

道路インフラを中心とした革新的な点検・診断手法

橋本 勝文*1・塩谷 智基*2・宮川 豊章*3

インフラに維持管理サイクルを導入するには、関連機関との技術開発だけではない連携や共働、さらには土木分野以外の課題にも対応できる分野横断型のコンソーシアムが有効である。本文では、道路インフラを中心とした革新的な点検・診断手法に関する最新動向や研究成果について、プレストレストコンクリート構造物と関連させて報告する。

キーワード：点検，診断，分野横断型コンソーシアム

1. はじめに

わが国のインフラに関する基本的な課題は、人口減少社会における強靱化および維持管理であろう。そのような課題のもとで持続可能な社会を実現するためには、その根幹をなすインフラを安心して長く供用できるように維持管理することがまずは必須である。わが国で示された種々の社会資本整備に関する計画では、老朽化が進むインフラについて、安全で安心して活用できるようにすることと、そのライフサイクルコスト（以下、LCC）やライフサイクルCO₂（以下、LCCO₂）の縮減と平準化が求められている。その場合、適切なライフサイクルシナリオを策定し、これに基づいて点検・診断・対策というメンテナンスサイクルを確実に実施していくとともに、策定したシナリオの検証と修正を行う行為（ライフサイクルマネジメント）がきわめて重要である。

こうした維持管理の実現のためには、作ることと確かめることの2種類の技術が要求される（図-1）。新設構造物を造りこなす場面では、各施工段階で設計どおりの施工が行われたかどうかの出来形確認、さらに最終的には構造物全体の竣工検査が必要である。これに対し、既設構造物を使いこなす観点からは、点検、診断技術に加え、劣化や損傷に対しては、補修・補強などの対策技術が必要となる。いずれにしても、施工、補修・補強などの作る技術と、竣

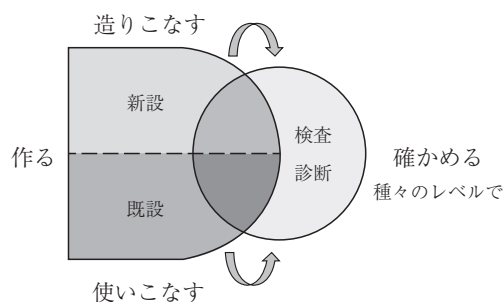


図-1 作ることと確かめること

工検査や点検、診断などの確かめる技術の、2本柱から成り立っている。従来は作る技術のみが脚光を浴びることが一般であったが、確かめることを怠ったために種々の失敗が生じたこともまたよく知られている。

確かめる内容には、材料の性質・寸法・ひび割れ・空隙など構造物の性能に関わるものと、地震動・載荷重・環境などの構造物への作用に関わるものがある。LCCやLCCO₂を算定するためには、構造物の寿命を設定できる限界状態¹⁾の定義が必要である。維持管理上は、部材あるいは構造物の性能を確認し、限界状態との関係を照査できる手法が必要となる。これらの確かめる作業を達成するためには幅広い種々の手法が必要であり、従来の土木技術の枠内にはおさまりにくい展開・開発が求められている



*1 Katsufumi HASHIMOTO

京都大学大学院
工学研究科



*2 Tomoki SHIOTANI

京都大学大学院
工学研究科



*3 Toyoaki MIYAGAWA

京都大学 学際融合教育
研究推進センター

のである。

本報告はこうした背景をふまえ、点検・診断に関わる分野横断型コンソーシアムの開設および今後の展開について紹介するとともに、コンクリート構造物、とくにプレストレストコンクリート(PC)構造物を中心とした革新的な点検・診断技術について報告する。

