性解析モデル

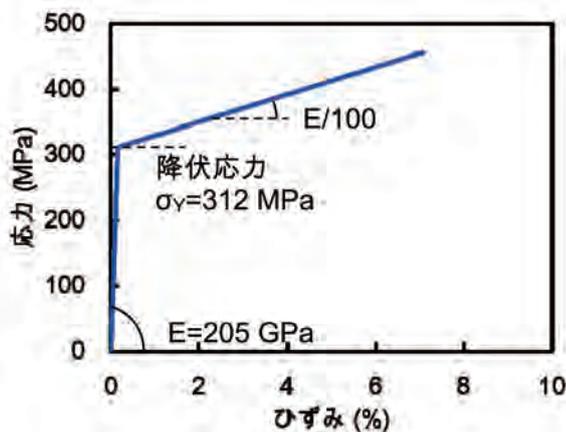
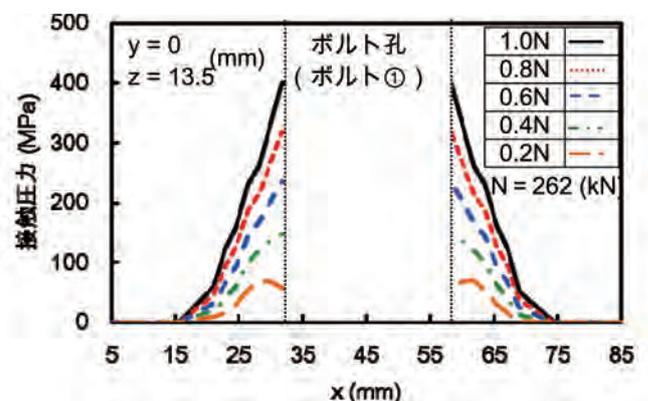


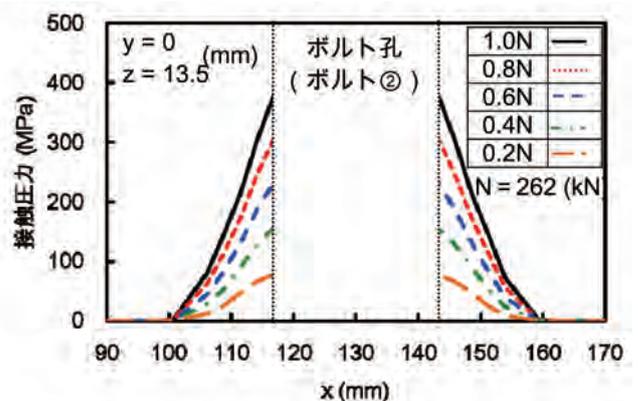
図-10 添接板および母板の応力-ひずみ関係

ボルト①あるいはボルト②の軸力を締付けボルト軸力の60%まで減少させると、両者のボルト孔の縁における接触圧力はほぼ同じ値となった。しかし、実験ではボルト軸力（トルク）が低下しても、ボルト①よりもボルト②を緩める過程の接触抵抗が大きい傾向は変わらなかった。

本実験においてボルト①に比べボルト②を緩める過程の方が接触抵抗の値が大きかった原因は、ボルト位置の違いによる接触圧力の差だけで説明できないことを解析結果は示唆している。



(a) ボルト①の軸力を減少させる場合



(b) ボルト②の軸力を減少させる場合

図-11 ボルトの軸力減少に伴う添接板の接触圧力の変化

5. 接触抵抗によるボルトの緩み検知に関する考察

3.3および4.2で述べたように、本実験の範囲では、接触面の粗さや接触圧力以外にもスタッドピンの取付け位置の精度やスタッドピンと測定端子の接続状態等、接触抵抗に影響を及ぼす因子が存在する。これらの影響によって、ボルトの軸力が同じでもボル

