



# J-BEC

レポート

2024 Vol.20

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

## 目次

### 巻頭言

木村 嘉富

### 専務理事に就任して

未来社会の実現を目指して  
～ SIP 第3期スマートインフラプロジェクトの概要と展望～ 2

法定点検 10 年を経て、技術的評価に配慮した  
定期点検制度の見直し 11

全国道路施設点検データベース（道路橋）の管理運営 18

### 助成研究

- ・ AI 画像処理を用いたナット回転履歴によるボルトの緩み検知 24
- ・ けい酸塩系表面含浸工の施工効果に基づく費用対効果 31

### 海外報告

- ・ IABSE CONGRESS 2023 New Delhi の聴講参加と  
バングラデシュにおける橋梁現地調査報告 38
- ・ 第 27 回世界道路会議（プラハ大会）の日本パビリオン出展と  
イスタンブール（トルコ）での橋梁現地調査報告 44
- ・ IABSE シンポジウムマンチェスター 2024 の聴講参加と  
エディンバラおよびフランクフルト近郊の橋梁現地調査 48
- ・ 第 12 回橋梁の維持管理に関する国際会議（IABMAS 2024）の  
聴講参加とコペンハーゲン、ストックホルムの都市・橋梁の視察報告 56

### トピック

- ・ 令和 5 年度 橋梁シンポジウム「DX 時代の橋梁維持管理」開催報告 63
- ・ 第 8 回 橋梁のメンテナンスに関するセミナーの報告 65
- ・ 建設技術フェア等の参加報告 66
- ・ 令和 6 年度賛助会員特別講演会の報告 67
- ・ 2024 道路橋点検士統計情報 68
- ・ 橋梁技術に関する研究開発助成について 69
- ・ 国土交通行政関係功労者表彰の受賞について 69

### 都市と橋

「中央大橋」 70



## 専務理事に就任して



木村 嘉富

令和6年9月、一般財団法人橋梁調査会の専務理事に就任いたしました。前身である海洋架橋・橋梁調査会時代からお世話になりました当調査会の一層の発展に、微力ながら尽力したいと考えておりますので、今後ともご指導ご鞭撻のほど、よろしくお願い申し上げます。

当調査会は、平成25年に新たに発足し、道路橋点検士技術研修会等の技術者育成業務や橋梁診断業務を中核に、新技術導入促進や道路橋データベース等、橋梁に関する様々な業務を通じて、我が国の橋梁技術の発展に大きく貢献しています。

道路橋に関しては、平成26年度以降、道路法に基づく定期点検が行われており、その結果は毎年、道路メンテナンス年報として公開されており、今年8月に公開された年報では、2巡目の点検結果が分析されています。そこでは、1巡目と比較して、建設後50年以上経過した橋梁数は増加している一方で、早期又は緊急に措置を講ずべき状態である判定区分Ⅲ・Ⅳの橋梁数は着実に減少しています。しかし、建設後の経過年数に比例して、判定区分Ⅰ・Ⅱから判定区分Ⅲ・Ⅳに遷移した割合が高くなっており、今後進行する橋梁の高齢化を考慮すると、予防保全も含めた適切な措置の実施がますます重要となります。

道路橋をはじめとする構造物の高齢化が進行する一方で、それを支える技術者不足も顕在化しており、維持管理の効率化は喫緊の課題です。本号でも紹介されたように、現在、国における戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）において、「スマートインフラマネジメントシステムの構築」プロジェクトが進められています。このプロジェクトでは、未来社会の実現を目指し、維持管理を含む様々な技術開発が進行中です。これらにより開発された技術を社会実装するためには、制度、事業、社会的受容性、人材での取り組みも必要です。橋梁調査会としても、新技術の点検・診断業務への活用を進めるとともに、新技術導入促進機関として、性能カタログ作成支援を行っています。

定期点検の効率化や適切な措置の実施を進めるには、これまでの損傷事例から学ぶことが不可欠です。橋梁調査会では、全国道路施設点検データベース（道路橋）の管理運営を行っており、令和4年度から公開を開始し、大学や民間企業での活用が進んでいます。このデータベースは、例えば補修事例の追跡調査等、単独でも利用可能ですが、他のデータと組み合わせることでその可能性はさらに広がります。データベースの活用方策について橋梁調査会にて研究会を設け、「道路橋データベースの利活用促進に向けた提言」をHPにて公開しています。具体的な活用事例も紹介していますので、皆様方の気づきに繋がれば幸いです。

点検・診断の高度化や適切な措置の決定のためには、その質の向上が不可欠です。平成26年度に始まった道路法に基づく点検も、令和6年度から3巡目に入りました。その経緯や3巡目の点検要領については、本号に寄稿されますのでご覧ください。これまでは、個別の損傷や部材に着目したきらいがありますが、3巡目では、当該損傷が、部材だけでなく、橋全体の耐荷性や耐久性へ与える影響を評価し、次回点検までにどのような事象が生じるかを考えることとなっています。道路橋の技術基準である道路橋示方書や橋の構造に対する知見が不可欠となります。AI技術等が急速に進歩しつつあり、また、便利なタブレットやアプリも多くありますが、これらを使いこなせるのは橋梁技術者です。橋梁調査会としても、橋梁診断の現場で培った技術により、支えていきたいと考えています。

日本の道路橋は70万を越えています。賛助会員はじめとする多くの方々と連携し、我が国の橋梁保全の総合技術センターを目指して、今後の業務を展開して参りますので、引き続きよろしくお願い申し上げます。

# 未来社会の実現を目指して

## ～ SIP第3期スマートインフラプロジェクトの概要と展望～

東北大学大学院工学研究科 教授

同インフラ・マネジメント研究センター センター長

内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）プログラムディレクター（PD） 久田 真

### 1. はじめに

2022年12月2日に、国土交通省・社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会から、提言『総力戦で取り組むべき次世代の「地域インフラ群再生戦略マネジメント」～インフラメンテナンス第2フェーズへ～』が公表された<sup>1)</sup>。この提言は、2013年に定められた「社会資本メンテナンス元年」から10年を機に、このまま放置すると重大な事故や致命的な損傷等を引き起こすリスクが高まることを懸念し、人員や予算不足により予防保全への転換の遅れが目立つ小規模な市区町村等に対し、それぞれの地域の将来像に基づき、複数・広域・多分野のインフラを「群」として捉え、総合的かつ多角的な視点から戦略的に地域のインフラマネジメントを推進する取り組みである。

その翌年となる2023年7月には、国土強靱化基本計画が改訂され<sup>2)</sup>、4つの基本理念（①人命の保護、②機能の維持、③被害の最小化、④迅速な復旧）は2014年度当初の計画策定時から変更はないものの、計画推進の基本方針については、デジタル等新技術の活用が明記されるなど、デジタルトランスフォーメーション（DX）の推進も包含した内容になっている。さらに、2024年4月には、国土交通省は、今後、更なる人口減少が予測されるなかで、国民生活や経済活動の基盤となるインフラの整備・維持管理について「i-Construction 2.0」を開始した<sup>3)</sup>。この取り組みは、2016年にスタートしたi-Constructionの取り組みをさらに一歩進めることを目的として、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」を3本の柱として、建設現場のオートメーション化を推進する施策である。

このように、近年における建設ならびにインフラを取り巻く動向は相当に活発化しているが、内閣府・

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）も、2023年度から第3期のプログラムが始動しており、選定された14の検討領域の一つとして「スマートインフラマネジメントシステムの構築」プロジェクトがスタートしている<sup>4)</sup>。本文では、まず、3期目に突入したSIP事業の特徴について概説し、その次に、建設分野の現状と問題点を整理し、これらを踏まえて、SIP第3期において「スマートインフラマネジメントシステムの構築」プロジェクトが推進している検討内容を紹介する。

### 2. 内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期について

内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP、Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program<sup>5)</sup>）は、総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）が司令塔機能を発揮して、社会的課題の解決や日本経済・産業競争力にとって重要な課題を設定し、科学技術イノベーション実現のために内閣府が主導する国家プロジェクトである。SIPの大きな特徴として、基礎研究から社会実装までを見据えて一貫通貫で研究開発を実施し、府省連携が不可欠な分野横断的な取り組みを、産学官連携により推進する事業であることが挙げられる。

これまで、第1期（2014～2018年度）および第2期（2018-2022年度）を経て、2023年度よりSIP第3期がスタートしたが、運用において以下のような要件を設けている。

#### 2.1 Society 5.0の実現

科学技術基本計画は、日本政府が科学技術の振興を目的として策定する中長期的な方針であり、1995年に制定された科学技術基本法に基づき、5年ごとに新しい計画が策定されている。現在運用されてい



る第6期科学技術・イノベーション基本計画（2021～2025年度<sup>6)</sup>）では、Society 5.0の実現を目指しており、SIP第3期でもその実現を目標としている。

Society 5.0とは、狩猟社会（Society 1.0）、農耕社会（Society 2.0）、工業社会（Society 3.0）、情報社会（Society 4.0）に続く新たな社会であり、第5期科学技術基本計画（平成28年1月22日閣議決定）において「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会」として初めて提唱された我が国が目指すべき未来社会の姿である。また、この概念を具体化し、現実のものとするために、第6期科学技術・イノベーション基本計画では、我が国が目指すべきSociety 5.0の未来社会像を「持続可能性と強靭性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せ（well-being）を実現できる社会」と表現している。

## 2.2 5つの視点による社会実装の促進

SIP第3期では、これまでのSIPで培ったノウハウを最大限に活用するため、社会実装に向けた戦略として、「技術」「制度」「事業」「社会的受容性」および「人材」の5つの視点から必要な取組みを抽出するとともに、各視点の成熟度レベルを

用いてロードマップを作成し、課題を推進することとしている（図-2）。

## 2.3 「総合知」の活用による戦略策定

未来のありたい社会像（Society 5.0）から、社会・産業ニーズを踏まえた経済・社会的にインパクトのある技術的にチャレンジングな目標をバックキャストで設定し、科学技術イノベーションにおける我が国の「勝ち筋」を確立するという戦略を導入している（図-3）。また、人文科学・社会科学の知見の取り込みや民間投資を誘発しつつ、基礎研究段階から実用化に至るまでの研究開発を実施することで、イノベーションを推進することを目指している。

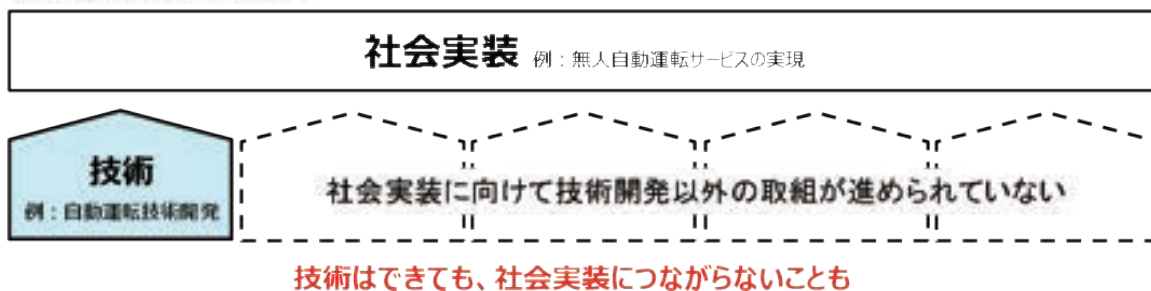
## 2.4 ジェンダーバランスの確保、マッチングファンドの加速、スタートアップの支援等

公表されているSIP第3期の運用指針<sup>10)</sup>には、前述のような事項のほか、ジェンダーバランスの確保、マッチングファンドの加速、スタートアップの支援、知財戦略、国際標準戦略、データ戦略、規制改革といった、イノベーションを推進する上で不可欠な、技術開発以外の様々な要件が設定されている。また、SIPが、府省連携が不可欠であり、かつ分野横断的な内閣府主導の取組みであることから、内閣府のそ

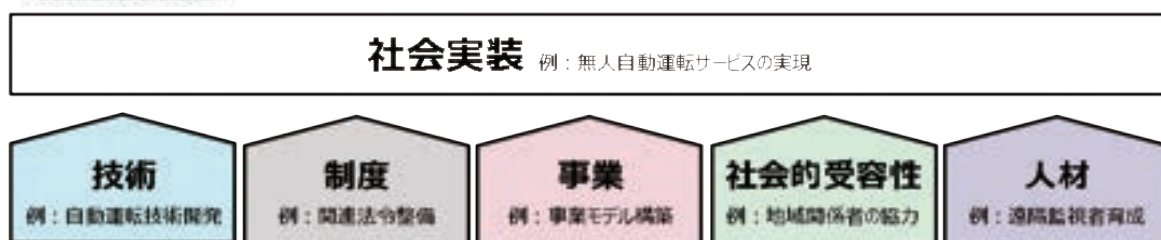


図-1 Society 5.0（目指すべき未来像）のイメージ<sup>7)</sup>

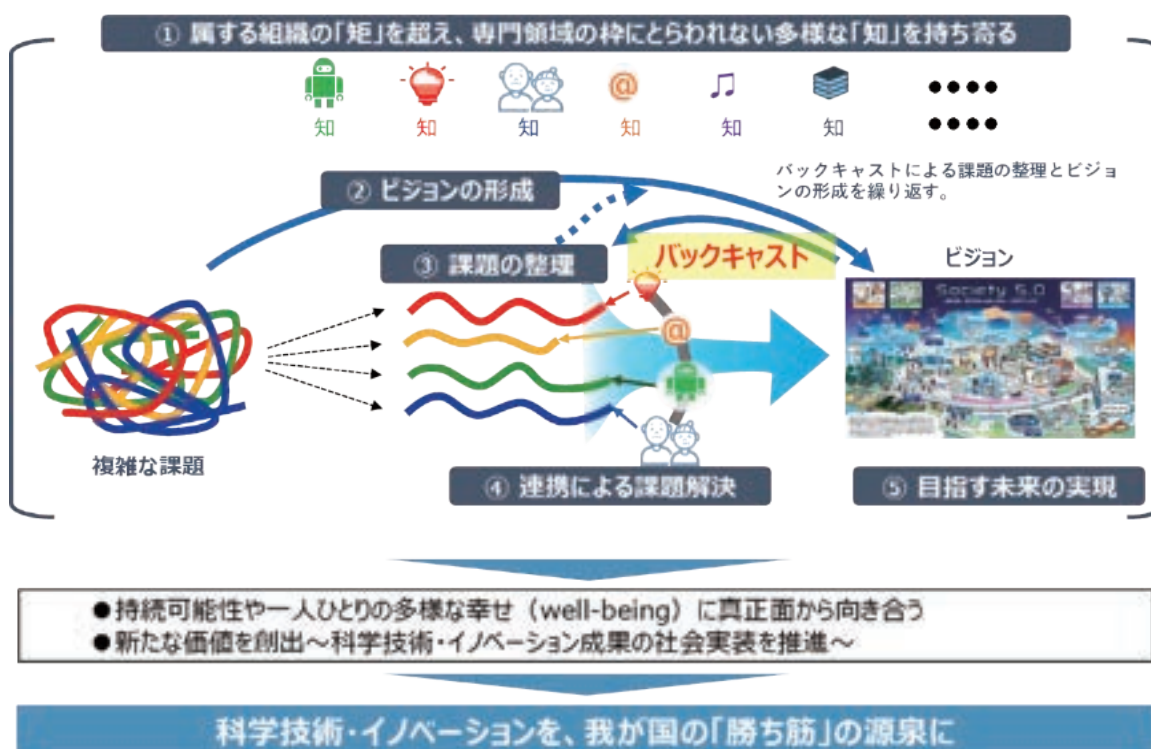
## 従来のプロジェクト



## 第3期SIP



図ー2 SIP第3期における社会実装に向けた5つの視点<sup>8)</sup>



図ー3 「総合知」の基本的考え方及び戦略的に推進する方策<sup>9)</sup>

の他の事業や関係省庁が取り組む独自の事業との連携体制が構築され、各省庁が所管する分野の関係者と協力して推進するオープン・クローズ戦略を踏まえて進めることが求められている。

### 3. 建設分野の現状

インフラの整備は、長い歴史の中で各時代の要請

に応じて着実に行われてきたことから、その整備プロセスや業界のしくみ等は最適化されてきている。それが質の高いインフラを提供する日本の強みである一方、大きな環境変化に決して強いとは言えず、例えば海外に比べて新技術の導入に時間を要し、海外展開に後れが生じるなどの課題も抱えている。また、既存インフラの多くが高い耐久性や耐震性等を



確保するための技術や知見に乏しかった時代につくられたことも、インフラ老朽化への対応の遅れの原因にもなっている。

さらに、インフラの新規整備が中心であった時代には、研究開発、技術基準策定、標準化等が同時並行で行われた結果、社会実装は比較的順調に進んだものの、既存インフラへの対策にシフトした現代においては、新技術の導入に技術基準や制度が十分に追いついていないという実状も看過できない。ここでは、SIPでの検討内容を整理することを目的として、建設現場、建設業界、インフラ老朽化の現状を概観する。

### 3.1 建設現場の現状

少子高齢化社会を迎え、今後、明らかに労働力が不足することを考えれば、建設現場の生産性向上は、避けることのできない課題である。しかしながら、バブル経済崩壊後の投資の減少局面では、建設投資が建設労働者の減少をさらに上回って、ほぼ一貫して労働力過剰となったため、省力化につながる建設現場の生産性向上が見送られてきた。

建設現場で働いている技能労働者は、1997年の約455万人をピークに減少傾向にあり、2014年では約340万人、2023年では約307万人にまで減少している。特に、建設業就業者の年齢については、2023年には55歳以上が約36%、29歳以下が約12%となり、全産業と比べ高齢化が著しく高くなっている<sup>11)</sup>。このことは、これまでと同水準の生産性では建設現場は成り立たないことを意味している。

我が国の人口構造に起因するこのような労働力不足は全産業に共通する課題であるが、建設現場においては、前述の通り既に中高年層が建設現場を支える状況にあることから、より一層深刻な課題である。また、建設産業は、「一品受注生産」、「現地屋外生産」、「労働集約型生産」などの特性があり、建設現場は他産業のような自動化・ロボット化などへの生産性向上に迅速に取り組むことが難しいといった現実がある。

### 3.2 建設業界の現状

建設業者数は1999年度の60.1万業者をピークに、2020年度は47.4万業者とピーク時の78.9%にまで減少したものの、2023年度時点ではほぼこの規模を維持している。ただし、建設業者の大半は資本金1億

円未満の中小・零細業者であるのが実態である。

下請完成工事高については、1997年度（57.1兆円）をピークに減少が続いていたが、2010年度（25.5兆円）を底に増加に転じ、2019年度は33.4兆円にまで持ち直し、2022年度には約53兆円まで回復している<sup>12)</sup>。その要因は、2011年に発生した東日本大震災等の復興需要の増加、経済の回復による民間設備投資の増加、資材価格の高騰や技能労働者の賃金引き上げなどであるが、建設業界は中小・零細業者による重層下請構造で裾野が広く、新技術の導入や社会実装に関しては、主として大手建設会社で進んでいる程度であり、中小・零細業者における科学技術イノベーションは未だに立ち遅れているのが実状である。

### 3.3 インフラ老朽化の現状

我が国のインフラは高度成長期に急ピッチで整備されたため、建設後50年以上が経過する老朽化した構造物も急速に増加しつつあり、これらの維持更新需要の急増が予想されるところである。しかしながら、多くのインフラを管理する立場にある地方自治体の土木費については、1993年度の約11.5兆円をピークに、現在はその約半分の予算で対応している状況にある。また、インフラの点検や修繕を行う専門技術者が不足しており、劣化の進行を早期に発見し予防保全的に対応することが困難になっているのが現状である<sup>12)</sup>。

人口減少などによる財源確保の制約も加わる中で、既存インフラの維持更新を計画的かつ効率的に進めて行くことが喫緊の課題となっている。

## 4. 現状を踏まえた問題点の整理

インフラは社会を支える基盤であるため、研究や新技術の開発の成果はそのまま社会に直結する。産官学および業界内の役割分担が明確であり、基準やルール化を行えば、新技術の普及や実装が進むという側面もある。しかしながら、社会を支えるインフラでの失敗は回避しなければならず、社会実装に慎重にならざるを得ないという現実もある。こういったインフラが持つ性格や、ここでまとめたインフラを取り巻く現状を踏まえ、ここでは、SIPプロジェクトでの検討課題に取り込むことを目的として、技術開発、事業、制度、社会的受容性、人材という5つの視点から、改めて問題点を整理した。

#### 4.1 技術開発

建設機械オペレータをはじめとして建設現場の担い手不足が深刻化する中、デジタル技術を活用した建設施工の自動化・自律化及び遠隔化を早急に進め、建設現場の生産性を向上する必要がある。デジタルツインで蓄積するインフラ関連データの活用においてはデータ連携が課題であり、データ基盤のインタフェースを整備し、生産性向上につながるシミュレーションモデルの研究開発も必要となる。

また、老朽化が進行するインフラの維持管理においては、データ（点検・補修データ等）の蓄積はある程度は進み、各分野で産官学が連携して個別要素技術も開発も進展しつつある。一方で、それらを日常の業務プロセスに組み込み、統合して利活用するには至っておらず、維持管理のあらゆるステージでデータを全面的に活用しつつ、開発した要素技術を統合し、実装に向けた具体的検討が必要となっている。

さらに、魅力ある国土・都市・地域づくりを進めていくには、多種のインフラによる複合効果やインフラが地域にもたらす便益や効果を向上していくことが重要である。未来のインフラの代表例であるグリーンインフラは、関連する技術が幅広く収集・整理され、新技術・サービスの開発支援も実施されている。一方で、各事業分野においてグリーンインフラの特徴を考慮した技術指針が策定されておらず、今後は同指針の策定に向けて検討を進めるとともに、要素技術の研究開発を一層推進する必要がある。

#### 4.2 制度

スマートインフラマネジメントの対象領域においては、公共事業が主であることから、従来は官による制度（基準・要領・ガイドライン等）整備により、各種技術を活用するための環境を整備しやすいという特徴があった。一方で、技術の対象が高度なデジタル技術になった場合、技術革新のスピードが非常に速く、その技術進歩にあわせた制度の見直しが難しい状況がある。対面や書面、人による目視等、従来の業務形態を前提とした現状の多くの制度は、デジタル技術の導入・活用について、必ずしも推進力になっているとは言い難い。

インフラ管理者はそれぞれの目的に応じて必要となる技術を市場から調達する必要があるが、公共調達においては公正性、競争性及び透明性の確保が必要であり、さらには効率性及び経済性の考慮も求めら

れる。民間企業の調達に比べて多くの制約がある公共調達において、前例のない革新的な技術を積極的に選定することは、他の産業と比較しても容易であるとは考え難い。とりわけ技術系職員が不足している自治体においては、技術を適切に評価できる体制を確保できず、新技術導入を促進するための入札契約方式（提案型）の採用が難しい等の背景がある。

#### 4.3 事業

建設業界は、i-Constructionを通じて生産性向上に取り組み、2024年4月にスタートしたi-Construction 2.0を通じて建設現場のオートメーション化に取り組んでいる。ただし、建設企業の大半を占める中小企業においては、人材不足や資金不足の課題から、大手企業と同様の取組みを行うことは難しい状況にある。そのため、国土交通省は「簡易型ICT活用工事」の導入、ICT人材の育成等を進め、中小企業や地方公共団体などへの裾野拡大を図っている。また、積算要領の改定、自治体発注工事に対する専門家の派遣等、自治体や中小企業が更にICTを導入しやすくなるような環境整備を行っている。さらに、建設現場における取組みのほか、大手企業は、建設現場とバックオフィスの連携を強化するためのソフトをIT企業と共同で開発し、生産性を向上させてきたが、中小企業ではアナログな状況が十分に改善されていない。そのため、国土交通省では、中小建設企業をターゲットとした建設現場とバックオフィスを連携させるシステムの開発、導入を支援するなどの取組みも行われているものの、未だに十分な状況にあるとは言い難い。

#### 4.4 社会受容性

インフラメンテナンスや更新費用の必要性についての認知度は不十分であり、広く国民にインフラメンテナンスの重要性を周知・啓発していくことが必要である。そのためには、建設業に携わる関係者のみならず、ユーザー視点をも巻き込んだ広範なアウトリーチ活動が求められ、産学官を含めた多方面にわたる関係者で連携する必要がある。例えば、産官が連携した継続的な良事例の発信、産学が連携した将来の担い手確保や参加の促進につながる取組み、学官が連携したデジタルツインなどの未来のインフラを支える革新的技術をより身近に感じてもらうための方策等が挙げられる。こうした取組みにより、



インフラに関心のある国民の戦略マネジメントの計画策定プロセスへの参画、メンテナンス活動への参加等を通じたパートナーシップの構築につなげることができる。インフラは社会経済活動を支える基盤であり、その機能と役割を踏まえたアウトカムを広範に捉え、そこからバックキャストして実現のために総合知を動員するプロセスが必要であるが、それが不十分であるが故に、インフラに対する社会受容性が十分醸成されていないという問題が存在する。

#### 4.5 人材

わが国の老朽インフラの大半を抱える地方部において、ヒト（人材）・モノ（技術）・カネ（予算）が十分に確保されておらず、インフラのマネジメントが適切に行えていない現状がある。これらの担い手を確保しつつ、ITを活用した業務の効率化、高度化も進めなければならない。その際、我が国において、IT人材の育成は重要な課題である。インフラ分野においても、データ基盤の活用という観点で体系的にデータを管理できる人材の育成が必要である。また、現在は受発注者ともに限られた技術者しか BIM/CIM 活用の経験がないことが、3次元データの利活用拡大のボトルネックとなっている。しかし、日本のIT人材の育成に関する会社の教育・研修制度や、自己研鑽支援制度に対する満足度は、諸外国と比較しても高くはない状況である。AIや新技術の活用を見据えた多様な人材育成の仕組みの構築が不十分であることが、インフラ分野においてもDXの推進を阻んでいるものと考えられる。

### 5. SIPとして実施する検討課題

SIP「スマートインフラマネジメントシステムの構築」プロジェクトでは、デジタルデータにより設計から施工、点検、補修まで一体的な管理を行い、持続可能で魅力ある国土・都市・地域づくりを推進するシステムを構築することをミッションとしている。ここでいう「持続可能で魅力ある国土・都市・地域」とは、建設分野そのもののだけでなく、医療や介護、教育、ものづくり、モビリティなど、建設以外の他分野がインフラに求めているニーズを読み取り、これをデジタルツインによるデータ共通基盤をコア技術として具現化し、誰一人取り残さない well-being を実現する将来の姿である。

このように抽出された目指すべき未来像を実現す

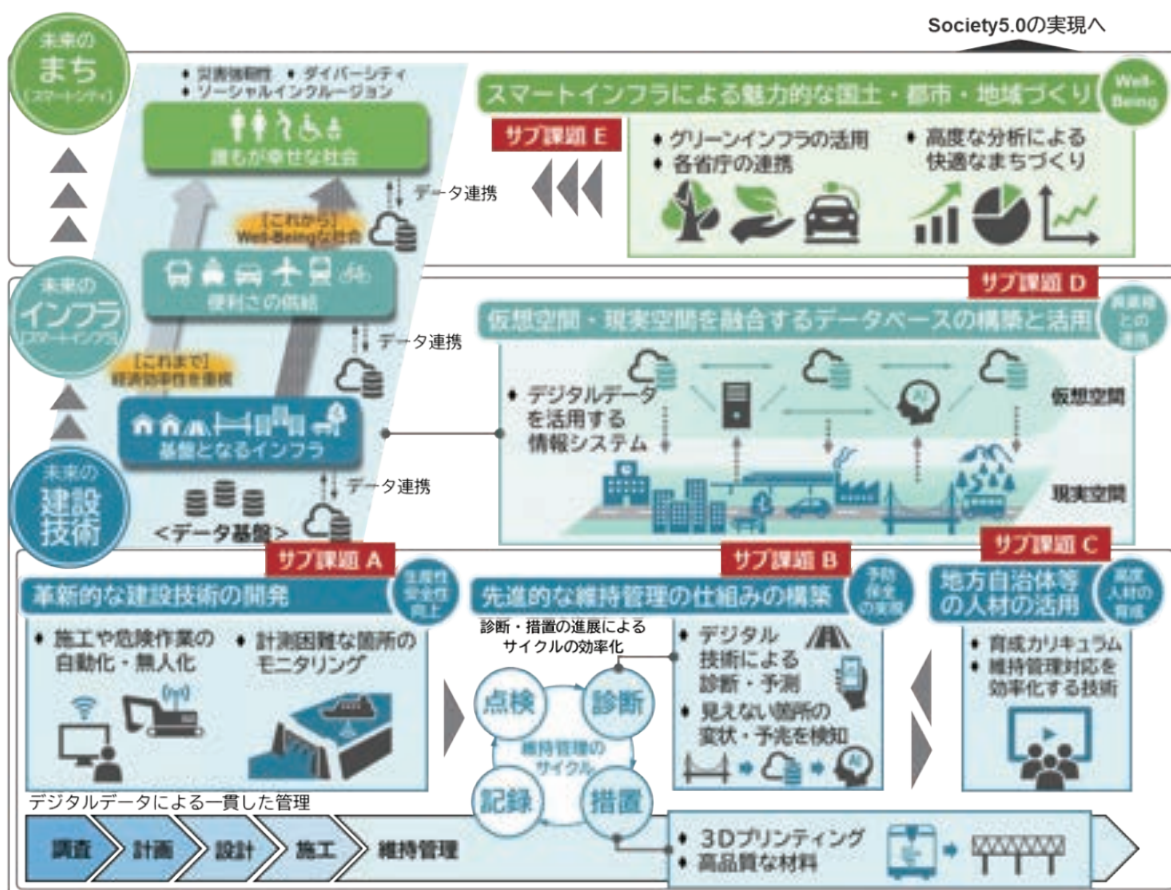
るために、未来の建設技術を目指した「建設技術のスマート化」をはじめ、他分野のニーズを踏まえた「インフラそのもののスマート化」と、スマート化されたインフラが集積されて構築される「未来のまち（スマートシティ）」の3つの領域を階層として構造化し、5つの検討課題（サブ課題）を抽出し、これらを総合的に推進することで、Society 5.0の実現を目指す計画である（図-4）。