2. 分野横断型「京都大学インフラ先端技術コンソーシアム」

2.1 概要

代表的なインフラである土木構造物の調査、設計、施工、維持管理をアナログからデジタルを基盤とした仕組みに変革しようとする試み、“デジタルトランスフォーメーション(以下、DX)”が、①労働生産性向上、②高齢者の大量退職と若手人材不足の補完、③品質安定性への期待から注目されている²⁻⁴⁾。たとえば、材料や施工の品質、点検・診断や補修効果の定量評価(客観的数値(デジタル)化)は、土木構造物を安全で、安心して長期供用するうえで必要不可欠である。そのために構造物のさまざまな情報の獲得(センシング)・伝達(データトランスファー)・蓄積(クラウドストレージ)・処理(データサイエンス)、さらに、センシングのための駆動(エネルギーハーベスティング)など、旧来の土木分野の範疇を超えた、機械・電気・化学・情報などを加えた分野横断型の学問体系とそれを実施する組織が必要とされる。京都大学では、すでに平成26年から学際融合教育研究推進センターに「インフラシステムマネジメント研究拠点ユニット」を組織し、新たなインフラマネジメントの在り方を継続的に探求してきた。その成果として、土木構造物の最新情報の共有と、共通の課題を産官学で議論、解決する場がまず必要であるとの認識のもと、令和2年4月、工学研究科に「インフラ先端技術コンソーシアム」を設置した⁵⁾。本コンソーシアムは、企業等から構成される法人会員、非営利団体や学識経験者から構成される個人会員、さらに本コンソーシアムの主幹研究室となるインフラ先端技術産学共同講座(以下、ITILと略す)と共同研究を実施している連携研究機関から構成される(2020年9月現在、法人会員・連携会員46機関、個人会員63名、図-2)。コンソーシアムでは、隔月の全体会議に加え、会員の希望分野に基づき、橋梁、トンネル、ダム、

先端MSD(M材料、Sセンシング、Dデータ解析)分科会を組織し、毎月活発な活動を実施している。

2.2 分科会のテーマ

分科会のテーマは会員が抱える共通の課題に基づいて定められるが、発足時には以下に示す内容に関してコンクリート構造物を最初の対象に設定した。なお、コンソーシアムで取り扱う課題の対象は鋼構造物や新材料構造物にも発展させることを予定している。

- 1) 橋梁分科会：さまざまな要因や複合的な作用により橋梁構造物に発生する劣化現象、損傷状態を対象とした点検診断技術に関する情報を共有する。ここで、RC橋梁に加え特有の変状を呈するPC橋梁は分けて検討する。また、多種多様な計測手法(弾性波法、磁性法、電気化学法、電磁波法による接触式・非接触式計測やロボット・ドローン技術とセンサシステム)を駆使し、組み合わせることで、評価精度、作業効率等のあらゆる面において、効率的で効果的な技術開発を検討する。
- 2) トンネル分科会：覆工、坑門等に発生した変状(ひび割れ、浮き、剥離、剥落、変形、漏水など)や付帯設備(照明など)の異常に対して、近接目視や打音点検の支援ができる技術・システムの構築にむけた情報を共有する。トンネルの点検・診断方法の省力化や低コスト化を睨み、従来検査法を補充あるいは置換できる、非破壊試験や遠隔監視技術、さらに、熟練者に頼らない評価手法(データサイエンス活用)を検討する。
- 3) ダム分科会：ダムの長寿命化のための定期的な点検データに基づく健全度および安全性評価の最適化や、長期モニタリング技術や躯体内部の状態を把握するための非破壊検査技術について情報を共有する。点検・診断結果に基づき必要とされる性能回復のための対策方法や、軽微な劣化・損傷段階での予防保全に対応する補修・補強工の標準化や効果の定量化、かぎられた予算や人的資源のなかでの効率的なマネジメントについて検討する。
- 4) 先端MSD分科会：新設・既設構造物の過酷環境にも対応する土木構造部材、引いては構造物に適用可能な新材料に関わる情報を共有する。新材料に必要とされる長期信頼性確保のための先端センシング技術を検討する。また、表面と内部劣化が統合的に定量可視化できる革新的なセンシング技術の検討も行う。さらに、上記1)~3)の分科会で検討されるさまざまなビッグデータの効率的な分析を行うために、AIやスパースモデリングを利用した合理的処理方法を検討する。

