

解 説

九州・山口地域における橋梁長寿命化への取組み — 道守養成講座と橋梁点検への ICT の利活用 —

松田 浩*1・伊藤 幸広*2・木本 啓介*3・山口 浩平*4

今後 20 年後には、老朽橋は 4 倍増、技術者は 2 割減、維持費用は 6 割増と予測されるなか、安全性を確保し、技術者の需給 GAP を減じ、コストを抑制するためには、橋梁長寿命化のイノベーションが不可欠で、その手段として①地域住民の協力と②ICTの利活用しかない。長崎大学では、地域住民の協力として、2008 年度から全国に先駆けて自治体および建設業界からなる産学官連携コンソーシアムにより、道路の維持管理を担う社会人技術者を育成する道守養成講座を開催している。また、ICTの利活用の取組みとして、橋梁維持管理のためのさまざまな光学的計測法を開発し、実用に資するために、SIP インフラ開発技術などとともに地域実装するための現場フィールド実験を実施してきた。ここでは、これらの取組み事例および九州・山口地方での KABSE（九州橋梁・構造工学研究会）における橋梁長寿命化への取組み事例について紹介する。

キーワード：道守養成講座、ICT、光計測、SIP、KABSE、社会実装

1. はじめに

国立大学法人化後の 2006 年に、長崎大学工学部では重点研究センター構想の下、インフラ長寿命化の研究に特化することを決定し、インフラ長寿命化センター（以下、インフラ C）が設立された。当時老朽化インフラの重大事故が多発しており、老朽化を加速させる要因として、効果的な検査法がない、知識・経験を有する維持管理技術者不足、地方自治体の予算不足があげられていた。そのうえ、長崎県は離島が多く、文化・産業遺構の保全、さらには自然災害にも対応していく必要がある。そのようななか、インフラ維持管理技術の研究開発と人材育成を進め、インフラ C が次世代インフラ整備の先駆けとなることをミッションとした。

本稿では、長崎大学におけるインフラ長寿命化の取組みについて、まず、「地域住民の協力」に関して、2008 年度から全国に先駆けて自治体および建設業界からなる産学官連携コンソーシアムにより、道路の維持管理を担う社会人技術者を育成する道守養成講座の内容を紹介する。次に、「ICTの利活用」に関して、橋梁維持管理のためのさまざまな光学的計測法を開発するとともに、実用に資するため

に、現場フィールド実験を実施してきた内容について説明する。さらに、SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（以下、SIP インフラ）の地域実装支援チームとして、SIP 開発技術等の九州・山口地域における地域実装事例として、九州橋梁・構造工学研究会（以下、KABSE）での活動内容を紹介する。

2. 長崎大学の道守養成講座

2.1 長崎大学発人材養成講座「道守養成講座」

長崎大学の道守養成講座は、2008 年度から 2012 年度まで文部科学省「科学技術戦略推進費」の支援を得て開始された。長崎大学は長崎県と連携して、県内の自治体、建設業界、地域住民を対象とし、「まちおこし」の基盤となる道路インフラの維持管理や再生・長寿命化に関わる各種技術レベルを有する道守認定者の養成に着手した。インフラ C が母体となって、学習ユニット積み上げ方式教育プログラム「道守養成講座教育カリキュラム」を確立してきた。

2013 年度からは文部科学省「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進事業」の支援を得て、全国展開可能なコアカリキュラム、地域特性を踏まえたローカルカリキュラムの整理、および地域ニーズを踏まえた議論



*1 Hiroshi MATSUDA

長崎大学大学院
工学研究科 教授



*2 Yukihiko ITO

佐賀大学大学院
理工学研究科 教授



*3 Keisuke KIMOTO

(株)計測リサーチコンサル
タント 課長



*4 Kohei YAMAGUCHI

長崎大学大学院
工学研究科 准教授

などが進み、オーダーメイドプログラムの整備や養成講座内容の質の向上を図り、現在も長崎県や上田記念財団などの補助により継続中である。

2.2 国のニーズへの対応

国土交通省は、2012年12月の笹子トンネル天井板の崩落事故を受けて、2013年度を「社会資本メンテナンス元年」と位置付け、同年5月に「インフラ長寿命化計画」を策定した。メンテナンスサイクルの構築に向けて、資格制度の充実、高度な技術力を有する技術者の活用を掲げ、2015年度に点検・診断業務のさらなる質の確保と技術者の育成を図ることを目的として、既存の民間資格を申請に基づいて評価・登録することとした。

