

道路構造物のメンテナンス・防災分野のDXを支える 研究開発の取組み

福田敬大・星隈順一

1. はじめに

国民目線でのサービス創出やデータ資源の利活用、さらには社会全体のDXの推進を通じて、全ての国民にデジタル化の恩恵が行き渡る社会を実現するための取組みが政府をあげて進められている¹⁾。重要な社会インフラの一つである道路構造物の技術政策においても、道路利用者に対して安全・安心な通行を確保するとともに、持続可能でスマートな道路システムへの変革に向けて、デジタル技術や新技術の導入等による道路管理の省力化・効率化を目指しているところである²⁾。

本稿では、令和4年3月に国土交通省が策定した「インフラ分野のDXアクションプラン」における道路構造物関連の施策を支える技術として、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）と土木研究所（以下「土研」という。）が取り組んでいる道路構造物のメンテナンス分野及び防災分野の研究開発について報告する。

2. 「インフラ分野のDXアクションプラン」 における道路構造物分野の取組み

公表された「インフラ分野のDXアクションプラン¹⁾」では、国土交通省としてのインフラ分野のDXの取組方針を具体化するとともに、それにより実現する社会の姿が示されている。これまでも建設業界ではi-Construction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。インフラ分野のDXは、これまでのi-Constructionの取組みを中核としてインフラの利用・サービスの向上と、関連する業界の拡大や関わり方の変化により、建設現場の生産性の向上に加え、業務、組織、プロセス、文化・風土や働き方を変革することを目的とした取組みである。

アクションプランは(1)行政手続のデジタル化、(2)情報の高度化とその活用、(3)現場作業の遠隔

化・自動化・自律化の3つの柱から構成され、道路構造物の関連では、国総研と土研がそれぞれの役割分担に応じて(2)と(3)の取組みを進めている。

国土交通省道路局では、道路管理者毎に蓄積されているデータとデジタル道路地図を基盤として一元的に紐付けるデータプラットフォーム(xROAD)の構築を進めている。それを構成する「全国道路施設点検データベース」（以下「点検DB」という。）は、点検・診断結果を記録するものであり、プラットフォームを介して他のデータと紐付けられることで、道路の維持管理のための様々なアプリケーションの開発につながることを期待される。

国総研ではこれらのデータを用いて道路構造物の設計や維持管理の高度化を加速化させるための方法論や制度設計のための研究を、土研ではデータを取得するツールの試験法などの基礎研究やデジタル技術を生かしたアプリケーション開発などの応用研究を実施している。

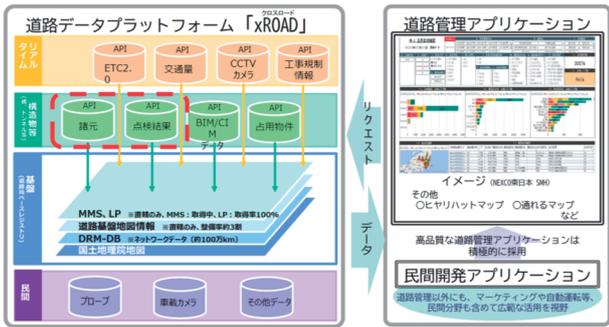
また、道路防災分野での取組みとしては、災害対応のDXに貢献する情報システムについて研究している。

3. 道路構造物のメンテナンスDXを支える研究開発

3.1 点検DBの構築とその活用

xROADの全体像は、図-1に示す通りであり、その一部を構成する点検DBの構築にあたっては、国総研も支援し、令和4年5月に運用が開始された。これにより、点検DBを運営している各機関にて所定の手続きをとれば、道路管理者以外にも橋梁、トンネル等の諸元や法定点検結果等にアクセスできるようになった。

特に、国土交通省が管理する道路橋等においては、法定の記録事項以外にも、橋の損傷の位置や種類、外観の損傷程度を記号化し、平成16年度から記録しており、これも上記のデータベースに



