

J-BEC

レポート 2021 Vol. 17





目次

巻頭言（理事長就任）

菊川 滋

新技術導入促進と道路メンテナンスの効率化

01

コロナ渦における橋梁調査会のとりくみ

・橋梁調査会の勤務態勢・テレワーク環境

09

・主催研修会・講演会の開催

09

・橋梁診断業務における新型コロナウイルス感染防止への取り組み

10

助成研究

・ARによる橋梁の変状図の可視化システムの研究開発

13

・新たな木質材料 CLT（直交集成板）の床版用途に関する研究

21

・橋梁各部位の水環境の定量評価と台風による飛来塩分が
コンクリート橋に与える影響

26

・橋梁観測データを活用した強風時車両走行安全性の評価

33

海外調査報告

・PIARCの活動

40

トピック

・国土交通行政関係功労者表彰の受賞について

49

・橋梁技術に関する研究開発助成について

50

・第9回賛助会員特別講演会の報告

51

・建設技術フェア等の参加報告

52

都市と橋

犀川大橋

53

理事長に就任して



菊川 滋

令和3年6月の理事会において橋梁調査会の理事長を拝命しました。誠に光栄なことと思っておりますし、身の引き締まる思いであります。藤川前理事長同様によりしくお願いいたします。当調査会は、平成25年4月に名称変更し一般財団法人橋梁調査会として新たに発足してから8年が経過しました。前身である海洋架橋・橋梁調査会の時代を含めて、一貫して役職員の方々が全力を挙げて組織の拡充、経営の効率化、そして技術の向上に努められ、その結果、関係機関の皆様そして橋梁技術に係る幅広い技術者の皆様から大きな信頼と高い評価を得てきていると考えております。引き続き一層の発展のために尽力する所存であります。

道路橋に関して我が国が直面する大きな課題が老朽化対策です。橋梁も他の社会インフラと同様に従前は建設（新設）が中心で、維持管理は付随的な位置付けと見られがちでしたが、平成24年12月2日に発生した中央自動車道笹子トンネルの天井板落下事故を契機として、インフラメンテナンスに対する見方が大きく変わりました。この事故は、戦後急ピッチで整備されてきたトンネルや橋梁等を含む日本の社会インフラの多くが既に保全・補修の必要な時期に達していることを私たちに教えてくれました。社会インフラは造って終わりではなく、国民に健全な状態で末永く使ってもらい、社会経済の活性化、地域の安全・安心に寄与することが本来的な目的です。この事故を受けて、平成25年に道路法の改正によって点検の技術的基準が法定化され、翌平成26年に橋梁の定期点検に関する国土交通省令・告示が公布され5年に一度の近接目視による点検が義務づけられました。当調査会は平成16年度から橋梁の定期点検・検査・診断を主要な業務として実施してきましたが、

現在は、平成31年度改定の橋梁定期点検要領に基づく橋梁の診断業務を中心に我が国の社会インフラのメンテナンスサイクルの重要な一翼を担っています。具体的には、国が直轄で管理する道路橋約3万9000橋の内、毎年約8000橋が点検されており、当調査会においては全国8支部に配置された技術者達がそのうち約5000橋を超える橋梁の診断を行っています。

道路法の改正によって国・地方を問わずすべての道路橋について5年サイクルでの目視点検が義務付けられたため、点検を的確に実施できる人材の育成が急がれています。道路橋点検の技術研修については、平成16年度から当調査会でっており、研修修了者は令和元年度で約1万5000名に上っています。道路橋点検士は国土交通省の民間登録資格（公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に関する技術者資格）に登録され、現在約8000名の方が道路橋点検士に、約1300名が点検士補に認定されて日本全国の橋梁点検で活躍しています。昨年来のコロナ禍の中で、当調査会が実施している技術研修等は規模の縮小を余儀なくされ、一部はオンデマンド方式に切り替えました。しかし、このリモート形式による研修が、場所的、時間的な制約を受けないといったメリットがあることも実感しました。もちろん、意思疎通、理解促進の観点や現地実習では対面が優れていますので、コロナ禍の収束後はそれぞれのメリットを組み合わせながら、引き続き道路橋点検等に関する研修、講習会等を積極的に進めていきたいと考えています。

道路橋は全国に約72万橋ありますが、その7割の約51万橋は市町村が管理しています。ただ、市町村

は財政・人員余力が小さく、技術系職員の不足、インフラメンテナンスへの理解が進んでいない首長や行政職員が存在することが課題視されています。そのため、防災・安全交付金等や維持管理に関する入札契約制度の改善など、国は政策的な支援を拡充しています。一方、地域のインフラは地域で守るという原点に立ち返って、地域の建設企業等との連携体制も組み立てて、官民が一緒になって地域のインフラを守っていく持続可能なメンテナンスサイクルを構築することが不可欠だろうと考えています。橋梁調査会としても技術者育成、情報提供など様々な観点から地方自治体支援の取り組みを拡充していきたいと考えています。

橋梁の点検をより効率的かつ的確に行うためには、ロボットや計測モニタリング、非破壊検査、AIなど新技術の開発も重要です。当調査会は国土交通省から橋梁分野における新技術導入促進機関として指定され新しい点検技術等の評価を行っています。また、本年9月に国土交通省から道路橋データベースの整備及び管理運営機関に指定されました。このデータベースでは、国、地方公共団体、高速道路会社等の点検等データを蓄積し、関連システムとAPIで連携するデータベースシステムを構築することとなっています。詳細なシステム設計はこれからですが、当調査会の業務の柱の一つとしてしっかり取り組んでいく覚悟です。その際、インフラマネジメントの考え方に立脚したデータベースシステムとすることが重要です。データベースはデータを蓄積することが目的ではなく、そのデータを活用して効率的なインフラ管理を実現することが目的です。橋梁のメンテナンスサイクルを回す中心に位置するのがデータベースです。予防保全や建設段階から将来

のメンテナンスを考慮した設計にすることなども含めて、橋梁のライフサイクルを通じたマネジメントまでスコープを広げる必要があります。そのためには、関係機関と連携して建設時の竣工データやその後の補修履歴等のデータ、交通量等の利用環境データ等との紐づけが不可欠です。加えて、地震災害やサイバー攻撃など新たな脅威を含めたりスクマネジメントも重要です。

新型コロナウイルスは依然として収束を見通せない状況が続いています。しかし、人類の歴史は感染症との戦いとも言われています。長い戦いとなっても、必ず克服できる時が来ると確信しています。一方で、私たちは人口減少と高齢化という課題に直面しつつ、気候変動により頻発・激甚化する自然災害と切迫性が高まる巨大地震にも備えていく必要があります。私は、つい最近まで世界道路協会（PIARC）の副会長を務めておりましたが、世界の道路技術者はポストコロナに向けた道路政策の重要課題として3つテーマを取り上げて議論を始めました。「グリーン（Carbon neutral）」、「デジタル化（Digital transformation DX）」と「受容性と多様性（Gender inclusion and diversity）」です。「受容性と多様性」の道路政策との関りについては未だ判然としない所がありますが、性別、年齢、国籍、障害の有無等の違いを超えて、それぞれの個性や能力に応じて活躍できる道路の政策や事業環境を整えることを目指すことと理解しています。橋梁調査会としても、このような大きな時代の潮流を的確に捉えながら今後の業務を展開していきたいと考えています。賛助会員の皆様や多くの関係する皆様のご支援とご協力をお願いします。

新技術導入促進と道路メンテナンスの効率化

国土交通省 道路局 国道・技術課 道路メンテナンス企画室 課長補佐 谷 成二
国土交通省 道路局 国道・技術課 技術企画室 課長補佐 大西 良平

はじめに

全国の道路施設のストックは、2020年3月末時点で橋梁が約72万橋、トンネルが約1万箇所、その他シェッド・大型カルバート・横断歩道橋・門型標識等が約4万施設存在している。このうち、橋梁を例にとると、建設年度が判明している約49万橋のうち高度経済成長期に建設され、建設後50年を経過するものは、2020年3月末時点で約25%だが、10年後には約50%に増加する見込みであり、将来に向けて全国の道路施設の老朽化が進展することが予想されている。

加えて、近年、日本社会では少子・高齢化の影響により、熟練技術者や労働者の不足が懸念されている。道路を含むインフラ分野においても同様であり、人手に頼らない効率的な道路整備・メンテナンスを進めていく上では、従来のやり方にとらわれず様々な新技術を取り入れていく必要がある。また、現場の生産性・安全性を向上させるだけでなく、新技術の導入により魅力ある働き方を創出することで土木を志す未来の技術者の確保につなげていくことも重要である。

国土交通省道路局では、道路における新技術の開発・導入の促進方策や体制強化に向けた検討にあたって助言をいただくことを目的に、令和元年12月に「道路技術懇談会」を設置した。この懇談会において、「道路分野における新技術導入促進方針」と毎年度の新技術導入への取り組みを見える化した「新技術導入促進計画」（以下「促進計画」という）を決定するとともに、新技術導入に必要な検討を支援する第三者機関（導入促進機関）を公募・選定し

新技術導入に向けた体制の強化を図った。

令和3年度に開催した、第3回、第4回道路技術懇談会では、昨年度の促進計画における新技術導入の検討状況や、新たな取り組みとなる道路施設の点検データベース（以下「点検DB」という）の整備と新技術の活用について議論したので、その内容について報告する。

また、2019年度に実施した道路施設点検2巡目2年目の状況について、「道路メンテナンス年報」に取りまとめて公表したので、その内容についても紹介する。

1. 新技術導入促進計画における取組

促進計画は、道路管理者側のリクワイヤメントと新技術開発側のシーズのマッチングを促進して新技術の導入を加速するために、令和2年度に初めて策定したものであり、11の技術テーマを設定し、テーマごとに技術の検証等を行う導入促進機関を決定している。

導入促進機関が、各テーマの技術公募を行うとともに、有識者の意見等を聞きながら新技術の性能や性能確認方法等の検討、個別技術の実証確認等を行っている。さらに、新技術を導入する上で技術基準が隘路となっていないかの検討を行い、必要であれば技術基準類の改定・策定を行う予定である。

第3回道路技術懇談会では、令和2年度の促進計画の各テーマの取り組みの現状と予定について報告している。（表-1）今回、テーマの一つである、「軽量で耐久性に優れた新しい横断歩道橋の床版技術」の具体的な取り組み状況を紹介する。

表-1 促進計画の11テーマの進捗状況

技術名	導入促進機関	改定予定の技術基準	R1まで	R2	R3	R4～
1 橋梁の点検支援技術	(一財) 橋梁調査会	道路橋定期点検要領	・技術公募(7~8月) ・フィールドテスト			
2 トンネルの点検支援技術	(一社) 日本建設機械施工協会	道路トンネル定期点検要領	・技術公募(7~8月) ・フィールドテスト			
3 軽量で耐久性に優れた新しい横断歩道橋の床版技術	(一財) 橋梁調査会	立体横断施設技術基準	・技術公募(12/11~1/14)	・要求性能等の検討	・性能カタログ拡充 ・公募対象技術の検討 ・技術公募 ・フィールドテスト	・性能カタログ拡充 ・公募対象技術の検討 ・技術公募 ・フィールドテスト
4 新たな道路照明技術	(一社) 建設電気技術協会	道路照明施設設置基準	・技術公募(10/11~10/31)	・技術公募(9/7~10/30)	・フィールドテスト ・性能指標、有効性に関する技術検証	・技術基準等の改定案の検討 ・機器仕様書案の検討 ・現場実装
5 繊維補強コンクリート床版技術	(一財) 土木研究センター	道路橋示方書	・技術公募(2/26~3/26)	・求める性能や性能確認方法の検討	・求める性能や性能確認方法の検討 ・試行工事を通じた検証	・試験方法等の策定 ・技術基準等の改定案の検討 ・現場実装
6 はく落の発生を抑制するとともにはく落の予兆を発見しやすい覆工技術	(一社) 日本建設機械施工協会	道路トンネル技術基準	—	・検証方法の検討 ・技術公募(1/15~2/18)	・試験方法等の策定	・技術基準等の改定案の検討 ・現場実装
7 道の駅等の防災拠点の耐災害性を高める技術	(一財) 日本みち研究所 ※検討する技術に応じて導入促進機関の追加もあり得る	各種基準類 (技術に応じて新機案定または改定)	—	・要求性能等の検討	・リクワイアメントに関する意見公募 ・技術公募	・フィールドテスト ・技術基準等の検討 ・現場実装
8 除雪機械の安全性向上技術	(一社) 日本建設機械施工協会	各種基準類 (技術に応じて新機案定または改定)	—	・技術テーマ等検証方法の検討 ・技術公募(12/18~1/12)	・フィールドテスト ・要求性能、性能確認方法の整理	・建設機械購入仕様書案の検討 ・現場実装
9 広域において安定供給可能なアスファルト舗装技術	(一財) 国土技術研究センター	舗装の構造に関する技術基準	—	・要求性能等の検討	・技術公募 ・検証技術の選定 ・フィールドテスト	・技術基準等の改定案の検討 ・現場実装
10 超重交通に対応する長寿命舗装技術	(一財) 国土技術研究センター	舗装の構造に関する技術基準	—	・要求性能等の検討	・技術公募 ・検証技術の選定 ・フィールドテスト	・技術基準等の改定案の検討 ・現場実装
11 土工構造物点検及び防災点検の効率化技術	(一財) 土木研究センター	道路土工構造物点検要領 防災点検要領	—	・検証方法の検討	・技術公募 ・フィールドテスト	・適用条件、計測性能等の整理 ・性能カタログの拡充 ・現場実装

<軽量で耐久性に優れた新しい横断歩道橋の床版技術>

デッキプレート床版を採用している横断歩道橋では、デッキプレート床版内に水が滞留し、内部からコンクリートや鋼板が劣化することにより、路面の変状や鋼板の腐食、抜け落ち等が発生している。また、デッキプレート床版は水が滞留しやすい構造であるため、同様の理由により修繕後に再劣化する可能性がある。このため、劣化が進行している横断歩道橋、特にデッキプレート床版について、適切な措置を行うことを目的に、軽量で耐久性に優れた新しい横断歩道橋床版技術について、①腐食片落下による第三者被害の抑制、②補修補強の際に既存の構造に影響を与えない、③補修・維持管理コストの低減の3つを新技術導入にあたっての現場側のニーズとしている。

令和元年度、2年度には、新技術の公募や、応募のあった技術の内容確認・評価を行ったところである。今年度は、試行工事の実施や新技術性能評価案の作成等に取り組む予定である。(図-2)

2. 点検支援技術性能カタログの拡充

橋梁をはじめとする道路施設の定期点検を行うにあたっては、知識と技能を有する者が、近接目視により行うことを基本としつつ、必要に応じて打音検

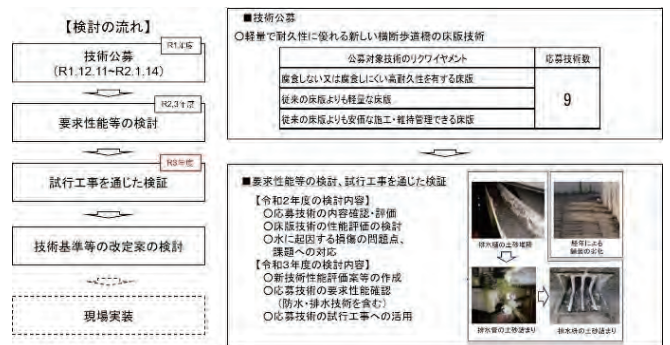


図-2 軽量で耐久性に優れた新しい横断歩道橋の床版技術の検討状況

査や触診等の方法を併用して点検・記録ならびに健全性の診断を行っている。平成31年2月に改定された定期点検要領においては、定期点検を行う者は、自らが診断を適切に行うことができると判断する場合は、近接目視以外の方法(点検支援技術)でも点検を行えることが明確にされた。この場合、道路施設ごとに適切な点検計画を立てることが必要となり、使用する機器等の特徴や能力に関する分かりやすい情報が求められる。このため、国土交通省道路局では、定期点検を行う者が、民間企業等が開発した各種の点検支援技術について、その特徴や能力を容易に確認・比較できるよう、各技術の性能値をカタログ形式でとりまとめた「点検支援技術性能カタログ」(以下「性能カタログ」という。)を策定・公

表しており、平成31年2月の作成時に16技術を掲載して以降、令和2年6月には80技術を掲載し、令和3年10月には131技術まで掲載技術を拡充している。性能カタログに掲載される技術については、促進計画のテーマに位置づけられている「橋梁の点検支援技術」と「トンネルの点検支援技術」において、技術の公募や検証を行っており、今後も掲載技術の拡充に取り組んでいく予定である。

一方、令和2年度の橋梁点検において、新技術の活用を検討した地方公共団体は約3割、実際に活用した団体はそのうち約2割にとどまっております（図-3）、定期点検における新技術の活用促進をより一層推進していく必要がある。

3. 点検DBの整備による新技術の活用

生産性革命やコロナ禍などの社会的課題に対応するため、IoTやAIなどの先端技術を駆使して、人々の生活をより良いものへの変革するDX（デジタルトランスフォーメーション）の取り組みが様々な分野で加速化されている。道路分野についても、昨年9月の社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会で取りまとめられた『「持続可能な国土幹線道路システムの構築に向けた取組」中間とりまとめ』において、道路利用サービスの質を高め、国民生活や経済活動の生産性を向上するため、「道路システムのDX」を推進することとされている。第3回道路

技術懇談会では、道路システムのDXの方向性を示すとともに、具体的取り組みとなる道路施設の点検DBの整備と点検DBを活用した新技術開発を促進するための取り組みについて議論した。

3-1 xROAD（道路データプラットフォーム）の構成

道路に関する情報として、交通量や道路施設の情報、CCTVの画像情報、工事規制情報、占用物件情報など様々なデータが存在するが、これらを同じ地図情報に重ね合わせたり、有機的に組み合わせて分析するなど、効率的・効果的に活用できる環境になっていない。各種データの利活用を促進するため、DRM-DBや道路基盤地図情報、MMS等を基盤とし、構造物等の諸元データや交通量等のリアルタイムデータの紐付けが可能な3次元プラットフォームを構築し、必要なデータを組み合わせ活用できる環境整備を目的としたxROAD（道路データプラットフォーム）の構成の将来イメージについて提示した。（図-4）

このプラットフォームを活用することにより、道路施策の検討や現場管理等の効率化につながるとともに、インターフェースとなるAPI（Application Programming Interface）を公開し、一部民間開放することで、オープンイノベーションの促進につながることを期待している。

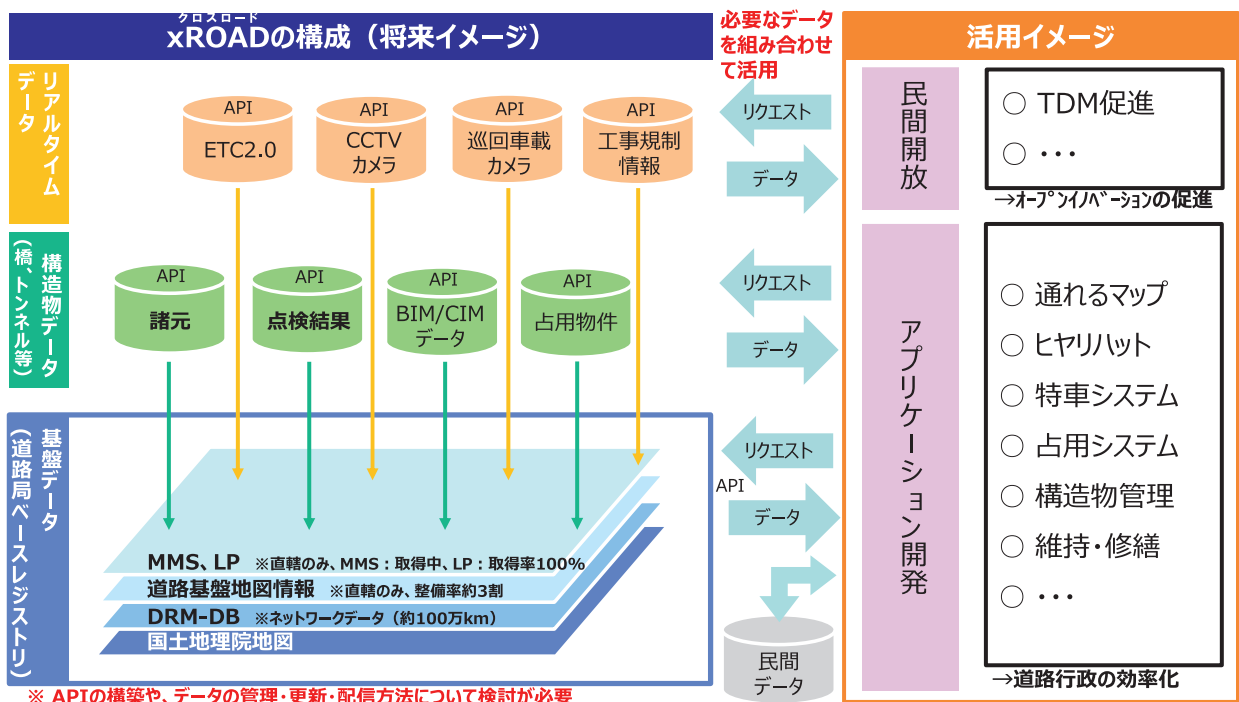


図-4 xROAD（道路データプラットフォーム）の構成イメージ

3-2 道路施設の点検DB整備と新技術活用

平成26年度に法定化された5年に1回の道路構造物の定期点検は既に2巡目に入っている。橋梁だけでも全国約72万橋の施設数となっており、蓄積された点検・診断結果のデータを活用するアプリケーション等を開発すれば、今後のメンテナンスの効率化に大きく貢献することが期待される。

しかしながら、現状では点検・診断で作成された膨大なデータは、道路管理者ごとに様々な仕様で蓄積されており、データを有効に活用できる環境になっておらず、このことがデータの有効活用の障壁となっている。よって、今年度から蓄積されている道路施設の点検・診断データを道路施設ごとに蓄積する点検DBを整備(図-4)するとともに、APIで共有化することにより点検DBを可能な限り公開して、各研究機関や民間企業等によるAI技術などを活用した技術開発を促進し、道路構造物の点検や修繕など道路維持管理のさらなる効率化を図る予定である。

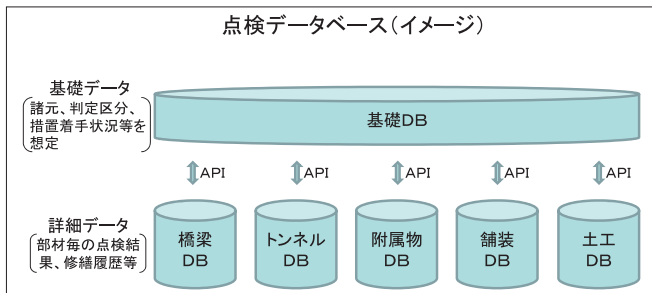


図-5 道路施設の点検DBのイメージ

点検DBについては、9月13日に基礎データベースと施設分野ごとの5つのデータベースについて、(一財)橋梁調査会を含む5つの法人をDB管理運営機関に選定したところであり、令和4年4月からの管理運営開始に向けて、現在整備を進めているところである。(表-6)

図-6 点検DB管理運営機関と担当する施設分野

法人名	申請施設分野
(一財) 日本みち研究所	基礎データ
(一財) 橋梁調査会	道路橋
(一社) 日本建設機械施工協会	トンネル
(一財) 日本みち研究所	道路附属物
(一財) 国土技術研究センター	舗装
(一財) 土木研究センター	土工

3-3 点検DBを活用した新技術について

今回整備する道路施設ごとの点検DBの活用により道路管理者として大きな効率化に繋がる例の一つとして、重複入力排除がある。(図-7) 現地において点検者がタブレット等により入力を行い、そのデータが点検DBへ自動的に登録されれば、診断から修繕まで同じデータを再度入力する必要がなくなる。さらにメンテナンス年報等の作成もDBを活用する予定のため、地方自治体等が点検DBを利用すれば、国交省への報告の入力作業も省略される。