長崎大学の道守養成講座のうち、道守補がコンクリート橋、鋼橋およびトンネルの点検の担当技術者、特定道守が点検に加えて、専門のコンクリート橋もしくは鋼橋の診断の担当技術者として登録された。道守認定者の活動はこれまでインフラの点検・診断のボランティアであったのが、実務に必要なキャリアに認定され専門の技術者として必要とされる存在となった。これにより、道守養成講座への長崎県内外からの期待が高まり、認定者数の増加、県外での養成講座の開催および今後の継続的実施が求められている。

2.3 道守養成講座のカリキュラム

長崎大学の道守養成講座の教育プログラムは、図-1に示すように学習ユニット積み上げ方式で、技術者に対しては道守補コース、特定道守コースおよび道守コースの3ステップから構成される。各コースの到達目標は図-1に併記するようにまとめられる。道守補コースから道守コースまでを1回で受けると25日間(133時間)を要する。技術者が少ない長崎県下の建設業が受けやすいように、分割して道守補コースから順次受講可能な形態としている。以下に、道守補と特定道守コースの内容を示す。

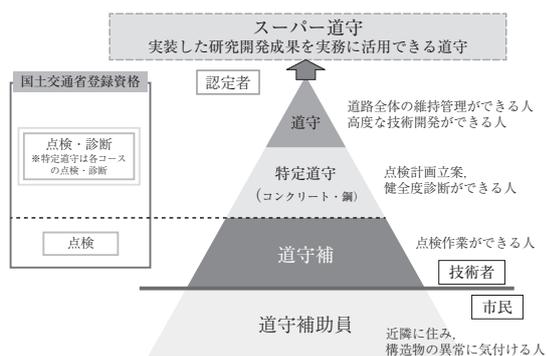


図-1 道守養成講座のコースと内容¹⁾

(1) 道守補コース

本コースは道路インフラ施設（コンクリート橋、鋼橋、トンネル、道路斜面）の点検作業・記録ができる人材の養成を行う。研修期間は8日間(37時間)とし、カリキュラムは講義、点検演習および点検実習で構成される。講義科目は主に点検対象の構造物の構造、材料特性、劣化現象、点検の着目点・検査技術などから構成される。演習は実務で使用されている非破壊試験器や最新の各種点検機器を用

いた供試体や撤去橋梁部材の点検である(写真-1)。実習は、現場実習で補修予定のあるコンクリート橋、鋼橋、トンネルおよび道路斜面を長崎県などの自治体から提供を受け、実際の構造物に対して点検、点検シートの作成を行う(写真-2)。コースの半分は演習と実習で構成されるように、実務でのキャリアアップを目指しており、受講者から高い評価を得ている。とくに、最新の点検機器を用いたコンクリート構造と鋼構造の点検演習には、講義内容を確認、体験するうえで大変役立つとする評価をもらっている。



写真-1 コンクリート点検



写真-2 橋梁点検実習¹⁾

(2) 特定道守コース

本コースはコンクリート構造および鋼構造の2つの専門を設定し、道路インフラ施設の診断ができる人材の養成を行う。研修期間は2つの専門を同時受講する場合に14日間(76時間)とし、カリキュラムは講義・演習・実験で構成され、斜面・トンネル・舗装の維持管理、計測モニタリングなどの共通科目および各専門コースの材料、施工、調査・診断・評価、補修・補強、施工・架設、材料実験、プロジェクト演習などを実施する。プロジェクト演習は講義などで得た知識を活用して実践力を身につけるために開講され、長崎県や市から提供を受けたコンクリート橋や鋼橋を対象に、調査・計画、原因推定、補修・補強について、受講生が主体となって大学職員、県職員、現場関係者、実務経験者などと討議を実施する。