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

図-1 道路データプラットフォーム(xROAD)²⁾

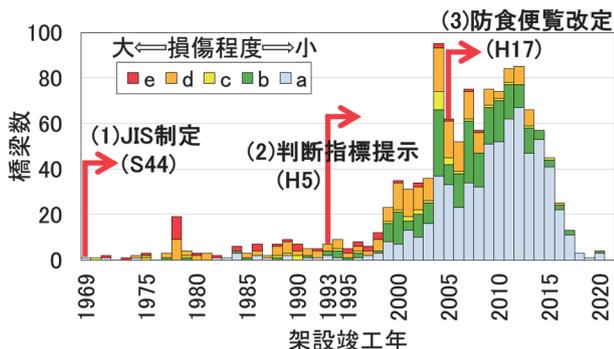


図-2 耐候性鋼橋の建設数と腐食程度の関係

収録されている。国総研においても、このビッグデータを用いて、設計基準や点検要領の改定案作成に役立てている。

これまででも、国総研では以下に事例を示すように既往の点検結果の蓄積を通じて、点検データを活用しやすい形に加工し、提供してきているところであるが、この様な分析を産学官問わず可能とすることを通じ、老朽化対策が加速していくことが期待される。

3.1.1 国の技術基準改定のための研究例

耐候性鋼材の適用条件に関する知見の蓄積と異常錆びの発生実態の関係について、架設竣工年ごとの橋梁数と損傷程度の内訳を集計したものを図-2に示す。耐候性鋼材は、その使用条件を適切に選ばないと、いわゆる異常錆が発生し、却って維持管理が難しくなることが知られている。平成5年には旧建設省土木研究所等を中心とした共同研究により、海岸からの距離に応じた適用性の区分が提案されており、平成5年(図中(2)以後)を境に、殆どの橋が損傷程度eやdに至っていない。また、平成17年には、基準類にて桁端部の塗装が推奨されたが、データ上も、これ以後(図中(3)以後)、損傷程度がdに至る橋の数が減っている。このことから、耐候性鋼材の現在の適用の考

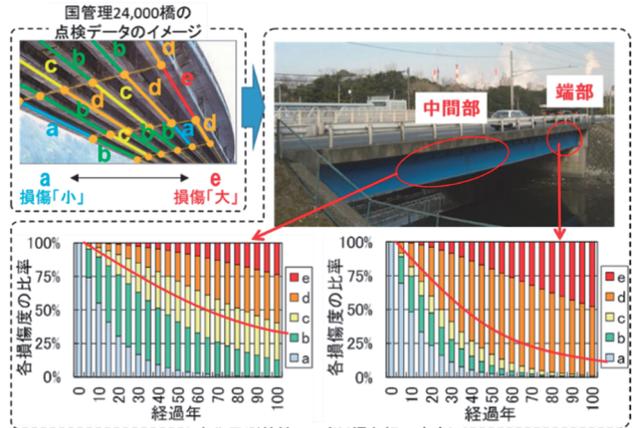


図-3 点検データに基づく劣化特性分析例



(<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428666.pdf>)

図-4 類似画像検索アプリ

え方が有効に機能していることがわかる。ただ、近年、個別に検討を行った上で適用範囲よりも海岸に近い架橋地点でも耐候性鋼が用いられる事例が増えており、データの動向を注視しているところである。

コンクリート部材のひび割れや塩害の状況についても、発生位置やパターンについて分析している^{3)・4)}。たとえば、平成29年7月の「橋、高架の道路等の技術基準(道路橋示方書)」の改定では、これらの分析結果から、箱桁について、鉛直方向及び水平方向両者の腹圧力に対する標準的な設計項目の充実が図られた⁵⁾。

3.1.2 道路管理者や産学での活用を期待した研究例

国が管理している橋では、一定の方法で橋の損傷の位置、種類、程度等を記号化して記録していることを活用すれば、橋の各部位における損傷程度の経時変化を追うこともできる。そこで、図-3に示すように、橋の損傷の発生時期や経時変化を集計し、状態遷移確率や劣化曲線に加工した結果を「定期点検データを用いた道路橋の劣化特性に関する分析(国総研資料No.985)」として提供している。

また、国総研と地方整備局等は、現在、図-4に

示すように、点検等で得た損傷写真に対して、既存のAI技術を用いて、過去の定期点検結果から類似の特徴を有する画像と関連する点検結果を検索するウェブアプリの試作を行い、修繕設計や定期点検での活用の有用性を検討している⁶⁾。この検討は、データやAI技術を活用した維持管理のあり方や制度設計の提案を目的としているものであり、国総研や地方整備局等がアプリケーションを開発することを目的としていない。維持管理のあり方やそれに応じた制度が構築されれば、使い勝手がよく、高度な処理機能を有するアプリケーションは産学で開発されると考えた検討である。