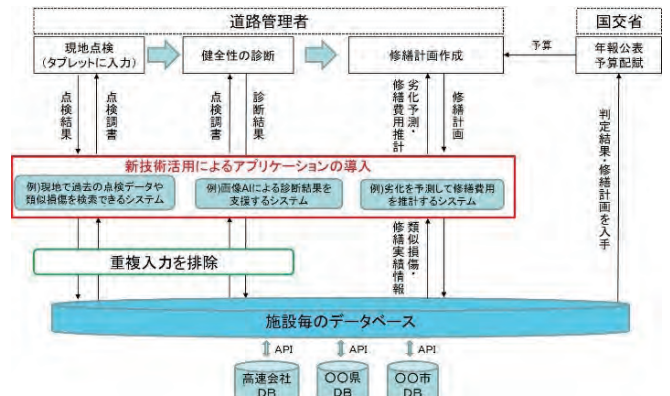


図-7 点検～修繕計画作成までの点検DBの活用

また、点検DBを活用することによりAIなどの新技術の導入が可能となる。全国の膨大なデータを活用して診断結果や修繕方法を支援するシステムを開発すれば、維持管理の効率化・高度化につながる。点検DBを活用した業務を効率化するアプリケーションとして画像認識AIを活用した類似事例検出について紹介する。

画像認識AIによる直轄橋梁の類似事例検出は、点検結果で得られた変状や補修補強部の画像を入力すると、画像認識AIが過去データから多数の類似画像を出力する。(図-8) 出力された画像から、点検DBを使って点検調査や補修履歴を逆引きすることにより、過去の類似事例を参考にすることが可能となる。

4. 令和2年度道路メンテナンス年報(二巡目)

国土交通省では、国民・道路利用者の皆様に道路インフラの現状及び老朽化対策状況を分かりやすくお知らせすることや、各道路管理者が管理施設の老朽化の実態を踏まえた措置方針等の立案に繋げることを目的に、2014年度から全道路管理者の定期点検の実施状況や結果等を取りまとめた「道路メンテナンス年報」を公表している。今年度も8月25日に、2

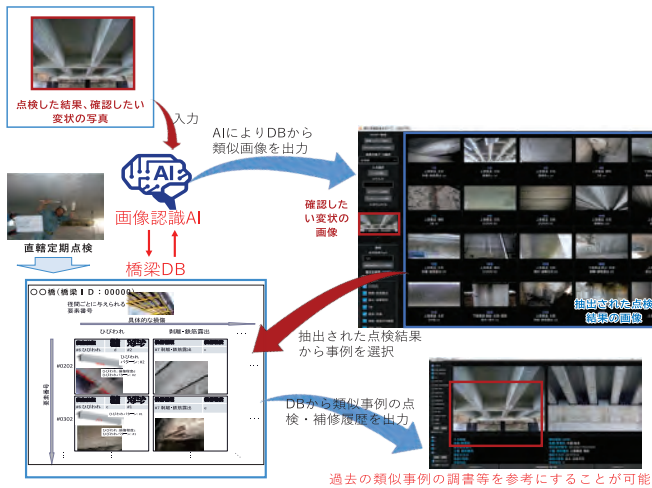
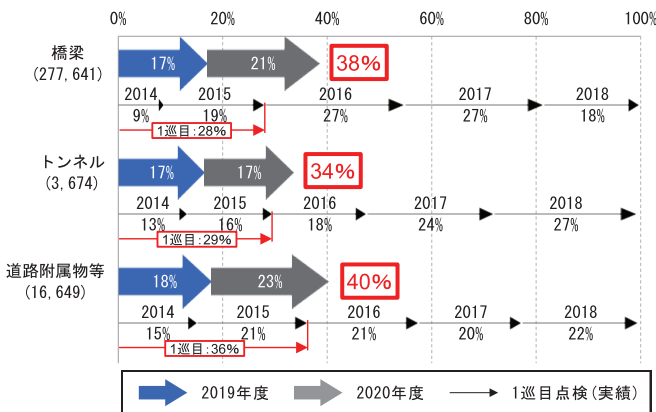


図-8 点検DBを活用した画像認識AIによる直轄橋梁の類似事例検出

巡目点検の進捗状況や各施設の判定区分割合、修繕等の措置状況等についてとりまとめた「令和2年度道路メンテナンス年報（二巡目）」を公表している。

4-1 2巡目点検の進捗状況

2巡目点検（2019～2020年度）の実施率は、点検対象施設数に対し、橋梁38%、トンネル34%、道路附属物等40%となっており、1巡目の2014年度及び2015年度の点検実施率と比較すると、橋梁では10ポイント、トンネルでは5ポイント、道路附属物等では4ポイント高い値となっている。5年に1回の頻度で点検を実施することから、2巡目点検の2年目の段



※()内は、2019～2020年度に点検を実施した施設数の合計。
※四捨五入の関係で合計値が100%にならない場合がある。
図-9 2巡目点検の進捗状況（全道路管理者合計）

表-10 健全性の区分（橋梁、トンネル、道路附属物等）

判定区分	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。

階では、概ね40%程度の施設の点検が実施されていることが望ましいため、2巡目点検は1巡目点検よりも着実なペースで点検が進んでおり、点検実施時期が平準化されて来ていることが分かる。（図-9）

4-2 直近5年間の点検・修繕等措置の実施状況

定期点検を実施した際、構造物の健全性の診断結果をI～IVの4段階に区分することになっており（表-10）、5年に1回の頻度で点検を実施するため、直近5年間（2016～2020年度）の点検結果が概ね全ての施設の最新の点検結果となる。直近5年間の点検で、早期又は緊急に措置を講ずべき状態（以下、判定区分III・IV）と診断された割合は、橋梁で9%、トンネルで36%、道路附属物等で14%となっている（図-11）。施設数の多い橋梁では、判定区分IIIが9%（約60,600橋）、判定区分IVが0.1%（約570橋）存在する。

判定区分III・IVと診断された橋梁の修繕等措置の着手率については、2020年度末時点で、国土交通省管理で57%、高速道路会社管理で40%、地方公共団体管理で39%となっている（図-12）。

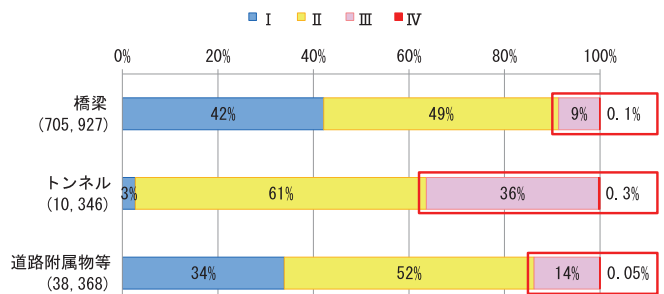


図-11 直近5年間の点検結果（全道路管理者合計）

4-3 1巡目点検施設の修繕等措置の実施状況

1巡目点検（2014～2018年度）で判定区分III・IVと診断された施設に対する2020年度末時点での修繕等措置の着手率について、橋梁を例にとると、国土交通省管理で83%、高速道路会社管理で66%、地方公共団体管理で55%となっている（図-13）。特に、地方公共団体においては、2019年度末時点と比較して着手率は21ポイント、完了率は15ポイント増加しているものの、完了率は未だ35%と低水準となっている。

また、措置対象施設は、点検要領において次回点検までに措置を講ずべきとしており、点検後5年以内で修繕等の措置を求めている。5年以上前の点検で判定区分III・IVと診断された橋梁の修繕等措置の着手状況は、国土交通省管理及び高速道路会社管理

管理者	措置が必要な施設数(A)	措置に着手済の施設数(B)	うち完了(C)	未完了施設数	2020年度末時点			
					点検年度	措置着手率(B/A)	措置完了率(C/A)	0% 20% 40% 60% 80% 100%
国土交通省	3,566	2,019 (57%)	487 (14%)	3,079 (86%)	2016	38%	91%	
					2017	18%	72%	
					2018	14%	63%	
					2019	4%	43%	
					2020	0%	22%	
高速道路会社	2,686	1,061 (40%)	484 (18%)	2,202 (82%)	2016	53%	83%	
					2017	32%	58%	
					2018	13%	24%	
					2019	4%	33%	
					2020	0%	14%	
地方公共団体	54,918	21,378 (39%)	8,698 (16%)	46,220 (84%)	2016	36%	59%	
					2017	21%	44%	
					2018	15%	37%	
					2019	4%	30%	
					2020	1%	22%	
合計	61,170	24,458(40%)	9,669(16%)	51,501(84%)				

※直近5年間(2016~2020年度)の点検で判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された施設で、修繕等措置(設計含む)に着手(又は工事が完成)した割合(2020年度末時点)
 †:2020年度末時点で次回点検までの修繕等措置の実施を考慮した場合に想定されるベース
 2016年度点検実施(4年経過):80%、2017年度点検実施(3年経過):60%、2018年度点検実施(2年経過):40%、2019年度点検実施(1年経過):20%、2020年度点検実施(0年経過):0%

図-12 直近5年間点検施設の修繕等措置の実施状況(橋梁)

管理者	措置が必要な施設数(A)	措置に着手済の施設数(B)	うち完了(C)	未完了施設数	2020年度末時点				(参考)2019年度末時点	
					点検年度	措置着手率(B/A)	措置完了率(C/A)	0% 20% 40% 60% 80% 100%	措置に着手済の施設数	うち完了
国土交通省	3,411	2,845 (83%)	1,439 (42%)	1,972 (58%)	2014	77%	97%		2,359 (69%)	1,071 (31%)
					2015	69%	97%			
					2016	41%	92%			
					2017	18%	72%			
					2018	14%	63%			
高速道路会社	2,537	1,669 (66%)	1,137 (45%)	1,400 (55%)	2014	82%	100%		1,202 (47%)	705 (28%)
					2015	85%	100%			
					2016	53%	85%			
					2017	32%	59%			
					2018	12%	24%			
地方公共団体	62,836	34,419 (55%)	21,912 (35%)	40,924 (65%)	2014	57%	72%		21,376 (34%)	12,869 (20%)
					2015	47%	65%			
					2016	36%	56%			
					2017	22%	44%			
					2018	17%	39%			
合計	68,784	38,933(57%)	24,488(36%)	44,296(64%)				24,937(36%)	14,645(21%)	

※1巡目(2014~2018年度)点検施設のうち、判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された施設で、修繕等措置(設計含む)に着手(又は工事が完成)した割合(2020年度末時点)
 †:2020年度末時点で次回点検までの修繕等措置の実施を考慮した場合に想定されるベース
 2014年度点検実施(6年経過):100%、2015年度点検実施(5年経過):100%、2016年度点検実施(4年経過):80%、2017年度点検実施(3年経過):60%、2018年度点検実施(2年経過):40%

図-13 1巡目点検施設の修繕等措置の実施状況(橋梁)

の橋梁では概ね完了しているが、地方公共団体管理の橋梁では6割~7割と遅れている。

4-4 舗装の点検・修繕等措置の実施状況

道路の舗装については、今後の効率的な修繕に向け、舗装の現状を把握することを目的に、国土交通省において2016年度に舗装点検要領を策定している。国土交通省が管理する道路では、点検要領をもとに5年に1回の頻度での点検を2017年度より実施しており、2020年度末時点の点検実施率は74%と着実に進捗している(図-8)。また、これまでの点検結果で判定区分Ⅲ(修繕段階)となった区間のうち、修繕等措置の着手率は15%、完了率は14%となっている(図-9)。

舗装点検要領(2016年10月国土交通省道路局)に準じて、2017~2020年度に地方公共団体が点検を実施した延長は、アスファルト舗装で約67,200km、コンクリート舗装で約4,400kmとなっており、判定区分Ⅲとなった延長は約8,900kmとなっている。判定区分Ⅲと診断された区間のうち、2020年度末時点の修繕等措置の着手率は15%、完了率は12%となっている。

国土交通省、地方公共団体ともに舗装の修繕等措置の着手率・完了率は、2020年度末時点でいずれも1割強に留まり、多くの修繕が必要となっているこ

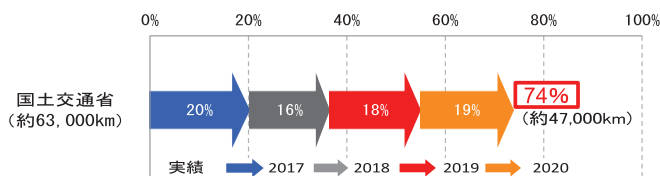


図-14 舗装点検の進捗状況(国土交通省)

管理者	点検済延長(舗装種別)	判定区分	修繕必要	(2020年度末時点)	
				着手済み	うち完了
国土交通省	44,808km(アスファルト)	Ⅲ-1	4,997 km	753 km (15%)	714 km (14%)
		Ⅲ-2	823 km	114 km (14%)	105 km (13%)
	1,712km(コンクリート)	Ⅲ	104 km	5 km (5%)	2 km (2%)
	合計	-	5,924 km	873 km (15%)	821 km (14%)
地方公共団体	67,227km(アスファルト)	Ⅲ	8,678 km	1,352 km (16%)	1,048 km (12%)
	4,360km(コンクリート)	Ⅲ	243 km	25 km (10%)	22 km (9%)
	合計	-	8,921 km	1,377 km (15%)	1,070 km (12%)

※地方公共団体は、舗装点検要領(2016年10月国土交通省道路局)に準じて点検及び健全性の診断を実施している団体を対象に集計
 ※2017~2020年度の4年間の点検により判定区分Ⅲと診断された延長(延べ車線延長)
 ※延べ車線延長=点検対象となる車線延長の合計
 ※幅員5.5m以下の生活道路を含む

図-15 舗装の修繕等措置の実施状況(国土交通省、地方公共団体)

表-16 健全性の区分 (舗装)

<アスファルト舗装>		<コンクリート舗装>	
判定区分		判定区分	
I	健全	I	健全
II	表層機能保持段階	II	補修段階
III	修繕段階	III	修繕段階
III-1	表層等修繕		
III-2	路盤打換等		

とから、今後の修繕の実施にあたっては、ライフサイクルコストを考慮した適切な対策を集中的に実施し、長期的なコストの縮減を図ることが重要である。

5. 老朽化対策状況の更なる見える化

社会資本の現状や課題等についての理解を広めるためには、道路インフラの老朽化の現状や対策実施状況等の情報をより分かりやすく、見える化していくことが重要であることから、今年度のメンテナンス年報の公表と併せ、老朽化対策状況の更なる見える化を図った。

5-1 全国道路構造物情報マップ (損傷マップ)

全国の道路構造物情報がシームレスに確認出来る「全国道路構造物情報マップ (損傷マップ)」サイトを公開した²⁾ (図-17)。現在は直近5年間の点検で判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された橋梁、トンネル、道路附属物等の諸元や点検結果、措置状況等を地図上で閲覧できるものになっており、今後も適宜、更新を予定している。

5-2 各都道府県における道路管理者毎の老朽化対策状況

今年度のメンテナンス年報ではグラフ化により視覚的に分かりやすい形で、市区町村を含め全道路管理者の点検結果や修繕等措置の実施状況等の老朽化対策状況を公開している³⁾ (図-18)。

おわりに

道路の安全・安心を守るとともに、良好な道路インフラを次世代へ継承するためには、道路インフラの持続可能な維持管理の実現が不可欠である。全国に多数存在する道路施設を適切かつ効率的に維持管理していくためには、積極的な新技術の活用・導入を進めていくことが重要である。令和6年度から始まる道路施設の3巡目点検に向けて、新技術の活用・導入がさらに進むよう、継続的に検討を進めていきたい。

[参考文献]

- 1) 点検支援技術性能カタログ
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>
- 2) 道路メンテナンス年報 (国土交通省道路局,2021年8月)
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r02/r02_08maint.pdf
- 3) 全国道路構造物情報マップ (損傷マップ)
<https://road-structures-map.mlit.go.jp/test202107>
- 4) 各都道府県における道路管理者毎の老朽化対策状況
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen_maint_r02.html



図-17 全国道路構造物情報マップ (損傷マップ)

コロナ渦における橋梁調査会のとりくみ

橋梁調査会の勤務態勢・テレワーク環境

総務部 総務課長 浅井 修治

コロナ渦、調査会は新型コロナウイルス感染予防及び効率的な業務執行に向け、テレワーク環境を迅速に整備するとともに、在宅勤務等を導入し業務を執行しております。

勤務態勢につきましては、在宅勤務、コアタイム勤務及び時差出勤制度を導入し、柔軟な勤務態勢を整え、出勤者数の削減や通勤時の人との接触の低減を図り、感染予防等に努めました。

このような勤務態勢において、効率的に業務を執行するため、全職員に在宅勤務用のパソコンを配備するとともに調査会のデータベース等へのアクセスを可能にするなどテレワーク環境を整備し、在宅勤

務においても出社時と同様に業務が執行できるようにいたしました。なお、在宅での勤務をより効率的に行うため、必要に応じ、大型のディスプレイも配備いたしました。

また、来訪者や職員の安心安全のため、玄関を始め多くの箇所に消毒液を備え付け、飛沫防止のためのアクリルパネルを設置し、さらに空気清浄機の設置等職場環境の向上を図りました。

新型コロナウイルス感染が落ち着いたあとにおいても、テレワーク環境を積極的に活用し、効率的な業務執行に努めてまいります。

主催研修会・講演会の開催

企画部 計画課長 桐原 進彌

1. 道路橋点検士制度

道路橋点検士および道路橋点検士補に登録するために必要となる道路橋点検士技術研修会は、2020年度には4回（定員180名）開催する計画としましたが、緊急事態宣言や都道府県間を跨ぐ移動の自粛要請等により、全ての開催を断念しました。2021年度も4回の開催を計画し、1回目は中止といたしましたが、改めて1回分を追加して4回/年を開催いたしました。なお、従来通りの座学と現地実習を行えるよう、感染症対策としてソーシャルディスタンスの確保を図るために定員数を半数程度に減少させたため、受講

を申し込まれてもご希望に添えない事態が生じました。何卒ご容赦頂けますと幸いです。

道路橋点検士更新講習会は、2020年度には各都市での会場開催を断念し、更新を希望される方にDVDを送付し、自己学習を行って頂く形をとりました。2021年度はeラーニングにて実施しております。

2. 講演会など

賛助会員様向け特別講演会は、2020年度は会場開催を断念し、賛助会員の方へ講演を収録したDVDを送付いたしました。講演は、「Society 5.0の実現と建

設の役割～100年先まで引き継げるまちづくりへ～」と題し、東北大学大学院工学研究科 教授 兼 インフラ・マネジメント研究センター長の久田真先生に行って頂きました。

2021年度は、4月開催を延期し8月30日に開催いたしました。その模様は、後述いたします。

橋梁シンポジウムは、2020年度には、かつての「国際橋梁シンポジウム」を発展的に解消し会場方式にて実施する予定としておりましたが、聴講を希望される方へオンデマンド配信する方式へと変更いたしました。2021年度は会場定員を抑えつつ、オンデマンド配信を併用したハイブリッド開催を実施します。

橋梁診断業務における 新型コロナウイルス感染防止への取り組み

調査部 調査課長 藤原 英之

1. はじめに

2020年1月にはじめて国内での新型コロナウイルス感染が確認されて以降、感染の拡大、収縮を繰り返し、社会、経済活動は多大な影響を受けてきた。

橋梁調査会の主たる業務のひとつである、橋梁定期点検に係る診断業務(以降、診断業務という。また、診断業務の担当者を診断員という)も例外ではなく、業務遂行上の感染防止対応が不可欠となった。

求められるコロナ感染対策は、地域毎の感染状況、人の密集具合や換気環境などの作業状況に合わせて、予防効果を最優先しながらも業務への影響を極力抑えられるものとする必要がある。

橋梁調査会では、北海道と沖縄を除く国内8支部を拠点とした橋梁の診断業務を実施している。診断業務では、診断員による現地での橋梁状態の確認が必須となる。この現地確認作業は、主に損傷程度の評価等の外観性状の記録を担当する点検業務(以降、点検業務という。また、点検業務の担当者を点検員という)と適宜協力することで作業の効率化と点検品質の確保、向上を図ることが求められる。

これら条件下、診断業務におけるコロナ感染対策は、業務発注者の指示事項に加えて、地域毎の感染状況や自治体方針、協業者である点検業務の対応方針や作業体制、工程等を踏まえた適時適切な対応が必要となる。

本稿では、診断業務におけるコロナ感染対応として実践した取り組みを報告する。

2. 基本方針

総務部が発信する橋梁調査会全体のコロナ感染対応措置を踏まえて、本部調査部として現地確認作業や点検員など不特定者との接触機会が多い診断業務の特性を考慮した以下に示す基本方針を発信した。

- ・業務発注者の指示ある場合にはそれに従う。ただし特段の事情がある場合には協議を申し出る。
- ・まん延防止等重点措置、緊急事態宣言の対象地域は、期間中の現地検査を含む出張は極力控える。
- ・出渇水期や積雪期、交通規制の制限や点検業務都合など、やむを得ない事情から現地検査の実施が必要な場合には、万全の対策をとってこれに臨む。
- ・発熱などの感染が疑われる症状が確認された場合には、速やかに関係各所に報告し、PCR検査の受検、自宅待機などの適切な初期対応をとる。
- ・上述の対応を実践したうえで、点検業務や診断業務間での業務調整をおこなうことで、業務の一時休止等の措置要請は極力を回避する。

以上の基本方針の発信とともに、全診断員にはモバイルパソコンと無線ルーターを配布し、出張先、在宅でのテレワーク環境を整備した。また図-1に示す、従来からの熱中症対策と同様に現地検査で携行すべき感染予防用の備品を定めて配布した。

3. 取り組み

前項に示した基本方針のもと、各支部で実施計画(安全行動計画)の見直しをおこなった。また、計



図-1 コロナ感染・熱中症予防用の標準携行品

画内容は業務発注者に提出し、了承を得るとともに、業務発注者を通して点検業務関係者への周知、協力を依頼した。

最も感染拡大が懸念された関東支部での実施計画に示された主な取り組み事項を中心に以下列挙する。

【作業開始前】

- ・マスクの常時着用。
- ・作業開始時の体温測定、記録。
- ・発熱や風邪の症状がある場合は、支部担当者に報告するとともに退場して、病院の診察あるいは症状の経過を観察（軽症の場合）する。
- ・KY 活動参加時は、他の作業員との間隔を2m程度以上確保する。
- ・点検員などとの現地での打合せや伝達事項はポイントを絞って時間短縮を図る。

【現地作業時】

- ・マスクの常時着用
- ・通常の使い捨てマスクに加え、状況に応じて使い捨て防塵マスクやマウスシールドも使用する。
- ・マスク着用により体温上昇が懸念されるため、マウスシールドや冷感素材を用いたマスクの活用による熱中症予防とも併せ適時水分補給を行う。
- ・点検車両へ乗車する際は、同乗する点検員のマスク着用を確認するとともに、点検員とは対面とならないよう工夫をする。図-2に実践状況を示す。
- ・点検車両降車時は、必要に応じて消毒液や消毒シートで手指の消毒を行う。
- ・箱桁内の現地検査を実施する際は、十分な換気を事前に依頼（マンホールの開放や送風機による換気）し、箱桁内では間隔を空けて作業する。
- ・休憩や食事は、車両や風通しの良い場所で単独でおこなう。