#### 【サブ課題A】革新的な建設生産プロセスの構築

建設生産プロセスにおいては、国土交通省の i-Construction 等の推進を通じて、ICT 施工等、設計・施工におけるデジタル技術の積極的な活用を進めてきたところであるが、建設現場の飛躍的な生産性・安全性向上を実現するため、施工の「自動化・自律化」に向けた技術開発に官民共同で取り組む。具体的には、建設生産プロセス全体の最適化を実現する自動化・自律化技術として、施工に必要なあらゆるデータをリアルタイムで集積・制御・処理するCPS（Cyber-Physical Systems）と、自動建設機械群による自動施工技術の開発を進める。また、水中・海中、降灰地域など人力では計測困難な箇所でのロボット等によるモニタリング・施工技術や、トンネル坑内などにおける危険作業を自動化・無人化するために必要な測位・通信・制御技術、環境に優れたインフラの建設技術などについて研究開発を行う。併せて国民や利用者にご理解頂くアウトリーチ活動や、大学・高専等の教育機関と連携して高度人材育成を実現する共用可能でオープンな研究開発環境の構築・運用に組む。

#### 【サブ課題B】先進的なインフラメンテナンスサイクルの構築

インフラを健全な状態に保つためには、点検、診断、措置、記録のインフラメンテナンスサイクルを確実に運用していくことが必要である。インフラの損傷メカニズムを踏まえた信頼性の裏付けのある精緻な診断・評価・予測等を行い、予防保全の対応につなげていくことが重要である。このため、構造物の変状・予兆を示す把握すべき情報を明らかにするとともに、それらのデータを取得し、数値解析技術等を用いて、将来の劣化・損傷リスク、性能低下の程度を評価・予測し、精緻な診断により適切な補修・補強等を可能とする。



図ー4 SIP第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」における検討課題

さらに、これらの一連のサイクルを、インフラデータ共通基盤やデジタルツイン技術と連携してハイサイクル化することによりイノベーションの加速化を促し革新的な維持管理を実現する。補修・補強(措置)の段階においては3Dプリンティング技術や高性能・高耐久材料などを用いた工法の高度化を図る。これらに併せてインフラ長寿命化技術の有用性を国民や利用者にご理解いただくアウトリーチ活動や、革新的な点検・診断・措置・記録技術を使いこなす人材育成・体制の整備を進める。

#### 【サブ課題C】 地方自治体等のヒューマンリソースの戦略的活用

地方公共団体所管のインフラ構造物の必要な機能を適切に維持していくため、総合的なインフラ維持管理のためのデータ活用取組みとして、自治体職員の担い手確保のための教育環境のプラットフォームの整備など、人材育成の体制構築を図るとともに、自治体職員の維持管理対応を効率化する現場で使いやすい技術開発、普及、活用の促進を、スタートアップを含む地方の中小企業と地方公共団体との連携によって行う。

また、地方自治体がインフラの維持管理に必要なナレッジや先進事例の共有を行う仕組みや、地方公共団体と地域の大学、高専が連携して人材育成を行う仕組みの構築を進めるとともに、インフラメンテナンス技術の有用性について国民の理解と参加を促進するアウトリーチ活動を行う。これらにより、全国レベルの共通基盤で多様なスキルを持つ人材の参入や、リカレント、リスキリングを促進することで、労働力不足の解消と技術・技能レベルの質的向上を実現し、地方インフラの機能の確保に必要なヒューマンリソースの活用を可能にする。

#### 【サブ課題D】 サイバー・フィジカル空間を融合するインフラデータベースの共通基盤の構築・活用

都市全体等のインフラに関する高精細なデジタルツインの構築にあたっては、その扱うデータ量は膨大かつそれぞれのインフラを管理する多くの機関が所有していることから、データプラットフォーム間のデータ連携、シミュレーションのためのモデル化やデータの入出力、デジタルツイン群の連携のためのデータ変換、データ統合技術と、それら一連のプロセスにおける自動化についての研究開発を進める。

また、構築されたデジタルツインを活用して、建設分野の生産性向上、事後保全から予防保全への加速のための新技術を活用したメンテナンスの確立、国土・都市・地域づくりにおける総合的・分野横断的なDX、GXの推進などの課題解決に繋がるよう、それぞれユースケースを設定したシミュレーション技術などを開発を進め、試行結果の評価を通じて現実フィードバックさせ、様々なイノベーションを起こしていくことが必要である。当該技術開発にあたっては、防災、まちづくり、モビリティ等のインフラ分野を対象としているが、長期的には、①自然環境、エネルギー、ウェルネス、教育、働き方等の他の分野も含め、我が国が抱える社会課題の解決、②快適性、経済性、安全性を兼ね備えた新しい都市（Society5.0が目指す未来社会）の具現化を目指す。

#### 【サブ課題E】スマートインフラによる魅力的な国土・都市・地域づくり

「未来のまち」の実現に向けて、国土・都市・地域空間とそこで展開される様々な社会経済活動を支えるインフラについて、well-beingや災害への強靱性を確保していくため、「グリーンインフラ」と「インフラ分野のEBPMによる地域マネジメント手法」等の研究開発を行う。グリーンインフラに関しては、自然環境等のグリーンインフラに関する基礎情報を総覧できるデータベースや、自然環境が有する多様な機能を定量化・評価する仕組みを構築する。また、グリーンインフラを持続的かつ効果的にマネジメントするための調査、建設、維持、管理等の一連の仕組みを構築する。

インフラ分野のEBPM（Evidence Based Policy Making）による地域マネジメント手法に関しては、膨大なインフラの機能や役割を都市・地域単位で最大限発揮させるため、地域インフラを群として扱い、これらのインフラの利用が防災、交通、環境、医療等の他分野に与える影響や効果を各種データやシミュレーションにより、政策の立案、実施、評価、改善（PDCA）をハイサイクルで回し、デジタルツインを活用してEBPMによる国土・都市・地域づくりの施策の決定・評価が行えるシステムを開発する。

## 5. おわりに

2024年の初頭から、某紙で「日本反転」という特集が組まれていた。この特集では、1980～90年代

のバブル経済が崩壊してからの伸び悩んだ日本経済は、2000年の段階では世界2位だったものの、2023年には、米国など主要7カ国（G7）のうちで最下位、世界では32位に落ち込んだ我が国の今後の道筋をどう見極めるかという論調であったと記憶している。いわゆる「失われた30年」から、どのように脱却するか、という特集で、2024年は、日本は停滞から抜け出す好機にあると論じていた。また、2024年は、昭和の元号のままであれば99年だそうで、日本を世界第2位の経済大国に成長させた昭和のシステムは、99年目となると時代に合わなくなっており、日本を「古き良き」から解放し、作り変え、経済の若返りに向け反転することを期しており、最後は「（年功序列や下積みなどの）昭和の慣習が邪魔だ」「『昭和』をやめ、若い力を引きだそう」とまで言い切っていた。

さらに、1月1日の本紙に掲載された某企業が「失われた30年じゃない。天才たちが生まれた30年だ。」という広告を出していた。これは間違いなく、大谷翔平選手や羽生結弦選手（いずれも1994年生）、藤井聡太七冠（2002年生）さらにはONE PIECE（1997年連載スタート）などに代表される「若い力」のことだと思う。当初は、危なっかしい、頼りない、本当に大丈夫か？……などなど、考えてみれば、前の世代の先輩方から頂く新しい世代に対する不安や心配に類するコメントは、世の常ではないか。

このような元旦の新聞を読み解いていた矢先に、北陸・能登から大変に悲惨な地震のニュースを知ることになりました。稿末になり大変恐縮ではございますが、能登地震ならびに2024年9月の集中豪雨で被災された同地域の皆様に心よりお見舞いを申し上げます。

99年目を数える昭和を総括し、我が国を反転させ、スマートインフラマネジメントで未来社会の実現を目指すことを深く心に誓って、本稿をまとめたと思います。

#### 参考情報

- 1) 総力戦で取り組むべき次世代の「地域インフラ群再生戦略マネジメント」～インフラメンテナンス第2フェーズへ～（国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会・技術部会、令和4年12月2日）

[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kanbo08\\_](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kanbo08_)



- sg\_000282.html
- 2) 国土強靱化基本計画（令和5年7月28日閣議決定）  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/kihon.html](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/kihon.html)
  - 3) i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～（国土交通省、令和6年4月）  
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>
  - 4) SIP第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」（土木研究所HP）  
<https://www.pwri.go.jp/jpn/research/sip/index.html>
  - 5) 内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：エスアイピー、Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/index.html>
  - 6) 第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定）  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html>
  - 7) 令和3年版・科学技術・イノベーション白書（文部科学省）  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpaa202101/1421221\\_00023.html](https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202101/1421221_00023.html)
  - 8) SIP第3期における社会実装に向けた5つの視点  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sipgaiyou.pdf>
  - 9) 「総合知」の基本的考え方及び戦略的に推進する方策 中間とりまとめ（内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局、令和4年3月17日）  
[https://www8.cao.go.jp/cstp/sogochi/honbun\\_print.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/sogochi/honbun_print.pdf)
  - 10) 戦略的イノベーション創造プログラム運用指針（内閣府）  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sipshishin.pdf>
  - 11) 建設業デジタルハンドブック（日本建設業連合会）  
<https://www.nikkenren.com/publication/handbook/index.html>
  - 12) 国土交通省におけるインフラメンテナンスの取組（国土交通省総合計策局、令和4年度 PPP/PFI 推進施策説明会、令和5年1月18日）  
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kanminrenkei/content/001584616.pdf>

# 法定点検10年を経て、技術的評価に配慮した定期点検制度の見直し

国土交通省道路局国道・技術課 技術企画グループ 企画専門官

ます 増 たつろう 竜郎

## 1. はじめに

2024（令和6）年3月末に道路法に基づく、道路橋などの主要な道路構造物に対する法定の点検制度の見直しが行われた。

2014（平成26）年に法定化された5年に1度の頻度で行う定期点検を実施してきた10年を振り返り、新たな3巡目を迎えるに際して、専門家、各道路管理者及び有識者の方々とともに制度見直しの必要性などの検討を行ってきた。その結果、法令そのものは踏襲する一方で、今後の施設の一層の高齢化に備えた予防保全への転換やDX促進の観点を含めた運用改善を図るため、法令に併せて発出していた自治体等に対する技術的助言の内容や定期点検制度の運用の支援のための技術資料、点検結果記録様式などの参考資料について、見直しを行った。

## 2. インフラをめぐる状況

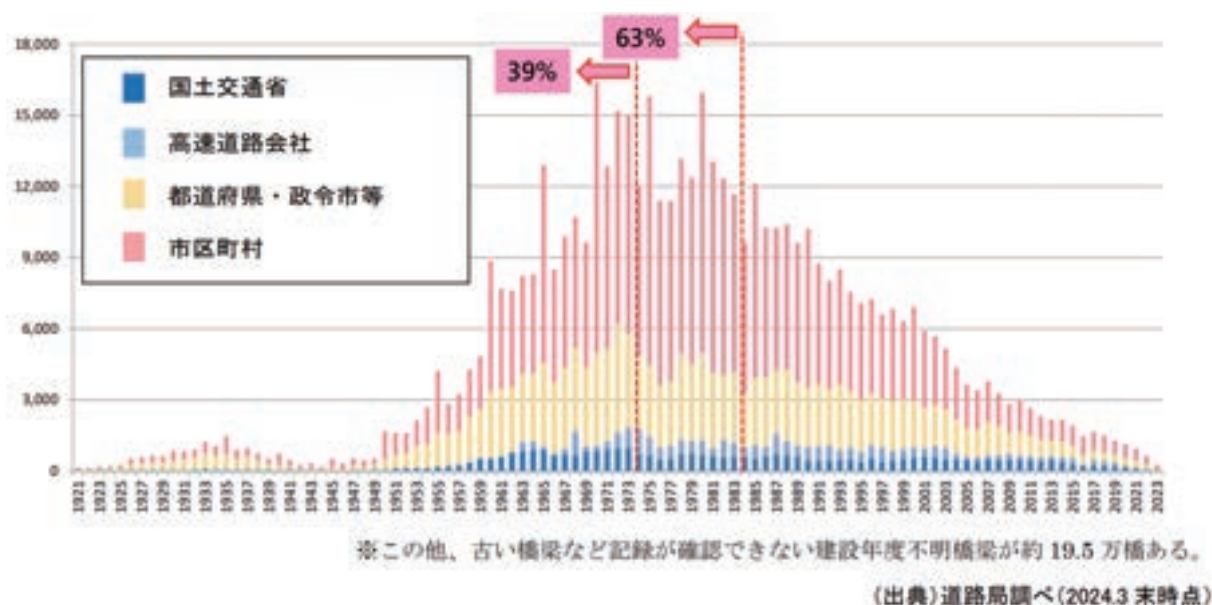
我が国の道路などの社会インフラは、戦後の復興から高度経済成長期にかけて多くの整備が進められ、以降の数十年にわたり、我が国の経済の発展、国民の生活の安全・安心を支えてきている。年月が

経つにつれて、古くなった橋に重大な損傷が生じるなど、社会インフラの老朽化が顕在化してきている。特に高齢化が先行する橋梁については、建設後50年以上経過する橋梁の割合が、現時点で約39%となっており、10年後には63%に達することとなり、老朽化対策の重要性はますます高まっている（図—1）。

また、地球規模の気候変動に伴い、降雨量は年々増加し、記録的な豪雨は、全国各地で毎年のようにその記録を更新している（図—2）。とりわけ、河川の増水に伴い、橋脚基礎部の洗掘による沈下や橋台周辺の護岸や土工部の崩壊が生じ、交通機能を損失する事案が後を絶たない。

更に、我が国は、地球を構成するプレートの境目に位置していることから、古来、全国各地で大小多くの地震が発生しており、甚大な被害を及ぼす大規模地震は、いつ、どこで起きてもおかしくない状況にある（図—3）。

そして、我が国は既に人口減少社会に突入しており、少子高齢化と人手不足は、既に顕在化しており、特に、建設分野においては、官民ともに、その状況が顕著に表れている。



図—1 建設年度別橋梁数

このような中、我が国の安全と発展を支え続ける社会インフラに対しては、人口減少・少子高齢化を前提として、大雨及び地震等の災害を考慮しつつ、定期点検を始めとするインフラ施設の高齢化対策を行っていくことが必要となっている。

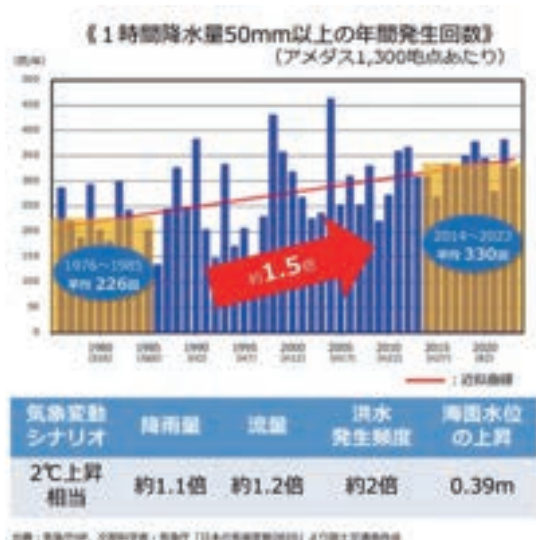


図-2 気候変動に伴う降雨量の増加

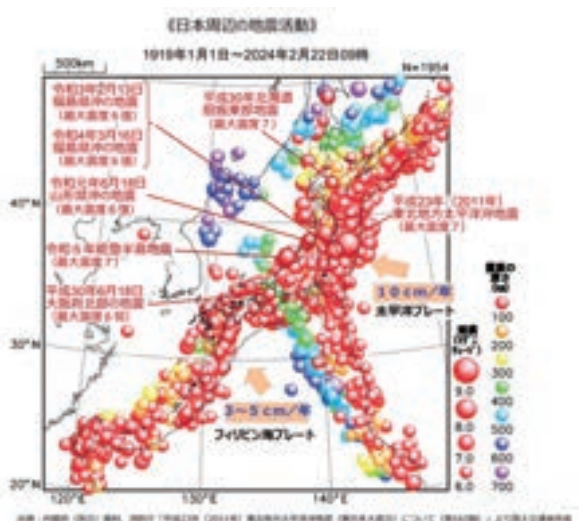


図-3 日本周辺の地震活動

### 3. 定期点検の改定

#### 3-1 定期点検の経緯

我が国では、従前、道路法（昭和二十七年法律第百八十号）の「道路管理者は、道路を常時良好な状態に保つように維持し、修繕し、もつて一般交通に支障を及ぼさないように努めなければならない。（第42条）」の規定に基づき、各道路管理者によって、点検や補修などの維持管理が行われてきた。

国では、過去から点検等は行われてきたが、1988（昭和63）年に、10年に一度の近接目視を中心とした定期点検の具体的な方法について取りまとめた

「橋梁点検要領（案）」を策定し、これにより統一的な方法で定期点検を進めてきた。

その後、2000年ごろからは、それまで道路橋については発生しにくいと考えられてきた鋼部材の疲労亀裂が構造上重要な部位で発見されるようになってきたことや、飛来塩分による塩害やアルカリシカ反応（ASR）によるコンクリート部材の深刻な損傷の発見も相次いで確認された。これらを踏まえ、2004（平成16年）に、要領の見直しを行い、新たな「橋梁定期点検要領（平成16年3月）」では、以前の要領で認められていた遠方目視のみの確認で済ませることはできないこととし、全ての部材に近接目視を行う事を基本とした。また、定期点検の実施頻度を5年に1度とし、以前の半分に短縮した。

その後、2007（平成19）年の米国での大規模な鋼トラス橋の重大事故、また、同時期の国内における幹線道路の大規模な鋼トラス橋等の斜材や吊材の破断など、供用中に主要部材が突如破断する事故が相次いで発生した。このように着実に高齢化が進む膨大な数の既設の道路構造物の保全に関心が高まる中、2007（平成19）年には長寿命化修繕計画策定事業費補助制度を設け、2008（平成20）年には国が設置した有識者会議にて「道路橋の予防保全に向けた提言」を取りまとめるなど、老朽化対策の検討が加速される中、2012（平成24）年には供用中の高速道路でトンネル天井版の崩落による死傷事故も発生した。

こうした国内の道路施設の老朽化対策の必要性に係る背景のもと、2013（平成25）年に道路法の一部を改正し、道路法施行令において全国の橋やトンネル等の道路構造物に対する定期点検の実施を定め、さらに、翌2014（平成26）年に、「道路法施行規則の一部を改正する省令」及び「トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」とともに、点検、診断、措置、記録について具体的に定めた定期点検の実施にかかる技術基準を整備し、同年より、全国にて法定の点検が開始された。

#### 3-2 法定点検の実施と改定の経緯

法令に基づき、「点検を適正に行うために必要な知識と技能を有する者により、近接目視により、五年に一度の頻度で行うことを基本」とし、「点検を行ったときは、健全性の診断を行い」、「その結果を『トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示』に定められた区分に分類する（表-1）」ことと



表一 トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示

(平成二十六年国土交通省告示第四百二十六号)  
施行：平成26年7月1日

トンネル等の健全性の診断結果については、次の表に掲げるトンネル等の状態に応じ、次の表に掲げる区分に分類すること。

| 区 分 |        | 状 態                                          |
|-----|--------|----------------------------------------------|
| I   | 健全     | 構造物の機能に支障が生じていない状態。                          |
| II  | 予防保全段階 | 構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。  |
| III | 早期措置段階 | 構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。            |
| IV  | 緊急措置段階 | 構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。 |

表二 平成26年からの法定点検制度の総括

#### ■法令及び技術的助言の内容は概ね妥当

ただし、

- ①外観のみからの機械的な評価（措置方針を決定）が散見され、点検品質にばらつきが生じている可能性がある。
- ②記録すべき所見の内容にばらつきがあり、記録品質とデータとしての有用性に課題がある。
- ③重要性の低い情報まで機械的に取得する不合理が散見され、そのような情報取得について自治体に負担感が生じている可能性がある。

全国説明会資料「定期点検（法定点検）について 道路局 国道・技術課」(参考：国土交通省HP)より抜粋、一部加工

された。健全性の診断の区分は、施設単位で決定するものとされており、その決定には、耐荷性能や耐久性能といった物理的性能の評価のみならず、当該施設の位置づけや維持管理計画などについての道路管理者の考えが反映されるものと解釈される。

なお、点検を知識と技能を有する者による近接目視で行うことが基本とされている理由は、必要な知識と技能を有する者が、近接して外観性状を直接確認し、必要に応じて打音や触診を行うことが、一般的な条件においては最も合理的な方法であると評価されたためである。また、非破壊検査や材料調査の実施など適切な診断のために何を行うべきなのかについて、必要な知識と技能を有する者が対象に近接することで適切に判断できるとの考え方による。

さて、まずは、全国網羅的に点検を行うこととした1巡目の5年間を終え、2巡目に入るにあたっては、点検対象の物理的特性に応じたよりの確な対応のため、水中部等の目視困難箇所に対する点検支援技術の活用推進を図るとともに、溝橋等の簡易な構造に対してより合理的に点検が行えるよう配慮を行うな

どの改善を図った。

これらの法定点検は、毎年度、全国の道路管理者に対して実施状況を調査し、その結果を「道路メンテナンス年報」として取りまとめ、公表し、着実な実施を確認してきた。

そして、2巡目が終わると見込まれた2024年度末に向けて、これまでの取組みを踏まえ、制度の見直しの必要性などについて検討を行った。この制度の見直しにあたり、社会資本整備審議会の道路分科会に設けられている第三者委員会である道路技術小委員会（委員長 二羽淳一郎名誉教授（2024年10月時点））において、方向性などについて審議がなされてきた。審議の過程では、全国自治体等へのアンケート調査や県市町村の各道路管理者も参画した分野会議も含め、多くの様々な角度から議論が行われた。その結果、全体的な総括としては、法令及び技術的助言の内容は妥当との認識が示された一方で、改善すべき課題も認識された（表二）。

このような、総括を踏まえ、令和6年度からの法定点検制度の見直しでは、大きく次の3つの対応を

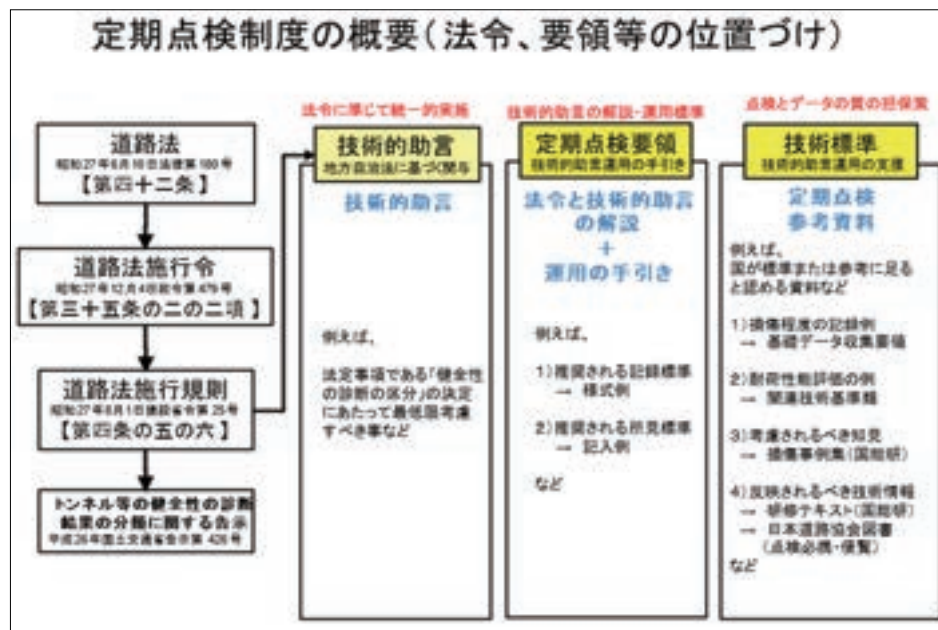
図った（表—2の課題との対比）。

- ①→最終的に道路管理者が行う措置方針の決定としての「健全性の診断の区分の分類」のために、必要な技術的検討が行われるための配慮。[主に技術的助言及び点検要領]
- ②→法定点検の参考資料として国が示してきた記録様式の改善。[主に点検要領の付録]
- ③→法定点検の所見の根拠としての意味合いである上記②の記録様式とは別に、統計分析での活用など実務上の有用性を失わない範囲で情報量を絞り込んだ客観的データの取得方法の提示。[主に基礎データ収集要領]

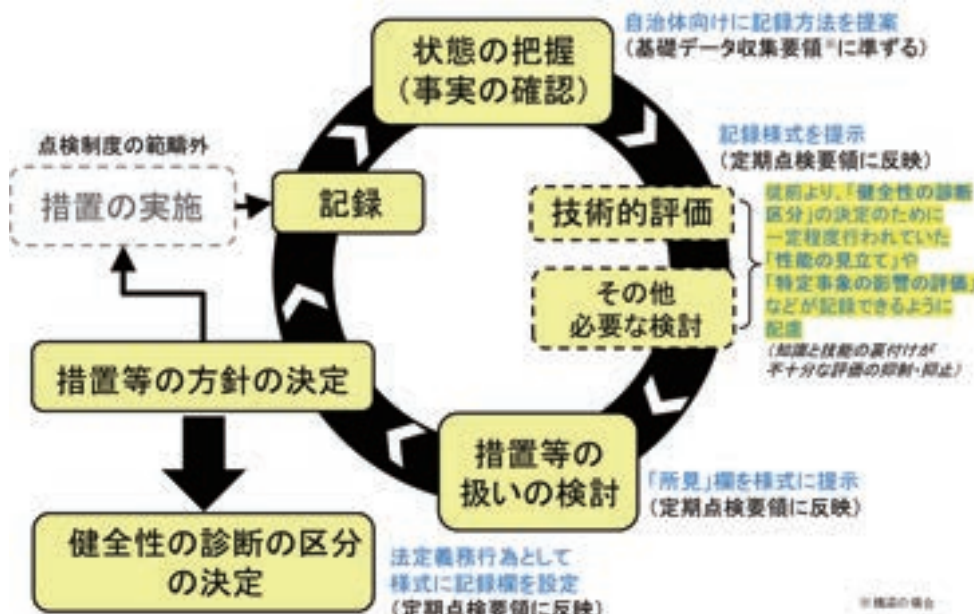
これら一連の定期点検制度に係る対応は、道路法及び関係令に基づき、法令事項の最低限考慮すべきことを定めた「技術的助言」、技術的助言の運用の手引きとしての「点検要領」、運用の支援のための「技術標準」といった体系から成る（図—4）。

### 3-3 定期点検要領の改定内容

今回の定期点検制度の見直しの要点としては、対象施設の状態を把握し、健全性の診断の区分のための措置等の扱いを検討するために、従前も知識と技能を有する者により行われてきた「技術的評価」が、適切に記録できるように配慮したことである（図—5）。



図—4 法定点検制度の実施体系



図—5 道路法に基づく定期点検制度の見直しのポイント

そこで、定期点検要領の改定に関して、橋梁については、健全性の診断の区分の決定の大きな根拠ともなる技術的な評価が確実に行われるとともにその記録が残る様式とした。具体的には、道路橋の状況によっては損傷等が生じる可能性が有ると考えられる規模の「活荷重、地震、洪水など」の作用に対して、何らかの「被害が生じる懸念」が有ると言える状態なのかどうかの評価結果の記録欄を設けた。その一方、従前、本来「施設単位で決定される健全性の診断の区分」（Ⅰ～Ⅳ）と同じ定義による区分を構造単位毎に記録するようになっていたことについては、上記の改定に伴って廃止し、記録としての品質向上と合理化を図った（図―6）。

また、予防保全や防災の観点からも重要なこととして、疲労や塩害、洗掘等の特定事象を的確に把握するとともにその影響が点検時にも適切に評価されることをねらいとして、それらの重要な事象の有無を記録できるようにした（図―7上段）。

以上のように、主として耐荷性能に着目した技術的評価と、耐久性に着目した特定事象に関する技術的評価が確実に行われることとなる。そして、このような記録構成とすることで、自由記述の所見記入欄には、上記の技術的評価の補足や他の様々な損傷などに対する評価が、健全性の診断の区分との関係に着目して記載しやすくなり、記録内容や品質のばらつきが小さくなることが期待される（図―7下段）。

