

J-BEC

レポート

2016 Vol. 12



目次

巻頭言

法政大学・デザイン工学部・都市環境デザイン工学科

教授 森 猛

道路橋の維持管理に関する自治体支援の取組み 01

道路橋への点検ロボット導入に向けて
—第2回現場検証の結果— 07

自主研究

・支承の機能障害が鋼桁の挙動と耐荷力に及ぼす影響 13

離島架橋

・沖縄県の離島架橋整備—これまでの離島架橋の整備と効果— 18

助成研究

・アクティブ・ラーニングを基軸とする橋梁メンテナンス技術者育成
カリキュラムの研究開発 24

・表面吸水試験を用いたコンクリート床版のスケーリング抵抗性の
評価方法の開発 31

第3回 国際シンポジウム
「世界の橋梁建設とメンテナンス」開催報告 38

海外調査報告

・米国橋梁点検技術研修とフロリダ州タンパ地区橋梁調査 42

・バングラデシュ橋梁維持管理プロジェクト 46

・ヤウズ・スルタン・セリム橋（第3ボスポラス橋）・
オスマン・ガジ橋（イズミット湾横断橋）調査 48

トピック

・国土交通行政関係功労者表彰の受賞について 50

・橋梁研究開発助成等について 51

・第4回賛助会員特別講演会の報告 52

都市と橋

北九州市・若戸大橋（わかとおおはし） 53

橋梁の維持管理技術者の役割と資格制度

法政大学・デザイン工学部・都市環境デザイン工学科
教授 森 猛



橋梁の維持管理の重要性が叫ばれていますが、このようなことはこれまでも何度かありました。1981年にP.チョートとS.ウォルターにより「荒廃するアメリカ」が出版され、橋梁の老朽化が問題とされました。翌年には翻訳版も出版されています。アメリカでは1930年代以降、わが国では1960年代以降、すなわち30年遅れで橋梁の架設数が増えており、近いうちにアメリカと同じように橋梁の老朽化が始まる恐れが高いのではないかと、そして老朽化によって通行不能とならないように、46名もの尊い命を奪った米国のシルバー橋の崩落のような事故が起きないように、今から維持管理に力を入れるべきであるというものでした。次は、1994年の韓国・ソウル市で起きた聖水大橋の落橋事故です。この事故では32名の方が亡くなりました。この事故が原因でソウル市道路局の技術者9名が逮捕され、改めて維持管理の重要性、維持管理技術者の役割と責任を痛感しました。その次に維持管理の重要性が叫ばれたのが、2007年に米国・ミネアポリス市にある州間高速道路の橋梁が崩壊し、13名の死者を出した大惨事の時です。同じ年に木曾川大橋（トラス橋）の斜材の腐食による破断が見つかりました。その8年前にも、木曾川に架かるトラス橋・愛岐大橋で同じような破断事故が起きていました。この事故に起因して木曾川大橋では緊急点検が行われたにもかかわらず、同じ損傷が検出されたことにはショックを受けました。

米国では、シルバー橋の事故が契機となり、2年に1回の定期検査が義務付けられました。しかし、我が国では2007年以降も、例えば国土交通省では10年に1回は近接目視による定期検査を行うとしており、米国に比べて維持管理が特に重要視されたとは思えない状況でした。事故当時は騒がれても、数年すると忘れられてしまうのは世の常かもしれません。

2012年12月2日に中央自動車道上り線笹子トンネルでコンクリート製の天井板が約130mの区間にわたって落下し、走行中の車数台を巻き込んで9名の方が亡くなられた事故は、まだ記憶に新しいことと思います。これが契機となり、2014年に「最後の警告—今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れ」という強い口調の提言が国土交通省の社会資本整備審議会・道路分科会から出され、またそれに先立って点検基準の法定化や国による修繕工事等の代行制度の創設が行われました。そして5年に1回の定期点検が義務付けられました。国土交通省が2013年をメンテナンス元年と呼ぶよ

うに、本格的な維持管理が実施されはじめたのではないかと、そして維持管理の重要性が市民に理解され、それが定着するのではないかと期待しています。

ところで、既設橋梁の安全性は誰が判断・担保するのでしょうか。管理機関に所属するインハウスエンジニアと呼ばれる方々あるいは管理機関から依頼を受けた組織および担当技術者でしょうか。インハウスエンジニアや担当技術者は社会から専門家として認められている、あるいは認められるのでしょうか。この種の専門家には、適切な維持管理を行うための知識や技術が必要です。これらの能力の保証は、管理機関で独自に行われることも少なくありませんが、透明性を含めて社会からの信頼を得るためには、国あるいは第三者（例えば、学協会）による資格制度が有効と考えられます。そのため、国土交通省では、2014年度から「公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格登録制度」を創設したものと思われれます。これは、民間資格で求めている知識・技術とその確認方法が国土交通省で定める登録要件に適合すると評価された場合に、その資格が登録される制度です。そして、2016年度の発注業務から活用するとされています。この制度の橋梁の維持管理（点検、診断）部門に登録された民間資格数は、2014・2015年度で、鋼橋・コンクリート橋とも29です。鋼橋の診断に限れば、7団体の9つの資格が登録されています。国土交通省が要求する知識・技術レベルは「点検結果に基づいて、健全性の診断を行い、健全度を分類できること。措置を行った場合にはその内容を記録すること。」とされています。このように、必要最低限の知識・技術レベルを要求しているように感じられます。

診断にもいろいろなレベルがあります。例えば、先の国土交通省が登録資格制度のために定めているレベルや、これまでに経験のない損傷に対する診断・措置が判断できるレベルなどです。先の9つの資格が保証する内容とそのレベルは同じでしょうか。登録資格制度はこれまでの仕組みを一步進めたものであることは事実ですが、何かすっきりしないように感じる場合があります。どのような形で維持管理に関する資格制度を整理するか、考え始めなければならぬと感じています。そして、誰かが行っているだろうと何となく思われている橋梁の維持管理が、深い知識と高い技術力を有する資格者によって確実に行われ、そのことを一般の人が認識し、維持管理資格者が世間から認められるようになる日が来ることを願っています。

道路橋の維持管理に関する自治体支援の取組み

常務理事 大石 龍太郎

1. はじめに

笹子トンネル天井板崩落事故を契機に、橋梁やトンネル等の道路構造物の定期点検が平成26年度から義務化され、全国一斉に道路橋の点検が実施され始めている。道路橋の大部分を管理している自治体においては、予算不足、技術者不足、技術力不足という共通の課題を抱えている。橋梁調査会は主として、直轄国道の道路橋診断を主体に業務を実施しているが、これらの課題に対する自治体への支援についても試行的に取り組んできており、その事例を以下に紹介する。

2. 自治体における道路橋の現状と課題

2.1 道路橋の老朽化に伴う課題

国土交通省の調査¹⁾によると、図-1に示すように、全国約72万橋の橋梁のうち、7割以上となる約52万橋が市町村道であり、建設後50年を経過した橋梁の割合は、10年後には42%に増加する。近年は老朽化による変状が顕在化し、地方公共団体管理橋梁では図-2に示すように、通行止めや通行規制が増加している状況にある。また、町の約3割、村の約6割で橋梁保全業務に携わっている土木技術者が存在しない状況で、過去の点検の多くは遠望目視によるものであり、点検の質にも課題があると指摘している。

平成26年4月に社会資本整備審議会道路分科会より発表された「道路の老朽化対策の本格的実施に関する提言」では、現状における2つの根本的課題として、①メンテナンスに関する最低限のルール・基準がない。②メンテナンスサイクルを回す仕組みがないことをあげており、今後の具体的な取組みとして、①点検、診断、措置、記録のメンテナンスサイクルを確定（道路管理者の義務の明確化）、②維持管理・更新に係る安定的な予算確保、地方公共団体への支援、民間の技術力の活用等を提言している。それらの提言を受けて、国土交通省は道路法の改正、道路橋定期点検要領の制定、維持管理予算の確保、

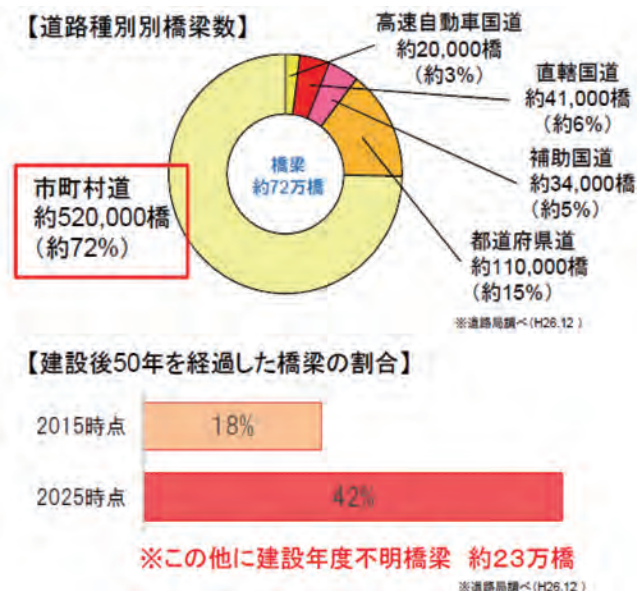


図-1 道路種別別橋梁数と道路橋の高齢化の状況

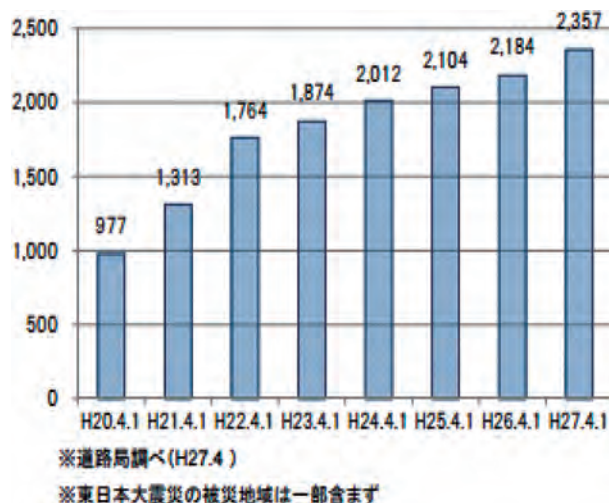


図-2 地方公共団体管理橋梁の通行規制等の推移(2m以上)

技術者資格登録制度の創出、自治体支援の枠組み等に精力的に取り組んできている。

2.2 地方公共団体における橋梁の特性

ここで、地方公共団体における橋梁の特性を見てみると、図-3に示すように、市町村の橋梁のうち、82%は15m未満の橋であり、図-4に示すように、そ

の中でも5m以下の橋が約31万橋もある。さらに橋梁構造や材料的に見てみると、図-5に示すように、構造的に単純なコンクリートの床版橋が40万橋弱あ

ることがわかる。このような管理対象の橋梁特性を考えながら、点検方法を考えていくことも必要ではないか、そして、このような短く、構造が単純な橋

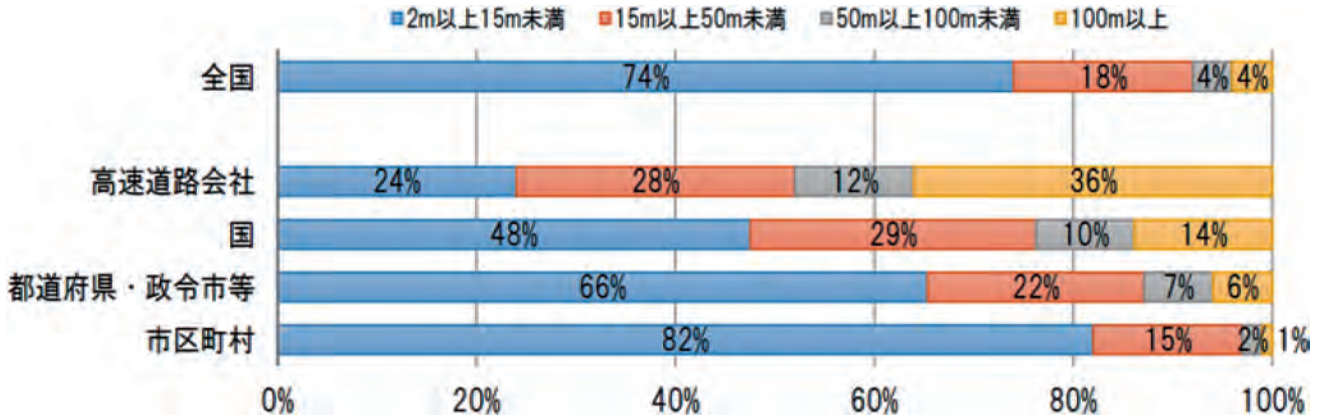


図-3 道路橋の管理者別橋長分布 (平成25年度道路統計年報)

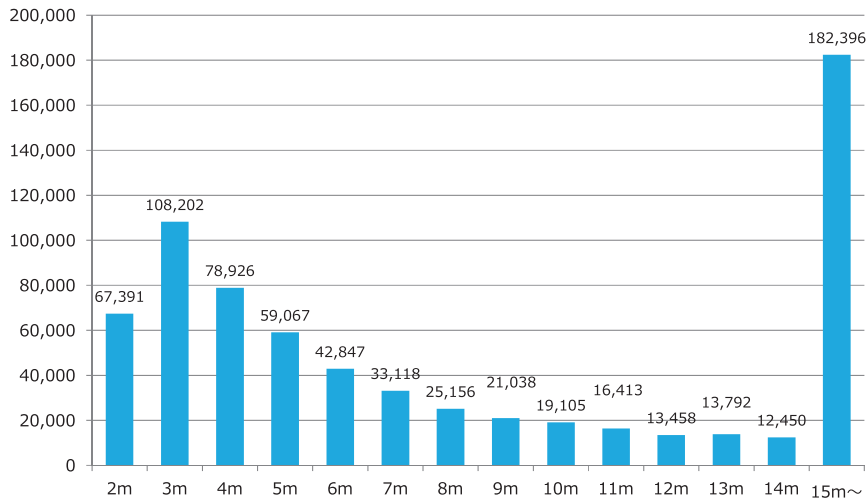


図-4 橋長15m未満の橋梁数 (平成25年度道路統計年報)

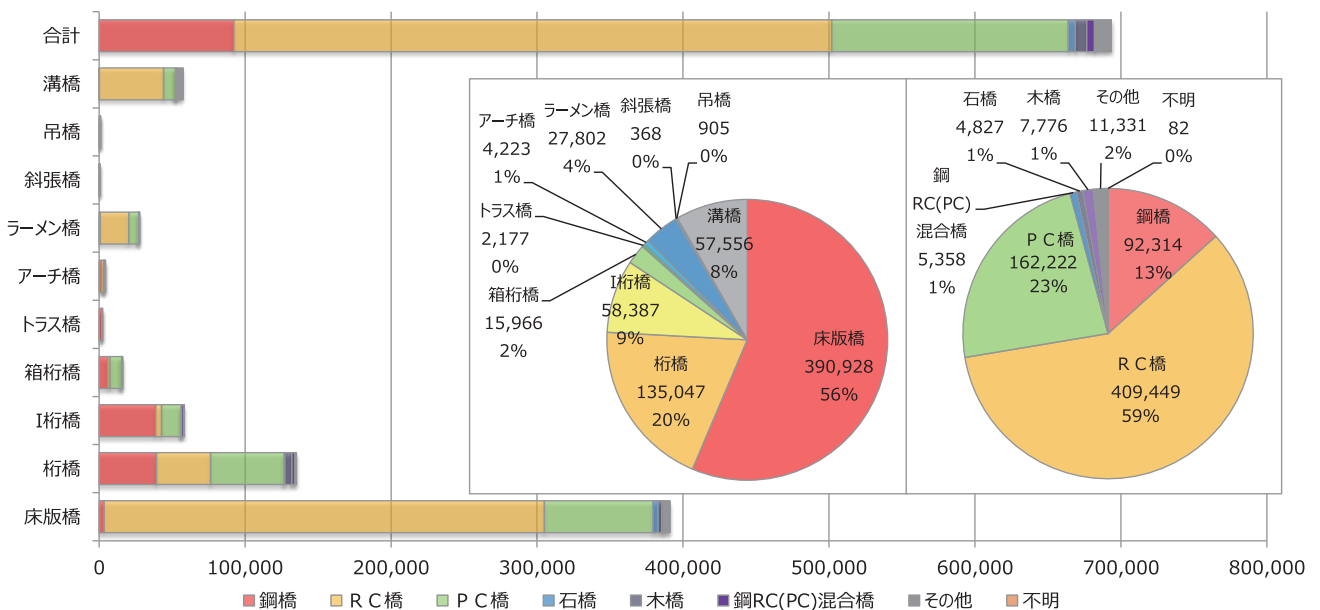


図-5 道路橋の上部工形式別・材料別分布 (平成25年度道路統計年報)

梁については、職員による直営点検が可能ではないかと考えている。但し、橋梁の専門技術者の助言を受けながら行なうことが当面必要である。

3. 地方公共団体における道路橋メンテナンスに関する課題

橋梁調査会では、平成26年から県レベルの自治体の道路橋の維持管理に関して、橋梁長寿命化修繕計画やそれを作成するアセットマネジメントシステム、個別の橋梁修繕計画、点検結果の照査、補修・補強業務の実施方法等について調査を行なっている。その結果、過去に行われた点検結果（健全性の診断含む）についての照査では、多くの誤りや勘違いが見受けられた。その中には、早急に補修が必要なものを健全としていたり、補修を急ぐ必要のないものを早期に補修する必要があるとしていた事例があった。この原因としては、受注者や道路管理者双方とも、点検や診断に関する専門的知識や経験のある技術者が我が国では未だ少ないため、また道路橋のメンテナンスに関する研修も始まったばかりである状況によるのではないかと考えている。しかしながら、全国の道路橋の点検が義務化され、本格的なメンテナンス時代を迎えた今、これらの技術力を全国的に官民とも早急に上げていかなければならない状況にあると言える。

また、橋梁長寿命化修繕計画を一義的な劣化曲線を用いたアセットマネジメントシステムにより策定していたことで、それらに基づく補修工事においても現場とそぐわない発注が行われていた。橋梁長寿命化修繕計画はあくまでも中長期的な予算の見通しやそれらの平準化の検討を行なうもので、その計画の中では一義的な劣化曲線を用いる方法はあるが、予算の実施計画レベルにおいては、この手法は適用できないと考えている。なぜならば、個別の橋梁は、構造形式、使用材料、施工状況、荷重状況、環境状況等が全て異なっており、劣化曲線を用いて個別の橋梁の損傷の予測を行なうことは現時点ではできないからである。予算付けをする場合には、当然現場の橋梁の状況を確認し、点検結果に基づいて補修工事の発注を行なうことが基本である。システムだけによって予算付けをしてしまうと、効果的な予算執行とはならない可能性があることに注意しなければならない。

このような状況を直視し、その県では、抜本的に

道路橋のマネジメントシステムを見直し、独自の道路橋定期点検要領（試行実施用）を策定し、その要領に基づき、施設量の多い短スパンの道路橋を専門家の助言を受け、県及び市町村職員自ら点検を行い、職員の技術力向上、点検結果の品質確保、予算の節約に積極的に取り組んでいる。

以上のような課題の他に、道路橋のメンテナンスサイクル（点検、診断、措置、記録）の不連続性、補修設計の内容や補修設計業務の発注方法、補修記録の徹底等の課題が見受けられる。

4. 橋梁調査会の試行的取組み

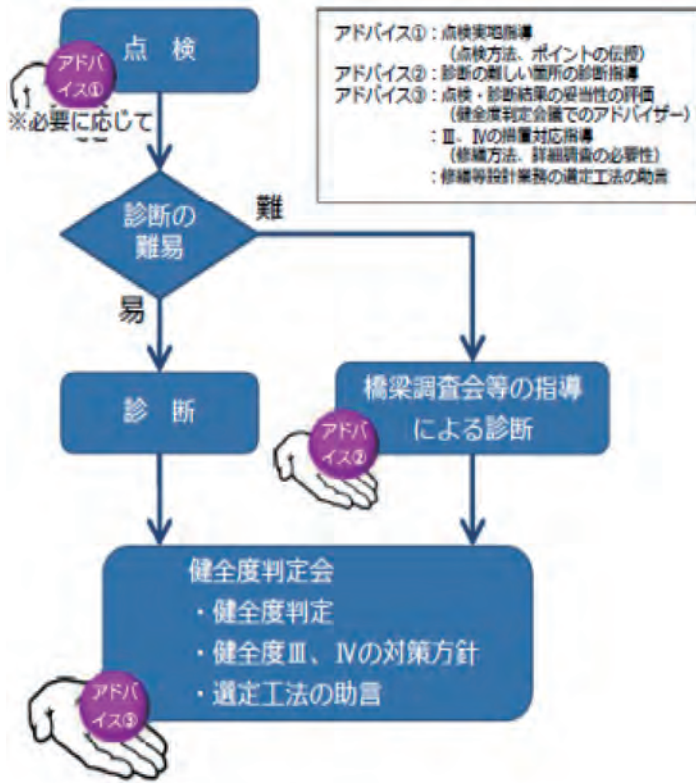
これらの課題に対して、橋梁調査会として、島根県等との協定を結びその解決に取り組み始めている。具体的には、橋梁調査会と島根県と（一財）島根県建設技術センターとの間で図-6に示すように、3者によるアドバイザー協定を締結し、橋梁調査会としては、点検実地指導、診断が難しい橋梁の診断の助言、点検・診断結果の妥当性の評価、健全度Ⅲ、Ⅳの措置対応の助言、修繕等設計業務の選定工法の助言等を行なっている。

具体的には、図-7に示すように、従前の道路橋点検研修は、数十人単位で行なわれるものが多かったが、この研修では官庁技術者を対象に10名程度の研修員に対して、マンツーマン指導で何でも聞ける体験型にしている。

点検については、前述のように地方公共団体が管理している橋梁は8割が15m未満の短い橋梁であり、その約6割が5m以下の橋梁である。またその多くはコンクリート床版橋である。このような橋梁の点検は、道路管理者自らが直営で点検することは可能である。図-8に示すように従来は全て点検はコンサルタント任せで、その照査も殆どできない状況であったものを、職員自ら点検を行なう環境を創出することで、職員の技術力向上を図ることができる。さらに、点検、診断、補修補強業務の品質を確保し、それらに伴い予算の合理的な執行に貢献する。ひいては道路管理者としての責務の全うにも貢献できるものと考えて、このような取組みを始めている。

実際の点検、診断、補修については、職員による直営点検で仮の健全度判定を行ない、健全度判定会議（国、県、市町村で構成）において、橋梁調査会の診断技術者が助言を行ない、健全度を同会議にて決定し、補修方法についても助言を行なっている。

◇ 点検・診断業務の流れとアドバイザー



◇アドバイザー派遣イメージ

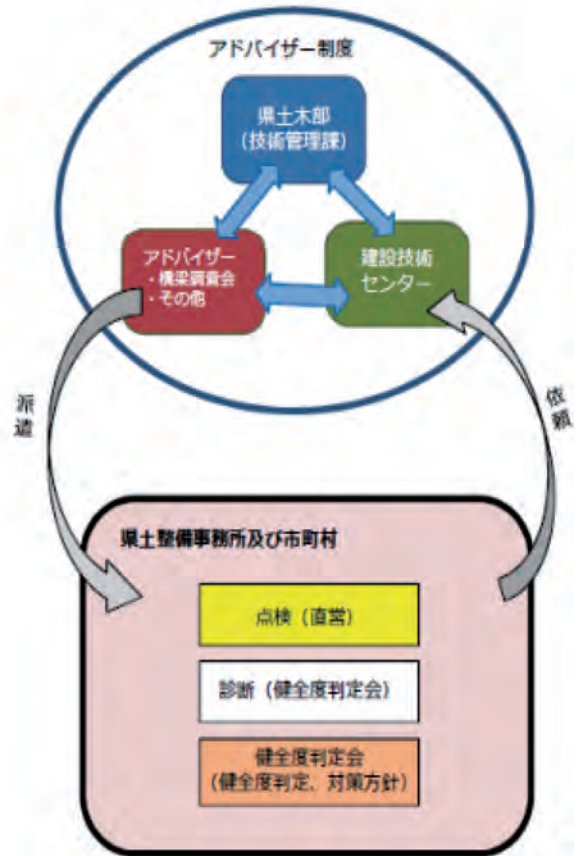


図-6 道路橋点検・診断等の支援に関する協定

H26.27 橋梁点検の共同研究を通じて (実践講座の実態)

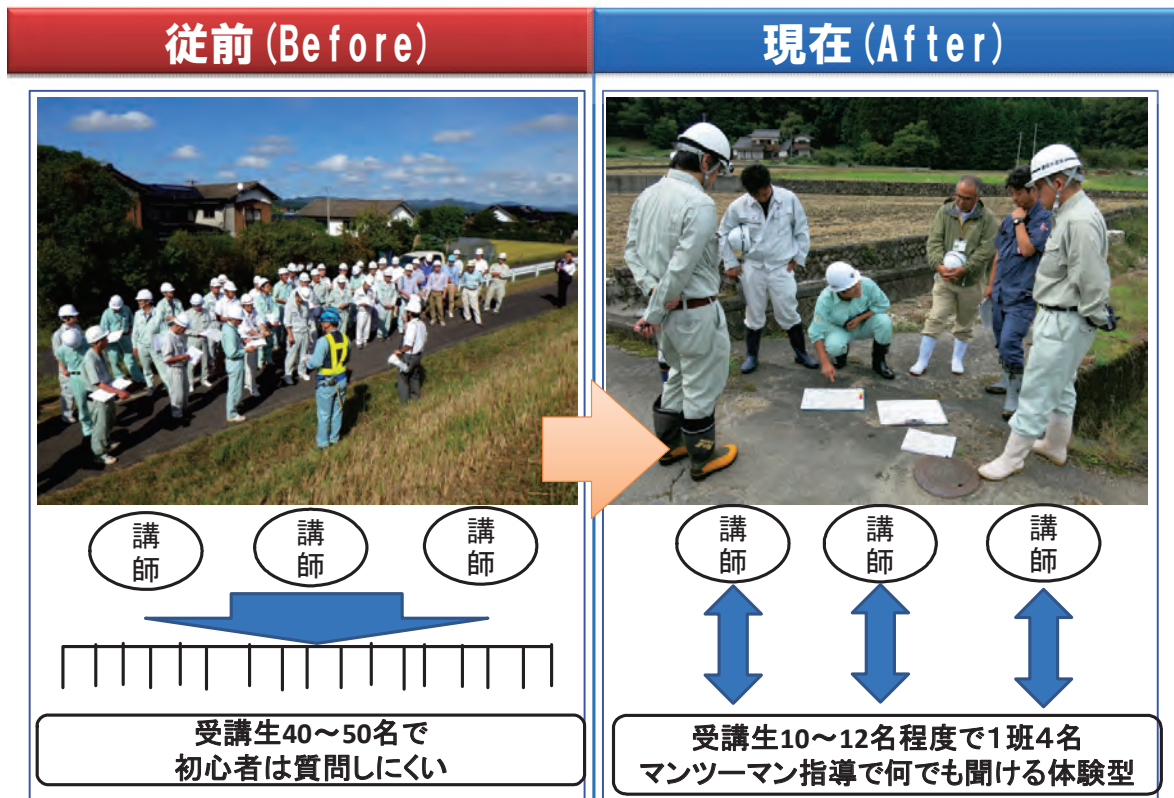


図-7 橋梁点検研修 (実践講座) の状況

H26.27 橋梁点検の共同研究を通じて (点検・診断・補修)