2.4 道守認定者の活動

(1) 県内インフラ構造物の異常通報体制

道守養成ユニットでは県内の全道路管理者(国、県、市町)と道路異常通報体制を構築し、道守認定者による道路の異常通報を2010年度より実施している。このシステムの開始当初、道守シートは紙媒体であったが、2013年度から道守シートの通報の効率化・簡易化を目的としてインターネット上で一連のやり取りを行う「道守通報システム」に改善した。通報件数は最近では年間120件程度である。

(2) 三者合同点検などへの参加

長崎県が県職員および県職員OBで実施していた通常点検(直営点検)に、2012年度から道守認定者が加わった三者合同点検が実施されるようになった。点検の内容は道路橋点検と道路防災(道路斜面)・トンネル点検である。点検に先立って毎年、三者が参加する事前研修会が2日間にわたって道路点検と道路防災・トンネルについて開催され、点検作業の手順や作業内容、点検着目点、点検結果の記載方法、現地での実習を行う。さらに、2014年度から長崎県重点維持管理橋梁(特殊橋梁など30橋)点検に特定道守以上が参加している。

(3) 道守養成講座などにおける講師としての参加

道守認定者は、インフラCが実施する「道守補助員コース」の講師および実習、道守補、道守補コースの演習、工業高校生向けの「インフラ長寿命化体験実習」の演習および実習、「長崎市土木技術職員研修」の演習の講師を担当している。とくに「インフラ長寿命化体験実習」については、道守認定者が主体になって県内3工業高校周辺の橋梁点検実習と道守シート記載法の講師を担当している。また、道守補コースの演習講師の担当も始まり、道守認定者が次の道守を養成する技術の伝承の好循環も生まれている。

(4) 講演会・実習、現場見学会への参加

道守認定者に自己研鑽をしてもらうために、インフラCは維持管理に関する講演会・実習などを開催している。また、毎年2月頃に開催する道守養成講座の成果報告会に、維持管理に関する特別講演をプログラムに入れている。事前に成果報告会の出席者を把握して、希望者にはCPD(CPDS)を発行している。

道守認定者から橋梁建設工事の現場見学会の開催の要望があり、2017年度から現場見学会を毎年開催している。写真-3は長崎自動車道「日見夢大橋」の波形鋼板ウェブを用いたエクストラード橋の見学会時のものである。

(5) 技術者としての活動

道守認定者が民間資格に登録したことを受けて、長崎県建設産業団体連合会が設置した産官学連携建設業人材確保育成協議会(2015年1月)にワーキンググループ「道守活用検討部会」が設置された。事業計画としては産官学が連携して公共インフラ維持管理人材の育成・資格の活用および技術導入・普及を検討する(表-1)。ここでは、活



写真-3 長崎自動車道「日見夢大橋」見学会

用効果として、道守認定者が大学発の最先端の点検・診断技術を用いて維持管理の業務や工事にあたれば、品質の確保やコストの縮減、地域の建設業の競争力向上、雇用の確保などに繋がる事が期待されている。

3. 光学的計測法による維持管理技術

光学的全視野計測法を用いたインフラ構造物の変位、ひずみ、応力、振動計測装置を開発し、建設工学分野への適用性を検討するために実験室での実証試験を実施するとともに、開発した光学的計測技術を用いて現場実証試験も実施してきた²⁻⁴⁾。ここでは、コンクリート構造物を対象として開発された新技術の社会実装事例について紹介する⁵⁾。

3.1 UAVによる鷹島肥前大橋主塔の近接撮影^{6,7)}

鷹島肥前大橋のコンクリート主塔を対象にUAV-SfMの適用性検証や既存の点検結果との比較および課題抽出などを目的として実証試験を行った。試験はマニュアル飛行で画像転送によりリアルタイムに画像を確認し、フライト位置を微調整した。また、生成したTIN(不規則三角網)にスケールを与えるため、3Dレーザ計測を実施し、任意点の座標値を標定点として利用した。