トと添接板の間の接触抵抗の大きさは種々異なる。

すなわち、接触抵抗の大きさ自体をボルトの緩み検知の指標とすることは精度の観点から困難と考えられる。

しかし、図-5に示すように、一つのボルトを緩める過程では接触抵抗のばらつきは小さかった。また、図-6に示すように、締付けボルト軸力に対応する初期トルクが導入された状態における接触抵抗の値で、各段階の接触抵抗の値を除いた接触抵抗の変化の挙動は、接触面の状態やボルト位置の違いによらずほぼ同じであった。すなわち、特定のボルトに対し、初期状態からの接触抵抗の変化の度合いをモニタリングすることで、ボルト軸力の低下が検知できる可能性があると考えられる。

一方、任意のボルトに対して、ボルトと添接板の間で測定した接触抵抗の大きさから軸力を推定するには、ボルト径に応じたスタッドピンの取付け位置や、接触抵抗の測定端子を接続する最適な方法を定める必要がある。今後、接触抵抗の最適な測定方法を確認するための検討を実施する予定である。

6. まとめ

接触電気抵抗を指標として、高力ボルトの緩みが検知できるか否かを明らかにするため、一連の基礎的検討を実施した。

得られた主たる知見を以下に示す。

- (1) 無機ジンクリッチペイントを摩擦面に塗布したボルト継手供試体と、ブラスト処理した摩擦面に赤錆を発生させたボルト継手供試体に対し、ボルトを徐々に緩め、その過程においてボルト頭部と添接板の間の接触抵抗を測定した。摩擦面の状態や緩めるボルトの位置が異なる種々の実験条件において接触抵抗の大きさはそれぞれ異なっていたが、ボルトの緩みに伴い接触抵抗が増加することを確認した。
- (2) ボルトの位置や接触面の処理方法によらず、締付けボルト軸力に対応するトルク値が導入された状態から、トルク値が40%を下回ると、初期状態に比べ接触抵抗が2.5%増加することがわかった。
- (3) ボルトの締付け過程において、ボルトとワッシャーの接触面およびワッシャーと接触する添接板のボルト孔周辺は削られ、素地鋼材が露出すると共にその表面が平滑になることを確認した。このことから、ボルト、ワッシャーおよび

添接板それぞれが接触する表面は同様の状態となり、ブラストやジンクリッチペイントの塗布等の表面処理の違いや接触面の粗さが接触抵抗に及ぼす影響は小さいと推察した。

- (4) ボルトの軸力低下に伴う添接板の接触圧力分布の変化の度合いを検討するため、有限要素法による弾塑性解析を実施した。継手の端部と中央部など、ボルトの位置によるボルト孔周辺の添接板の接触圧力の差は5%程度と小さいことがわかった。ボルト位置の違いが接触抵抗に及ぼす影響は小さいことを解析結果は示唆していた。
- (5) 接触面の処理状態や粗さ、接触圧力以外にも、測定端子の取付け方法や位置によって測定端子の接続状態接触抵抗の大きさは種々異なるため、本実験の範囲では、接触抵抗の大きさ自体をボルトの緩み検知の指標とすることは精度の観点から困難と判断した。
- (6) 締付けボルト軸力が導入された初期状態の値で無次元化した接触抵抗の変化の挙動は、接触面の状態やボルト位置の違いによらずほぼ同じであった。すなわち、特定のボルトに対し、初期状態からの接触抵抗の変化の度合いをモニタリングすることで、ボルト軸力の低下が検知できる可能性を結果は示唆していた。

謝辞

本研究の一部は(一財)橋梁調査会平成25年度「橋梁技術に関する研究開発助成」を受けて実施した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 西岡敬治, 乙黒幸年, 矢幡 健, 長沼敏彦, 吉川 紀: 施工後10数年経過した橋梁の高力ボルト維持管理に関する諸問題, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.961-966, 1997.
- 2) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.
- 3) 一般社団法人日本規格協会: 製品の幾何特性仕様(GPS) - 表面性状: 輪郭曲線方式 - 用語, 定義及び表面性状パラメータ, JIS B0601, 2013.
- 4) 眞野國夫: リレーハンドブック, 森北出版, 1992.
- 5) SIMULIA: Abaqus 6.11 Documentation, 2011.