図-8 職員による橋梁点検の実施状況



扇橋 (橋長8.6m幅員9.3m)



小万丈一号橋 (橋長4.1m幅員6.3m)

県の方でも、道路橋定期点検要領を、従前のものから簡易でわかりやすい実務型の点検要領に改訂し、それらに基づく点検を全県及び市町村で実施し始めている。これらの実施に当たっては、国道事務所の保全対策官、県の土木部長や維持管理担当者、市町村の橋梁担当者が積極的に取り組んでいる。

5. 効果事例

これらの活動を通じて、従前の道路橋点検・診断や補修・補強のやり方から、道路橋定期点検要領（試行実施版）への改訂、協定に基づく点検実地研修、職員による直営点検の実施、健全度判定会議での助言体制等により、効果を実感している島根県奥出雲

町の事例を以下に紹介する。

奥出雲町は、島根県東部の山間地にあり、人口約1万人、橋梁数486橋。建設課の職員数は5名、うち2名は道路橋点検士の資格を取得し、橋梁点検に関わる業務の変革に積極的に取り組んでいる。奥出雲町が管理している橋梁の多くが上記の写真（東出雲町提供）に示すような短く、橋梁点検車等を用いずに点検できる橋梁である。

奥出雲町では、これまで全て橋梁点検は委託をしており、委託しないと橋梁点検はできないと考えていた。そのままでは、1橋の橋梁点検委託費を30万とすると、今後5年間で1億4550万円もの橋梁点検費が必要となる。5年後以降も同様であり、町にとっ

県の橋梁（直営）点検支援を通じて（島根県奥出雲町）

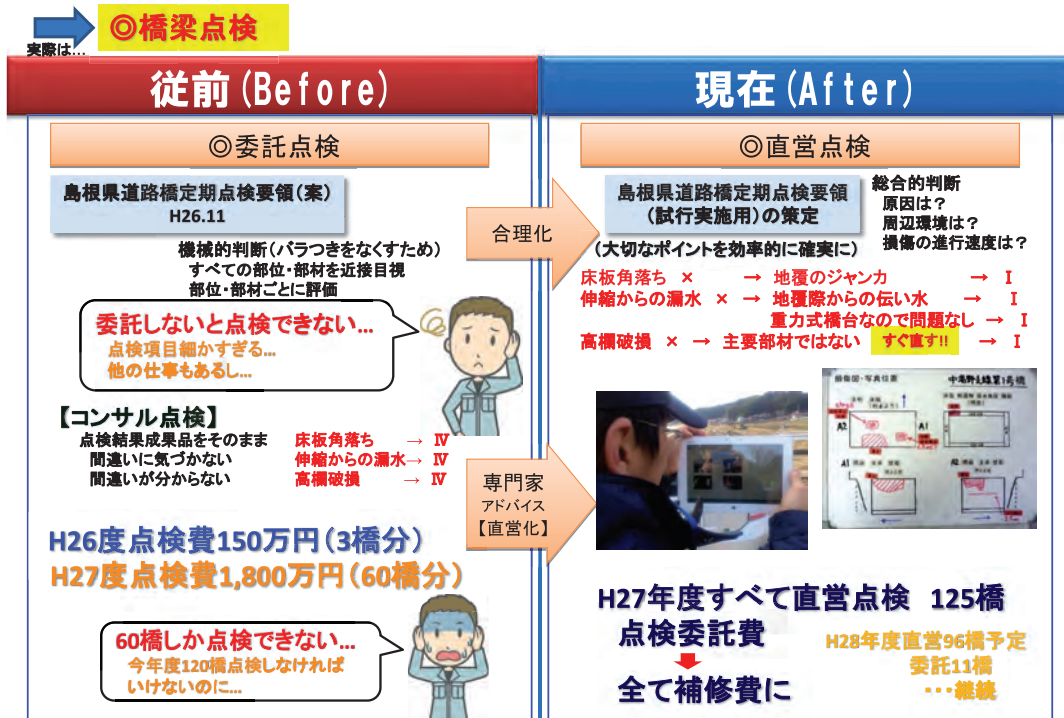


図-9 従前の委託点検から直営点検へ

ては大きな負担である。さらに、図-9に示すように、過去の委託の点検結果には勘違いも含まれていた。この状況から、道路橋定期点検要領（試行実施用）を利用した実地研修、職員による直営点検の実施、健全度判定会議での助言体制により、平成27年度の橋梁点検は予定の125橋全て直営点検で行なった。平成28年度も96橋の直営点検と11橋の委託点検を予定している。それらにより当初予定していた橋梁点検費は全て補修費に回すことができた。

また、アセットマネジメントシステムによる補修設計、補修工事についても、見直した結果、補修設計の取り止め、補修工事の変更や補修設計の直営化を行ない、平成27年度当初計画での補修工事では2橋しかできない状況であったものが、18橋の補修工事を実施することができた。

6. おわりに

現在では、島根県及び県下の全市町村において、上記の活動を順次行なっており、全体の4割程度が直営点検に変わってきている。これらは、大幅なコスト削減をもたらすだけでなく、道路管理者としての職員の技術力向上に大いに貢献し、点検結果の品質を確保し、効果的な補修補強の実現に向けて着実に動き出していると感じている。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ、道路局、老朽化対策の取組み

道路橋への点検ロボット導入に向けて — 第2回現場検証の結果 —

企画部 調査役 吉田 好孝

1. はじめに

(1) 点検ロボット導入の背景と経緯

我が国の道路橋は実に70万橋に達し(橋長2m以上、鉄道橋や歩道橋は除く)、国民の安全・安心な生活の確保と国内の円滑な物流を支えるために大きな役割を果たしているが、近年、それらの老朽化が顕在化し始めてきた。様々なインフラ施設が大規模地震や頻発する風水害等の自然災害を受ける中で、社会情勢の変化として人口減少、少子高齢化の進行などが喫緊の課題として迫りつつある。このような状況の下での対応策として、橋梁の維持管理に対して近年発展が著しいICT等を活用し、効率的・効果的な技術を開発し、導入することは社会の必然であるといえる。

国土交通省及び経済産業省は、平成25年7月「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を共同設置し、現場ニーズと技術シーズの摺合せ等の検討を経て、同年12月に「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」を策定し、今後取り組むべき事項を提示した¹⁾。そこでは5つの重点分野に係るロボットについて、平成26年度、27年度に現場検証及び評価を通じて開発・改良を促進し、現場検証の結果を踏まえて平成28年度から現場への試行的導入を実施し、その後の本格的導入を目指すこととした。

ここで、前述の5つの重点分野とは表-1に示すカテゴリをいい、橋梁の維持管理はその一つである。

(2) 橋梁維持管理部会の構成

各分野はそれぞれ部会を設けて審議が進められている。橋梁維持管理部門の部会構成を表-2に示す。

(3) 前回(平成26年度)の現場検証の結果²⁾

平成26年度第1回の現場検証では、橋梁点検を行うロボット/システムを公募により募り、最終的に飛行型10者、車両型3者、懸架型2者、ポール型1者、

表-1 インフラ用ロボット開発・導入に係る5つの重点分野

Ⅰ 維持管理		Ⅱ 災害対応	
① 橋梁	・近接目視を支援 ・打音検査を支援 など	④ 災害状況調査 (土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)	・現場被害状況の把握 ・土砂等を計測する技術 ・引火性ガス等の情報を取得 など
② トンネル	・近接目視を支援 ・打音検査を支援 など	⑤ 災害応急復旧 (土砂崩落、火山災害)	・土砂崩落等の応急復旧 ・情報伝達技術 など
③ 水中(ダム、河川)	・近接目視を代替・支援 ・堆積物の状況把握		

表-2 橋梁維持管理部会の構成(平成28年3月30日時点)

氏名	所属	
部会長 藤野 陽三	横浜国立大学	橋梁専門家
委員 油田 信一	芝浦工業大学	ロボット
委員 浅間 一	東京大学	専門家
委員 河西 龍彦	日本橋梁建設協会	業界代表者
委員 徳光 卓	PC建設業協会	
委員 田中 樹由	建設コンサルタンツ協会	
委員 岩見 吉輝	国土交通省(総政局)	行政関係者
委員 長谷川 朋弘	国土交通省(道路局)	
委員 玉越 隆史	国土交通省(国総研)	研究関係者
委員 石田 雅博	土木研究所	
委員 藤野 健一	土木研究所	
委員 岡本 健太郎	経済産業省	経産省関係者
委員 加藤 晋	産業技術総合研究所	
委員 安川 裕介	新エネルギー・産業技術総合開発機構	
事務局	国土交通省(総合政策局)、橋梁調査会	

タブレット調査型1者の計17者が現場検証に参加した。現場検証は新浅川橋(鋼鈹桁橋、一般国道16号)、浜名大橋(コンクリート箱桁橋、一般国道1号)、及び国総研内橋梁(鋼鈹桁橋、国総研ヤード)の3か所で実施された。これらの現場検証の結果は、点検ロボットが現行の人による点検の代替を行うには残念ながらまだ及ばないというものであった。結果の要約を以下に示す³⁾。

①桁及び床版の近接目視については、ロボット/システムの操作技術や損傷の把握の精度向上な

どに対して、より一層の改善が必要である。

- ②精度のよい写真データを取得できたケースもあったが、遠景写真程度のケースもあり、損傷状況の把握の精度向上や操作の安定性についての技術向上が必要である。
- ③写真データの解析の精度を上げるためには、橋梁の損傷に関する知識や写真判読技術の向上も必要である。

2. 今回も様々な点検ロボットが登場^{4) 5)}

第1回目の現場検証では橋梁の環境面、構造形式面、あるいは気象条件などの制約から、その機能を十分に発揮できない点検ロボットもあった。また、対象とする橋梁は国内で一般に見られる形式であることが望ましい。よって表-3に示す橋梁を新たに現場検証の対象橋梁に選定し、表-4に示す10項目についてロボット／システムの公募を行った。各応募者は表-4の[1]～[10]から1つ以上の項目(番

号)を選定して参加することができる。公募期間は平成27年5月下旬から6月中旬であった。

公募の結果、24者から応募があり、事前の審査などを経て、最終的に17者が現場検証に参加し、他に4者が要素検証を行った。要素検証とは完成系の機能の一部を現地で実演する検証である。

公募で要求された事項は、表-4の[10]を除いていずれも点検要領⁶⁾に基づいた損傷の検出である。しかし、今回、その目指すところは人による点検の代替ではなく、あくまでも「支援」に限っている。昨年度の公募では人による点検の代替を求めたが、現場検証の結果、人による点検の代替を現状のロボットに求めるのはやや時期尚早との判断から、今年度は現行の点検の支援技術を期待する公募内容となった。

なお、[10]は点検員自体を何らかの手段で橋梁の点検部位に近接させる技術・システムを期待したものであり、カメラやレンズのみを特殊アームで近

表-3 平成27年度現場検証対象橋梁と現場検証の日等

橋梁名	路線	橋梁形式	場所	委員による現場検証日	備考
蒲原高架橋	一般国道1号	RC床版橋	静岡県静岡市	平27年11月2日	自動車専用道
幸久橋	一般国道349号	RC桁橋	茨城県那珂市 ～常陸太田市	平27年11月17日	通行止め中
		鋼鈑桁橋			

表-4 公募で要求された事項

番号	対象橋梁(*1)	対象部位(*2)	ロボット／システムに検出を期待した損傷の種類	要求する技術・システム(*3)(*4)
[1]	S、C	桁	腐食、亀裂、ゆるみ・脱落、破断、防食機能の劣化	目視点検
[2]	C	桁	ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、補修・補強材の損傷、うき、定着部の異常	目視点検
[3]	S、C	床版	床版ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、補修・補強材の損傷、うき	目視点検
[4]	S C	桁の添接部	ボルトやリベットのゆるみ・脱落、ボルトやリベットの破断	打音
		桁	補修・補強材の損傷、うき、定着部の異常	
[5]	S、C	床版	うき、補修補強材の損傷、	打音
[6]	S、C	橋脚・橋台	ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、補修補強材の損傷、うき、漏水・滞水、変形・欠損	目視点検
[7]	S、C	橋脚・橋台	補修・補強材の損傷、うき、定着部の異常	打音
[8]	S、C	支承本体	破断、遊間の異常、支承の機能障害、変色・劣化、土砂詰まり、沈下・移動・傾斜	目視点検
		桁端狭隘部の鋼部材	腐食、亀裂、ゆるみ・脱落、破断、防食機能の劣化	
		桁端狭隘部のコンクリート部材	ひびわれ、剥離・鉄筋露出、うき、漏水・滞水、変形・欠損	
[9]	S、C	支承部、桁端狭隘部	ボルトのゆるみ・脱落、コンクリート部材のうき	打音
[10]	S、C	点検箇所	——	人の近接(*5)

*1：Sは鋼橋を、Cはコンクリート橋を示す。

*2：「橋脚・橋台」はコンクリート製を想定している。

*3：「目視点検」は点検要領に基づく近接目視点検の支援ができる技術・システム

*4：「打音」は点検要領に基づく打音検査の支援ができる技術・システム

*5：点検者を点検箇所に近づけることのできる技術・システム

接させるような技術を対象としたのではない。これも点検要領の主旨である「人による近接目視」に則った内容であるが、結果として[10]への応募は皆無であった。以下に各型式の概要を示す。

(1) 飛行型：意味するところは少しずつ異なるのであるが、マルチコプター(multicopter)あるいはドローン(drone)ともUAV(unmanned aerial vehicle)とも言われる。現場検証に参加した飛行型点検ロボットは7者あり、各型式の中で最多であった。これらはいずれも4基以上のプロペラを備え、橋梁に近接して写真を撮影することのできる機能を備えている。飛行型の弱点を補うために、また一層の点検効率の向上を目指して、様々な工夫がなされている。例えば支承部などの狭隘部を点検するために、別途ポール型点検装置を併用するタイプ、飛行体を球殻で覆い、橋梁部材に接触し回転移動しながら近接撮影を行うタイプ、飛行して磁石で鋼桁に接着し、機体自身を固定して安定した状態で点検を行うタイプ、打音装置を組み込んだタイプなどが現場検証ではそれぞれの個性を発揮した。



写真-1 桁下に近接して撮影するドローン(蒲原高架橋)

(2) 車両型：路面上の小型クローラからアームを降し、桁下を点検するタイプ、大型専用車からアームを出して桁下を点検するタイプ、及び橋下のトラックからアームを伸ばしてコンクリート桁下面の打音調査を行うタイプの3者が現場検証に参加した。

(3) ポール型：ポールの先端にカメラを設置し、人がポールを持って移動するタイプの点検システムであり、タブレットで操作する。2者が参加した。



写真-2 支承回りを飛行するドローン(球殻式)(幸久橋)



写真-3 路面上のクローラ式車両から点検アームを操作(幸久橋)



写真-4 トラックから伸ばしたアームによる打音調査(蒲原高架橋)

(4) 懸架型：桁下を移動する装置により桁下面を点検するロボット/システムである。道路面の高欄部から水平の棒部材を吊り下げるタイプ、桁下に張り渡した複数のワイヤによって点検ロボットを移動さ



写真-5 点検中のポール型（地上設置式）（幸久橋）



写真-6 桁下を移動中の懸架型（幸久橋）

せるタイプの2者が参加した。

(5) その他：タブレットを用いて赤外線によりコンクリート部材のうきや内部の剥離などを検出するシステム、2台の小型地上走行型ロボットにより桁下面の撮影と位置決めを行うタイプがあった。

(6) 要素検証：現時点で開発中であつたり、あるいは現場検証の橋梁構造がロボット／システムの条件と合わないなどの理由により検証ができないケースについては、要素検証という位置付けとした。これに該当したのは、飛行型の機体に打音装置を搭載したタイプ、2本の鋼桁の下フランジ上に桁を張り渡して移動するタイプ、損傷箇所から発生する異常音の周波数と音量を可視化して画面で見るタイプ、真空吸着方式により垂直なコンクリート橋脚の壁面を移動するタイプであった。

これらのロボット／システムが、現場検証の数日



写真-7 ロボットの動きを審査する部会長と各委員（蒲原高架橋）

前から交替で現地入りし、損傷の検出を行った。ここでは各者の橋梁サイトでの準備作業から点検作業、資機材の撤去作業までを見ることとした。そして橋梁維持管理部会の立会の日には、各応募者がこれら一連の作業を公開で示した（写真-7）。

3. 現場検証の結果

現場検証の終了後に、従来方式による近接目視点検を実施し、橋梁の損傷状況を詳細に把握した。点検ロボット／システムによる点検結果と、この従来方式による点検結果とを照合し、部会の審議を経て、参加したロボット／システムの点検精度を評価した。ある一定の時間内に点検できた範囲（面積）、得られた損傷の検出率（存在する損傷を正しく見つけ出しているか、など）、及び取得した損傷データの正確性（ひびわれ幅の把握が正しいか、など）などは評価に当たって重要なファクターである。

また、各ロボット／システムの準備・撤去状況、点検作業状況、ロボットの動きや安全性、点検対象への近接のスムーズさ、操縦性なども評価の対象とした。例えば飛行ロボットが不安定な飛行をしたり、点検アームがスムーズに対象に接近できなければ、点検実務には適さない。また、準備作業などに非常に時間を要するロボット／システムでは、橋梁点検における実用化という面で更なる改良を図るべきであるという評価になる。

評価の主たる観点は、点検ロボットを今後、橋梁の点検実務に本格的に導入していくことを前提に、次年度以降の試行的導入に対して問題の無い能力を備えているか、ということである。

損傷の検出結果は、優れた結果を示したロボット

／システムにおいてもひびわれについては従来方式に比して60～70%程度の検出率であった。これはひびわれ幅0.1～0.2mmという微細なひびわれを写真画像から抽出することが困難であったことも一因であり、より太幅のひびわれに対しては検出率が向上している。実際の橋梁では、部位などによってはこのような細かなひび割れは検出できなくても、直ちに維持管理上問題があるとは言えない場合もあるため、橋梁条件や対象部位などを限ることにより、点検ロボットの活用を場を広げることが可能であろう。

表-5 総合評価

総合評価	評価内容
I	試行的導入に向けた検証を推奨する。
II	課題の解決を前提に、試行的導入に向けた検証を推奨する
III	課題への対応・結果により、試行的導入に向けた検証を推奨する。
IV	今回は十分な検証ができていない。

また、漏水・遊離石灰や剥離・鉄筋露出を損傷として把握できていないケースが見られた。そのようなケースの中には、撮影された写真で損傷が明瞭に現れているものもあり、写真データの解析・判読技術の問題と考えられる。

橋梁維持管理部会での審議を経て、現場検証の結果が総合評価として示された。総合評価の区分を表-5に、総合評価のI及びIIと評価されたロボット／システムを表-6、及び表-7に示す。

4. 更なる技術向上を目指して—実用化に向けて薄日がさして来た—

平成26年度の第1回目の現場検証では、橋梁の点検そのものに不慣れな応募者が多く、現地作業にてこずっているという印象もあった。しかし2年目となると、橋梁点検についてかなり勘所を押さえていると感じさせる応募者が増えた。総合評価でIを取得したロボット／システムは5者あり、総合評価II

表-6 総合評価Iの点検ロボット／システム

No.	技術内容等	応募者 (共同開発者)
1	構造物点検ロボットシステム「SPIDER & Giraffe」 —小型無人ヘリまたはポール搭載カメラによる構造物点検および点検調書作成支援システム— ・支援対象：コンクリート橋・橋脚などの目視点検 ・型式：飛行型	ルーチェサーチ(株) (広島工業大学、 (株)建設技術研究所)
2	橋梁点検ロボットシステム『橋竜』による点検 —車載型ロボットアーム、3DCG、カメラを利用した点検— ・支援対象：鋼橋、コンクリート橋、橋脚などの目視点検 ・型式：車両型(専用車両、搭乗型)	(株)帝国設計事務所 (株)カナモト
3	「橋梁点検カメラシステム視る・診る」による近接目視、打音調査等援助・補完技術 —「橋梁点検カメラシステム視る・診る」によるひび割れ検出・打音検査・他— ・支援対象：鋼橋、コンクリート橋、橋脚などの目視点検、及び打音調査 ・型式：車両型(専用クローラー台車、搭乗型)	ジビル調査設計(株) (有)インテス、 福井大学)
4	橋梁等構造物の点検ロボットカメラ ・支援対象：鋼橋、コンクリート橋、橋脚などの目視点検 ・型式：ポール型(地上設置型伸縮式、高欄設置型吊下げ式)	三井住友建設(株) (株)日立産業制御 ソリューションズ)
5	赤外線調査トータルサポートシステムJシステム —赤外線調査支援システム— ・支援対象：コンクリート橋の目視点検、及び打音調査 ・型式：赤外線装置(手持ちカメラ及びタブレット)	西日本高速道路エンジ ニアリング四国(株)

表-7 総合評価IIの点検ロボット／システム

No	技術内容等	型式	応募者(共同開発者)
1	非GPS環境対応型マルチコプターを用いた近接目視点検支援技術	飛行型	三信建材工業(株)、((国)千葉大学、(株)自律制御システム研究所、アイエムソフト(有))
2	マルチコプターを利用した橋梁点検システム(マルコTM)	飛行型	川田テクノロジーズ(株)、((株)エンルート、大日本コンサルタント(株)、インフラ技術研究所、(独)産業技術総合研究所)
3	橋梁の近接目視を代替する飛行ロボットシステム	飛行型	(国法)東北大学、((株)千代田コンサルタント、(一財)航空宇宙技術振興財団、(株)リコー)
4	マルチコプターによる近接撮影と異状箇所の2次元計測	飛行型	夢想科学(株)、((株)ニチギ、(株)plus-b)
5	橋梁下面の近接目視支援用簡易装置「診れるんです」	懸架型	東北工業大学、(O・T・テクノリサーチ(株))

表-8 総合評価Ⅲの点検ロボット／システム

No	技術内容等	型式	応募者（共同開発者）
1	画像処理技術を用いた半自律飛行ロボットによる橋梁点検支援技術	飛行型	総合警備保障（株）（株）横河ブリッジホールディングス
2	ポール打音検査機	ポール型	日本電気（株）（株）自律制御システム研究所、（国研）産業技術総合研究所、（一財）首都高速道路技術センター
3	ワイヤ移動式汎用橋梁点検ロボット「ARANEUS」による目視点検支援システム	懸架型	八戸工業大学（株）TTES、岡山大学大学院、京都産業大学、信州大学、名古屋工業大学大学院、神奈川大学、電気通信大学大学院、（株）大和エンジニアリング、長大（株）

も同じく5者であったことは、そのような技術の向上と橋梁点検に対する関係者の認識の変化を如実に示しているといえる。

今回の審議結果をもとに、橋梁維持管理部会は今年度、試行的導入に向けた現場検証を行う予定である。点検ロボットの早期導入には政府も力を入れており、今後、橋梁点検分野でのロボット／システムの発展が大いに期待される。

現行の橋梁点検ロボット／システムにとってどうにも苦手な点検困難箇所がある。例えば桁端の狭隘部や、鉸桁橋で横構や対傾構が多数配置された桁構造の内部である。このような部位の点検においては、また別のタイプの点検ロボットや点検システムによるアプローチが必要と考えられる。

現行の点検ロボット／システムでは、点検要領が要求している様々な損傷を漏らさず把握しようとするれば、必然的に精細な写真データを数多く撮影しなければならない。あるロボット／システムでは、蒲原高架橋1径間の現場検証のために、600枚以上もの写真を撮影した。そのため現地点検後の室内作業として、それらの写真の合成作業、及び画像データから損傷を抽出する作業にかなりの時間を要している。

ディープラーニング（deep learning、深層学習）を用いたソフトで、AI（artificial intelligence、人工知能）が一流の棋士を負かすほど進化していることは周知となった。AIの研究は今から60年も前に「人間の知能がプログラムで実現できないはずはない」との信念のもとにスタートしたという⁸⁾。膨大な費用と労力をかけたそのような最先端技術ではなくとも、現在のAIの初歩的技術で、写真画像から限られた幾つかの損傷（高々20に満たない種類の数）を自動検出して整理することは容易にできるであろう。点検ロボットの実用化のためには、この分野とのコラボレーションも必須である。

（当調査会は、国交省総合政策局公共事業企画調整課発注の「平成27年度次世代社会インフラ用ロボ

ット開発・導入に係る現場検証支援業務」を、平成27年5月に（一財）先端建設技術センター及び（一社）日本建設機械施工協会と共に共同提案体として受託しました。本業務は大石龍太郎常務兼企画部長、藤原英之企画部開発課長、諸隈成幸企画部調査役、及び吉田が担当しました）

参考文献

- 1) 「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」、国交省HP、平成25年12月
- 2) 「橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果」、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会橋梁維持管理部会、平成27年3月
- 3) 吉田好孝「道路橋点検に関するロボット導入開発の状況」、J-BECレポート、2015 Vol.11
- 4) 「橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果」、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会橋梁維持管理部会、平成28年3月
- 5) 増竜郎、吉田好孝、藤原英之「次世代社会インフラ用ロボット現場検証・評価の結果報告」、橋梁と基礎、2016年6月、Vol.50
- 6) 「橋梁定期点検要領」、国交省国道・防災課、平成26年6月
- 7) 「橋梁とトンネル 検証作業前倒し、ロボット開発・導入を加速」、建設通信新聞、平成28年8月26日
- 8) 松尾豊「人工知能は人間を超えるかーディープラーニングの先にあるもの」、角川選書、2015年3月