図-2に内業を含めた作業の手順を示す。

主塔の海側面の撮影に4フライト(1フライト約12分)を実施した。1フライトで約600枚の画像を取得し、全体で約2500枚(約45GB)の画像を取得した。UAVを使用することで、通常ではロープアクセスなどでしか確認できない主塔頭頂部などの画像も容易に取得でき、画像を拡大するとコンクリート表面の状況も鮮明に認識することができる。

SfMにより作成したマッピング付3Dモデルより解像度1.5mm/pixelのオルソ画像を生成し、ひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、補修・補強材の損傷などのコンクリートにおける損傷を対象に画像から判読可能なものについて損傷図化を行った。画像からひび割れの自動検出や幅判定を行う研究は種々行われているが、本検証ではひび割れ幅の特微量としてクラックインデックス[CI]で評価するひび割れ位置・幅判読図化システム(以下、ひび割れ図化システム)⁸⁾を使用した。

既存点検結果と本試験による点検結果の比較を図-3に示す。この部分は主塔下部基礎直上のため、近接目視点検が実施されている。両損傷図とも細かなひび割れまで記載できており、ほぼ同等の結果が得られている。

通常の目視点検では、点検技術者の技量に委ねられる部

表-1 公共インフラの適切な維持管理のための「道守」の活用検討の方向性¹⁾

項目	インフラ長寿命化センター	公共機関	建設業
アウトプット	公共サービス(安全、快適、負担の低減)の向上 インフラ長寿命化への貢献		地域建設業の仕事の量質の確保
方向性	・「道守活用」の確立 ・「道守制度」システムの向上 ・点検などの新技術の研究・活用	公共インフラの適正な維持管理システムの構築 ・維持管理体制の充実 ・維持管理システムの向上	・地域建設業への複数年一括発注 ・県内建設業が施工可能な工法の導入と普及
検討事項	・「道守」民間資格の活用方法の確立(入札契約制度など)、・「道守」認定制度のバージョンアップと費用負担、 ・点検などの新技術の研究・活用、 ・県内建設業が施工可能な維持管理修繕工法の導入・普及、 ・情報共有システムの一元化		
	道守制度普及(コンソーシアム)	多様な体制と連携(NPOほか)	地区ごとの維持管理体制の構築