以上

第36回 IABSE シンポジウムに参加して

1. はじめに

2013年9月24日～27日にIABSE シンポジウムがインドのコルカタで開催されました。コルカタはインド東部にある西ベンガル州の州都であり、従来はカルカッタの名称で知られていました。

IABSE は、International Association for Bridge and Structural Engineering の略称であり、橋梁と構造に関して国際的に著名な団体です。

このシンポジウムに参加しましたので報告いたします。

2. 講演と参加者

今回のシンポジウムは、Long Span Bridge and Roofs – Development and Design というテーマであり、30カ国から約400名の参加者がありました。

講演は、Long Span Bridge & Roof と題された8つの基調講演と約120の特別講演と一般講演が行われました。また、特別講演は3題あり、2005年にデリーで行われたシンポジウムのフォローと災害管理、もうひとつは貧困削減というテーマであり、技術系の



写真-2 休憩時間の様子、インドの参加者が多い

シンポジウムの中でやや異質に感じるものもありました。

シンポジウムの参加者は、講演者やTEA BREAKSでの顔ぶれをみると、やはり開催国であるインドの方が多く、ついで近年長大橋の建設が続いた韓国や中国からであり、欧米からの参加者が少ないような印象でした。

テーマであるLong Span Bridge は、講演の中でも関心が高いようで、全体の講演数に占める数が多いだけでなく、それに対して多くの方が聴講していました。

中でも、トルコに建設中のIzmit Bay Suspension Bridge に対しては、1つのセッションを設けて設計から現在の工事進捗の報告がなされ、特に開催国インドの方が熱心に聴講されていました。

3. 現地見学会

シンポジウム開催中Technical Tour に参加し、ガンジス川の支流であるフーグリー川 (Hooghly River) に架かるハウラー橋 (Howrah Bridge) と第2フーグリー橋 (Second Hooghly Bridge) を見学しました。

Howrah Bridge は、1943年に開通した橋長705m 中央径間457m のカンチレバー方式トラス橋です。車道は渋滞がひどく、また歩道には多くの人が行き交っており交通の要であることがうかがえます。残念ながら、近接の写真は撮影不可のため遠景の写真ですが、検査路を至る所に取り付けてあるなど、形式も



写真-1 会場近くの様子 (シンポジウムのPR看板) 朝のラッシュアワーに遭遇



写真-3 Howrah Bridge 川辺では沐浴や洗濯などする人が多く見られた

さることながら細部にわたり興味深い橋梁でした。

4. おわりに

今回のシンポジウムで取り上げられた講演の多くは建設に関するものであり、BRICSの一員であるインドの開催にふさわしいものだったと思います。

一方わが国では、橋梁などのインフラに対しては維持管理時代に突入しており如何に合理的な管理が行えるかにシフトしています。

このような両者の技術を集積していき、実務に生かすことが大事であると感じました。

文責：関東支部 桐原 進彌

国土交通行政関係功労者表彰の 受賞について

国土交通行政関係功労者表彰とは、国土交通省から発注された工事や業務等に関して、その施工や成果が特に優秀で他の模範となるものが選定され、企

業又は技術者について、発注者より表彰が行われるものです。当調査会におきましては、平成25年度の以下の業務に対して、局長表彰を頂きました。

文責：企画課長 二宮 仁司

業務名	表彰者	表彰対象
東北北部地区橋梁診断業務	東北地方整備局長	一般財団法人 橋梁調査会



受賞の様子（平成26年7月17日）

橋梁研究開発助成等について

当調査会では、平成20年度から「橋梁技術に関する研究開発助成」及び「国際会議等への参加に関する助成」を始めており、年に一度、助成対象者を決定しております。今迄「橋梁技術に関する研究開発助成」は9件、「国際会議等への参加に関する助成」は14件の助成を行ってきたところです。平成26年度の助成対象者は以下の通りとなりました。