【作業終了時】



図-2 高所作業車での作業状況

新型コロナウイルス感染（確定前・後）の報告書

項目	内容	例
①報告日時	・日時	・〇月〇日 〇時〇分
②場所	・住所、会社、自宅	・〇〇県〇〇市 現地検査
③内容	・新型コロナウイルス感染、疑い、濃厚接触	・新型コロナウイルス感染の疑いについて
④業務名 受注者名	・〇〇業務 ・〇〇会社	・令和〇年度〇〇地方整備局管内 橋梁診断等業務 ・(一財)橋梁調査会
⑤感染者	・業務担当、性別、 年齢	・橋梁診断員、男性、〇才
⑥症状	・体調(発熱、体調不 良、味覚障害等)	・熱(〇〇.〇℃) ・発熱のみ
⑦保健所へ の連絡	・〇〇保健所に連絡 ・指示、指導内容	・〇月〇日〇〇保健所に連絡 ・〇〇医院への受診を指導される
⑧通院や検 査の状況	・病院名 ・検査状況(PCR検 査等) ・対応状況	・〇〇病院を受診 ・PCR検査を実施(結果待ち) ・自宅待機
⑨その他	・業務への影響 ・会社の対応	・業務の一時中止を申請予定 ・〇〇支部に連絡要員を1名配置 し、濃厚接触者は自宅待機。
⑩時系列 感染者の 行動履歴	・2週間前までの行 動履歴(日付、行動 (出勤・打合せ・現 場等)、接触状況)、 日々の体調、通院・ 検査の状況等を報 告	・〇月〇日 現地検査(〇〇橋) 〇〇点検業務 〇〇氏外〇名と 接触 ・〇月〇日 〇〇支部出社支部職 員〇名と接触 ・〇月〇日~〇日 発熱のため自宅待機 ・〇月〇日 保健所に連絡 ・〇月〇日 〇〇病院を受診 PCR検査を実施 結果は〇月〇日判明予定

図-3 コロナ感染に関する報告様式

- ・作業終了後は、使用したマスク等は廃棄し、新たなマスクを着用する。
- ・手や指を消毒液や消毒シートで手指の消毒を行う。
- ・使用するタオルは、個人用タオルまたはペーパータオルを使用する。

【現場までの移動】

- ・車両移動の車両内は、「三つの密」になり易い環

境にあるため、個別移動を原則とする。

- ・車両使用時は、乗車の際に消毒液や消毒シートでハンドル等の消毒を行う。
- ・公共交通機関を利用する場合には、余裕を持った移動に心がけ、混雑時間を回避し利用する。
- ・緊急事態措置対象区域在住の診断員が域外の現地検査を担当する場合には、現地周辺の宿泊施設に連泊する等により区域間の往来を抑える。また、宿泊中は、不要不急の外出等は自粛する。

【感染が疑われる場合の対応】

- ・新型コロナウイルス感染又は感染者と濃厚接触したことが判明した場合は、情報入手後速やかに支部担当者に連絡する。
- ・連絡を受けた支部担当者は、図-3に示す報告書

を作成し、業務発注者調査職員に状況を報告する。
・速報の後、自身および感染者・濃厚接触者の作業状況や健康状態など、必要な報告を適宜おこなう。

4. おわりに

業務発注者の皆様および点検員をはじめとする点検業務関係者皆様のご指導、ご協力の結果、本稿執筆時点において、診断業務中の感染が疑われる事態は確認されていない。

早期の収束を願うばかりであるが、気を緩めると直ちに再び災禍に見舞われることは十分に体得している。

今後とも啓発、啓蒙を継続し、個々人の意識を維持し、実践するよう努めて参ります。

ARによる橋梁の変状図の可視化システムの研究開発

福島工業高等専門学校 都市システム工学科 准教授 江本 久雄

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期に大量に建設された社会基盤構造物（インフラ）のひとつである橋梁が、建設後50年を同時期に迎えている。また、橋梁は、近年甚大化しつつある自然災害に対応するため、道路ネットワーク網を維持する観点からも重要である。これらから、国土交通省は2014年3月31日に道路法施行令第35条第2項の既定に基づき、道路の維持・修繕に関する具体的な基準を定めるために省令を改正し、5年に1度近接目視点検を実施するように義務づけた¹⁾。近接目視点検では、点検に関して適切な知識や技術を有する熟練の点検技術者がクラックゲージや点検ハンマーなどで橋梁の健全性を診断する。2021年現在、2回目の定期点検を行う橋梁もあり、蓄積されていく点検データの活用方法が検討されている。このような課題に加えて土木分野における働き方改革や就業人口の減少などを受け、国土交通省はi-Constructionと銘打ってICTの利活用を推し進めている²⁾。

活用が検討されている点検データの一例として、点検により確認されたひび割れや浮きなどの変状を記録した変状図が挙げられる。変状図は、現場における点検時において、点検作業の効率化や変状の進展を確認するために変状図を紙媒体に印刷し、比較検討することが考えられる。このようなデータは20～30年前まで紙データによる管理から、近年では電子データによる保管がされつつある。また、近接目視点検を行う際に必要なもののみ紙データとして出力する。そのため、事前にデータの採取を行う必要があり、時間や手間などのコストがかかる。このことから、これらのデータに簡便かつ効率的にアクセスできるようになれば、点検技術者の負担軽減や作業の効率化につながる。また、より使いやすいシステムを構築することで、点検技術者のみならず橋梁管理者によるアクセスが可能になる。

ここで、ICT分野に注目するとAI（Artificial Intelligence）の発展に伴う画像認識・空間認識技術

の発展により、AR（Augmented Reality）やVR（Virtual Reality）など新分野の技術が開発されている³⁾。これらの技術の土木分野における活用事例として洲崎や木下などの事例がある^{4)、5)}。

さらに、スマートフォン・タブレットの携帯端末が普及しているのにもかかわらず、維持管理分野での活用例は教育用が多く、作業現場において実的なものは少ない。原因を考察すると、現場での砂埃や雨を防ぐ防塵・防水性能などハードウェア性能に関する課題と電子データの利活用が標準化されていないなどソフトウェア環境に関する課題に分けて考えられる。前者の課題は今後の技術開発および発展により、現在普及している端末より高性能なものが開発されていくと考えられる。しかし、後者のソフトウェアに関する課題は研究・開発が進んでいない。

本研究では、AR技術を用いてスマートフォン上に映し出された橋梁に変状図を重ねて表示させることで可視化できるシステムの研究開発を行い、点検現場における作業を効率化するシステムの構築を目指す。

2. ARの活用の考え方

2.1 ARについて

AR（Augmented Reality）技術とは、直訳で拡張現実と訳される。この技術は、図-1に示すような複合現実感（MR）に包括されているReality（現実感）の中で、実環境とコンピュータ環境（VR環境）の間にありながら、実環境に近い性質を持っていることがわかる。このことから、ARは実環境にコンピュータ上で作り出した仮想の世界を重ね合わせる技術であるといえる^{6)、7)}。

ARの実現方法として表-1に示すような種類がある⁸⁾。これらは技術的特性より、ロケーションベースARとビジョンベースARの2種類に分けられる。ロケーションベースARは、GPSなどから取得できる位置情報を認識して付加的な情報を表示する。しかし、位置情報のずれによって表示位置が変わってしまう

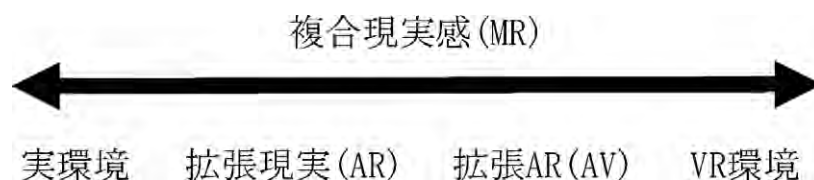


図-1 ARの概念

表-1 ARの表示方法の種類と特徴

ARの種類		メリット	デメリット
ロケーションベースAR (Location based AR)		○GPS、磁気センサ、加速度センサなどによる測位情報の組み合わせで実現可能 ○比較的容易に実装できる	●GPSの精度に依存 (正確な位置特定は複数の技術を組み合わせる必要がある)
ビジョンベースAR (Vision based AR)	マーカー型	○特定の物体にピンポイントに情報を重畳 ○技術的に成熟 ○OSSライブラリで簡単に試せる	●マーカーを用意しなければならないという物理的かつ心理的な障壁
	マーカーレス型	○特定の物体にピンポイントに情報を重畳 ○特別なマーカーを用意する必要がない ○風景や物体といったマーカーが(置きたくない)場合にも適用可能	●計算量・安定性・精度のあらゆる面で課題があり簡単には試せない ●学術的な知識が必要となる場合も多い

表-2 維持管理における識別対象およびARの種類

識別対象	活用するARの種類	特徴
「橋梁の位置情報」による認識	ロケーションベースAR	・橋梁現場でのデータアクセスとGPS測位が不可欠
「橋名板」による認識	マーカー型ビジョンベースAR	・マーカーを基準に表示させたい情報を登録できる ・マーカーとなる橋名板の登録をする必要がある
「ARマーカー」による認識	マーカー型ビジョンベースAR	・マーカーを基準に表示させたい情報を登録できる ・マーカーとなる画像の登録やマーカーを設置する必要がある
「橋梁全体の景観認識」による認識	マーカーレス型ビジョンベースAR	・画像、空間認識によりその場に適した情報を表示 ・橋梁現場でのデータアクセスが必要 ・画像、空間認識が実現できる端末が必要

可能性があるため、加速度センサや磁気センサを併用し方向や傾きを取得することで、情報表示の精度を向上させることが重要である。一方、ビジョンベースARは、画像認識や空間認識に関する技術を利用して目の前にある環境を解析し、情報提示を行う。また、ビジョンベースARはマーカー型とマーカーレス型の2種類に細分化できる。マーカー型は決まった形の図形(マーカー)を認識することで情報提示を行い、マーカーレス型は実環境に存在する物体や空間そのものを認識・識別し、それを基に提示位置を特定し情報を提示する。

本研究において、橋梁の維持管理作業で適切なAR技術を採用するために、各識別対象に対するデータのアクセス方法を表-2に示す。「橋梁の位置情報による認識」では、GPSによる測位を必要とするロケー

ションベースARが最適であると考え。「橋名板による認識」や「ARマーカーによる認識」⁹⁾では、指定した画像をマーカーとして登録し情報を表示するマーカー型ビジョンベースARが適していると考え。その場合、ARマーカーとなる橋名板や画像を登録する必要があり、マーカーを実橋梁に設置する必要がある。「橋梁全体の景観認識による認識」では、空間認識を必要とするためマーカーレス型ビジョンベースARが最適であると考え。画像・空間認識により橋梁ごとに表示させたい情報を変更し、各橋梁に対応した情報を提示できる。

以上のことを踏まえ、本研究では、橋梁ごとに異なるデータを提示する必要があることから、橋梁の平面部を認識することで情報を提示するマーカーレス型ビジョンベースARを採用した。

2.2 ARの活用方法

橋梁点検時や日頃の橋梁の状態確認において、スマートフォンにて図-2に示すように変状を簡便に表示できるようにする。また、図-3にスマートフォン上での変状図の表示イメージを示す。

ここで、想定されるユーザー別の変状図の活用方法を表-3へ示すように整理した。まず、橋梁管理者は、初期点検結果や初回の定期点検結果をもとに点検対象橋梁の選定を行う。その橋梁に対し日常点検および定期点検を実施し、劣化が顕在化して

緊急性があるものに関しては、対象橋梁の維持管理計画を早急に策定する¹⁰⁾。そのため、早期の段階で変状の進展等の異常を確認し、巡回日誌に記載・記録する必要がある。したがって、巡回日誌や橋梁の基本諸元に加えて変状図を活用することで橋梁の状態を容易に確認することができ、早期の段階で異常を把握することができる。次に、点検技術者は、点検時に変状がどの程度進展したかを確認する必要があるため、あらかじめ点検履歴や変状データなどを紙媒体に印刷し、現場で紙媒体から変状の位置や状



図-2 本研究の概要

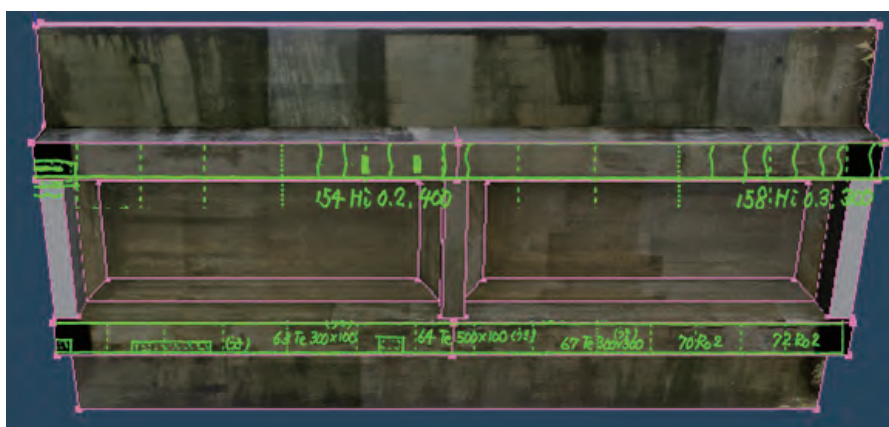


図-3 変状図の表示イメージ

表-3 ユーザー別の変状図の活用方法

使用対象	橋梁管理者	点検技術者
業務内容	・ 日常点検及び定期点検	・ 近接目視による定期点検
変状図の活用方法	・ 橋梁の現状把握 ・ 顕在化した異常の発見	・ 変状の進展確認
メリット	・ 作業の簡便化 ・ 早期段階で異常を把握可能	・ データの選定や印刷等による時間的コストの削減

態など必要なデータを読み取る必要がある。

そこで、ARによる橋梁の変状図の表示を提案する。ARによって実橋梁に直接変状図を重ねて表示することで、データの選択作業や紙媒体の印刷、現場での変状位置を読み取る作業などから発生する手間やコストを削減することができる。

2.3 本研究の目的

本研究は、橋梁の維持管理における点検作業の効率化を目的としており、橋梁の近接目視点検を行う点検技術者および橋梁管理者を利用対象として想定している。

具体的な内容としては、携帯端末のカメラ機能を用いて橋梁の平面部を認識し、橋梁のひび割れや浮きなどを記録した変状図など、現在確認されている変状情報を表示させるものである。これらの使用に伴って、表示させる変状図の作成、携帯端末によって作動するARシステムの開発が必要となる。

3. ARによる点検支援システムの概要

3.1 開発環境

本システムでは、Unity¹¹⁾、ARCore¹²⁾、Vuforia¹³⁾、Android Studio¹⁴⁾を用いた。Unityとは、ゲームの開発環境や実行環境を含む統合開発プラットフォームであり、最近ではスマートフォン向けアプリケーション開発に用いられている。また、Unityには、設定することではばすべての端末で利用できる（マルチプラットフォーム）、豊富な機能拡張や効率的な開発ができる、プログラミングせずに開発できるなどのメリットがある。ARCoreとは、Google社がAndroid端末向けに開発したARアプリケーションを構築するソフトウェア開発キットである。オブジェクトや水平面の認識、被写体にグラフィックを追跡させる「モーショントラッキング」、ARセルフィー等の機能を実現できる。Vuforiaとは、Qualcomm社が提供するスマートフォンやタブレットなどの携帯端末に対応したAR開発用ライブラリである。認識精度が高いことでも知られ、平面や立体のマーカー認識、クラウドの認識、カメラからマーカーが離れた際の追従認識など、さまざまな形でARの機能を簡単に実践できる。Android Studioとは、Googleの推奨する公式のAndroid向けアプリケーション開発ツールである。強力なコード編集機能やソースコード管理に加えて、テストが行いやすい、アプリの構

築が簡便である等のメリットがある。

また、検証用端末としてOppo RenoA（Oppo社製、Androidバージョン9.0）およびGoogle Pixel 4 XL（Google社製、Androidバージョン10）を検証に利用した。

3.2 本システムの機能

(1) 平面認識による変状図の表示

本システムは橋梁を認識して変状図を表示するにあたり、マーカーレス型ARを採用した。しかし、マーカーレス型ARは非常に短時間に多くの画像処理を必要とするため実装が困難である。しかし、Android端末向けソフトウェア開発キット「ARCore」を活用することで、橋梁の平面部を認識し、平面部に対象橋梁の変状図を表示する機能を実装した。

従来は紙媒体に書き込んだ変状図をスキャンし電子データ化し、再度紙媒体へ印刷するため時間や手間などのコストが発生する。また、データが膨大で管理しにくい。しかし、本システムは橋梁の平面を認識することで変状図を表示可能なため、効率的である。また、実橋梁を重ねて変状図を表示するため、直感的に変状の位置を確認することができる。

(2) 変状図の表示位置の調整

本システムは平面認識により変状図を表示しており位置情報がないため、橋梁の向きや位置に合わせて変状図が表示できない。そこで、実機での各種操作により変状図の表示位置を調整可能にする機能を実装した。表示例を図-4に示す。

操作手順としては、まず、平面部を認識させ変状図を表示する。次に、回転操作により変状図の向きを橋面に合わせる。その後、スワイプ操作により変状図の位置を調整し、最後に、ピンチイン・ピンチアウト操作により変状図の向きを合わせることで実橋梁に合わせて変状図を表示することができる。

(3) ボタン操作による変状図の表示切替え

近接目視点検の結果である橋梁ごとの変状図を切替るためには、橋梁とその桁を識別する必要があるが、画像認識のみでは困難であるため、実機の画面に表示する変状図を切り替えるボタンを設けることで表示できるようにする。



図-4 変状図の表示例

3.3 本システムの開発

ARを実装するために、ARCoreで平面認識を実装し、VuforiaにおいてARマーカーとして使用する画像の登録を行った。本研究では、平面認識によるAR表示を基準とし、マーカーによるAR表示はテスト用として用いた。変状図はUnity上でオブジェクトのテクスチャとして設定することでARによる表示が可能となる。UnityでAndroidアプリケーションをビルドするにあたり、JDK¹⁵⁾ やAndroid SDK¹⁶⁾、Android SDK¹⁷⁾が必要となる。これらのファイルは、開発にあたり使用するプログラムにAndroid端末を対応させるためのものである。このうち、Android SDKをAndroid Studioを用いてインストールする。アカウント登録等の各種設定を行った後、本システムのビルドに必要なAndroid SDKをインストールする。その他のファイルは、それらを提供しているインターネットサイトからインストールする。各種ファイルのインストール後、Unityにてビルドに必要な設定を行う。まず、「Build Settings」にてビルドプラットフォームをAndroidに設定する。次に、「Project Settings」にて会社（開発者）名や製品（アプリ）名など、プロジェクトについての設定を行い、「Preference」にてインストールしたJDKやAndroid SDKなどのインストール先フォルダを指定する。最後に、ビルド先のファイルを指定してビルドを行う。ビルドされた本システムはAPKファイルとしてファイルに保存される。作成されたAPKファイルをメール等で実機へ送信し、実機上でファイルを開くと実機のパッケージインストールにより本システムが実機に実装される。

3.4 運用方法

本システムの活用手順を図-5に示す。点検技術者および橋梁管理者は点検開始後、実橋梁にスマートフォンをかざす。カメラに映った実橋梁から平面を認識し、平面と判断された箇所パターン画像を表示する。その後、変状図を表示させたい箇所をタッチすることで変状図を表示し、実橋梁の大きさや位置に合わせて各種操作を行うことで現在確認されている変状情報を取得する。

4. 本システムの検証

4.1 検証方法

スマートフォンに開発した本システムをアプリとしてインストールし、実橋梁で検証を行った。対象橋梁は供用後65年経過したRC-T桁の橋長6.4mのHI橋（福島県いわき市）である。また、橋梁現場においてARにより表示させる変状図を作成する。ここで、より分かりやすく表示させたい場合は変状ごとに色を分けたりする。作成した変状図をUnityにおいて登録・設定することでスマートフォン上での表示が可能となる。検証の方法について、定期点検を想定し、点検前に、実橋梁において本システムを起動し、実際に変状図を表示させる。その後、点検を実施する。この流れの中での運用の課題を抽出した。

4.2 結果と考察

スマートフォンを図-6に示すように実橋梁にスマートフォンをかざす。そうすると図-7に示すように表示される。このとき、実橋梁を映したカメラの映像から本システムが平面を認識し、パターン画像（図-7の白色の格子線）が表示される。また、橋梁下部に表示されたパターン画像上をタッチするこ

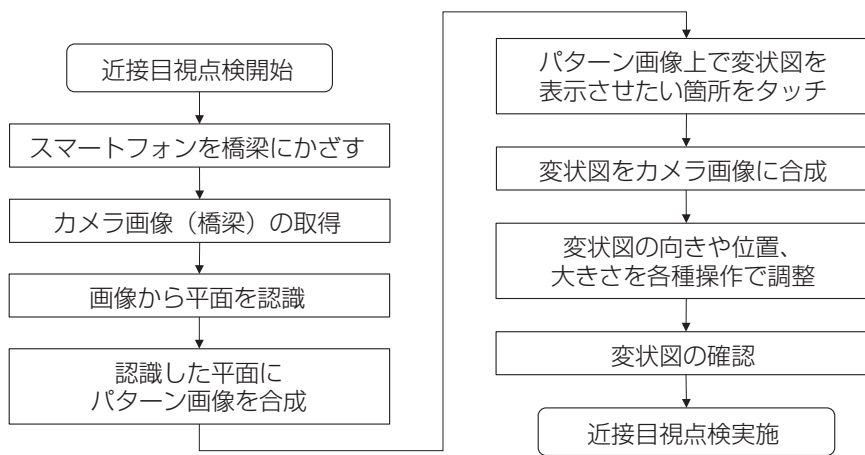


図-5 本システムの運用手順



図-6 運用事例

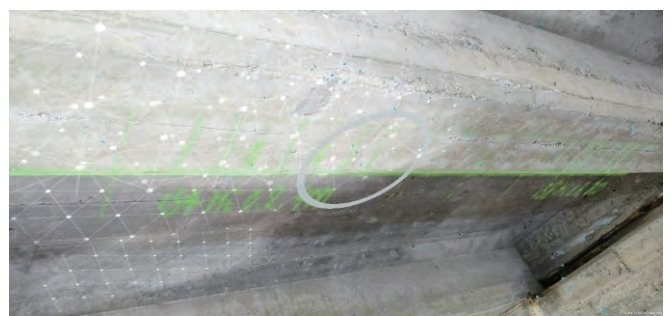


図-7 表示結果の一例

とで変状図を表示し、回転操作やスワイプ操作、ピンチイン・ピンチアウト操作により大きさや位置を調整することで変状情報を確認することができた。

実橋梁において運用した結果、以下のような課題が挙げられる。まず、スマートフォン上に表示される変状図について、照明による光の反射や周辺の植物と同系色になってしまったことから変状が読み取りづらくなってしまった。そのため、改善案として周辺環境と区別できる色や透明度に設定することが考えられる。自然環境にあまり存在しない色で、かつ極力透明度を低く設定することでより鮮明な変状図を表示することが可能となる。

次に、橋梁が設置されている環境として、河川がある場合が多いため、そのような環境で防水・防塵対策を講じなければ、不意にスマートフォンを落としたり、砂埃がスマートフォンに入り込んだ際に、破損してしまう危険がある。したがって、スマートフォンを首から提げる防水・防塵ケースに入れての使用を提案する。ハードウェア性能については、今後の技術開発および発展により、現在普及しているものより高性能な端末が開発されていく可能性は十分に考えられるが、早急な対策として、スマートフォ

ンを防水・防塵ケースに入れることでそのようなリスクを回避できる。また、首から提げて使用するタイプのケースを使用することで、両手が自由に使い、より効率的に作業を行うことができる。

最後に、照明の有無である。橋長や幅員が大きい場合、橋梁下部が暗くなってしまう可能性があるため照明は準備した方がよいが、橋長や幅員があまり大きくない橋梁の場合は、照明による光が逆光となってしまう変状図が読み取りづらくなってしまいう可能性があるため、周辺環境に合わせて使用すべきである。

5. 実用化に向けた機能追加

5.1 立体認識による変状図の表示

立体認識によりカメラで橋梁の一部や橋梁全体を映すことで本システムが橋梁を区別し、かつ橋梁の形に合わせて変状図がぴったり表示されるような機能を考えている。この機能の実現には、表示箇所との位置関係を把握するため「ポジショントラッキング」や立体の特徴点の検出、特徴点に対応したオブジェクトの表示設定などが必要であると考えられる。

5.2 変状図の更新・保存

近接目視点検において、新たな変状や変状の進展が見られた際、紙媒体に変状を記録し、点検終了後、変状図を更新する。しかし、こういった作業にも電子データへの変換や紙媒体の処理にコストが発生する。そのため、本システムを利用することで変状図の更新及び保存を一挙に行えるような機能を検討している。具体的な方法としては、点検開始後、本システムによりスマートフォンの画面上に変状図を表示する。その後、点検により新たな変状や変状の進展が確認されれば、変状図を表示しているテキストチャに画面上で直接変状を挿入する。点検終了後、更新した変状図を保存し、次回点検時に更新した変状図を表示する。

5.3 点検履歴の点検毎の表示

近接目視点検では、変状の進展を確認するために変状図を紙媒体に印刷し、前回の点検結果と比較検討しながら点検を行う。この作業を効率化するため、本システムに過去の点検履歴を重複表示することで変状の進展を予測しやすくする機能を検討している。具体的な方法としては、点検開始後、本システムによりスマートフォンの画面上に変状図を表示する。その後、画面上のメニューから「点検履歴の表示（または非表示）」を選択することで、点検履歴を重複表示し、変状の進展を視覚的に把握する。

6. まとめ

本研究は、i-ConstructionをはじめとするICTによる定量化、効率化のために重要な技術要素のひとつとしてAR技術を活用した橋梁点検の効率化の試みを行ったものである。特に、近接目視点検データである変状図をAR技術によってスマートフォンの画面上で橋梁を重ねて表示した。

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 橋梁の近接目視点検における作業の効率化をすすめるために、ARを用いた橋梁の変状の可視化システムを開発し点検時の活用方法を提案した。
- (2) 変状図をAR上で再現するために、オブジェクトをテキストチャとして実装した。
- (3) ARCoreを用いて、橋梁の平面部を認識し対象橋梁の変状図を表示する機能を実装した。
- (4) スマートフォン上での回転、スワイプ、ピンチイン・ピンチアウト操作により変状図の表示位

置を調整可能にする機能を実装した。

- (5) スマートフォン上の画面に表示するシーンを切り替えるボタンを設けることで、複数の橋梁の変状図を表示できる機能を実装した。
- (6) 点検現場における本システムの運用手順や活用方法を提案し、効率的な運用方法を提案した。

謝辞

本研究は、一般財団法人橋梁調査会令和2年度研究開発助成ならびに公益財団法人高橋産業経済研究財団を受けて実施できましたことに、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：報道発表資料「定期点検要領」の策定について、<https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000412.html>, (入手 2021.1) .
- 2) 建山和由：i-ConstructionとCIM, JACIC情報, Vol.114, pp.5-8, 2016.
- 3) 舘暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝：バーチャルリアリティ学, 日本バーチャルリアリティ学会, 株式会社コロナ社, 2011.
- 4) 洲崎文哉, 榎山和男, 琴浦毅, 石田仁, 吉永崇：橋梁カードによるARを用いた点検支援システムの開発, 土木情報学シンポジウム講演論文集, Vol.45, pp.13-16, 2020.
- 5) 木下公二, 吉町徹, 榎山和男：VR技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究, 土木情報学シンポジウム講演論文集, Vol.42, pp.77-80, 2017.
- 6) Paul Milgram, Fumio Kishino：A taxonomy mixed reality visual displays, IEICE Transactions on Information System, Vol.E77-D, No.12, 1994.
- 7) Ronald T.Azuma: A survey of augmented reality, Teleoperators and virtual environments, Vol.6, No.4, pp.355-385, 1997.
- 8) アイティメディア株式会社：いまさら聞けないAR（拡張現実）の基礎知識, <<https://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1109/26/news136.html>>, (入手 2021.1) .
- 9) 江本久雄, 小野智生：橋梁カードによるARを用いた点検情報へのアクセスの効率化, 土木情報学シンポジウム講演論文集, Vol.44, pp.105-108, 2019.