図 - 2 UAV-SfM 計測システム作業のフロー

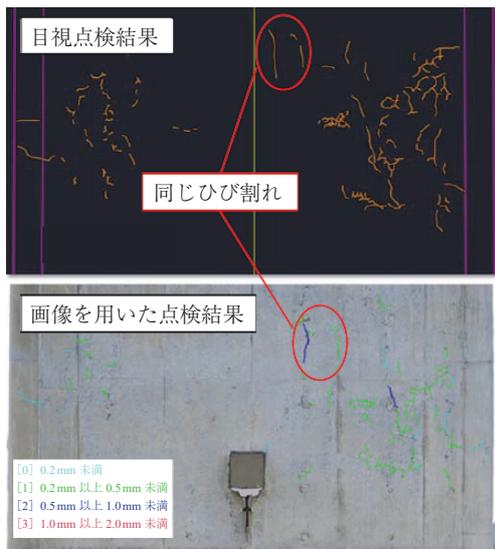


図 - 3 点検結果の比較

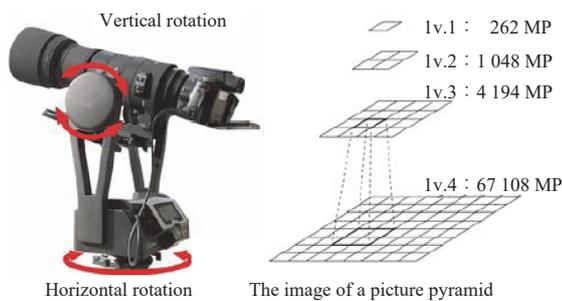


図 - 4 ギガピクセル画像撮影システムの概要⁵⁾

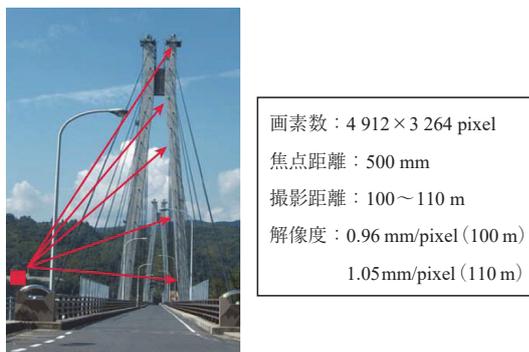


図 - 5 撮影条件⁵⁾

分が多く、損傷位置の記録など定量的な判断が難しいが、画像を用いた点検では画像を元に損傷判読を行うため、定量的かつ客観的な判断が可能。3Dモデルからは任意位置の3D情報の抽出が可能である。また定期的に同様のデータを取得することで、経年劣化の進展も容易に確認可能である。このように3Dモデルと画像の付加価値のあるデータを蓄積できるので、今後の維持管理において有効な調査手法になり得ると考えられる。

3.2 望遠レンズによる遠望撮影⁵⁾

仮設足場が不要で遠望から望遠レンズを装着したデジタルカメラを用いて高所部などの点検を行う手法も検討されている。RC構造物のひび割れ状況を調査する際、ひび割れ幅の計測精度が重要となる。一般にひび割れ補修の要否を判断する基準が、ひび割れ幅0.2mmであるので、画像解像度は最低でも0.1mm/pixelは必要となる。

遠望撮影の技術的問題を解決するために開発された装置としてギガピクセル画像撮影システムがある。自動撮影雲台に望遠レンズを装着したデジタルカメラを設置するのみの簡易な装置であるが、2軸のモーターを搭載した雲台は、設定した撮影範囲を画角(焦点距離による)によって自動分割し、自動的に撮影を行う。個々の画像はひび割れ部の拡大画像であるが、これらを専用のソフトで結合し1枚が数十億画素の画像とすることもできる。この合成された画像は単体で数ギガバイトと非常に重いデータとなるが、画像の構造を高解像度から低解像度の画像までのいくつかの異なる解像度の画像の集合(画像ピラミッド構造)にすることで通常のコンピュータでもストレス無く画像の拡大縮小などの操作が可能となる。図-4にギガピクセル画像撮影システムの概要を示す。撮影された画像にはひずみが

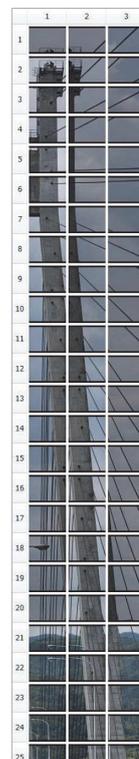


図 - 6 撮影画像⁵⁾

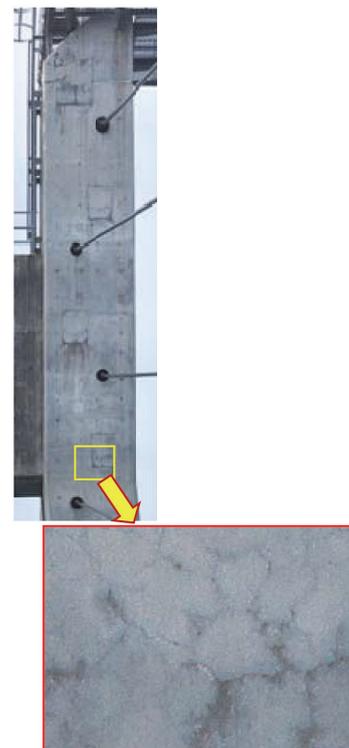


図 - 7 擬似オルソ画像⁵⁾

含まれる。合成画像の幾何補正方法については、カメラの水平、垂直回転角、レンズの焦点距離から撮影画角を求め、さらに投影するモデル面とカメラ位置の空間情報は3Dレーザなどを用いることで透視投影変換を行う方法が開発されている。