今後、全国の道路管理者が保有する様々なデータが活用出来るようになることを見越して、産学にて様々なアプリケーションの研究開発が進むことが期待される。国総研においても、自らデータの分析を行うのみならず、様々なアプリケーションの活用が図られるようなデータ記録・保存要領や維持管理の制度設計に関する研究を一層推進する予定である。

3.2 点検・診断を支援するアプリケーションの開発

3.2.1 橋梁診断支援AIシステムの開発

土研では、道路橋の予防保全に向けた取組みの一環として、信頼性の高い診断が行われるよう、熟練診断技術者の診断における知識や思考方法をもとに橋梁診断支援AIシステム（以下「診断AIシステム」という。）の開発を進めている⁷⁾。点検は変状等の事実を把握するものであるが、診断は点検等で取得した各種情報を組合せて総合的に判断するものである。本システムでは、橋に生じる損傷のメカニズム、点検、診断、措置に係る一連の情報を整理した上で、熟練技術者が診断する思考プロセスをフローチャート化している。その上で、図-5に示すように、点検で得た情報等を入力すればそのフローチャートに基づいて根拠とセットで措置方針を助言するエキスパートシステムとなっている。長寿命化のための措置が可能な段階の見極めの支援等にも活用が期待される。

本システムは、橋梁諸元等のデータをデータプラットフォームと連携させる等により予め入力した上で、システムを搭載したタブレットPCを現場に持って行き、現場で橋の変状を確認しながら入力する使い方を想定している。令和3年度までに橋種全体の9割に当たる橋の形式を対象として

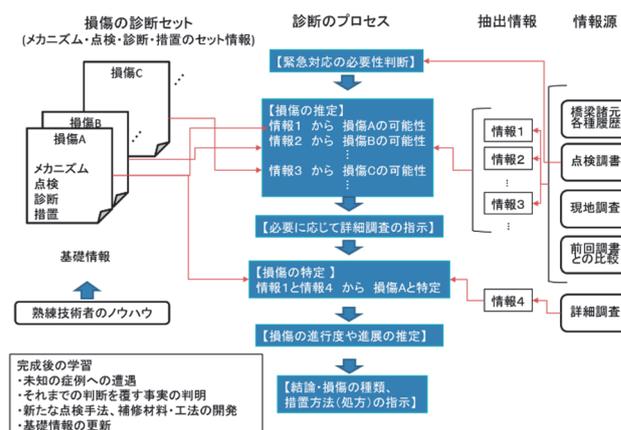


図-5 診断AIシステムにおける処理の流れの概要

診断AIシステム ver1.0 を構築したところである。令和4年～5年度にシステムの検証を繰り返して行い、診断の信頼性や使いやすさの改良を重ねるとともに、予防保全に資する新しい研究成果等も反映していく予定である。

3.2.2 RC床版の土砂化の予防保全に向けた滞水検知技術の開発

近年、RC床版の土砂化が顕在化し問題となっている。床版上面に生じる損傷である土砂化は、舗装下に入った水と輪荷重の影響などにより発生すると考えられており、土砂化の兆候である舗装下の滞水を検知することができれば、予防保全が可能と考えられる。

非破壊検査技術の一つである電磁波レーダ（写真-1）は、計測時の反射波の強度の違いにより滞水の有無を判断することが可能だが、1計測ごとに人の目で計測結果を確認する必要があり、多大な労力を要する。また、判断基準が定性的であり、判断する者により結果にばらつきが生じる可能性もある。土研では、このような課題への対応としてAIによる機械学習を用い、電磁波レーダの計測結果から床版上面の滞水を検知する手法について研究を行っている。

これまでに、既設橋梁の床版上面の電磁波レーダ計測結果と舗装開削後の床版上面の水分量の計測結果をもとに整備した教師データをAIに機械学習させ、電磁波レーダ計測で取得した波形データを入力することで、床版上面の滞水を推定し、写真-2に示すような視覚的に理解しやすい形で出力可能な滞水推定アプリケーションを構築した⁸⁾。