- 10) 今野 将顕, 関 和彦, 宮本 文穂, 中村 秀明: 橋梁維持管理業務におけるデータの標準化とデータ入力効率化に関する研究, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.13, pp.151-158, 2004.
- 11) 吉谷 幹人: Unity5 3D/2Dゲーム開発実践入門作りながら覚えるスマートフォンゲーム開発, ソシム, 2015.
- 12) Google Developers : ARCore, <<https://developers.google.com/ar>>, (入手 2021.1) .
- 13) atmark ii : Unityでも使える無料ARライブラリ Vuforiaの基礎知識とライセンス登録、インストール、簡単な使い方, <<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1508/24/news025.html>>, (入手 2021.1) .
- 14) Android Developers : Android Studio の概要, <<https://developer.android.com/studio/intro/?hl=ja>>, (入手 2021.1) .
- 15) Oracle : OTN Japan Homepage, <<https://www.oracle.com/technetwork/jp/index.html>>, (入手 2021.1) .
- 16) Android Developers : Download Android Studio and SDK tools, <<https://developer.android.com/studio>>, (入手 2021.1) .
- 17) Android Developers : SDKの概要, <<https://developer.android.com/ndk/guides?hl=ja>>, (入手 2021.1) .

新たな木質材料CLT（直交集成板）の床版用途に関する研究

北海道大学大学院 農学研究院 教授 佐々木 貴信

1. はじめに

CLT（直交集成板）は、木材を原料とした建設材料としては、これまでにない大きなサイズの製品を可能にする新しい木質材料である。これを建築物等へ活用し、国産木材の需要拡大を図るために、CLTの普及に向けた取り組みが盛んに行われている。しかしながら、建築分野でのCLTの需要は伸び悩んでおり、新規の用途開発が期待されている。筆者らはCLTの新たな用途の一つとして、国内では前例のない橋梁の床版材料としての可能性に着目し基礎研究を開始した¹⁾。CLT床版の最大の特徴は軽さであり、スギやヒノキ、カラマツなどの国産材を原料としたCLTは単位体積重量がRCの約1/4～1/6であることから、運搬や架設に有利であり、床版を支える橋桁の負担を軽減することも期待できる。これまでに秋田県内の小規模橋梁を対象として試験施工を行っているが、実用化に向けては、木材の腐朽劣化に対する耐久性向上策と防護柵の設置方法に関する課題が残されている。これらの課題を解決し、小規模橋梁を対象としたCLTの床版用途の可能性を調査することを目的とした研究を行っている。

国内の森林は戦後に植林されてきた人工林が成長し、国内の需要量を数十年間賄えるほどの蓄積量に達している。木材自給率は2011年から毎年増加し、2018年には36.6%に達しているものの、2016年に閣議決定された「森林・林業基本計画」での目標（2025年までに木材自給率50%）の達成は難しい状況にある。国産材の需要拡大のためには、住宅向けの建築用材などの従来用途以外への新たな用途開発が不可欠であり、土木分野における木材利用もその潜在的なポテンシャルの高さから新規需要の一つとして期待されている²⁾。

2. 木材・木質材料

建築材等に使われる木材といえば、丸太を鋸で挽いて得られる製材が一般的であるが、同じように

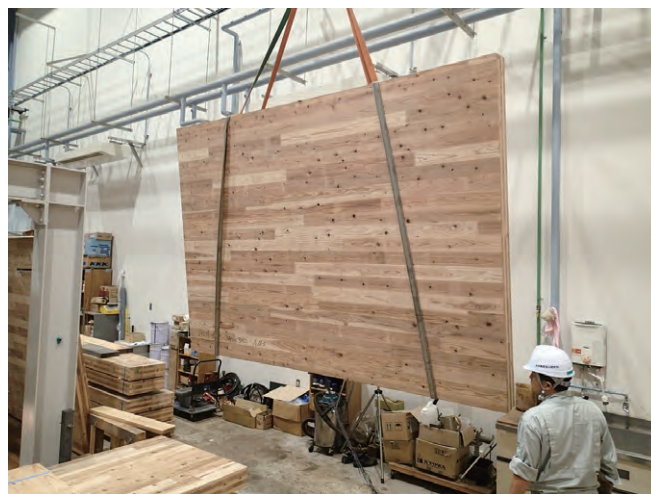


写真-1 国産材（スギ）のCLT

鋸で挽いたひき板（ラミナ）から節や割れなどの欠点を除去し、これをたて継ぎし、繊維方向を平行にして積層接着したものが集成材（Glued laminated timber）であり、繊維方向が直交するように積層接着したものがCLT：Cross laminated timberである（写真-1）。それぞれの製造方法から、集成材は柱や桁のような軸材料、CLTは壁や床のような面材料に適していることが分かる。集成材やCLTを含め、図-1に示すような、ひき板や単板（ベニア）、チップなどの木材のエレメントを接着剤を用いて再構成した材料は木質材料と呼ばれる³⁾。軸材としては、集成材やLVL、面材としては合板やパーティクルボード、OSBなどが一般的である。CLTは1990年代にオーストリアで開発・実用化され、欧州や北米に広く普及しており、壁や床材としてCLTを使った構造は箱を積み上げるイメージで、短い工期で中高層の木造建築物も多数建設されている（写真-2）。

CLTは合板やOSBのようなイメージの木質面材料ではなく、コンクリートスラブのような厚みのある大きな版であり、国内メーカーが製造するCLTのサイズは最大で幅3m、長さ12m、厚さ270mmである⁴⁾。この材料の大きさを考えれば土木分野での活用も考えられる。

3. 木質系材料の床版利用

近年、WPC（木材・プラスチック複合材料）や、バルサ材とGFRPの複合構造パネルの木質系材料を、歩道橋の床版材として検討した事例が報告されている^{5)、6)}。何れも、床版の軽量化を図ることを目的としたものである。本研究で対象とするCLTも軽さが特徴の木質材料であるが、RCと同等の基準強度を有することから、歩道橋のみならず小規模な道路橋への床版用途としての可能性も検討している。現行の設計荷重に対応するように橋梁を改修する際、床版厚さの増加に伴い主桁の補強が必要になるようなケースにおいて、RC床版と同程度の断面で取替えが可能となれば、CLT床版は重量が軽い分、桁補強を行わずに改修できる可能性がある。北欧では、橋長200mのトラス橋のRC床版をCLT床版で交換補修した事例も報告されている⁷⁾。CLTを床版として利用する上で懸念されるのは、活荷重の繰り返しによる疲労と、木材の腐朽による劣化の二つである。前者については、CLT床版の曲げ疲労試験や輪荷重走行試験（写真-3）を繰り返し行い、十分な疲労耐久性を有することを確認している⁸⁾。後者については、CLT全体をFPRシートで被覆したり、ポリマーセメントで包埋する物理的な処理で、防水・防腐効果を得る方法を検討している⁹⁾。

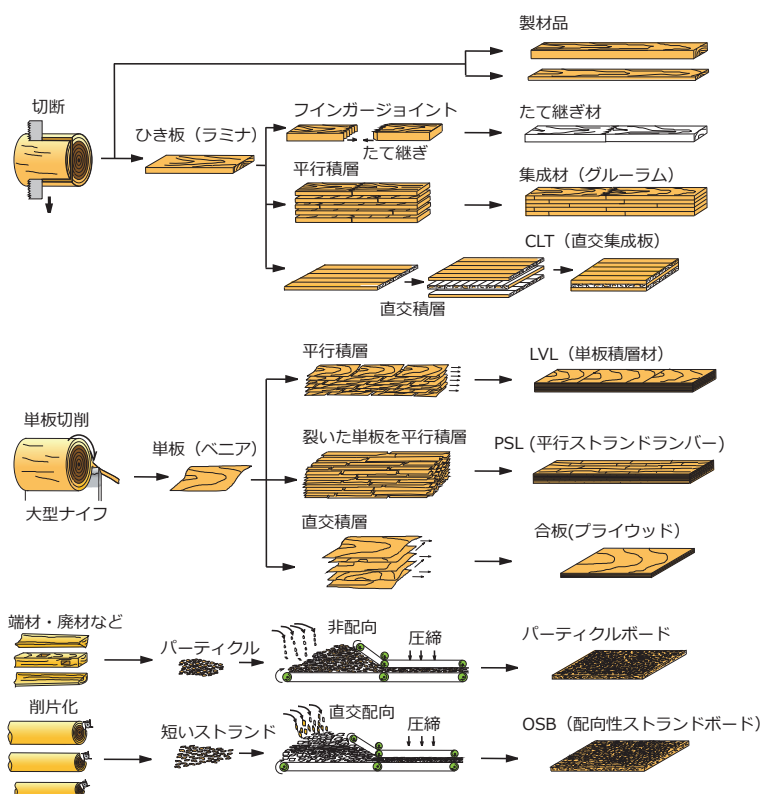


図-1 木材・木質材料（京都大学生存圏研究所・林知行氏 提供）

4. CLT床版を用いた橋梁の試験施工

これらの成果を実証するため、2017年3月に秋田県内にCLT床版を用いた林道橋（橋長7m、幅員3.5m、設計荷重140kN）が試験的に施工された。床版材として橋の長さ方向に並べた4体のCLT（長さ3.7m、幅1.7m、厚さ180mm）には、FRPシートによるラッピング（写真-4）を含め4種類の異なる防水・防腐処理を施し、供用環境下での耐久性能を比較検証している。床版上面には防水層としてポリマーセメントを、橋面にはアスファルト舗装を敷設している。施工後には設計荷重相当の車両による載荷試験を実施し、安全性の検証を行った（写真-5）。

2018年2月には、2橋目となるCLT床版を用いた農道橋が秋田県大仙市に建設された。この橋梁は、1990年に架設された橋長10m、幅員3mの農道橋であ



写真-2 CLT建築（カナダ・ケベックシティ）



写真-3 輪荷重走行試験（山口大学工学部）



写真-4 FRPシートによるラッピング



写真-5 CLTを用いた林道橋（秋田県仙北市）



写真-6 改修前の農道橋（秋田県大仙市）



写真-7 CLT床版の架設



写真-8 改修後の農道橋



写真-9 歩道橋のCLT床版（鹿児島市）

り、農地所有者以外の一般車の通行はない橋梁である。改修前は、1m間隔で並んだ4本のH鋼桁の床版として広葉樹のクリの角材が橋の長さ方向に敷並べられただけの簡易な構造であった（写真-6）。架設後25年以上を経過して床版の腐朽による劣化が進行し床版補修の必要があったため、管理者である秋田県仙北地域振興局によりCLTを用いた床版取替え工

事が検討された。橋軸方向に5枚並べたCLT床版は、厚さ120mm、幅2m、長さ3.5mの秋田県産のスギCLTであり、床版の防水加工としてポリマーセメント系の防水材を2mm厚で全面塗布し、さらに表面保護材を塗布している。床版の架設には13t吊りのクレーンが用いられた（写真-7）。防水材で被覆されたCLT床版は外観では木質材料であることは分からな

いが、床版1枚あたりの重量は約400kgであり、このサイズのクレーンでの架設を可能としている。橋面にアスファルト舗装を敷設した改修後の農道橋を写真-8に示す。なお、ここで紹介した2橋ともに、CLT床版の設置作業は1日で完了しており、架設作業での優位性が示された¹⁰⁾。秋田県では、この他にもCLTそのものを橋体とした、CLT床版橋を公園内の歩道橋にいくつか架設している。また、鹿児島県では、県庁内の歩道橋（集成材桁橋）にCLT床版が採用されている（写真-9）。

5. 防護柵設置方法の検討

ここで紹介した林道橋や農道橋には防護柵が設置されていないが、より一般の橋梁にCLT床版を適用させるためには、防護柵の設置の検討が不可欠である。現在のところ、防護柵を設置したCLT床版を実橋に適用した事例はないことから、本研究では、秋田大学大学院理工学研究科と共同で写真-10に示すようなガードレールタイプの防護柵を想定し、取付け部の構造や、床版張出し部の設計方法の検討などを行っている（写真-11¹¹⁾）。

6. 耐久性向上技術の検討

木材の防腐処理方法は、防腐薬剤の加圧注入処理が一般的であるが、CLTのような大きな寸法の製品は、注薬管と呼ばれる減圧状態で薬剤を加圧注入する容器に収まらないこともあり、前述の試験施工では、ポリマーセメントによる被覆処理やFRPシートによるラッピング等の物理的な防水処理をいくつか試みた。しかしながら、腐朽の原因ともなるCLT内部への水分の侵入を完全に抑えることは難しく、理



写真-10 ガードレール防護柵



写真-11 防護柵支柱の載荷試験

想的な処理方法は確立できていない。そこで、本研究では、北海道立総合試験機構林産試験場と共同で従来からの防腐薬剤の処理も検討することとした。防腐薬剤には鉄道枕木等に用いられているナフテン酸銅を有効成分とする防腐薬剤およびクレオソート油を用いた。また、木材表面に切削傷を付けるインサイジング処理を施したラミナを最外層に配置したCLT（写真-12）を用いて浸漬処理や塗布処理を行



写真-12 インサイジング処理したCLT



加圧注入処理



浸漬処理



塗布処理

写真-13 防腐処理したCLT

い薬剤の浸透性を加圧注入処理と比較して評価を行っている¹²⁾。写真-13にスギCLT（幅900mm×長さ1810mm×厚さ90mm）にナフテン酸銅を有効成分とする防腐薬剤で処理したときの、試験体の長さ方向の中央断面を示す。加圧注入処理では全断面に薬剤が浸透していることが確認できるが、浸漬処理や塗布処理でもインサイジング処理の効果で表層のラミナの半分程度まで浸透していることが分かる。図-2にクレオソート油とナフテン酸銅の薬剤付着量（g/m²）を示す。なお、防腐処理木材の管理基準に用いられる注入量（kg/m³）に換算した値も図中に示した。これらは加圧注入処理の1/10以下となっているが、アスファルト舗装を敷設する床版用途ではこれらの処理でも十分な防腐性能を発揮できる可能性がある。

7. おわりに

2021年3月に政府が策定したCLTの普及に向けた新たなロードマップでは、建築以外の分野でのCLTの活用の取り組みとして「土木分野で活用可能な製品の開発」の方針が初めて示された。今後、土木分野での用途開発が盛んになることが期待されるが、小規模橋梁のCLT床版は最も合理的な用途の一つであり、地域産木材の活用や地域経済への貢献が可能である。北海道では2017年から道産CLTの生産が開始されており、需要拡大が期待されている。現在、道内の民有林道でも橋梁補修の計画があり、ここで紹介した研究の成果を活用した工事の検討が進められている。これについては、機会があれば改めて紹介させていただきたい。2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現など資源循環型社会基盤の形成を進めるうえで森林資源の利用の意義は大きく、土木分野においてもCLTに限らず木材・木質材料の活用が進められることが期待されるが、そのためには、用途に応じた安全性や耐久性の検証が不可欠である。

参考文献

- 1) 荒木昇吾、佐々木貴信、林知行：CLTを用いた既設橋梁の床版取替えに関する一考察、土木学会年次学術講演会、70th, V-393, 2015
- 2) 令和2年度 森林・林業白書、森林及び林業の動向、p.186-187、林野庁、2021
- 3) 林知行：プロでも意外に知らない木の知識、p.56-62、学芸出版社、2021

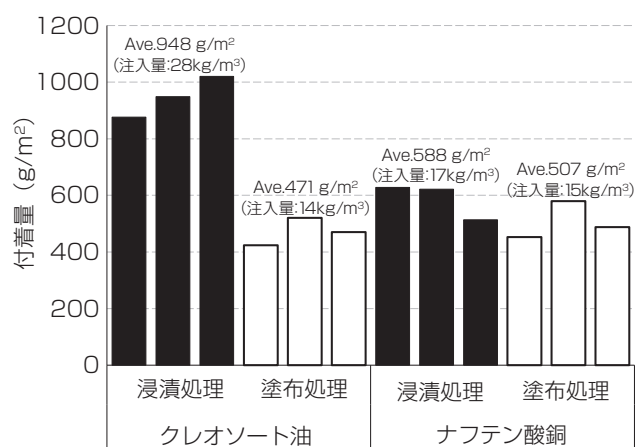


図-2 浸漬または塗布処理による薬剤付着量

- 4) 日本CLT協会：国内CLT製造企業一覧、<http://clta.jp/link/>
- 5) 北村勝之、中村英夫、兵頭英樹、大場誠道：創価学園栄光橋の耐震補強・改修工事、橋梁と基礎、2016-10, 24-29
- 6) 石井博典、山浦明洋、白水晃生、小島郁夫、松田紀元：バルサ材とGFRPの複合構造パネルを用いた歩道橋床版の実験的検討、構造工学論文集 Vol.65A, 786-789, 2019
- 7) Abrahamsen, Rune B. et al.: Bridge deck rehabilitation using cross-laminated timber, Proceedings of the International Conference on Timber Bridges, 2010
- 8) 佐々木貴信、林知行、豊田淳、有山裕亮、高海克彦：橋梁の床版用途としてのCLTの疲労耐久性評価、第67回日本木材学会大会発表要旨、2017
- 9) 佐々木貴信、林知行、山内秀文、足立幸司：ラッピングによるCLTの耐久性付与技術の開発、日本木材保存協会第33回年次大会、p64-69, 2017
- 10) 豊田淳、佐々木貴信、荒木昇吾、林知行、有山裕亮、後藤文彦：CLT床版を用いた小規模橋梁の補修設計と施工、構造工学論文集、Vol.65A, p799-806, 2019
- 11) 小川虹輝、後藤文彦、佐々木貴信、荒木昇吾、青木由香利：鋼製防護柵を取り付けたCLT床版の破壊挙動、木材工学研究発表会講演概要集 20、土木学会、76-85, 2021
- 12) 宮内輝久、伊佐治信一、高梨隆也、宮崎淳子、中村神衣、大橋義徳、佐々木貴信、坂部芳平：クレオソート油およびナフテン酸銅を用いたCLTの保存処理についての検討、日本木材保存協会第37回年次大会、p-66-69, 2021

橋梁各部位の水環境の定量評価と台風による飛来塩分がコンクリート橋に与える影響

新潟大学 工学部 社会基盤工学プログラム 教授 佐伯 竜彦
琉球大学 工学部 工学科社会基盤デザインコース 教授 富山 潤

1. はじめに

本研究は、構造物の劣化に関する環境作用を評価することを目的としたものであり、鋼材腐食に関する水と飛来塩分量について検討した。水については構造物各部位における供給状況に着目し、飛来塩分については、特に、沖縄において台風時に供給される量について着目して、研究を行った。

2. 橋梁各部位の水の供給環境の定量評価

(1) 研究目的

本研究では、構造物部位毎の飛来塩分環境を評価するためのツールである「薄板モルタル供試体」¹⁾を用いて、橋梁各部位毎の水の供給環境を定量的に把握する手法を開発することを目的とした。これによって、鋼材腐食開始後の腐食の進行を定量的に評価することが可能となる。

具体的な方法としては、供試体中に侵入した二酸化炭素量を意味する中性化深さを測定した。飛来塩分は構造物の部位によってその供給量が異なるが、空気中の二酸化炭素濃度はほぼ一定であるので、供試体設置部位によって中性化深さが異なる場合、その原因は、二酸化炭素の拡散係数が異なるためと考えることができる。モルタル中の気体の拡散係数は、空隙構造が同じ場合は含水率によって決まる。したがって、供試体の中性化深さを評価することは、部位毎のモルタル供試体、ひいてはコンクリートの含水率を評価することに相当する。さらに、供試体の含水率と二酸化炭素拡散係数の関係が定式化されていれば、中性化深さから暴露期間中の平均的な含水率を逆算することができる。

(2) 実験概要

本研究では、薄板モルタル供試体 (4×4×0.5cm) を用いて実験を行った。短期間の暴露で環境条件の差が明確に表れるように、水セメント比80% (以降、

N80) のモルタル供試体を作製した。また、これまで塩害環境評価に用いてきた水セメント比60%の市販の供試体 (デンカ製「クロルサーチ」) (N60) も併せて暴露した。

薄板供試体の含水率と気体の拡散係数の関係を定式化するため、飽和塩類を用いて含水率を7段階に調整した供試体により、拡散セル法により酸素拡散試験を行った。酸素拡散係数は、白川らの提案式²⁾を用い算出した。

暴露試験は新潟県の2橋梁および沖縄県の3橋梁で行い、暴露期間は、2020年11月～2021年3月である。暴露試験後の薄板モルタル供試体の質量と中性化深さを測定した。