図―6 記録様式の見直し（技術的評価）

図―7 記録様式の見直し（特定事象：上段、所見：下段）







写真—1 現地説明会の様子（北海道開発局）

#### 4. おわりに

今回の改定では、工学的な評価の適正化を軸に、記録の合理化、点検支援技術の有効活用、維持管理データの有効活用を図ったところであるが、重要な意図は、今後、数十年かけて道路インフラの更なる高齢化が着実に進行する一方、それらを支える技術者が減少していく中で、橋梁等インフラの状況を的確に把握し、致命的な事態に陥る前に、適切なタイミングで適切な補修等の措置を行うこと、いわゆる、予防保全が図られることに期待しているところにある。

これらの改定の意図について、全国の道路管理者及び点検実施者にできるだけ正確に理解して貰うために、道路管理者及び建設コンサルタント企業等向けの全国Web説明会をはじめ、全国の各地方整備局等の主催による自治体職員等の道路管理者を対象とした説明会を実施してきた。全国各地において、国土技術政策総合研究所の専門家とともに、制度の趣旨や要領改定の意図と技術的背景などについて、より正確に、そして、実感をもって理解して貰うために、実際の橋梁の現場での解説を含む説明会を行った（写真—1）。小生も数か所参加したが、施設の老

朽化状況とともに、自治体や整備局の職員の維持管理に対する切実で実直な取組を肌で感じられたことは、重要な機会であった。また、各地方整備局等で実施している各都道府県で開催する道路メンテナンス会議でも意見交換が行われており、引き続き、現場の状況の把握に努め、必要な改善を図ってまいりたい。

（参考）

- ・国土交通省ウェブサイト：社会資本整備審議会 道路分科会 第20回道路技術小委員会 配付資料
- ・国土交通省ウェブサイト：社会資本整備審議会 道路分科会 第19回道路技術小委員会 配付資料
- ・国土交通省ウェブサイト：[道路＞維持管理＞道路の老朽化対策]
- ・道路メンテナンス年報
- ・「道路橋定期点検要領（技術的助言の解説・運用標準）令和6年3月 国土交通省 道路局」
- ・基礎データ収集要領（道路橋）（令和6年版）
- ・「令和6年定期点検要領の改定の説明会資料」 他

# 全国道路施設点検データベース（道路橋）の管理運営

企画部 橋梁データ管理室長 桐原 進彌

## 1. はじめに

国土交通省が運用・構築を進めている道路データプラットフォーム「xROAD（クロスロード）」は、基盤データとされるデジタル道路地図データベースや道路基盤地図情報、モービルマッピングシステム、レーザープロファイラなどから得られるデータ群に対して、道路構造物の諸元データや定期点検結果、BIM/CIMデータなどから構成される橋梁・トンネル等の構造物データ、ETCやCCTVカメラ、巡回車載カメラなどから得られる交通量等のリアルタイムデータを紐づける、3次元道路データプラットフォームとなっている。

また、xROADのAPIを公開して一部データを民間

開放することにより、アプリケーション開発やAI技術などのオープンイノベーションを促進すること、xROADやそれらのイノベーションを道路施策検討や現場管理などに活用して道路行政を効率化することを主な目的としている（図-1）。

橋梁調査会は全国道路施設点検データベース（道路橋）（以降、道路橋DBと称す）の管理運営機関として、道路橋の諸元データや定期点検結果が登録されたデータベースの管理運営を行っている。なお、管理運営機関には令和3年度に3年間を期限に指定されており、新たな公募により令和6年度から3年間指定されている。

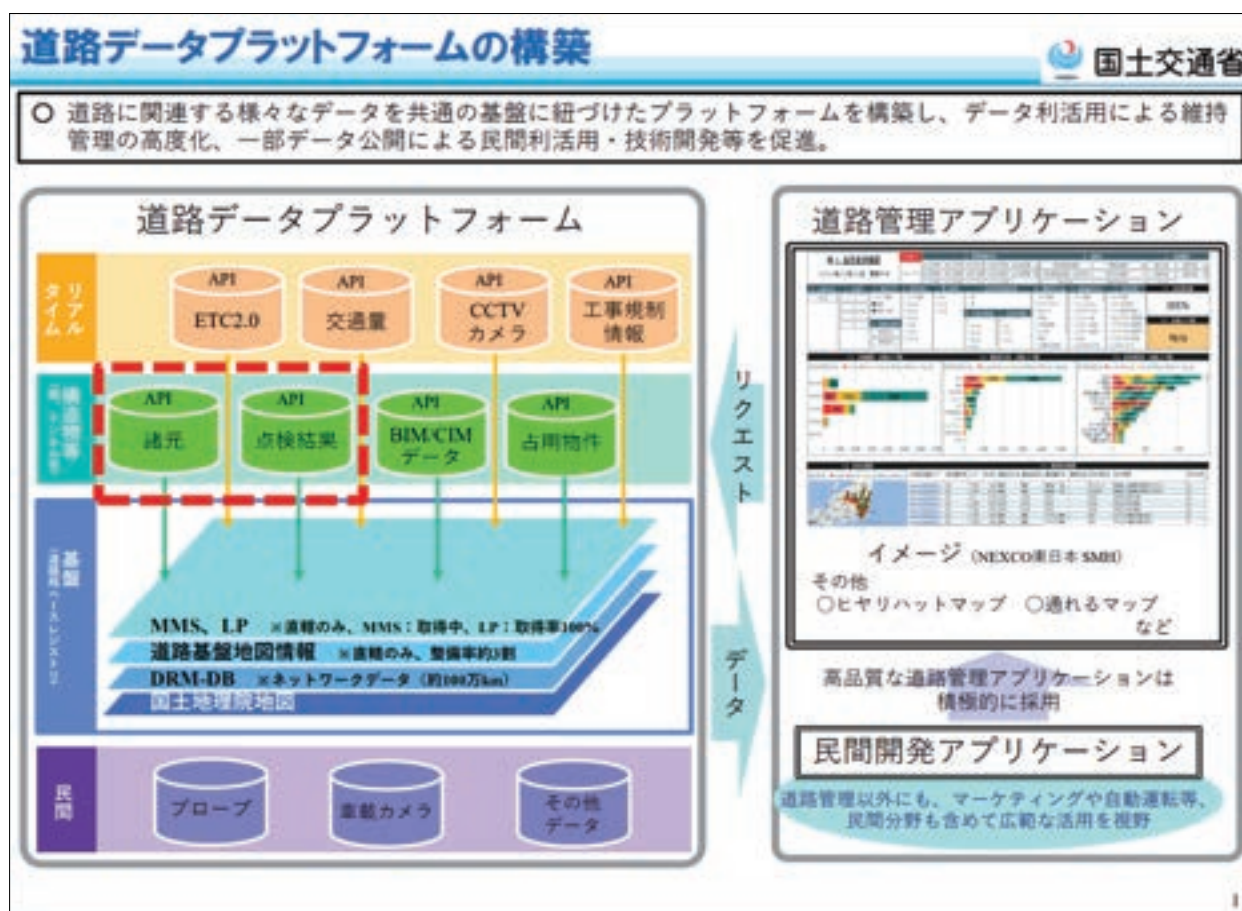


図-1 道路データプラットフォームの構築

出典：2023年1月19日 第7回道路技術懇談会 資料1



## 2. 道路橋DBの管理運営

橋梁調査会は、国が管理する道路橋の診断業務を事業の柱としているが、新たに道路橋DBの管理運営を実施する組織を立ち上げて対応している。

道路橋DBは令和3年9月よりDBの設計・構築を開始し、令和4年7月に閲覧・取得サービスを、同11月からは登録サービスを開始している。以降、道路橋DBの利便性を向上させるために改良業務としてAPI機能の拡充、登録機能の改良および令和6年度改定の定期点検要領に関する対応を行っている。なお、クラウドサーバ費用やセキュリティ対策等のシステム運用や保守・ヘルプデスク等のランニングコストについては、閲覧・取得および登録の有償サービスによって費用を賄っている。

道路橋DBで扱うデータは、全国約72万橋の道路橋

における道路法77条に基づく道路の維持または修繕の実施状況に関するデータと道路橋定期点検要領で示されている記録様式（以下、記録様式という）、および国が管理する約38,000橋の詳細な点検結果等である。DBに登録されているデータのうち、橋梁を特定する幾つかの項目と橋としての健全度は損傷マップ（<https://road-structures-map.mlit.go.jp/>）にて無償で公開されているが、他の多くのデータは有償公開となっており、道路管理者においても自管理データ以外は有償公開となっている。

閲覧・取得サービスを有償利用された一般ユーザは令和4年度が46ユーザ、令和5年度が151ユーザであった。なお、令和5年度より閲覧・取得サービスは地域分割も運用しており地域分割は151ユーザのうち85ユーザであった。

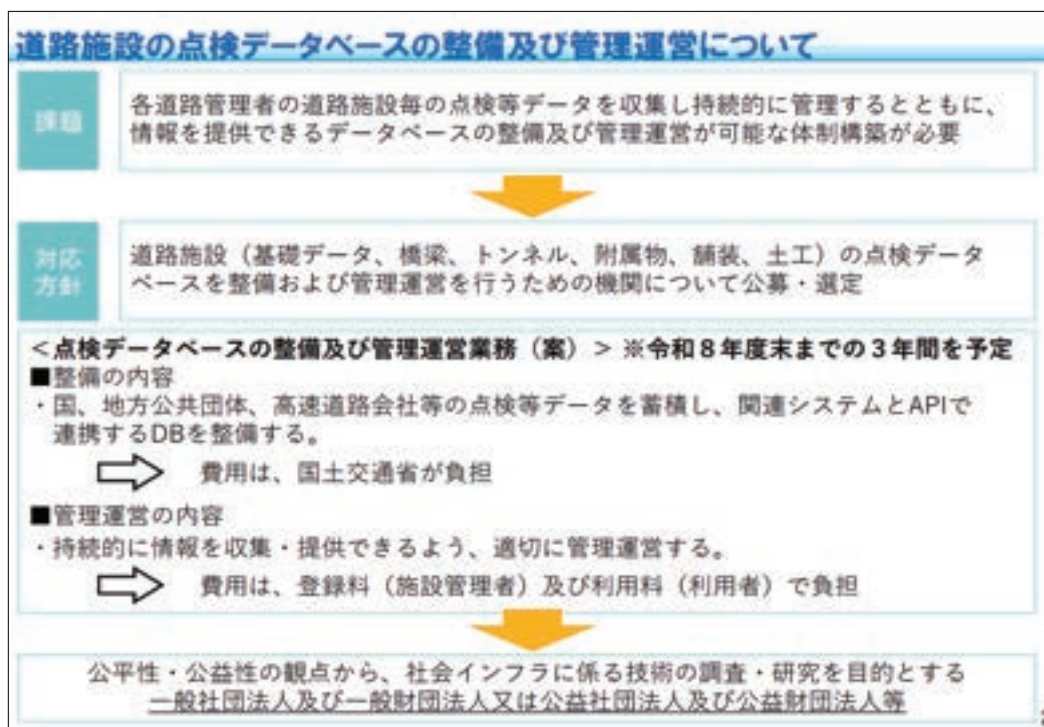


図-2 道路施設の点検データベースの整備及び管理運営について

出典：2023年1月19日 第7回道路技術懇談会 資料1

## 3. 道路橋DBの利活用に向けた検討

橋梁調査会では、道路橋DBの管理運営団体として、その普及や利用促進に貢献することも重要な役割の一つであるとの考えから、その課題や今後の方向性について、道路橋データベースの利活用に関する検討委員会（委員長：中神陽一道路協会橋梁委員長）を令和4年10月に立ち上げ、以下の着眼点で検討を進め、令和6年3月に提言としてまとめた。

以降、本稿はその提言から抜粋したものである。

提言は、これら4つの着眼点について、経験・知見を有する方々にヒアリングを実施し、そこで得られた意見やアイデアに基づき作成したものである。

なお、財政的視点及び計画的視点に関しては、道路管理者（国／自治体／高速道路会社）、実施事業的視点に関しては、製作施工・設計・調査会社（橋梁関係協会／ゼネコン／財団／建設コンサルタント）、高度利用的視点に関しては、学識者（大学／研究機関）へヒアリングを実施した。

表ー1 道路橋データベースの利活用についての4つの着眼点

| 着眼点                                          | 項目                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 財政的視点<br>(将来見込み、予算要求、配分etc)                | 1) 新規路線に係る整備費用(橋梁区間工事費)<br>2) 施策立案(例:日本版MaaS推進)に資する検討資料の抽出<br>3) 主に上部工(床版)補強を必要とする橋梁の抽出・補強費用の算出<br>4) 主に下部工(基礎)補強を必要とする橋梁の抽出・補強費用の算出<br>5) 老朽化による架替えを必要とする橋梁の抽出・架替え費用の算出<br>6) 点検対象となる橋梁の抽出・点検費用の算出(5年毎 ※国管理橋梁のみ初回2年以内) etc.                |
| ② 計画的視点<br>(整備計画、補修計画、道路リスクアセスメントetc)        | 1) 新規路線計画時における“実現性”の確認(架橋位置、条件等)<br>2) 橋梁形式(支間長・径間割)の参考資料<br>3) 長寿命化修繕計画の策定<br>4) 補修・補強工事などの交通規制方法の検討<br>5) 橋梁架替え時などにおける代替路線(橋梁)の確認<br>6) 発災時における避難経路の検討(地震動及び降雨・出水に対するリスクの評価)<br>7) 防疫措置検討時等における効率的な通行止めの検討 etc.                           |
| ③ 実施事業的視点<br>(各種設計、点検等の効率化、工事発注、補修事例の蓄積etc)  | 1) 設計時における構造高の初期設定(桁高スパン比)<br>2) 橋梁点検業務の集約化(場所/形式/規模/方法・・・別)<br>3) 点検方法や使用重機に応じた橋梁点検の標準化計画立案<br>4) 施工(新設/補修/補強)に要した日数の確認(交通への影響度確認)<br>5) 問題が生じた製品(または形式等)を使用した橋梁の抽出<br>6) 損傷別(程度/規模/要因)補修・補強事例の検索(実績・内容・工費等) etc.                          |
| ④ 高度利用的視点<br>(研究、基準改定、AI、民間利用(AI開発含む)、広報etc) | 1) 橋梁の劣化要因に関する研究<br>2) 損傷傾向分析による設計基準の見直し<br>3) 点検結果に基づく点検要領の見直し(橋種/形式/使用材料等)<br>4) 損傷写真を教師データとして活用したAIによる診断支援システムの開発<br>5) 点検要領、結果を参考とした専用アプリケーション開発資料<br>6) プレキャスト/場所打ちコンの劣化進行比較結果の公表(アカウンタビリティ向上)<br>7) 橋梁の工事や点検現場の見学会(インフラツーリズム)の展開 etc. |

### 3.1 道路橋DBの現状(今できること・実施していること)

現在利用できる機能は、データ登録(画面登録、様式アップロード登録、一括登録)、検索/閲覧(地図や一覧表、様式出力)、APIを介したデータ取得機能(管理項目提供、様式生成提供)、APIを介したデータ登録機能(道路管理者の独自DBとの連携用)がある。

これらの状況において橋梁調査会における運用・広報活動としては、取り組み内容や動画マニュアル及びAPI仕様書等を公開している。また、利用者からの問い合わせ窓口を設置し、メールや電話にて受付・対応を図っている。

### 3.2 現在の道路橋DBの課題

令和4年度よりサービスを開始した道路橋DBは、定期点検結果を登録する器を構築することを再優先として運営を開始したため、利用者へのサービスに対してはさまざまな課題をもっている。

#### (1) 管理データ項目とデータ連携

現在の道路橋DBは情報種類ごとにつくられたDBが別構造のままとなっており、設計、施工、点検、修繕という流れで情報を参照することが難しい。

また、データ連携では、電子成果情報として存在するCAD、BIM/CIMなどが参照できないことが課題

である。

#### (2) 登録データの精度

登録データの精度は登録者の責務ではあるものの、写真の撮り方がバラついておりAI教師データとして活用し難い、あるいは記入者による備考や所見などの記載内容のバラつきが生じており、文章データを活用した検索がしづらいといったことがあげられる。

#### (3) システム機能の利便性

システム機能については、どんなデータが格納されているのかわかりづらく、DB内のデータを取得する作業が非効率である。

また、床版とその舗装の状況、橋梁上の附属物などの他施設、他DBとのデータ比較・連携が確立されていない。

#### (4) アクセス権限と利用料金

API連携におけるアクセス権限の不便さ(IPアドレス固定では出先で使えないなど)や料金設定に対する見直しなどが要望されている。

#### (5) 道路橋DBの広報活動

道路橋DBそのものやAPIの存在や仕様が世に十分に伝わっていないなどがある。

## 4. 今後取り組むこと

xROADを構成するDBの1つである『道路橋DB』を管理運営する橋梁調査会としては、道路橋の点検結果を主とする情報の器を管理する役割、その器（道路橋DB）で管理する情報が広く利活用されることを促す役割の2つの役割を担っている。

まず、あらゆる情報を道路橋DBに一元的に格納することを目指すのではなく、必要な範囲を見極め、他のDBで管理されているものは連携で対応することを基本とし、むしろデータの重複管理を回避するよう努める。

次に、道路橋DBはデータを管理・提供する器であるという基本思想のもと、管理運営機関として道路橋に関する専門的なDBとして必要かつ精度の高いデータを管理し、そのデータの活用・連携を誰もが容易に行うことができる環境を整える必要がある。一方で、一部の目的やニーズに特化した機能や他の限定したDBと連携する機能の類は、基本的に道路橋DBの機能ではなく、アプリ開発の取り組みに委ね、道路橋DBとしてはその支援に取り組む。

### 4.1 「道路橋の点検結果を主とする情報を管理する器としての役割」を果たすために

#### 4.1.1. 管理すべき項目の精査、適正化

道路橋DBで保持すべきものと他のDBと連携できればよいものを棲み分けるといった管理項目の精査が必要である。

##### (1) 補修情報等の拡充

措置状況の把握や修繕計画の立案等に必要となる補修情報のうち、工法やコスト等については、現状、概要的な情報が管理されている状況にある。今後、管理項目を増やす、または電子成果品の管理DBと連携するか、連携するならば何をキーにするか等の検討が必要である。電子成果と道路橋DBが確実に連携できる情報が確保できるように、必要に応じて電子成果品作成要領との調整も必要となる。

##### (2) 自治体の参加を促すための管理項目の検討

道路橋DBの管理項目は、全ての道路橋の77条調査と記録様式を対象としている一方で、定期点検情報の詳細は、橋梁定期点検要領に倣い設定されているため、独自の点検要領で維持管理を行う自治体等は、道路橋DBを活かし難い状況にある。

今後、全ての自治体の点検要領に対応することは現実的ではないが、自治体参加の門戸を広げるため、

データ登録が可能となるよう検討中である。

##### (3) 記録様式の充実化

記録様式は、自治体等を含む全道路管理者共通の道路橋記録様式・管理項目であるが、概略的な諸元・点検結果である。また、重要な情報が記載される所見欄は文章形式項目であり、検索などで活用し難い状況にある。このため、点検成果をより有効に活用するための管理項目の見直しが必要である。

なお、この充実化については令和6年3月に道路橋定期点検要領が改定されたことにより記録様式が変更されたので、点検結果の有効活用が期待できる。

#### 4.1.2. 精度の高いデータが蓄積される仕組みづくり

データは道路管理者や点検業者等によって日々更新されていくため、データの精度を維持し、高めるための仕組みを強化する必要がある。

そのため、必須入力項目の設定や漏れのチェック、未補修の部材の損傷評価の好転、前回点検部材に対して未入力箇所がある際に警告を発するなどのデータ登録時のチェック機能の充実化によって、データ登録や更新の都度データが精査されていく仕組みを設けるのが望ましい。

#### 4.1.3. 統一性のあるデータが蓄積され続けるためのルールづくり

DBに多くのデータが蓄積されていても、そのデータの作成基準が不明瞭であったりデータの特徴から統一が図りづらかったりバラつきが生じていれば、検索、比較などを効果的に行うことができない。

今後、橋梁台帳やカルテデータの更新は道路管理者だけでなく、設計・施工業者が行うという運用に取り組む中で、様々な作業者が同じ基準でデータ更新ができるように、定義の明確化を図るのがよい。

### 4.2 「道路橋DBで管理する情報が広く利活用されることを促す役割」を果たすために

#### 4.2.1. データ管理情報の標準化と他DB間の連携・互換性向上

道路橋DBで管理する情報が広く利活用され、特に他DBのデータ管理情報と連携して有効に活用されていくためには、DB間で共通に用いられる情報については、その標準化を図り、互換性を高めることにより、データを連携・利活用する都度生じている変換処理を不要にする必要がある。



また、連携の実現に有効な情報としてどのような項目を持ち、その定義も合わせて明示しておくことで、より連携が行いやすくなる。

#### 4.2.2. 管理データ項目の明示と提供

どのようなデータを管理しており、どうやって利用できるかを分かりやすく、利用者（利用可能性がある人）に示す必要がある。

橋梁台帳、点検、補修等のようなデータが管理されているか提供するだけでなく、管理項目名のみならず、データ形式として数字／文字列、選択式（選択式ならばその種類）やデータ構造（ER図）等を示すものとし、ファイル類はその内容やファイル形式、画像データは解像度といった管理項目の種類や規格の明示をする。

これら管理データ種類、データ型、サンプルデータは、DB紹介用サイトにて、各種DBと管理項目のリストやAPI仕様書などの技術情報の取得先情報などと合わせて一元的に公開しているが、公表場所として道路橋DBや全国道路施設点検DBに限らず、xROAD全体を紹介するサイトとし、利用者が活用できる情報を把握、探しやすいことが重要である。

#### 4.2.3. 持つべき機能の役割分担と利便性向上

道路橋DBは必要なデータを格納する器であるという基本構想に倣い、道路橋DBには蓄積されるデータを応用的に利活用できる様々な機能を備えていくのではなく、道路橋DBが確実に備えるべき基本的な機能とアプリ開発側に委ねる機能の役割分担を、DB利用者のニーズ（最大の利用者である道路管理者（直轄）のニーズ）を明確にした上で、道路橋DBの利便性向上を図る。

##### (1) 道路橋DBが持つべき機能とアプリ開発側に委ねる機能の棲み分け

道路橋DBが持つべき基本的な機能としては、参照性・活用性を高めるための機能が該当し、以下にその事例を示す。

- ①点検実施状況の確認（点検計画の立案、調整、点検漏れ抽出）
- ②措置が必要な道路橋の抽出（特異な変状が発見された橋梁と同じ構造を持つ橋梁、対策区分Ⅲの抽出と補修未実施橋梁など）
- ③地図への展開（健全度別、措置状況別、特定損傷の発生箇所など）

##### ④設計（橋梁台帳）、点検履歴、補修履歴などの情報を時系列的に参照

また、アプリ開発に委ねるべき応用的な機能として、利用者側独自の基準や観点が含まれるものや他DBと連携を伴う機能など、民間企業等による独自性・開発競争を期待するものが該当し、以下にその事例を示す。なお、この際、アプリ開発を促すための対策を別途図ることが必要である。

##### ①劣化予測、LCC計算

##### ②道路橋位置と道路ネットワーク情報を加味したリスク評価

##### ③健全度と人流データを加味した橋梁統廃合計画支援

##### ④道路巡回における異常記録との連携支援（M判定の橋梁を地図上に表示など）

##### ⑤点検支援機能（モバイル端末での前回点検結果の閲覧、点検結果の登録）

##### ⑥データ管理情報を用いた各種集計支援（BIツール等の活用）

##### ⑦損傷写真に対するAI診断（健全性診断、補修工法や費用推定、損傷要因推定など）

#### (2) 道路橋DBの操作性・利便性の向上

道路橋DBの操作性・利便性を向上させるためには、検索／閲覧やデータ登録・更新に関する基本的な機能は、過度にマニュアルに頼ることなく直感的に利用でき、利便性が高いものを目指す必要がある。

検索機能では、管理項目に対する検索条件の設定や組み合わせの自由度、地図表示機能との連動性を高める。

検索結果に対しては、参照性や二次活用性を高めるために一覧表示項目の任意設定機能、CSVやExcel、GISと連携しやすいGeoJSON等での出力機能なども考慮する。

また、アプリケーション開発を促すために、道路橋DBに備えられるデータ取得用APIに対しても、様々なデータ取得ニーズに対応するために、その利便性や汎用性を高める。

#### 4.2.4. アプリ開発を強く後押しするための取り組み

道路橋DBで管理される情報を用いたアプリケーション開発を強く後押しするために、開発に必要な技術情報や開発事例、DB利用者のニーズを公募・公表することで、アプリ開発の取り組みをDB運営者とアプリ開発者と協働で加速させる。

### (1) アプリ開発のための技術情報・環境の提供

アプリ開発を推進するための技術情報の提供として、APIによるデータ取得に関する事例コードをAPI仕様書に記載するなどの充実化やアプリ開発事例やサンプルコードなどの紹介を提供するとともに、アプリ開発者向けのAPI利用環境としてAPI利用による実環境へのアクセス負荷回避、登録系APIの試行用の環境を提供するなどを行う。

### (2) アプリ開発を促すイベントの開催

アプリ開発を促すイベントとして、コンテスト（オープンデータチャレンジ）やユーザ会議などを開催する。

## 4.3 その他 運用に関する取り組み

### 4.3.1. 利用者を増やすための料金設定や利用環境の工夫

道路橋DBやアプリ開発の取り組みにおいて懸案となり得る事項に、利用料金や利用環境の制約がある。道路橋DBの運営費の捻出やセキュリティ対策を考慮したものであるが、利用者視点に立った場合、これらについては工夫を行う余地がある。

今後、運用が軌道に乗り、利用者が増え、利用費収益が上がることを前提とすれば、料金の見直し、長期利用割引、地域や利用可能項目を限定することや、アプリ開発後の開発事例紹介等を条件とした割引制度導入など柔軟な料金体系を設定する可能性を検討する。また、アプリ開発をより強く促すために、アプリ開発専用ライセンス（安価または無料など）も検討する。

一方、道路橋DBへのアクセス環境の条件となっているIPアドレスやドメインによる縛りに変わる方法も検討し、利用環境の汎用性を高めるための検討を行う。

### 4.3.2. 定期的な利用者からの意見収集・広報活動

#### (1) 定期的なユーザ会議の開催

ユーザ登録者、アプリ開発経験者などを参加者としたユーザ会議によって、課題点などの意見交換を行い、その改善に取り組む。

#### (2) 取り組みのアピール、利用者募集広告の発信

道路橋DBだけでなく、xROADや全国道路施設点検DBの取り組みを広くアピールし、その活動やDBの利便性をこれまで以上に強くアピールする。具体的には、利用者募集の広報活動を行い、利用者数の増加やDB利用費の検討などに取り組む。

### 4.3.3. データ登録・更新に対する意識改革

道路橋DBに登録されたデータがどのような場面活用され、役立つことができるのか、またデータに不備があると、どういった影響を及ぼすのか等について、道路管理者が常に意識し、点検や修繕工事の発注者及びデータ更新業者にも明示することで、これまで以上にデータとその更新作業の重要性を意識し、作業に取り組めるように意識改革を図る。

## 5. 今後に向けて

### 5.1 この提言に期待すること

道路橋DBの取り組みが、全国道路施設点検データベースを構成する他の道路施設DBに波及していき、更には、xROAD全体に波及していくことに期待する。

### 5.2 当面の進め方

提示した各提言について、着手可能なものから対応していく。

- ①同類データの統廃合、データ登録者の責務・意識改革など管理データの適正化と精度向上に向けた取り組み
- ②任意検索機能、登録データの一括ダウンロードなど利便性向上のための機能の拡充に向けた取り組み
- ③施設ID、DRMパーマネントID、座標による紐づけ等による他DBとの連携を図るため、連携キーの設定や連携手法の具体化を推進する取り組み

## 6. おわりに

本報の大半は、道路橋データベースの利活用に関する検討委員会にて審議された提言である。審議には国を始め多くの道路管理のご協力を、課題抽出には学識経験者や民間技術者のご協力をいただいた。ここに心から感謝申し上げます。

全国道路施設点検データベースのURL

<https://road-structures-db.mlit.go.jp>

# AI画像処理を用いたナット回転履歴によるボルトの緩み検知

横浜国立大学 都市イノベーション研究院 助教 平尾 賢生

## 1. はじめに

鋼橋で用いられる高力ボルト摩擦接合継手（以下、ボルト継手）の耐荷性能は、ボルト軸力の影響を受けることが知られている<sup>1)</sup>。ボルト軸力は初期緩みによるリラクセーションの他、長期的な供用、振動や地震などの影響<sup>2~5)</sup>によって、供用後にも低下する可能性があるという報告がなされている<sup>6~9)</sup>。そのため、ボルト継手においては、ボルトの残存軸力を把握し、適切に管理していく必要がある。

現在では、ボルト1本1本をハンマーで打撃し、緩みが確認された場合に増し締め等が行われる。これには時間と労力を要し、技術者が不足している近年では厳しい状況にある。また、技術者の打撃力によっても評価が左右され、定量的な評価は困難である。そのため、ボルト軸力を非破壊的に評価しようとする研究は多くなされており、超音波<sup>10)</sup>、打音、電気伝導率、圧電セラミックスなどを用いた手法が検討されている。また、近年では、短時間で数百本という数のボルトを点検することを考慮して、タブレットやカメラを使用してボルトの緩みを評価する画像処理の研究もなされており、機械学習と組み合わせた評価を行っていることが多い<sup>11)</sup>。画像処理や機械学習を用いてボルトの緩みを評価する手法の多くは、ナット側に着目している。ボルトとナットではナットの質量が小さいため、ナット側が回転して緩むことが多いとされているが、機械工学の分野で扱う比較的小さいボルトに関して、ボルト側が回転する可能性も指摘している。