また、他の橋梁で整備した教師データを追加学習させることで、模型供試体を用いた検証の中でアプリケーションの推定精度の向上を確認してい



写真-1 車載式電磁波レーダ

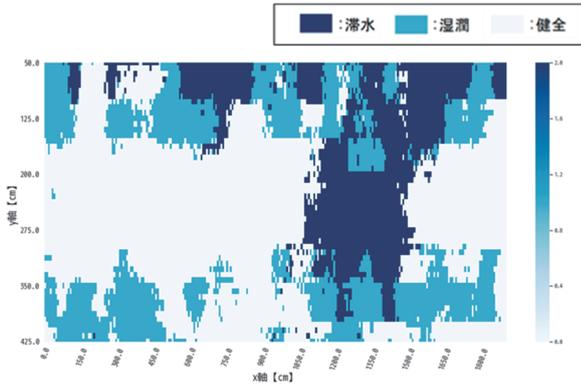


写真-2 滞水推定画面例



写真-3 無人航空機を使用した画像取得技術の例

る。今後も検知手法の試行を繰り返しながら課題を抽出し、更なる改善を図っていく予定である。

なお、本項で示した研究は、「官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)」の成果の一部である。

3.3 橋の点検支援技術に対する性能検証法の開発

3.3.1 無人航空機等による画像取得技術に対する要求性能と性能検証法

平成31年に改定された道路橋定期点検要領では、定期点検を行う者が自ら近接目視をして橋の状態を把握したときと同等以上の健全性の診断を行うことができると判断した場合には、状態把握の方法は近接目視によらないこともできるとされている。このような近接目視によらない点検方法を適用するにあたり、定期点検を行う知識と技能を有する者が、定期点検の目的を踏まえてその点検方法を用いる目的や必要な精度等に応じて適切な方法が選択できるように、国土交通省道路局では点検支援技術の情報を一元化して性能カタログとして公表している。この性能カタログでは、知識と技能を有する者が様々な点検支援技術を適切に相互比較し、目的に合致した技術の選定ができるよう、性能として表示される項目やその性能を評価する際に用いた試験方法や結果の表示方法が統一化されていることが重要である。

このような中、近接目視によらない点検支援技術の一つとして、写真-3に示すような無人航空機を活用した様々な画像取得技術が出現してきてい

る。一方で、鋼橋は多岐な部材が複雑に接合して構成された構造であり、部材間が狭隘な空間となっているという特性がある。また、例えばボルトの遅れ破壊の確認の際には、ボルトのたたき点検が必要となるように、状態を把握する上で画像だけではなく近接する必要がある場合もある。疲労亀裂や疲労亀裂の疑いのある塗膜割れについても、橋の様々な構造部位で生じ、かつ、その状態も様々である。そのため、鋼橋の近接目視を無人航空機の画像取得による手法に代替するためには、橋の構造条件や変状が生じている部位とその状態に応じて定期点検を行う知識と技能を有する者が適切な点検支援技術を選定できるよう、性能カタログの内容をより高度化させていく必要がある。

このような観点から、土研では、無人航空機による画像取得技術の活用結果の収集と分析を行い、性能として表示されるべき項目、その性能を評価する際の試験方法とその結果の表示方法について研究を行っている。土研では、これまでの研究活動を通じて得た知見を基に性能カタログの策定に関与してきているところであるが、これらの分析結果を踏まえながら、性能カタログの更なる高度化に取り組んでいく。

3.3.2 水中部の洗掘状態の調査技術に対する要求性能と性能検証法

近年発生している豪雨災害では、河川を渡河する橋の基礎周辺地盤の洗掘が生じ、その影響で長期間の通行止めが発生する事案が頻発している。基礎周辺地盤の洗掘が生じると、その下部構造自体が不安定となるだけでなく、下部構造の沈下や傾斜によって上部構造の部材にも損傷が波及し、機能回復に要する期間がさらに長期化する場合も生じる。したがって、豪雨による洗掘の影響によって橋の機能に影響が生じないようにするためには、洗掘に対する点検の際に、単に現状の洗掘の状況の確認だけではなく、次回の点検までの間に生じ得る出水等で洗掘が進行するような予兆が