(3) 供試体の含水率と酸素拡散係数の関係

図-2.1に、相対含水率と二酸化炭素拡散係数の関係を示す。実験で測定した酸素拡散係数を分子量の比で補正して、二酸化炭素拡散係数を算出した。相対含水率と二酸化炭素拡散係数の関係は、回帰分析によって式 (2.1) の通りとなった。

$$D_{CO_2} = 3.37 \times 10^{-4} (119.91 - W)^3 \quad (2.1)$$

ここで、 D_{CO_2} : 二酸化炭素拡散係数 (cm²/day)
 W : 相対含水率 (%)

(4) 暴露試験における中性化深さ

図-2.2に、橋梁各部位に貼り付けた薄板モルタル供試体の中性化深さ測定結果の一例を示す。

地覆側面、桁底面端部など雨掛りがあると考えられる部分で中性化深さが小さく、桁底面中央部など雨掛りがない部分で中性化深さが大きくなっている。中性化は、コンクリートの含水状態が高い場合に進行しにくいことから、薄板モルタル供試体の中性化深さによって、構造物各部位の雨掛りを評価できることが確かめられた。

(5) 中性化深さと含水率の関係

図-2.3に、中性化深さと供試体回収時の相対含水率の関係を示す。図より、中性化深さが大きいほど、回収時相対含水率が小さくなっており、水掛かりが無く含水率が低いコンクリートほど中性化が進行しやすいという一般的な傾向と一致している。なお、回収時の相対含水率は、暴露期間中の乾湿の履歴が考慮されていないが、中性化深さと比較的高い相関が見られることから、回収時の含水率は暴露期間中の含水状態をある程度反映しているものと考えられる。なお、新潟県については、供試体回収3日前に降雨があった。

回収時の含水率は、暴露期間中の含水率と一致するとは限らないため、暴露期間中の乾湿履歴の影響

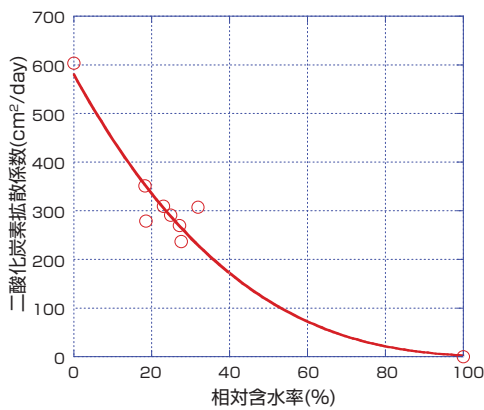


図-2.1 薄板モルタル (N80) 供試体の相対含水率と二酸化炭素拡散係数の関係



図-2.2 橋梁各部位における中性化深さの測定結果

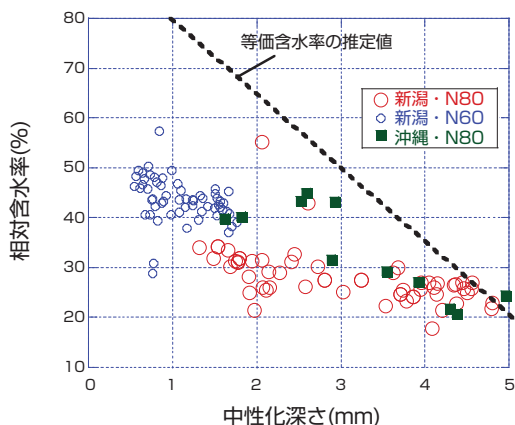


図-2.3 中性化深さと相対含水率の関係

を含む相対含水率を、下記の方法で算出した。

中性化の進行が二酸化炭素の拡散に支配されると考える。拡散係数 (D) と表面濃度が一定、供試体が半無限体であり、さらに、フェノールフタレイン法によって測定される中性化領域先端での CO_2 濃度が一定であると仮定すると、中性化深さ (x) は下記の通りとなる。

$$x = 2k\sqrt{Dt} \quad (k: \text{定数}, t: \text{時間}) \quad (2.2)$$

ここで、異なる部位の中性化深さ測定値があるとき、中性化深さの比から二酸化炭素拡散係数比の平方根を求めることができる。

$$\frac{x'}{x} = \frac{2k\sqrt{D't}}{2k\sqrt{Dt}} = \sqrt{\frac{D'}{D}} \quad (2.3)$$

さらに (3) で示した通り、二酸化炭素拡散係数は相対含水率の関数であるため、式 (2.1) を用いて中性化深さの比から、相対含水率の比を求めることができる。

$$\frac{x'}{x} = \sqrt{\frac{(b-W')^3}{(b-W)^3}} \quad (2.4)$$

ここで、 W は相対含水率、 $b (= 119.91)$ は式 (2.1) における定数である。

以上より、中性化深さの比から含水率の比を推定できることになる。桁底面中央部は、雨掛りが無いと考えられることから、暴露期間中の相対含水率の変動が小さいものと考え、この位置の供試体の中性化深さと相対含水率を基準とし、各部位の中性化深さを用いて各部位の等価な相対含水率、即ち「等価含水率」を算出した。結果を図-2.3中に点線で示す。中性化深さが小さくなると2/3乗に比例して等価含水率が増加している。また、等価含水率は、回収時含水率に比べて大きいことも確認できる。特に中性化深さが小さい場合に両者の差が大きく、乾燥が続いた回収時に比べて、暴露中は頻繁に水分の供給を受けていた可能性がある。

(6) まとめと今後の課題

本研究では、薄板モルタル供試体を構造物各部位に暴露し、中性化の進行程度 (中性化深さ) から暴露位置の水分供給環境を定量評価する手法を検討し

た。その結果、構造物各部位に貼り付けた中性化深さから評価される水分供給環境が、一般的な定性的傾向と一致することが確認された。また、回収時含水率と中性化深さにも相関があった。

さらに、中性化深さから暴露期間中の平均的な含水率（等価含水率）を推定する方法についても検討した。計算された等価含水率は、回収時の供試体含水率より大きく、暴露期間中に水分の供給があったことが示唆された。

今後は、中性化深さから得られた等価含水率と鋼材腐食の進行を関連付け、構造物各部位において薄板モルタル供試体を短期間暴露することによって、水の浸透による腐食環境を定量的に評価する手法を構築することが課題である。

3. 台風による飛来塩分がコンクリート橋に与える影響

(1) 研究目的

沖縄県は四方を海に囲まれた島嶼環境であり、高温多湿で海風により供給される飛来塩分が他都道府県に比べ多く、外来塩による塩害（外来塩害）が問題となっている。沖縄県だけではなく、日本全体で近年台風の襲来数が増加しており、これまで塩害被害の少なかった地域も塩害劣化の速度が速くなる可能性がある。しかし、台風時に短期間に供給される大量の塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害劣化にどの程度影響を与えるか明らかではない。そこで本研究では、台風時の短期間に供給される大量の塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害劣化に与える影響を飛来塩分調査に基づき数値解析的に検討する。

(2) 台風の近年の発生状況および台風と飛来塩分

沖縄県は、島嶼環境であることから、周囲を海に囲まれ、外来塩分が供給されやすい地域である。特に、冬季の西高東低の気圧配置に起因した冬季風浪と、春から秋にかけて襲来する台風・低気圧による暴風雨・波浪による塩分供給量が多い。

図-3.1は日本への台風の襲来数を示したものである。図-3.2は、2020年の飛来塩分を土研式飛来塩分捕集器で回収した結果である。2020年の台風9号、10号は、8月および9月に沖縄に接近した。この結果から、台風によって大量の飛来塩分が陸地に短期間に供給されていることが分かる。

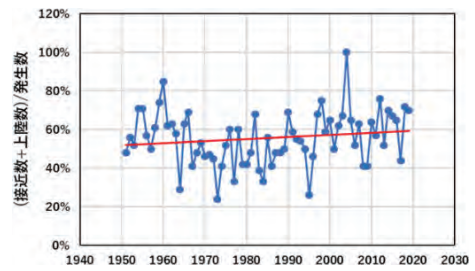


図-3.1 台風の襲来数

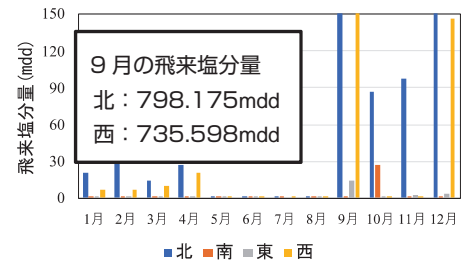


図-3.2 飛来塩分量（辺士名暴露試験場）

(3) 飛来塩分の調査

飛来塩分の調査は、土研式飛来塩分捕集器（4方向捕集）と薄板モルタル供試体を用いた。土研式飛来塩分捕集器は、1か月平均として整理し、薄板モルタル供試体は、台風前後に貼り付け、回収を行い、台風時に供給される短期的な飛来塩分（浸透塩分）として整理した。

(a) 土研式飛来塩分捕集器による月平均飛来塩分量調査結果

図-3.3に土研式飛来塩分捕集器の設置位置を示す（古宇利大橋暴露試験場、辺士名暴露試験場、辺野喜暴露試験場、琉球大学暴露試験場）。図-3.4に月平均飛来塩分量（mdd）を示す。各地の値は、測定箇所異なるものの冬季の11月から3月ごろと台風が襲来した8月、9月に大量の飛来塩分が供給されているのがわかる。なお、本結果は月平均であるため、実際は台風の影響する短期間に相当の飛来塩分が供給されているものと考えられる。



図-3.3 位置図（沖縄）

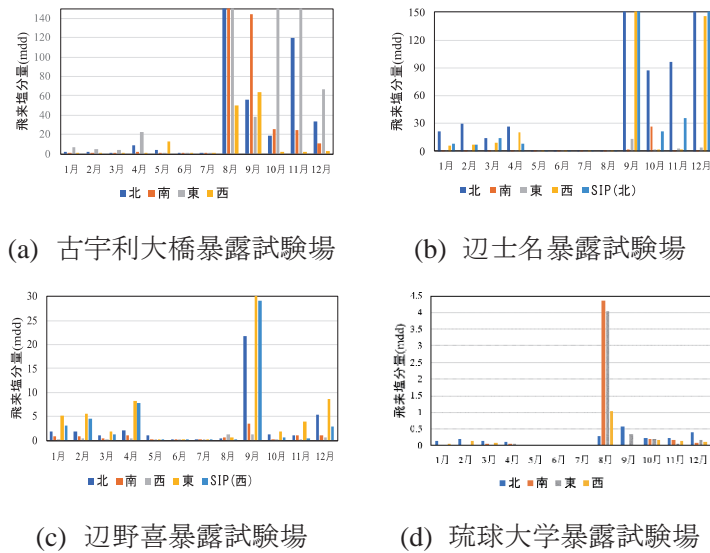


図-3.4 月平均飛来塩分量



図-3.5 薄板モルタル供試体貼り付け位置 (左) および貼り付け状況の一例 (右)



図-3.6 台風による短期的な飛来塩分量

(b)薄板モルタル供試体による台風時の短期間平均飛来塩分量調査

薄板モルタル供試体を用いた飛来塩分調査は、琉球大学暴露試験場とうるま市(「きむたか橋」・「港原橋」)で台風の影響する期間に行った(図-3.5参照)。

図-3.6に台風9号(2020/8/30~9/4)、台風10号(2020/9/4~9/8)、の測定結果を示す。これらの結果より、琉球大学と「きむたか橋」が台風により短期間に大量の飛来塩分が供給されていることが分かる。これらの結果より常時に飛来塩分量が少ない地域の琉球大学暴露場は海上河川に建設された「きむたか橋」以上の飛来塩分が供給されていることがわかる。また、台風9号は沖縄県の西側を通過したこ

とにより、海岸側の橋梁よりも琉球大学の飛来塩分量の方が「きむたか橋」より多くなっていると考えられる。台風10号は逆に東側を通過しているため、2橋梁の方が比較的飛来塩分量が多くなっている。

(3) 台風による短期的に供給された塩化物イオンが鉄筋腐食開始時期に及ぼす影響

そこで本研究では、調査結果を参考に台風時の短期間に供給される大量の塩化物イオンがコンクリート構造物の塩害劣化に与える影響を数値解析的に検討する。

(a)浸透塩化物イオンモデル(山田モデル)

宇多モデル³⁾で算出された飛来塩分量および実測

値から仮定した飛来塩分量を q とする。 q を入力値として解析を行う。山田モデル⁴⁾は、コンクリートに到達する飛来塩化物イオンの全てがコンクリートに浸透するのではなく、飛来塩化物イオン量と浸透塩化物イオン量の関係に、Langmuir吸着理論⁵⁾の考え方を適用したモデルである。山田モデルの概念図を図-3.7に示す。この山田モデルにより、コンクリート表面の計算を行う。

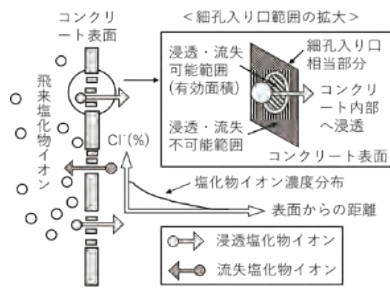


図-3.7 山田モデルの概念図

$$W = \frac{mkV_0q}{V_0+kq} \quad (3.1)$$

ここで、 W : 浸透塩化物イオン濃度 (mg/cm²/day)、 m : 飽和面積率 (%)、 q : 飛来塩化物イオン (kg/m³)、 k : 比例定数、 V_0 : 単位時間の離脱 (mg/cm²/year) である。

(b)非定常拡散方程式

コンクリート中の塩化物イオン濃度の計算を非定常拡散方程式は、式 (3.1) を境界条件 (環境条件) に用いた式 (3.2) を用いる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (3.2)$$

初期条件: $c|_{t=0} = c_i$

環境条件: $I_i|_{x=0} = W, \frac{\partial c}{\partial x}|_{x=end} = 0$

表-3.1 解析ケース

Case1	塩害環境の異なる暴露試験場にて測定した飛来塩分量を入力値とした場合 (実測値)
Case2	実測値に基づき、年間の飛来塩分総量を通年で平均化した値を入力値とした場合
Case3	実測値に対して、台風の襲来した月の飛来塩分量を総量は変わらず3日間のみ多くした飛来塩分量を入力値とした場合

表-3.2 共通条件

セメント	普通ポルトランドセメント
水セメント比	50%
かぶり	3cm、5cm、7cm
鋼材腐食発生限界濃度	1.9 kg/m ³

表-3.3 各暴露試験場の年間飛来塩分総量 (2000年の測定結果より)

暴露試験場	辺野喜	古宇利	辺土名	琉球大学
年間飛来塩分総量	188mdd	4,325mdd	3,261mdd	14mdd

ここで、 t : 経過時間、 x : コンクリート表面からの距離 (cm)、 c : 飛来塩化物イオン量 (mg/dm²/day)、 W : 浸透塩化物イオン濃度 (mg/cm²/day) (※式 (3.1)) である。なお、解析には、「コンクリート構造物の長期性能シミュレーションソフト(LECCA2)」⁶⁾を用いた。(c)解析的検討

本研究では、表-3.1に示す3ケースに分けて解析を行う。解析を行う際の共通条件を表-3.2に示す。鋼材 (鉄筋) 腐食発生限界濃度は、コンクリート標準示方書⁷⁾から水セメント比 (W/C) を用いて算出した。また、表-3.3には前述した飛来塩分調査結果から算出した各暴露試験場の年間飛来塩分総量を示す。

(d)解析結果および考察

図-3.8にコンクリート表面と鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化の例として、琉球大学暴露試験場の飛来塩分量を入力値としたかぶり3cmの結果を示す。また、検討ケースの腐食発生時期を表-3.4に示す。なお、暴露試験場名の下のカッコ内は、年間飛来塩分総量を示している。図-3.8からコンクリート表面および鉄筋位置での塩化物イオン濃度が、実測値を入力としたCase1では、腐食発生時期が8.7年であるのに対して、飛来塩分の年間総量を平均化したCase2では、腐食発生時期が6.52年と早くなっている。このことから年間飛来塩分総量が同じであっても短期間に大量に運ばれる飛来塩分量が、コンクリート構造物の塩害劣化に悪い影響を与えていることがわかる。しかし、台風の襲来した月の月平均飛来塩分量と月間総量は同じで3日間に多く短期化したCase3の腐食発生時期は、Case1とほぼ同じ結果となった。このことから日単位で短期的に多くの飛来塩分が供給されたとしても、コンクリート構造

物の塩害に与える影響には限界があると推察される。なお、表-3.4から他の条件においても同様の結果となっていることがわかる。次に、かぶり3cmおよび5cmに対する腐食発生時期をそれぞれ図-3.9、図-3.10に示す。これらの図からも上記考察がすべての暴露場、かぶりについて当てはまる事が確認できる。また、年間飛来塩分量が多い3暴露試験場(辺野喜、辺土名、古宇利)は年間総量の違いはあるが、腐食発生時期に大きな差は見られない。また、年間飛来塩分量の少ない琉球大学暴露試験場はCase1、3の結果と、Case2の結果が他の3暴露試験場に比較して差が表れていることから、常時に飛来塩分量が少ない地域ほど、短期的に多く供給される飛来塩分がコンクリート構造物の塩害に与える影響は大きいと予想される。

表-3.4 腐食発生時期

暴露試験場	Case	C=3cm	Case	C=5cm
辺野喜 (188mdd)	1	5.60年	1	14.5年
	2	5.15年	2	14.2年
	3	5.60年	3	14.5年
辺土名 (3,261mdd)	1	5.50年	1	14.5年
	2	5.21年	2	14.0年
	3	5.50年	3	14.5年
古宇利 (4,325mdd)	1	5.30年	1	14.3年
	2	5.21年	2	14.1年
	3	5.30年	3	14.3年
琉球大学 (14mdd)	1	8.70年	1	19.1年
	2	6.52年	2	15.8年
	3	8.70年	3	19.1年

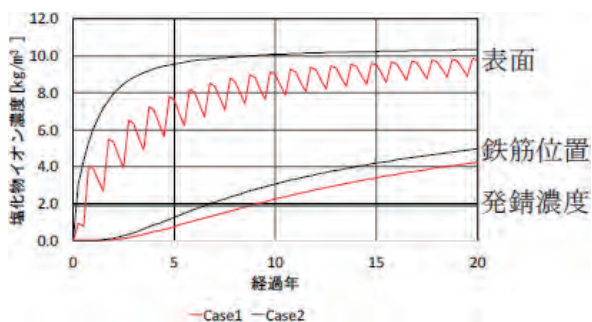


図-3.8 塩化物イオン濃度の変化 (かぶり3cm)

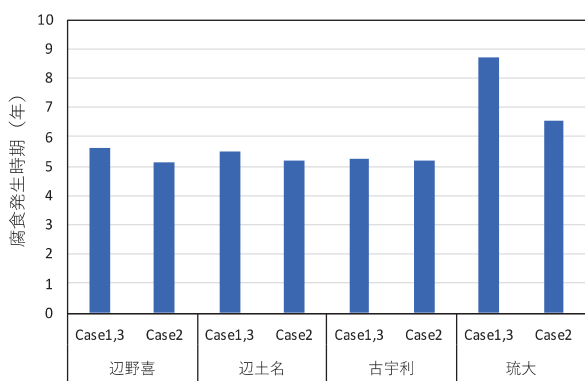


図-3.9 腐食発生時期 (かぶり3cm)

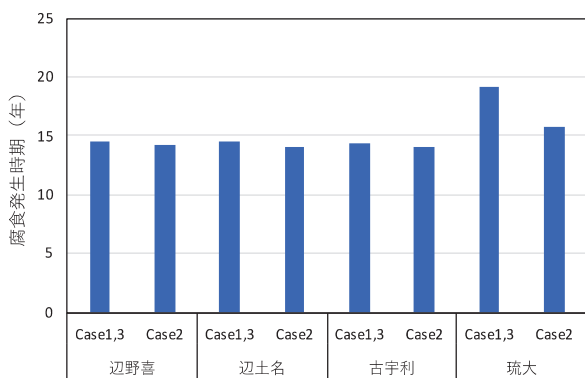


図-3.10 腐食発生時期 (かぶり5cm)

(4) まとめと今後の課題

- (a)年間飛来塩分量が同じでも局所的に大量に運ばれる飛来塩分量は、コンクリート構造物の塩害に悪い影響を与える可能性が示唆された。
- (b)日単位で局所的に多くの飛来塩分が供給されたとしても、コンクリート構造物の塩害に与える影響には限界があると推察される。
- (c)常時に飛来塩分量の少ない地域ほど、局所的に多く供給される飛来塩分がコンクリート構造物の塩害に与える影響は大きいと予想される。
- (b)今後は、飛来塩分の浸透に最も影響のあるコンクリート表層の浸透現象に関する実験的な検討を行い、境界条件の高度化を図り、実現象と比較する必要がある。

謝辞

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

参考文献

- 1) 佐伯竜彦、能勢陽祐、菊地道生：薄板モルタル供試体を用いたミクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.33, No.1, pp.803-808, 2011.
- 2) 白川敏男：コンクリートにおける炭酸化進行予測に関する研究、大分大学学位論文、2001.
- 3) 宇多高明、小俣篤、小西正純：海岸からの飛来塩分計算モデル、海岸工学論文集、第39巻、pp1051-1055, 1992.

- 4) 山田義智、大城武、榊田佳寛：塩害環境下におけるコンクリート中への塩化物イオンの浸透に関する解析的研究、日本建築学会構造系論文集、501, pp13-18, 1997.11
- 5) 慶伊富長：吸着、共立出版株式会社、1965.
- 6) コンクリート構造物の長期性能シミュレーションソフト作成委員会：コンクリート構造物の長期性能評価 - 環境外力の評価手法 -、コンクリート工学、Vol50, No.10, pp946-950, 2012 ((株)計算力学研究センター HP: <https://rccm.co.jp/product/concrete/lecca/>)
- 7) 土木学会：土木学会コンクリート標準示方書(2018年制定)、維持管理編、pp145.