そこで、本研究では鋼橋で多く用いられるF10T M22のボルトに対して、長期供用によるリラクセーション及び引張荷重適用によるすべり発生時のボルトナット緩みのメカニズムを明らかにした。その結果を基に、ボルトの緩みをAIと画像処理を用いて検知するシステムを構築した。橋梁の定期点検は5年に1度とされており、5年前を想定したボルトの写真と現在を想定したボルトの写真を比較すること

で、5年前からの回転角の変化に着目した検知手法である。

## 2. ボルトナット緩みのメカニズム

ボルト軸力の低下について、本研究ではボルトナットの回転緩みに着目する。初期緩みや長期供用によるリラクセーションによって、ボルト軸力は低下することが知られている。また、地震等によってボルト継手にすべりが発生した際にもボルト軸力の低下は確認されている。そこで、本章ではそれらの影響によるボルトナットの回転緩みに関するメカニズムを明らかにする。

### (1) 長期リラクセーションによるボルトナットの回転緩み

リラクセーション用の試験体の概要を図-1に示す。長期リラクセーション後に引張試験を行うため、土木学会の標準試験片を基に設計した。鋼板には無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）を塗布し、その厚さは75 $\mu$ mを狙った。試験体1体にはボルトを4本締め付け、合計3体の試験体（A、B、C）を用意し、合計12本のボルトを検討した。試験体の塗膜厚さと粗度は膜厚計（LE-373）と粗度計（SJ-210）を用いて計測しており、表-1に表面の状態を示す。各ボルト孔の周囲4点に対して5回ずつ計測を行い、それらの平均を示す。ボルトの締め付けにはトルク

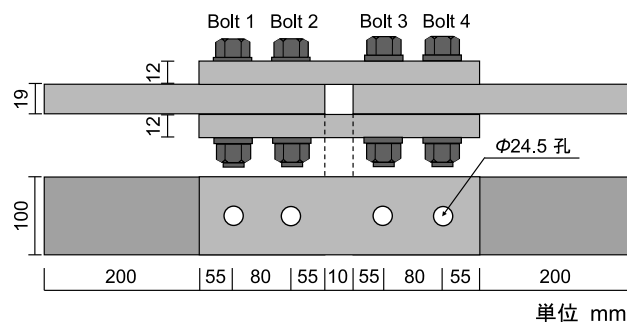


図-1 試験体概要



表－1 検討した試験体の表面状態

| 試験体名 | 母板                        |                         |                         |                          |                            | ボルト頭部側連結板                 |                         |                         |                          |                            | ナット側連結板                   |                         |                         |                          |                            |
|------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
|      | 塗膜厚さ<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Ra<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rz<br>[ $\mu\text{m}$ ] | RSm<br>[ $\mu\text{m}$ ] | RzJIS<br>[ $\mu\text{m}$ ] | 塗膜厚さ<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Ra<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rz<br>[ $\mu\text{m}$ ] | RSm<br>[ $\mu\text{m}$ ] | RzJIS<br>[ $\mu\text{m}$ ] | 塗膜厚さ<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Ra<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rz<br>[ $\mu\text{m}$ ] | RSm<br>[ $\mu\text{m}$ ] | RzJIS<br>[ $\mu\text{m}$ ] |
| A    | 63.4                      | 6.3                     | 40.4                    | 385.8                    | 28.3                       | 75.5                      | 7.8                     | 45.5                    | 523.1                    | 30.2                       | 80.4                      | 6.5                     | 40.5                    | 456.3                    | 27.6                       |
| B    | 64.5                      | 6.8                     | 42.3                    | 427.3                    | 29.7                       | 79.7                      | 6.7                     | 41.1                    | 471.0                    | 27.8                       | 63.9                      | 6.5                     | 40.8                    | 403.5                    | 28.5                       |
| C    | 60.3                      | 6.6                     | 41.5                    | 402.1                    | 29.0                       | 73.9                      | 7.1                     | 43.2                    | 497.4                    | 29.1                       | 75.9                      | 6.9                     | 41.9                    | 493.8                    | 28.4                       |



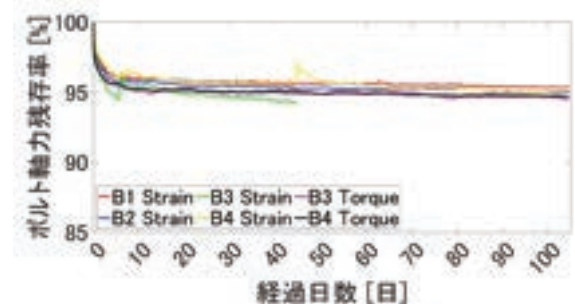
図－2 断熱材ケース内での試験体管理の様子

レンチを用い、1次締め（設計ボルト軸力の60%）と2次締め（同110%）に分けて行った。ボルトの軸部における軸力とひずみの関係をキャリブレーションにより把握し、その結果を基に各ボルトの軸部に貼付した2枚のひずみゲージ出力値の平均値を確認しながらボルトの締め付けを行った。各試験体のBolt 3、4にはボルトの軸部にトルクゲージも貼付し、トルク値からもボルト軸力を記録した。ボルト締め付け後は、温度変化による影響を小さくするため、図－2のように断熱材のケースの中で試験体を管理した。リラクセーション期間は2～3週間とすることが多いが<sup>12)</sup>、本研究では長期間を検討するため、105日間とした。ボルトーナットの回転緩みに着目するため、ボルト軸力に加え、ボルト頭部とナットの角度を角度計（図－3）を用いて、一定期間ごとに計測を行った。

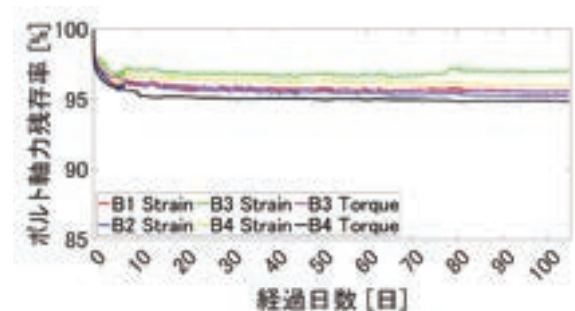
図－4は105日間リラクセーションの結果を示す。従来通り、締め付け後2週間以内でボルト軸力は安定することが確認できる。その後は大きな軸力変動もなく、105日後もおおよそ一定のボルト軸力を確



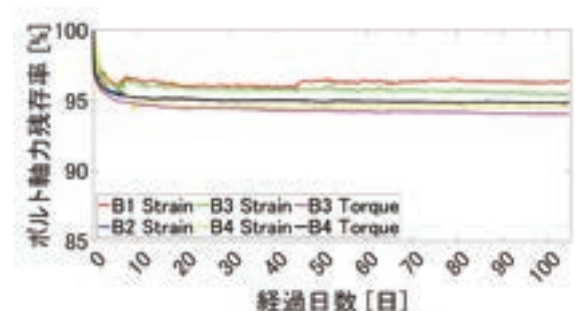
図－3 角度計を用いた回転角の計測



(a) A試験体



(b) B試験体



(c) C試験体

図－4 105日間リラクセーションの結果

保できていることを確認した。

ボルト・ナットの回転に関する記録を図-5に示す。締め付け後から105日経過まで回転角に多少の変化はあったものの、角度計の押し当て力によって多少の誤差は防ぐことはできなかったことを考慮すると、計測誤差の範囲内と考えられる。したがって、締め付け後2週間はボルト軸力の低下が確認されたが、ボルト・ナットの回転は確認されなかった。つまり、鋼材に塗布された無機ジンクが約2週間かけて徐々に潰れていき、その馴染み等の影響でボルト軸力は低下するが、リラクセーションが回転緩みに与える影響は小さいことを確認した。

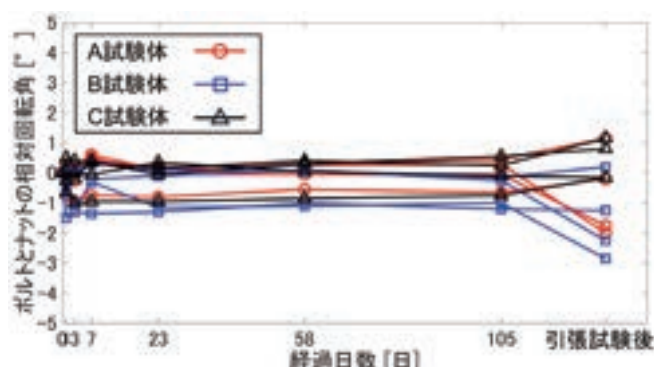
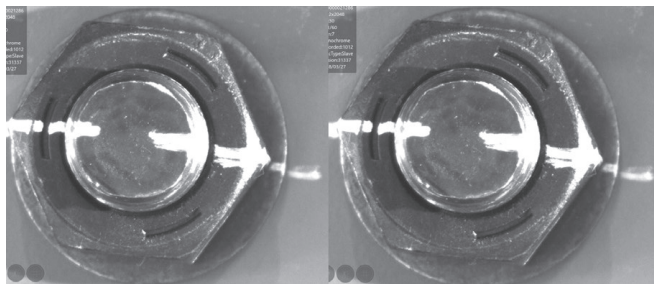


図-5 リラクセーション及び引張試験後のボルト・ナットの相対回転角



図-6 ハイスピードカメラ



(a) すべり直前 (b) すべり直後

図-7 すべり直前と直後のボルト・ナットの様子

## (2) 荷重適用によるすべり発生時のボルト・ナットの回転緩み

105日間のリラクセーション後、3体全ての試験体に対して、引張試験を実施した。ボルト継手試験体は両側ですべりが発生する構成である。両側ですべりがおおよそ同じタイミングで発生した場合、各ボルトに様々な影響が入ってしまい、ボルト・ナットの回転緩みに及ぼす影響を特定し辛くなる。そのため、Bolt 1、2に対して軸力が増加しなくなるまで増し締めを行い、すべりを起こさせない固定側とした。引張試験中はFpsを30、シャッタースピードを1/60に設定したハイスピードカメラ（図-6）を用いて、すべりが発生するBolt 3、4に着目して撮影を行った。引張試験後、すべり発生瞬間をスローで観察し、すべり発生がボルト・ナットの回転緩みに及ぼした影響を確認した。試験後はボルト頭部とナットの回転角を計測した。

図-7はすべり直前と直後の様子を示す。見た目ではほぼ違いが分からないが、引張試験後の回転角を調べたところ、全ての試験体で、ボルトとナットが共に回転して緩む傾向があることを確認した。また、図-5でも引張試験後の回転緩みの発生が確認できる。しかしながら、その回転の量はボルトごとに異なり、その要因までは今回の実験では明らかにすることはできなかった。

## 3. AI画像処理のためのデータ収集

これまでナットの回転のみに着目して緩みを評価する研究が多い。しかしながら、第2章の結果では、ナットだけでなく、ボルトも回転することが確認された。そのため、ボルトとナットが同時に同じ方向に回転した場合に誤った評価をすることがある。また、ナットは六角形であるため、60°回転した場合、評価が困難となる。そこで、本研究ではボルトとナットの相対的な回転を評価する。

実際の現場ではボルトの締め忘れを防止するため、1次締めである設計ボルト軸力の60%の状態のとき、ボルト軸底面からねじ部、ナット、座金、鋼板にかけて一直線のマーキングを行う。本締めである設計ボルト軸力の110%の状態のときにマーキングに着目し、ナットのみが回転していれば、締め付けについて合格となる（図-8）。本研究では、マーキングに着目し、ボルトとナットの相対回転角に着目した。



本締め前  
(締め忘れ)      正常な本締め  
OK      座金の共回り  
NG

図-8 マーキングによるボルト締め付け状態の確認

現在では橋梁の点検は5年に一度行われる。このことから、5年前に撮ったボルトの写真と現在撮ったボルトの写真をAIと画像処理を組み合わせで比較し緩みを検知することを試みる。本研究では、1次締め後にマーキングを行い、本締め後の状態を5年前の状態として、画像データを取得する。マーキングには専用のスプレー（図-9）を用いた。現在の状態として、トルクレンチを用いてナットを所定の回転角まで緩めた。5年前の状態を想定した回転角は0°とし、現在の状態を想定した回転角は5°、10°、15°、20°、25°、30°、60°、90°を検討した。各回転角では、撮影角度をランダムとして17枚の画像を取得した。検討した画像の総数は153枚（17枚×回転角9種）である。

#### 4. AI画像処理による特徴点の抽出

第3章で取得した画像から本研究における特徴点であるマーキングを抽出する。マーキングの抽出方法として、グレースケール変換、ヒストグラム分析、エッジ検出などが考えられるが、光、キズ、背景などで白色と判断されるものが含まれると、マーキングと同様の白色として抽出されてしまう。以下の手順により、マーキングの抽出を行った。

##### (1) YOLOによるボルトの検出

図-10は取得したある1枚の画像であるが、画像にはボルト以外に光、キズ、背景などが含まれており、白色を抽出する際に、これらもマーキングとして抽出してしまう可能性がある。

そこで、AIを用いた物体検出アルゴリズムYOLOを用いて、画像からボルトを検出した。本研究では、



図-9 ボルトのマーキング用スプレー



図-10 ボルト・ナットの画像の例

YOLOv8を採用した。YOLOv8には、デフォルトで主な物体のデータはすでに学習されており、人間や自動車などの検出は容易である。しかしながら、ボルトの学習データは不足しているため、デフォルトのままではボルトを検出できなかった。ボルトの検出を可能にするため、学習データとして、F10T M22のボルト頭部側を写した画像20枚、ナット側を写した画像40枚の合計60枚の画像を学習させた。その結果、図-11のようにボルトを検出できた。様々な角度から写されたボルトも検出することができ、検出範囲に対して、マーキングの抽出を行うこととした。

##### (2) 機械学習をベースとしたマーキングの抽出

マーキングの抽出には、機械学習をベースとした方法を採用した。第3章で取得した画像の中からマー



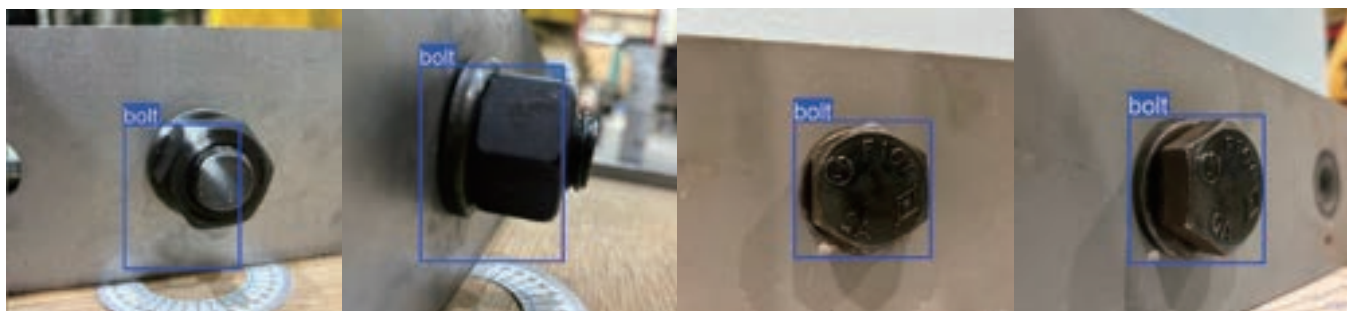


図-11 YOLOv8によるボルトの検出

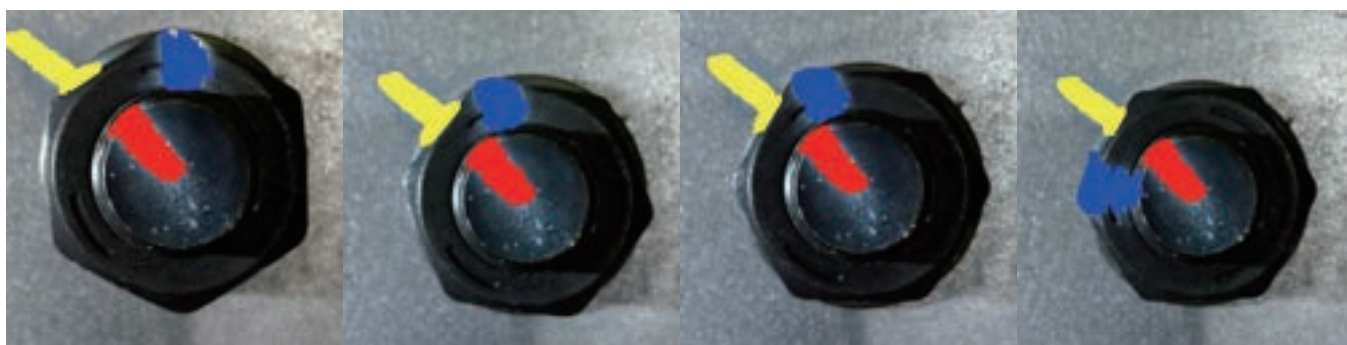


図-12 特徴点であるマーキングの抽出

キングの色のRGB値を学習させる。光が当たっているマーキングや消えかけたマーキング、陰になっているマーキングなど複数のRGB値を学習させた。

学習データを基に、テストデータの画像からマーキングを抽出する。ここで用いた機械学習アルゴリズムは畳み込みニューラルネットワーク（CNN）である<sup>13)</sup>。

以上のようなAIと画像処理を用いることで、図-12のようにマーキングを特徴点として抽出でき、高精度でボルト、ナット、鋼板に引かれたマーキングを区別することができた。座金のマーキングは比較的範囲が狭く、抽出が困難であることから、本研究では座金のマーキングは無視して検討した。また、撮影角度によってはマーキングが画像に写らず抽出できなかった。そこで、AI画像処理を用いたボルトーナットの緩み評価においては、ボルト、ナット、鋼板のマーキングが目視で確認できる撮影角度を対象とし、各回転角の画像17枚のうち、4枚が対象となる。

## 5. ボルトーナットの相対回転角に着目したボルトーナットの緩み評価

本研究では、マーキングの区別ができたボルト、ナット、鋼板のマーキングの位置関係から相対回転角を算出して、それに基づいてボルトーナットの緩

みを評価する。具体的には、ボルト、ナット、鋼板のマーキングが目視で確認できる4枚の画像に対して正面補正を行い、異なる角度から撮影されたボルトーナットの画像を全て正面に揃える。この際、ナットの形状はおおよそ六角形に近い形状をしているため、ナットを六角形に近い形状に補正する。次に、図-12のボルトの中心点と各マーキングの中心点を通る直線を引く。この直線は、ボルト、ナット、鋼板にそれぞれ付けられたマーキングに基づき、3本描かれることになる。地震等の影響でボルトとナットが回転することがあるが、鋼板は固定されているため、鋼板上のマーキングを基準に、ボルトとナットの相対回転角を算出する。

この手法で、5年前の状態を想定したボルトーナットの相対回転角を4枚の画像から算出する。これら4枚の画像から算出された相対回転角の平均値を評価基準として、現在の状態を想定したボルトーナットの画像との比較を行う。この比較により、ボルトーナットの緩みを定量的に評価した。

さらに、検討した相対回転角5°、10°、15°、20°、25°、30°、60°、90°について、本研究で構築した評価システムを用いて緩みの評価を行い、その精度を確認した。

結果は図-13に示す。x軸に検討した相対回転角、y軸に評価結果を表し、全体的に線形に近い傾向を

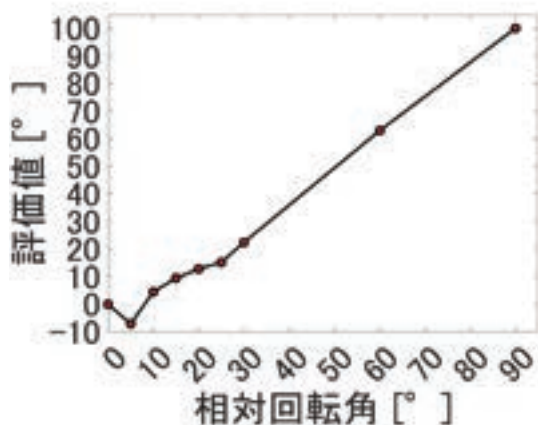


図-13 本研究で構築した評価システムの評価結果

示し、概ね相対回転角に近い評価値が得られた。しかしながら、その誤差は約10°以下に留まったものの、高い精度とは言い難い結果であった。

誤差の主な要因は、マーキングの太さや形状の不確定性にあると考えられる。マーキング上に直線を描く際、マーキングの太さや形状が異なるため、直線の描き方にばらつきが生じる。実際の現場でのマーキングも、人間が手作業でペンを用いて行うため、こうした不確定性を完全に排除することは困難である。

今後の課題としては、マーキングの不確定性を低減するための画像処理手法の開発や、ビッグデータと言われる大量のデータを用いたAI技術の導入が挙げられる。これにより、評価精度の向上が期待できる。

## 6. おわりに

本研究では、5年前の状態を想定したボルトに対して、現在の状態を想定したボルトのボルトーナット回転履歴に着目して、AIと画像処理によりボルトーナットの緩みを検知するシステムを構築した。以下に、本研究で得られた知見を記す。

- 1) ボルト継手の105日間リラクセーションにおいて、軸力の低下は確認できたが、ボルトーナットの回転緩みは確認できなかった。
- 2) ボルト継手に引張荷重がかかり、すべりが発生した瞬間、ボルトとナットが共に緩む方向に回転することを確認した。これにより、緩み評価のためには、ナットだけに着目するのではなく、ボルトとナットの相対回転角に着目した手法の構築が必要である。
- 3) 本研究で構築した緩み評価手法によって、ボルトーナット回転緩みを検知できる可能性を示し

た。その精度としては、相対回転角を約10°以下で評価できることを確認した。

なお、本研究では、ボルト1本に対して緩みを検知することを試みたが、より精度を向上した上で、この技術を応用することで、複数のボルトの緩みを一度に検知することも可能であると考ええる。

## 謝辞

本研究の一部は一般財団法人橋梁調査会の2023年度橋梁技術に関する研究開発助成を得て行われ、ここに記し、感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 西村昭：高力ボルト摩擦接合のすべり耐力変動について，土木学会論文報告集，第187号，pp.37-47，1971.3.
- 2) 石原靖弘，小林剛，皆田理，西村宣男：地震被害を受けた高力ボルト摩擦接合継手の特性調査と繰り返しすべり実験，土木学会論文集，No.745/I-65，pp.53-64，2003.10.
- 3) Wang, F., Ho, S. C. M. and Song, G.: Monitoring of early looseness of multi-bolt connection: a new entropy-based active sensing method without saturation, *Smart Materials and Structures*, Vol.28, No.10, pp.1-7, 2019.
- 4) Marshall, M. B., Lewis, R., Howard, T. and Brunskill, H.: Ultrasonic measurement of self-loosening in bolted joints, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: J. Mechanical Engineering Science*, 2011.
- 5) Jiang, Y., Zhang, M. and Lee, C. H.: A study of early stage self-loosening of bolted joints, *Transactions of the ASME, J. Mechanical Design*, Vol.125, pp.518-526, 2003.
- 6) 谷平勉，亀井正博，石原靖弘，田井戸米好：17年間供用された高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に関する実験，土木学会構造工学論文集，Vol.36A，pp.1087-1096，1990.3.
- 7) 狩野正人，谷平勉，石原靖弘，小林剛，西尾久：高力ボルト軸力の経年変化に関する実験的研究，土木学会第56回年次学術講演会，I-B162，pp.324-325，2001.10.
- 8) Temitope, S. J.: Condition monitoring of bolted joints, *Ph.D. Thesis, University of Sheffield*, Sheffield, UK, 2015.6.

- 9) Rafik, V., Combes, B., Daidié, A. and Chirol, C.: Experimental and numerical study of the self-loosening of a bolt-ed assembly, *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing II*, pp.85-94, 2019.
- 10) 平尾賢生, 鈴木啓悟, 森田勝実, 伊藤裕一, 竹谷晃一, 佐々木栄一: 計測波形分析への機械学習適用による高力ボルト軸力の超音波評価, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.78, No.1, pp.108-120, 2022.
- 11) 福岡知隆, 南貴大, 浦田渡, 藤生慎: 画像処理によるボルト本締め確認作業自動化システムの作成, AI・データサイエンス論文集, Vol.1, No.1, pp.295-300, 2020.
- 12) 平尾賢生, Quang Vy Tran, 田村洋: ディスク型フリクションシムを挿入した異種接合面高力ボルト継手のすべり耐力評価, 構造工学論文集A, Vol.70A, pp.61-74, 2024.
- 13) Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili: Python機械学習プログラミング 達人データサイエンティストによる理論と実践, 2020.