2.3 コンソーシアムが目指すもの

土木構造物の特異性を鑑みれば、開発技術の実装には、いかに公共性を保持したうえで開発技術を導入していくか、あるいは、第三者が実施できる実施要領化や規格・標準化が重要となる。コンソーシアムでは、土木構造物の先端技術に関わる最新情報の共有と、会員共通の課題の議論、解決を主活動とするが、同時に、ITILにて実施する共同研究成果の一般化に向けての課題抽出や、共同研究機関への種々の提言などフィードバック機能を担う。具体的には、

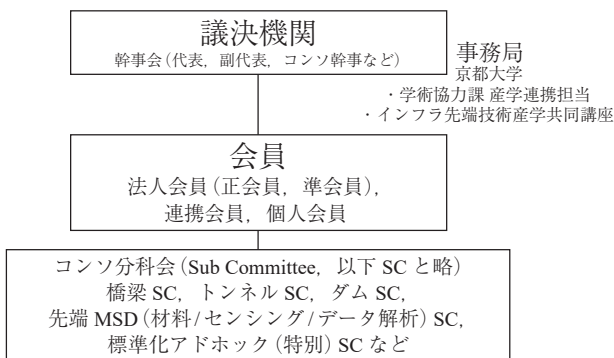


図-2 コンソーシアムの構成

図 - 3 に示すように、得られた課題解決の場となるコンソーシアムから ITIL へ新規共同研究の提案や共同研究成果の事業化参入、さらに、賛同する会員を集めた技術 / 工法協会などの設立も視野に入れている。併せて、会員技術のオーソライゼーション、規格化、標準化も積極的に行えるよう特別（アドホック）に標準化分科会が立ち上がる仕組みも構築している。たとえば、弾性波で RC 床版の健全性を評価しようとする規格（NDIS2434）やコンクリート構造物のアコースティック・エミッション（以下、AE）試験に関する 3 つの ISO（16836、16837 および 16838）の制定には ITIL が深く関与してきた。この経験に基づく仕組みをコンソーシアムにも展開する予定である。

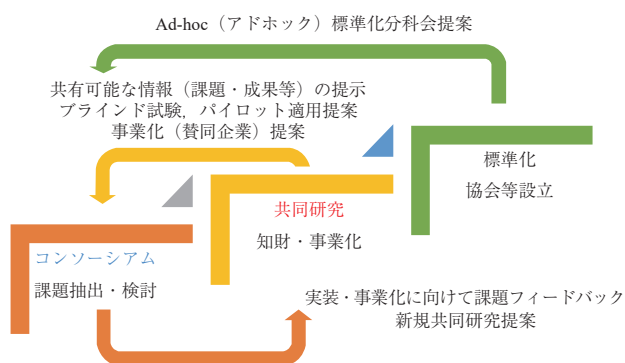


図 - 3 コンソーシアムと共同研究の正のスパイラル

3. 革新的な点検・診断手法に関する最新動向

3.1 点検・診断技術の効率化

わが国の「インフラ長寿命化計画」においては、維持管理に関わる技術の基盤強化を図り、安全で強靱なインフラを維持・確保するためのシステムを構築するために、2030 年までの一つの目標として、重要インフラ・老朽インフラのすべてでセンサー、ロボット、非破壊検査技術等を活用した高度で効率的な点検・補修を実施することとされている。また、インフラ・物流分野等における DX を通じた抜本的な生産性の向上に向けた取組みとして、とくに、点検支援技術（ドローン等）の活用、モニタリングデータや AI 技術等を活用した点検のデジタル化について積極的な推進が提言されている。加えて、国土交通省が策定した「国土交通データプラットフォーム整備計画」や阪神高速道路が導入する「サイバーインフラマネジメントシステム」⁶⁾では、フィジカル（現実）空間の事象をサイバー（仮想）空間に再現するデジタルツイン技術⁷⁾により、構造物の老朽化や災害による被害状況、交通影響をシミュレーションすることで、業務の効率化や補修・補強や更新の判断、交通計画まで幅広く維持管理業務を最適化することが可能になると考えられている。