橋梁観測データを活用した 強風時車両走行安全性の評価

東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 特任准教授 蘇迪
東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 博士課程 胡琦

1. はじめに

橋梁上を走行中の車両に対し強風が吹き付ける道路、線路は日本中に数多く存在する。横転事故は車両の単独事故のうち1/5を占め¹⁾、運転者への傷害程度も重症化する傾向が見られる。全ての横転事故が強風に起因するわけではないものの、強風による横転事故は現在でもなお各地で発生している。さらに、道路における通行規制は、主に20~25m/sの風速を定めているが、管理者による事前協議の上で実施され、概ね経験則に基づいており、橋梁と車両特性を共に評価する研究は少ない。近年極端気象が頻発しているため、事故を防ぐ警戒システムを構築することで、さらなる交通安全性を確保すると共に、橋梁利用サービスの向上につながるものと考えられる。

既存の評価手法として、交通分野において走行安定性の研究は数多く行われたが(例えば^{2) 3)}、ドライビングシミュレータを用いた横風時走行模擬実験など車両特性に関する報告⁴⁾が多く、構造特性も含めて総合的に横転事故を防止する研究は少ない。一方、風による橋梁の振動影響に関する研究が多数で、流体-構造連成解析を中心にした対策が多く見られる⁵⁾。いずれの評価手法も分析時間が圧倒的に長く、合理性が高いリアルタイム交通規制には適用が不可能である。特に交通規制への適用の科学的な知見レベルに整合しておらず、把握すべき危険要因に見合ったものでなければ、規制速度が高すぎれば無駄、低すぎれば観測が無意味になり、規制適用が困難である。一方、近年橋梁維持管理のために橋梁モニタリングシステムの設置が増えているが、観測データは活用されていない。設置されたセンサが数少ないせいもあるが、全橋の状況に拡張できればさらに活用できることが期待される。

以上の問題点を踏まえ、本研究は強風時走行車両の走行安全性に着目し、橋梁の振動応答及び風速・風向などの観測データを活用して、横滑りや横転な

ど危険発生時における風況及び走行速度の関係、風-橋梁-車両の三者間の連成効果の確認を行う。本研究は車両-橋梁-風の相互作用解析システムを作成し、マルチボディダイナミクス解析(Multi Body Simulation, MBS)と有限要素法(Finite Element Method, FEM)を組み合わせ、観測-計算のハイブリッドシステムを用いた車両走行安全性について考察することを目的とする。

2. MBS - FEM車両-橋梁分析スキーム

車両-橋梁間の相互作用(Vehicle - Bridge Interaction, VBI)によって振動分析は、橋梁工学と車両工学の両方において、古くから認識されている主要な問題である。車両の走行安全性は、車両-橋梁システムに横風が組み合わさると、より複雑な課題になる。突然強い風を受けたとき、車の速度が速ければ速いほど車体が回転する遠心力が強く働き、ハンドルをとられて車線から逸脱する危険性があり、突風により車体が横滑りを起こし、傾きやすくなる。ワンボックスカーやトラックなど車体が大きくなるにつれ、横風の影響を受けやすく、横転する危険性が高くなる。この問題を解決する効率的で忠実な解析方法は、橋上走行時の車両の詳細な挙動をより正確に調査できるマルチボディ・シミュレーション(Multiple - Body - Simulation, MBS)を利用することである。最近では、複数の研究者がこの手法を列車と橋の結合解析に適用している。Heらは、風荷重の作用下での鉄道橋の振動を解析するために、剛体-柔体結合法を提案した⁶⁾。Chenらは、レール断面と弾性支持体の変化、分岐まくらぎの曲げ変形などの効果を考慮して、軌道構造の全体剛性分布を解析している⁷⁾。MBSは、機構の動力学的および運動学的な挙動を研究するために実施される。本研究では、MBSソフトウェアSimpackとFEMソフトウェアAbaqusを用いて解析を行っている。

2.1 MBS - FEM法の分析手順

図-1にMBS - FEM法を用いた車両-橋梁相互作用の分析フローチャートを示す。まず、橋梁をFEMでモデル化し、フレキシブルボディとして橋梁構造として出力する。次に、この構造をSimpackに組み込んだ後、MBSで車両モデルと橋梁モデルを結合する。最後に、風、路面性状、運転者挙動などの他の要因を考慮して解析する。MBS - FEM法は、FEM法と比較して、車両-橋梁両システムを切り離す必要がなく、複雑な橋梁モデルにも構造の詳細を考慮して容易に実装できるなど、大きな利点がある。

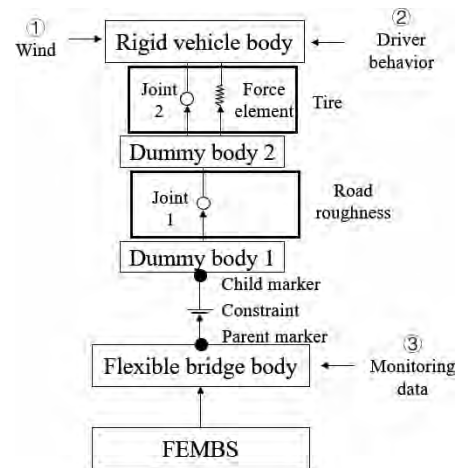


図-3 提案するダブルダミー法のトポロジーマップ

2.2 ダブルダミー法の提案

MBSシステムでは、4つの基本要素（ボディ、ジョイント、フォース要素、外力）とその他のコンポーネント（マーカー、拘束、センサなど）が組み合わせられて、典型的なモデルが形成される。車両は、前後・左右・上下・ローリング・ピッチング・ヨーイングの各運動からなる複雑な振動を持つ多自由度の空間システムである。本研究では、シャーシ、ホイールキャリア (4)、タイヤ (4) の9つのボディからなる簡単な自動車をシミュレーションした。そのトポロジーマップを図-2に示す。

VBIシステムの解析において、車両のタイヤ、風力、路面性状の要因を一緒に考慮できるため、図-3に示すような新しいダブルダミー法を提案する。

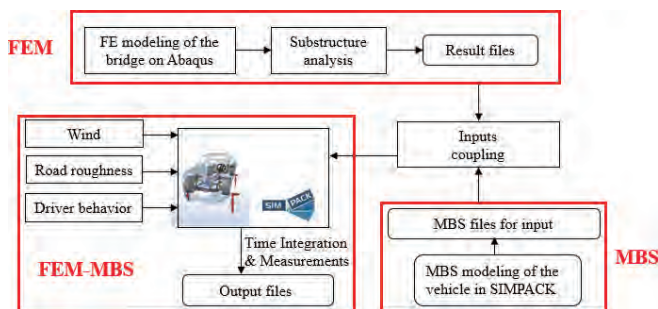


図-1 MBS-FEM法の分析手順

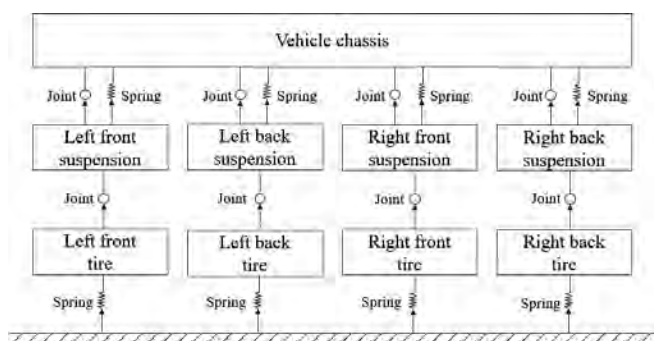
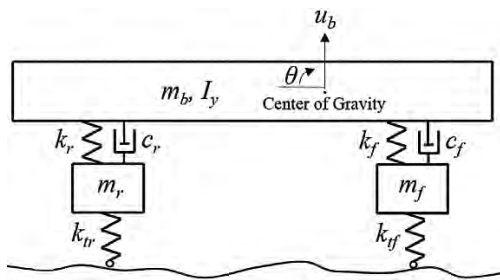


図-2 車両モデルのトポロジーマップ

Simpackでは、Curve - Curveの2D接触法に基づいて、剛体の車体とフレキシブルボディの橋梁をダミーボディ1で接続している。この方法では、親マーカーと子マーカーと呼ばれる2種類のマーカーをペアで生成し、それぞれが2次元の輪郭に沿って、2つの輪郭が接触する可能性のある位置を探していく。そして、ダミーボディ2とダミーボディ1をつなぐジョイント1は、路面性状の問題を含んで作成される。ダミーボディ2には、タイヤの上下方向の動きによって決まる、上下方向の動きに伴う並進の特性を持つ移動マーカーが作成される。このマーカーは、タイヤと橋梁の路面との間の相対的な動きを表現するために使用される。このように、剛体である車体とダミーボディ2を接続することで、車両のタイヤ特性を良好に表現することができる。この2つのパーツの間には、異なる種類の力要素を使用して、異なるタイヤ特性を表現することができる。タイヤの非線形特性は、ユーザー定義のタイヤファイルや入力関数を用いてSimpackにインポートすることができ、剛性の高い車体とダミーボディ2との間のジョイント2は、規則的なタイヤの回転を確保することが可能になる。

2.3 橋梁実測で提案方法の検証

橋梁実測は千葉県にある月毛橋で行われた⁸⁾。この橋は、長さ59m、幅4.7mの単純支持の鋼橋である。走行車両はトヨタのハイエースバンを選び、車両モデルを図-4(a)に、パラメータを表-1に示す。 m , k , c はそれぞれ質量、剛性、減衰係数であり、添え字 b , f , r , tf , tr は、車体、フロントサスペンション、リアサスペンション、前輪、後輪を示す。橋の加速度応答は、橋上に設置した無線センサで取得し、車両の加速度は前後輪に設置したセンサで取得した。いず



(a) 走行車両モデル



(b) 実験全体の様子

図-4 月毛橋の実橋計測

表-1 車両パラメータ

Parameter	Value	Parameter	Value
m_b (kg)	1,028.60	k_r (N/m)	109,890
m_f (kg)	271.2	c_f (N·s/m)	2,673.80
m_r (kg)	550.2	c_r (N·s/m)	1,385.30
I_y (m ²)	1,676.50	k_{tf} (N/m)	1,725,000
k_f (N/m)	80,156	k_{tr} (N/m)	1,809,900

れの場合も車両速度は一定で、15km/hから55 km/hまで5km/hずつ増加していく。実験全体の様子を図-4(b)に示す。

図-5は、MBS - FEM法の解析結果と実測結果から、時速40kmでの橋梁支間中央の鉛直変位を比較したものである。ここで、誤差指標TRAC (Time Response Assurance Criterion) を用いて、式 (1) で示される2つの時刻歴の相関性の度合いを判定する。TRACの値は0から1の間の正実数で、1に近い値は時刻歴が完全に一致していることを示す。図-5に示す結果のTRAC値は0.96であり、MBS - FEM法の精度が高いことを示している。

$$TRAC = \frac{[(y_{test})^T y_{simu}]^2}{[(y_{test})^T y_{test}][(y_{simu})^T y_{simu}]} \quad (1)$$

ここでは、 y_{test} と y_{simu} は、実測と解析の結果を別々に表す。

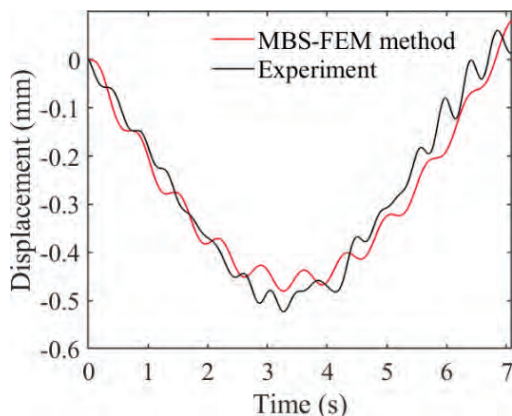


図-5 橋梁支間中央の鉛直変位比較 (40 km/h)

3. 橋梁観測に基づく風-車両-橋梁分析モデル

3.1 車両運動方程式

車両モデルの運動方程式は式 (2) に表される。

$$M_v \ddot{q}_v + C_v \dot{q}_v + K_v q_v = F_c \quad (2)$$

ここで、 M_v 、 C_v 、 K_v は車両の質量、減衰、剛性マトリックスで、 q_v は車両絶対応答、 F_c は接触力である。相対応答 q_{rv} は q_v と橋梁絶対応答 q_b から $q_{rv} = q_v - q_b$ で得られる。 q_{rv} を式 (2) に代入し、 q_{rv} の項目を左辺に移すと、式 (3) に変わる。

$$M_v \ddot{q}_{rv} + C_v^* \dot{q}_{rv} + K_v^* q_{rv} = F_c^* \quad (3)$$

ここで、 C_v^* 、 K_v^* は更新された行列、 F_c^* は橋の絶対応答 q_b の関数である。橋のリアルタイムの振動応答がわかれば、式 (3) を数値積分法で解くことにより q_{rv} を求めることができ、 $q_v = q_{rv} + q_b$ で q_v が得られる。

3.2 MBS - FEMにおける観測データベースのアプローチ

MBSシステムでは、図-6に示すように、橋梁入力振動位置の地面投影位置に移動マーカを設置し、ジョイントを介して対応する橋梁入力振動位置に接続し、橋梁絶対移動量 q_b の解析に使用する。拡張さ

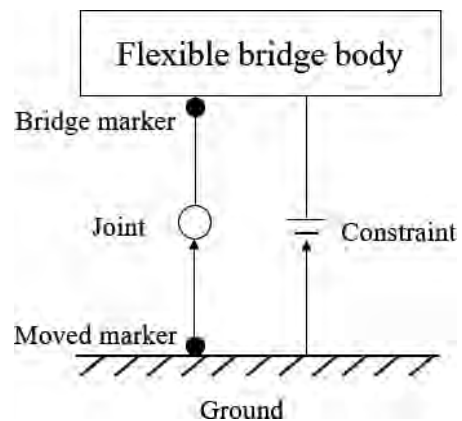


図-6 橋梁と地面の接続部分の詳細

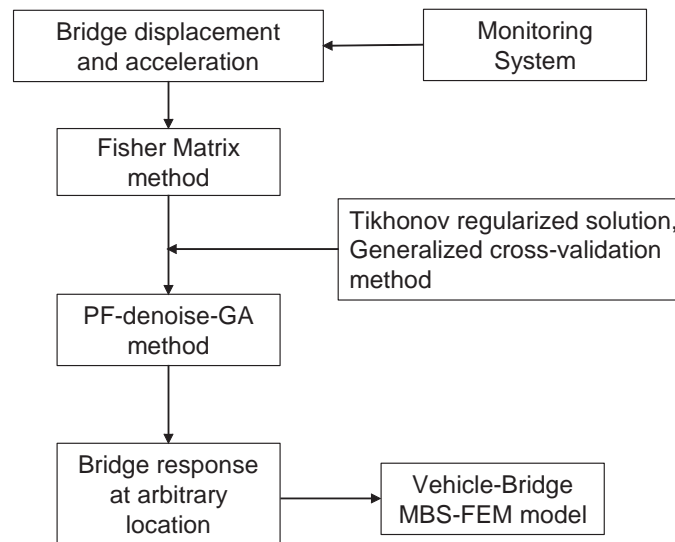


図-7 橋梁応答データの拡張プロセス

れた橋梁現場監視応答を入力関数の形でSimpackにインポートし、対応する加振を確立して u ベクトルを得て、移動したマーカが拡張された応答の動きを持つようにする。

また、風速計や加速度計等を橋梁に設置して観測することにより、風による橋梁への影響は計測応答から把握が可能であるが、コストの観点から、一般的に代表的な断面のみに設置している。本研究では、観測センサの制限数に関して、遺伝的アルゴリズム法を使用してセンサ配置の最適なレイアウトを行い、改良された摂動法に基づくデータ拡張から任意位置の橋梁応答を取得する一方で、風データは線形フィルター法によって拡張が見られる（図-7）。拡張された観測データはFEM - MBSモデルと組み合わせて、実測結果を十分に活用して、複雑な流体-構造物相互作用シミュレーションを回避できる。

3.3 車両にかかる風力

車両に作用する風力は、静荷重効果と動荷重効果の両方を考慮できる準静的な方法を、式(4)を用いて計算する。ここで、 V は車両の走行速度、 U と u はそれぞれ車両上の平均風速と乱流風速、 β は風と車両の走行方向の角度である。

$$\begin{aligned}
 F_x(t) &= \frac{1}{2} \rho U_r^2 C_D(\psi) A, & F_y(t) &= \frac{1}{2} \rho U_r^2 C_S(\psi) A, & F_z(t) &= \frac{1}{2} \rho U_r^2 C_L(\psi) A \\
 M_x(t) &= \frac{1}{2} \rho U_r^2 C_R(\psi) A h_v, & M_y(t) &= \frac{1}{2} \rho U_r^2 C_P(\psi) h_v, & M_z(t) &= \frac{1}{2} \rho U_r^2 C_Y(\psi) h_v
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

ここで、 $F_x(t)$ 、 $F_y(t)$ 、 $F_z(t)$ 、 $M_x(t)$ 、 $M_y(t)$ 、 $M_z(t)$ は、車両に作用する抗力、横力、揚力、ローリングモーメント、ピッチングモーメント、ヨーイングモーメ

ントである。 $C_D(\psi)$ 、 $C_S(\psi)$ 、 $C_L(\psi)$ 、 $C_R(\psi)$ 、 $C_P(\psi)$ 、 $C_Y(\psi)$ は、それぞれの空力係数であり、相対風向と車両進行方向との角度 ψ の関数である。 A は車両の風上面積、 h_v は路面から車両の重心までの距離である。図-8に表すように、 U_r は車両に対する相対風速で、式(5)で計算する。

$$U_r^2(x, t) = [V + (U + u(x, t)) \cos \beta]^2 + [(U + u(x, t)) \sin \beta]^2
 \tag{5}$$

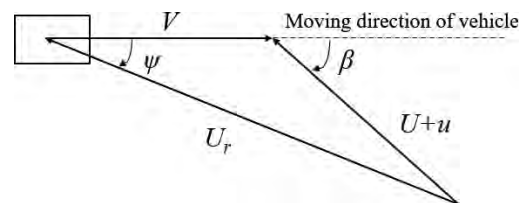


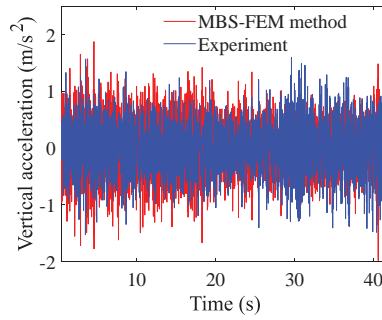
図-8 車両移動方向と風向の関係

3.4 橋梁実測で提案方法の検証

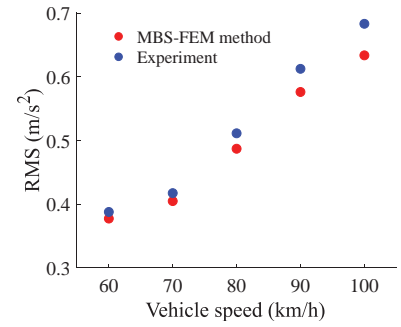
提案した解析手法は、中国の崇啓大橋の実測実験で検証されている。本橋の全長は944m、6スパンの鋼製連続梁橋(102m+4×185m+102m)である。2020年8月末に太平洋上で発生した台風23号は9月2日正午には崇啓大橋の東140kmに通過した。台風期間中、トラックが60km/h~100km/h(10km/h刻み)の定速で通過し、図-9(a)に示すように各ケースを2回繰り返している。6台のスマートフォンは、ダッシュボード中央、4つのサスペンション、車外中央に設置し、加速度応答を計測した。図-9(b)は、車両が80km/hで橋を通過したとき、車両加速度とMBS-FEM法で計算した結果を比較したものである。RMS誤差はそれぞれ4.74%になり、図-9(c)は全て



(a) 計測の様子



(b) 車両加速度比較 (80 km/h)



(c) 車両加速度RMS比較

図-9 崇啓大橋の実測による検証

の走行速度で、RMS誤差をまとめたものである。

車速が速くなる場合、RMS誤差は徐々に大きくなっている。車両速度が60km/hの場合、誤差は2.68%で、車両速度が120km/hの場合、最大誤差は6.70%になる。この検証結果から、橋梁観測に基づく風-車両-橋梁分析モデルは、実際の状況をリアルに反映できることがわかり、RMS誤差も許容範囲内に収まっている。この方法では、複雑な流体-構造の連成解析を避けることができる上に、風が車両や橋に与える影響を十分に考慮して再現することができる。現場での計測データの利点を最大限に活用し、より正確な車両応答を得ることができた。

4. 強風時車両走行安全性の評価

4.1 車両走行安全性の総合評価指標の提案

日常交通における自動車の典型的な安全事故は、横転、横滑り、回転の3つ事故に分けられる。現在の事故の評価基準は、実情を考慮して決められている。Bakerは車両の横風事故基準を図-10のように数値化した⁹⁾。しかし、走行経験により、横風が吹いていない路面形状の悪い道路を走行している際、段差によって、車輪が瞬間的に地面から離れ、鉛直接触力はゼロになる場合があるが、交通事故につながるような安定性を失っているわけではないので、単一評価指標より、総合的な車両事故基準の提案は

必要がある。

本研究において、標準偏差法、エントロピー法、CRITIC法 (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation) の3つ方法で、各々指標の重み付けを決定し、置換要約法を用いて総合評価指標CIを式 (6) で計算する。

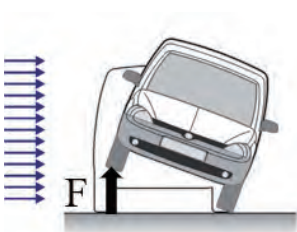
$$CI = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - y_i)^{\omega_i} \quad (6)$$

ここで、単一指標の最高得点値を1とし、i番目の単一指標の評価値は y_i となる。 ω_i は対応する正規化された重み付け係数である。この評価モデルは、車両の特定の指標が限界値に達したとき、その状態全体が危険であると評価される状況を合理的に考慮することができる一方、どの指標も最大値1に達していない場合、置換法で得られた結果は、現状をよく反映したものとなる。

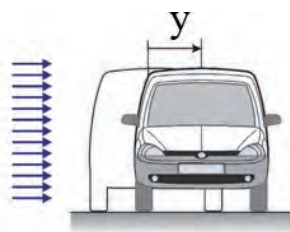
4.2 運転者挙動モデル

本研究では、PID制御と運転者の遅延を考慮した運転者モデルを実装し、式 (7) の伝達関数を採用する。

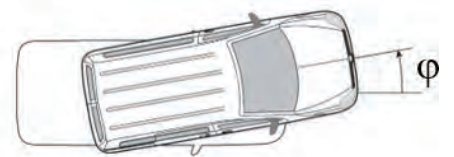
$$F = \frac{del(p)}{dy(p)} = C \frac{K_p (1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}, T_2 = T_{21} + T_{22} \quad (7)$$



(a) 横転: $F \rightarrow 0$



(b) 横滑り: $y > 0.5m$



(c) 回転: $\phi > 0.2rad$

図-10 Bakerが提案する車両走行事故基準¹⁰⁾

$del(p)$ は操舵角の角度、 $dy(p)$ は車両の質量中心と道路中心線の横方向のずれ、 C は乗算係数、 T_1 と T_2 は2つの遅延定数である。 T_1 は道路センサから発生するアクチュエータの遅延を表し、 T_2 は運転者の神経応答遅延と操作遅延を表している。神経応答遅延 T_{21} は、運転者が決断してから実行までの時間を表しており、 T_{22} はドライバーが操作を開始してからアクチュエータが実行されるまでの時間を表す。

4.3 走行安全性の評価：ケーススタディ

最後に、月毛橋をケーススタディとして、車両の走行安全性を評価する。異なる要因が車両の安全性に与える影響を分析や比較するために、路面性状、橋梁の振動、運転者挙動の有無等要因を考慮し、評価結果を図-11に示す。

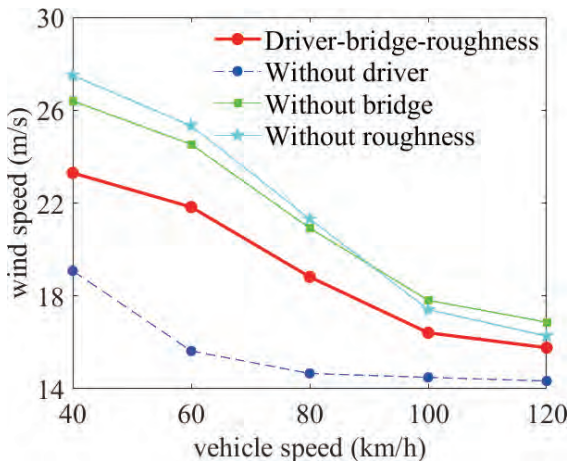


図-11 異なる走行条件の極限風速 (月毛橋)

風が吹いている状態で道路を走る車両は、橋の上よりも安全である。橋の振動が安全に走行できる極限風速が低下させ、車両の安全性に悪影響を及ぼす。車速が上がると、極限風速の低下値は40km/hの3.1m/sから120km/hの1.1m/sに減少する。低速時の橋の影響はより大きく、高速時に橋や道路を走行する車両の安全性は一定になる傾向がある。路面の粗さを考慮する場合、車速が速くなると、臨界風速増加値も徐々に小さくなる。車速が80km/h以下の場合、路面の粗さが運転の安全性に与える影響は、橋の振動よりも大きい。車速が80km/h以上の場合、橋の影響が相対的に大きくなる。運転者の影響を考慮しなければ、明らかに安全ではないので、車両安全解析では運転者の影響を十分に考慮する必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、風-車両-橋梁相互作用解析のための新しい橋梁観測に基づくMBS - FEM解析スキームを提案し、実橋計測で検証した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 複雑な流体-構造連成解析を回避するために、MBS - FEM法をVBIシステムに適用した。MBS - FEM法では、車両と橋梁を結合するために新しいダブルダミー法を採用し、車両のタイヤ、風圧、路面の粗さの影響を十分に考慮できた。
- 2) 橋梁観測データを活用し、車両の応答をより効率的かつ正確に推定するために、MBS - FEMモデルに観測データをハイブリッドするアプローチを提案した。実験結果とMBS - FEMの結果を比較したところ、提案手法の精度が高いことが示された。
- 3) PID制御と運転者挙動モデルをMBS - FEMに適用することで、運転者と車両間のフィードバックを実現した。車両の安全性の評価において、風、橋、道路の粗さ、橋の表面状態、運転者挙動など、さまざまな影響因子の重み付け係数を区別した。今後は、車両走行速度の変化を考慮し、複数車両走行時の安全評価法の構築を目指す所存である。

謝辞

本研究は、(一社)橋梁調査会 令和2年度橋梁研究開発助成(研究代表者:蘇迪)を受けて行いました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 財団法人交通事故総合分析センター：車両の横転事故、イタルダイインフォメーション特集、No.65、2006.11。
- 2) Cai C.S., and Chen S.R.: Framework of vehicle-bridge-wind dynamic analysis, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 92(7), pp.579-607, 2004.
- 3) Xu Y.L., and Guo W.H.: Effects of bridge motion and crosswind on ride comfort of road vehicles, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 92(7), pp.641-662, 2004.
- 4) Maruyama, Y. and F. Yamazaki: Driving simulator experiment on the moving stability of an automobile under strong crosswind, Journal of Wind Engineering

- and Industrial Aerodynamics, 94(4), pp.191-205, 2006.
- 5) Han, Y., C.S. Cai, J. Zhang, S. Chen: Effects of aerodynamic parameters on the dynamic responses of road vehicles and bridges under cross winds, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 134, pp.78-95, 2014.
 - 6) He, X., Y. Gai, and T. Wu: Simulation of train-bridge interaction under wind loads: a rigid-flexible coupling approach, *International Journal of Rail Transportation*, 6(3), pp.163-182, 2017.
 - 7) Chen, M., Y.Y. Luo, and B. Zhang: Dynamic Characteristic Analysis of Irregularity under Turnout by Vehicle-Turnout Rigid-Flexible Coupling Model, *Advanced Materials Research*, 945-949, pp.591-595, 2014.
 - 8) Wang, H., T. Nagayama, B. Zhao, D. Su: Identification of moving vehicle parameters using bridge responses and estimated bridge pavement roughness, *Engineering Structures*, 153, pp.57-70, 2017.
 - 9) Baker, C.J.: A simplified analysis of various types of wind-induced road vehicle accidents. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 22(1), pp.69-85, 1986.
 - 10) Batista, M. and M. Perkovič: A simple static analysis of moving road vehicle under crosswind, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 128, pp.105-113, 2014.