# けい酸塩系表面含浸工の施工効果に基づく費用対効果

高知工業高等専門学校 教授 近藤 拓也

## 1. はじめに

コンクリート構造物の表面保護工法の一つとしてけい酸塩系表面含浸工法がある。けい酸塩系表面含浸材（以下「表面含浸材、表面含浸工」）はコンクリート表面に含浸させることで、主成分がコンクリート中に散在する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および水と反応し、C-S-Hゲルを生成する。このC-S-Hゲルがコンクリート中の微細な空隙を充填することでコンクリート表層部を緻密化し、劣化因子の侵入を抑制するものである。

けい酸塩系表面含浸工法の課題の一つとして、改質深さの特定が難しいことが挙げられる。この課題を解決すべく、筆者らは、ビッカース硬さ試験を用いることにより表面含浸工の改質深さ、そして改質効果に関する定量評価方法について取り組んできた。これは図-1に示すように、C-S-Hゲルの生成に伴う強度増加特性を利用し、改質層と非改質層のビッカース硬さの差を用いるものである<sup>1)</sup>。この方法により、ビッカース硬さ試験によって得られたビッカース硬さ増加量と改質深さで囲まれた面積を測定し、劣化因子侵入阻止性を評価できる可能性を得た<sup>2)</sup>。また、等価かぶりの概念を利用することで<sup>3)</sup>、表面含浸工による改質部の見かけの拡散係数とこの面積の関係について定量的に評価を行い、両者の相関性を得た<sup>4)</sup>。

一方で、表面含浸工による改質効果は、母材モルタルの水セメント比によって変化する可能性が挙げられている。水セメント比が小さい場合、細孔径が小さいため毛細管現象によって表面含浸材がモルタル中へ浸透している可能性が高い。一方で水セメント比が大きい場合、濃度拡散によってモルタル中に表面含浸材が浸透する可能性が高い<sup>5)</sup>。これらの現象は、母材モルタルの水セメント比によって、表面含浸材の最適な使用量が変化する可能性があることを意味する。そのため、表面含浸材の使用量の変化は、労務費や材料費といった施工費にも影響を与えるものと考えられる。

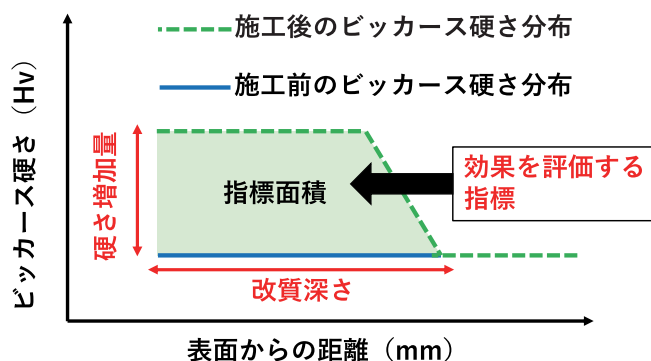


図-1 改質効果の評価方法

しかし、表面含浸工の費用対効果については、具体的に整理されている事例は少ない。表面含浸工による具体的な費用対効果について整理できれば、効果的な補修方法やLCC（ライフサイクルコスト）への活用など、表面含浸材を用いた構造物の維持管理に対して新たな展開をもたらす可能性が考えられる。

そのため本稿では、表面含浸材の使用量および水セメント比をパラメータとし、ビッカース硬さ試験から得られた指標面積および $\text{Cl}^-$ 濃度分布を測定する。そして施工費との関係について整理し、 $\text{Cl}^-$ 浸透阻止性に基づく表面含浸工の費用対効果について、定量的に評価を行った。

なお本稿に関わる検討については、令和5年度橋梁技術に関する研究開発助成制度の支援により実施した。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験要因

試験要因を表-1に示す。試験に用いる供試体は、水セメント比が改質効果に与える影響を確認するため、 $\text{W/C}=40\%$ および $70\%$ のモルタルとした。また表面含浸材使用量については、無施工を含めた6要因とした。

## 2.2 使用材料および供試体概要

本研究における配合表を表-2に示す。打込み後1日で脱型し、7日まで20℃水中養生、そして材齢28日まで20℃室内環境下にて存置した。

表面含浸材はけい酸ナトリウム系でモル比3.2、乾燥固形分率21.80%のものとした。表面含浸材施工前には、供試体の表面含水率を7%に調整した。その後、表面含浸材を施工した。施工時には定期的に散水を行いつつ、塗り重ね間隔を1時間程度とし、所定の施工量になるまで0.2L/m<sup>2</sup>ずつ施工した。その後、さらに28日間20℃室内環境下に供試体を存置した。

## 2.3 ビッカース硬さ試験

本研究では1mm間隔で測定できるビッカース硬さ分布を改質効果の指標とした。改質深さは、図-1に示すように表面含浸材を施工した供試体のビッカース硬さが、無施工供試体のビッカース硬さと同程度となる表面からの距離とした。

ビッカース硬さ試験は、JIS Z 2244に従い実施した。測定には40mm×40mm×20mmとしたモルタルを用いた。ビッカース硬さの試験力は9.8N、試験力の保持時間は20秒とした。ビッカース硬さ測定は図-2のように供試体の切断面で実施し、切断面のモルタル表面側から1mm間隔で、深さ最大15mmまで実施した。1測定深さにつき±1Hv範囲内に収まる5つの平均値で評価を行った。またビッカース硬さ試験機に備え付けられている光学顕微鏡を用いて、骨材と判断できる箇所は避けて打撃箇所の選定を行った。

さらに、図-1に示すように、ビッカース硬さ試験の結果を用いて、改質前後におけるビッカース硬さの増加量、改質深さ、そしてこれらによって囲まれた指標面積の算定を行った。

## 2.4 塩水浸漬試験

表面含浸材施工後の養生期間終了後、供試体を質量濃度3%の塩水に浸漬した。塩水浸漬試験はJSCE-G572に基づいた。塩水浸漬期間は180日間とした。所定の浸漬期間を終えた供試体を取り出した後、電動ドリルを用いてモルタル粉を採取し、電量滴定法によってCl<sup>-</sup>濃度を測定した。

# 3. 試験結果

## 3.1 ビッカース硬さ試験

ビッカース硬さ試験によって得られた硬さ分布に

表-1 試験要因

| 要因       | 水準                                                                                                                 |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W/C      | 40%, 70%                                                                                                           |
| 表面含浸材使用量 | 無施工, 0.1L/m <sup>2</sup><br>0.2L/m <sup>2</sup> , 0.4L/m <sup>2</sup><br>0.6L/m <sup>2</sup> , 0.8L/m <sup>2</sup> |

表-2 母材モルタルの配合表

| W/C | 空気量       | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |
|-----|-----------|-------------------------|-----|------|
|     |           | W                       | C   | S    |
| 40% | 4.5%±1.5% | 205                     | 508 | 1523 |
| 70% |           | 308                     | 439 | 1311 |

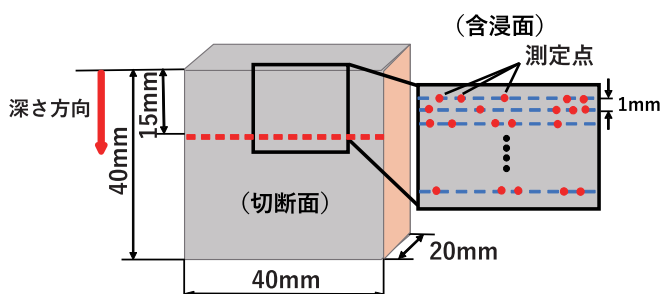


図-2 ビッカース硬さ試験の実施状況

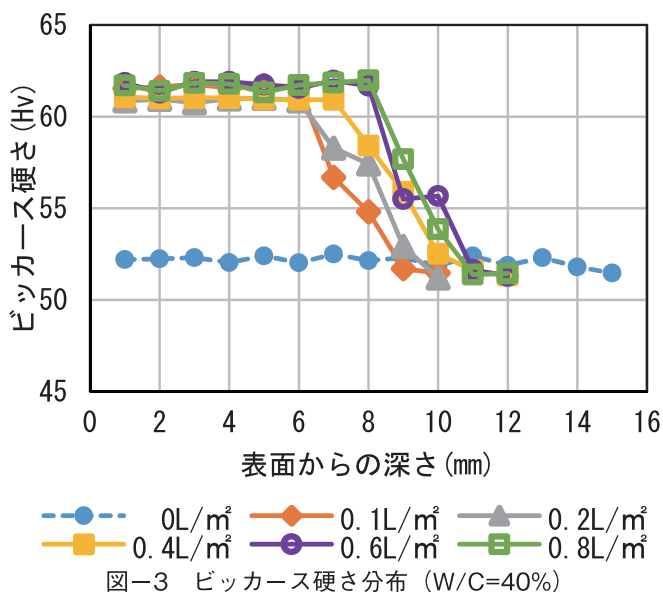
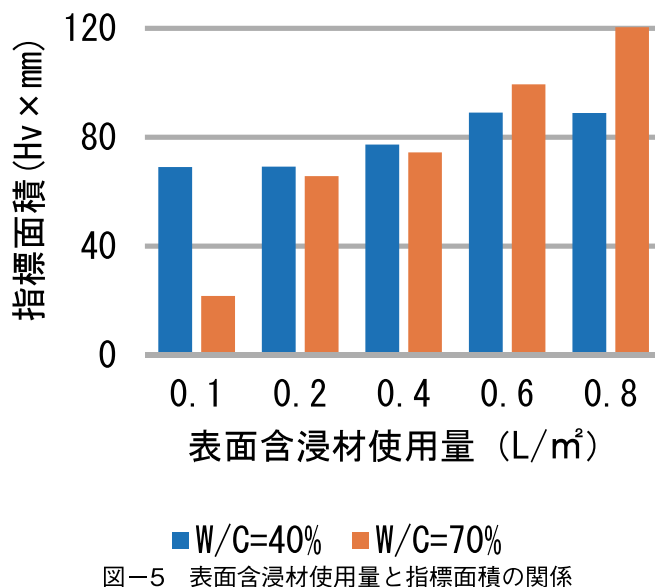
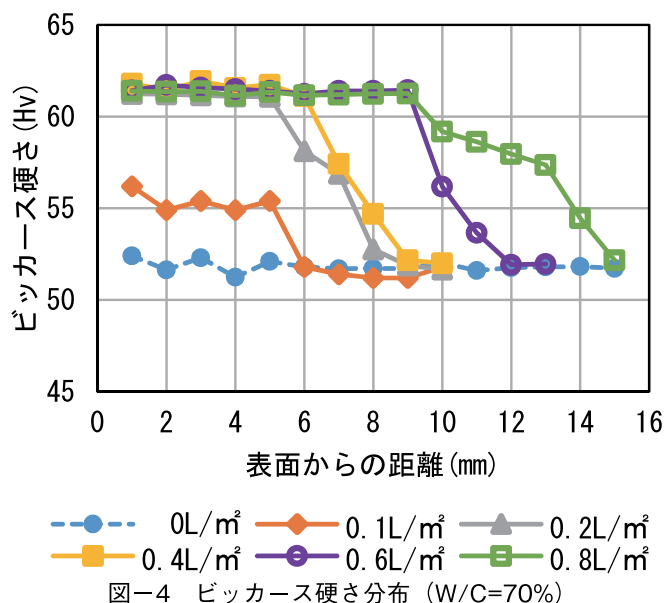


図-3 ビッカース硬さ分布 (W/C=40%)

ついて、W/C=40%を図-3に、W/C=70%を図-4に示す。いずれの水セメント比でも、表面含浸材施工によるビッカース硬さ増加量は変化しないものの、改質深さが増加していることがわかる。これは、筆者らの一連の研究において、水セメント比や表面含浸材の使用量を変化させても、ビッカース硬さ増加量は大きな変化を示さない傾向が確認されていることから<sup>6)</sup>、本試験の結果は概ね妥当であると考えら



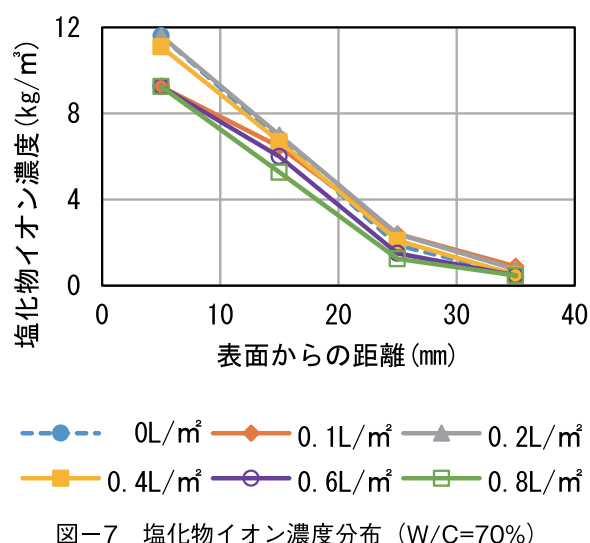
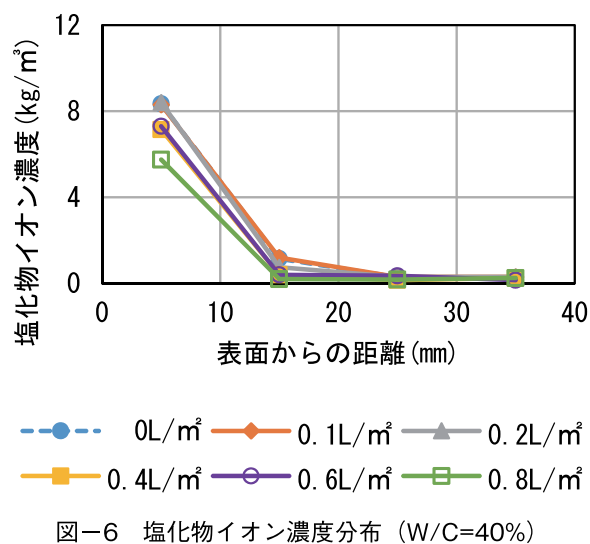
れる。ただし、W/C=70%の表面含浸材使用量0.1L/m<sup>2</sup>については、水セメント比が大きくCa(OH)<sub>2</sub>量が少ないこと、そして供給されるけい酸塩が少ないことから生成されるC-S-H量が少なかったと考えられる。そのため、ビッカース硬さが他の使用量と比較し小さくなったものと考えられる。

一方で、表面含浸材によってビッカース硬さが増加した部分から、ビッカース硬さが低下するまでの距離については、水セメント比によって差がみられる。W/C=40%では、表面含浸材使用量が0.1L/m<sup>2</sup>から0.8L/m<sup>2</sup>まで変化しても、ビッカース硬さ増加範囲はほぼ同じであり、かつその後の低下割合も使用量により大きな変化はない。一方W/C=70%では、使用量の増加とともにビッカース硬さ増加範囲も大きくなった。

次に、図-1の考え方を基に算出した、各水セメント比における表面含浸材使用量と指標面積の関係を図-5に示す。改質深さの場合と同様に、表面含浸材使用量の増加に伴い、指標面積も増加する傾向を示した。また、水セメント比の増加とともに、指標面積の増加の割合も大きくなる傾向を示した。これは、既往の研究で示されているように、水セメント比が大きい場合、モルタル内部の空隙量が増加するため、表面含浸材使用量が増加すると、より深くまで含浸することが主な要因と考えられる<sup>2)</sup>。

### 3.2 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験によって得られたCl<sup>-</sup>濃度分布について、W/C=40%を図-6に、W/C=70%を図-7に示す。





いずれの水セメント比においても、表面含浸材使用量を増加させると、 $\text{Cl}^-$ 濃度分布が小さくなることが確認できる。一方で、水セメント比による比較を行うと、 $\text{W/C}=40\%$ の $\text{Cl}^-$ 濃度は、 $\text{W/C}=70\%$ よりも全区間にわたって小さい。これは、低水セメント比の場合、内部が緻密であることから、 $\text{Cl}^-$ が浸透しにくくなったことが要因として考えられる。

この結果およびビッカース硬さ試験で得られた改質深さを利用し、改質部分の見かけの拡散係数を同定した。この結果を図-8に示す。ここで $\text{W/C}=40\%$ の表面含浸材使用量 $0.6\text{L/m}^2$ および $0.8\text{L/m}^2$ のものは、同定不能だったため見かけの拡散係数は省略した。同定方法は表面含浸工による劣化因子浸透遮断効果をモルタル厚さの増加とみなす、等価かぶりの考え方に基づいた<sup>7)</sup>。具体的には、黒岩らが提案する方法に基づき、無施工供試体の $\text{Cl}^-$ 濃度分布を、等価かぶりを考慮しながらフィッティングさせ、改質部の見かけの拡散係数を同定した<sup>3)</sup>。

その結果、表面含浸材の使用量により、改質部の見かけの拡散係数が低下している。しかしその低下率は使用量を増やしても大きくない。これは、図-3および図-4に示すように、表面含浸材の使用量が増加しても、ビッカース硬さ増加量が大きく変化しないことが一因として考えられる。

4. 表面含浸工の費用対効果

4.1 費用対効果の検討方法

本原稿では、表面含浸工の費用対効果を検討するための指標として、直接工事費を用いる。ここでは、施工数量を $100\text{m}^2$ 以上とし、 $1\text{m}^2$ あたりの直接工事費を算定した。想定工種は簡易清掃・下地処理および含浸材塗布とした。材料費については共同研究先の見積もりを、機械損料費については資料<sup>8)</sup>を参考にした。表面含浸材施工に関しては、使用量と労務費が比例すると仮定し、比例配分を行い算定した。

以上の条件を踏まえて算定した表面含浸材使用量ごとの直接工事費を表-3に、両者の関係を図-9に示す。ここで、 $R^2$ は寄与率である。労務費と機械損料費の合計額については歩掛上同一となる場合も存在するが、表面含浸材使用量と概ね比例する。

4.2 費用対効果の検討結果

3.1のビッカース硬さ試験で得られた改質深さおよび指標面積、3.2の塩水浸漬試験で得られた $\text{Cl}^-$ 濃度

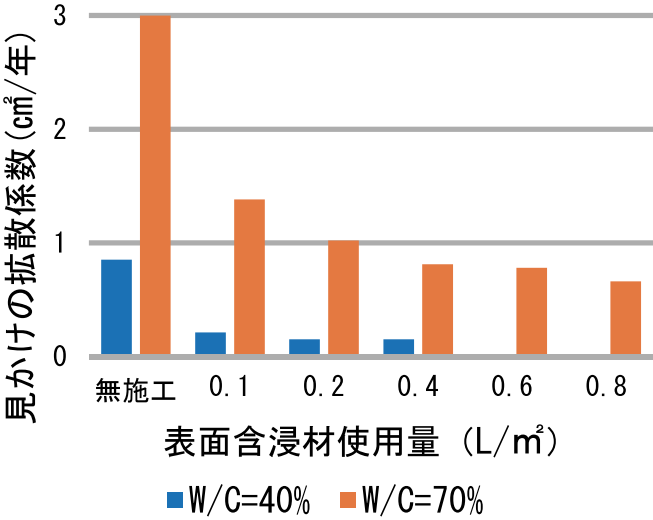


図-8 含浸材使用量と見かけの拡散係数の関係  
( $\text{W/C}=40\%$ ： $0.6\text{ L/m}^2$ と $0.8\text{ L/m}^2$ は同定不能)

表-3 表面含浸材使用量ごとの直接工事費

| 使用量               | 材料費   | 労務費+機械損料費 | 直接工事費  |
|-------------------|-------|-----------|--------|
| $0.1\text{L/m}^2$ | 660   | 2,388     | 3,048  |
| $0.2\text{L/m}^2$ | 1,320 | 2,388     | 3,708  |
| $0.4\text{L/m}^2$ | 2,640 | 4,776     | 7,416  |
| $0.6\text{L/m}^2$ | 3,960 | 7,163     | 11,123 |
| $0.8\text{L/m}^2$ | 5,280 | 7,163     | 12,443 |

(費用単位：円/ $\text{m}^2$ )

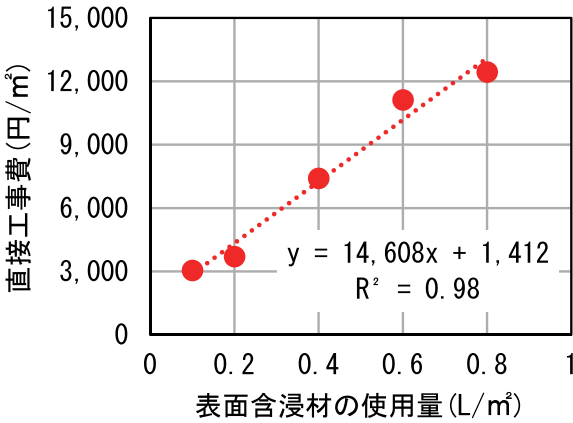


図-9 表面含浸材使用量と直接工事費の関係

を用いて算定した見かけの拡散係数、そして図-9にて整理した関係から、費用対効果について検討を行う。

はじめに、ビッカース硬さ試験により得られた改質深さと直接工事費の関数と関係式、および寄与率を図-10に示す。図中点線は線形回帰直線である。

いずれの水セメント比においても、表面含浸材使用量の増加に伴い、改質深さが増加している。しかし、それぞれの水セメント比におけるグラフの傾向は異なっている。W/C=40%の場合、W/C=70%と比較して、グラフの傾きが大きい。これは、直接工事費を増加させても、改質深さはあまり変化していないことを示している。一方で、W/C=70%では傾きが小さく、直接工事費の増加に伴って改質深さも増加した。そのため改質深さに関しては、W/C=70%の方が直接工事費を増加させるほど改質深さも増加しやすい傾向である。

これは、指標面積についても同様である。指標面積と改質深さの関係と関係式、および寄与率を図-11に示す。3.1で述べたように、水セメント比がビッカース硬さ増加量に与える影響はほぼ確認されないが、改質深さについては水セメント比が大きい場合において表面含浸材使用量を増加させると改質深さが増加する。また、けい酸塩系表面含浸材の使用量と指標面積、直接工事費はそれぞれ比例関係である。そのため、指標面積と直接工事費の関係についても同様の関係を示すことが確認できたと考えられる。

次に、塩水浸漬試験で得られた結果に基づき算定した改質部の見かけの拡散係数と指標面積との関係を図-12に示す。ここで、圧縮強度と $\text{Cl}^-$ の見かけの拡散係数の関係は、土木学会標準示方書〔設計編〕<sup>9)</sup>より対数で表現されるため、ここでは両者の関係を指数回帰した。それぞれの水セメント比の曲線に着目すると、水セメント比の増加に伴い見かけの拡散係数の増加が確認できた。一方で、W/C=40%の見かけの拡散係数の低下割合はW/C=70%と比較し小

さくなる傾向を示した。前田らは、見かけの拡散係数の低下率は、水セメント比の減少とともに小さくなることを述べており<sup>10)</sup>、この現象が反映されたものと考えられる。

図-11と図-12の関係から得られた、改質部の見かけの拡散係数と直接工事費の関係を図-13に示す。図-12と同様、低水セメント比での見かけの拡散係数の低下率が反映された結果となった。そのため、 $\text{Cl}^-$ の見かけの拡散係数低下率に着目すると、低水セメント比において直接工事費を増加させても、見かけの拡散係数の低下には寄与しにくいことを示している。ただし、腐食発生限界 $\text{Cl}^-$ 濃度への延長到達期間については、改質深さなどを踏まえたシミュレーションが必要となるため、点検費用などを考慮した時系列的な費用対効果については、さらに検討が必要である。

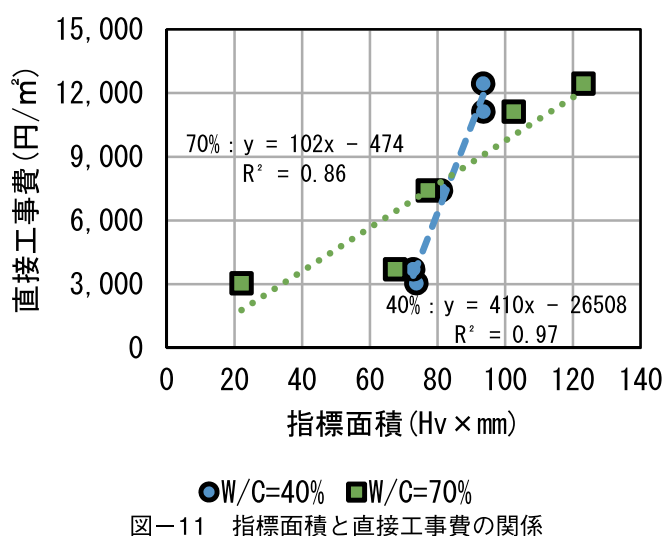


図-11 指標面積と直接工事費の関係

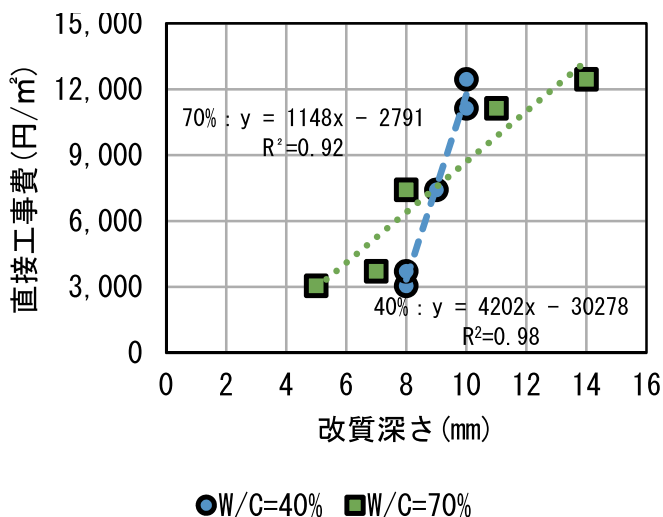


図-10 改質深さと直接工事費の関係

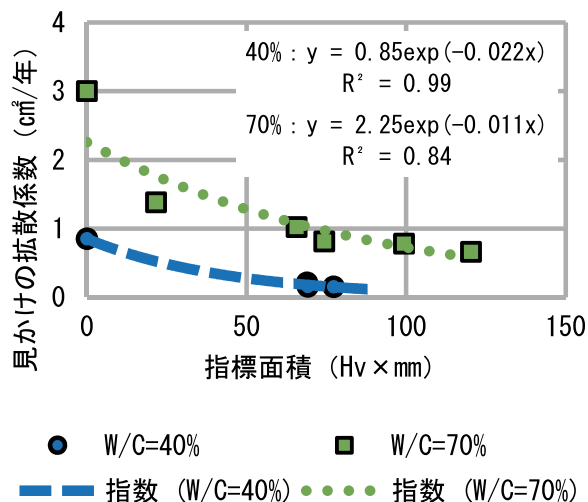


図-12 見かけの拡散係数と指標面積の関係

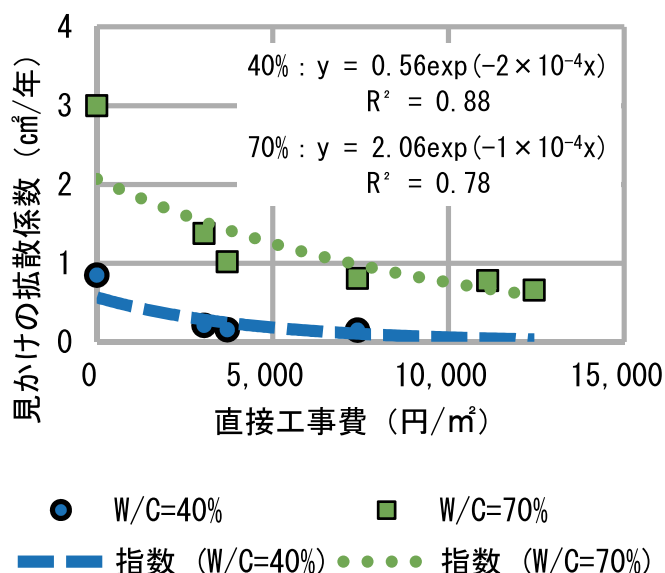


図-13 見かけの拡散係数と直接工事費の関係

また、今回の費用対効果の試算は、一定の条件の下で実施した。実際には、表面含浸材の主成分の違いや  $[\text{SiO}_2]/[\text{Na}_2\text{O}]$  (モル比) の違い<sup>11)</sup>、中性化が進行している既設コンクリート構造物への施工<sup>12)</sup> など、今後考慮すべき項目は多い。そのため、表面含浸工の費用対効果については、今回検証を行った指標面積および  $\text{Cl}^-$  浸透阻止性の精査を含め、整理を行っていく必要がある。

## 5. まとめ

本稿では、水セメント比の異なる母材モルタルにけい酸塩系表面含浸材の使用量を変化させて施工し、ビッカース硬さ試験及び塩水浸漬試験を実施した。そして、両試験から得られた結果と直接工事費の関係について整理し、費用対効果について検討を行った。その結果を以下に述べる。

- (1) けい酸塩系表面含浸材の施工によって得られるビッカース硬さ増加量と改質深さからなる指標面積は、いずれの水セメント比においても、表面含浸材使用量の増加に伴って大きくなることが確認できた。一方で、水セメント比が増加するほど、指標面積の増加割合も大きくなることを示した。
- (2) いずれの水セメント比においても、直接工事費を増加させることで指標面積が大きくなるものの、水セメント比を増加させると、指標面積の増加割合が大きくなる傾向を示した。
- (3) 塩水浸漬試験から得られた見かけの拡散係数は、直接工事費の増加とともに低下する傾向

を示し、特に、水セメント比を増加させると、低下割合は大きくなることが確認できた。

## 謝辞

本研究の実施にあたっては、表面含浸材の提供および技術的助言を富士化学(株) 西野英哉氏および黒岩大地様に賜った。また施工歩掛の助言は(株) 第一コンサルタンツ 田所良太氏より賜った。また実験実施および取りまとめについては、高知工業高等専門学校専攻科 吉田皓氏および松田匠生氏に協力いただいた。ここに謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 宮島英樹, 近藤拓也, 佃洋一, 宮里心一: 13年暴露したけい酸塩系表面含浸材の性能に関する一考察, コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.15, pp.7-12, 2015.10
- 2) 近藤拓也, 樋口和朗, 宮里心一, 横井克則: けい酸塩系表面含浸材の  $\text{Cl}^-$  侵入阻止を示す指標に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1645-1650, 2017.7
- 3) 黒岩大地, 宮里心一: けい酸塩系表面含浸材の改質部における見かけの拡散係数の推定方法の提案と発錆遅延期間の試算, 土木学会論文集E2 (材料・コンクリート構造), Vol.71, No.2, pp.124-134, 2015
- 4) 近藤拓也, 宮里心一, 高橋由菜, 横井克則: けい酸塩系表面含浸工の改質効果と  $\text{Cl}^-$  浸透阻止性に関する定量評価方法の検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, pp.310-317, 2021.3
- 5) 染谷望, 加藤佳孝: けい酸塩系表面含浸材の浸透機構および改質効果に関する基礎的検討, コンクリート工学論文集, Vol.25, pp.181-189, 2014
- 6) 近藤拓也, 宮里心一, 西野英哉, 横井克則: けい酸塩系表面含浸工を施工したモルタルのビッカース硬度分布に関する一考察, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp.333-339, 2020.3
- 7) 土木学会: コンクリートライブラリー 119 表面保護工法設計施工指針 (案), 2005
- 8) 建設物価調査会: 季刊土木コスト情報 2023年10月秋号, 2023.10
- 9) 土木学会: 2018年制定コンクリート標準示方書[設計編], 2018
- 10) 前田聡, 武若耕司, 山口昭伸, 好本健一: コンクリート中への塩化物浸透過程に関する既往調



査の整理と分析, コンクリート工学年次論文集,  
Vol.24, No.1, pp.795-800, 2002.6

- 11) 大嶋俊一, 黒岩大地, 西野英哉, 宮里心一: けい酸塩系表面含浸材におけるけい酸ナトリウムのモル比とモルタル改質効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, 2019.7
- 12) 島村佳汰, 近藤拓也, 黒岩大地, 横井克則: 中性化したモルタルへのけい酸塩系表面含浸工による改質効果の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1462-1467, 2022.7

# IABSE CONGRESS 2023 New Delhiの聴講参加と バングラデシュにおける橋梁現地調査報告

中部支部 橋梁課長 川島 知佳夫  
東北支部 橋梁課長 澁谷 朗洋

## 1. はじめに

2023年9月20～22日の3日間、IABSEが主催する国際会議「IABSE CONGRESS 2023 New Delhi」がインドの首都ニューデリーで開催された。

また、隣国バングラデシュにおいて日本のODAにより建設が進む鉄道橋やガンジス川下流のパドマ川に架かる長大橋を含む幾つかの供用中の道路橋の視察を実施したので、その概要を報告する。今回の行程を表-1に示す。

表-1 行程表

| 行程    | 内容                           |
|-------|------------------------------|
| 9月19日 | 羽田→ニューデリー 市内インフラ視察           |
| 9月20日 | IABSE2023聴講、展示会視察            |
| 9月21日 | IABSE2023聴講、市内橋梁視察           |
| 9月22日 | テクニカルビジット (Signature Bridge) |
| 9月23日 | ニューデリー→ダッカ 市内インフラ視察          |
| 9月24日 | ジャムナ鉄道専用橋架設工事視察              |
| 9月25日 | ダッカ市内橋梁視察 (パドマ多目的橋他)         |
| 9月26日 | ダッカ発→バンコク経由→羽田着              |