なお、助成対象者の選定にあたり、橋梁研究開発助成等審査委員会（独）土木研究所 魚本 健人理事長、横浜国立大学 藤野 陽三特任教授、長岡科学技術大学 丸山 久一名誉教授）を設け、審査委員会での審査を経て、それぞれの助成を決定しました。

文責：企画課長 二宮 仁司

橋梁技術に関する研究開発助成

橋梁技術に関する研究開発についての計画を公募し、優秀研究計画と認められる応募者に対して、当該研究開発に要する費用の一部を助成

平成26年度

佐伯 竜彦氏（新潟大学工学部建設学科 教授）

- ・ 研究計画：「薄板モルタル供試体を用いた塩害－中性化複合劣化進行予測手法の構築」

海老澤 健正氏（名古屋工業大学工学部都市社会工学科 助教）

- ・ 研究計画：「大型連続高架橋模型の2方向加振実験結果に基づく現実的な設置状況下でのゴム系支承（ゴム、高減衰支承）の挙動と終局挙動の解明に関する研究」

国際会議への参加に関する助成

橋梁技術に関する国際会議において研究等の発表のために渡航する方に対し、その渡航に係る費用等を助成

平成26年度

谷口 望氏（前橋工科大学 准教授）

- ・ 国際会議名：「ASEA－SEC－2」
- ・ 提出論文：「An Examination on Hybrid Structures Renovated from the Old Railway Steel Bridges」

木下 幸治氏（岐阜大学工学部社会基盤工学科 助教）

- ・ 国際会議名：「10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering」
- ・ 提出論文：「Numerical Analysis Of A Horizontally Curved Bridge Model」

安 同祥氏（早稲田大学理工学術院創造理工学部国際教育センター 准教授）

- ・ 国際会議名：「37th IABSE Symposium」
- ・ 提出論文：「Vibration Behavior and Seismic Performance of a Steel Cable-Stayed Bridge with Low-Rise Pylons」

第2回賛助会員特別講演会の報告

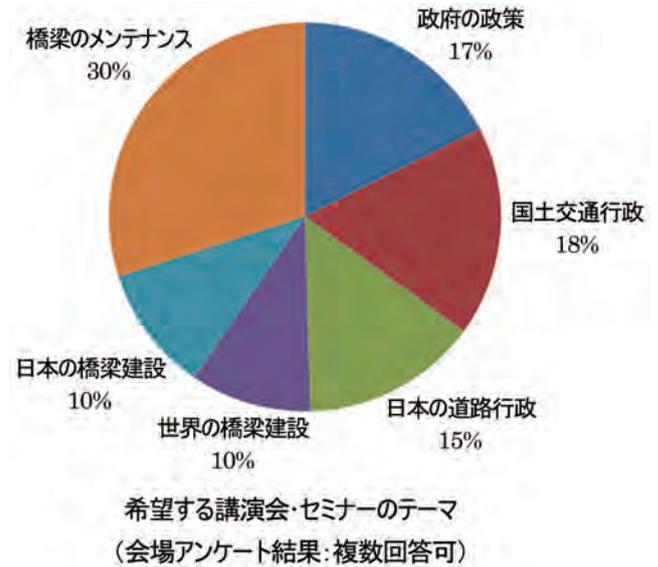
橋梁調査会の一般財団法人化に合わせて昨年度から企画、定例化しました、賛助会員限定の特別講演会を2014年4月15日にアルカディア市ヶ谷にて開催しました。

第2回目となる今回は、特別講師として内閣総理大臣補佐官の和泉洋人氏より、「安倍政権の国土強靱化計画等」と題した講演をしていただきました。つづいて大石龍太郎（一財）橋梁調査会審議役兼企画部長から「最近の橋梁点検に関する動向」についての講演を行いました。