PIARCの活動

本州四国連絡高速道路株式会社 経営計画部長
国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室長
一般社団法人 日本橋梁建設協会 海外事業委員会
本州四国連絡高速道路株式会社 しまなみ今治管理センター
(前)国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室 研究官

今井 清裕
白戸 真大
佐藤 陽一
大西 諒

1. はじめに

世界道路協会 (PIARC) の技術委員会は、4年間を活動期間とし、実行委員会 (Executive Committee) で決められた戦略テーマ (ST: Strategic Theme) 毎にいくつかのTCが設けられる。各技術委員会は、4年目の世界道路会議までに世界各国への調査を行い、その成果をまとめ、世界道路会議で発表していくこととなっている。2016~2019年の4年間の活動では、4つ (A~D) の戦略テーマ (ST: Strategic Theme) が設定され、その中の1つのST D「インフラストラクチャー」の中にTC D.3「道路橋」が設置された。TC D.3「道路橋」の4年間の活動テーマは、①点検及び維持管理に配慮した橋梁設計、②修復効果、経済性を考慮した橋梁の修復工法、③橋梁点検と損傷評価手法、の3つで、それぞれに対してワーキンググループ (WG) を設けて活動を行った。各WGは、調査内容・調査方法の検討、調査票の作成・配布、調査結果の分析、技術レポートの作成、フランス語、スペイン語への翻訳を4年間の中で行い、その成果を技術レポートとしてPIARCから発行するとともに、アラブ首長国連邦アブダビでの世界

道路会議での発表を行った。また、TC D.3「道路橋」独自の取組として、各国の道路橋ストックの状況についての調査も行った。

本報告では、TC D.3「道路橋」で行った各国の道路橋ストックの現況を紹介するとともに、3つの課題のうち、①点検及び維持管理に配慮した橋梁設計 (参考資料1)、③橋梁点検と損傷評価手法 (参考資料2)、に関する主な成果を報告する。

2. 道路橋ストックの調査

各国の橋梁ストックのデータ収集を目的としてTC D.3メンバー (42か国) に対し、管理延長、管理道路橋数、道路橋の定義 (橋長)、カルバートの有無、道路橋の主構造の種類 (鋼製、RC製、PC製、石橋、木橋、その他)、道路橋の年齢などについて調査を行い、19カ国23機関から回答を得た。

図-1に各国の道路橋の定義 (橋長) を示す。この図に示すように各国の橋梁の定義は一様ではなく、橋長を定義にしていない国もあり、橋長を定義している国でもその長さは様々であった。また、カ

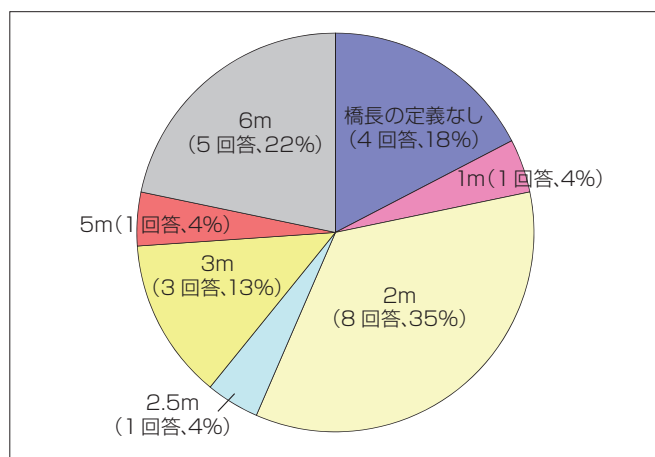


図-1 道路橋の定義 (橋長、19カ国23機関)

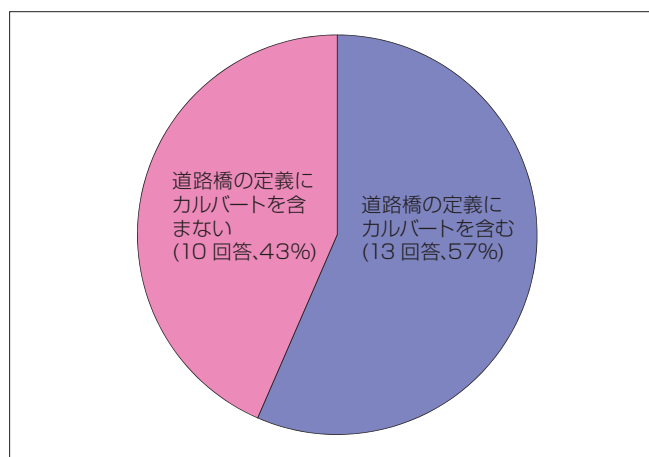


図-2 道路橋へのカルバートの有無 (19カ国23機関)

ルバートを道路橋に含んでいる国はほぼ半分であった（図-2参照）。これらのことから、国別に道路橋のストック数を比較する場合、その定義をよく確認した上で比較・評価することが必要であることがわかる。また、図-3に完成年度別にみた道路橋数を示す。限られた国と機関の情報に基づくものではあるが、1961年以降に建設された橋が多く、中でも1961～1980年に建設された橋が多く、世界的にも50

年を経過する道路橋が増加し、日本を含め、世界的にも橋梁の維持管理が重要となっていくことが想定される。また、図-4に機関別の主構造の種類について示す。この図から、ヨーロッパの国々では、コンクリート系の材料が多く、石橋もかなりの国で道路橋として利用されていること、オーストラリア、チリなどでは、道路橋として木橋がかなり利用されていることが把握できた。

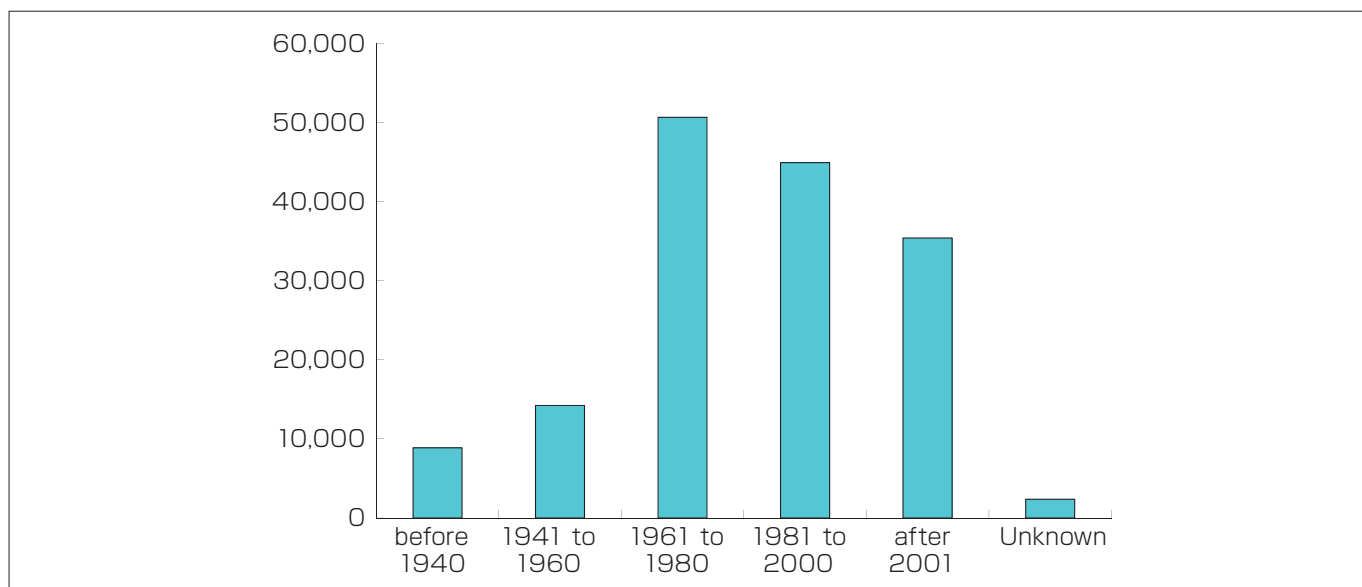


図-3 道路橋の完成年度 (19カ国23機関)

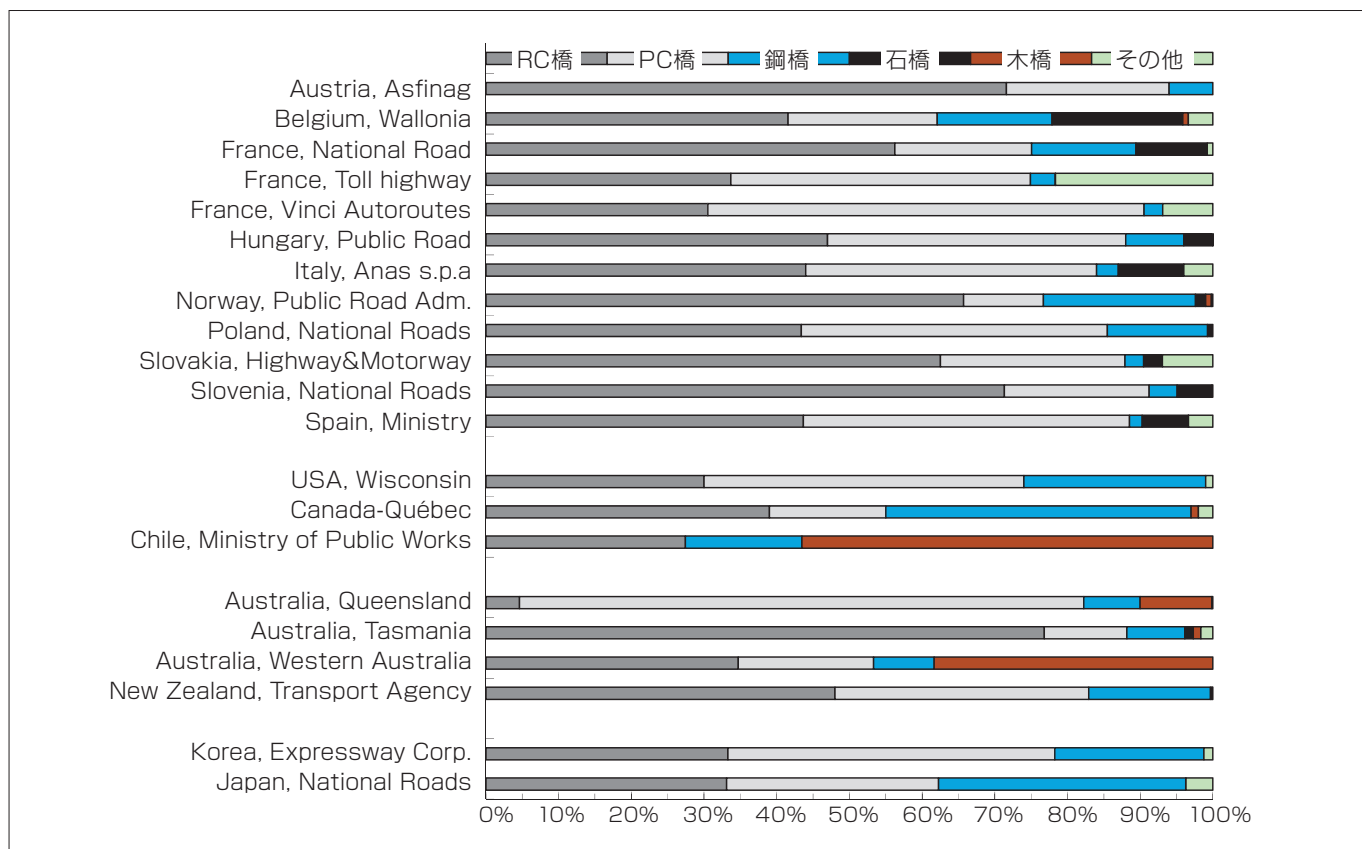


図-4 機関別の道路橋の主構造 (19カ国23機関)

3. 点検及び維持管理に配慮した橋梁設計

道路橋の設計では、一般に強度、景観、機能、経済性を求め、さらに、耐久性、維持管理性も考慮することが必要である。これを達成するには、将来の点検や維持管理を容易にすることを設計時から考慮することが求められる。あらかじめ考慮しておかないと、点検や維持管理に要する費用が増大することになる。このような観点から将来の点検、維持管理、部材の交換を容易にする設計や詳細構造の事例について各国に調査票を送付し、回答を得た結果をまとめた。調査に対し、ベルギー、フランス、ノルウェー、スイス、オーストリア、スペイン、ポルトガル、スロベニア、ルーマニア、南アフリカ、日本、韓国、中国、カナダ、アメリカの15か国から17の回答があった。多くの国が、橋梁の設計・建設において将来の点検・維持管理を考慮していること、また、将来の点検・維持管理を考慮する記述が設計要領・設計ガイドラインに記載されているとの回答であった。ただし、点検や維持管理への配慮、安全な近接手段は、各々の設計技術者の判断に委ねているという回答が1/4程度見受けられた。次に各国で、点検、維持管理を容易にする設計概念、詳細構造、安全な近接手段の事例として回答があった具体的な事例を紹介する。

(1) 設計概念

- ・構造形式：インテグラルブリッジ（写真-1参照）、セミインテグラルブリッジ、連続形式が望ましい。中空床版の埋設型枠は近接できないので極力使用しない。
- ・材料の選択：耐久性の観点から、耐候性鋼板、UHPC、繊維補強コンクリートを使用することや、床版や壁高欄にステンレス鉄筋や亜鉛メッキ鉄筋を使用することが望ましい。
- ・最小寸法、間隔：下部工天端と上部工下端の最小間隔、橋台に設置する管理路の最小寸法、コンクリート床版の最小厚さ、鋼床版の最小板厚、開口部、マンホール、空隙の最小寸法（点検員の通行や維持管理に配慮、図-5参照）などを規定。

(2) 詳細構造

- ・支承：支承を交換することを想定し、交換可能な部品の使用や橋台前面にジャッキスペース、ジャッキ用の補強を施すこと（図-6参照）。
- ・伸縮装置：近接可能なように橋台前面に管理用の



写真-1 インテグラルブリッジの事例

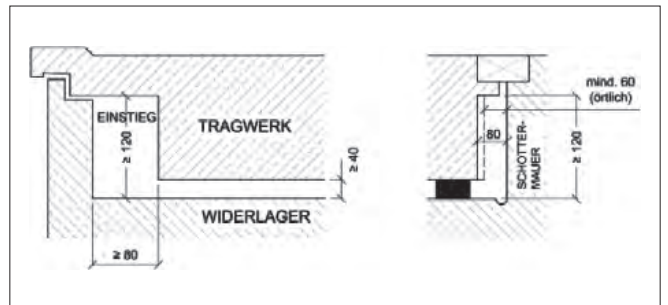


図-5 点検員等の通行、維持管理に配慮した空間確保の事例

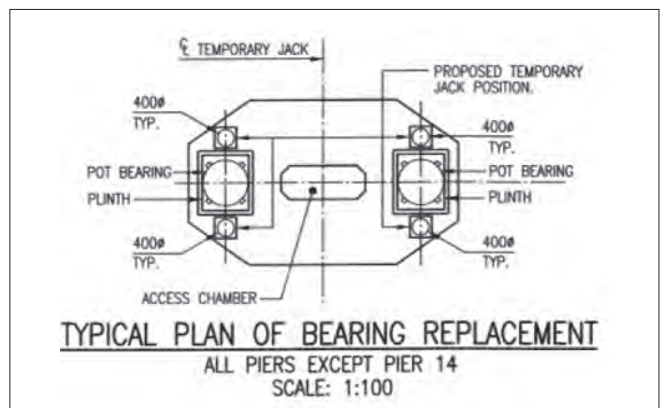


図-6 支承交換のためのジャッキスペース・補強検討の事例

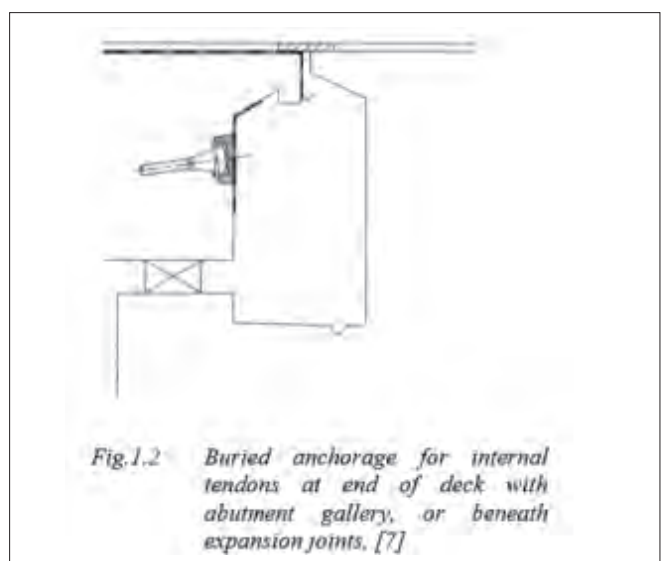


図-7 PC定着部の点検・維持のための伸縮装置下の空間確保の検討事例



写真-2 1m単位の伸縮装置

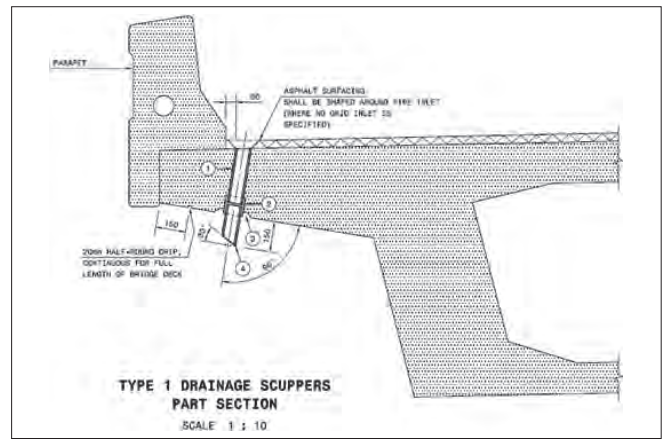


図-8 排水構造の事例



写真-3 照明柱を中央分離帯側に設けた事例



写真-4 移動足場へのアクセス事例

空間を設置すること（図-7）や交換しやすいように基準単位で設置する（写真-2）。

- ・壁高欄、ガードレール：縁石に摩耗抵抗がある高強度コンクリートの使用、凍結防止剤が散布される箇所の縁石には防水被覆を施す、破壊や盗難の恐れがあるところではコンクリート高欄を使用。
- ・排水：排水口は、床版／桁の下面より下に設け、桁の下面に水切りを設けることを推奨（図-8）。
- ・箱桁橋、中空床版の空洞：点検と維持管理のため近接可能な構造とする。中空構造内に排水構造を

設ける。

- ・その他：橋梁点検車利用のため、照明柱は中央分離帯側に設ける（写真-3参照）。

(3) 安全な近接手段

- ・移動足場：大規模橋梁には恒久構造で移動足場の設置を推奨するが、維持費に注意する必要がある。また、移動足場へのアクセス方法も考慮する必要がある（写真-4）。
- ・管理用昇降足場：上部工側面、橋台側面などの管



写真-5 橋梁側面、橋台に設けた階段式昇降設備



写真-6 桁内照明の事例

理用施設は鉛直はしごではなく、階段式の管理路を採用（写真-5）。

- ・はしご、階段、揚重機：中空橋脚やタワーに設置。
- ・ハッチ、開口部、マンホール：マンホールの扉は、繊維強化プラスチックで製作して軽量化と腐食防止を図る。
- ・照明：箱桁内部などの閉鎖空間への照明を設置する。なお、照明自体の維持管理費用が高額にならないよう注意が必要（写真-6）。
- ・換気：特に鋼箱桁の閉鎖した箱桁内に換気を設置。
- ・その他：路上の点検員の安全確保のため、駐車スペースを設ける。危険な箇所には点検員に警備員をつける。

4. 橋梁点検と損傷評価手法

この課題は、道路橋管理者が、損傷または事故に直面した場合の緊急対応の事例等を収集するとともに、道路橋管理者が緊急対応が必要な事象に直面した場合に、参考となるガイドラインを提案することを目的として活動を行った。

緊急対応事例の調査事例の調査票を配布し、ベル

ギー、フランス、ノルウェー、オーストリア、スペイン、スロベニア、南アフリカ、オーストラリア、日本、韓国、中国、カナダ、アメリカ、メキシコの14か国から表-1に示すような28事例の回答があり、事例集としてまとめた（参考資料3）。

28の損傷評価・緊急対応事例の発端には、図-9に示すように、半数が点検で損傷を発見した事例、その他に自動車または船舶の衝突による損傷、自動車・足場等の火災などの事例への緊急対応事例をまとめられている。

また、図-10に示すように28の対応事例のうち、橋の閉鎖に至った事例が7、特別点検を行った事例が6、車線規制を行った事例が5、また、特段の対応まで至らなかった事例が5つ含まれている。

以下、28の緊急対応事例のうち、①合成床版橋にブーム付トラックが衝突し橋を閉鎖した事例（カナダ・ケベック）、②上路トラス橋の上弦材の破断を点検員が発見し橋を閉鎖した事例（アメリカ）、③RC床版3径間プレキャストPC箱桁の橋脚に大型車両が衝突し橋脚が倒壊した事例（スペイン）を紹介する。