©手塚プロダクション・虫プロダクション
「ボクも橋の点検のお手伝いをしますよ」

支承の機能障害が鋼桁の挙動と耐荷力に及ぼす影響

企画部 調査役 吉田 好孝

1. 桁端部の状況

橋梁の桁端部には一般に腐食、亀裂、支承の機能障害など様々な損傷が発生します（写真-1）。支承の機能障害とは、支承の重要な機能である回転や滑りが、腐食などのために予定通りに作動しなくなる現象です。しかも一般に桁端部と橋台パラペットの間に、落橋防止システムが配置されているために、点検が困難となり、損傷に対する対応が遅れることもあります。

鋼桁橋（プレートガーダー橋）の鋼製支承においても例外ではなく、鋼製支承の機能障害が放置されたままの状態では、桁の応力分布や変位の挙動が設計当初の想定と異なった状態となるだけでなく、ソールプレート端部の溶接部から主桁の亀裂を誘起することもあります（写真-2）。支承に機能障害が生じたままで供用されている橋梁がしばしば見られますが、このような状況は橋梁の耐荷力にも大きな影響を与えることになるため、速やかな対応が必要です。

2. 解析の目的

鋼単径間鋼桁橋の可動支承に着目し、その回転機能あるいは水平移動機能が損なわれた場合の桁（G1桁）の挙動及び残存耐荷力を調査しました。支承の機能障害の影響により支承近傍の桁に亀裂が生じた場合についてもその影響度を調査し、これらの状況において、桁が有する耐荷力の減少の程度を求めることにより、鋼桁橋の維持管理の信頼性を高めることを目的とします。



写真-1 桁端部の劣化と支承の機能障害¹⁾



写真-2 支承の機能障害より発生した亀裂²⁾

3. 解析の対象とした橋梁

解析の対象とした橋梁は、過去に建設された鋼桁橋の中ではほぼ平均的な規模を想定し、旧建設省の土木構造物標準設計集³⁾を参考として以下の通りとしました（図-1）。

- 1) 橋梁形式：単径間鋼プレートガーダー橋
- 2) 支間長：35m
- 3) 主桁本数：4本
- 4) 床版構造：鉄筋コンクリート構造
- 5) 桁端構造：端対傾構
- 6) 横桁構造：支間中央に中間横桁（フルウェブ）
- 7) 使用材料

・鋼材：SM490Y

降伏応力度 $\sigma_y = 355\text{N} / \text{mm}^2$ 、引張応力度 $\sigma_t = 490\text{N} / \text{mm}^2$

・コンクリート床版

圧縮強度 $\sigma_{ck} = 30\text{N} / \text{mm}^2$ 、引張応力度 $\sigma_{tk} = 2.22\text{N} / \text{mm}^2$

対象としたG1主桁の寸法を表-1に示します。

4. 検討を行った解析ケース

検討に当たっては、健全モデル（Case-1）、可動支承が機能障害を生じて回転機能が損なわれている

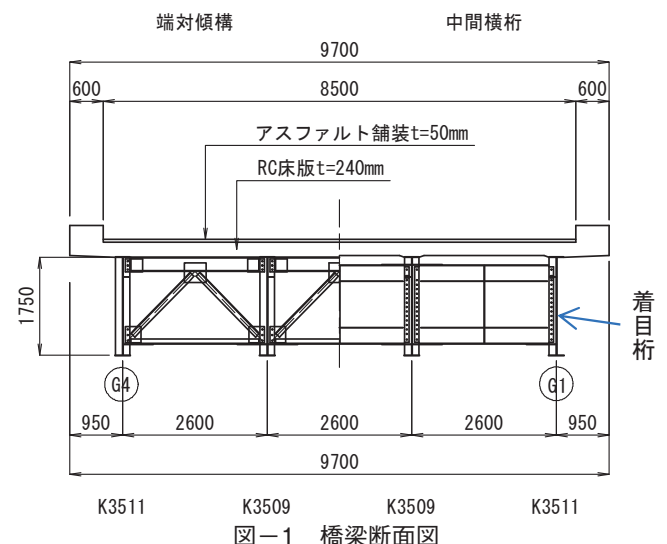


表-1 G1主桁の寸法 (図面番号G1-71-K3511)

単位: mm

主 桁		部材1 (桁端部)	部材2	部材3	部材4		部材5 (支間中央部)
u-flg	長さ	4100	4600	2460		13280	
	断面	260×13	310×19	390×19			
Web	長さ	11160				13280	
	断面	1750×9					
l-flg	長さ	4100	4600	1810	650	650	11980
	断面	280×14	400×28	520×32	520×36		560×32

注1: 部材1は桁端部の、部材5は支間中央部の部材

注2: 部材寸法は支間中央に対称

表-2 FEM解析ケース

解析 ケース No.	損傷内容	桁と床版の結合条件				亀裂の 有無
		非合成		合成		
		弾性	弾塑性	弾性	弾塑性	
Case-1	健全モデル	○		○		無
Case-2	回転機能が障害	○		○		無
Case-3	回転機能・滑り機能が障害	○		○		無
Case-4	回転機能・滑り機能が障害 桁に亀裂		○		○	有

ケース (Case-2)、同様に滑り機能が損なわれているケース (Case-3)、同様に回転機能と滑り機能が損なわれ、ソールプレート端部からウェブにかけてウェブ上で長さ約140mmの亀裂が生じているケース (Case-4) の4ケースを対象とし、FEM解析モデルを作成しました。桁と床版の結合条件は、非合成と合成の2タイプです。

Case-1~Case-3については弾性解析を、Case-4については弾塑性解析を行いました。表-2にこれらの解析ケースを示します。

5. 解析モデル

解析モデルは外桁 (G1桁) の床版有効幅を考慮した主桁単一の弾性FEMモデルと弾塑性FEMモデルです。

5.1 モデル化

- ①主桁、横桁、端対傾構、ソールプレート、支点上補剛材: 板要素
- ②中間対傾構: 梁要素
- ③床版: ソリッド要素
- ④Case-4の亀裂: 要素間は結合されていない状態
- ⑤解析ソフト: DIANA Ver.9.6

解析の対象とした外桁 (G1桁) の解析モデル全体図を図-2に、着目した桁端部の拡大図を図-3に示

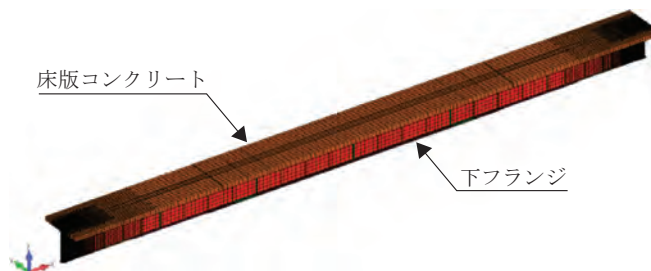


図-2 解析モデルの全体図

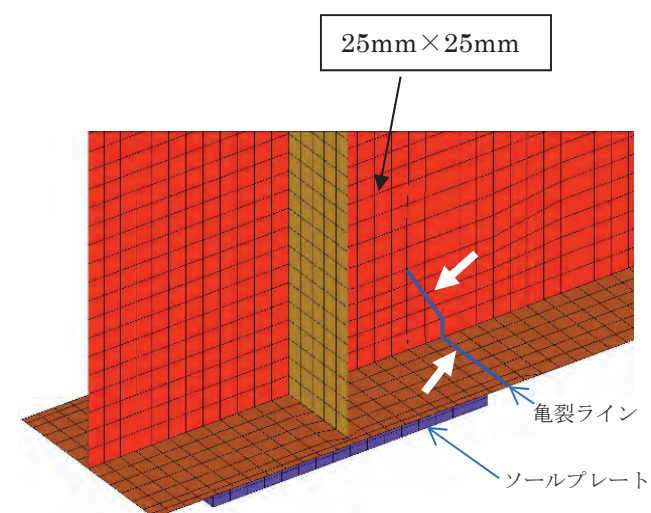


図-3 亀裂部のモデル化

します。桁端部は応力集中度が高いと推定されるため、本解析では実寸法換算で25×25mmという細かな要素分割としました。

5.2 桁と床版の合成

解析モデルの作成に当たり、桁とコンクリート床版が非合成の条件では、床版からの圧縮力は桁へ伝達しますが、引張力及び滑りは桁へは伝達しない結合状態 (完全非合成) とします。一方、桁とコンクリート床版が合成の条件では、床版と桁は相互に剥がれず、また滑ることもない結合状態 (完全合成) とします (図-4)

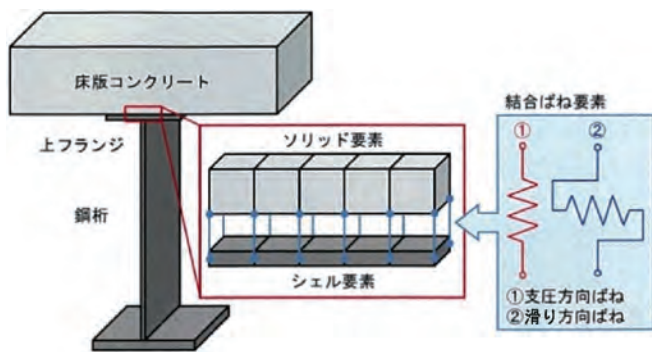


図-4 桁と床版の結合モデル

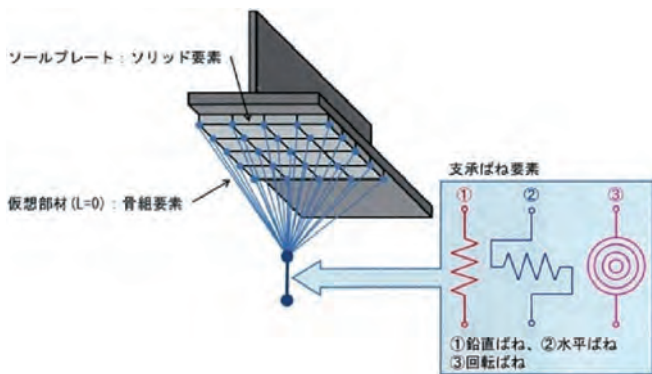


図-5 支承の解析モデル

5.3 支承構造

支承のモデル化に際しては、ソールプレートの実際の大きさを考慮して鉛直ばね、水平ばね、及び回転ばねを設けました。回転機能に障害を生じたという条件下では回転ばねを剛として、また、滑り機能に障害を生じたという条件下では水平ばねを剛として扱いました(図-5)。

6. 荷荷条件

荷荷の荷荷条件は現行の道路橋示方書⁴⁾に沿って以下のとおりとします。

- 1) 死荷重+B活荷重を荷荷
- 2) 主荷荷荷重(L荷重)荷荷では、p1+p2は支間中央に、p2は桁全長に亘り荷荷
- 3) 活荷重は固定荷重
- 4) 弾塑性解析(Case-4)に当たっては、p1荷重のみを増加
- 5) 橋軸方向の荷荷長Dは、p1+p2に対して10m、p2に対して35m(支間長)

7. 解析結果

7.1 弾性解析

非合成桁及び合成桁における弾性解析(Case-1~Case-3)について、設計荷荷の荷荷時に対する支間

表-3 設計荷重時における支間中央のたわみ量(単位:mm)

	非合成桁	合成桁
Case.1 (健全)	122	44.2
Case.2 (回転拘束)	110	42.6
Case.3 (回転・滑り拘束)	79.8	20.8



中央のたわみ、桁応力度、及び床版応力度に関する解析結果の概要を以下に示します。

1) 支間中央のたわみ

支間中央のたわみ量を比較しますと、健全モデル(Case-1)のたわみ量が最大となり、可動支承の拘束が高くなるに従い(Case-2からCase-3へ)、たわみ量は減少します。合成桁のたわみ量は非合成桁の26~39%でした(表-3)。

2) 支承近傍の桁の応力度

設計荷重荷荷時の支承近傍の応力度を比較すると、支承に機能障害が生じたケース(Case-2, Case-3)では、健全モデル(Case-1)に比べて桁の応力度が大きくなり、局部的に降伏値($\sigma_y=355\text{N/mm}^2$)を超過します。

桁の応力度は、非合成桁で回転のみが拘束された場合(Case-2)に最大となり、解析上は降伏応力度の6倍以上に達しました。非合成桁に比べ合成桁の方が応力度の超過の程度が小さいが、それでも降伏値を大幅に超過します(表-4、図-6)。

7.2 弾塑性解析

非合成桁及び合成桁に対し、死荷重を一定とし、活荷重を漸増させた弾塑性解析(Case-4)を実施しました。非合成桁の荷重-変位曲線を図-7に示します。

1) 非合成桁

図-7に示す荷重-変位曲線において、設計荷重時の荷荷荷重は縦軸の1952kNであり、2100kNあたりから変位が大きく増加していくことが分かります。2100kNは設計荷重のほぼ1.07~1.08に相当しますので、許容応力度(設計荷重による設計値に近い値)をわずか7~8%程度超過した荷重により、主桁は耐荷力を失っていくことになります。

弾塑性解析における設計荷重時の支承近傍の応力分布図(Von Mises)を図-8に、支承近傍の応力度-荷荷荷重の関係を図-9に示します。これらの結

果より、以下のことが分かります。

- ① 仮想亀裂を有するCase-4においては、支承の機能障害により支承直上の桁のほぼ全域にわたり高い応力度となる。特に仮想した亀裂先端に応力が集中する。
- ② 健全モデル (Case-1) では設計荷重が作用しても、支承近傍の応力度は非合成の場合で降伏応力度 ($\sigma_y = 355\text{N/mm}^2$) の55%程度、合成の場合で53%程度である。一方、支承の機能障害を有する全てのモデル (Case-2~Case-4) において、設計荷重より小さな荷重で降伏に達する。特に、支承の回転機能が損なわれているCase-2が最も早期に降伏応力度に達する。

2) 合成桁

合成桁における支承近傍の応力度-載荷荷重の関係図は、紙面の関係で省略しますが、床版の作用により、非合成桁に比べ応力度の上昇率が緩やかであり、死荷重載荷時 (P=1316kN) においても各ケースとも降伏応力度に対して余裕があります。

しかし、設計荷重時 (P=1952kN) において、非合成桁と同様に健全モデル (Case-1) を除く全てのケースで、降伏応力度を超過する結果を示しました⁵⁾。

8. 結果のまとめ

これまでの結果をまとめると、以下のようになります。

- 1) 可動支承の回転機能や滑り機能に障害が生じると、支点近傍の応力度が高くなり、支間中央部よりも先に降伏応力度 ($\sigma_y = 355\text{N/mm}^2$) に達する。
- 2) 支承の機能障害により、支承近傍には弾性解析上、非合成桁で2390N/mm²、合成桁で1080N/mm²という高い応力度が発生する。実際には降伏応力度付近で部材の局所的な降伏と降伏領域の拡大、応力度の分散が生じるため、このような高い応力度にはならないが、支承の機能障害が桁に降伏応力度を超える大きな応力度を生じさせることに注意が必要である。
- 3) 支点近傍の応力度は、支承に機能障害を生じたケース (Case-2~Case-4) 全てにおいて、健全なケース (Case-1) より応力が集中し、設計荷重載荷時には降伏応力度 ($\sigma_y = 355\text{N/mm}^2$) を超過する。この傾向は床版と桁の合成効果が期待できない非合成桁の方が合成桁より顕著である。

表-4 設計荷重時における主桁の発生応力度 (単位: N/mm²)

		非合成桁		合成桁	
		支承近傍	支間中央	支承近傍	支間中央
Case. 1 (健全)	上フランジ		326		147
	下フランジ	195	207	187	183
Case. 2 (回転拘束)	上フランジ		312		146
	下フランジ	2390	199	1080	180
Case. 3 (回転・滑り拘束)	上フランジ		309		150
	下フランジ	1560	145	539	135

赤字 降伏値超過

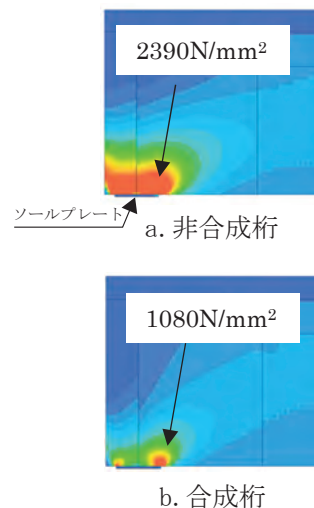


図-6 支承近傍の応力分布図 (Case-2) (Von Mises)

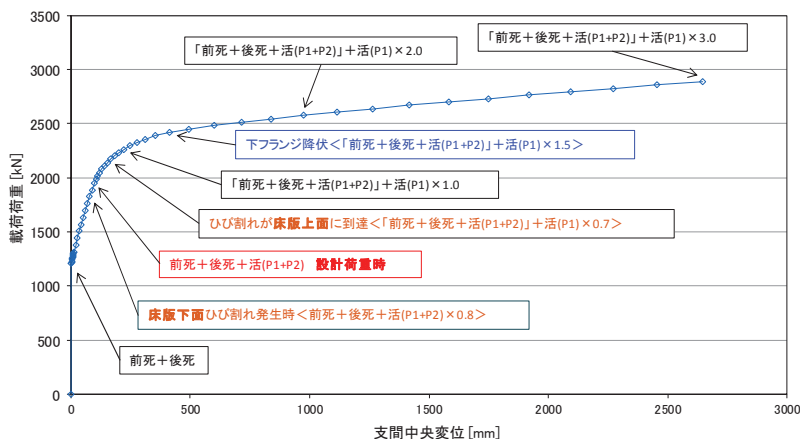


図-7 弾塑性解析による荷重-支間中央変位の関係 (非合成桁) (Case-4)

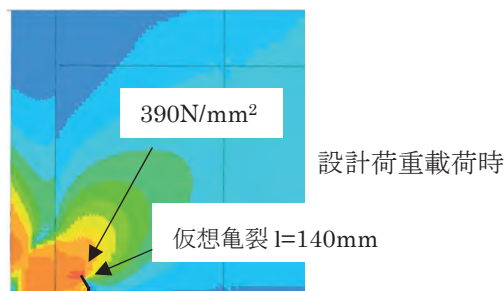


図-8 支承近傍の応力分布図 (Case-4) (Von Mises)

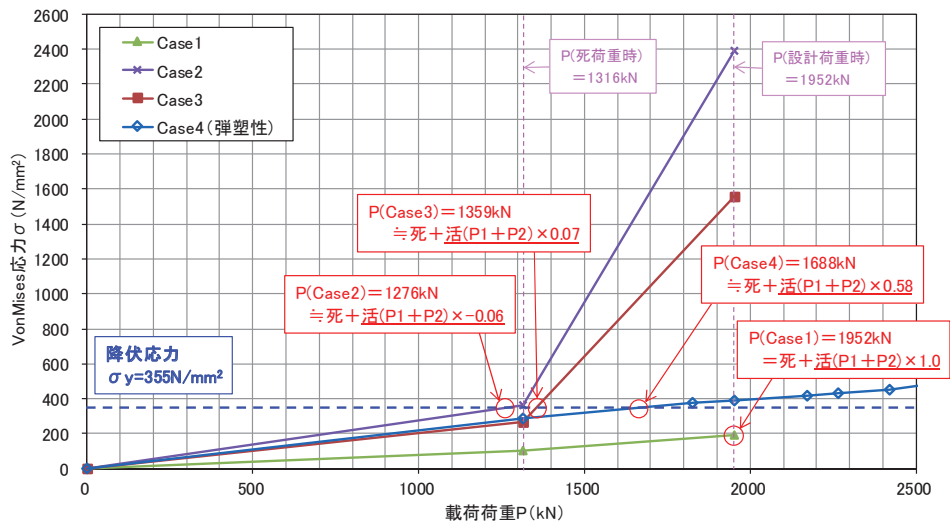


図-9 支承近傍の応力度-載荷荷重（非合成桁）

- 4) 支承近傍の発生応力度は、非合成桁、合成桁共に回転機能と滑り機能の両者に障害が生じたケースよりも、回転機能のみに障害が生じたケース（Case-2）が最も大きくなる。
- 5) 弾塑性解析（Case-4）における発生応力度は、仮想的に設けた亀裂先端で最大となる。亀裂先端の応力度は他の支承の機能障害のケース（Case-2、Case-3）の最大応力度よりはるかに大きい。
- 6) 非合成桁の載荷荷重-変位曲線（図-7）によると、設計荷重のわずか1.07～1.08倍当たりから変位が急増し始める。本解析では亀裂の進展は考慮していないため、載荷後の亀裂の挙動は今後の検討を待たなければならないが、現状では過積載車両により設計荷重を超える応力度が発生し、それにより急激な亀裂の進展という危険なプロセスが想定される。

9. おわりに

可動支承の機能障害により支承近傍に応力度が集中し、設計載荷荷重よりかなり小さな荷重で桁が降伏応力度に達することが分かりました。桁と床板が一体となった合成桁では、その傾向は緩和されるものの、設計載荷荷重より小さな荷重で降伏応力度に達することには変わりはありません。すなわち、鋼製支承が腐食などによりその回転機能や滑り機能を損なうと、橋梁の耐荷力が著しく低下し、落橋につながる危険な状態になることに十分な注意が必要で

す。

この解析の妥当性を確認するために、橋梁全体系に対する影響度^{6) 7)}、地震の影響下での耐荷力の変化、健全な桁の耐荷性能との照査などについて、更なる検討が必要と考えられます。

参考文献

- 1) 道路橋の重大損傷-最近の事例-(財)海洋架橋・橋梁調査会、平21年3月
- 2) 玉越、大橋、中谷：道路橋の定期点検に関する参考資料-橋梁損傷事例写真集-、国総研資料第196号、平16年12月
- 3) 土木構造物標準設計 第23～28巻、建設省、昭53
- 4) 道路橋示方書・同解説、I 共通編、平成24年3月、日本道路協会
- 5) 吉田、大石、二宮、佐々木：支承の機能障害が鋼桁の挙動と耐荷力に及ぼす影響分析 -弾塑性FEMによるアプローチ-、第2回北陸橋梁保全会議論文集、平成28年10月
- 6) 吉田、秋山：支承に機能障害を有する鉄筋コンクリート床版鋼I桁橋の挙動、土木学会年講、平成25年
- 7) 吉田、秋山、龍田：桁端部に複合的な損傷を有する鋼I桁橋の耐荷力特性、土木学会年講、平成24年

沖縄県の離島架橋整備 —これまでの離島架橋の整備と効果—

沖縄県 道路街路課 課長 古堅 孝

はじめに

沖縄県は、我が国の南西部に位置し、東西約1,000km、南北約400kmの広大な海域に大小160の島々が点在する全国でも有数の島しょ県であり、沖縄本島を除く39の有人離島に県人口の約9%を占める約13万2千人の人々が住んでいる。

また、沖縄の離島が有する個性豊かな自然環境や文化、歴史遺産等は国民の健康保養や癒やしの場を提供するとともに、いわゆる国境離島を含む沖縄の離島地域は、日本の領空、領海、排他的経済水域の保全など、その果たす役割はますます重要になっている。

2015（平成27）年には776万人を超える観光客が本県を訪れ、風光明媚な自然を満喫している。

しかし、その反面、観光客を受け入れる小離島などでは台風・時化等の悪天候時に島が孤立化し、救急患者の搬送ができなかったり、高波浪が続き孤立化が続くと生活物資の搬入ができず日常生活にも支障をきたすなど、都市部に暮らしているものには予

想できない不利・不便さ（沖縄の方言で「島ちゃび」）を抱えている。

そのような現状を解消し、少しでも多くの人々が安心して島に住み続けるために、離島架橋整備は、沖縄県の重要な施策となっている。

本稿では、近年整備した離島架橋のうち、2004（平成16）年度に事業完了した古宇利大橋、2010（平成22）年度に事業完了したワルミ大橋、2015（平成27）年1月に開通した伊良部大橋について紹介し、離島架橋の整備効果について述べるとともに、あわせて沖縄県の橋梁長寿命化計画及び、橋梁の長期供用に向けた独自の取組みについて報告する。

離島架橋の整備状況について

沖縄県は、これまで、生活圏の一体化による、医療、教育、産業、福祉の向上などの離島振興を図ることを目的に、三次にわたる沖縄振興開発計画や沖縄振興計画（2002年～2011年）、沖縄21世紀ビジョン基本計画（2012年～2021年）に基づき、15箇所の離島



番号	橋名	橋長(m)	完成年度
①	野市大橋	320m	H15
②	古宇利大橋	1,960m	H16
③	ワルミ大橋	315m	H22
④	羽地奥武橋	77m	S56
⑤	屋我地大橋	300m	H4
⑥	瀬底大橋	762m	S59
⑦	浜比嘉大橋	900m	H8
⑧	平安座海中大橋	280m	H9
⑨	世開橋	96m	H9
⑩	慶留間橋	240m	S63
⑪	阿嘉大橋	530m	H10
⑫	奥武橋	170m	H8
⑬	池間大橋	1,425m	H3
⑭	来間大橋	1,690m	H6
⑮	伊良部大橋	4,310m	H26

※表の番号は、左図に対応

図-1 離島架橋位置図

架橋を整備してきたところである。

沖縄21世紀ビジョン基本計画においては、自立的な地域づくりと定住支援を図る視点から、離島架橋など地域特性に応じた道路整備を推進することとしている。

近年整備した離島架橋について

(1) 古宇利大橋

事業概要

- ①事業期間：1997（平成9）年度～2004（平成16）年度
- ②橋梁延長：L=1,960m
- ③橋梁幅員：W=10.25m
- ④橋梁形式：上部工（PC8径間連続箱桁2連＋PC4径間連続ラーメン箱桁＋PC5径間連続箱桁）
下部工（逆T式橋台・ラーメン橋脚・壁式橋脚）
- ⑤事業費：270億円

古宇利大橋は、今帰仁村古宇利島と名護市屋我地島を結ぶ橋梁であり、橋長が1,960mとなっている。

古宇利大橋の建設にあたっては、総事業費が非常に大きいこと、また塩害等の自然環境が厳しいことから、コスト削減を図ることや、品質の向上による高耐久化を図ることなど、これまでの離島架橋に求められた条件と大きく異なっている。