両講演テーマは、経済再生に向けたアベノミクスと国土強靱化に向けた動きの本格化、および、メンテナンス元年に続く維持管理の本格始動といった業界の新たなステージを示すものであり、その期待を受けて、講演会参加申込みの受付開始から多数の応募をいただくこととなりました。

予測を超えるお申込みに対して、急遽席数を増やすなどし、当日は会場定員に迫る166名の参加者をお迎えすることができました。

ご参加いただいた皆様からのアンケートでは、上位の政策を体系的に知る良い機会であったとの多くの感想が寄せられました。



また、同アンケートでは、調査会が開催する講演会、セミナーで取り上げるテーマに対する希望について、図に示すように「政策・行政に関するもの」が50%、「橋梁のメンテナンス」が30%、続いて「橋梁建設」が20%となり、調査会に対して情報発信センターとしての期待を寄せられていることが分かりました。これを参考に、今後も時事動向を的確に捉えた情報を発信していきたいと考えております。

文責：開発課長 藤原 英之



和泉 洋人内閣総理大臣補佐官のご講演風景



講演会会場風景

橋梁床版に関するセミナーの報告

橋梁調査会では、昨年度より橋梁のメンテナンス技術の普及を目的としたセミナーを開催しています。

本年度は、6月5日（木）に飯田橋レインボービル大会議室にて開催しました。

本年度のセミナーのテーマは、近年、いくつかの新しい損傷ケースが指摘され、その損傷メカニズムの解明と適切な補修方法の確立が急がれる、道路橋床版を取り上げました。

プログラムは下表に示すとおり、基調講演2題に続けて、鋼床版、RC床版をテーマに、それぞれ2題の講演で構成しました。

基調講演では、道路橋を中心とした社会資本ストックの現状とメンテナンスサイクルを確立するための取組を福田敬大国土交通省道路局国道・防災課道路保全企画室長から解説いただきました。つづいて西川和廣（一財）橋梁調査会専務理事から、今回のセミナーテーマである道路橋床版の損傷ケースとその発生メカニズムに関する知見を総括的に紹介いただきました。

その後のテーマ別講演では、講師に道路管理、研究、施工の各分野の第一線でご活躍の方々をお迎えし、各テーマで実橋の事例を中心に最新の取り組みとそこでの知見について紹介いただきました。

当日の聴講者数は、テーマへの関心の高さを反映し、定員を超える参加申し込みを受ける中、230名を数えました。

会場アンケートの回答では、テーマを床版に絞ったことへの適時性や、多くの事例を聞くことができ良かったという賛同の意見が見られる反面、時間が足らずに中途半端であった、質疑の時間が欲しかったというご要望も多くいただきました。

今後のセミナー運営にあたっては、こうしたご要望を反映したものにしていきたいと考えております。

最後になりましたが、定員の関係により、お申込みいただきながらも、人数制限やご辞退をお願いいたしました皆様には、改めてここにお詫びとご協力への感謝を申し上げます。

文責：開発課長 藤原 英之

基調講演「最近の道路橋の維持管理について」

国土交通省道路局国道・防災課 道路保全企画室長 福田 敬大

基調講演「橋梁床版損傷と補修」

一般財団法人橋梁調査会 専務理事 西川 和廣

講演テーマⅠ「鋼床版および舗装の損傷と補修事例」

1. SFRC 舗装による鋼床版疲労補強とその効果

鹿島道路株式会社 技術営業部 副部長 児玉 孝喜

2. 鋼床版の疲労損傷に関する調査・対策技術

(独法)土木研究所橋梁構造研究グループ上席研究員 村越 潤

講演テーマⅡ「RC 床版の損傷と補修事例」

1. RC 床版の補修事例

国土交通省関東地方整備局道路部道路保全企画官 箕作 光一

2. 寒冷地における損傷と補修事例

(独法)土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム上席研究員 西 弘明

橋梁床版に関するセミナー プログラム

重厚さと軽快さの調和した 六連アーチ橋

新潟・萬代橋(ばんだいはし)