表-1 28の緊急対応事例

	時期	発端	緊急対応	国名	事象
1	2017	衝突	なし	オーストラリア	トラス橋の鋼製斜材の1つに車両が衝突
2	2010	点検	大型通行制限	オーストラリア	地盤洗掘後点検で腐食した木杭を発見
3	2009	点検	車線規制	オーストリア	鈑桁の座屈
4	2013	点検	特別点検	オーストリア	PCケーブル定着部の隙間を発見
5	2001	点検	なし	ベルギー	斜張橋のケーブルの破断と腐食
6	2016	衝突	閉鎖	カナダ	車両衝突に伴う両外主桁の損傷
7	2013	火災	閉鎖	カナダ	工事中の火災に伴う桁の損傷
8	2007	衝突	一部閉鎖	中国	船舶の橋脚への衝突
9	2016	点検	特別点検	フランス	曲げひびわれを発見
10	2012	火災	閉鎖	フランス	トラック横転により火災発生
11	2009	点検	車線規制	日本	PCケーブルの破断を発見
12	2006	点検	車線規制	日本	溶接継手に1mのき裂を発見
13	2010	火災	閉鎖	韓国	高架下のトラック火災
14	2014	点検	特別点検	韓国	凍結防止剤による鋼箱桁の激しい腐食
15	2015	点検	モニタリング	メキシコ	斜張橋ケーブル定着部の疲労破断
20	2014	衝突	なし	南アフリカ	高速道路上の歩道橋への衝突
21	2002	衝突	閉鎖	スペイン	車両衝突に伴う橋脚の倒壊
22	2016	点検	特別点検	スペイン	床版が橋軸直角方向へ0.2m移動
23	2017	点検	閉鎖	アメリカ	塗装工事中にトラス弦材の破断を発見
24	2014	点検	車線規制	アメリカ	鈑桁の主桁フランジとウェブにき裂を発見
25	2011	点検	特別点検	アメリカ	トラスアーチのタイ部材にき裂を発見
26	2015	点検	緊急対応なし	アメリカ	橋脚上部の激しい劣化
27	2016	衝突	橋下の閉鎖	アメリカ	車両衝突に伴うPCケーブルの損傷
28	2016	衝突	閉鎖	アメリカ	トラス部材への衝突に伴う破断

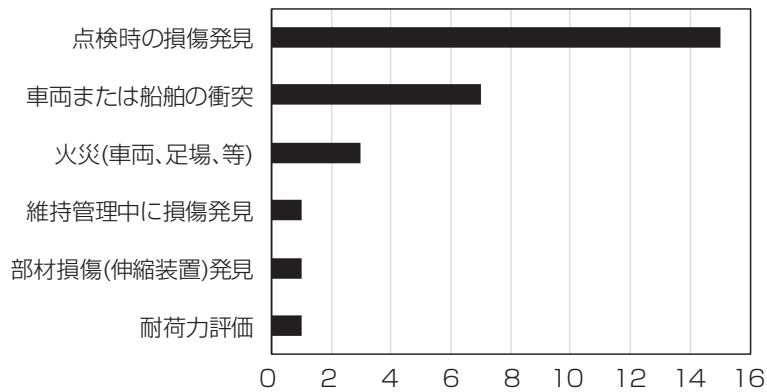


図-9 緊急対応事例の発端

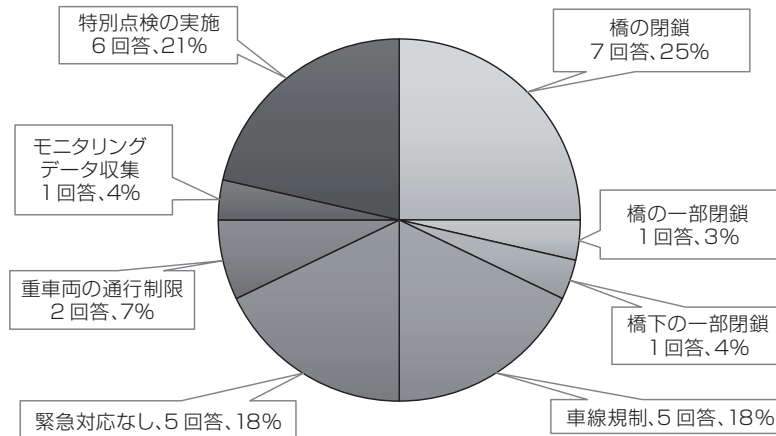


図-10 道路橋管理者の対応内容

事例1：衝突：カナダ・ケベック、合成床版橋

2016年7月5日の朝、モントリオール郊外の高速道路40号線を跨ぐ合成床版橋（写真-7）にブーム付トラックが衝突し、4本の桁の両外側の桁が損傷した。そのうち、西側の主桁に最も大きく衝突し、主桁が大きく変形した（写真-8）。緊急対応として、橋は下の高速道路も含め、法に基づき通行制限がかけられた。高速道路40号線の交通は、出口ランプを迂回することにより通行を確保した。管理事務所の橋梁点検員が点検を実施し、6～8時間後に橋の下の高速道路の上下線の交通を開放し、さらに、中央の2主桁を使ってランプの交通を1車線を確保することを決定し約10～12時間後に交通開放した。緊急対応の判断は、橋梁点検員が、地上から点検を実施し、橋梁の専門技術者と道路管理者からなる委員会に写真や観察を報告して最終判断がなされた。ランプの1車線は北向きの交通に利用され、南向きの交通の迂回などもあまり問題がなかったため、恒久対策を実施するまで、このまま使用することになり、補修工事も通常の契約手続きで実施した。恒久対策として、東側の桁は当て板補修、西側の桁は交換することとし、約17ヵ月後の2017年11月に補修工事を完了した。コンコルド橋の衝突事故後、カナダ（ケベック）では、点検で重大な損傷を発見した場合も含め上記のような明確な対応手順を決めており、今回の事例もその手順に従って行った。



写真-7 高速道路40号線を跨ぐ合成床版橋



写真-8 西側の主桁の損傷

事例2：破断：アメリカ、上路トラス橋

2017年1月20日に塗装工事の施工検査員が、ペンシルベニア州とニュージャージー州の州境のデラウェア川を渡るI-276橋（写真-9）のペンシルベニア州側のアプローチ橋のトラス上弦材の破断を発見した（写真-10）。破断箇所は、橋脚上で4径間トラスが連続となっている箇所で、破断は、フランジに設けたボルト孔を溶接材料で後から埋め充填した箇所で発生していた。緊急対応として、州の橋梁点検プログラムマネージャーが、橋が荷重を安定して支持できるかどうか厳密な解析が必要であると即座に判断し、橋上、橋下とも通行止めとし、当て板により仮の連結することを指示した。緊急点検として、他に破断している箇所がないか、今回の事故に伴う損傷がないか、また、他に同様な製造ミスがないか全ての添接箇所の超音波探傷試験（UT）を実施することとし、補修とUT試験が完了するまで、橋は閉

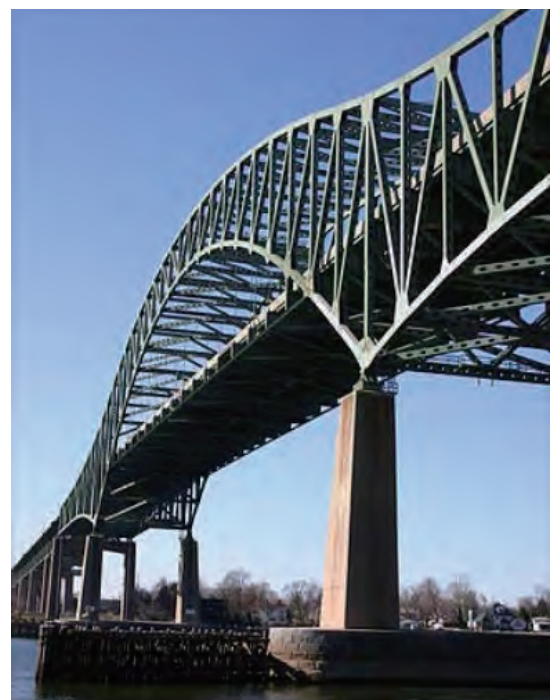


写真-9 デラウェアアリバー橋



写真-10 トラス上弦材の破断状況

鎖することになった。恒久対策として、①破断した弦材の補修、②破断した弦材の交換、③破断した弦材を含む4径間全体の交換、の3案が検討されたが、破断した上弦材に引張荷重を一定程度戻し、再度、連結する案①が選択された。補修工事は、事象発生約1カ月半後の2017年3月11日に完了した。

事例3：衝突：スペイン、RC床版3径間プレキャストPC箱桁

2002年7月18日に大型車両が、パレンシア市（スペイン）近郊のN-610路線上に架かる3径間のプレキャストPC箱桁のP1橋脚の1本の橋脚に衝突、橋脚が倒壊した(写真-11)。橋脚に支持されていた桁は、床版に吊り下がった形になり(写真-12)、床版は大きく変形し、路面上から確認できる亀裂が発生した。緊急対応として、維持管理担当者は、補修方法を決定するまで、橋上と橋下の道路は通行止めし、倒壊した橋脚の代わりに桁を油圧ジャッキで支持することにした。緊急対応に並行して、この倒壊事象は、地区の維持管理責任者を經由して、国の橋梁担当部（マドリッド）に連絡された。国は、専門家を現地に派遣することを決定した。補修方法の検討にあたっては、地域の事情から9月中の補修完了が求められており、可能な限り既存の部材を多く活用し、橋を補修するが検討された。

現地調査は、油圧ジャッキで床版を仮支持後、舗装を取り除いて損傷評価を行い、その結果を用いて床版の構造分析を実施し、床版への影響を確認した。その結果、橋脚を更新し、床版の亀裂に補修材を注入することで再利用できると結論づけた。補修は、現場打コンクリートで新しい橋脚を構築し、工事完



写真-11 P1橋脚の倒壊



写真-12 主桁、床版の変形状況

了後、床版の性能を確認するために荷重試験を実施し、2002年8月末完了に交通開放を行うことができた。

道路橋に重大な損傷が発見された場合の道路管理者の対応事例として28の緊急対応事例を整理し、他の道路管理者に参考となる資料を作成した。これら28の事例から道路管理者は、重大な損傷を発見した場合、①橋の閉鎖、②特別点検の実施、③車線規制、④緊急対応をしない、などの判断を行い緊急対応している。今回収集した事例から、多くの道路管理者は、重大な事象に遭遇した場合、①特別点検の実施、②同様な箇所点検、③調査委員会の設置などを実施して対応していることが明らかになった。

5. おわりに

前タームは、上記の課題に取り組んできたが、今ターム（2020-2023）は、①気候変動への適応性を高める措置、②構造破壊のフォレンジック（科学的な調査）工学、③橋梁点検技術と橋梁マネジメントの向上、④リハビリテーション（修復）に使用する新材料／新技術、⑤地震に伴う損傷にレジリエンス（強靱）な橋梁、の5つのテーマに取り組んでいる。このうち、②、③、④の3つのテーマについて、②は、供用中、施工中の橋梁が崩壊するなどの重要事象の情報の収集、③は、道路橋の状態把握や監視のための機器・センサーも活用、④は、我が国の耐震補強も含めた補修補強基準などの情報提供を行うとともに各国の技術基準や性能検証方法を収集する、ことを目的に取り組んでいる。新型コロナウイルスの影響で、年2回のリアルの技術委員会は、すべてリモートでの開催になっているが、アンケートの実施、情報収集も行っており、2023年のプラハでの世界道路会議に向けて、成果をまとめていきたいと考えている。

参考資料1： Bridge Design Toward Improved Inspection
And Maintenance

参考資料2： Damage and Deterioration Assessment
Decision-Making for Highway Bridge
Safety

参考資料3： Inspections and Damage Assessment
Techniques - Case Studies

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2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、地方整備局長や事務所長等から表彰が行われます。

当調査会におきましては、令和2年度に完了した以下の業務とその業務に従事した技術者に対して局長表彰ならびに事務所長表彰を頂きました。

表彰者	業務名	表彰対象
関東地方整備局長	R1 関東MC橋梁外データ整備等基礎検討業務	・業務 ((株)長大とJV)
東北技術事務所長	東北北部管内橋梁診断業務	・業務
中部道路メンテナンスセンター長	令和2年度中部地整管内(岐阜・静岡・長野地区)橋梁診断業務	・技術者(長谷川明義)
中国道路メンテナンスセンター長	中国管内東部橋梁外点検評価業務	・業務 ・技術者(北山耕造)
四国技術事務所長	平成31年度四国管内橋梁診断(その1)業務	・業務 ・技術者(江戸範夫)

計画課長 桐原 進彌

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年度から年に一度「橋梁技術に関する研究開発助成」の助成対象者を決定しております。これまで「橋梁技術に関する研究開発助成」は30件の助成を行ってきたところです。この度、令和3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 久一長岡科学技術大学名誉教授）を設け、審査委員会での審査を経て助成を決定しました。

令和3年度の助成対象者は以下のとおりとなりました。

橋梁技術に関する研究開発助成対象者

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しています。

子田 康弘 氏（日本大学工学部土木工学科 教授）

・研究計画：「水の浸入による耐疲労性の低下を抑制するRC床版断面の開発」

須藤 敦史 氏（東北工業大学工学部都市マネジメント学科 教授）

・研究計画：「定期点検値を利用した橋梁のマクロ的劣化評価とその予測手法の開発」

竹谷 晃一 氏（東京工業大学環境・社会理工学院土木・環境工学系 特任講師）

・研究計画：「位相空間分析と機械学習を応用したコンクリート打音検査法の高度化の試み」

田村 洋 氏（横浜国立大学都市イノベーション研究院 准教授）

・研究計画：「塗膜クリープ解析法の開発と高力ボルト摩擦接合継手の性能評価への適用」

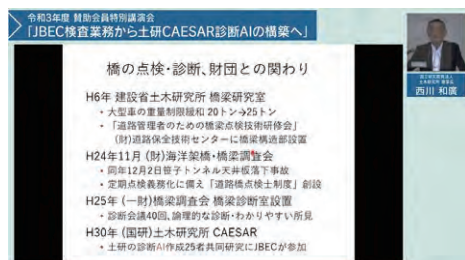
廣畑 幹人 氏（大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授）

・研究計画：「加熱式塗膜剥離を基本とする鋼橋の塗替えにおける簡易塗装の検討」

計画課長 桐原 進彌

第9回賛助会員特別講演会の報告

定例の賛助会員様向けの特別講演会を2021年8月30日にアルカディア市ヶ谷にて開催し57名の方にご参加いただきました。例年は4月の開催としておりましたが、新型コロナウイルス感染症の猛威が収まらず日程を変更したものです。当日は、来場された方へは検温を実施したうえで座席指定制とし、1時間半程度の講演会となりました。また、当日の講演内容は、賛助会員様向けにオンデマンド配信を実施しました。



配信状況（土木研究所 西川和廣 理事長のご講演）

冒頭、橋梁調査会 菊川滋理事長から開会のご挨拶を申し上げ、引き続き橋梁調査会審議役兼企画部長の酒井洋一より「橋梁調査会の最近の活動について」として橋梁調査会の取り組みをご報告いたしました。

続いて本年の特別講演では、当調査会専務理事、(一財)土木研究センター理事長を務められ、橋梁維持管理の第一人者としてご活躍されている国立研究開発法人 土木研究所 ^{にしかわ かずひろ}理事長の 西川 和廣 様より、「JBEC検査業務から土研CAESAR診断AIの構築へ」と題してご講演いただきました。

ご講演では、まず、現在当調査会で実施している道路橋点検士技術研修会の前身でもある「道路管理者のための橋梁点検技術研修会」の立ち上げについてご講演いただきました。また、メンテナンスサイクルの確立までの経緯、平成26年度より平成30年度で一巡した定期点検の成果・残る課題についてご講演いただきました。

さらに、当調査会において職員（橋梁診断員）の診断・所見の信頼性向上を図るための取り組みとして行った「橋梁診断会議」について説明されました。橋梁診断員は論理的な診断とわかりやすい所見が求められ、話の筋道が物事の道理（ロジック）に沿っていること・筋が通っている（＝理解しやすい、説

得力がある）ことが必要であることを会議の場で職員へ意識付けをされたことを紹介されました。

このあと、話題は診断AIに移り、AI導入の背景、構築の基本的な考えとその方法についてご紹介の後、損傷メカニズムの各段階を紙芝居（＝診断セット）化してシステムへ入力し活用するとの紹介がありました。実際に取り扱う診断セットサンプルとして、RC床版の疲労損傷とRC床版の土砂化について損傷メカニズムを追跡する形で進める紙芝居を紹介されました。また、土研の目指す診断AIシステムでは、損傷を原因別に細分化したプロセス120ケースについて作業中であることが紹介されました。

最後に、最近依頼を受けた新設橋梁に関し、厳しい制約下での工夫とチャレンジは構造のみならず、生態系や景観、長寿命化への配慮をしたとするお話がありました。

参加者から講演への感想は、仮説の説明がわかり易くて良かった、大変勉強になりました、などの声が聞かれました。

本講演会も定例化して9回目を数えますが、例年、道路行政や建設業界等に関わりの深い講師をお招きし、ご講演をいただいております。今回は会場開催に加えオンデマンド配信も行い多数のご参加・ご視聴をいただき、皆様には厚く感謝申し上げます。

本年の講演会参加者にご協力いただいた、橋梁調査会の主催する講演会等で今後希望するテーマについてのアンケート結果も参考にさせていただきながら、今後も情報発信に取り組む所存です。



講演会会場風景

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。

しかし、コロナ禍、残念ながら中止となったイベントもありました。

令和2年度、中部地方整備局等が主催する建設技

術フェアは開催され、建設関係者はもとより一般の方々にも、「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）いたしました。

計画課長 桐原 進彌

開催日	イベント名	主催者
令和2年10月14日・15日	建設技術フェア 2020 in 中部	国土交通省中部地方整備局 名古屋国際見本市委員会 (公財)名古屋産業振興公社



出展ブース



パネルの説明を聞き入る来場者

犀川大橋

金沢市民に愛され続けている日本最古のワーレントラス橋

金沢の南西の玄関口

金沢の街は、犀川（男川）、浅野川（女川）の二本の川に挟まれた地域に広がっている。川は天然の掘割として機能し、城下に入るには北東からは浅野川大橋、そして南西側からは犀川大橋を渡る必要があった。

犀川大橋が木造橋であった頃は、いさごの橋、中河原の大橋、一ノ橋などと呼ばれ、前田利家が加賀の国に入部し、築城を始めた1594年ころに完成したと言われる。犀川大橋は北国街道の一部であったことから、交通の要衝であり、かつ軍事的に重要な施設であった。藩政期、犀川にはこれ以外に橋はなく、また周辺には防衛拠点として寺社が配置されていた。

3万人の市民で賑わった渡橋式

犀川大橋は明治期までは木造橋であったため大雨で流されることも多く、交通量が増加した大正時代には軌道併用の永久橋を架けようとする機運が高まった。こうして1919（大正8）年に、橋長32間（約58m）、幅8間（約14.5m）の鉄筋コンクリート橋が完成した。しかし、橋は1922（大正11）年8月、金沢測候所開設以来の記録的豪雨に見舞われ、あえなく流失した。そこで急ぎ再建されたのが、1924（大正13）年に完成した現在の犀川大橋である。

設計は日本の橋梁設計の先駆者、関場茂樹。橋長

62メートル、幅員22メートル、下路式単純曲弦ワーレントラス橋で、流失した橋と同様、市電軌道、一般車道、歩道からなる。橋門構、支材、鉛直材には形式の異なるトラス材が使い分けられており、橋の軽量化に一役買っている。なお、当時は関東大震災の影響で鋼材の入手が難しくなり、一部英国製が使用されている。

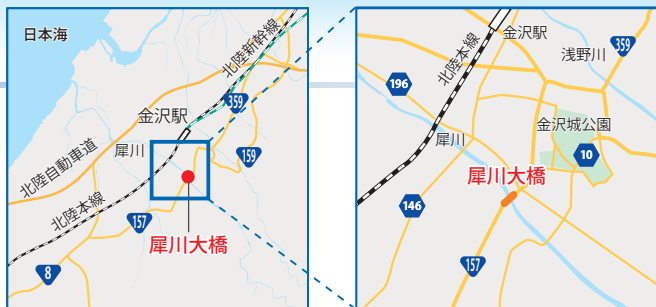
車道上部の梁にかかる立派な橋名板は、当時の石川県知事長谷川久一の筆になるもの。また、橋名板上には丸いランプが置かれたほか、歩道の高欄には渦巻状の意匠が施されるなどしている。

渡り初めとなる7月10日の渡橋式は、約3万人の群衆で賑わった。1920（大正9）年の金沢市の人口が約13万人であるから、市民にとって期待の大きな事業だったと言える。

金沢のシンボルとして化粧直し

戦争被害を受けなかった金沢市は伝統的な街並みを保ったまま戦後を迎えることができた。犀川大橋は戦後も交通の要衝として、重要な存在として有り続け、1957（昭和32）年にリベットや高欄などの修理・交換、塗装などが行われた。1967（昭和42）年には路面電車（北陸鉄道金沢市内線）が、交通を阻害するとして廃止された。





橋名	犀川大橋
形式	下路式単純曲弦 ワーレントラス橋
橋長	62.308m
幅員	21.669～23.669m
竣工	大正13年3月（1924年）

犀川大橋にとって大きな転機といえば、1994（平成6）年の大規模改修であった。このときの改修では、構造的な補強以外にも、金沢の景観に溶け込む、さまざまな工夫がなされた。

塗装は日本の伝統色である5段階の青灰色を、加賀友禅で用いられるグラデーションの配色法で行われた。金沢ゆかりの素材やデザインもふんだんに取り入れられた。橋名板の一部には金沢金箔が施されたのをはじめ、紅殻格子を思わせる高欄が採用された。歩道には人々がくつろげるよう、ベンチがいくつか据えられたが、これには金沢市郊外の戸室山周辺に産する安山岩の一種、戸室石が使われている。金沢城の石垣、寺社仏閣の基礎や石灯籠などにも用いられる、市民にとって馴染み深い石材である。

また、直線だった歩道を改修して、緩やかに膨らみをもたせ、上流側2箇所と下流側1箇所にレトロ調の照明を配した。かつては「男性的」と評された犀川大橋だが、このときの改修によって、橋に優美な表情が付け加えられた。

ちなみに2000（平成12）年には道路橋としては日本最古のワーレントラス橋として、浅野川大橋とともに国の登録有形文化財に指定されている。

大橋がバーになる？

近年、金沢河川国道事務所では、金沢片町まちづくり会議と連携し、犀川大橋を活用したさまざまな取り組みを行っている。

2014（平成26）年、金沢片町まちづくり会議では「犀川活用プラン」を策定、「サイガワあかりテラス」というイベントを開催した。これは歩道の手すりをLEDや灯籠で飾り付け、遊歩道に屋台を並べ屋外で食事やお酒、ライブなどを楽しんでもらおうというもの。2016（平成28年）からは犀川大橋のライトアップが加わり、一層華やかになった。なお、犀川大橋のライトアップは2017（平成29）年からは恒常的に実施されている。

金沢片町まちづくり会議は他にも緑化や清掃運動など、多くの功績が認められ、2016（平成28）年、石川県内では初の「道路協力団体」に指定された。これを受けて2017（平成29）年4月、「犀川リバー

カフェ」を3日間実施した。これは犀川大橋をオープンカウンターにし、橋詰のブースで購入したお酒や軽食を、高欄に設置した特注カウンターで楽しんでもらおうというもの。以降、今年も含め、何度か開催されている。

犀川大橋は、単に交通路というだけでなく、観光の目玉であり、市民の憩いの場である。さらには大正時代の橋梁建設技術を今に伝える建造物として貴重な存在である。これからも金沢のシンボルとして、広く市民に愛されながら、長くあり続けてほしいものである。



- 1 犀川大橋ライトアップ
- 2 「サイガワあかりテラス」の様子
- 3 犀川の遊歩道からみる犀川大橋

写真提供：国土交通省 金沢河川国道事務所

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

東北支部 〒980-0014
仙台市青葉区本町2-1-29(仙台本町ホンマビルディング10階)
TEL : 022-221-5301 FAX : 022-221-5302

関東支部 〒330-0844
さいたま市大宮区下町1-42-2(TS-5BLDG.5階)
TEL : 048-657-6085 FAX : 048-645-2167

北陸支部 〒950-0965
新潟市中央区新光町10-3(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(東福第二ビル2階)
TEL : 092-473-0628 FAX : 092-473-0629



J-BEC レポート 2021 Vol.17 令和3年11月発行

編集・発行 一般財団法人 橋梁調査会 J_BECLレポート編集委員会

印刷 (株)大 應

裏表紙写真提供：国土交通省 金沢河川国道事務所



J-BEC

橋をかける
橋をまもる