コスト削減としては、基礎工や上部工の見直し等により約37億円削減しており、また、高耐久化とし

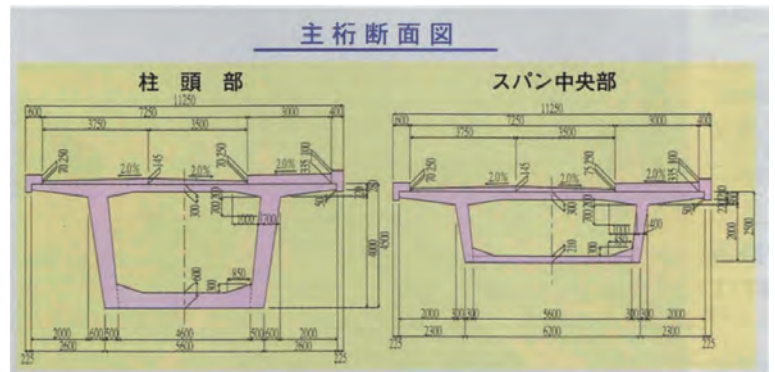
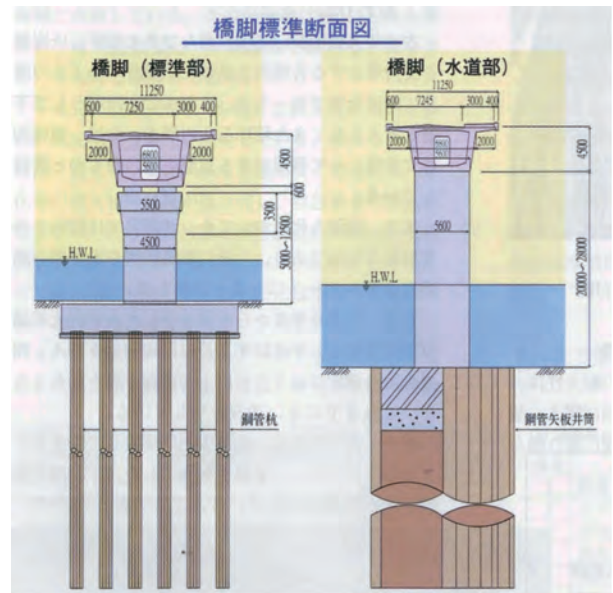


図-3 古宇利大橋断面図

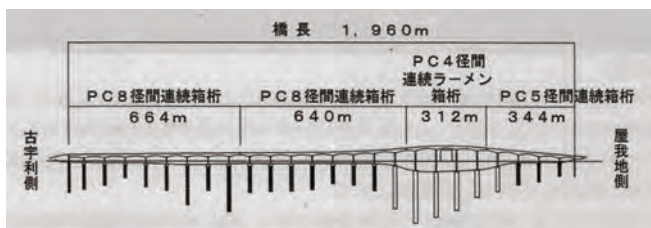


図-2 古宇利大橋一般図



写真-1 古宇利大橋 2005（平成17）年2月供用開始



写真-2 古宇利島内海水浴場 2014（平成26）年9月撮影

て、従来の橋梁では目標耐用年数を50年としていたが、古宇利大橋では目標耐用年数を100年として設計・施工を行った。

架橋前の島民は、1日5便のフェリー（35t）が本島側への唯一の交通手段であったことから、渡し船に頼る島の生活は、離島苦を強いるものであった。

架橋後は、沖縄本島と一体となった生活環境を整えることができ、更に、古宇利島特有の豊かな自然

環境を目的に訪れる人々が増え、観光産業も盛んになっている。

(2) ワルミ大橋

事業概要

- ①事業期間：1997（平成9）年度～2010（平成22）年度
- ②橋梁延長：L=315m
- ③橋梁幅員：W=10.0m
- ④橋梁形式：上部工（上路式RC固定アーチ橋）
下部工（逆T式橋台・アーチアッバット・壁式橋脚）
- ⑤事業費：61億円

ワルミ大橋は、沖縄県名護市運天原から今帰仁村仲宗根に至る一般県道屋我地仲宗根線の道路新設事業の一環として、沖縄本島の本部半島と屋我地島を連結する海峡横断橋である。

当該橋梁の整備に伴い、今帰仁村の離島である古宇利島は、これまで沖縄本島名護市及び屋我地島を



写真-3 ワルミ大橋 2010（平成22）年12月供用開始

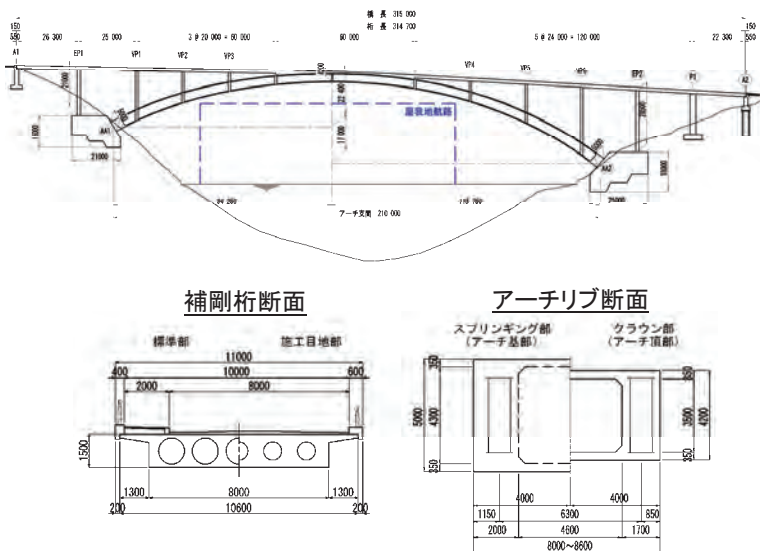


図-4 ワルミ大橋 一般図、及び断面図

経由し結ばれていたものが、屋我地島を介して直接連絡できるようになったことで、古宇利島から今帰仁村中心地まで移動時間が車で38分かかっていたものが、25分短縮され13分となるなど、今帰仁村の一体化や、アクセス向上に伴う観光振興に寄与している。

架橋地点は、「割れ目」、「裂け目」を意味する【ワルミ】という地名が名付けられるほど急峻な沿岸地形で、水深があり重要港湾である運天港羽地内海の避難泊地に渡航する2000DWT級貨物船の航路となっている。

橋種の選定にあたっては、航路を確保し、当該地域が沖縄海岸国定公園で、かつ鳥獣保護区にも指定されていることから、上路式RC固定アーチ橋を採用することにした。

さらに架設工法については、強風時における施工の安全性を確保するために、合成アーチ巻立法を採用した。

周辺環境にマッチしたワルミ大橋は、ワルミ海峡、古宇利大橋を望む新たな眺望が観光資源となっており、古宇利島～古宇利大橋～ワルミ大橋～海洋博公園～名護市の新たな観光ルートを形成している。

(3) 伊良部大橋

事業概要

- ①事業期間：2005（平成17）年度～2014（平成26）年度
- ②架橋延長：4,310m
本橋部L=3,540m、海中道路L=600m
取付橋梁2橋L=170m
- ③橋梁幅員：W = 8.5
- ④橋梁形式：本橋部上部工



写真-4 伊良部大橋 2015（平成27）年1月供用開始

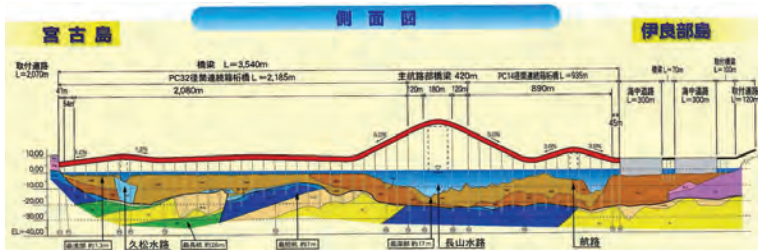


図-5 伊良部大橋 一般図及び断面図

一般部 PC連続箱桁橋 (32径間、14径間)
 主航路部 鋼床版連続箱桁橋 (3径間)
 下部工 (逆T式橋台・壁式橋脚)

⑤事業費：約399億円

伊良部大橋は、宮古島と伊良部島を結ぶ延長4,310m (本橋部3,540m、海中道路部600m、取付橋梁2橋170m) の離島架橋であり、2005 (平成17) 年度から工事に着手した。

このうち、3,540mの本橋部は、2,185m及び935mのコンクリート橋、長山水路をまたぐ420mの鋼橋で構成されており、無料で通行できる橋梁としては、日本で一番長い橋である。

伊良部大橋の周辺環境は、開けた海上に位置することから飛来塩分が橋面に付着しやすく、亜熱帯地域の高温多湿な気候の下、橋梁にとって厳しい腐食環境である。

このため、本橋部においては、フライアッシュコンクリートの採用や、鋼橋における防食下地への金属溶射の適用など、供用年数100年を目指した高耐久化への取組みを行った。(表-1、写真-5、写真-6、写真-7)

また、台風が多く襲来する厳しい環境下の施工における安全管理、豊かな自然が広がる周辺海域のサンゴ・藻場等の環境保全に取組みながら整備を進めてきた。

伊良部大橋は、平成27年1月31日、着工から10年、

表-1 コンクリート部の塩害対策一覧表

材料

鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋、ステンレス鉄筋 (地覆部) CFCC (下床版、沓座モルタル内配筋)
PCより線	エポキシ樹脂被覆鋼より線
シーす	ポリエチレンシーす

構造

かぶり	箱桁外部 (7.0cm) 箱桁内部 (3.5cm) 下部工 (9.0cm)
コンクリートの配合	上部工ASR対策として砕砂のみを使用 (※1) 水セメント比の低減 (配合表参照) フライアッシュコンクリートの使用 (下部工)
支承	AlMg溶射による防食
伸縮継手	橋梁に設置する個数を少なくなるような設計 (32径間連続)

施工

鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋は組立後損傷箇所をタッチアップ 曲げ機械はウレタン樹脂製ローラを使用
かぶり	セグメントは全個数においてかぶり確認を監視
コンクリートの配合	水セメント比の確認

※1：ASR発生に伴いコンクリートにひび割れが生じ、鉄筋の腐食も同時進行することからひび割れ抑制効果が期待でき、塩害対策としても有効であると考えている。

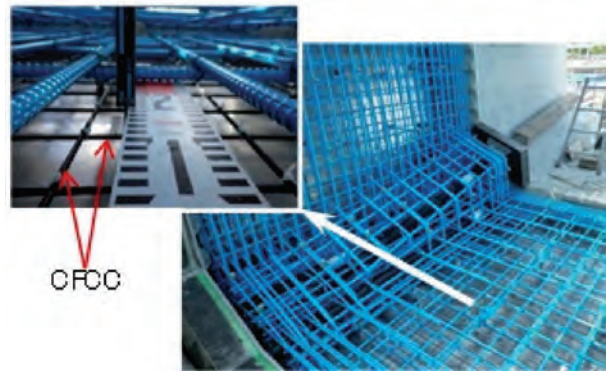


写真-5 上部工の塩害対策の実施状況



写真-6 金属溶射状況



写真一七 主航路部設置状況

要請活動から40年の歳月を経て開通した。

今後、住民生活の利便性の確保はもとより、伊良部島の教育、医療、福祉等の生活環境の向上につながるとともに、地域産業の基盤整備や観光資源の開発を支援するなど、宮古圏域の振興発展に大きく寄与するものと期待される。

離島架橋の整備効果

離島架橋により道路交通の随時性が確保されており、その影響・効果等を以下に示す。

(1) 交通・生活コストの低減

離島地域における住民の移動や生活必需品等に係る住民負担の軽減を図る。

(2) 生活環境基盤の整備及び教育・医療・福祉における住民サービスの向上

教育においては、離島以外の地域と公平な教育機会を確保することができ、家族や生徒の経済的・精神的な負担軽減を図ることが出来る。

また、急な病気や怪我をした時の急患搬送や船が欠航するような高波浪時に、制約されずに目的地へ移動できるため、これまでの不安・不便さがなくなり安心した暮らしが可能となる。

(3) 交通基盤の整備と交通ネットワークの充実強化

架橋後、交通の随時性が確保されることによって、基幹産業や観光産業が充実するなど、島の振興および活性化が図られ、新たな雇用が期待できる。

図-6は、古宇利島への観光客数の推移を示すが、架橋前の平成14年（5,723人）から架橋後の平成25年（252,835人）では、44倍もの伸びを示している。

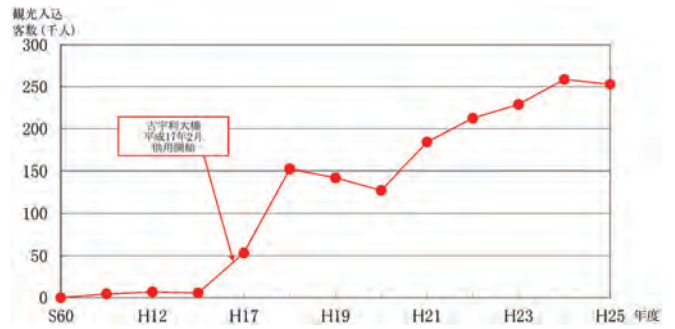


図-6 古宇利島への観光客数の推移

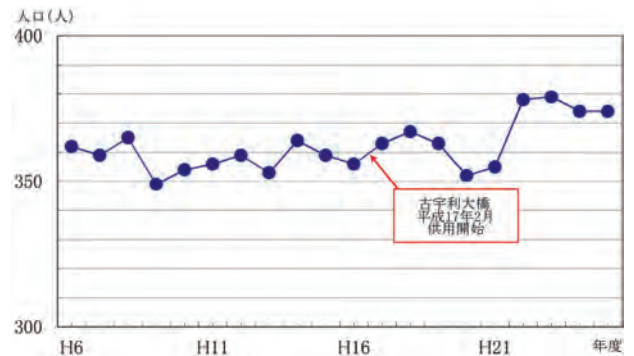


図-7 古宇利島人口推移

(4) 過疎・辺地地域の振興

架橋前は若年層の島外流出による過疎化が急激に進行していたが、架橋を契機に人口の減少傾向に歯止めが掛かり、微増となる島もある。(定住化の促進)

図-7は、古宇利島の人口推移を示すが、架橋後、僅かではあるが増となっている。

橋梁長寿命化修繕計画

沖縄県が管理する2m以上（内径2m以上、土被り1m未満のボックスカルバートを含む）の橋梁は672橋あり、2m以上15m未満の橋梁が327橋、15m以上の橋梁が345橋となっている。

沖縄県は、1年を通して年間月平均気温15℃以上、相対湿度70%以上と厳しい劣化環境にあり、他府県と比較し劣化の進行が早いという環境条件である。

そこで本県では、予防保全型の維持管理を実施し、橋梁の長寿命化を図るとともに維持修繕・更新の集中を避け、予算の平準化・コスト縮減を図ることを目的に、2011（平成23）年3月に橋梁長寿命化修繕計画を策定した。

同計画では、予算の制約から一度に全ての修繕を実施することは困難であることから、基本的に劣化・損傷の程度が大きい橋梁から修繕を実施するが、緊急輸送道路指定、重要施設へのアクセス路線、交通量、バス路線、迂回路の有無、塩害の影響が著しい

沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクトに関する協力協定書

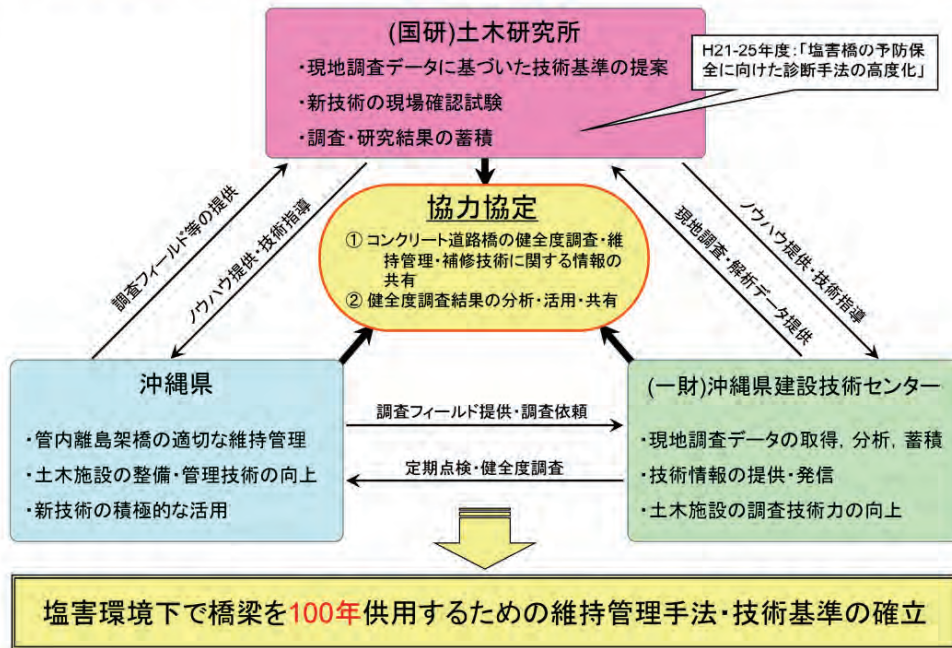


図-8 100年耐久プロジェクト枠組み図

地域等の項目も総合的に評価したうえで、修繕の優先順位を決定している。

2012（平成24）年度から同計画に基づいて橋梁補修・補強を実施しており、2015（平成27）年度末現在では、197橋が実施中及び整備済みとなっている。

また、道路インフラの維持管理・補修・更新を確実に進めるために、高速道路、国道、県道、市町村道のすべての道路管理者が情報を共有し、連携していくことが必要であるため、平成26年度に、沖縄県道路メンテナンス会議が設立された。

これによって、交通上密接な関連を有する道路管理者が相互に連絡・調整を行い、道路インフラの点検結果や修繕計画を共有・協力することにより、円滑な道路管理を促進し、道路インフラの予防保全・老朽化対策の強化を図ることができる。

沖縄県離島架橋100年耐久性プロジェクト

沖縄県、国立研究開発法人土木研究所、一般財団法人沖縄県建設技術センターとともに離島架橋の調査研究を行うこととし、平成21年に三者協定を締結した（図-8参照）。

全国でも類を見ない厳しい塩害条件にある沖縄県において、暴露供試体や実橋における調査データの

蓄積を行うことにより、塩害環境下で橋梁を100年供用するための維持管理手法、技術基準の確立を行って行くこととしている。

あとがき

沖縄県は、これまで15箇所の離島架橋を整備してきたが、その結果、若者が島に戻ってきたり、病院への通院が容易になったり、生活物資がいつでも手に入るようになるなど、架橋によって「島ちゃび」が解消され、「安心・安全」が確保された。

また、これまで整備してきた離島架橋については、橋梁長寿命化修繕計画に基づき、適切な維持・修繕に努めていく必要がある、離島架橋整備や維持管理で得られた知見は、厳しい塩害環境下で、橋梁を100年供用するための維持管理手法、技術基準の確立につなげて行く所存である。

現在、伊平屋・伊是名架橋や、伊江島架橋など、未だに多くの離島架橋の要請がある。

離島での「島ちゃび」という不安の中で生活を送っている人々の苦しみをできるだけ解消し、定住環境の整った活力ある島々となるよう、これからも離島の社会資本整備に全力を尽くしていきたいと考えている。

アクティブ・ラーニングを基軸とする 橋梁メンテナンス技術者育成カリキュラムの研究開発

舞鶴工業高等専門学校	建設システム工学科	教授	玉田 和也
徳山工業高等専門学校	土木建築工学科	教授	田村 隆弘
舞鶴工業高等専門学校	社会基盤メンテナンス教育センター	特命助教	嶋田 知子

1. はじめに

社会基盤（インフラ）の老朽化が全国的に問題となる中、市町村では技術力不足のため適切な維持管理が困難な状況にある。『建設』から『維持管理』へ思考を転換し、インフラの維持管理や修繕等に対応できる人材の育成が急務となっている。また、地方創生の大前提となる地方の安全・安心な暮らしを支えるためにも、地方におけるインフラメンテナンス技術者の確保は欠かせない。

舞鶴工業高等専門学校では、インフラの維持管理に関する実践的な教育システムを構築するため、平成26年1月23日に社会基盤メンテナンス教育センター（略称、iMec）を開設し、全国の学生や行政機関技術職員、民間企業技術者などを対象に講習会を開催し、平成27年度末時点で275人の技術者を育成してきた。講習会修了者からは効果的・実践的な講習内容を高く評価いただいているが、多忙な業務の中でメンテナンス技術の獲得・向上を目指す実務者のニーズに応えるためには、より効率的・実践的に学修を行うことができるカリキュラムの開発を行う必要がある。

本研究では、学生、新規入職者、異分野技術者等が橋梁メンテナンスに関する初歩的な知識・技能を効率的に修得できる環境を整備することを目的とする。このため、クラウド上のオンデマンド型学修支援システムを活用し、橋梁メンテナンス技術者育成カリキュラムの導入編となるeラーニングコースを開発するとともに、iMecにおける体験型学修の環境を整備し、アクティブ・ラーニング（能動的学修）を基軸とする講習会カリキュラムを開発した。

2. 研究方針

(1) 開発のポイント

本研究では、情報通信技術（以降、ICT）を活用した学修の効率化と、実践的技術を重視した講習会カリキュラムのアクティブ化について研究を行い、多様な学修ニーズに対応した目的・対象別の教育プログラムの開発に取り組む。開発のポイントを図-1に示す。

ICTを活用した学修の効率化については、クラウド上に構築したオンデマンド型学修支援システムを構築し、通常は講習会の座学で学修する内容をeラーニング教材として作成・提供することで、時間・場所を選ばず個人の知識・技術レベルに応じて学修できる環境を整備する。

講習会カリキュラムのアクティブ化については、実物劣化モデル（更新に伴い撤去された橋梁部材等）を用いた損傷探索や非破壊検査手法の実習といった体験型学修の環境を整備し、アクティブ・ラーニング（能動的学修）に重点を置いた技術者育成カリキュラムを作成する。

多様な学修ニーズに対応した目的・対象別の教育プログラムの開発については、受講者の技術レベルに応じたステップアップ型のカリキュラムとして整備する。

具体的な研究手順を以下に示す。

- ・ 橋梁メンテナンス技術に関する学び直しニーズ調査を実施（eラーニングでの学修内容と1講座当たりの所要時間、講習会での学修内容と1コース当たりの所要時間等）
- ・ 体験型学修のための実物劣化モデル実習フィールドを整備
- ・ 導入編の教育プログラム（eラーニングコース及び講習会カリキュラム）を開発
- ・ 開発カリキュラムの試行及び実証・検証の実施
- ・ e+iMec講習会【導入編（橋梁点検）】カリキュ

開発ポイント① 講習会の座学の講義内容をeラーニング化して事前学修を前提に座学を短縮し、現場実習やグループワーク、演習等を追加し体験型学修を拡充することで講習会をアクティブ化。

開発ポイント② 実務者が時間・場所を選ばず必要な時に必要な知識を学修できる環境として、クラウド上にオンデマンド型自己学修支援システムを構築。受講者は、個人IDでシステムにログインし、講習会前に所定のeラーニング講座を各自のペースで受講し必要な知識を学修する他、講習会後も利用可能な継続学修の環境として整備。

開発ポイント③ 多様な学修ニーズ（レベル・分野）に対応するため、導入編・基礎編・応用編に分けて、目的・対象別の教育コンテンツを整備。



図-1 カリキュラム開発のポイント

ラムを構築

(2) 実施体制

本研究の実施体制を図-2に示す。本研究の実施に当たり、京都府北部に所在する産官学の関係機関で構成する『京都府北部橋梁メンテナンス推進協議会』（以降、協議会）、及び、産官学の有識者で構成する『橋梁メンテナンス技術レベル検討委員会』（以降、委員会）を新たに設置した。協議会では、地域ニーズの調査、開発カリキュラムの検証、教育プログラムの普及・活用等に向けた協議を行った。委員

会では、橋梁メンテナンス技術者育成カリキュラムの技術レベルについて専門的見地から審議・評価等を行った。この他、橋梁の老朽化対策研究で連携している12高専（連携高専）、及び、インフラ再生技術者育成コンソーシアムと、技術協力及び成果共有を行った。

3. 橋梁メンテナンス技術に関する学び直しニーズ調査

(1) 調査概要

実務者ニーズを反映したカリキュラムを開発する

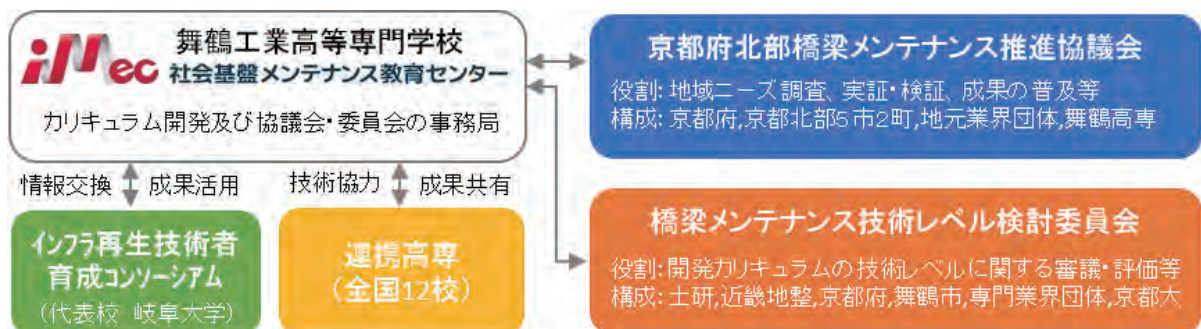


図-2 研究実施体制

ために、橋梁メンテナンス技術に関する学び直しニーズ調査を実施した。協議会参画機関に所属する土木技術者を対象に、eラーニングでの学修内容と1講座当たりの所要時間、講習会での学修内容と1コース当たりの実施期間、その他意見・要望等についてアンケート方式で回答を求めた。回答数は、行政機関122名、民間企業19名、合計141名であった。

(2) 調査結果

eラーニングに関する調査では、学修内容については基礎的な内容や事例を交えた説明を求める意見が多く、1講座当たりの所要時間については30分が適当との回答が半数（69名、49%）を占めた。講習会に関する調査では、学修内容については基礎的な内容や現場等での実習の開催を求める意見が多く、1コース当たりの実施期間については2日間以下の回答が約8割（1日間：56名、40%、2日間：61名、43%）を占めた。以上より、学修内容としては基礎的なものと実務に即したものの、学修期間としては短期間で受講できるものが求められていることが明らかとなった。