古の橋探訪

シリーズ 第9回



新潟市のシンボル

信濃川にかかる新潟市のシンボル・萬代橋は、市の中心市街地古町と新潟駅とを結ぶ幹線道路の橋梁である。国道も7、8、17、113、350号と5本も通り、自動車交通の要である。

現在の橋は、明治の建設当初から数えて3代目となり、戦争、地震など、幾多の困難を経てきた。そんな力強さや存在感を感じさせるコンクリート構造物である。橋全体は滑らかな放物線で中央部が少し盛り上がった優美な六連アーチ姿が目を引き。

初代と2代目の橋梁

明治初期まで新潟市内の信濃川の交通手段は手漕ぎの渡し舟であった。川幅は約700mと現在よりずっと広く、対岸まで1時間を要した。1886(明治19)年11月、約9カ月を要して初代の木造橋が開通。橋長は現在の2.5倍以上の782mで、当時国内橋梁で最長であった。幅員は約7.3m。橋名は当初「よろづよばし」だったが、次第に「ばんだいはし」と呼ばれるようになった。1908(明治41)年に新潟大火が発生。萬代橋も半分以上が焼け落ちた。そこで、2代目の木造の萬代橋の工事に着手し、1909(明治42)年12月に完成した。

木橋からコンクリート橋へ

大正期から自動車通行量が増加し、萬代橋の老朽化が進み、損傷箇所も多くなっていた。その頃、内務省の策定した新潟都市計画で萬代橋の架け替えが計画された。3代目橋梁建設は県営事業だったが、橋の全体設計は内務省復興局に委託され、設計課長の田中豊の指導のもと、若き技術者の福田武雄が実際

- 1 一花崗岩を使った石張りで重厚さを感じさせる6連アーチ
- 2 一軽快さの表現として極限まで薄くされたアーチクラウン部
- 3 一地盤沈下により僅かに見える脚部の水切りと橋の側面にアクセントを与える橋側灯
- 4 一建設当時の形状が復元された照明灯、路面電車の架線フックがある
- 5 一自動車交通を担う4車の車道と市民の往来も多い歩道
- 6 一橋側灯がアーチ基部を照らし出す萬代橋の夜景

所在地：新潟市中央区万代～同区下大川前通・川端町間、国道7号

構造形式：鉄筋コンクリート造6連アーチ橋

橋長：306.9m、中央支間42.4m

幅員：22.0m

竣工：1929（昭和4）年8月

施工主：新潟県（内務省復興局に委託）

設計技術者：福田武雄 施工技術者：正子重三

最寄駅：JR新潟駅から約1km 徒歩15分

の設計を担った。

構造形式には鉄筋コンクリートアーチ橋を採用。これは、関東大震災時にアーチ橋の損傷が少なかったこと、潮風による鉄の錆が懸念されることなどによる。そして、ロングスパンアーチ6連構造とし、アーチの支間長を中央から端に行くにつれて少しずつ短くし安定感とリズム感を与えている。またアーチクラウン部の厚さを構造上許されるまで薄くすることで軽快でバランスの取れた美しさを作り出している。

中央支間42.4mは当時の国内のコンクリート橋としては最大である。

1927（昭和2）年7月に工事がスタート。2年後の8月に3代目の萬代橋が竣工した。開通当時は橋長309m、幅員22m、建設費用は240万円（現在の金額で800億円）。当時の国家の年間道路予算の約350万円に比すといかに巨額かがわかる。

幅員が22mと広いのは路面電車を通す計画があったためである。

橋脚の基礎部には、当時アメリカから導入されたばかりの最新技術である空気潜函工法を採用。正子重三の指揮の下、初めて日本人のみの手により施工が実施された。基礎工事で掘削した砂や砂利は、本体の膨大なコンクリートの材料に有効活用。この縮減した費用を使い本体表面に御影石の化粧張りを施した。これによりコンクリート面を潮風の塩害から守る効果をもたらし、同時に重厚な風格を印象づけることとなった。