写真-1 IABSE CONGRESS 2023会場

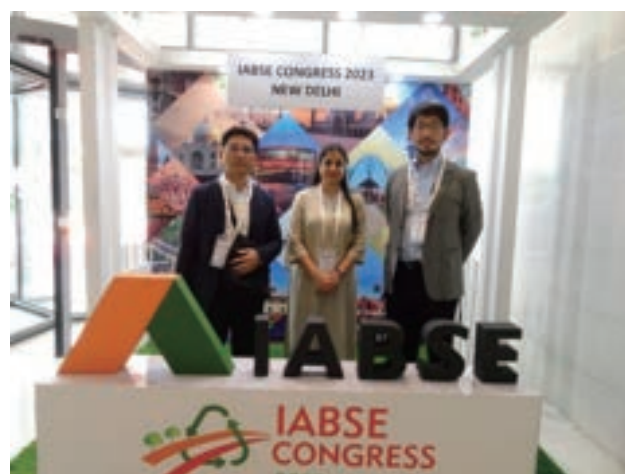


写真-2 IABSE CONGRESS 2023会場にて

## 2. IABSE CONGRESS 2023 New Delhiの概要

IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering：国際構造工学会) は、1929年にスイスで設立された土木と建築を包含する組織で、現在世界100カ国以上の会員が加入している。今回は、2015年に国連で採択された持続可能な開発目標 (SDGs) や、気候変動に関するパリ協定の実現を目指す国際的な行動の一環として、「持続可能な開発のためのエンジニアリング」をテーマに開催された。

会議は、基調講演を含む約200件の報告の他、技術展示会やテクニカルビジットが催された。



写真-3 技術展示会場にて

## 2.1 基調講演、一般講演

基調講演は、インド政府高官をはじめとした8名の講演者により、各分野での持続可能な発展のための取り組みなどが発表された。基調講演の演目を表-2に示す。

表-2 基調講演目

| 基調講演題目/発表者                                                      |
|-----------------------------------------------------------------|
| 気候変動に対処するための持続可能な開発の道筋/Ms. Leena Nandan（インド政府環境森林気候変動省長官）       |
| 持続可能な開発のための工学ソリューション/Prof. S S Chakraborty（名誉フェロー会員UK）          |
| 変化する気候と建築環境の持続可能性/Prof. Petr Hájek（チェコ工科大学土木工学科）                |
| 持続可能な開発目標と発展途上経済における解体と保存の議論/Prof. Arun Menon（インド国立遺産安全センター）    |
| 既存インフラのアップグレードと改修、および構造物の耐用年数を延長する持続可能性への貢献/Mr. David MacKenzie |
| 持続可能性に向けたインドの規格と出版物の役割/Mr. Sanjay Pant（インド規格局長）                 |
| 持続可能な構造のための実践規範/Prof. Helena Gervasio（コインブラ大学土木工学科）             |
| インドの持続可能なインフラ成長への新たな取り組み/Mr. Anurag Jain（インド政府 道路交通省長官）         |

一般講演は7つのセッションテーマと2つの特別セッションテーマで構成されており、各テーマに合わせた報告が行われた。セッションテーマを表-3に示す。

この中で、1827年に架設されたポーランド最古の吊橋が紹介され、適切なメンテナンスを施す事により200年近く橋を維持できているという報告であり、見習うべきものがあると感じた。

表-3 一般講演セッションテーマ

| セッションテーマ（*は特別セッション）             |
|---------------------------------|
| 交通構造の持続可能性                      |
| 持続可能な材料、技術、実践のケーススタディー          |
| 分析（解析）、研究、標準化                   |
| 気候変動への適応と災害に対する回復力              |
| 建築環境における持続可能性                   |
| 遺産構造、貧困緩和、社会の持続可能性              |
| デジタルへの取り組み（BIM、人工知能、3D プリンティング） |
| 既存橋 - BIM 環境における私たちの重要な責任*      |
| 斜張橋とエクストラドーズ橋に関するインドの新しいガイドライン* |



写真-4 会議聴講

## 2.2 テクニカルビジット

テクニカルビジットのうち、3日目に実施された Signature Bridge訪問に参加した。デリー観光交通公社（DTTDC）において、構造設計事務所（Schlaich Bergermann Partner）による概要説明を受けた後、現地を視察した。Signature Bridgeはデリー東部を流れるヤムナー川に架かる橋長675mの斜張橋であるが、河川側の長大スパンに対して、陸側は短多径間と極端に非対称な径間割りとしており、その発想の大胆さに驚かされた。なお、この特徴的な主塔は、『ナマステ』と両手を合わせた時の形を模してとのことであった（写真-5～8）。



写真-5 Signature Bridge主塔（手前が陸側）



写真-6 Signature Bridge主塔（右が河川側）



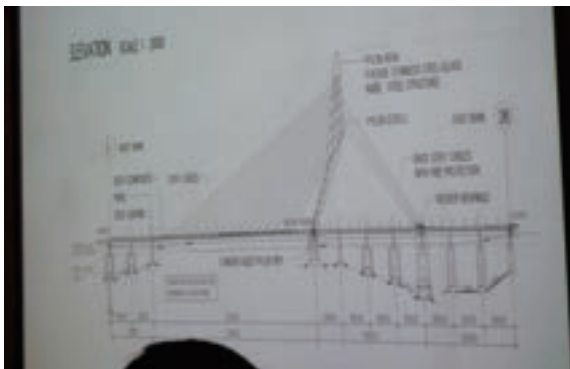


写真-7 Signature Bridge一般図



写真-8 アンカー基部（床組み・支承を介し基礎に接続）

### 2.3 市内インフラ視察

デリー近郊では至る所で橋梁をはじめとするインフラ整備工事が進められており、発展目覚ましいインドの活力を感じることができた。

多くの高架橋の端部下部構造は、日本では一般的な、背面盛土の土留と橋梁上部工の支持の両方の機能を持った「橋台構造」ではなく、土留の機能を切り離れた「橋脚構造」であった。構造計算をよりシンプルに出来るメリットがあると考えられる（写真-9）。



写真-9 橋梁端部（橋脚と土留め壁分離構造）

## 3. バングラデシュの橋梁視察

インドでの会議参加後、隣国のバングラデシュへ渡り、架設現場を含む橋梁視察を実施した。この視察は、同国のインフラ整備に貢献されているJFEエンジニアリング株式会社バングラデシュジャムナ鉄道橋PJのご協力により実現した。

### 3.1 ジャムナ鉄道専用橋

バングラデシュは堅調な経済成長に伴い、輸送効率が高い鉄道輸送への期待が高まっている。同国中央を流れるジャムナ川に架かる鉄道・道路併用橋であるジャムナ多目的橋に加えて新たな鉄道橋を建設し輸送量を増加するため、上流300mの地点に建設が進むジャムナ鉄道専用橋の架設現場を視察した（写真-10～16）。



写真-10 供用中のジャムナ多目的橋  
（多径間連続PCゲルバー箱桁橋）



写真-11 ジャムナ鉄道専用橋（架設中）

ジャムナ鉄道専用橋は橋長4.8km、最大支間100m、49径間の下路式連続ワーレントラス橋であり、耐候性鋼材が裸仕様で使用されている。(軌道直下の床組みのみ列車からの排水等に配慮してC5塗装系が採用されている)



写真-12 桁下状況（床組みはC5塗装系）

JFE猪村PMの話では、ミャンマーやベトナムで製作された部材は海路でモングラ港へ輸送された後、バージで河川上を約400km北上してサイトに搬入されており、ボルトなどはチッタゴン港から陸路でトレーラー輸送されているとのことであった。

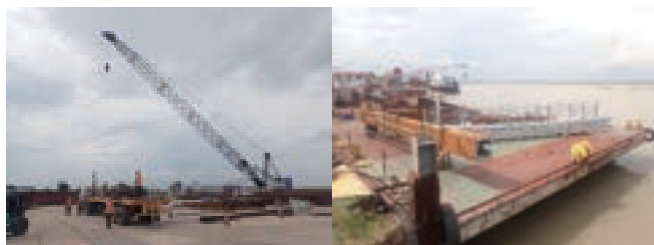


写真-13 荷揚げ・荷出し場と台船



写真-14 仮置き場（塗装ヤードを併設する）

架設は台船上に搭載したクレーンを使用したブロック張出架設を採用しているが、張出スパンの縦桁を後架設にする等の工夫によりカウンターウェイトを不要と出来ているとのことであった。また、作業員のほぼ全員が現地のスタッフであるとのことで、ローカルスタッフによる工事を工程通りに実現できているということは余程教育に労力を注がれたのだと感心した。



写真-15 架設状況



写真-16 事務所前で猪村PM（中央）とともに



### 3.2 第2カチプール橋・第2ゴムティ橋

首都ダッカと第2の都市チッタゴンを結ぶ国道1号線上のカチプール橋とゴムティ橋を視察した。経済発展に伴う交通量の増加に対応するため、この2橋とメグナ橋を含む3橋の改修、および各橋梁に併設する形で第2橋の新設が日本の支援により実現したものである。第2橋では本邦技術として細幅箱桁、鋼・コンクリート合成床版、鋼管矢板井筒基礎が採用されている。

第2カチプール橋は橋長397.3m、幅員18.1mの鋼6径間連続細幅箱桁橋である。施工はA1橋台側からの片押しによる送り出し工法が採用され、最終径間のみクレーンにより架設されたとのことである。

感心したのは、3主箱桁の各桁間に検査路が設置されていることである。日本では、検査路は1条/橋が一般的である事を考えると、メンテナンスへの配慮が感じられた（写真－17、18）。



写真－17 第2カチプール橋



写真－18 3主桁、桁間に検査路完備

第2ゴムティ橋は橋長1,410m、幅員17.75mの鋼9＋8径間連続細幅箱桁橋である。架設は両側からの送り出し方式とのことである。

工事期間中、ダッカにおいて邦人が犠牲となるテロ事件が発生し、工事が約3ヶ月間休止したが、共同企業体が総力を挙げて徹底した安全対策を実施し、1か月以上前倒しで引き渡されており、構造に対する品質とともに工程管理においても日本企業の施工管理の質の高さを示した事業となった（写真－19）。



写真－19 第2ゴムティ橋

### 3.3 パドマ多目的橋

パドマ多目的橋は、ダッカの南西約70kmのパドマ川中流域を横断する全長6.15kmの車道と鉄道を有する鋼トラス橋である。

橋梁の無かったこの地域ではフェリーでの渡河に数日かかることもあり、地域分断により経済発展から取り残された南西部地域との交通・物流の円滑化を図ることを目的に整備された橋梁である。日本ではなかなか感じることはできない、大陸ならではのスケールに圧倒された（写真－20～24）。

この橋梁にはトラス下弦材から張出床版までカバーできる移動式のメンテナンス足場が完備されており、視察中も点検作業が行われていた。やはり、メンテナンスの重要性が認識されていることは見習うべきところだと感じた。





写真-20 パドマ多目的橋：鋼トラス橋（2層式）



写真-23 メンテナンス用移動式足場



写真-21 桁下状況（下路部は軌道）



写真-24 足場上での作業



写真-22 掛け違い部の橋脚

#### 4.おわりに

今回、初めての国際会議への参加であったが、最先端の技術や各国技術者の熱い思いを感じることができた。また、グローバルサウスの多様な文化に触れ、発展途上であるからこそその都市や人々の活気を肌で感じることができ、非常に良い経験となった。このような機会を頂きましたことに感謝するとともに、この貴重な経験を今後の業務に活かしていければと考えます。

また、バングラデシュでの橋梁視察に際し、サイト見学、現地での案内など、視察の実現に多大なご協力を賜りましたJFEエンジニアリング株式会社ジャムナ鉄道橋PJの皆様に、心から感謝申し上げます。

# 第27回世界道路会議（プラハ大会）の日本パビリオン出展と イスタンブール（トルコ）での橋梁現地調査報告

企画部 調査役  
企画部 企画課長

入山 浩壱  
大黒屋 信英

## 1. はじめに

2023年10月2日～6日までの5日間、第27回世界道路会議（プラハ大会）がチェコ共和国のプラハにあるプラハ・コングレスセンターで開催され、会議には117カ国から約4,000人と学生約2,000人が参加した。本報告では、日本パビリオンの出展と会議場近隣及びイスタンブールでの橋梁・インフラの現地調査をとりまとめた。なお、今回の行程を表-1に示す。

表-1 日程表

| 行程        | 内容                            |
|-----------|-------------------------------|
| 9月30日（土）  | 羽田→ヘルシンキ経由                    |
| 10月 1日（日） | プラハ 橋梁視察                      |
| 10月 2日（月） | プラハ 橋梁視察、展示会オープニング            |
| 10月 3日（火） | 展示、日本パビリオン オープニングセレモニー        |
| 10月 4日（水） | 技術視察 ドナウ川の橋梁視察（スロバキア プラチスラヴァ） |
| 10月 5日（木） | 展示                            |
| 10月 6日（金） | 展示・撤去                         |
| 10月 7日（土） | プラハ→イスタンブール                   |
| 10月 8日（日） | イスタンブール 橋梁視察                  |
| 10月 9日（月） | イスタンブール ボスポラス橋船上視察            |
| 10月10日（火） | 第2ボスポラス 修繕現場視察                |
| 10月11日（水） | イスタンブール→パリ経由                  |
| 10月12日（木） | 羽田着                           |



写真-1 第27回世界道路会議開催場所

## 2. 第27回世界道路会議の概要と展示ブース

第27回世界道路会議は、世界中の道路および交通に関する専門家が一堂に会し、知識や経験を共有し、最新の研究成果や技術革新を発表する場として開催された。本大会の主要テーマは「持続可能な交通とインフラの発展」であり、環境に優しい交通、交通安全と管理、インテリジェント交通システム（ITS）、インフラの維持管理と耐久性、公共交通の改善がサブテーマとして設定されていた。

主要プログラムとして、PIARC会長およびチェコ政府高官による開会式をはじめ、世界各国の交通専門家による基調講演、パネルディスカッション、各国企業や研究機関による展示ブースなどが開催された。橋梁調査会も日本パビリオンに出展し、パネル、動画、パンフレットにより「橋梁の点検支援技術」や「道路橋点検士」等の主な事業を紹介し、今後の事業展開を見据えた情報発信を行った。

展示ブースには各国から参加した橋梁技術者や学生などが訪れ、橋梁の状態把握を支援する新技術について興味を示し、有益な意見交換ができた。各国とも技術者が減少傾向にある中で、いかにインフラを効率的に維持管理していくかという「共通の課題」を抱えており、我が国で展開している点検支援技術の潜在的なニーズがあることが感じられた。

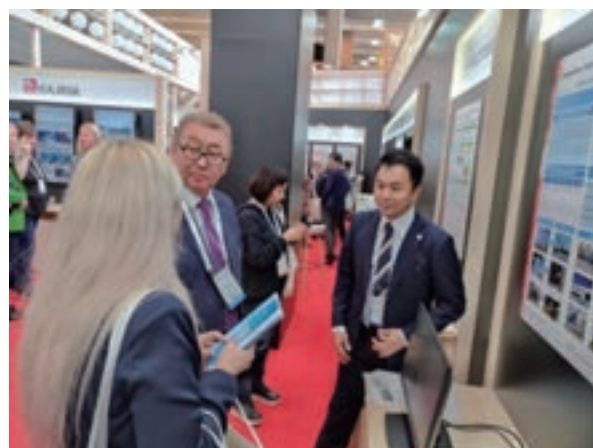


写真-2 展示ブース



写真-3 日本パビリオン オープニングセレモニー

### 3. 橋梁・インフラの現地調査報告

#### 3.1 プラハ市内橋梁（チェコ共和国）

会議場から地下鉄で20分程度のヴルタヴァ川に架かる歩行者専用のカレル橋である。橋長515.7m、幅員9.5m、15連の砂岩アーチ橋で、最大支間長13.4m。橋の両端に橋塔が建設されている。橋の欄干にはバロック様式の彫刻が30体並んでおり、1402年に竣工。600年以上昔（日本は室町時代）に建設された石造橋であり、日本の木造橋文化との違いを感じた（写真-4・5）。同じヴルタヴァ川に架かるカレル橋の上流に位置するトロイスキー橋である。橋長262m、幅員30m、アーチ高34mの鋼製アーチ橋で、2014年に竣工。モダンでエレガントなアーチ構造は、周囲の景観と調和し、プラハの重要な交通インフラである。また、車両交通だけでなく、公共交通機関のトラムも通過するため、市民にとって便利な交通手段になっている（写真-6・7）。



写真-4・5 カレル橋・橋塔



写真-6・7 トロイスキー橋

#### 3.2 ブラチスラヴァ市内橋梁（スロバキア共和国）

大会3日目に技術視察ツアーに参加し、約4時間のバス移動にて隣国スロバキア共和国の首都ブラチスラヴァの橋梁を視察した。高台に位置するブラチスラヴァ城から新ドナウ川橋とアポロ橋を視察。新ドナウ川橋は、橋長431.8m、幅員21m、主塔高87.2mの非対称のダブルデッキ鋼製斜張橋で、2014年に竣工。斜張橋としては世界で2番目に大きい非対称橋である。主塔の上には円盤形の展望台とレストランがあり、エレベーターで行くことができるようだが、見学時間が短く、体験できなかったのが残念であった（写真-8）。

アポロ橋は、全長835m（フライオーバーを含む）、アーチ部は231m、幅員32m、アーチ高36mの鋼製アーチで鋼製部の総重量は5,240トン、2005年に竣工。翌年に米国土木学会が主催する2006年優秀土木技術賞（OPAL賞）に選考されている（写真-9）。

視察後は、市庁舎にて橋の設計者、請負業者、管理者から橋梁建設の歴史や道路インフラ整備の解説を聞くことができ、とても有意義なツアーであった。



写真-8 新ドナウ川橋





写真-9 アポロ橋

### 3.3 イスタンブール市内橋梁（トルコ共和国）

第27回世界道路会議終了後、トルコへ移動し、バス、路面電車、地下鉄を使いイスタンブール市内にある他の橋梁やモスク、地下宮殿などの建造物を視察した。

ガラタ橋は、橋長490m、幅員42m、中央最大支間長80mの金角湾に架かる可動橋（跳ね橋）で、1994年に竣工。橋上では、地元の人々が釣りを楽しむ光景が見られ、橋の下層にあるレストランでは、新鮮な魚料理が提供されていた（写真-10・11）。

金角湾メトロ橋は、橋長936m、幅員12.6m、中央最大支間長180m、主塔高65mの鋼製斜張橋で、2013年に竣工。本橋は地下鉄2号線の一部であり、ハリチュ駅が橋の中央部に設置され、両岸には歩いてアクセス可能である。ガラタ橋の上流に位置し、海面からの高さが13mで船舶の通行を妨げることなく、交通インフラの一部として機能している（写真-12・13）。



写真-10・11 ガラタ橋中央可動部・橋上可動部



写真-12・13 金角湾メトロ橋（駅上から撮影）

イズミット橋視察と第2ボスポラス橋のハンガーロープ交換工事現場を（株）IHIインフラシステムのご厚意により案内いただいた。

イズミット橋は、橋長2,682m、幅員30.1m、中央最大支間長1,550m、主塔高252m世界第4位の吊橋で、2016年に竣工。本橋は、国際的なコンソーシアムによりBOT(Build Operate Transfer)方式により建設され、トルコの交通ネットワークを大幅に改善し経済や物流において重要な役割を果たしている（写真-14）。

第2ボスポラス橋は、橋長1,510m、幅員39.4m、中央最大支間長1,090m、主塔高105mの吊橋で、1988年に竣工。アジアとヨーロッパを結ぶ象徴的な存在としてイスタンブールの都市景観の一部を形成している。本橋は、日本のODA円借款により日本企業を中心としたコンソーシアムにより建設された。建設から30年以上が経過したため、ハンガーロープの全数検査が実施され、損傷が確認されたため全数交換する必要があると判断された。本橋の修繕工事を受注したIHIインフラシステムの現地工事事務所にて説明を受け、現場を案内していただいた（写真-15・16）。



写真-14 イズミット橋



写真-17 プラハの代表的交通機関



写真-18 イスタンブールの代表的交通機関



写真-15・16 第2ボスボラス橋・ガセットプレート

#### 4. 公共交通機関

チェコ共和国のプラハ国際空港からプラハ・コンGRESセンター（滞在ホテルに隣接）がある「ヴルショピツェ駅」までは、エアポート・エクスプレスと地下鉄を利用して容易に着くことが出来た。プラハは、ヨーロッパでも人気の観光地であり、多くの観光客が訪れるため公共交通サービスが充実していた（写真-17）。

トルコ共和国のイスタンブールでは、市内の中心部に位置しているタキシム広場（Taksim Square）の近くに滞在した。タキシム広場はイスタンブールの主要な交通ハブであり、メトロ、バス、トラムなどの公共交通機関が集中しており、移動は容易であった（写真-18）。

#### 5. おわりに

今回、世界道路会議に出席させていただき、海外の橋梁技術動向を知ることができた。また、イスタンブールでは日本の橋梁技術者が活躍している姿を現地で見ることができ、我が国の技術力の高さを実感した。このような貴重な機会を与えていただいたことに感謝するとともに、今回得た知見を今後の業務に活かしたいと考えている。

最後に、6世紀、東ローマ帝国の皇帝ユスティニアヌス1世の時代（527年-565年）に建設された、大規模な地下貯水池（地下宮殿）の幻想的な写真を紹介して終わりとする（写真-19）。



写真-19 地下貯水池（地下宮殿）

# IABSEシンポジウムマンチェスター 2024の聴講参加とエディンバラおよびフランクフルト近郊の橋梁現地調査

近畿支部 谷山 光一  
東北支部 佐藤 清彦

## 1. はじめに

### 1.1 研修概要

IABSE（国際構造工学会）のシンポジウムが令和6年4月10日から12日にかけて、英国・マンチェスターにて開催された。この国際会議には、橋梁調査会から2名が聴講参加した。シンポジウムの会場は市内中心部に位置するマンチェスターメトロポリタン大学で、近代のかつ歴史あるキャンパスが会場として提供された。そこには、世界各国から様々な専門家や研究者が集結し、橋梁工学や構造工学に関する最先端の研究成果や技術に関する多様な意見が活発に交わされ、会場は終始賑わいを見せていた。特に、世界中の技術者たちの発表や議論を通じて、橋梁工学の未来を考える上で非常に貴重な知見を得ることができ、感銘を受けた次第である。

このシンポジウムに参加するため、英国を訪問した際には、スコットランドのエディンバラも訪れる機会を得た。エディンバラでは、世界遺産に登録されているフォース鉄道橋を視察することができ、その圧倒的な存在感と技術の偉大さに心を打たれた。また、隣接するフォース道路橋も併せて訪れ、そのデザインと機能性の融合に深い感銘を受けた次第である。

さらに、乗り継ぎの都合を利用してドイツ・フランクフルト近郊の橋梁も視察し、ヨーロッパ各地における橋梁設計や技術の多様性とその卓越した技術力を実感することができた。以下に、この視察の概要を報告する。

### 1.2 研修日程

今回の研修日程は以下の通り。11日間で2カ国5都市を駆け足で巡った。

表-1 日程表

| 日程       | 内容                                 |
|----------|------------------------------------|
| 4月 8日(月) | 羽田→ロンドン                            |
| 4月 9日(火) | ロンドンの市内橋梁調査<br>ロンドン→マンチェスター        |
| 4月10日(水) | IABSEシンポジウム 聴講                     |
| 4月11日(木) | IABSEシンポジウム 聴講                     |
| 4月12日(金) | IABSEシンポジウム 聴講および<br>市内ウォーキングツアー参加 |
| 4月13日(土) | マンチェスター→エディンバラ                     |
| 4月14日(日) | 橋梁視察：フォース鉄道橋・道路橋                   |
| 4月15日(月) | エディンバラ→ドイツ・フランクフルト                 |
| 4月16日(火) | 橋梁視察：ドイツ・ケルン近郊                     |
| 4月17日(水) | 橋梁視察：フランクフルト市内<br>フランクフルト→成田       |
| 4月18日(木) | 成田着                                |

## 2. IABSEシンポジウムの概要と聴講報告

### 2.1 シンポジウムの概要

今回のシンポジウムのテーマは「Construction's Role for a World in Emergency（緊急事態の世界における建設の役割）」というものである。この「緊急事態」とは、二酸化炭素の排出がもたらす気候変動や生態系への深刻な影響を指していると解釈した。建設業界は、世界の二酸化炭素排出量において大きな割合を占めているため、脱炭素化を通じて気候変動への積極的な貢献が期待されている。このシンポジウムは、建設業が気候変動抑制に向けてどのような役割を果たすべきかを、多角的なアプローチを通じて議論し、業界全体がその責任を自覚するためのものであることが、序文にて明確に述べられている。

英語での議論やプレゼンテーションの聞き取りに苦労した部分もあったが、それ以上に、世界中の専門家たちが持つ知識や情熱に触れることで、深い感



動を覚えた。地球規模の課題に真剣に取り組む姿勢や、多様な視点からの洞察に触れたことは、非常に貴重な経験であった。このシンポジウムを通じて、建設業界が果たすべき責任の重さを改めて痛感し、未来に向けての新たな決意を固めた次第である。



写真-1 会場入り口にて（左：谷山、右：佐藤）

## 2.2 基調講演

基調講演は5講演が行われた。すべての講演を聴講したわけではないが、脱炭素に関する意識が高まり、具体的な対策に関する議論が進められていると感じた。各講演では、建設業界が気候変動に与える影響を真剣に考え、その改善に向けた方向性を示していた。具体的な資機材や技術に関する定量的な情報は一部に留まっていたものの、それぞれの講演は業界全体に対する強いメッセージを発信しており、今後の具体策に向けた土台作りとして重要な役割を果たしていた。

これらの基調講演は、シンポジウムの進行を支える役割を担っており、その中で建設業が直面する課題と、その解決に向けた意識改革を促す内容が中心であった。今後、このようなシンポジウムを通じて、より具体的な実践に向けた道筋が明確になり、脱炭素社会の実現に向けた具体的な取り組みがさらに加速することを期待している。全体として、基調講演は前向きなメッセージを含んでおり、建設業界が今後どのように変革していくかの指針となるものであった。

その中でも、fibの前会長であり三井住友建設の春日昭夫氏による講演は、特に共感を呼ぶものであった。氏は、橋梁建設において使用されるコンクリートや鉄筋といった、二酸化炭素の排出量が多い資材

を、より排出量の少ない資材に置き換えることを提案していた。また、具体的な低炭素技術を導入することで、二酸化炭素排出の削減効果を高める建設方法についても詳述しており、非常に実践的かつ革新的な内容であった。

春日氏には、講演開始前に直接挨拶する機会があり、その際、氏の丁寧な対応と物腰の柔らかさに好感を抱いた。氏は「今日の内容は実務的な話であるため、テーマに即しているか不安です」と謙遜されていたが、その講演内容は非常に充実しており、日本の技術者としての誇りを感じさせるものであった。具体的な技術提案が示されたことで、脱炭素化に向けた現実的な道筋が見え、参加者として感銘を受けた。



写真-2 講演中の春日氏

## 2.3 一般講演

一般講演は150弱ほどあった。興味が湧いた講演をタイミングの合う限り聴講した。事前に、機会ある毎に本四高速道路・JR東日本・コンサルタント会社・大学教授などの人たちと挨拶を交わした。身近に感じられることや帰国後も関わりがあるかもしれないこれらの方々の講演内容を頂いた資料から抜粋して以下に列記する。

- ①耐震補強の取り組み：因島大橋の今後の課題  
供用開始から40年を超えて
- ②ケーブル腐食を考慮したタイドアーチ橋の連鎖破壊解析
- ③低温時の高減衰ゴム支承内部の加熱と熱伝導効果
- ④古い鉄道橋の溶接性と溶接後の疲労強度
- ⑤溶接ステンレス鋼および炭素鋼桁の極限せん断

強度

- ⑥デッキ交換工事におけるせん断力伝達部材で接合された鋼桁と直交異方性鋼床版の複合効果
- ⑦高強度ボルト摩擦GFRP接合部の滑り挙動に対する材料特性の影響
- ⑧CFRP緊張材を使用した短スパン既存橋床版の耐久性向上
- ⑨溶接ステンレス鋼および炭素鋼桁の極限せん断強度
- ⑩高強度皿ボルトを用いた片面摩擦接合部の荷重伝達メカニズム
- ⑪コンパクトな柱杭接合部の引張強度
- ⑫CFRP 補強鋼柱の圧縮強度に関する実験的研究

タイミングが合わず、これらの講演を聴講することは叶わなかったが、各組織がこのようなシンポジウムに積極的に参加し、見識を深めるための努力を惜しまない姿勢を知ることができた。このような機会を通じて、業界全体が知識や技術の向上に努めていることに対し、深い感銘を受けた。我が橋梁調査会もこのような意識を持って業務に取り組むことが、今後の橋梁技術の発展に繋がると確信している。



写真－3 聴講の様子



写真－4 展示ブースにて（フレシネー社の方と谷山調査役）

## 2.4 ウォーキングツアー参加報告

シンポジウムオプションツアーの「マンチェスター市内の構造物ウォーキングツアー」に参加した。当初は水曜の予定であったが、荒天のため延期され、我々は金曜日の午前中に参加した。ツアーのガイドはBrian Duguid氏である。30名程度で（日本の技術者は我々含めて6名）シンポジウムの会場であるマンチェスターメトロポリタン大学からスタートし、午前中いっぱい8箇所を見て回った。今回のシンポジウム全体の参加費は高く感じたが、開催国イギリスでの物価を鑑みると妥当なのかもしれない。このオプションツアーは参加費に見合う内容であったと思う。以下に特徴的な橋梁について紹介する。