3.2 非破壊検査によるインフラ劣化診断および調査システムの開発事例

コンクリートの内部に発生する外観目視できないひび割れ進展に関する情報について、従来技術と比較して効率良く取得し、可視化する技術の開発が推し進められている。雨滴により得られる AE 源位置標定を用いた橋梁 RC 床版

の損傷評価結果⁸⁾を図 - 4 に示す。健全な場合に一樣に得られる AE 源が損傷領域を含む場合に位置標定の空白領域として得られることを利用して、水平ひび割れの発生領域を推定する手法を用いたものである。また、コンクリートの品質指標となることの多い弾性波伝搬速度⁹⁾の三次元分布とドローンで空撮した三次元点群データによる空間情報とを統合することで、図 - 5 に示すようにコンクリート構造物内部の劣化状態を定量・可視化することができる。このように、構造物の三次元座標とコンクリートの物性値に関するデジタル情報の融合が可能となっており、デジタルツイン技術への活用が期待されている。さらに、サイバー空間とフィジカル空間の繋がりにおいて、ウェアラブル端末と拡張現実（AR）を活用したシステムは、点検業務の効率化だけでなく、実際の点検業務と同じ手法・手順を模擬体験できることで人材育成の場においても同システムの利用が加速するものと考えられる。

コンクリート構造物の代表的な劣化機構である塩害を対象とした場合の効率的・効果的な点検・診断技術には、コンクリート表面の塩化物イオン量やコンクリート中の鉄筋の腐食挙動を簡便かつ的確に推定することが強く要求されている¹⁾。これに対し、高度な材料評価機能をもつハンディタイプの分析装置の開発および低価格化とともに、原位調査において原子・分子スケールの分解能を有する携帯