4. 本研究における開発対象

本研究では、学生、新規入職者、異分野技術者等を対象に、橋梁メンテナンスの基礎を理解するために必要となる知識及び技能の修得を目指すカリキュラムを開発することとし、eラーニングによる事前学修とiMecでの講習会を組合せた“e+iMec講習会【導入編（橋梁点検）】”の開発に取り組んだ。また、本研究と並行して実施した別プロジェクトにおいて、導入編のステップアップカリキュラムである“e+iMec講習会【基礎編（橋梁点検）】”及び“e+iMec講習会【応用編（橋梁点検）】”の開発に取り組ん

だ。導入編、基礎編、及び、応用編の各カリキュラムで修得を目指す知識及び技能を表-1に示す。

5. 開発カリキュラム

本研究では、eラーニングによる事前学修と講習会での座学及び実習の組み合わせにより、橋梁工学と橋梁関係技術基準の変遷、及び、道路構造物の損傷に関する初歩的な知識を学修する導入編のカリキュラムを開発した。

(1) eラーニング

本研究では、橋の名称・分類・形式を専門用語の読み方や意味も含めて解説する「橋梁工学基礎（その1）」、橋の設計の基礎となる土木工学の知識を解説する「橋梁工学基礎（その2）」、橋の技術基準の変遷を技術史として解説する「橋の技術基準の変遷」の3講座からなるeラーニングコースを開発した。eラーニング講座毎にチェックテストを実施することとし、全問正解まで繰返し受験することで学修内容の確実な修得を目指している。

eラーニング講座及びチェックテストは、クラウド上に構築した“オンデマンド型自己学修支援システム”で受講することができる。本システムでは、『smartFORCE』というラーニングマネジメントシステム（LMS）を採用しており、受講者はインターネットを介して個人IDでログインすることで、いつでもeラーニング講座を受講することができる他、管理者側で受講者の学修履歴を随時確認することができる。導入編では、次のことを本システムで実施することとし、ICTを活用した学修環境の提供とテスト・試験の採点の迅速化に取り組んだ。

- ・ eラーニング講座の受講（講習会前の事前学修及び講習会後の継続学修）

表-1 教育プログラムで修得を目指す知識及び技能

カリキュラム名	修得を目指す知識及び技能
e+iMec講習会【導入編（橋梁点検）】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁工学に関する基礎知識を有すること。 ・ 道路構造物の損傷に関する初歩的な知識を有すること。
e+iMec講習会【基礎編（橋梁点検）】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁工学に関する知識及び道路構造物の損傷に関する知識を有すること。 ・ 一般的な橋梁形式の道路橋について、道路橋定期点検要領（H26.6）に基づく点検を確実に履行するために必要な知識及び技能を有すること。
e+iMec講習会【応用編（橋梁点検）】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁工学に関する知識及び道路構造物の損傷に関する知識を有すること。 ・ 一般的な橋梁形式以外の道路橋も含め、道路橋定期点検要領（H26.6）に基づく点検を確実に履行するために必要な知識及び技能を有すること。 ・ 道路構造物の損傷に対する補修・補強方法に関する知識を有すること。 ・ 一般的な橋梁形式の道路橋について道路橋定期点検要領（H26.6）に基づく健全性の診断を確実に履行するために必要な知識及び技能を有すること。

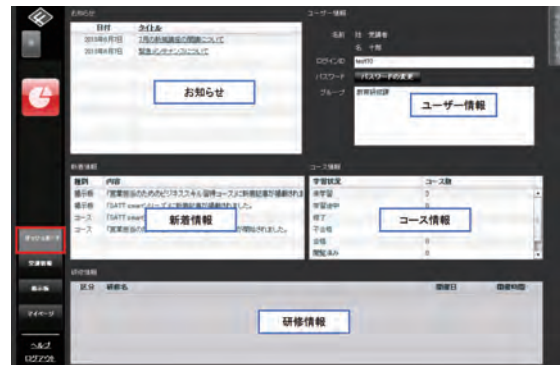
- ・ 講習会開始前に実施する事前学修チェックテスト
 - ・ 講習会修了後に実施する学修到達度確認試験
- 本システム上で受講者が主に使用する操作画面を図-3に示す。eラーニング講座「橋梁工学基礎（その1）」のスタート画面、教材再生画面、チェックテストのスタート画面を図-4に示す。

(2) 講習会

講習会は、舞鶴工業高等専門学校社会基盤メンテナンス教育センターで実施し、体験型学修に重点を置いたアクティブ化を図ることにより、1日間で初歩的な知識・技能を効果的に修得できるカリキュラムとした。具体的な学修内容は、eラーニングによる事前学修内容を活用した橋梁工学基礎の講義・演習、実物劣化モデルを用いたコンクリート構造物の

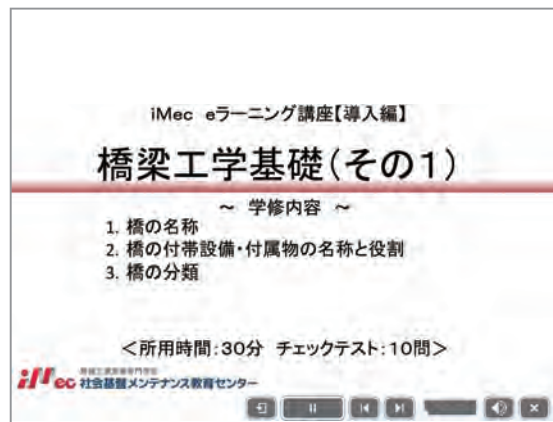


<ログイン画面>
ブラウザを起動して専用 URL にアクセスすると smartFORCE ゲイン画面が表示される。①に「ログイン ID」を入力、②に「パスワード」を入力、③の「ログイン」ボタンをクリックする。

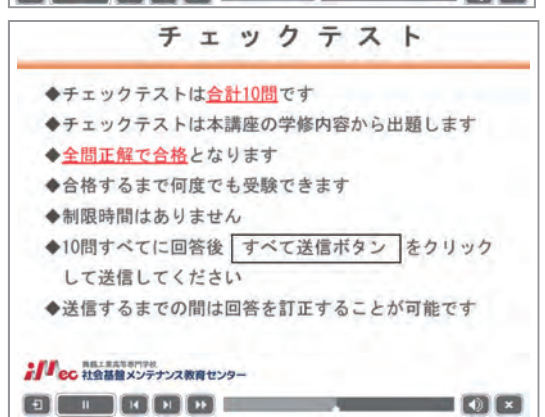
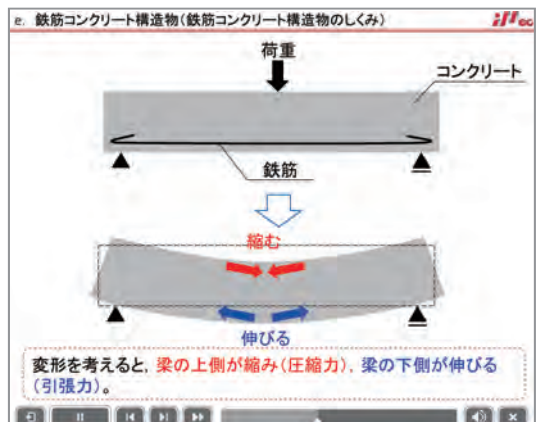


<ダッシュボード画面>
受講者が主に必要とする情報（「お知らせ」「ユーザー情報」「新着情報」「コース情報」「研修情報」）が、まとめて1つの画面に表示される。

図-3 LMS (smartFORCE) の受講者操作画面



<eラーニング講座>
ページごとに説明アナウンスが流れ、自動でスライドが進む。必要に応じて、最初に戻る、一時停止、巻戻り、早送りのボタンを操作し、理解度に合わせて学修を進める。



<チェックテスト>
各講座を修了することで受験可能となる。画面の指示に従って問題を解いていき、答えを送信することで採点結果が表示される。問題数は各講座10問、全問正解で合格となる。

図-4 eラーニング講座及びチェックテストの受講画面

損傷探索実習・実物見学・解説、コンクリート構造物の調査の実習、鋼橋と支承の劣化・損傷部材の実物見学・解説、橋の三大損傷の講義、及び、学修到達度確認試験である。受講者には、講習会テキストとして、各時限の学修内容をまとめた紙媒体の教材を配布することとした。講習会カリキュラムについては、工業高校生を対象に試行し、実証・検証を実施しており、この内容を次項で示す。

課題・改善点の抽出を行うため、導入編の講習会カリキュラム案の試行及び実証・検証を次のとおり実施した。試行カリキュラムを図-5、各時限の実施状況を図-6に示す。

- 対象者 京都市立伏見工業高等学校 システム工学科 2年生 13人
- 実施場所 舞鶴工業高等専門学校社会基盤メンテナンス教育センター
- 実施日程 平成27年12月12日（土）

6. 開発カリキュラムの試行及び実証・検証

(1) 開発カリキュラムの試行

本研究で開発したカリキュラムの実効性の検証と

(2) アンケート

講習会修了後、試行カリキュラム受講者に対して

iMec講習会【導入編(橋梁点検)】				
限	時間	(分)	講座名	内容
1	10:30-11:00	(30)	ガイダンス 橋について 舞鶴市が管理する橋梁の現状 と課題	橋についての講義 舞鶴市管理の橋梁を例に現状解説
2	11:10-12:00	(50)	コンクリート構造物の損傷	コンクリート構造物の損傷(講義) 『コンクリートDr.になろう!』 損傷探索実習
3	13:00-13:50	(50)	コンクリート構造物の損傷	損傷探索結果発表 実物見学・解説 損傷調査(打音検査)
4	14:00-14:50	(50)	鋼構造物の損傷 まとめ	鋼橋・支承の損傷(講義) 実物見学・解説 まとめ:道路橋の三大損傷
5	15:00-15:20	(20)	学修到達度の確認	確認テスト アンケート
-	15:20-15:30	(10)	修了式	修了証授与

《凡例》

座学

体験型学修

図-5 試行カリキュラム



2 限目 コンクリート構造物の損傷探索実習



3 限目 コンクリート構造物の損傷探索結果発表



3 限目 コンクリート損傷部材見学・解説



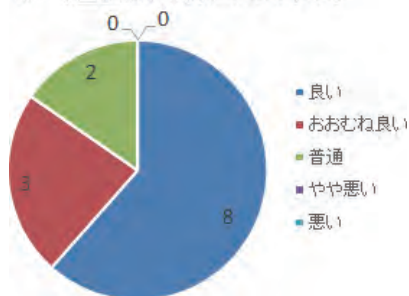
4 限目 鋼構造物損傷部材見学・解説



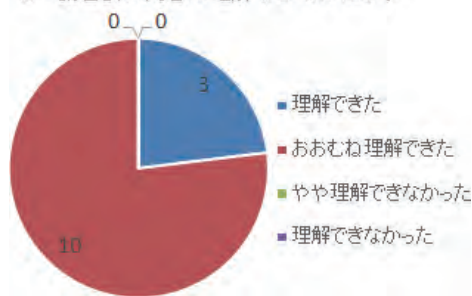
5 限目 学修内容の確認テスト

図-6 各時限の実施状況

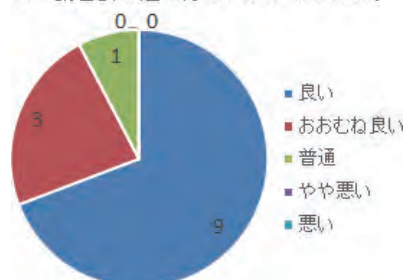
Q. 今回参加して良かったですか。



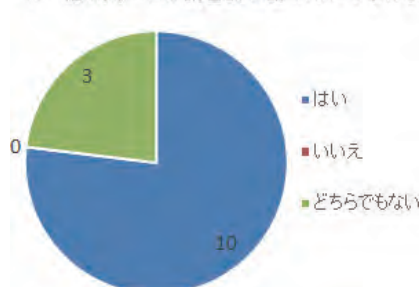
Q. 講習会の内容は理解できましたか。



Q. 講習会の進め方はいかがでしたか。



Q. 他の人にこの講習会を勧めたいですか。



Q. 自由記述（講習の感想、改善点の提案等）（抜粋）

- ・ とても面白かったです。とても有意義な時間を過ごせた。
- ・ 橋についての様々な内容が学べたので良かったです。
- ・ いつもは見ることのない床版の裏側や、壊れていたり傷ついたりするものがまとめて沢山見られたり、なぜそうなったかという理由も知れてとてもよかったです。
- ・ 外での学習時間を増やしてほしい。
- ・ 外での展示物の説明がわかりやすかった。
- ・ 橋の修理に必要な知識を得ることができて、設計とは違う視点で見ることができてよかった。今後役に立つと思うので、橋巡りなどをしてみたいと思った。

図-7 アンケート集計結果

アンケートを実施した。集計結果を図-7に示す。受講者の満足度及び内容の理解度は高く、カリキュラムとして高評価を得られたといえる。

(3) 開発カリキュラムの検証

試行の実施状況及びアンケート結果の検証から得られた試行カリキュラムの評価点と課題・改善点、各事項への対応を以下に示す。

●1限目の時間が短く、橋梁工学の基礎知識や地方自治体におけるアセットマネジメントの現状と課題に関する学修が不十分である。

〈対応〉橋梁工学基礎、及び、地方自治体が管理する橋梁の現状と課題の講義を充実させる。

●2～3限目のコンクリート構造物の損傷探索実習は、実物劣化部材を活用して受講者が能動的に学べる効果的なプログラムである。

〈対応〉カリキュラムとして採用する。

●3限目のコンクリート構造物の損傷調査では、打

音検査以外の調査手法が体験できない。

〈対応〉クラックスケール、テストハンマー試験、中性化深さ測定を追加する。

●4限目の鋼橋・支承の損傷の実物劣化部材の見学及び解説の時間が10分程度不足した。

〈対応〉道路橋の三大損傷の講義をまとめて移動することで不足した学修時間を確保する。

●修了時のチェックテストだけでは、講習会による学修効果を測定できない。

〈対応〉講習会ガイダンスで、講習会開始時点の知識を把握するチェックテストを実施し、修了時の確認テストと比較することで学修効果を測定する。開始時に実施する事前学修チェックテストについては、実際は、講習会開始までにeラーニングを受講することからチェックテストから抜粋した問題とする。講習会の最後に実施する学修到達度確認試験については、事前学修チェックテストの

e-learning (事前学修)		iMec講習会【導入編(橋梁点検)】				
講座名		限	時間	(分)	講座名	内容
橋梁工学基礎(その1)		-	10:00-10:20	(20)	講習会ガイダンス	スケジュール 事前学修チェックテスト
橋梁工学基礎(その2)		1	10:30-11:20	(50)	橋梁工学基礎	橋についての講義と演習
橋の技術基準の変遷		2	11:30-12:00	(30)	地方自治体が管理する橋梁の現状と課題	舞鶴市管理の橋梁を例に解説
		3	13:00-13:50	(50)	コンクリート構造物の損傷	コンクリート構造物の損傷(講義) 『コンクリートDr.になろう!』 損傷探索実習、実物見学・解説
		4	14:00-14:50	(50)	コンクリート構造物の調査	打音検査、クラックスケール、 テストハンマー、中性化深さ測定
		5	15:00-15:50	(50)	鋼構造物の損傷	鋼橋・支承の損傷(講義) 実物見学・解説
		6	16:00-16:30	(30)	まとめ	道路橋の三大損傷、質疑応答 学修到達度確認試験
		-	16:30-16:45	(15)	修了式	アンケート、修了証授与

《凡例》	e-learning講座単位
	座学
	体験型学修

図-8 e+iMec講習会【導入編(橋梁点検)】のカリキュラム

問題に講習会での学修内容に基づく問題を追加したものとする。

以上を反映し、図-8に示すアクティブ・ラーニングを基軸とする橋梁メンテナンス技術者育成カリキュラムを開発した。

7. まとめ

本研究における実施内容と研究成果を以下にまとめ、今後の展開を示す。

行政機関の土木技術職員及び民間企業の現場実務担当者に対して、橋梁メンテナンス技術に関する学び直しニーズ調査を実施し、学修内容としては基礎的なものと実務に即したものの、学修期間としては短期間で受講できるものが求められていることを把握した。この結果から、eラーニングによる事前学修とiMecでの講習会を組合せた“e+iMec講習会【導入編(橋梁点検)】”、“e+iMec講習会【基礎編(橋梁点検)】”、及び、“e+iMec講習会【応用編(橋梁点検)】”というステップアップ型のカリキュラムとして開発することとし、各カリキュラムで修得を目指す知識及び技能を明らかにした。本研究では、導入編を開発対象とした。

導入編では、学生、新規入職者、異分野技術者等を対象に、橋梁メンテナンスの基礎を理解するために必要となる知識及び技能の修得を目指すカリキュラムを開発した。eラーニングによる事前学修とiMecでの講習会を組合せ、アクティブ・ラーニングを基軸とする橋梁メンテナンス技術者育成カリキュ

ラムを編成した。導入編カリキュラムの最後に実施する学修到達度確認試験は合格基準を80点以上(100点満点中)とし、学修到達度の目安とした。

今後の展開については、iMecにおいて本研究成果である導入編カリキュラムを活用した講習会を開講する、eラーニング講座を工業高校生や高等専門学校生に対するメンテナンス工学の教材として活用する等、研究開発成果の普及・活用に取組む。本研究成果が建設分野への新規入職者や異分野技術者が橋梁メンテナンス分野に参入するための足掛かりとなり、橋梁メンテナンス技術者不足を解消するとともに、当該分野におけるイノベーションの推進に資することを期待する。

謝辞

(一財)橋梁調査会研究開発助成により橋梁メンテナンス技術者育成に係る研究推進の貴重な機会をいただきました。また、本研究の実施に当たり、京都府北部橋梁メンテナンス推進協議会及び橋梁メンテナンス技術レベル検討委員会の委員各位、及び、委員所属機関〈(国研)土木研究所、国土交通省近畿地方整備局道路部、京都府中丹広域振興局、京都府丹後広域振興局、福知山市、舞鶴市、綾部市、宮津市、京丹後市、与謝野町、伊根町、(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会関西支部、(一社)日本橋梁建設協会、(一社)建設コンサルタント協会近畿支部〉に多大なご協力を賜りました。ここに記し、御礼申し上げます。

表面吸水試験を用いたコンクリート床版のスケーリング抵抗性の評価方法の開発

横浜国立大学 助教 大学院都市イノベーション研究院 小松 伶史

1. はじめに

東北地方の復興道路・復興支援道路では、約14kmの床版が急ピッチで新設されている。復興道路・復興支援道路が通る地域の多くは積雪寒冷地のため、凍結抑制剤が散布される環境下にある。凍結抑制剤は、塩害・凍害・ASR等による材料の劣化を誘発し、コンクリート床版の疲労耐久性を大きく低下させる可能性が指摘されている¹⁾。

材料の経時的な劣化を考慮してコンクリート床版の疲労劣化の進行を予測することは、現在の技術では困難である。そのため、新たに造るコンクリート床版（特に材料劣化が懸念される地域）では、所定の初期品質を確保することが重要であると考えられる。東北復興道路・復興支援道路では、設計や施工を工夫することで高耐久、高品質な床版が建設されている²⁾。

しかし、出来上がったコンクリート床版の品質を評価する手法は確立できていない。筆者らはコンクリートの吸水現象に着目し、コンクリートの吸水挙動を経時的に定量的に測定することで、コンクリート床版上面の品質を評価することを目標に、検討を進めている。

2. 表面吸水試験 (SWAT) の概要

2-1. 装置の概要、測定方法、従来の評価値

筆者らは、コンクリートの品質を吸水挙動で評価する表面吸水試験（以下、SWAT）を開発し、様々なコンクリート構造物の品質評価に適用してきた^{3)、4)}。供試体および実構造物に対して、コンクリートの表層品質を定量評価することが可能であることを確認してきた^{5)、6)、7)、8)、9)}。

SWATによる測定方法を以下に示す。コンクリートの吸水挙動を経時的に定量的に測定するため、本装置（図-1）では吸水カップに取り付けられたシリンダーの水位が、コンクリートの吸水に伴い変化することを利用し、水圧の変化を圧力センサーで読

み取ることによって、間接的に水位を測定し、吸水量を求めることとしている。図-1では、鉛直な壁面に適用しているが、水平面（床版上面、下面、覆工コンクリートの天端等）も適用可能であり、適用する角度が測定結果に与える影響は無視しうるほど小さいことを確認している。図-2は、表面吸水試験で1秒ごとに吸水量を測定した例であり連続的な値が得られている。

測定では吸水カップ下部に設置したバルブから注

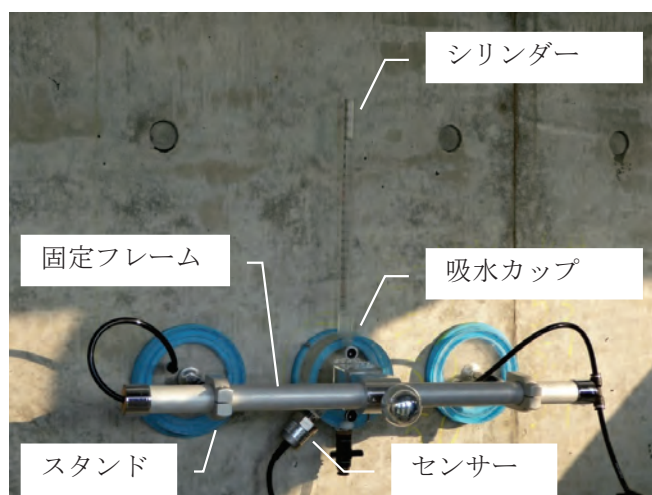


図-1 表面吸水試験 (SWAT)

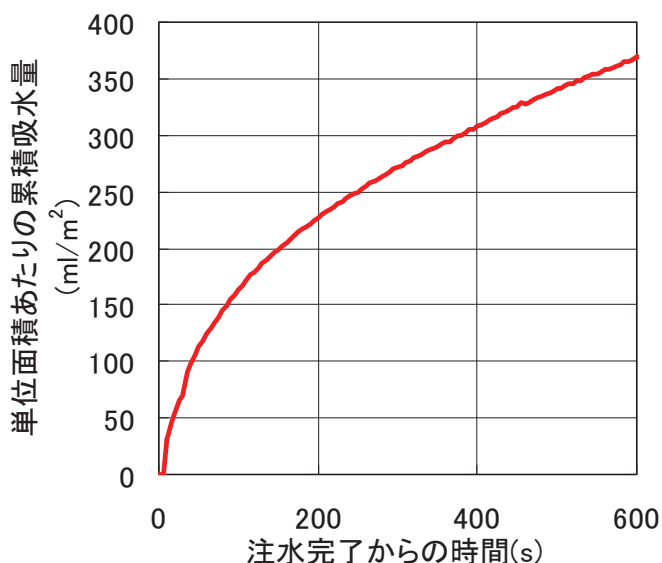


図-2 注水完了からの吸水量の経時変化

水を開始し、吸水カップ並びにシリンダー上部まで完全に水が満たされた状態（初期水位の300mmに達した時点）を時刻0秒とし、600秒間のシリンダー内の水面の高さ変化（以下、水位変化）を測定する。現状の測定装置では、注水完了までに5秒程度を要する。そこで、測定条件を合わせるために注水開始から10秒経過した時点（注水完了時点）として計算処理を開始することとしている。水位変化のデータから最小二乗法でLevitt¹⁰⁾の提案する式 ($p=ar^{-n}$) を算出し、評価指標である表面吸水速度 (p_{600} : 注水完了から600秒後のコンクリートの吸水速度) を求めている。ここで示すa (定数) は測定開始1秒後の吸水速度である。またn (定数) は、時間とともに吸水が低減する程度を表しており、内部の乾燥の程度、表面から内部への品質の分布の影響を受けると考えている^{3)、11)}。

また、British Standard 1881に規定されているISAT (Initial Surface Absorption Test)¹²⁾も参考に品質評価の目安となる p_{600} の値を提案している。 p_{600} の値が0.25 (ml/m²/s) 以下の場合コンクリートの品質は“良”、0.25を超えた0.5 (ml/m²/s) 以下は“一般”、0.5 (ml/m²/s) を超えた場合は“劣”と定義している (表-1)。東北地整の品質確保の手引き¹³⁾においては、これらの値を、品質向上のための努力を評価するために用いている。

図-3は柱試験体で測定した p_{120} （注水完了から120秒後のコンクリートの吸水速度）と、柱試験体の測定箇所からコアを採取し、コア側面をシールし、含水状態を調整した後に再度測定した p_{120} の関係性を表している。この結果から、SWATで測定した時のコンクリートの吸水現象は、深さ方向（かぶり方向）への水の動きが支配的であることが分かる¹⁴⁾。

また、水位の経時変化のデータの中にコンクリートの吸水によるものではない、急激な水位の上昇下降（以下、ノイズと定義）が含まれる場合がある。たとえば、測定中に車両が通行したことで桁が振動し、水面が急激に上昇下降したことで測定結果が乱されたケースなどである。コンクリートの吸水による水位の経時変化を精度よく測定するため、ノイズをリアルタイムに判断し、ノイズとみなされたデータを補正することで評価指標 p_{600} を算出するアルゴリズムを開発し、ソフトウェアとしてSWATの測定システムに搭載している (図-4)¹⁵⁾。