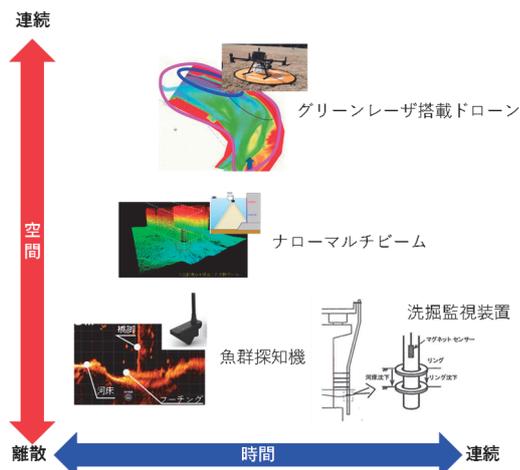


図-6 水中部の洗掘状態の把握のための点検支援技術の検証認められないかという視点も考慮して診断を行う必要がある⁹⁾。

ここで、橋の機能に影響を及ぼす洗掘の予兆が生じていないかを見極めるためには、現地状況確認に加え、河床高、周辺の護床工、滯筋等の状態変化のデータを計画的に得ることが重要である¹⁰⁾。例えば河床高であれば、対象橋梁毎の特徴に応じて時間的な連続性、空間的な連続性、あるいはそのいずれもが必要となる。このようなデータを効率的に取得するためには、新しい技術の活用や異分野で活用されている既存技術の応用等が期待される。図-6に示すように、例えばグリーンレーザーを搭載したドローンのような空間的に連続して広域の河床高を3次元計測することができる技術、洗掘監視装置のように高水時でも時間的に連続して特定の点の河床高を計測することができる技術等、点検支援技術の個々の強みを適材適所に組み合わせることによって、水中部の状態を把握することが重要である。このような観点から、土研では、水中部の基礎周辺地盤の状態把握に用いる点検支援技術の要求性能を明確にした上で、様々な橋梁及び河川の条件下での臨床試験を通じて、その使い方や性能検証方法を提示していく予定である。

4. 道路構造物に対する災害対応DXを支える研究開発

4.1 構造物被害の規模感の推定に関する取組み

大規模な地震が発生した場合、道路管理者はパトロールを実施して被災状況の把握に努めるが、被害が確認できるまでには情報空白期が生じる。このため、災害対応の初動体制を構築する上での

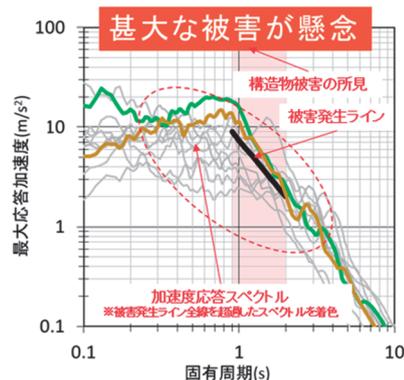


図-7 福島県沖地震のスペクトル分析情報

判断材料は各地の震度情報などに限られることになる。しかしながら、震度を算出する上で影響が大きい地震動の周期と、強い揺れにより土木構造物が影響を受ける固有周期は異なることから、震度と土木構造物の被害の程度は必ずしも一致しないことが指摘されている。そこで、情報空白期をカバーする情報として構造物被害の規模感を推定し自動配信するDXの取組を進めている。

ある地点で観測された地震動が様々な固有周期の構造物に作用した場合、それぞれの最大応答加速度がどうなるかを表すものに加速度応答スペクトルがある。国総研では、構造物被害と相関の高い固有周期の加速度応答スペクトルに着目し、被害が限定的となるか否かの閾値を表す被害発生ラインを提案している。地震が発生した際には、各地で観測された地震動の加速度応答スペクトルと、この被害発生ラインを直ちに比較することで構造物被害の規模感を推定し、スペクトル分析情報として自動配信するシステム開発を進めてきており、試行配信を行っている。

具体的には、(国研)防災科学技術研究所及び気象庁の地震計で取得した地震動の加速度応答スペクトルと、被害発生ラインの超過の有無等から、構造物被害の規模感として5段階の所見を付したものを自動で作成し、国土交通省の災害対応従事者のメールアドレスに対して地震発生後約8分で自動配信している。

図-7は、令和4年3月16日深夜に発生した最大震度6強の福島県沖地震の際に作成されたスペクトル分析情報の抜粋である。同地震では2つの観測点で被害発生ライン全線を超過する加速度応答スペクトルが観測され、甚大な被害が懸念されると推測した。上記観測点の周辺では路面段差や道路橋の損傷が実際に生じており、スペクトル分析