### ①Hulme Arch Bridge

1999年完成の一面吊りの放物線アーチ橋でありアーチ高は25mである。アーチの基礎位置が橋梁の対角線上に設置されており不思議な感覚を覚える。吊材の非対称配置によって引き起こされる回転力に対し、橋梁側面にガイドベアリングが設置されている。



写真－5 Hulme Arch Bridge

### ②Mancunian Way Footbridge

幹線道路上に架かる平面的にコの字型にレイアウトされた2002年に完成の歩道橋である。道路上を鋼トラスデッキのアーチ部分が片持ち梁で架橋しており、トラスは全長150mにもなり支点部を確認するまで時間が掛かった。なるほどと思う構造でバランスを考えた構造物であるが、地震時の挙動はどうなるのか心配になった。





写真－6 Mancunian Way Footbridge（下面）



写真－7 Mancunian Way Footbridge（側面）

### ③River Irwell Bridge

アーチ構造の支間89mアーチ高14.3mの鉄道橋である。支点部・目地部が不思議な鉄製の構造となっており、設置理由が想像できなかった。聞いてみると、「デザイン」なのだそうである。非常に印象深い見た目で、無駄を承知で＝デザインとコストを天秤に掛けて建設する国民性は日本には無い（と思う）。



写真－8 River Irwell Bridge



写真－9 River Irwell Bridge（端部近影）

## 2.5 その他

シンポジウムでは、日本人の参加者が多く見られたため、特別な用事や理由がなくても積極的に挨拶することが非常に有益である。そうすることで、思いがけない有益な情報を得ることができ、交流の幅も広がる。シンポジウムのプレゼンのデータを受け取ったのが現地到着後であり、内容確認の準備に十分な時間が取れなかった。事前に講演内容を和訳しておけば、私たちの英語力でももっと内容を深く理解できたと感じている。

## 3. 各国の橋梁現地調査

### 3.1 視察橋梁の決定経緯

海外研修に際し、マンチェスターでのシンポジウム聴講のほかに、乗り継ぎの関係で、欧州のどこかで橋梁視察を行って良いとのことだった。皆目見当がつかず途方にくれていた所、タイミング良く菊川理事長が支部を訪問され、「マンチェスターまで行くなら、フォース鉄道橋を見た方が良い」とアドバイスをいただき、エディンバラまで行くことを決めた。

英国内だけでも、見学すべきたくさんの橋梁がある。しかし、せっかくの機会に別の国にも行ってみたいという理由で、ドイツ・フランクフルトを経由して帰国することにした。ドイツで見学する橋梁は、前職でお世話になった方から「橋と景観」という書籍をアドバイスしていただいたことがヒントになった。絶版しているため、古本を探し当て、今回の視察箇所の参考としたものである。この書籍は、橋梁調査会の前身である海洋架橋調査会が1991年に発行したものであり、ヨーロッパ編Ⅰ、Ⅱ、北アメリカ編の3部冊である。我々の先輩が訪れた場所、感じ



た事を追いかけてみようと考えた次第である。英国含め今回の橋梁調査の事前資料として大変役に立ち、後に続く皆様も是非、視察橋梁の選定材料として参考にしていきたい。

### 3.2 ロンドン

日本からシンポジウムの開催都市であるマンチェスターまでの直行便は無いため、行きはロンドン経由となった。羽田から深夜便にて出発し、ロンドンには9日の早朝に到着し、半日ほど市内のテムズ川に掛かる3橋について橋梁視察を行った。以下に視察した橋梁について紹介する。

#### ①タワーブリッジ (Tower Bridge)

1894年に完成の3径間跳開橋である。橋長244m、ゴシック様式の主塔の高さは65mとなっていて、見物の観光客も多い。主塔内に展望通路と歴史博物館があるが、時間の都合で見学することは出来なかった。ロンドン市内を流れるテムズ川下流に存在し、二つのタワーをつなぐタイと両側につながるライトブルーに塗られたチェーンは、「橋と景観」掲載当時から変わっておらず、そのデザインから、ロンドンの入り口としてのシンボル性は十分である。



写真-10 Tower Bridge

#### ②ロンドン橋

2000年近い歴史があり、初めて架けられたのは西暦46年の木橋といわれている。現在の橋梁は1973年に完成の3径間PCコンクリート橋である。橋長262m、幅員32mとなっており、ほかの橋に比べ、スマートでシンプルなデザインとなっており、実用的な橋梁である。童謡で有名な橋であるが、観光名所とはなっていない。



写真-11 ロンドン橋

#### ③ミレニアムブリッジ

2000年に完成の吊り橋形式の歩道橋である。主塔がY字で低いのが特徴で、デザインコンセプトは「優雅な剣・光の翼」とのこと。橋長370m、最大支間長144m、幅員4mである。南側のテート・モダン現代美術館と北側のセント・ポール大聖堂を結んでいる。

開通当初は強風と大勢の人々の通行により、大きな横揺れが発生し、一時通行止めとなった。ダンパーを用いた対策工事を経て、2002年に再開通している。

視察時に雨が降っていて、非常にスリッピーであり、若い観光客は、皆滑って遊んでいたのが印象的である。軽量化のためであると思うが、日本では必ずクレームが付くような仕様であると感じた。



写真-12 ミレニアムブリッジ

### 3.2 エディンバラ

#### ①フォース鉄道橋

フォース鉄道橋はエディンバラの北側に位置し、エディンバラ中央駅から鉄道に乗り、20分程度で着いた。我々は、フォース鉄道橋を鉄道で通過し、北側のノースクイーンズフェリー駅で下車し、北側から見学を開始した。その後、2時間近く掛けて、フォース道路橋を見学しながら歩いて横断し、南側の鉄道駅ダルメニーまで行くという、ハードスケジュールであった。

フォース鉄道橋は、1890年に完成のフォース湾を横断するカンチレバートラス構造の鉄道橋である。521mのスパンが2つ組み合わさり、アプローチの高架橋も入れて全長2,530mの橋梁となっている。中央のゲルバー吊り桁部は107m、主構の高さは105mである。3つの巨大な赤い菱形は、重量感のあるデザインで、2015年に世界遺産に登録されている。世界遺産であるフォース鉄道橋を間近に観ることができ、その構造体の大きさに圧倒された。逆に言うと当時1800年後半の技術（設計、製作）では、中央の吊り桁（106m）を架けるため、こんなに高い主構と張出が必要だったのだと印象を持った。また、図面が無いと、深さ不明であるが、海中の基礎をどのように施工したのかも興味が沸いた。

この橋梁の建設に日本人技師渡邊嘉一氏が活躍していたと文献を読み、技術者としての開拓精神と130年以上経った現在でも現役の鉄道橋として活躍できるような技術の素晴らしさが感慨深いものであった。

あれほどの細部にわたり塗装された鋼部材を使用しているため、維持管理に相当な努力が必要であろうことが伺い知れる。



写真-13 フォース鉄道橋（北側より）



写真-14 カンチレバーの原理をモデル化する3人  
中央に映っているのが日本人技師渡邊嘉一氏  
(公式HP <https://www.theforthbridges.org/>より)

## ②フォース道路橋

フォース道路橋は、1964年の開通当時、アメリカ以外では世界最大だった長大な吊り橋である。全長2,512m（中央径間1,006m＋側径間 408m×2＋北側高架橋252m＋南側高架橋438m）となっており、主塔高さは156mである。南東部ネットワーク・メンテナンス契約の一環として、スコットランド運輸省に代わってBEARスコットランドが管理している。シンポジウムにご参加の土木学会メンバーは、我々より先に当地を訪問され、実際に管理会社と意見交換会を行ったと聞いた。

フォース道路橋は、2017年8月に完成した隣接する新道路橋「クイーンズフェリー・クロッシング」の供用を機に、歩行者・自転車、公共交通機関が通れる道路橋になっている。規制をしているのは、通過車両の予想を超える増大や主ケーブルの強度が腐食によって8～10%低下し、大動脈幹線の交通規制を伴う大規模改修が必要になる等の理由である。維持管理費と比較して新橋を構築することに理解を得られることに驚愕である。交通荷重を制限することが、巨大な橋梁の維持管理費削減にどれくらいの効果があるのか興味が沸く。

全長2.5kmを歩いて渡るのは我々だけかと思っていたが、強風の中、観光客や地元民が多く通行しており、観光目的の人たちは途中で思い思いに写真を撮っていた。歩道を行くと主ケーブルの管理窓があり、観察も容易にできた。近接して鋼トラス橋（鉄道橋）、吊り橋（道路橋）、斜張橋が並んでおり、橋梁マニアには、最高のスポットとなっている。



写真-15 フォース道路橋

## 3.3 ケルン

ドイツを流れるライン川には、ゆったりと流れる景観とマッチした著名な橋梁が複数架かっており、



橋梁そのものが観光スポットとなっている。「橋と景観」から、経由地であるフランクフルトから日帰りで行ける古都ケルンの橋梁を視察することとした。乗り継ぎ経緯地のフランクフルトからケルンまで高速鉄道で1.5時間程度である。

#### ①ローデンキルヒェン橋

ミュールハイム橋（Mülheimer Brücke）は、ケルンの南部地区に位置し、ライン川を渡る交通の要所となっている。1941年に完成のライン川に架かる全長567m、幅員53mの吊り橋である。1945年の空襲で破壊されたが1954年復旧している。中央径間378mであり、交通量の増加に伴い1990～1994年にかけて拡張され、柱3本の3面ケーブルに拡張されている。「橋と景観」では拡張前の姿が残っている。視察時は、桁下面は塗替え塗装直後であったようで、腐食は見られない状態であった。



写真－16 ローデンキルヒェン橋

#### ②ミュールハイム橋

ミュールハイム橋（Mülheimer Brücke）は、ケルンの北部地区に位置し、ライン川を渡る交通の要所となっている。1932年に完成したものは第二次世界大戦で破壊され、1951年に現在の橋梁が完成している。橋長485m、中央スパン315m、幅員27mの吊り橋である。路面電車、自動車、歩行者が同一面で通行できるようになっているが、視察当時、全面改修中で、車道1車線と歩道のみ通行できるようになっていた。



写真－17 ミュールハイム橋

#### ③ホーエンツォレルン橋

ホーエンツォレルン橋（Hohenzollernbrücke）は、1911年に完成の鋼トラスアーチ橋である。3つのアーチが特徴的で、橋長409m、幅員26mあり鉄道と歩行者が通れるようになっている。

この橋の西側には古都ケルンのシンボルであるケルン大聖堂があり、また、恋人たちが「愛の南京錠」を取り付ける場所として有名で、高欄には何万もの南京錠が取り付けられている。中央駅とも近いので橋からケルン大聖堂やライン川の美しい景色を楽しむ観光スポットとなっている。



写真－18 ホーエンツォレルン橋

### 3.4 フランクフルト

フランクフルト（正式にはフランクフルト・アム・マインと言うらしい）は市内中心部をマイン川が流れ、史的な街並みと現代的なスカイラインが共存する、ドイツの中でも特に国際色豊かな都市として知られている。日系の航空会社が乗り入れているため、乗り継ぎに便利な都市となっている。

#### ①アイゼルナー シュテグ（鉄の橋）

アイゼルナー シュテグ（Eiserner Steg）は、1869



年に完成したフランクフルト中心部に流れるメイン川に架かる歩道橋である。橋長170mの鋼トラス橋であり、鉄のアーチが特徴的である。第二次世界大戦で破壊された後、1993年に現在の形に復旧された。

この鉄の橋はフランクフルトのシンボルとして有名であり、ロマンチックな雰囲気の中で、恋人たちが永遠の愛を誓って橋の柱に鍵をかけるため、高欄には南京錠が多数掛けてある。橋台となっている階段アプローチ部に日付の書かれたプレートが設置しており、洪水時の水位を表しているものであった。



写真-19 アイゼルナー シュテグ（鉄の橋）

## ②ホルバイン歩道橋

ホルバイン歩道橋（Holbeinsteg）は1990年に完成の斜張橋である。橋長210m、幅員は5mである。

メイン川の兩岸を結び、特に鉄道駅付近から南岸の博物館地区へ向かう歩行者のために設置されている。周辺には博物館や公園、レストランが点在しており、観光客や地元の人々に人気のスポットである。この程度の斜張橋でも、桁下面に点検・維持管理用の移動足場が備え付けて有ったのが印象的であった。



写真-20 ホルバイン歩道橋

## 3.5 橋梁視察を通じて

イギリスとドイツの橋梁を見学して、特に歩道橋のデザインの自由さが印象的である。コンセプトやデザインありきでそれに合わせて構造を細工している配慮（主桁形状、アンカーの取り方、高欄のデザイン等）に感心した。

全体的に沓座周りがシンプルである。これは地震の頻度によるものとはいえ、日本の橋梁のように落橋防止構造や変位制限突起などがなく、非常に維持管理性に優れていると感じた。

## 4. おわりに

ヨーロッパ圏への海外渡航は、常に特別な高揚感を伴うものであり、現地で見聞きするすべてのものが新鮮であった。シンポジウムへの参加を通じて得た知見はもちろんのこと、それ以外の場面でも多くの新たな発見と学びがあった。

一方で、ヨーロッパの物価の高さには驚かされた。特に食事や交通費など、日常的な支出が予想以上に高額であり、予算内でやりくりするために少々苦労した。しかし、こうした苦労も含めて、海外での経験は我々の視野を広げる貴重なものとなった。この機会を最大限に生かし、得た知見を今後の仕事に反映させていく所存である。改めて、このような機会を与えてくださったことに深く感謝し、引き続き業務に邁進する決意を新たにしている。関係者への感謝とともに報告を終える。

## 参考文献

### 1) 橋と景観

財団法人 海洋架橋調査会編 1991.12

### 2) 世界の橋並み （鹿島出版会）

松村博 2017.3

### 3) 絶対に見たい世界の橋 （中経出版）

アフロ 2013.1

## 参考資料

### 1) フォース鉄道橋の隠された歴史

三浦基弘、前田研一 土木史研究講演集Vol.24  
2004年

# 第12回橋梁の維持管理に関する国際会議（IABMAS 2024）の 聴講参加とコペンハーゲン、ストックホルムの都市・橋梁の視察報告

本 部 調査役 山浦 武彦  
関東支部 橋梁課長 殿川 康一

## 1. はじめに

IABMASの組織は本年度で25周年を迎えました。国際会議としては2002年のバルセロナを初回として今年で12回目となり、コペンハーゲンのチボリ・コンGRES・センターで6月24日～28日に開催されました。

本報告は、FIT（Foreign Independent Tour）2名で3日間の国際会議を聴講し、コペンハーゲン（デンマーク）とストックホルム（スウェーデン）都市内の橋梁視察を実施した内容を取りまとめたものです。表－1に概略工程を示しますが、午前4時半から午後10時頃（約17時間）まで、一年で最も日長の時期であったため、国際会議の後でも十分に市内を巡ることができました。以下に特別セッションとコペンハーゲン、ストックホルムの橋梁視察について紹介します。

※橋は、デンマーク語でBROEN（BRO）、スウェーデン語でBRON（BRO）

表－1 概略工程表

| 日程                    | 工程                                                             |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|
| 6月23日（日）              | 羽田空港→ヘルシンキ・ヴァンター国際空港経由→コペンハーゲン空港着                              |
| 6月24日（月）              | 昼間：コペンハーゲン市内・橋梁視<br>18:00～：City Hall Welcome reception（IABMAS） |
| 6月25日（火）～<br>6月27日（木） | 8:30～ IABMAS 聴講<br>夕方：市内橋梁視察<br>閉会式                            |
| 6月28日（金）              | コペンハーゲン空港発→ストックホルム・アーランダ空港着<br>ストックホルム市内視察                     |
| 6月29日（土）              | ストックホルム市内視察                                                    |
| 6月30日（日）              | ストックホルム・アーランダ空港発→羽田空港                                          |

## 2. IABMAS2024に聴講参加

### 2.1 テーマ及びプログラム

国際会議で出展された技術論文は約470編（約

4100頁、44カ国、著者約1,300人）です。ここでは、宿泊場所近くに架かるダイブロスブロという跨線橋について、特別セッションでその計画と施工について発表があったので紹介します。

### 2.2 特別セッション（ダイブロスブロ橋の計画と施工）

参考文献：IABMAS2024論文より

「Enhancing Dybbølsbro Bridge – Refurbishment and expansion without new substructure」

著者L. Thormann, C. Pedersen & J. Fogh Svensson

現況：橋長約190mを有する5径間連続プレストレスコンクリート箱桁橋（歩行者・自転車専用橋と道路橋が約10.2mの空間を有して併走）（図－1、図－2）

目的と課題：自転車交通量増大のため並列した2橋の空間を利用した拡幅が必要となり、施工時における供用中の橋の通行維持と桁下鉄道（12路線）と既設構造物への影響を最小限に抑えることが課題。また、既存の橋の余剰耐荷力を活かすことが鍵となる。検討のコンセプト：既設橋は、どちらも建設時に送り出し架設で施工されており、耐荷力に余裕のある設計がされていた。設計を考える上で、これらの余剰耐荷力を新たな橋の荷重を支えるために利用することに着目した。

本橋の拡幅の考え方として、最初に検討された代替案は以下の4案である。

- ・既設橋の張出床版間に吊るされた新しい鋼製デッキ（図－3の左上）
- ・ボックス桁ウェブ間（14.4mスパン）に吊るされた新しい鋼製デッキ（図－3の右上）
- ・偏心荷重を避けるために14.4mまたは19mスパンに既設橋脚間にビームを設置し、デッキをビーム間に縦方向に配置する（図－3の左下）
- ・新設の独立した並列橋（図－3の右下）

採用案：新たな鋼部材を既存の2橋梁の間に吊るすという構造を採用した。

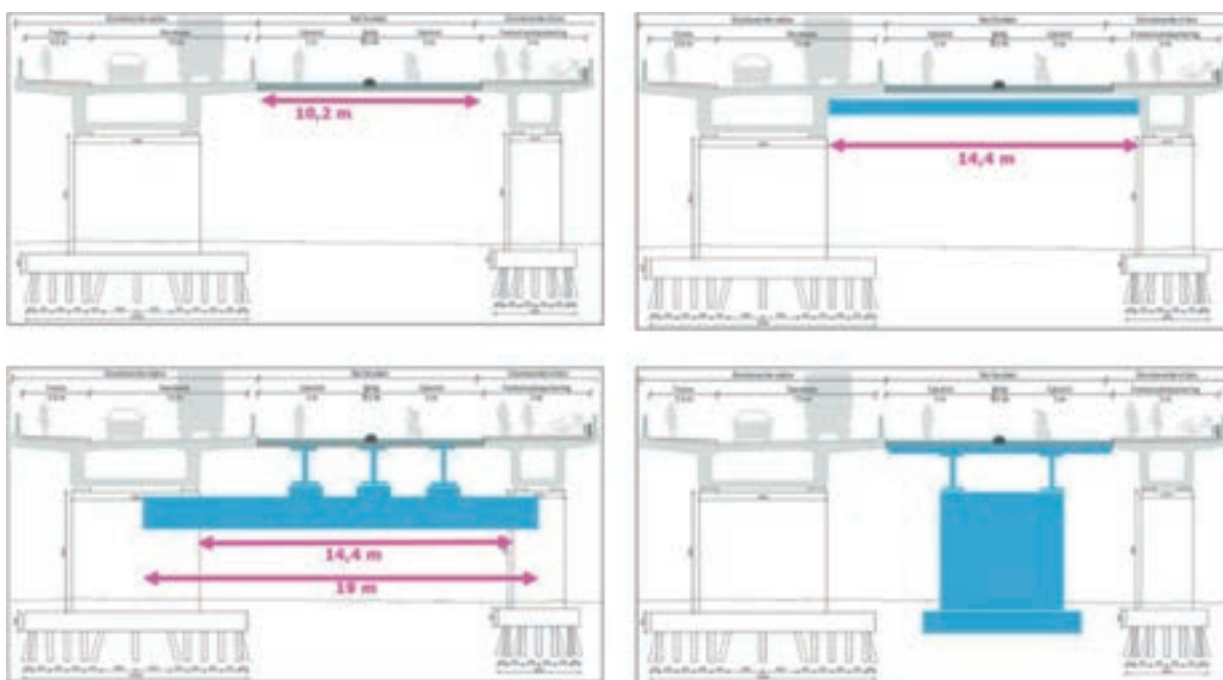
設計・施工時の工夫：設計上重要となった課題は、



図ー1 拡幅前の写真（左）と拡幅後の写真（右）



図ー2 既設の橋梁下の線路写真（左）と既設橋梁間主要寸法（右）



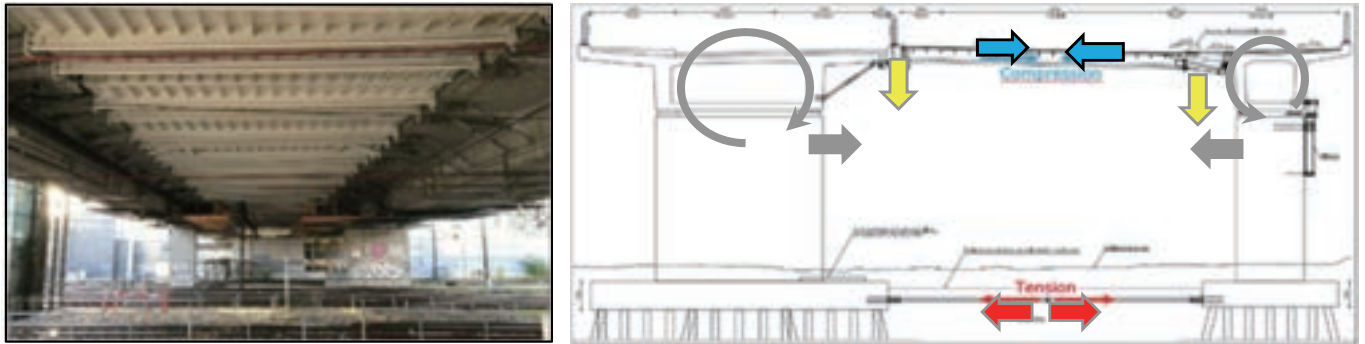
図ー3 最初に検討された4つのコンセプト

3つの結合された橋全体の静的構造を変更することであった。既設橋の間に鋼製デッキを架設すると、左右の既設上部構造にはねじりが発生、下部構造も鋼パネル側に倒れる横方向の曲げが生じ、構造安全性の低下が懸念された。これは特に既設ダイブロスプロ橋の構造安定において重要な課題であった。課題解決として横方向の曲げは、2組の水平力で抵抗する構造とした。すなわち、新たな鋼製デッキを圧縮部材として使用し、新たな引張部材を既設コンク

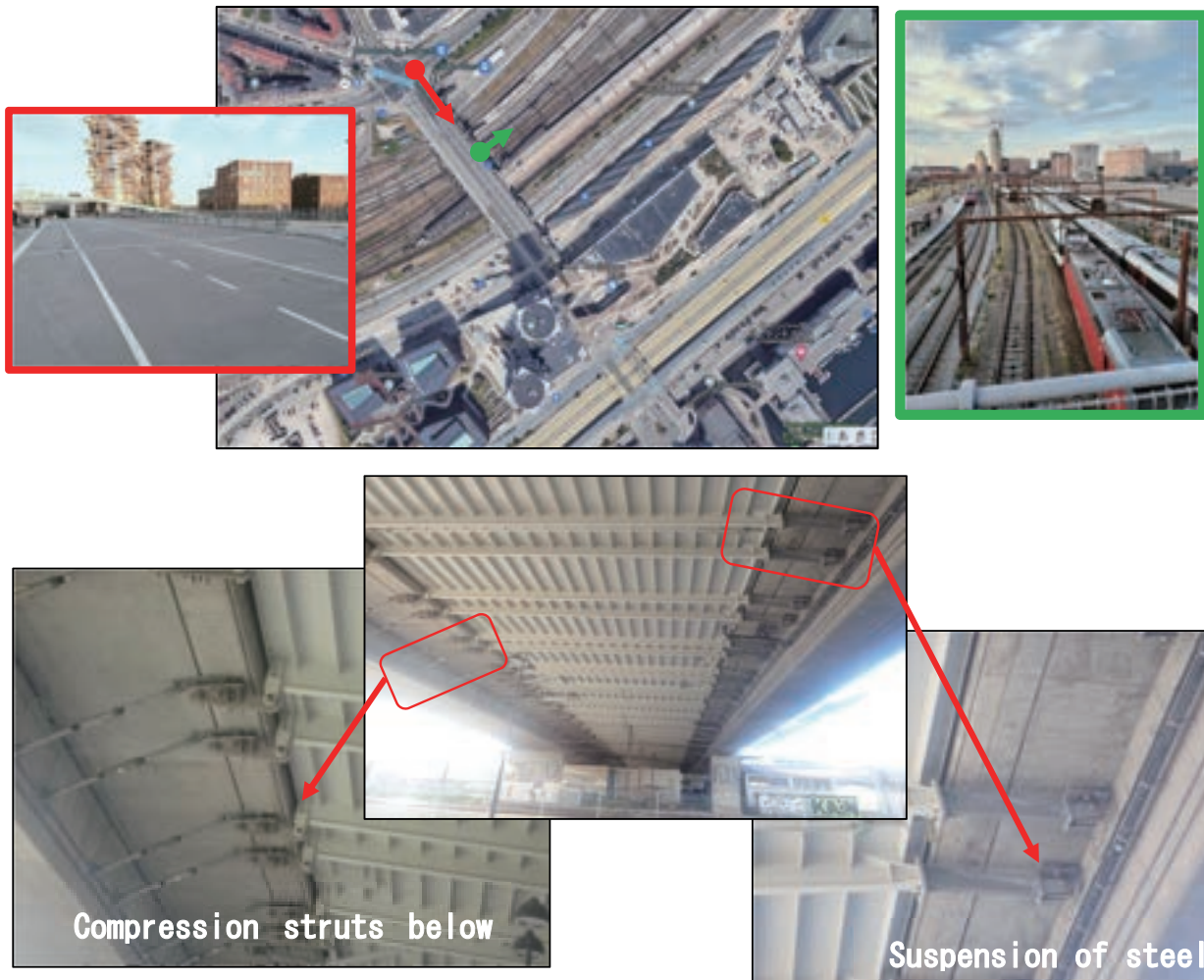
リート橋の杭頭部を接続させ、鋼製デッキを追加した際の作用力（圧縮力と引張力）を与えることで橋梁全体の安定性を向上させた（図ー4）。

効果：既存橋梁を新たな上部構造と共に利用し、新たな基礎構造を構築しないことで、使用材料を最小限に抑え、環境負荷の軽減を図り、鉄道交通の規制を軽減し得たこと。加えて、橋の拡幅プロジェクトは、持続可能な都市インフラの未来を体現し、それを意識した計画と革新的な設計が魅力あるインフラ





図ー4 鋼製デッキ施工後（左）と鋼製デッキ架設による作用力（右）



図ー5 拡幅後の状況写真 橋面側（上）と桁下側（下）

プロジェクトを実現と都市の風景を向上させた。

### 3. コペンハーゲンの橋梁視察

3.1 インダーハウスブローエン橋（歩行者専用桁引き開口橋） Inderhavnsbroen（図ー6）

船舶通行時は、橋軸方向に橋全体がスライドする。

3.2 Butterfly 3-Way Bridge（歩行者専用跳開橋）（図ー7）

鋼床版は、直交異方性プレート構造。2つのデッ

キを挙げている状態が蝶の形をしていることから命名されたようです

3.3 シルケルブローエン橋（歩行者専用旋回橋） Cirkelbroen（図ー8）

設計者は、アーティストであるオラファー・エリASON（Olafur Eliasson）（1967年-）で「円形の橋」（Cirkelbroen）を意味するように、5つの円形プラットフォームが連なる橋です。回転するプラット



図-6 インダーハウンスブローエン橋

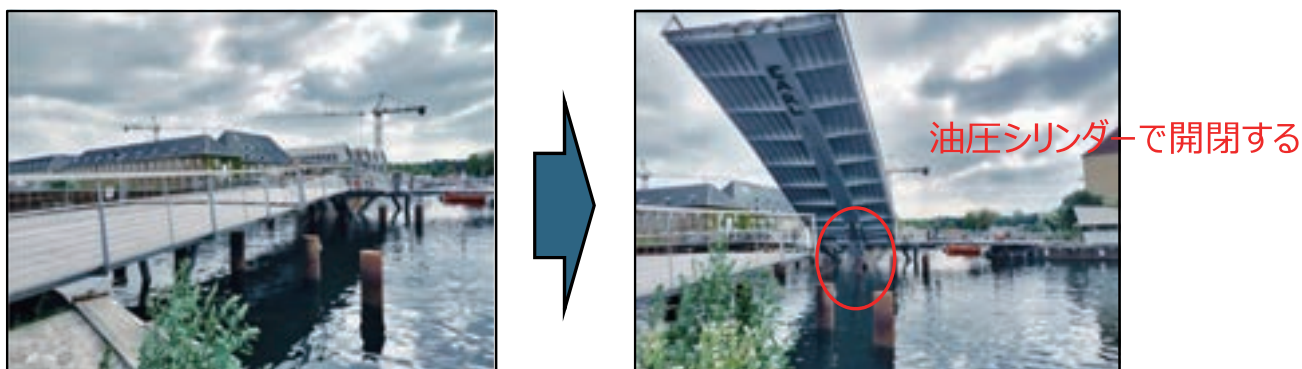


図-7 Butterfly 3-Way Bridge



図-8 シルケルブローエン橋

フォーム（2つ円形）下の橋脚は支持しているように見えているだけかもしれません。

### 3.4 リール ランゲブロー橋（歩行者専用旋回橋）Lille Langebro（図-9）

大きなランゲブロー橋の近くにあり、それにちなんで小さな（Lille）を冠して名付けられる。ウィルキンソン・エア社（WilkinsonEyre）によって設計され、ダブル・スイング・ブリッジ（double-swing bridge）と言われている。