表-1 SWATによる品質評価の目安となる値

注水完了から600秒時点での吸水速度	良	一般	劣
p_{600} (ml/m ² /s)	0.25以下	0.25を超えて0.5以下	0.5を超える

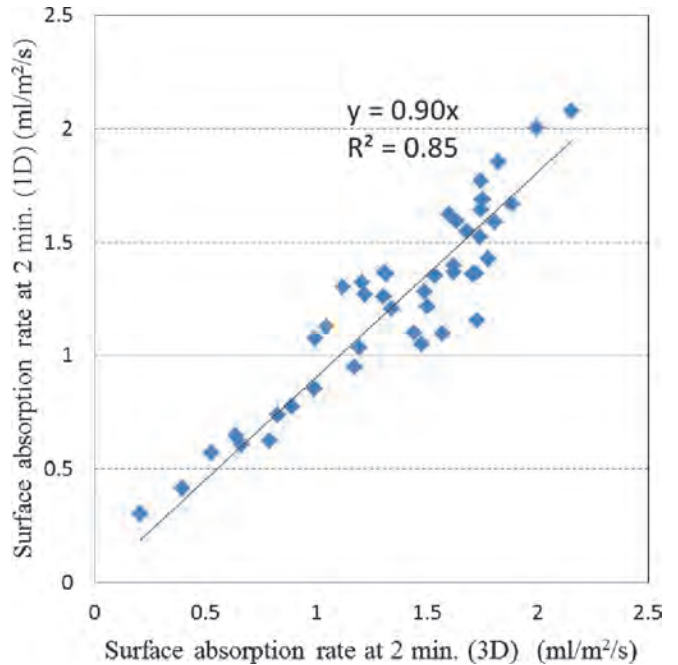


図-3 柱試験体での p_{120} と、柱試験体の同一測定箇所から採取したコアでの p_{120} の比較¹⁴⁾

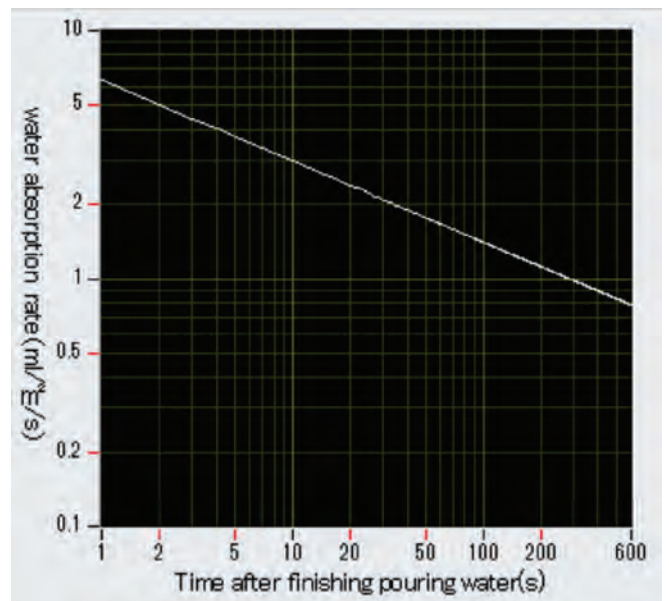


図-4 自動ノイズ処理アルゴリズムによる経時的な表面吸水速度の算出結果¹⁵⁾

2-2. コンクリート床版上面での測定結果

これまで測定してきた種々のコンクリート構造物のW/CとSWATの評価指標である p_{600} の関りにコンクリート床版の p_{600} の測定結果をプロットしてみると、想定される品質よりも良好と評価されるケースが散見された (図-5)¹⁶⁾。筆者は、コンクリート床版上

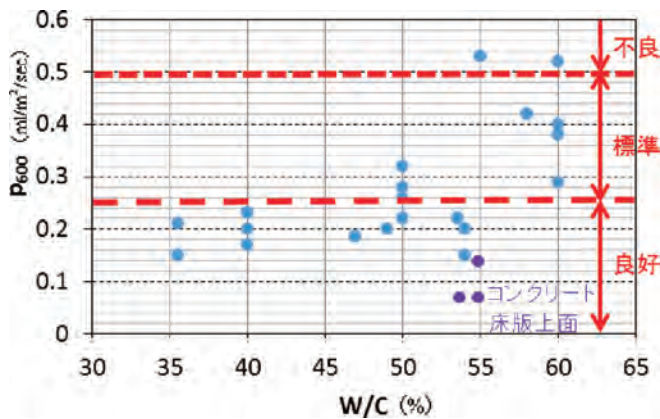


図-5 種々のコンクリート構造物のW/CとSWATによる品質評価指標 p_{600} の関係¹⁶⁾

面を p_{600} で評価すると、何らかの理由で見かけ上品質が良好と判定されやすいと推察した。そこで、本研究では、降雨後のコンクリート床版の含水状態に着目して実験を行った。またSWATで測定した時のコンクリート内への水の吸水現象を分析し、コンクリート床版上面における p_{600} の有用性について検討した。

さらに、新設のコンクリート床版をSWATで測定し、SWATの活用方法を検討した。

3. 実験概要

3-1. 試験体の概要および含水状態の測定方法

試験体の概要を図-6に示す。水セメント比はW/C=50%で、試験開始材齢は打込みから約3年が経過している。

コンクリート内部の含水状態を経時的に測定するため、コンクリート試験体の両側面（型枠面）から深さ方向に10mm間隔で最大50mmまでセンサーを埋設し、センサーの測定位置が試験体断面の中央付近になるように調整した。センサー測定位置の含水状態はカウント値（電気抵抗換算値）で測定した。市販の水分計であるHI-800（Kett社）を用いた。

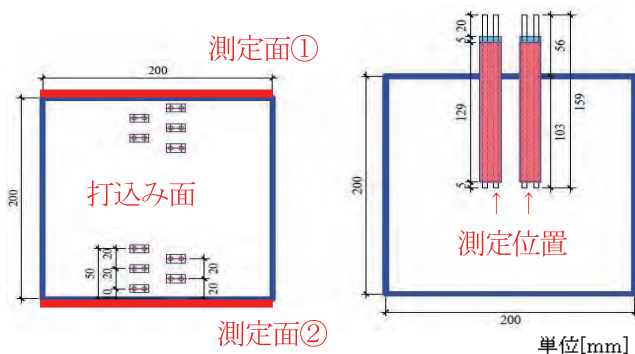


図-6 試験体の概要とセンサーの埋設状況（左：上面図 右：断面図）¹⁶⁾

また型枠面からも市販の接触型の水分計（Kett社のHI-100およびHI-520、Tramex社のCMEX II）で含水率の変化を測定した。HI-100は床版防水工の実施の可否の判断のために開発された含水計で、これまでの経験から、ごく表面（10mm程度まで）のコンクリートの含水率を測定していると考えている。CMEX IIはHI-100よりもやや深い、コンクリート表層の含水率（20mm程度まで）を測定していると考えている。HI-520は、比較的深い範囲の含水率（40mm程度まで）を測定していると考えている。

コンクリートの床版上面は試験体の打込み面に当たるが、均質な材料で比較検討するため、今回は型枠面（2面）を測定に利用することにした。測定中は試験体を20℃、RH=60%の一定温湿度環境下に静置した。

3-2. 降雨後のコンクリート床版上面の含水状態の検討

SWATでコンクリート床版を評価すると、見かけ上良好に判定される原因の一つとして、降雨の影響を考えた。つまり、降雨がコンクリート床版に作用した場合、部材が水平に近い場合、壁などと異なり水がコンクリート床版上に滞留しやすく、コンクリートに水が作用している時間が長くなり、コンクリート内部の含水率が高くなると考えた。そこで3-1のコンクリート試験体を用いて、測定面①を鉛直（壁部材模擬）にして10mm/h（約300ml）を1時間作用させ含水状態を測定した。次に測定面②を水平（床版模擬）に傾け、同じく10mm/h（約300ml）を1時間作用させ含水状態を測定した（図-7）。



図-7 降雨と床版上面を模擬した実験の様子

3-3. SWATで測定開始した直後からのコンクリートの吸水挙動の検討

SWATによるコンクリートの吸水挙動を分析するため、3-1の試験体の測定面①②を水平に傾け（床版模擬）、測定面①をSWATで測定開始した直後から、コンクリート内の含水状態の経時変化を埋設したセンサーで測定した。次に測定面②にSWATと同じ直径（内径80mm）の円筒状の容器を設置し、同量程度の水（130ml）を円筒状の容器内に注水してからの含水状態の経時変化を埋設したセンサーで測定した（図-8）。

4. 実験結果

4-1. 降雨後のコンクリート床版上面の含水状態

降雨量相当の水を1時間作用させた後の含水状態の経時変化の様子を図-9、図-10に示す。0分付近に降雨量相当の水を作用させる前後の含水率、カウント値（電気抵抗換算値）をプロットしている。

CMEX IIに着目すると、降雨量相当の水を作用させた100分後程度までの含水率の変化の様子が床版

模擬試験体と壁部材模擬試験体で異なった（図-9）。CMEX IIはコンクリート表層付近の含水状態を測定していると考えられ、コンクリートと水の接触角度の違いによる水の滞留時間の差が、コンクリート表層の含水率の差として表れたと推察している。一方、HI-100はおよそ乾燥開始後3日程度で、降雨量相当の水を作用させる前の含水率とほぼ同等の値となった。

埋設したセンサーのカウント値の経時変化から、床版模擬試験体の20mm付近のカウント値が経時的に高くなっている（図-10）。これは、コンクリートと水の接触角度の違いによる、水の滞留時間の差がコンクリート表層の含水率の差として表れたためであると推察している。床版模擬試験体のカウント値が壁部材模擬試験体のカウント値程度に漸近するまでに10,000分（1週間）以上かかっている。平均的な降雨間隔（日数）を考えると、コンクリート床版は常にコンクリート内部（20mm付近）で高い含水状態が保たれているのではないかと考えている。また、コンクリート表面から20mm付近の含水状態の傾向を市販の接触型の水分計では捉えられていないことも分かった。

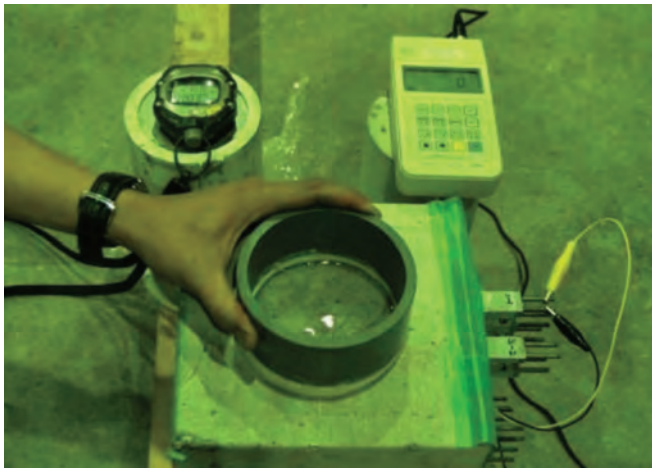


図-8 円筒状の容器を用いたときのコンクリートの吸水挙動の分析の様子

4-2. SWATで測定開始した直後からのコンクリートの吸水挙動

コンクリート表面から10mm付近に埋設したセンサーのカウント値の経時変化を図-11に示す。SWATで測定開始後、カウント値が急激に上昇し、120秒程度でカウント値600にほぼ漸近することが分かった。つまり120秒程度でごく表面のコンクリートは飽水状態になっていると考えられる。

一方、SWATで測定した時と同量程度の水（130ml）を円筒状の容器内に注水したケース（図-8）では、

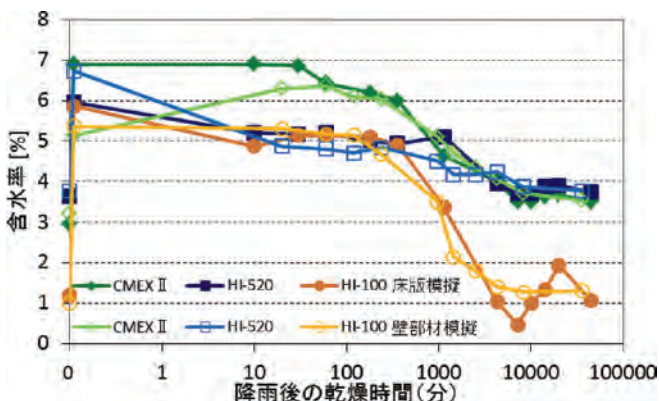


図-9 降雨量相当の水を作用させた後の各試験体の含水率の経時変化（市販含水計）¹⁶⁾

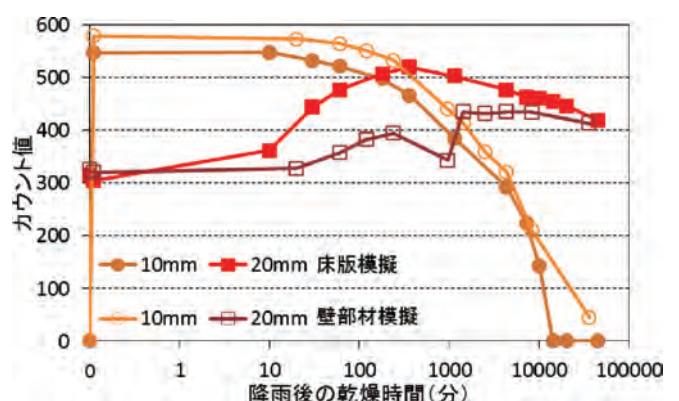


図-10 降雨量相当の水を作用させた後の各試験体の含水状態の経時変化（埋設センサー）¹⁶⁾

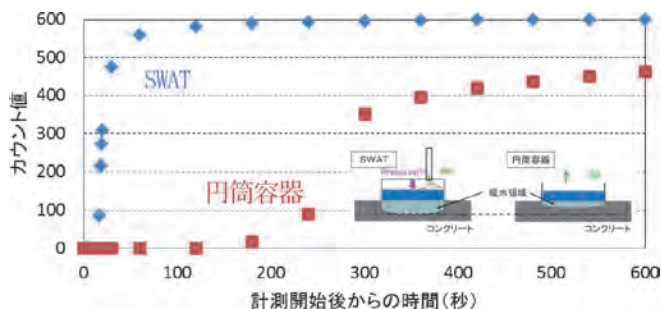


図-11 深さ10mm付近における測定開始後からのコンクリート内部の含水状態の変化¹⁶⁾

カウント値のゆるやかな上昇が確認された。SWATの吸水カップに水を注水した際、空気の抜ける領域がシリンダーだけに限られているため、吸水カップ内の空気が圧縮され、空気の圧力で水がコンクリート内部に押し込まれたのではないかと考察した。今後検証を行っていく予定である。

4-3. 床版上面におけるSWATでの品質評価の方向性

4-1、4-2の結果から、コンクリート床版の内部は含水率が高い状態が保たれており、従来の評価指標である p_{600} では適切な品質評価が難しいと考えられる。一方で、コンクリート床版のごく表面のコンクリートは3日間程度で十分乾燥しやすい状況であることから、注水完了直後の吸水挙動（今回の実験では120秒程度）で、ごく表面のコンクリートの品質を評価できると考えられる。

5. 実床版におけるSWATの適用

5-1. 検討対象とした実床版の概要と測定面の状況

SWATを活用したコンクリート床版の品質評価手法を構築するため、新設のコンクリート床版上面で測定を行った。

測定対象とした橋梁は3径間連続のPCラーメン箱桁橋で、W/C=43.5%、普通セメントを使用し、測定材齢は138日である。コンクリート打込み後、粗均しし、トロウエルをかけた後に金ごてで仕上げている。仕上げ後、養生マットで14日間湿潤養生している。

4章での検討結果を参考に、測定日の4日前から、測定箇所直上にブルーシートと鉄パイプで小屋を設けた。雨がつかないように、かつ降雨後に測定箇所付近が高湿度とならないよう配慮した。さらに測定箇所の周りに木枠で土手を設けることで、降雨が測定箇所に流れ込まないように工夫した（図-12）。比較のために、雨掛りのある箇所（雨掛りの無



図-12 測定箇所に設けた小屋の様子

い測定箇所に近接)でも測定した。

当該橋梁の最寄りの気象庁の観測所である草津では、測定の3日前に3.5mm/hの雨が観測されている¹⁷⁾。

5-2. 測定結果および考察

図-13に雨掛りの有る箇所、無い箇所における注水完了からのシリンダー内の水位の経時変化を示す。雨掛りの有る箇所での測定時、吸水カップ内に留まっていた空気がシリンダー内に移動してきたため、急激な水位の低下が生じた。図-13に載せたデータは、気泡上昇による水位低下を、差し引いている。

測定データにバラつきはあるものの、雨掛りの無い測定点において、注水完了後から60秒程度の間は、急激な水位低下が生じている。その後は、水位がゆるやかに低下する傾向にあり、雨掛りのある測定点と傾向は類似している。

表-2に市販の水分計による含水率の測定結果を示す。HI-520およびCMEX IIは雨掛りが無い方が

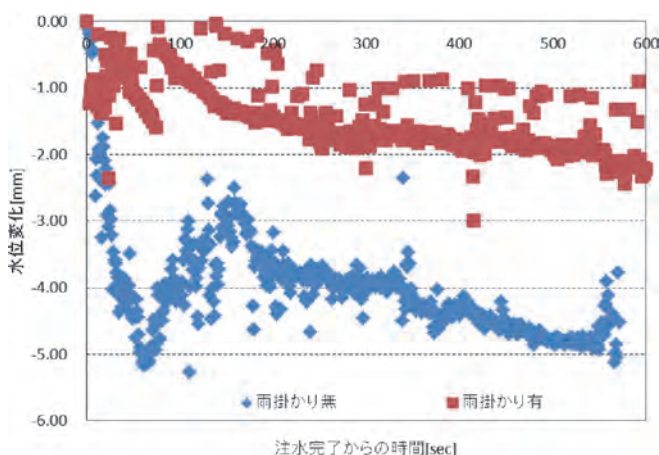


図-13 注水完了からの水位の変化

表-2 コンクリート床版の含水率

	含水率 (%)			
	HI-100		HI-520	CMEX II
	(%)	カウント値	(%)	(%)
雨掛かり無	Low	169	4.3	3.9
雨掛かり有	Low	149	4.7	4.3

小さな値となっているが、HI-100の値は雨掛かりの有る方が小さな値となっている。主として日射でコンクリートの表面が乾燥したためであると推察している。既往の研究から、カウント値が137~230の間の時、コンクリート表面の水分状態は表面乾燥状態の定義されている¹⁸⁾。小屋を設けたことで、雨掛かりののない測定箇所では、コンクリート表層、内部の含水率 (HI-520、CMEX II) も低い値となっている。

今回の測定条件では、測定日より4日前から測定箇所を乾燥させたことで、ごく表面のコンクリートの品質評価の可能性が示された。今回の結果から、品質評価には、単位時間あたりの総吸水量（水位の変化量）を用いるのが有用なのではないかと考えられる。ごく表面のコンクリートの品質とは、計測開始直後の短い時間での評価であることを考えると、スケーリング抵抗性などコンクリートスキンの品質と関係がある指標ではないかと推察している。測定開始までの十分な乾燥時間、評価指標の確立に向けて、引き続き検討を進めていく予定である。

6. まとめ

コンクリート床版上面の品質をSWATで評価すると、従来の評価指標である p_{600} では、コンクリート床版上面の品質を過大評価していると推測した。そこで本研究では、降雨を模擬した水をコンクリート試験体に作用させ、コンクリートの含水状態の経時変化を分析した。またSWATで測定を開始した直後からコンクリートの吸水挙動を分析して、 p_{600} を床版上面の品質評価に用いる有用性を検討した。さらに、新設コンクリート床版で測定し、コンクリート床版上面で品質評価法を確立するための方向性を検討した。本研究による成果を以下にまとめる。なお、図-14はコンクリート床版上面の含水状態とSWATによる品質評価のイメージ図である。

1. 降雨後、コンクリート床版上面に水が滞留することで、コンクリート表層（20mm近傍）は高い含水状態が常に保たれていると考えられる。その結果、SWATでの測定によるコンクリートの吸

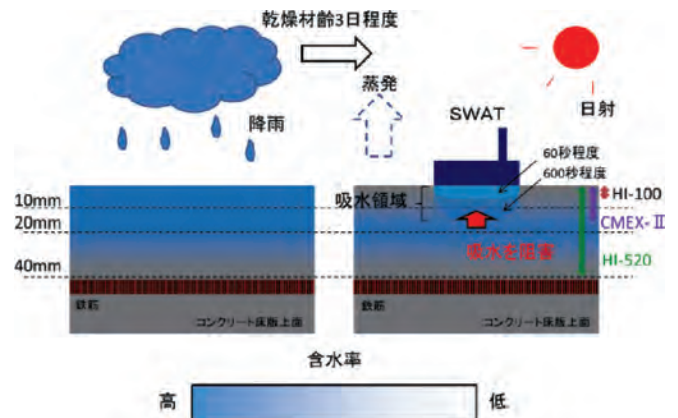


図-14 コンクリート床版上面の含水状態とSWATによる品質評価のイメージ図

- 水が阻害されるため、従来の品質評価指標である p_{600} では、品質を過大評価していると推察される。
2. ごく表面のコンクリートは、乾燥材齢3日程度で、十分乾燥すると思われる。ごく表面のコンクリートの含水状態は、HI-100で概ね把握できる。
 3. コンクリート床版上面での評価は、ごく表面のコンクリートが十分乾燥していることを確認し、総吸水量で品質を評価することが可能であると考えられる。

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ました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 東・中・西日本道路株式会社：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書、pp.43-45、2014.1
- 2) 床版大更新時代、日経コンストラクション、pp.28-49、2015年4月13号
- 3) 林和彦、細田暁：コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1769-1774、2011
- 4) 林和彦、細田暁、Usman AKMAL、藤原麻希子：コンクリートの表面吸水試験における計測方法およびデータ処理方法の提案、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No.1、pp.1804-1809、2012
- 5) 細田暁、林和彦、下田智也、吉田早智子：コンクリート表層のマイクロクラックが表面の吸水性と透気性に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、No.63、pp.196-203、2010

- 6) 吉田早智子、細田暁、林和彦、内田晃一：表面吸水試験および透気試験による山口県の構造物の表層品質評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1823-1828、2011
- 7) Usman Akmal, Akira Hosoda, Kazuhiko Hayashi and Naoya Motoshige: Inspection of Cover Concrete of an Actual Structure by Surface Water Absorption Test, Proceedings of the 9th International Symposium on High Performance Concrete -Design, Verification and Utilization, Rotorua, New Zealand, C9-1, 2011
- 8) Usman Akmal, Akira Hosoda, Kazuhiko Hayashi and Makiko Fujiwara: Analysis of Quality of Covercrete Subjected to Different Curing Conditions Using New Surface Water Absorption Test, Proceedings of the 13th International Summer Symposium, JSCE, pp.287-291, 2011
- 9) Usman AKMAL, Akira HOSODA, Kazuhiko HAYASHI and Kentaro SUHARA: Evaluation of Covercrete of Expansive Concrete with External Restraint by Surface Water Absorption Test, Proceedings of the Japan Concrete Institute, 2012
- 10) M. Levitt: Non-destructive Testing of Concrete by the initial surface absorption method, Proceedings of a Symposium on Non-Destructive Testing of Concrete and Timber, London, June 1969, Institution of Civil Engineers, pp23-26, 1970
- 11) British Standard, BS1881, Part 5, Methods of testing hardened concrete for other than strength, 1971
- 12) 東北地整HP <http://www.thr.mlit.go.jp/>
- 13) 岩本佳典：表面吸水試験をもちいたかぶりコンクリートにおける限界浸潤深さの予測法の確立、横浜国立大学修士論文、2014.3
- 14) 小松怜史、田島涼、林和彦、細田暁：表面吸水試験における計測データのノイズ処理アルゴリズムの検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.2043-2048、2016
- 15) 小松怜史、細田暁：表面吸水試験によるコンクリート床版上面の品質評価手法の検討、土木学会第71回年次学術講演会、V-478、pp.955-956、2016
- 16) 気象庁HP <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 17) 谷倉泉、榎園正義、後藤昭彦：床版防水工における水分計の適用性に関する研究、構造工学論文集、Vol.59A、pp. 1112-1123、2013.3
- 18)

第3回 国際シンポジウム 「世界の橋梁建設とメンテナンス」開催報告

関東支部 橋梁第一課長 (前企画部 開発課長) 藤原英之

平成27年10月30日(金)、イイノホール(東京都千代田区)にて、JBEC主催の国際シンポジウムを開催しました。(共催：(公社)日本道路協会)

本講演会は、毎回、海外の建設プロジェクトや橋梁のメンテナンス業務において第一線で活躍されている担当者を講師にお招きして、プロジェクトや維持管理の実情や課題を紹介いただいております。3回目となる今回は、下表のプログラムに示すとおり、欧米の道路橋維持管理の実例と、継続的な海外展開を進める国内代表企業の実績と今後の見通しなどについて講演いただきました。合わせて、世界道路会議(PIARC)道路橋委員会の成果概要、および現在チリで建設中の4径間吊橋の技術概要についても講演いただきました。

本講演会は産官学それぞれの立場で興味を持って聴講していただける内容となっており、当日はほぼ満席のご来場者をお迎えすることができました。ま



講演会会場風景

た、ご来場いただいた皆様からは、大変なご好評を賜りました。(当日アンケート結果より。非常に良い35%、良い55%)

以下に各講演の主な内容を示します。

「世界の橋梁建設とメンテナンス」プログラム			
	(一財) 橋梁調査会 理事長挨拶		伊藤 學
	(公社) 日本道路協会 会長挨拶		大石 久和
講演 ①	世界道路協会(PIARC)道路橋委員会報告	PIARC 橋梁委員会委員 本州四国連絡高速道路株式会社 保全企画課長	今井 清裕
講演 ②	フロリダ州における厳しい海洋環境下にある橋梁の維持管理	アメリカ・フロリダ州交通局 構造保全エンジニア	James Jacobsen
講演 ③	イギリスにおける道路橋の点検	PIARC 橋梁委員会委員 イギリス・アラップ社 参事	David Ashurst
講演 ④	PC橋の海外展開	公益社団法人プレストレストコンクリート工学会 理事 三井住友建設株式会社 専務執行役員 技術本部長	春日 昭夫
講演 ⑤	鋼橋の海外展開	株式会社IHI インフラシステム 海外プロジェクト室アジアプロジェクト部部长	松野 憲司
講演 ⑥	チリにおける4径間吊橋(Chacao橋)の建設	チリ共和国・公共事業省 チャカオ橋副検査官	Matias Valenzuela
	閉会挨拶	(一財) 橋梁調査会専務理事	森永 教夫

講演1. 世界道路協会 (PIARC) 道路橋委員会報告

【講演者】(敬称略、所属等は講演会時点。以下同。)

今井 清裕

世界道路協会(以下、PIARCと示す)橋梁委員会委員

本州四国連絡高速道路株式会社保全企画課長

【主な講演内容】

- ・PIARC道路橋委員会の概要および活動実績

TC4.3 道路橋委員会活動(2012-2015)について

- 委員長
加島 聡 (日本)
- Sekretarier
フランス語 Mr. Louis-Marie Belanger (カナダ・ケベック)
英語 Mr. Dimitrios KONSTANTINIDIS (ギリシャ)
スペイン語 Mr. Pablo DIAZ SIMAL (スペイン)
- メンバー(参加国 46カ国、83名)
ヨーロッパ イタリア、ギリシャ、スイス、スウェーデン、スペイン、チェコ、デンマーク、ルーマニア、ハンガリー、フィンランド、フランス、ベルギー、ポルトガル、ルーマニア、オーストリア、ポーランド、スロベニア、スロバキア、オランダ
北中南米 カスタ、カザンペック、アメリカ、キューバ、メキシコ、パナマ、ペルー、ボリビア、チリ
アフリカ アルジェリア、南アフリカ、コンゴ、ニジェール、ベニン、ブルンジ、マリ、モロッコ、ジンバブエ、マダガスカル
アジア オーストラリア、ニュージーランド、日本、中国、韓国、マレーシア、インドネシア

TC4.3 道路橋委員会 活動状況

- 技術委員会(予定を含む)
2012年 3月: フランス
10月: スペイン(マドリッド)
2013年 6月: ノルウェー(ベルゲン) ストレイト・クロッシング会議と同時開催
11月: 日本(神戸)
2014年 2月: アンドラ(冬期世界道路会議と同時開催)
10月: 中国(上海)
2015年 5月: ルーマニア
11月: 韓国(第25回世界道路会議)
- セミナーの開催
2014年10月: 中国 テーマ「長大橋の建設、維持管理」
2015年 5月: ルーマニア テーマ「橋梁の維持管理」

- ・道路橋委員会(TC4.3)での取り組み課題
- ・主な課題に関する成果

各課題への主な成果

Issue 4.3.1 気候変動への適応
 >気候変動への適応に係る費用は莫大。
 >まずは、洪水、海水位等へのガイドライン、マニュアル等の整備が必要。

Issue 4.3.2 新しい補修方法、修復方法
 >道路橋に係る22種類の損傷への様々な補修方法。
 >維持管理性、安全性、コスト、耐久性の観点からの比較・検討。

Issue 4.3.3 道路橋のリスクベースマネジメント
 >暗または明確に行うリスクマネジメント。
 >明確な方法として危険事象、脆弱性、影響度の組合せで実施。

Issue 4.3.4 損傷や欠陥に基づく既設道路橋の耐荷力推定
 >耐荷力評価にあたり定期点検後に特別点検により詳細な情報を得て耐荷力評価に反映。
 >耐荷力評価マニュアルに基づいて耐荷力評価を実施する国もある。

講演2. フロリダ州における厳しい海洋環境下にある橋梁の維持管理

【講演者】

James Jacobsen

アメリカ・フロリダ州交通局 構造保全エンジニア

【主な講演内容】

- ・フロリダ州における橋梁メンテナンスの概要

Bridge Inspection Types

- Follows National Bridge Inspection (NBI) and State Requirements
- Routine: 2 Year Frequency
 - Above Water
 - Under Water
- Fracture Critical: Hands-on at arms length
- Interim/Emergency
 - Structural Deficiency
 - Scour
 - Safe Load
 - Variable Frequency
- Mechanical/Electrical for Movable Bridges: Yearly

- ・サンシャインスカイブリッジのメンテナンス

Maintenance of the Sunshine Skyway Bridge

- 6.7 km long and links Tampa/St. Petersburg - Bradenton/Sarasota across Tampa Bay.
- The bridge is owned and maintained by the Florida Department of Transportation.
- The bridge was re-dedicated in 2005 as the "Bob Graham Sunshine Skyway Bridge" as the former Florida Governor had the vision to build this signature bridge.