新潟地震を耐え抜く

1964（昭和39）年6月、マグニチュード7.5の新潟地震が発生。液状化や津波による大規模浸水が生じた。市内の他の橋は通行不能となったが、萬代橋は取付部に傷を受けたもののアーチ部分はほぼ被害がなかった。このため、応急工事で通行が再開され、被災者救援や復旧の大動脈を担った。その後、本格的な復旧工事が行われ、橋長は現在の306.9mとなった。この時の液状化や1950年代の近辺での天然ガスの採取などで地盤が沈下。現在は建設当初

より約1.4m沈下し橋脚の水面付近の水切りは大部分が水面下に没している。

土木遺産・文化財に指定

萬代橋は日本の建築史上、文化的な価値が高いとして2002（平成14）年土木学会選奨土木遺産に認定。「推奨理由」には「日本人技術者による初の空気潜函工法を用いて築かれ、充腹アーチ橋として建設当時国内最大の支間長を誇り、マグニチュード7.5の新潟地震に耐えた橋梁」が挙げられている。

架橋75周年の2004（平成16）年には重要文化財に指定された。デザイン性と技術的達成度を示す遺構として価値の高いことなどが評価されたもの。国道の橋梁で重文指定を受けたのは日本橋に次ぐ2例目であった。重文指定に際して橋梁名を「万代橋」から当初の「萬代橋」に戻した。また、架橋当初の姿に復す工事も行われ、歩道のバリアフリー化も実施された。

市民の賑わいの場

近年は近くに柳都大橋や新潟みなとトンネルが開通し、萬代橋の渋滞は大分緩和されたが、信濃川に架かる市内の橋ではなお最大の交通量である。初代架橋から100周年の1985（昭和60）年から橋のライトアップを実施。春と夏は明白色、秋と冬は淡橙色と、昼間の力強い姿と対照的に夜は優美な景色に変わる。また、春は歩道にチューリップが飾られ、夏は新潟まつりで賑わう。四季を通じて市民に大変親しまれ、憩いと賑わいの場になっている。



お知らせ

第2回 国際シンポジウム 開催のご案内

昨年度に引き続き、海外の動向を日本の技術者に知ってもらうための国際シンポジウムを下記要領にて開催致します。今回は、世界の海峡連絡と橋梁のメンテナンスと題し、国内及び海外の話題を紹介致します。

海外からは、デンマークとドイツより講師をお招きして両国の橋梁建設とメンテナンス事情をご紹介します。また、海外インフラ建設プロジェクトとして、イズミット橋とボスボラス海峡沈埋トンネルの建設事業の報告をいただきます。

同時通訳も用意して、皆様の御来場をお待ちしております。

お申込み方法など、詳しくは橋梁調査会ホームページ（www.jbec.or.jp）をご参照願います。

なお、プログラム等は都合により変更する場合がありますのでご了承願います。

第2回 国際シンポジウム 世界の海峡連絡と橋梁のメンテナンス

平成 26 年 11 月 27 日(木) 13:30～17:30 交流会 17:50～

【場所】 イノホール 東京都千代田区内幸町 2-1-1

【参加費】 賛助会員 1,000 円 一般 2,000 円

交流会会費 賛助会員 1,000 円 一般 3,000 円

【主催】 一般財団法人 橋梁調査会 【共催】 公益社団法人 日本道路協会

【後援】 国土交通省・(公社)土木学会・(一社)日本橋梁建設協会・(一社)建設コンサルタンツ協会
(一社)プレストレストコンクリート建設業協会・(一社)日本トンネル技術協会