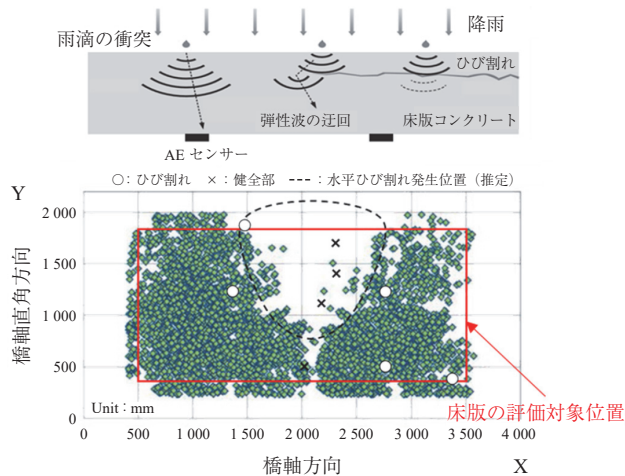


図 - 4 雨滴による RC 床版の損傷評価

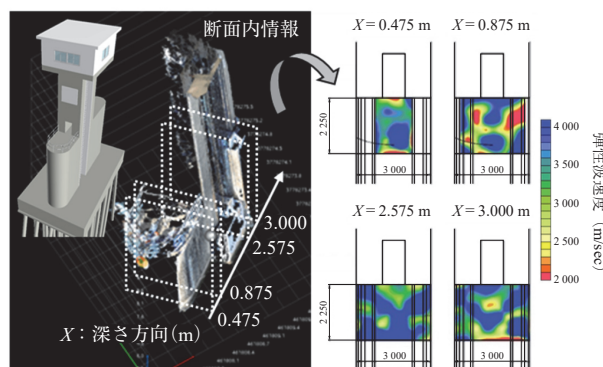


図 - 5 構造物の 3 次元点群データと弾性波速度分布による損傷位置情報の可視化

性に優れた分析装置の適用範囲の拡大が進んでいる。たとえば、近赤外領域の分光スペクトルから表面塩分量を推定するシステムにより、簡易に広範囲のコンクリート表面塩分量のマッピングを行う技術が現場適用されている¹⁰⁾。また、ポータブルラマン分光分析装置を用いた原位置計測による腐食生成物の分析により、鉄筋腐食環境あるいは速度を簡便かつ高い精度で推定できる手法も開発されている¹¹⁾。加えて、鉄筋の腐食状態を推定できる非破壊検査のひとつである自然電位法に関しても、一般的な電気化学的計測法とは異なり、コンクリート表面と非接触で電位計測を行い迅速に鉄筋腐食状況を取得する装置が提案されている¹²⁾。

3.3 PC 構造物を対象とした非破壊検査技術の現状

PC 構造物特有の劣化を対象に、すでに弾性波や磁性を利用した方法が種々用いられている。ここでは、一般的な PC グラウトの充填調査方法や PC 鋼材調査方法を表 - 1 および表 - 2 に示す。弾性波法には PC 鋼材軸方向に弾性波を伝搬させる衝撃弾性波法や PC 鋼材の垂直方向に弾性波を伝搬させるインパクトエコー法がある。インパクトエコー法には、受信信号の卓越周波数のみではなく周波数スペクトルの振幅を用いて断面内の弾性波の反射位置を画像化する手法 (SIBIE 法) があり、現在では同手法における弾性波の伝搬情報を三次元空間へ拡張して内部を可視化する手法が提案されている¹³⁾。また、パルス電流発生装置による磁場の形成により鋼材に電磁力を生じさせることで、シースや鋼棒に振動が発生することを利用したグラウト未充填部の非破壊評価手法の開発も進められている¹⁴⁾。さらに、PC 構造物のみへの適用にはかぎらないが、高速かつ遠隔からの弾性波励起を可能とする手法として、コンクリート表面へのレーザー照射法が注目されている (図 - 6)¹⁵⁾。レーザー照射により励起される弾性波は百数十 kHz までの幅広い周波数帯域を有しており¹⁶⁾、周波数特性に着目した弾性波の伝搬挙動を評価することにより、劣化進展に応じた非破壊検査方法¹⁷⁾として有用な励起手法

となると考えられている。PC 鋼材の破断検知にはすでに漏洩磁束法が開発されているが、破断後に生じるグラウト材と PC 鋼材との再定着で生じる AE を用いた鋼材破断監視システムも提案されている (図 - 7)¹⁸⁾。このシステムの特徴は、鋼材破断をシステム起動のトリガーとする、事象駆動 (イベントドリブン) 型モニタリングシステムであり、一次電池のみで 10 年間動作可能となるほか、鋼材破断時刻に加えて破断箇所も特定することができる。

PC 構造物においては、腐食に伴う PC 鋼材の破断に加えて、クリープや乾燥収縮およびそれに起因するプレストレスの減少による設計値以上のたわみが発生することもある