### 3.5 ベルヴェデーレ橋 Belvederebroen（図-10） [高欄デザインが奇抜] 10mm程の鋼板を部分的に

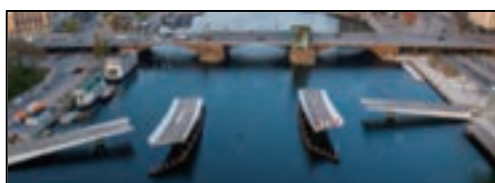
切断して折り曲げた高欄です。まるで折り紙のようであり、高欄部がウェブを兼ねた下路橋構造のようにも見えます。

## 4. スtockホルムの橋梁視察

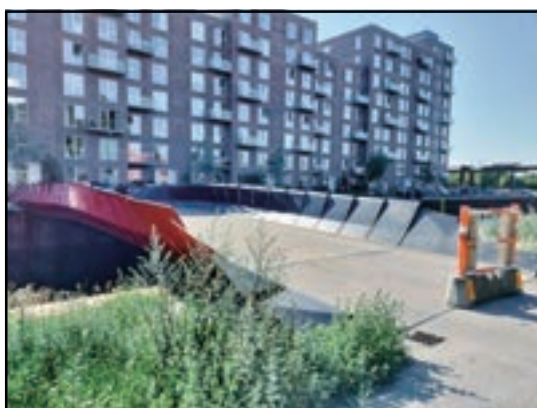
### 4.1 ヴァーサブロン橋 Vasabron（図-11）

1884年に完成した橋長208m、幅員18.0m、構造形式は、7径間連続鋼アーチ橋である。自動車に取って代わられたとき、橋の終端スパンを1906年に補強が行われた。1970年代半ばに錆と亀裂が発見され、橋は1977年から1979年にかけて閉鎖された歴史を持つ。橋桁は鋳鉄製と思われる。





図ー9 シルケルブローエン橋



図ー10 ベルヴェデーレ橋



図ー11 ヴァーサブロン橋

#### 4.2 リックスブロン橋 Riksbron (図ー12)

1931年に完成した橋長44m, 幅員13.5mのコンクリート橋で, 構造形式は中央ヒンジポータルラーメン橋である。エンジニアのアクセル・ビョークマン (1869-1957) とK・A・ヴィッケルト、建築家のラグナル・エストベルク (1866-1945) が設計。幅員7.5mの車道と3mの歩道で構成されています。

#### 4.3 ノールブロ橋 Norrebro (図ー13)

建築家エリック・パルムシュテット (1741-1803) が設計

ストックホルムで最初の石橋の1つ。10年かけて完成し、3つのアーチで支えられた北側は1797年に完成し、1806年には1つのアーチで支えられた南側が完成した。



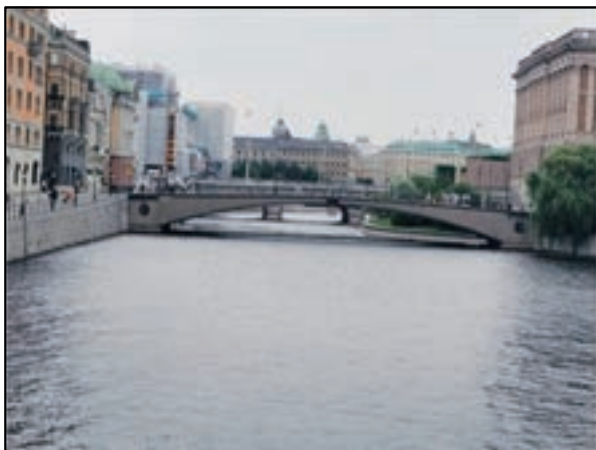


図-12 リックスbron橋



図-13 ノールbro橋

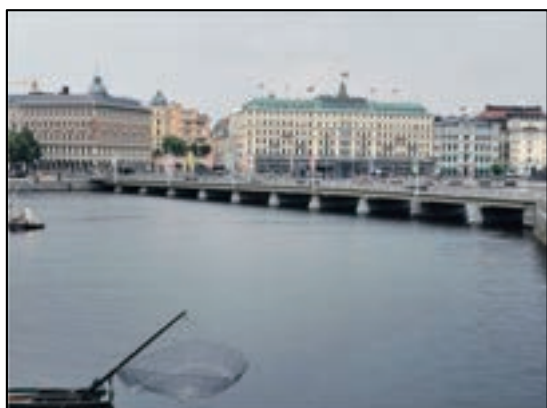


図-14 ストロンbron橋

#### 4.4 ストロンbron橋 Strömbro (図-14)

全長140メートルの道路橋は1946年11月22日に開通  
 支承はピンローラである。

支承付近は、日本の耐震構造によって複雑化した  
 ものではなく、非常にすっきりとしている。

#### 4.5 ヴァスターbron橋 Vasterbron (図-15)

全長600mを超え、水上部の橋長340m、幅員24.0m、  
 構造形式は、2径間連続鋼アーチ橋

最大スパンは204mであり、航路確保のため桁下  
 26mのクリアランスがある。

垂直材は円形鋼管を使用しており、また、ブレース  
 のない構造のため、非常にシンプルな構造である。



図-15 ヴァスターブロン橋

## 5. おわりに

### 5.1 IABMASの参加について

国際学会の聴講では、特に持続可能な社会を目標とした発表が多く見受けられました。環境負荷を最小限に抑え、資源を効率的に利用するための新しい技術や方法論が数多く紹介されました。例えば、リサイクル素材を活用した橋梁建設の事例や、最新のセンサー技術を用いた橋梁のモニタリングシステムなど、未来を見据えた革新的な取り組みが非常に印象的でした。特に、持続可能性を追求することで、社会全体の利益を高めるという考え方に共感しました。橋梁は交通インフラの要であり、その維持管理が適切に行われることで、人々の安全と経済活動の円滑化が図られます。さらに、持続可能な方法を用いることで、環境への負担を軽減し、次世代に健全な地球を引き継ぐ責任を果たすことができます。また、今回の学会では、国際的な視点からの知見を得ることができた点も大きな収穫でした。各国の異なる環境や条件下での取り組みを学ぶことで、共通の課題に対して協力し合う姿勢が重要であることも再認識しました。

### 5.2 北欧都市の視察

コペンハーゲンとストックホルムは、北欧を代表する歴史ある大都市でありながら、近代的な要素も

感じられました。特にコペンハーゲンでは、スレンダーで斬新な構造の橋梁に驚かされました。街並みも日本とは大きく異なり、街路樹やビルの看板はなく電柱は埋設され、道路上に遮蔽物はなく自転車を利用しやすい道路が整備されている点が印象的でした。これらの都市は、環境への配慮と市民の生活の質・健康を高めるための合理的かつ効果的な政策が施されていると感じました。

コペンハーゲンにあるチボリ公園は、世界で三番目に古い遊園地（1843年建設）であり、園内遊具は古いメリーゴーランドから新しいジェットコースターまで現役で活躍し、多くの地元民や観光客を楽しませている。また、アンデルセンは童話「人魚姫」やウォルト・ディズニーは「ディズニーランド」の構想を練る際にチボリ公園を再三訪れ、様々な点で参考にしたと言われている。IABMAS2024国際会議のテーマは「持続可能性」であり、橋梁の新しい建設、維持管理、改築等の新旧織り交ぜた各国の様々な取り組みが発表され、開催された都市と非常にマッチした内容であったと感じます。また、各国の橋梁管理者は様々な課題や構想を行い、他者の意見を取り入れ課題解決に向かっており、我々も橋梁の維持管理等に対して十分に取り入れる要素があると感じました。

# 令和5年度 橋梁シンポジウム 「DX時代の橋梁維持管理」 開催報告

橋梁調査会が主催する令和5年度橋梁シンポジウムを令和5年11月24日（金）に都市センターホテル（東京都千代田区）にて開催しました。

本シンポジウムは、令和3年度よりハイブリッド開催としておりますが、令和5年度もライブ配信併用といたしました。ハイブリッド開催とすることで、多くの申し込みがあることから、今後も継続していきたいと考えております。

今回は、横浜国立大学名誉教授の山田先生に基調講演をお願いし、耐風応答分析にかかわる設計の歴史や検討手法の基本的な考え方、合理的な評価等をご講演いただきました。また、後援をして頂いている各団体様ならびに国土交通省参事官様から、テーマとしたDXに関するご講演をいただきました。

当日は約80名の皆様にご来場いただき、盛会のうちに終えることができました。また、コロナ禍は中

止していた交流会も再開することができました。

貴重なご講演をいただきました講師の皆様、ご後援い

ただきました国土交通省・（公社）土木学会・（一社）建設コンサルタンツ協会・（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の関係者の皆様には、多大なご協力をいただきましたことに深く感謝の意を表します。

以下にプログラムと各講演者のご講演の状況を示します。



演会会場風景

| プログラム                                                              |             |         |    |    |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|---------|----|----|
| 開会挨拶                                                               | 一般財団法人橋梁調査会 | 理事長     | 菊川 | 滋  |
| 基調講演「DX時代の耐風応答分析」                                                  | 横浜国立大学      | 名誉教授    | 山田 | 均  |
| 「建設コンサルタンツが取り組むDX、CIM等プロジェクト紹介」<br>（一社）建設コンサルタンツ協会 道路構造物専門委員会 副委員長 | 大塚          | 篤生      |    |    |
| 「著名な歴史的鋼道路橋の補修・補強」<br>（一社）日本橋梁建設協会 DX推進特別小委員会 保全委員会委員              | 谷口          | 好信      |    |    |
| 「PC橋の維持管理における最新技術」<br>（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会 保全補修委員会保全補修部会長       | 安藤          | 直文      |    |    |
| 「国土交通省が推進するインフラ分野のDX」                                              | 国土交通省       | 大臣官房参事官 | 森下 | 博之 |

## 基調講演「DX時代の耐風応答分析」

【講演者】（敬称略、所属等は開催時点。以下同じ。）  
横浜国立大学 山田均 名誉教授

【主な講演内容】耐風設計の歴史  
現在の検討手法と基本的な考え方  
実験室と現実の齟齬  
維持管理の点から、耐風性向上対策を施された橋梁



耐風設計の先駆（タコマナローズ橋の崩落事故）



耐風応答評価の精緻化



山田均先生

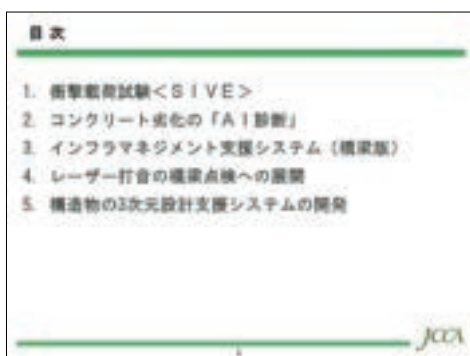


## 講演1「建設コンサルタンツが取り組むDX、CIM等プロジェクト紹介」

【講演者】（一社）建設コンサルタンツ協会  
太塚 篤生 氏

### 【主な講演内容】

建設コンサルタント各社で開発運用しているDX関連の新技术の紹介



## 講演2「著名な歴史的鋼道路橋の補修・補強～鋼橋事業の生産性・安全性の向上～」

【講演者】（一社）日本橋梁建設協会  
谷口 好信 氏

### 【主な講演内容】

色々な条件・制約をうけながら補修・補強を行った事例の紹介



## 講演3「PC橋の維持管理における最新技術」

【講演者】（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会  
安藤 直文 氏

### 【主な講演内容】

PCの構造特性を踏まえた維持管理の基本とDXなど現在取り組んでいる新技术

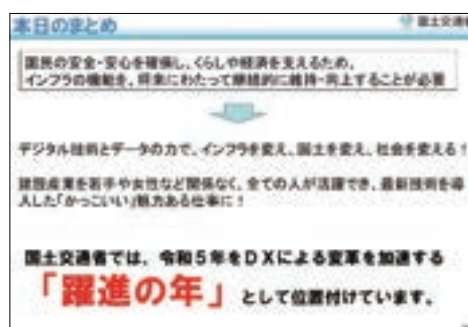


## 講演4「国土交通省が推進するインフラ分野のDX」

【講演者】国土交通省  
森下 博之 参事官

### 【主な講演内容】

i-Constructionとインフラ分野のDX、インフラ分野のDXアクションプラン2の紹介



## 第8回 橋梁のメンテナンスに関するセミナーの報告

令和5年2月29日（木）当財団会議室での会場開催とオンライン開催とを併用したハイブリッド開催にて、賛助会員向けの「橋梁のメンテナンスに関するセミナー」を開催しました。来場者は少数でしたが、オンライン参加を含め約160名が参加するセミナーとなりました。当財団の取り組みとして、「橋梁支援技術について」ご紹介した後、講師の方々から4題の話題提供をいただきました。

はじめに、関東道路メンテナンスセンター副センター長の関谷様より、点検支援技術取組事例として直轄診断を実施した秩父橋に関して3次元点群データを活用した計測やUAV撮影画像からの表面性状の把握についての試行についてご講演いただきました。



話題提供1 関東道路メンテナンスセンター副センター長  
関谷様

続いて、点検支援技術性能カタログに掲載されている技術の中から、【無人航空機（マルチコプター）を利用した橋梁点検画像取得装置M300RTK-i】について、大日本ダイヤコンサルタントの小林様より、UAVを用いた画像取得に関する留意点や課題につい

てご説明いただきました。さらに、【画像解析を用いたコンクリート構造物のひびわれ定量評価技術】について、大成建設の堀口様より、原理やひびわれ検出の精度についてご説明いただきました。最後に、【床版上面の損傷箇所判定システム】についてニチレキの佐藤様より原理や解析手法などについてご説明いただきました。

その後、当財団の審議役兼企画部長（現専務理事）の木村嘉富をコーディネーターとして、講演者および調査部山本構造課長などを交えて、点検支援技術に関しての今後の展開などのディスカッションを行いました。

参加者アンケートからは、「最新の具体的な事例が学べて良かった」「実務で活用できそうな情報があった」などの声が聞かれ、参加者の90%以上が満足であるとの御回答をいただきました。また、今後希望するテーマについて、アンケートを実施した結果、「点検・診断技術」「橋梁メンテナンスの動向」「新技術の紹介」などの声がありました。

本セミナーに、多数のご参加をいただき、皆様には厚く感謝申し上げます。



ディスカッションの状況

# 建設技術フェア等の参加報告

例年各地方整備局等が主催する建設技術フェア等に、当調査会支部は参加しています。

令和5年度も、開催されたイベントにて出展やプレゼンを行いました。ブースに展示されたパネルは、広く「一般財団法人 橋梁調査会」を知って頂く機会として、当調査会が実施する事業を紹介（展示）し

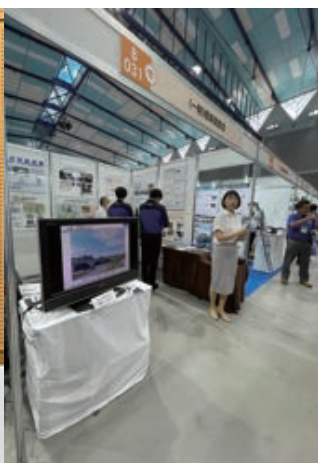
ています。来場された方からは、橋梁の維持管理の現状やドローン等の新技術、自治体支援等、橋梁調査会の事業に関連するさまざまな質問がありました。

また、建設技術フォーラムにおいては引き続きオンライン展示も行いました。

| 開催日            | イベント名                  | 主催者                |
|----------------|------------------------|--------------------|
| 令和5年6月7日・8日    | EE東北'23                | E E 東北実行委員会事務局     |
| 令和5年12月6日・7日   | 建設技術フェア2023 in 中部      | 建設技術フェア in 中部運営委員会 |
| 令和5年11月10日・11日 | ふれあい土木展2023            | 国土交通省近畿技術事務所       |
| 令和5年10月24日・25日 | 建設技術フォーラム2023 in ちゅうごく | 建設技術フォーラム実行委員会     |



EE東北プレゼン



展示ブース（EE東北）



展示ブース（中部）



模型の実演（近畿）



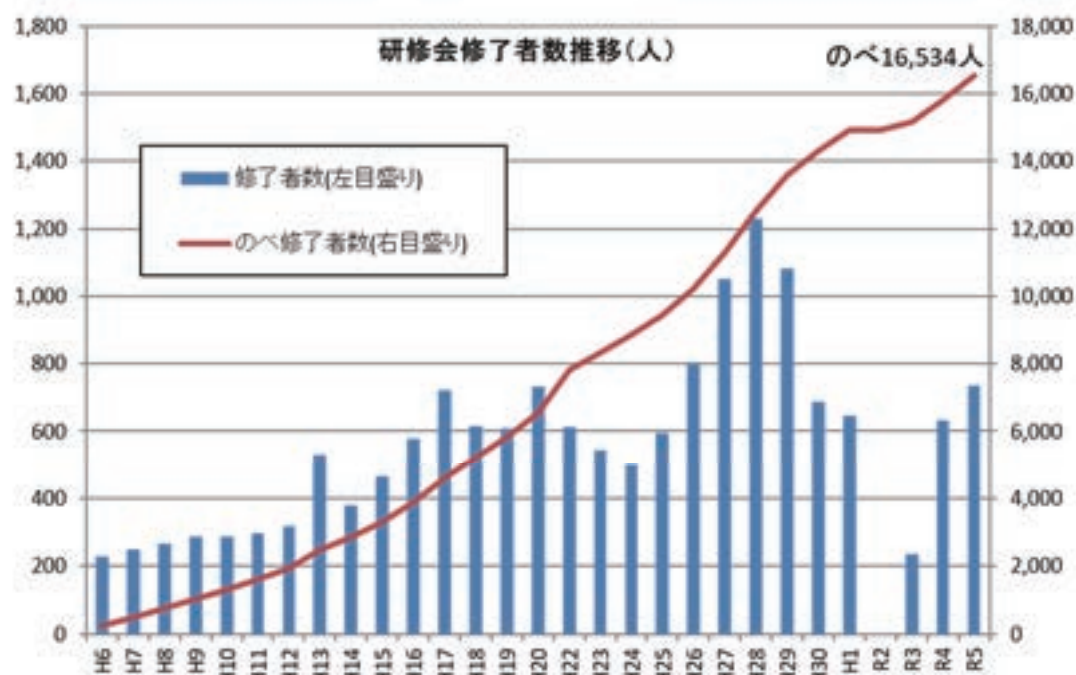
展示ブース（中国）



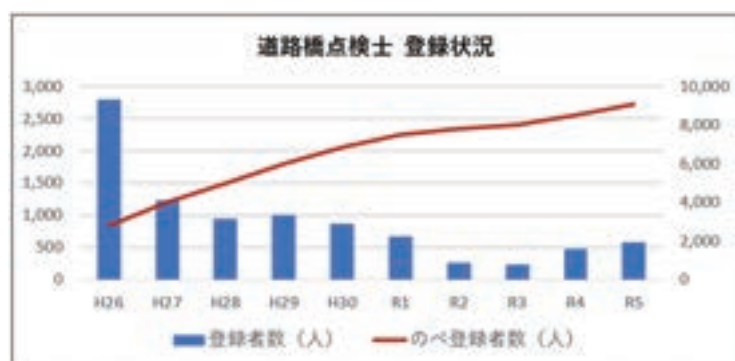


# 2024道路橋点検士統計情報

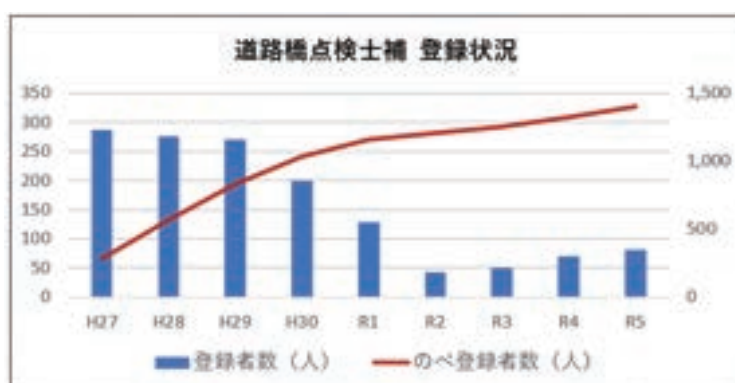
## ◎道路橋点検士技術研修会（令和6年3月現在）



## ◎道路橋点検士および道路橋点検士補の登録状況（令和6年3月現在）



道路橋点検士  
9,093人



道路橋点検士補  
1,404人

# 橋梁技術に関する研究開発助成について

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」を行っております。この制度は、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するもので、これまでに42件の助成を行ってきたところです。令和6年6月に、令和6年度分の助成が決定となりました。

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（魚本 健人東京大学名誉教授、藤野 陽三城西大学学長、丸山 久一長岡技術科学大学名誉教授）を設け、審査委員会での審査を経て助成を決定しております。

令和6年度の助成対象者は以下のとおりです。

| 橋梁技術に関する研究開発助成対象者                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| 王 嘉奇氏（横浜国立大学 都市イノベーション研究院 助教）<br>・研究計画：「橋梁上における強風時車両走行安全性と遮風壁に関する研究」          |
| 長井 宏平氏（北海道大学大学院 工学研究院 土木工学部門 教授）<br>・研究計画：「三次元微細構造解析を用いた橋梁床版接合部の構造性能評価」       |
| 河野 哲也氏（国立大学法人富山大学 学術研究部 都市デザイン学系 准教授）<br>・研究計画：「道路橋の既設木杭基礎の大地震時における耐震性評価法の開発」 |

# 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の表彰の一環として、令和5年度に完了した工事、業務の中から優秀な成績をあげた受注者に対して表彰が行われました。

当調査会におきましては、令和5年度に完了した以下の業務に対して局長表彰を頂きました。

| 表彰者      | 業務名                        | 表彰名          |
|----------|----------------------------|--------------|
| 九州地方整備局長 | 令和4・5年度<br>九州管内橋梁診断（その1）業務 | 優良施工業者（業務部門） |





## 島から川辺の都市へ誘うシンボル中央大橋

### 渡し船から橋、そして大川端リバーシティへ

中央区佃は中央大橋がかかる以前は佃島と言って、文字通り隅田川河口の「島」であった。江戸時代の1645年（正保元年）に佃の渡しが出来て以降、1955年（昭和30年）まで実に300年以上にわたり、佃島と対岸へ渡る交通手段は船が用いられていたのである。佃島には大きな工場があり、従業員の通勤等の用途で最盛期の1955年（昭和30年）には1日70往復もの渡し船が運行されたという。

そんな佃「島」の歴史に変化が訪れたのは、1964年（昭和39年）に完成した佃大橋である。橋が完成したことにより人やモノの往来が頻繁となり、佃地区は工業地帯として発展していった。一方、生活空間や風情を楽しむ場所としての川辺らしい情緒は失われていった。

転機となったのは東京都によって1982年（昭和57年）に計画されたマイタウン東京の新しいまちづくりの一つとして策定した再開発地域となったことである。大川端再開発構想は工場の移転を契機とし、佃および新川地区とその周辺330haを再開発するものであった。安心していきいきと暮らせ、故郷と呼べる街をテーマに、都市の再開発を謳ったこの構想のモデルプロジェクトとして、指定されたのである。佃地区には住居、小中学校、商業施設が立ち並び、川辺の美しい景観整備を実現した本プロジェクトと共に中央大橋は開通し、佃・新川地区から東京駅ま

での距離は約2.0kmで結ばれることとなった。川辺の工業地帯を美しい生活空間に再生するリバーフロント事業の先駆けとなった「大川端リバーシティ21」、そして本プロジェクトの交通の要でありシンボリックな役割も担っているのが「中央大橋」なのである。

### 着工当時としては例のない中央大橋の構造

中央大橋は32本のケーブルが張られた2経間連続鋼斜張橋で、大きな特徴として主塔の下部にR=220mの平面曲線が入っている点が挙げられる。これにより、主塔と橋桁を結ぶケーブルの張力の大きさ、方向とも主塔の上下で非対称となり、常時主塔から偏心荷重を受けるという難しさがあった。そのため、施工者が開発した振動法によるシビアな張力管理を行い、種々のケースに耐えうる精度を確保した。建設当時は既に設計や施工管理にコンピューターが活用されるようになっていたため、複雑な計算ができるようになったのも中央大橋の実現に大きい。

また、主塔が兜をイメージした形状をしているのが外観上の大きな特徴である。江戸時代に旗本の石川重次が、拝領した鎧を將軍の御前で片手で持ち上げた褒美として佃島を拝領、以降、この地が鎧島と呼ばれるようになったストーリーがある。主塔の兜の形状は、この地のアイデンティティを感じられるデザインといえる。



写真1：佃・新川地区航空写真（令和元年8月撮影）  
出典：国土地理院地図航空中真閲覧サービス



写真2：兜の形をした主塔



|       |                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------|
| 橋名    | 中央大橋                                                          |
| 形式・構造 | 2径間連続鋼斜張橋（鋼床版2箱桁）<br>支間割：71.4m＋138.1m<br>ケーブル：2面8段 外形95～150mm |
| 橋長    | 210.7m                                                        |
| 幅員    | 25m（歩道2@6.5m＋車道11.0m）                                         |
| 竣工    | 1993（平成5）年8月26日                                               |

## 実は深い関係がある隅田川とセーヌ川

今年はフランスの首都で開催されたパリ五輪イヤーである。中でも各国選手団が船で登場した開会式の舞台となったセーヌ川が大きな注目を集めたのは記憶に新しいところである。そんなセーヌ川だが、実は中央大橋が架かる隅田川と友好河川として1992年（平成4年）に提携している。両河川は都市を流れる川という共通項があり、1993年（平成5年）8月26日に開催された開通記念式典では、駐日フランス大使が出席している。また橋の高欄親柱には東京都とパリ市の紋章が刻まれている。

## ライトアップされた中央大橋はエリアのランドマーク

フランス、セーヌ川との友好関係がわかりやすく見えるのが、橋脚に設置されたメッセンジャー像である。この像はロシア生まれのフランス人、オシップ・ザッキンによって制作されたものであり、日本人に馴染みのある藤田嗣治と親交があったとされている。メッセンジャー像はフランスにおいて船の守護神をあらわしているといわれ、1989年（平成元年）にパリ市から友好の証として贈られたものである。隅田川を走る水上バスに乗れば、上流側からその姿がよく見える。像は下から上に向かってライトアップされ、その光は中央大橋の主塔である兜の部分まで美しく伸びていく。まさにエリアのランドマークとしての役割を果たしている。

ライトアップされた中央大橋の美しい姿を間近にみることができるのが、橋のたもとに広がる隅田川テラスである。夜景を楽しみながらデートや散歩、ジョギングなどを楽しむことができ、地元民による清掃活動、花守活動が行われるなど、まさに川に親しむ場所となっている。都市において川と共に生活を楽しむライフスタイルの象徴として、中央大橋は今夜も輝きを放っている。

## 参考文献

- 1：総合土木技術誌 土木施工（1993年8月）
- 2：IHI技報（1994年7月）
- 3：平成5年度 東京都建設局技術業務体験発表会



写真3：歩道から見たメッセンジャー像



写真4：隅田川テラスでくつろぐ人々（後方は石川島公園）



写真5：ライトアップされた中央大橋

| 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  
 TEL : 03-5940-7788(代表) FAX : 03-5940-7789  
 03-5940-7794(企画部)  
 03-5940-7791(調査部)  
 03-5940-7746(研修担当)  
 03-5940-4800(道路橋点検士事務局)  
 03-6902-9090(橋梁データ管理室)  
 URL : <https://www.jbec.or.jp> E-Mail : [info@jbec.or.jp](mailto:info@jbec.or.jp)

**東北支部** 〒980-0014  
 仙台市青葉区本町2-1-29(JRE仙台本町ホンマビル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10-3(技術士センタービルII8階)  
 TEL : 025-281-3813 FAX : 025-281-3818

**中部支部** 〒460-0002  
 名古屋市中区丸の内3-9-29(ダイセンビル6階)  
 TEL : 052-212-6811 FAX : 052-212-6812

**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  
 高松市磨屋町3-1(合田不動産磨屋町ビル6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2ビル2階)  
 TEL : 092-473-0628 FAX : 092-473-0629





**J-BEC レポート 2024 Vol.20** 令和6年11月発行

編集・発行 一般財団法人 橋梁調査会 J\_BECレポート編集委員会

印刷 (株)大 應

表紙撮影：初芝成應



# J-BEC

橋をかける  
橋をまもる

R100  
高耐久配合100%再生紙を使用しています

PRINTED WITH  
SOYINK  
Soybean Ink