【プログラム(案)】

13:30～13:40	開会挨拶
13:40～14:20	本州四国連絡橋のメンテナンス
14:20～15:20	スカンジナビアンリンクの建設と橋梁のメンテナンス
15:20～15:40	休憩
15:40～16:10	ボスボラス海峡沈埋トンネルの施工
16:10～16:40	イズミット橋建設及びボスボラス橋補修工事
16:40～17:25	ドイツにおける橋梁のメンテナンス
17:25～17:30	閉会挨拶
17:50～	交流会（同ホール内別会場）

お問い合わせ先: 橋梁調査会 企画部 藤原・二宮 電話:03-5940-7788

平成27年度 道路橋点検士技術研修会及び道路橋点検技術講習会 開催のご案内

平成27年度は民間及び道路管理者を対象とした「道路橋点検士技術研修会（第6回～第10回）」及び道路管理者のみを対象とした「道路橋点検技術講習会（第2回）」の計6回の開催を下記の日程で実施する予定です。

1. 主催 一般財団法人 橋梁調査会
2. 場所 東京
3. 開催予定日及び対象者
 - ①「道路橋点検士技術研修会（第6回）」平成27年4月13日（月）～15日（水）民間・道路管理者
 - ②「道路橋点検士技術研修会（第7回）」平成27年5月20日（水）～22日（金）民間・道路管理者
 - ③「道路橋点検技術講習会（第2回）」平成27年6月9日（火）～11日（木）道路管理者のみ
 - ④「道路橋点検士技術研修会（第8回）」平成27年7月1日（水）～3日（金）民間・道路管理者
 - ⑤「道路橋点検士技術研修会（第9回）」平成27年7月29日（水）～31日（金）民間・道路管理者
 - ⑥「道路橋点検士技術研修会（第10回）」平成27年9月8日（火）～10日（木）民間・道路管理者

4. 参加者募集

研修会及び講習会の参加者の募集は開催予定日の約2ヶ月前に当調査会ホームページに「募集案内」を掲示します。参加を希望する方は「募集案内」をご覧ください、所定の様式に従って入力を行い、お申し込み下さい。

ホームページアドレス <http://www.jbec.or.jp/>

問合先 TEL03(5940)7746 企画部 研修担当

連絡先

本部 〒112-0013

東京都文京区音羽2-10-2(音羽NSビル8階)

TEL:03-5940-7788 FAX:03-5940-7789

URL:<http://www.jbec.or.jp> E-Mail:info@jbec.or.jp

東北支部 〒980-0014

仙台市青葉区本町2-1-29(仙台北町ホンマビルディング10階)

TEL:022-221-5301 FAX:022-221-5302

関東支部 〒330-0844

さいたま市大宮区下町1-42-2(NQビル5階)

TEL:048-657-6085 FAX:048-645-2167

北陸支部 〒950-0965

新潟市中央区新光町10-2(技術士センタービル3階)

TEL:025-281-3813 FAX:025-281-3818

中部支部 〒460-0002

名古屋市中区丸の内1-16-15(名古屋フコク生命ビル6階)

TEL:052-218-3151 FAX:052-218-3153

北海道駐在所 〒003-0804

札幌市白石区菊水4条2-1-6(政陽ビル2階)

TEL:011-867-9255 FAX:011-832-0606

近畿支部 〒540-6591

大阪市中央区大手前1-7-31(OMMビル12階)

TEL:06-6944-8551 FAX:06-6944-8556

中国支部 〒730-0013

広島市中区八丁堀15-10(セントラルビル8階)

TEL:082-511-2203 FAX:082-225-4745

四国支部 〒760-0026

高松市鷹屋町3-1(マニユライフプレイス高松2階)

TEL:087-811-6866 FAX:087-811-6867

九州支部 〒812-0013

福岡市博多区博多駅東2-9-1(東福第二ビル2階)

TEL:092-473-0628 FAX:092-473-0629

J-BEC レポート 2014 Vol.10 平成26年11月発行

編集・発行 一般財団法人 橋梁調査会

印刷 (株)大 應

J-BEC

橋をかける
橋をまもる

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

PRINTED WITH
SOYINK