- ・コルツ橋の補修と合意形成に基づく維持管理手法(PD&E:Project Development and Environmental)の試み

PD&E Process for Cortez Bridge

- Data collection:
 - Boat height survey
 - Bridge opening logs
 - Environmental Assessment: Sea grass survey
 - Public surveys
 - Public Open House for comments
- Develop and analyze project alternatives including the no-build alternative
- Selection of viable alternative(s)
- Selection of recommended alternative
- Prepare study reports
- Public and agency involvement

講演3. イギリスにおける道路橋の点検

【講演者】

David Ashurst

PIARC橋梁委員会委員

イギリス・アラップ社 参事

【主な講演内容】

- ・イギリスにおける橋梁維持管理上の課題

Introduction

- ・ Aging, expanding, diverse bridge stock.
- ・ Wide range of bridge types.
- ・ Increasingly tight economic pressures.
- ・ Need to predict and optimise cost of maintenance years in advance.

- ・ 道路橋の点検規則

What are the Rules for Bridge Inspections?

- ・ **Safety Inspection**
- ・ **General Inspection.** Usually every 2 years.
- ・ **Principal Inspection.** A thorough visual examination once every 6-12 years depending on risk.
- ・ **Special Inspection.** Investigation into a specific problem.
- ・ **Inspection for Assessment.**
- ・ **Additional National Programmes** Special inspections are sometimes introduced in response to the discovery of systemic issues.



- ・ 道路橋の点検プロセス
- ・ 新しい点検、管理ツールの開発

Research into Drone (UAS) Use for Inspections

Arup Bridge & Civil Structures Group have been providing technical advice to the Highways Agency under the **T-TEAM Framework** on a research project into the use of Unmanned Aerial Systems (UASs) or 'drones' for the inspection of Infrastructure Assets in the United Kingdom.

We reviewed options in the Drone field from Quadcopters to Octocopters (4 to 8 motors). The Steadidrone QUAD is our chosen UAS.



As part of the research, one of the team has completed the Basic National UAS Certificate for Small Unmanned Aircraft (BNUC-S) which provided a formal qualification in the piloting of UASs.

Following completion of this certificate and preparation of a formal Operations Manual, we have been granted Permission for Aerial Works (PfAW) by the Civil Aviation Authority for commercial work in the United Kingdom.



講演4. PC橋の海外展開

【講演者】

春日 昭夫

(公社)プレストレストコンクリート工学会 理事

三井住友建設株式会社 専務執行役員 技術本部長

【主な講演内容】

- ・ PC橋の海外展開
- ・ アジアでの取り組み（三井住友建設の事例）

海外主要工事实績

タイ
ベトナム
フィリピン

- ・ 最近のアジアでの橋梁
- ・ これからのアジアの橋梁事情

アジアの建設市場（2012～2021年）

分野	(単位:百万USD)		合計
	新設	更新	
エネルギー	3,176,437	912,202	4,088,639
通信関係	325,353	730,304	1,055,657
携帯電話	181,763	509,151	690,914
固定電話	143,590	221,153	364,743
運輸	1,761,666	704,457	2,466,123
空港	6,533	4,728	11,260
港湾	50,275	25,416	75,691
鉄道	2,692	35,947	38,639
道路	1,702,166	638,366	2,340,532
水道・衛生	155,493	225,797	381,290
衛生	107,925	119,573	227,498
水道	47,568	106,224	153,792
合計	5,418,949	2,572,780	7,991,709

280兆円

出典：A Joint Study of the Asian Development Bank and the Asian Development Bank Institute: Infrastructure for a Seamless Asia, p.167, 2009.8

- ・ 日本として何をすべきか

日本としてなすべきこと - 国際競争力 -

- ・ 価格競争に陥らないために日本がアジアに伝えるべき技術
 - 高耐久な橋（日本の教訓として）
 - **Structural Sustainability**
- ・ 国際学会における活動（fib+PCI工学会）
 - 日本独自の**要素技術の基準化**（アジアはEC,AASHTOが席卷）
- ・ PPP, BOTに対応する技術
 - 対応技術の開発（生産性向上を目指す急速施工）
- ・ 国際会議における日本独自の長大橋技術のアピール
 - 日本の長大橋国際プロジェクトへの参画
- ・ 次世代のエンジニアにとって魅力的な橋の実現
 - 次世代のモチベーション

講演5. 鋼橋の海外展開

【講演者】

松野 憲司

株式会社IHIインフラシステム

海外プロジェクト室アジアプロジェクト部部長

【主な講演内容】

- ・鋼橋海外事業の歴史（IHIの事例）



- ・アメリカにおける主要工事实績と事業の動向
- ・トルコにおける主要工事实績と事業の動向

トルコにおける進行中のプロジェクト

イズミット橋横断橋
形式: 3径間連続補剛桁吊橋
橋長: 2,682m 中央径間: 1,550m
鋼材重量
塔: 18,000Ton
桁: 36,000Ton
ケーブル: 19,000Ton
2016年完成予定
世界第4位の長大吊橋

第1、第2ボスボラス橋補修工事
ケーブル送気乾燥システムの設置
第1ボスボラス橋のハンガーシステム交換など
2016年完了予定
施工: IHI・Makyol JV

- ・その他の国における主要工事实績
- ・ベトナムにおける主要工事の紹介

ニャットン橋の概要

所在地	ベトナム社会主義共和国 ハノイ市
発注者	ベトナム社会主義共和国 交通運輸省 Project Management Unit No.85 (PMU85)
設計者	上下部橋造 長次・大日本コンサルタント・TEDI-JV IHIインフラシステム・三井住友建設-JV (IIS:SMCC = 66:34)
施工者	上部橋造 株式会社IHIインフラシステム 下部橋造 三井住友建設株式会社
工期	2009年10月 ~ 2014年12月 上部橋造 鋼量: 14,500tf (291kgf/m ²)
主工事数量	下部橋造 鋼管矢張: 14,200tf (285kgf/m ²)
設計基準	AASHTO
その他	日本企業初の6径間連続斜張橋の建設 田中賞、JSSC協会賞受賞

講演6. チリにおける4径間吊橋（Chacao橋）の建設

【講演者】

Matias Valenzuela

チリ共和国・公共事業省 チャカオ橋副検査官

【主な講演内容】

- ・Chacao橋建設までの経緯



Characteristics of the area of location

- ・Chiloe Island and bridge construction sector, are in a highly seismic zone
- ・The channel is characterized by strong winds, tides and currents
- ・The depth of the channel reaches a maximum of 120 m
- ・In the central part of the channel there is a place called Roca Remolinos, which can support the central pylon

Chacao Bridge: A long journey

90 decade: Conceptual Engineering.

2001: Study of Basic Engineering and Project Reference Suspension bridge.

2005: Tender under the system of public works concession (PPP).

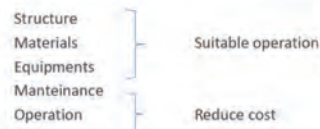
2012: Re-evaluation of the project.

- ・Maximum amount of USD 740 million including access roads and service area
- ・Design and construction of public works contract by the traditional system of state procurement
- ・February 18, 2014: Award (International Consortium)

- ・地域特性と検討課題

Bidding requirements

- ・The International Tender Basis and reference project require design and construction under the concept of Life Cycle:



► Philosophy to tender:

a) Reduction of initial investment → Operation Costs

b) Strong initial investment: Operation and Maintenance manuals

- ・検査およびメンテナンス体制について

最後になりましたが、貴重なご講演をいただきました講師の皆様、またご後援いただきました、国土交通省・(公社) 土木学会・(一社) 日本橋梁建設協会・(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会・(一社) 建設コンサルタンツ協会・(一社) 日本トンネル技術協会) の関係者皆様には、多大なご協力を賜りましたことに深く感謝の意を表します。

米国橋梁点検技術研修と フロリダ州タンパ地区橋梁調査

調査部 構造課長 山元俊哉

1. はじめに

橋梁調査会では、10年以上前から数回にわたり、米国連邦道路庁（FHWA）公認の橋梁点検技術研修に職員を派遣し、JBECレポートにその報告を行っている^{1), 2)}。ここ数年間は、本研修への参加が途絶えていたが、2015、2016年度にそれぞれ2名ずつ計4名の職員が同研修を受講し、修了認定を得た（受講時期と受講地は、図-1を参照）。

2012年に米国の橋梁点検マニュアル（Bridge Inspector's Reference Manual³⁾、以下「2012 BIRM」と称する）の改訂版が発行されたことに伴って、研修プログラムにもいくつか見直しを加えられていることから、本報告においては、上記既報のJBECレポートと重複する内容は避けて、これらの見直しが行われている項目や内容を中心として報告する。

2. 研修受講者の事前要件

10日間にわたる本研修の講習内容は、表-1のとおり多岐にわたるが、2012年以前と大きく変わるところはない。また、受講申込みは誰でも可能であることにも変わりはないが、受講に際して基本知識の習得を経た上での参加が義務づけられることとなった。その受講参加要件としては、①本研修内容の基礎コースとして位置づけられる5日間の”Engineering

Concepts for Bridge Inspectors” 講座を修了する、②無料でのオンライン受講が可能である” Introduction to Safety Inspection of In-Service Bridges” 講座を修了する、のいずれかとなっている。

我々のような海外からの受講者は、必然的に②のオンライン講座が選択肢となる。受講のためのユーザー IDを取得した後に、Web上で2000ページ近い「2012 BIRM」の主要な内容を13の単元に分けて、それぞれ1時間程度を費やして学習を行っていくものである。13単元の学習を進めていく過程において、15問からなる学習内容確認テストを3回受けることとなるが、各段階テストを70%以上（11問以上）の成績で終えない限り、本オンライン講座の修了認定

表-1 研修コースの日程と講習内容

日程	講習内容
1 日目	・ 研修コースの概要説明 ・ 橋梁の専門用語、構造力学的説明 ・ 橋梁の使用材料概説（鋼、コンクリート、木材、FRP） ・ 橋梁点検員の安全遵守事項（心構え、保護具、安全対策）
2 日目	・ 点検機材（検査器具、測定器具、等） ・ 点検記録調書作成の基本要素（橋梁台帳、損傷図、損傷評価、健全度評価）
3 日目	・ 点検記録調書作成の基本要素（橋梁台帳、損傷図、損傷評価、健全度評価）
4 日目	・ 緊急対応が必要とされる場合の対処 ・ 床版と橋面工の点検と健全度評価
5 日目	・ 中間試験（200点満点中60点分の出題） ・ コンクリート上部工の点検と健全度評価 ・ 支承の点検と健全度評価
6 日目	・ 非破壊試験（PT、MT、RT、UT、AE、ET） ・ 鋼橋の点検と健全度評価
7 日目	・ カルバートの点検と健全度評価 ・ 木橋の点検と健全度評価
8 日目	・ 鋼橋の点検実習
9 日目	・ コンクリート橋の点検実習
10 日目	・ 最終修了試験（200点満点中140点分の出題） ※70%以上の得点で修了認定となる

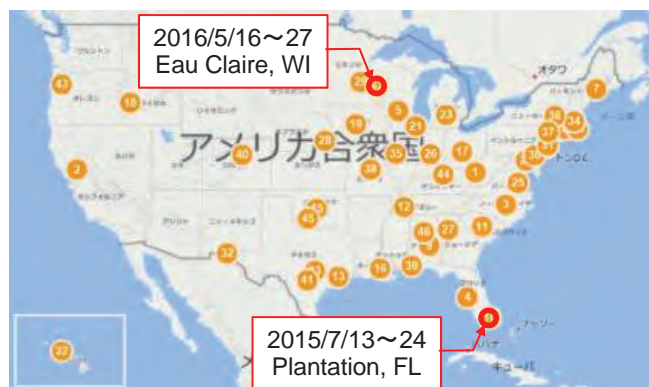


図-1 米国橋梁点検技術研修開催地
(2015年4月～2016年8月)

が得られない。

米国外の橋梁技術者が、米国の橋梁点検の概要を俯瞰的に把握する教材として大変参考になる教材であるとともに、10日間の本研修に先だって予備知識を習得するための十分に練られた構成と内容であると実感した。

3. 日々の講義形態

本研修コースの最大定員は30名であり、講師2人が1~1.5時間程度の講義を交代しながら行っていく。講師が大人数の受講者に一方的に講義を行うものではなく、講義の途中で、絶えずQ&Aや演習、グループディスカッションを挟み、双方向コミュニケーションを基本としたスタイルで進められていくが、その際のQ&Aのツールとして、受講者全員に配布された回答用リモコンを活用している。講義中に小設問スライドが随時提示され、その中に示された4~5択の回答記号を受講者がリモコンボタンで返すことにより、瞬時に回答のばらつき具合や正答率が全員にわかる仕組みになっている。講義中も受講者からの質問は活発であり、質問内容も受講者それぞれの実務経験や知識に基づいたものが多く見受けられた。

米国の橋梁点検業務においては、業務全体の責任者であるプログラマネージャー（PM）と、現場において点検員の統括指示を担うチームリーダー（TL）を配置しなければならないが、両技術者の資格要件として、相応の点検業務経験年数が要求される（PMは10年、TLは5年）ことに加えて、本研修コースの修了認定を受けていることが必須条件となっている。講義中の質疑応答内容や、グループディスカッションでの会話からも受講者の参加意識の高さや技術レベルの高さが垣間見えた気がする。

4. 現場実習

表-1に示すように、研修終盤の8、9日目には鋼橋とコンクリート橋の点検実習が行われる。点検実習なので現場に出向くことが当然と考えるところであるが、2015年からコンピュータによる「仮想橋梁点検実習」が基本的に採用されており、全米各地の受講地で本研修コースを主催する地域ホスト側のオプションにより、従来どおりの現地点検実習とする場合もある。当調査会の2015年度の受講者（フロリダ州）は、「仮想橋梁点検実習」、2016年度の受講者

（ウィスコンシン州）は、現地実習であった。現地実習には、実習に適した橋梁の選定に加え、現場までの往復移動手段、移動時間のロス、天候、安全など不確実な要因が付きものであり、必ずしも意図していたとおりの研修メニューをこなせない場合もあることから、「仮想橋梁点検実習」ソフトが開発されたようである。

日本では例のないと思われる「仮想橋梁点検実習」について、簡単に紹介する。研修会場で受講者2人のペアに対して、「仮想橋梁点検実習」ソフトがインストールされた1台のノートPCが割り当てられ、コンピュータソフト上で、現場で行う一連の点検業務のシミュレーションを行っていった。点検作業に入る前の適切な保護具の着用、点検箇所や損傷に応じた適切な計測・検査器具の取捨選択、橋梁点検車への昇降と近接目視箇所へのアクセス、打音点検による異常音の聴き分け、などの一連の作業を、3Dシミュレーションゲームとほぼ同じ感覚でマウス操作を行いながら、PC画面上で確認した損傷とその程度を野帳に記録していく。写真-1は、受講者に配布された本ソフトの操作説明書からの抜粋であり、前進後進、上下左右方向への視野変更に関するマウス操作要領を示している。

「仮想橋梁点検実習」ソフトは、それなりの完成度を持っており、このような限られた研修期間の中で、教育する側が意図する内容を十分に伝えられる教材と手段として活用できるレベルにあると感じた。実際の現場での点検実務能力は、現場で場数を踏んで体得して行く部分も多いが、パイロット訓練や養成においては、フライトシミュレータは欠かせないものになっている。橋梁点検でも同様の取り組みが行われ出していることは驚きであった。米国では、National Highway Instituteという組織が道路に関連する多種多様な技術研修コースを設けており、そのための教材作成、講師の育成と派遣を一手に担っ

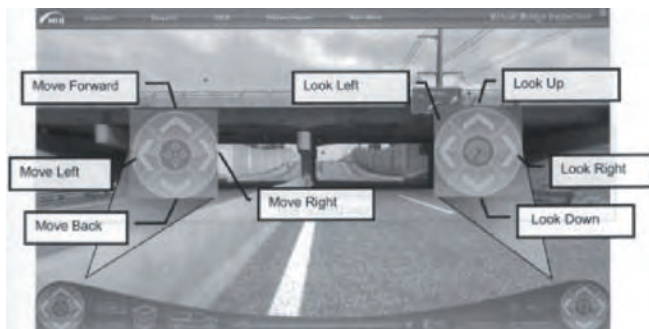


写真-1 「仮想橋梁点検実習」ソフト操作説明

ている。冒頭に記したWebでのオンライン学習講座もそのうちの一つであり、今回の研修受講の申込みから修了までを実際に経験していく中で、これらの米国における教育訓練システムの充実ぶりや門戸の広さには瞠目させられるものがあった。

2016年度のウイスコンシン州での現場実習は、受講地近郊の鋼橋及びコンクリート橋のそれぞれ2橋ずつ計4橋で2日間にわたり実施された（写真-2a、2b）。実習は1チーム3～4名の構成で計6チームに分かれて実施された。チーム内で議論しながら記録を取りまとめ、研修会場に戻ってから、グループごとに発表を行い、講師からレビューを受ける形で進められた。

講義では橋梁点検員の安全に対する心構えや安全対策等が重要事項として取り上げられ、安全に対する取り組み意識の高さがうかがえた。一方で、現場実習の服装は当然ながら全員が作業着で来るものと思っていたが、調査会の2名以外は全員Tシャツや

ジーンズ等の普段着に安全ベストを着用するだけの軽装で臨んでいたことに、驚きとともに日本との違いを感じた。

今回の現地研修では、下部構造が木製のもので日本では見られないタイプのもの（写真-2）もあり、しかも供用後80年近く経過しているにもかかわらず、道路橋として現役で使用されていることに驚きを感じた。やはり、適度に乾燥した気象条件等、日本にはない米国特有の環境条件によるものと感じた。

5. フロリダ州タンパ地区の橋梁調査

図-1に示すように、2015年7月の米国橋梁点検研修は、フロリダ州での参加であった。本研修コースの申込み後に、研修期間の前後にでも、フロリダ州での塩害橋梁の維持管理や補修の実態を見学することはできないかと思い立った。とはいうものの何のつてもないので、ネットで得た情報を手がかりに、フロリダ州交通局の構造保全エンジニアのJ. Jacobsen氏に面会を申し入れたところ、快諾をいただいた。

2015年7月24日に、フロリダ半島東岸側のプランテーション市で10日間の研修を終えた後、西岸のタンパに移動して、7月27日に以下の橋梁をはじめとし、数橋の補修・補強状況の現場見学をすることができた。

・ Sunshine Skyway Bridge

（3径間PC斜張橋、写真-3）

・ Cortez Bridge

（海中RC多柱脚の塩害腐食の電気防食、写真-4）

また、一連の橋梁見学後には、Jacobsen氏の勤務先であるフロリダ州交通局地域事務所で、数橋の実際の橋梁点検調査を見せていただいた。点検研修を終えた直後でもあり、より米国の橋梁点検の運用に関する理解を深めることができた（写真-5）。

現場を案内していただき、説明を受けている中で、特に前記の2橋については、興味深い話が多く含まれていたため、10月30日に開催された当調査会主催の第3回国際シンポジウム「世界の橋梁建設とメンテナンス」に、J. Jacobsen氏をお招きして講演をいただいた。本講演の概要については、本誌P.38を参照願いたい。



写真-2a 現場実習状況 (2016年ウイスコンシン州)



写真-2b 現場実習状況 (2016年ウイスコンシン州)

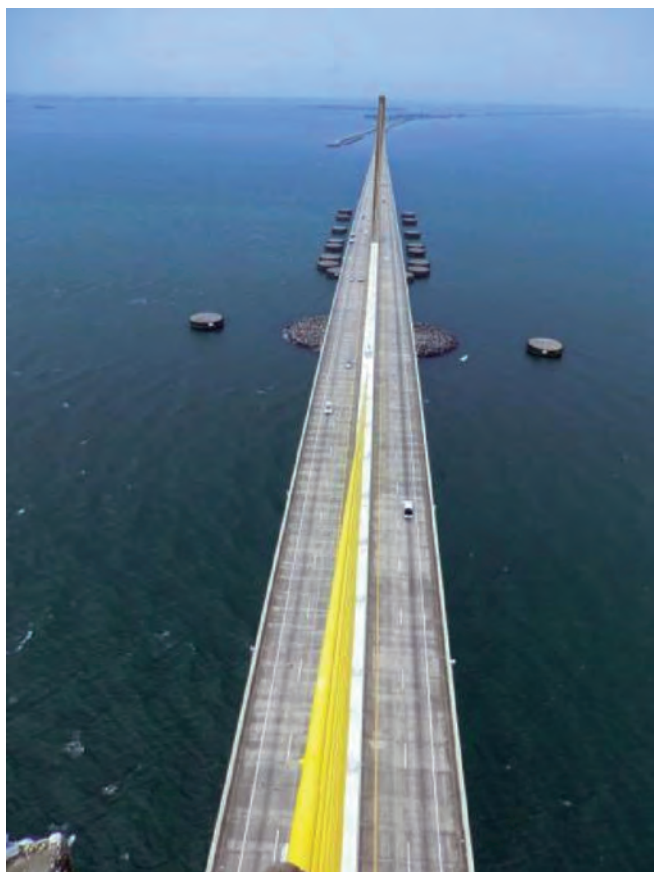


写真-3 Sunshine Skyway Bridge塔頂より



写真-4 Cortez Bridge (RC橋脚柱の電気防食)

6. おわりに

研修の2週間は、当然ながら英語の講義や討議に集中するとともに、毎日の宿題や中間および最終の



写真-5 フロリダ州交通局での橋梁点検調書説明

試験もあり、ホテルに戻ってからも息つく間もほとんどない緊張した日々を過ごした。また、車社会のアメリカにおいては、公共交通手段の利便性は低く、研修会場とホテルの往復も苦勞の一つであった。

しかしながら、技術の習得はもちろんのこと、移民の国アメリカにあって、色々な出身、職種（一般の建設コンサルタントや地方自治体の技術者以外に、アメリカ陸軍工兵隊の女性や潜水夫もいる）の研修生の中で、大変ながらも非常に貴重で有意義な体験となった。

また、フロリダ州交通局のJ. Jacobsen氏には、全く見ず知らずの日本の技術者の訪問にも友好的で丁寧な対応をいただき、忘れられない思い出となった。

冒頭に記したとおり、本研修は誰でも受講可能であり、本稿をご覧の皆様で米国の橋梁点検に興味を持たれた方にも是非参加をお薦めし、報告のおわりとする。

参考文献

- 1) 米国連邦道路庁公認橋梁検査研修終了報告、JBECレポート、Vol.1,2006
- 2) 米国における橋梁点検、JBECレポート、Vol.3,2007
- 3) Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM), FHWA NHI 12-049 December, 2012