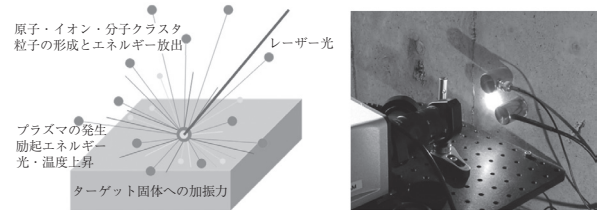


図 - 6 レーザーアブレーションメカニズムと実構造物へのパルス照射の様子

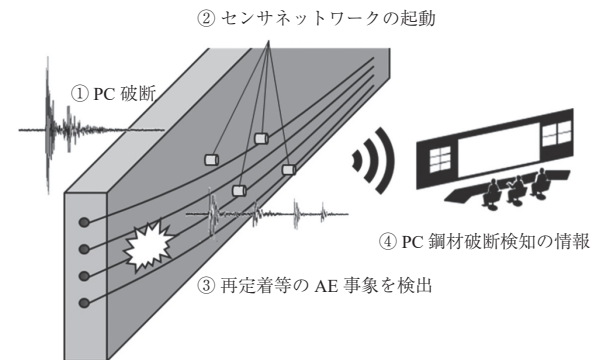


図 - 7 PC 破断検知を目的とした無線監視システム

表 - 1 PC グラウト充填調査方法の一覧

調査方法の種別	非破壊検査の名称	非破壊検査の概要
弾性波	広帯域超音波法	PC 鋼材直近のコンクリート表面から超音波を入力し、シースからの反射波の変動を解析する。
	衝撃弾性波法	PC 鋼材端部 (定着部) から弾性波を入力し、反対側の端部 (定着部) で受信した弾性波の特性を解析する。
	インパクトエコー法 SIBIE 法	PC 鋼材側面のコンクリート表面から弾性波を入力し、反射波の周波数特性を解析する。
放射線	X 線透過法	PC 鋼材側面から放射した X 線の透過画像を得る。
目視	削孔法 (ファイバースコープ法)	小径削孔内にファイバースコープを挿入・観察する。

表 - 2 PC 鋼材調査方法の一覧

調査項目	非破壊検査の名称	非破壊検査の概要
鋼材の腐食状態	電気化学法	自然電位や分極抵抗等の電気化学的な情報を得る。
	削孔法 (ファイバースコープ法)	小径削孔内にファイバースコープを挿入・観察する。
鋼材の張力	磁歪法	作用応力の変化に伴う磁気特性の変化を検知する。
	振動法	鋼材加振時の共振周波数を解析する。
鋼材の破断	衝撃弾性波法	弾性波の伝搬速度と鋼材の長さを算出する。
	漏洩磁束法	鋼材の着磁により漏洩磁束分布を測定する。

るため、現有作用応力を精確に把握することが求められる。そのために、光学的全視野応力・ひずみ計測法の一つであるデジタル画像相関法と応力開放法を組み合わせたインフラ構造物の調査が行われている¹⁹⁾。また、スリット応力開放法やコア切込み法はPC構造物のほか、コンクリート構造物全般に適用可能であり、安全性の確認、定期的な維持管理および補修・補強設計の基礎データを得ることを目的とした場合には非常に有用であるとされている。

3.4 今後の非破壊検査・インフラモニタリング技術の課題と発展への期待

点検時の構造物の状態を適確に把握し、その将来傾向を予測するためには、ロボット・ドローン技術の応用、先進的なセンサシステムの開発は必要不可欠であり、土木と他分野との積極的な連携や共働が求められている。

ロボット・ドローンの開発においては、吸着型や飛行型に加えて懸垂型やアーム型等の研究・開発も行われており、打音点検装置や画像撮影装置を搭載することで非破壊検査技術、センシング技術を具備した点検用ロボット・ドローンの開発が進んでいる。また、水中点検や災害調査では、移動型や飛行型、水上航行型等による人間の立入りが困難な箇所へ展開できるロボット・ドローン技術が実用段階へ向けて研究開発されている。

センサシステムの開発においては、日本が世界をリードするMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を応用し、1 Hz ~ 1 MHz の超広帯域で高い感度を有する「スーパーアコースティック (以下, SA) センサー」²⁰⁾ が開発されている。SA センサーにより、高周波の振動を伴う微細ひび割れの発生から低周波の振動を伴う終局時の破壊近傍に至るまでの劣化の進展を一つのセンサーで捉えることが可能となる。さらに、センサシステムでは課題となる気象条件や構造条件に左右されない常時モニタリングへの電源供給源にもMEMS技術が活用できる。たとえば、構造物の固有振動等の環境振動を用いた振動発電デバイス²¹⁾ や朝晩に大きく変化する環境温度を用いた常温発電デバイス²²⁾ に期待が寄せられている。これらのMEMS技術による環境発電・自己動作の条件を満たす高効率環境発電技術を道路インフラの劣化センサーに応用する試みもなされている²³⁾。IoT技術が普及するなかで、多様かつ多数のセンサー駆動に必要なエネルギー供給の問題を解決することで、離散計測 (定期点検) から連続計測 (常時モニタリング) への移行が可能なセンサシステムが提案されるものと考えられる。