情報が被害の規模感を適切に捉えていたと言える。

今後は、自動配信の試行を継続しつつ、推定精度の向上にむけた研究や安定的な配信に向けたシステムの改修を行っていく予定である。

4.2 被災情報の集約・共有システムの検討

豪雪や豪雨等も含めた自然災害の発生時に、遠隔地の災害対策本部等に意思決定を仰いだり、遠隔地にしかいない専門家に道路管理者としての対応上の判断材料を仰いだりするためには、被災状況の映像を迅速かつわかりやすく共有する必要がある。そこで、被災箇所の映像を迅速かつわかりやすく共有できるよう、無人航空機を活用した被災情報の集約・共有システムの検討を行っている。

無人航空機を活用した調査は、有人地帯での補助者なしでの目視外飛行は原則認められていないことから、被災地まで赴き調査するのが現状であるが、現地と遠隔地との被災情報共有においては以下の課題がある。

- ①遠隔地の意志決定者等には、無人航空機の位置は分かるが撮影先の位置や撮影方向が不明。
- ②調査現地から遠隔地へのリアルタイム映像配信は通信環境により画像が粗くなる。
- ③搭載カメラのSDカード映像は鮮明だが、大容量のデータから重要画像を抽出し、マップに落とし込みするには時間を要する。

そのため、①の課題に対しては、無人航空機の飛行調査中に、撮影先の位置と関連付けた形の撮影動画を災害対策本部等の遠隔地に共有できる機能を、また、②③の課題に対しては、SDカードに格納された撮影動画データから、鮮明な重要画像を切り出し、撮影先の位置とあわせて地図上に整理できる機能を備えた、被災情報の集約・共有システムの試作を現在進めている(図-8)。道路の被災状況の迅速な共有に本システムが寄与することを期待している。

5. おわりに

令和4年はDXによる変革に果敢に取り組む「挑戦の年」であった。こうした中も、社会のデジタル化は日々急速に進んでいる。インフラ分野のDXの推進についても、社会のニーズや将来の展望を捉えつつ、従来の枠にとらわれることなく分野網羅的、組織横断的な取組みが求められている。令和5年は、挑戦のセカンドステージの年として、

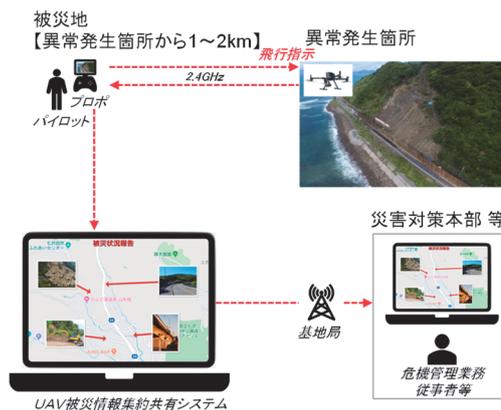


図-8 情報共有イメージ

インフラ分野のDXを支える研究開発に国総研、土研それぞれの役割を果たしていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：インフラ分野のDXアクションプラン、2022
- 2) 道路局記者発表：道路施設の詳細な点検データの公開開始、2022.7.12
- 3) 国総研、土研、(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)、国総研資料第1046号、2018
- 4) 玉越隆史、窪田光作、星野誠、横井芳輝、国総研資料第711号：コンクリート橋の塩害対策資料集(第3回塩害調査)―実態調査(近接目視)に基づくコンクリート橋の塩害対策の検討―、2012
- 5) 大島義信、玉越隆史、白戸真大：Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編の改定と関連する調査研究、土木技術資料、第60巻、第2号、P25、2018
- 6) 第3回新AI戦略検討会議：国土交通省説明資料、2021
- 7) 澤田守、江口康平、石田雅博：道路橋の予防保全に向けた総合診断と診断AIシステムの研究開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.8~11、2021
- 8) 藤木裕二、岩谷祐太、田中良樹、石田雅博：RC床版の土砂化の予防保全に向けた技術開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.20~23、2021
- 9) 七澤利明、宮原史、藤田智弘、猪股広典：近年の道路橋の洗掘被害をふまえた国総研・土研の取り組み、基礎工、6月、pp.21~26、2022
- 10) 猪股広典、藤田智弘：橋梁の洗掘被害に対する予防保全型メンテナンス方法の開発に向けて、橋梁と基礎、Vol.56、pp.101~104、2022

福田敬大



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造部研究部長
FUKUDA Yukihiro

星隈順一



土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ長、博士(工学)
Dr. HOSHIKUMA Jun-ichi