バングラデシュ橋梁維持管理プロジェクト

調査部 調査役 原崎 郁夫

はじめに

当調査会がコンサルタント2社とともに共同企業体として取り組む初めての業務「バングラデシュ橋梁維持管理業務」（独立行政法人・国際協力機構の技術協力）について、その概要を紹介する。橋梁調査会は橋梁点検に関する業務を担当している。

件名：バングラデシュ橋梁維持管理プロジェクト
署名日：2015年2月15日
（政府間技術協力プロジェクト合意文書締結）
業務期間：2015年7月15日から2018年1月31日
相手国機関名：運輸省道路交通・国道局、道路・国道部
（RHD：Roads and Highways Department, Ministry of Road Transport and Bridges）



首都ダッカ市内幹線道路の慢性的交通渋滞

1. 混迷から秩序へ

バングラデシュ人民共和国では、増加する交通量に既存道路、橋梁の改修が追いついておらず、それらに起因する劣悪な道路、橋梁の現状により利用者や貨物輸送に大きな支障が生じている。

橋梁については、維持管理にかかる専門知識を持つ人員や技術能力の不足などから老朽化が進み、落橋等の危険な状態にさらされ、橋梁の耐用年数を経ずして早期に崩壊する橋梁も少なくない状況にある。

このような現状から、全国におけるRHDの橋梁維持管理業務が改善されることを上位目標として、バングラデシュ政府はわが国に対して橋梁維持管理システムを活用した予防保全型橋梁維持管理を導入すべく、本プロジェクトが実施されることとなった。

2. 体制づくり・人づくり

運輸省道路交通・国道局（RHD）の橋梁維持管理能力の向上をプロジェクト目標として、橋梁維持管理体制の検討、橋梁維持管理関連マニュアルの作成、橋梁マネジメントシステムの構築およびこれらの業務の技術移転などを含む多様な業務が含まれている。（表-1）

業務実施の枠組みとしては合同調整委員会（JCC）で進捗状況が報告され、プロジェクトに関わる課題が協議決定される形で進められる。

橋梁維持管理に関するマニュアル案は、ワークショップ（検討会）の場でコンサルタントによるマニュアル案の説明及び熱心な討議を経て作成されていく。毎回の参加者は、RHD担当者8名、JICAコンサルタントチームおよびJICA事務所担当者である。昨年11月からこれまでに22回開催された。

3. 橋梁点検

現状と課題

1) 全国的な橋梁点検は、初回が1994年（RHD職員による）、その後2004年に実施され、BMMSデータベースに記録が残されている。それ以降は

表-1 主な業務内容

- | |
|---|
| 1) 橋梁維持管理体制の構築 |
| 2) 橋梁維持管理関連マニュアルの整備 |
| a) 既存の橋梁維持管理関連マニュアルの検証 |
| b) 橋梁点検・診断マニュアル（案）改訂 |
| c) 橋梁補修・補強マニュアル（案）作成 |
| 3) 橋梁マネジメントシステムの構築 |
| 4) 橋梁維持管理業務の技術移転（実地研修） |
| 橋梁点検・診断、BMS活用、橋梁補修・補強の実地研修、人材育成計画（案）の作成 |
| 5) 本邦研修の企画 |
| 6) セミナー開催、広報等 |
| 7) 機材の調達 パソコン、詳細調査機材など |
| 8) 事業進捗モニタリング表の作成・説明・協議 |



合同調整委員会（JCC）での討議



ワークショップでの討議



ワークショップでの説明

2013年にJICAコンサルタントによる点検（全橋梁の約1/3）が行われた。いずれも遠望目視による。現在の管理橋梁数について表-2に示す。

- 2) 2012年刊行の橋梁点検マニュアルがあるが、定期的な橋梁点検は行われていない。
- 3) 今後はRHD出張所職員自らが管内対象橋梁の点

橋梁の損傷状況



コンクリート橋 防護柵の欠損



コンクリート橋 ヒンジ部の損傷

表-2 橋梁数統計（Road Master Plan 2010より）

橋梁	約4,000橋	
	PC橋を含むコンクリート橋	62%
	簡易トラス橋を含む鋼橋	30%
	その他	8%
ボックスカルバート	約11,000橋	

検診断を実施することとなる。

- 4) 橋梁点検車、リフト車がないため、主桁などの近接目視による点検が難しい。

マニュアル作成の基本方針

- 1) 既存の橋梁点検マニュアルの問題点を是正する。(損傷の種類、点検の手順、点検調書、実施体制など)
- 2) 日本の「橋梁定期点検要領（平成26年6月）」を参考とし、バングラデシュの実情に合うマニュアルとするため、ワークショップなどでRHDメンバーの意見を取り入れながら調整を図る。
- 3) RHD職員が、構築されるBridge Management Systemに点検結果を入力し、補修優先度、概算補修工事費算出などに活用する。

現地実習

橋梁点検担当者を対象として、モデル地区の管理橋梁約300橋について点検、点検調書作成およびBMSへの入力を含め、今秋に実施される予定であったが、実施工程を再検討中である。

おわりに

橋梁点検・診断マニュアルをはじめマニュアル案はほぼ概成しつつあるが、去る7月1日のダッカ市内襲撃テロ事件を受け、安全上の観点から渡航を伴う業務は中断されている。(10月1日現在)

現地実習やセミナー開催など残された業務の今後については、我が国政府による新たな安全対策の策定を受け、JICAとの協議を踏まえ判断される。適切な安全対策が確立された上で、業務が再開、継続されるよう願うものである。

ヤウズ・スルタン・セリム橋（第3ボスポラス橋）・ オスマン・ガジ橋（イズミット湾横断橋）調査

企画部 企画課長 二宮仁司

トルコ共和国にて2016年6月30日にオスマン・ガジ橋、8月26日にはヤウズ・スルタン・セリム橋がそれぞれ開通した。4月3日から9日までの行程で、伊藤理事長とともに建設途中の両橋を調査する機会を得たのでここに報告する。

ヤウズ・スルタン・セリム橋（第3ボスポラス橋）

第3ボスポラス橋はボスポラス海峡を渡る橋のうち最も北に位置し黒海沿岸に近い。イスタンブールの北寄りに建設が進む新国際空港へのアクセスを担う高速道路網の一部であり、8車線の高速道路と複線の鉄道が載る。

同橋はBOT事業にて建設される高速道路事業の一部であり、メインコントラクター（高速道路全体の建設等を受注）から長大橋の建設をHYUNDAIが受注している。政府からは施工監理業務を（株）長大が受注している。

中央支間長は1408mで道路鉄道併用橋としては世界最長となるほか、吊橋と斜張橋の併用構造であるため主塔高さは322m、また主桁幅59mも世界一である。ボスポラス海峡に架かる既設の2吊橋との連続性から箱桁形式が採用され、高速道路上下8車線と鉄道複線を桁上に配置している。基礎位置の制約から主塔間隔が決定され、既設2吊橋よりも中央径間長が長い。列車走行性を確保するため、吊橋の補剛桁を斜張ケーブルで補剛する設計思想である。

補剛桁を斜張ケーブルのみで支持する区間、吊橋のハンガーロープのみで支持する区間、併用区間がある。側径間は斜張ケーブルのみで支持し、ケーブル張力のアンバランスを解消するためPC桁にしているがケーブルの一部は地山に他礎しており、中央径間中央部には常時引張力がかかる。ボスポラス海峡は海岸沿いに平地に乏しく崖上の台地の上に道路が計画されているため、斜張橋形式として必要な側径間長を確保するのは経済的ではないためこのよう



写真-1 橋梁全景



写真-2 吊橋と斜張橋併用区間



写真-3 コンクリート製主塔



写真-4 ケーブルの振動を確認



写真-5 橋梁全景

な複雑な構造になったのではと感じた。

調査に伺ったときは既に補剛桁の閉合が完了し、橋面工等が施工中であった。主塔はコンクリート製であり、スリップフォーム工法で施工されており、コンクリート表面の粗さから十分なメンテナンスが必要ではないかと感じた。吊橋のハンガーロープ、斜張ケーブルともに風による振動対策に苦慮されていた。前者はスパイラルロープ、後者はデヴィエータ等によって対応されていたが、案内いただいた方々は十分な対策であるかどうか心配されていた。補剛桁は箱桁内部のUリブまで含め全て溶接継手を採用しており、現場溶接の品質管理に苦慮されたそうである。吊橋メインケーブルは加熱するとシートどうしが密着する特殊なゴムシートのラッピングにより防食され、調査時に施工中であった。



写真-6 桁のブロック架設

オスマン・ガジ橋（イズミット湾横断橋）

BOT事業による高速道路事業で、メインコントラクターから長大橋部を（株）IHIインフラシステムが受注、（株）長大が政府側の施工監理を受注している。

世界第4位の中央支間長1550mを有する3径間連続吊橋で、バックステイ径間にて主ケーブルを偏向しアンカレイジを小さくしている。上下6車線の高速道路が載る補剛桁は扁平箱桁断面で、主塔は鋼製である。架橋地点の近くには活断層があり、主塔基礎は水平移動を許容する設計が採用されている。主塔部で支持しない連続桁であるため兩岸の桁端部には巨大なダンパーが設置される。

現地に向ったときは、補剛桁の架設工事中で数時間の滞在時間の間に2回のブロック架設が行われていた。架設済みのブロックは現場溶接され、次々と



写真-7 案内いただいた方々と

架設されるため、いくつもの継手箇所で現場溶接が施工されていた。本橋は桁外面のみ溶接継手である。通常の2つ分のブロックを一度に架設するなど、工程を短縮するためにさまざまな工夫をされていた。調査時には補剛桁が閉合していなかったにもかかわらず。その4ヶ月後には開通しており、第3ボスボラス橋と同様に日本との工程の違いに驚かされた。

トルコ国内では治安情勢が危ぶまれる中、現地での行程のすべての案内をしていただいた（株）長大の方々、また施工現場で忙しい中、案内いただいた（株）IHIインフラシステムの方々に改めてお礼申し上げます。

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27年度の以下の業務に対し、受託者として（一財）橋梁調査会及び技術者として近畿支部 三木課長が所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
平成27年度中部地方整備局管内橋梁診断業務	中部技術事務所長	一般財団法人 橋梁調査会
橋梁検査業務	近畿技術事務所長	一般財団法人 橋梁調査会
橋梁検査業務	近畿技術事務所長	三木 正司



表彰の様子（中部：H28.7.27）



表彰の様子（近畿：H28.7.25）

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。これ迄「橋梁技術に関する研究開発助成」は13件、「国際会議等への参加に関する助成」は18件の助成を行ってきたところです。この度、平成28年度分の助成が決定となりました。

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（国立研究開発法人 土木研究所 魚本理事長、横浜国立大学 藤野 陽三上席特別教授、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。

平成28年度の助成対象者は以下のとおりとなりました。

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

中村 拓郎氏（東京工業大学 環境・社会理工学院 助教）

- ・研究計画：「変断面RC・PCはりのせん断耐荷機構と設計の高度化」

森 和也氏（熊本大学大学院 教授）

- ・研究計画：「実用型壁面打音検査ロボットの開発」

橋本 国太郎氏（神戸大学大学院 准教授）

- ・研究計画：「疲労き裂を有する鋼部材耐荷力の性能評価及び劣化予測に関する研究」

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

安 同祥氏（早稲田大学理工学術院 客員上級研究員）

- ・国際会議名：「IABSE Conference Guangzhou 2016」
- ・提出論文：「Seismic Strengthening Effect on an Existing Bridge Abutment by Ground Anchor」

西尾 真由子氏（横浜国立大学大学院 准教授）

- ・国際会議名：「International Conference on Smart Infrastructure and Construction (ICSIC)」
- ・提出論文：「Application of Long-term Structural Monitoring Data to Bridge Operations : A Case Study of a Fiber-optic Monitoring in a Prestressed Concrete Bridge」

第4回賛助会員特別講演会の報告

定例の賛助会員向け特別講演会を2016年4月21日にアルカディア市ヶ谷にて開催し200人を超える方々にご参加いただきました。

冒頭の伊藤 學 橋梁調査会理事長の開会挨拶では、国土交通省登録資格「道路橋点検士」及び「道路橋点検士補」の制度の紹介と登録状況について報告をいたしました。

講演会では、まず橋梁調査会常務理事兼企画部長の大石 龍太郎より「最近の橋梁点検に関する動向等」として地方公共団体の道路橋点検の現状と課題と橋梁調査会の支援の取り組み等を紹介させていただきました。

続いて本年は、元 国土交通省技監（現：一般財団法人国土技術研究センター国土政策研究所所長）の大石久和氏を講師にお招きして、「公共事業」から「インフラストック」へ一転落するわが国を救うもの」と題してご講演いただきました。

大石氏のご講演では、先進諸国と比較して低減している我が国の近年の公共事業費の推移や公共事業投資の必要性、財政への影響等に対する誤った認識、報道等を分かり易く例示された上で、公共事業とはインフラストックを形成し、将来世代の生産や消費を支え、国の経済成長や経済競争力を生み出すものとの認識を諸外国の首長の発言なども引いて示されました。参加者からは、公共事業についての認識を新たにしたり、啓発されたなどの声が聞かれました。

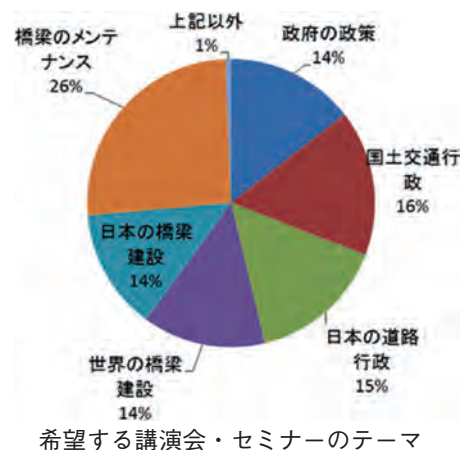
本講演会も定例化して4回目を数えますが、例年、道路行政や建設業界に関わりの深い講師をお招きし、大局的な観点からのご講演をいただいております。ご参加希望も年々増加し、講師の皆様及びご参



講演会会場風景



懇親会会場風景



元 国土交通省技監 大石久和氏のご講演風景

加いただいた皆様には厚く感謝申し上げます。

調査会の主催する講演会・セミナーで今後希望するテーマについて、本年の講演会参加者に対し実施したアンケート結果を上図に示します。この結果も参考にして、今後も時事動向を捉えた情報を適時発信していく予定です。今後ともご協力のほどよろしくお願い申し上げます。

文責：企画部次長 藤原 亨

北九州工業地帯の発展に寄与した長大吊橋

橋の建設と北九州市の発展

若戸大橋は我が国最初の本格的長大吊橋で、北九州市の洞海湾を跨いで戸畑区と若松区を結ぶ。北九州市を横断する国道199号の2.1km区間の一般有料道路である。

若松は石炭と海運の町、戸畑は鉄の町として栄えてきた。だが、明治、大正時代には、この地区の往来手段は小型船だけであり、便利な連絡手段は長年の懸案事項であった。1930（昭和5）年、73名もの死者を出す渡船の転覆事故があり、住民からは連絡道路の要望が高まった。その後、洞海湾トンネル計画がなされたが、日中戦争、さらに太平洋戦争で構想は頓挫した。

1952（昭和27）年、道路整備特別措置法（有料道路制度）が公布された。1955（昭和30）年、旧若松市に建設省若戸橋出張所が設立され、本格調査を開始。翌年には日本道路公団が設立されて調査を建設省から引き継ぎ、若戸大橋工事事務所が設立された。関係者の長年の努力が結実し、1959（昭和34）年、旧若松市役所前広場で起工式が行われた。

工事は、1962（昭和37）年9月に完成し開通式には盛大なイベントが行われ、完成を待ち望んでいた人々の喜びが溢れた。工期は3年6カ月、総事業費51億円、工事に関わった延べ人員は100万人である。

開通当時は東洋一の長さを誇り、我が国の長大吊橋の先駆けとなった。橋名は公募の3万4千通のなかから「若戸大橋」と命名された。

開通翌年には若松、戸畑、小倉、八幡、門司の5市が合併して、100万の人口を抱える北九州市が誕生した。この橋は北九州工業地帯の中央に位置することもあり、北九州市の発展に大きな役割を担って

いくのである。

車線拡幅で交通増大に対応

その後、交通量の増加に伴って1987（昭和62）年に車道の拡幅工事に着手、歩道を廃止し、1990（平成2）年に4車線供用を行った。

その後、若戸大橋は2005（平成17）年に北九州市が、さらに翌年には北九州市道路公社が引き継ぎ、料金徴収及び維持管理を行っている。

当初の通行量は日に6,700台であったが、車社会がさらに加速した2011（平成23）年には4万5,000台に達している。2012（平成24）年9月で開通50年を迎えた若戸大橋。この年には洞海湾を海底で結ぶ若戸トンネルが開通している。しかし、若戸大橋はいまも主要幹線道路として、また周辺住民にとっては生活道路として不可欠な存在である。

我が国の長大吊橋の先駆け

初めの橋梁形式の選定では鋼アーチ、鋼トラス、吊橋等が比較され、さらに斜吊桁橋（斜張橋）も含めた詳細な橋梁形式の検討が行われた結果、吊橋に決定した。日本で初めての長大吊橋であるため、様々な調査研究が2年半にわたって行われた。吊橋の径間割の検討では港湾関係との協議により中央径間長が367mと決まり、側径間は4種類の比較のうえで中間塔を設け、アンカレイジに作用するケーブル張力の着重点を下げる工夫を行った。

若戸大橋の調査、設計、建設には日本道路公団の技術者のみならず、建設省土木研究所、大学等の技術者、研究者が参画した。専門事項調査としていくつもの調査・試験が行われた。

下部工では岩盤の滑動抵抗試験、アンカーブロック光弾性実験、上部工ではワイヤーロープ調査、静的模型試験、風洞試験などがある。光弾性実験は、応力分布状況の測定および設計法の決定に使われた。静的模型試験は、たわみ理論による設計計算の照査として実施された。

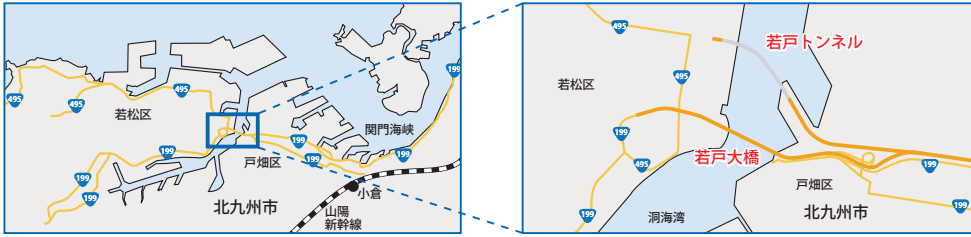
長大吊橋技術の原点

若戸大橋の施工技術は、その後の吊橋施工の原点



所在地：北九州市戸畑区川代一丁目・北九州市若松区本町三丁目

構造形式：3径間2ヒンジ吊橋
設計/施工：日本道路公団
橋長：627m（最大支間長367m）
幅員：19.6m
着工：1959年（昭和34年）3月
竣工：1962年（昭和37年）9月
最寄り駅：JR戸畑駅



として引き継がれている。海中基礎の構築法として、戸畑側主塔基礎は工場製作した鋼製ケーソンを曳航し現場に沈設する方法を採用した。その施工ではプレパックドコンクリートが使われている。これは海中基礎工法の一例として貴重な実績となっている。

主塔の架設では、せり上げデリックで積み上げる方式をとったが、以降の工事で多用された（クリーパークレーン工法）。また、塔部材の接合には基本的にはリベットが使われたが、一部に当時開発されたばかりの高力ボルトが使われた。

主ケーブルは61本のスパイラルロープを使っているが、この架設には仮設ロープ足場上をウインチで引き出す工法を使った。これはプレハブストランド工法としてその後の多くの吊橋で採用された。

現在は施工機械や技術の発達により、架設ブロックの大型化、現場の品質管理の迅速化、精度向上が図られているが、基本原理は当時の技術が生きているといえる。

携わった技術者たちは、その後の関門橋や本四架橋の主導的立場で、困難な課題の解決や若い技術者の指導にあたり、我が国の多くの長大吊橋建設へと繋がっていったのである。

市民のシンボルスポット

遠くからでもひととき目立つ橋の朱色のかかった赤色は、若戸審美委員会によって決められた。この色は1958（昭和33）年にできて話題になった東京タワーの赤と同じといわれている。日本の大規模な橋のなかでこの橋の赤は珍しい存在といえる。

西日を受けると、赤色がひととき引き立って美し



い。夜にはライトアップがなされ、海を行き交う船渡の光の帯とともに、昼とは異なった趣きを見せる。

付近一帯は、洞海湾のランドマーク的な存在で、下から眺める橋の姿も堪能できる。戸畑渡場付近には展望デッキや遊歩道が整えられている。若松側の橋のもとには、石炭積出港で栄えた若松港の隆盛が窺えるレトロな建物や近代化産業遺産の建造物などがあり、ノスタルジックな光景は人気スポットとして賑わいを見せる。また、橋の美しさや付近の趣きある風情は、いくつものドラマの撮影に使われ、テレビの観光番組でもしばしば紹介されてきた。

毎年7月に行われる「くきのうみ花火の祭典」は、洞海湾の夏の夜の風物詩である。特に若戸大橋に仕掛けられる「ナイアガラ滝」花火は、長さ260mという圧倒的な規模の迫力で、湾に降り注ぐ光のカーテンは名物となっている。



- 1 北九州工業地帯の都市化した若松と戸畑を結ぶ若戸大橋
- 2 中間塔によりケーブルを折り曲げアンカレイジに作用するケーブル張力の作用点を下げる形式を採用
- 3 開通当初の歩道を廃止し4車線化が図られた路面
- 4 若戸渡船は現在も通勤通学に利用

道路橋の補修・補強計算例Ⅱ

実務に役立つ設計計算例
一般道路橋の補修補強・耐震補強における設計計算例を数多く紹介・解説した実用書です。鋼橋及びコンクリート橋の上部工、下部工、支承・検査路等、前書に盛り込めなかった新しい事例を集めた内容です。



執筆者

吉田 好孝 一般財団法人 橋梁調査会
山口 恒太 パシフィックコンサルタンツ(株)
長谷川泰聡 三菱樹脂インフラテック(株)
浅野 雄司 大日本コンサルタント(株)
富田 克彦 (株)長大
直野 和人 極東興和(株)

サイズ・定価

◆B5版・約200頁
◆5,400円(本体5,000円)

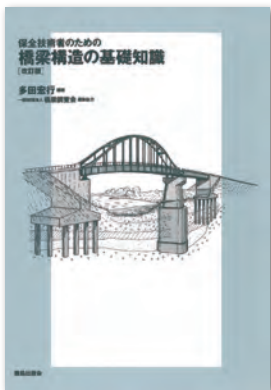
鹿島出版会 <http://www.kajima-publishing.co.jp/>

主要目次

- 第1章 鋼橋上部工**
 - 1.1 炭素繊維シート接着工法による鋼桁端部の補修
 - 1.2 炭素繊維プレートによる鋼桁の補強
 - 1.3 炭素繊維シートによるRC床版の補強
 - 1.4 下面増厚によるRC床版の補強
- 第2章 コンクリート橋上部工**
 - 2.1 RC桁の炭素繊維シート接着による主桁のせん断補強
 - 2.2 コンクリート充填によるRCT桁の構造改良
- 第3章 下部工**
 - 3.1 コンクリート巻立て工法による橋脚の耐震補強
 - 3.2 PC巻立て工法による橋脚の耐震補強
 - 3.3 鋼パイルベント腐食の鋼板溶接工法による補修
 - 3.4 亜硝酸リチウム内部圧入による橋台のASR補修
- 第4章**
 - 4.1 鋼橋の支承受替に伴う下部工付きブラケットの設計
 - 4.2 PC桁の支承受替に伴う縁端拡幅部の設計
 - 4.3 FRPを用いた検査路の設計

保全技術者のための橋梁構造の基礎知識 [改訂版]

橋の点検・診断、補修・補強の保全業務に役立つ実務書！
橋の長寿命化について適切な判断を下すために……
橋の構造を知り、技術基準の変遷と設計方法を理解する
本書は、一般的な橋の保全上の留意点を示した参考書です。



主要目次

- 第1編 橋の構造**
 - 第1章 道路橋概説
 - はじめに／現況／整備の推移／道路橋の基礎知識／維持管理
 - 第2章 鋼橋
 - 鋼橋の技術の変遷／鋼橋の特徴と保全上の留意点／鋼橋の耐荷力判定、RC床版の損傷、鋼部材の疲労損傷に関する経緯
 - 第3章 コンクリート橋
 - コンクリート橋の技術の変遷／コンクリート橋の特徴と保全上の留意点／コンクリート橋の耐荷力および耐荷力と耐久性に影響を与える損傷
 - 第4章 下部構造
 - 下部構造形式の変遷／下部構造の技術の変遷／下部構造の保全上の留意点
 - 第5章 橋面舗装等
 - 橋面舗装／伸縮装置／支承／落橋防止装置

執筆者

多田宏行 編著
一般財団法人橋梁調査会 編集協力

サイズ・定価

◆A6版・約270頁
◆本体2,900円+税

- 第2編 技術基準と設計方法**
 - 第6章 技術基準の変遷
 - 概説／技術基準の意義／基準の変遷の概要／基準の制定・改定の歴史
 - 第7章 設計方法
 - 概説／既設橋の保全に関わる設計／建設時に採られた構造解析モデル／既設橋の保全に関わる設計の構造解析モデル／安全性の照査／部材断面の算定法
- 付表**
 - 道路橋の活荷重の変遷／鋼材規格の変遷／鋼材の許容応力度の変遷／RC床版の設計活荷重、曲げモーメント算定式などの変遷／コンクリート橋の許容応力度の変遷／コンクリート橋の標準設計および JIS 規格の変遷／コンクリート橋床版の設計曲げモーメントの算定式の変遷／SI 単位系への換算率表

鹿島出版会 <http://www.kajima-publishing.co.jp/>

本部・支部 所在地及び連絡先

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(TS-5BLDG.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5階)
TEL : 052-218-3151 FAX : 052-218-3153

北海道駐在所 〒060-0004
札幌市中央区北4条西7丁目1-5(NCO札幌ホワイトビル8階)
TEL : 011-213-1867 FAX : 011-210-6071

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5階)
TEL : 082-511-2203 FAX : 082-225-4745

四国支部 〒760-0026
高松市鷹屋町3-1(マニュ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 2016 Vol.12 平成28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