2024年には橋梁やトンネル等の道路施設の定期点検は3巡目を迎える。コンクリートおよびPC構造物に加えて、鋼構造物、FRP構造物なども含めた社会基盤設備全体の構成要素を対象とした維持管理技術の一層の進化が求められている。上記に紹介した分野を横断した一連の技術が融合することで、初めて材料、構造、時間を越えて連続的 (シームレス) にインフラの状態をモニタリングすることが可能となる。目的に応じたシステム開発の成果を実適用するため、「京都大学インフラ先端技術コンソーシアム」が非破壊検査技術・インフラモニタリング技術開発のCOEと

なって期待に応えたいと考えている。

4. おわりに

点検・診断に関わる技術にはまだまだ発展途上のものが多く、開発現場は活気に満ちている。とくに、予防保全を見据えた合理的なメンテナンスサイクルを実現するためには、従来の技術のみでは不十分な場合が多く、ここに紹介した種々の最新技術の統合的な応用が必要となる。

コンクリート構造物、とくにプレストレストコンクリート構造物は“丈夫で、美しく、長持ち”することが求められている²⁴⁾。しかし、すべての構造物が同じ機能を求められてはいないように、すべての構造物に同様・同等の性能が要求されるわけではない。対象となる個々の構造物にふさわしい生涯シナリオをデザインすることによって、要求される性能が明確となり、必要とされる点検診断技術の種類および水準を定めることができる。そのような適切な点検診断技術を用いることによって初めて、丈夫で美しく長持ちするコンクリート構造物、さらには市民社会を実現することができると考えている。

参考文献

- 1) たとえば, *fib Bulletin, Birth Certificate and Through-Life Management Documentation, Technical report, No.59, 2020.*
- 2) 「デジタル化で現場カイゼン, 建築・土木現場の未来を拓くDX」, 日経XTECH Special, <https://special.nikkeibp.co.jp/atclh/NXT/19/microsoft0306/p2/>, 2020.
- 3) 国土交通省: インフラ分野におけるDXの推進について (資料2), 第1回国土交通省インフラ分野のDX推進本部, https://www.mlit.go.jp/tec/content/200729_02.pdf, 2020.
- 4) 国土交通省: インフラ分野のDXに向けた取組紹介 (資料3), 第1回国土交通省インフラ分野のDX推進本部, https://www.mlit.go.jp/tec/content/200729_03-2.pdf, 2020.
- 5) インフラ先端技術コンソーシアム, <https://citi.kuciv.kyoto-u.ac.jp>, 2020.
- 6) 「阪神高速サイバーインフラマネジメントシステム」, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=nVUCiJVkXI>, 2020.
- 7) C. Boje, A. Guerriero, S. Kubick, Y. Rezgui: Towards a semantic Construction Digital Twin, Directions for future research, Automation in Construction, Vol.114, No.103179, 2020.
- 8) 橋本勝文, 塩谷智基, 奥出信博, 渡部一雄, 高峯英文: 降雨によりランダム励起された弾性波の伝播特性およびトモグラフィ解析によるひび割れ検出, 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.18, No.41, pp.231-236, 2018.
- 9) たとえば, ASTM C597-16, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, 2016.
- 10) 中島良光, 白根勇二, 末永怜士, 半谷一晴, 先村律雄: 近赤外線分光分析を用いたコンクリート表面塩化物イオン量の調査システムの開発とRC構造物の維持管理への適用, 前田技術研究所報, Vol.57, 2016.
- 11) 川上圭司, 高谷 哲, 羽村洋平, 山本貴士: 腐食生成物の分析に基づくコンクリート中鉄筋の腐食環境評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1107-1112, 2016.
- 12) L. P. Emmenegger and A. A. Sagüés: Kelvin Probe Array for Rapid Survey of Reinforced Concrete Corrosion, ACI Material Journal, No.117-M37, pp.135-144, 2020.
- 13) K. Hashimoto, T. Shiotani, M. Ohtsu: Application of Impact-Echo Method to 3D SIBIE Procedure for Damage Detection in Concrete, Applied Sciences, Vol.10, No.8, 2729; doi:10.3390/app10082729,

- 2020.
- 14) 服部晋一, 木部大紀, 寺澤広基, 鎌田敏郎: 電磁的入力方法により励起されるシースおよび鋼棒の電磁場応答を用いたPCグラウト充填評価手法に関する基礎的検討, プレストレストコンクリート, Vol.61, No.6, pp.83-91, 2019.
 - 15) 長谷川 登, 錦野将元, 三上勝大, 北村俊幸, 岡田 大, 近藤修司, 倉橋慎理, 島田義則, 河内哲哉: レーザーによるコンクリート欠陥の遠隔・高速検出技術の開発, 日本原子力学会春の年会, 3H_PL03, 2018
 - 16) 橋本勝文, 塩谷智基: AE センサを用いたレーザー励起弾性波のコンクリート中の伝搬評価, 超音波テクノ, Vol.32, No.3, pp.29-32, 2020.
 - 17) Florida DOT Guidelines, Improved Inspection Techniques for Steel Prestressing/Post-tensioning Strand, Contract No. BDK80 977-13, 2012.
 - 18) K. Watabe, H. Takamine, Y. Ueda, K. Hashimoto, N. Okude and T. Shiotani: AE measurement of PC cable breakage using a full-scale PC beam, Proceedings of 24th International Acoustic Emission Symposium, pp.157-167, 2018.
 - 19) 松田 浩, 伊藤幸広, 木本啓介: 光学的手法を用いたインフラ構造物の調査 軍艦島と橋梁点検への適用, セメント・コンクリート, No.836, pp.8-15, 2016.
 - 20) 下山 勲: 道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発の概要, 電気学会誌, Vol.140, No.3, pp.142-143, 2020.
 - 21) 三屋裕幸, 小野新平, 三輪一元, 年吉 洋, 藤田博之: ゲル化イオン液体によるエナジーハーベスタ応用, 電気学会論文誌E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol.136, No.6, pp.274-275, 2016.
 - 22) T. T. K. Tuoi, N. V. Toan, T. Ono, Theoretical and experimental investigation of a thermoelectric generator (TEG) integrated with a phase change material (PCM) for harvesting energy from ambient temperature changes, Vol.6, pp.2022-2029, 2020.
 - 23) H. Koga, H. Mitsuya, H. Honma, H. Fujita, H. Toshiyoshi, and G. Hashiguchi: Development of a Cantilever-Type Electrostatic Energy Harvester and Its Charging Characteristics on a Highway Viaduct, Micromachines, Vol.8, No.10, 293; doi: 10.3390/mi8100293, 2017.
 - 24) 宮川豊章: 次世代に残すべき土木コンクリート構造物と残す方法, コンクリート工学, Vol.58, No.5, pp.328-333, 2020.

【2020年9月18日受付】



刊行物案内

既設ポストテンション橋のPC鋼材調査 および補修・補強指針

平成28年9月

本工学会「既設ポストテンション橋のPCグラウト問題対応委員会」において、ポストテンション方式の既設PC橋の実態把握（健全性・損傷事例の把握や規準等の整理）、PCグラウトの充填性調査手法の把握、PC鋼材の健全性調査手法の把握、ポストテンション橋の健全性診断の方法検討、PCグラウト充填不足・PC鋼材損傷の補修・補強の提案等の検討が行われ、その成果を指針としてまとめたものです。

定 価 4,888 円 (税込) / 送料 300 円

会員特価 4,000 円 (税込) / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会