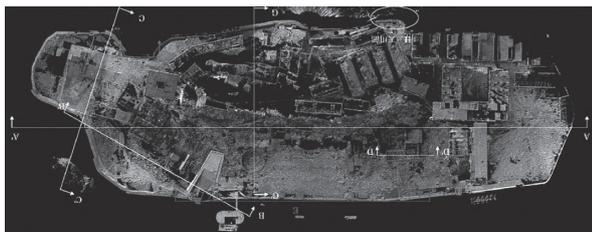
大芝大橋の調査⁹⁾において、このギガピクセル画像撮影システムを用いて擬似オルソ画像の作成を試みている。図-5には主塔を撮影した際の撮影条件を示す。図-6は主塔を撮影した75枚の画像であり、合成した擬似オルソ画像の一部を図-7に示す。擬似オルソ画像はひずみのない連続した画像であり、画像は高解像度から低解像度の画像の集合であり、部分拡大した画像から幅0.1mm程度の微細なひび割れも確認できる。

3.3 3次元画像を用いた維持管理技術

内閣府決定の「世界最先端IT国家創造宣言」および「日本再興戦略」の一連の動きとして、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのすべての建設生産プロセスにおいて、ITなどの活用により生産性の向上を図る取組みが国土交通省により実施されている。

維持管理においては、3次元データによる不可視部分の可視化および設計、施工資料と点検・補修記録の一元管理による情報の共有、情報検索の迅速化を図るということを目的に基準やマニュアル類の整備が進められている。また、点検ロボットなどによって取得した劣化、損傷の3次元的な記録に正確な位置情報を付加し、維持管理における点検結果などに関する3次元データの納品を可能とすることも検討されてきている。

UAVと3Dレーザースキャナを用いた構造物の外観変状調査は、2010年に端島(軍艦島)において行った^{5,6)}。島内施設の記録保存に活用するための3Dモデルを作成することを目的に、UAVによって撮影した画像と3Dレーザースキャナによる点群データの融合を試みた。島内の80%



平面画像



断面画像

図-8 3D点群データによるオルソ画像⁵⁾

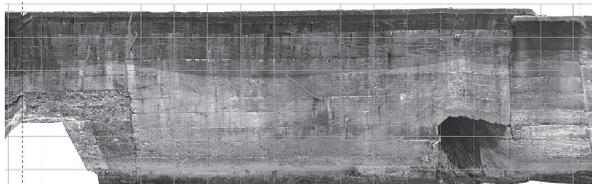


図-9 オルソ画像とひび割れのトレース図⁵⁾

は、3Dレーザースキャナとその上部に搭載した広角カメラで色情報を取得し、3Dレーザースキャナでデータが取得できない護岸外側については、UAVに搭載したデジタルカメラによってステレオ撮影をした。使用したカメラは、1600万画素、焦点距離16mmのミラーレスカメラであり、構造物から30m以上離隔して飛行した。対象面の画像解像度は10mm/pixel程度である。デジタル写真測量では、左右方向から撮影した最低2枚のステレオ画像を用い、解析後の3Dデータと画像データを用いて、テクスチャ付きの3Dモデルを作成できる。3Dモデルはコンピュータ上で任意の視点から観察でき視覚的な評価が可能となる。

図-8は島全体の3D点群データによるオルソ画像を示す。3D点群データでは任意断面での断面画像を作成することができる。3Dレーザースキャナではデータが取得できない護岸の一部をUAVによって撮影し、3Dモデルを用いて点群データと合成した。図-9はオルソ画像とそれを基にひび割れをトレースしたものである。画像と点群データの合成により精度の高い3Dモデルが作成でき、オルソ画像から表面に発生した劣化、損傷部の計測を行うことができる。

3.4 スリット応力解放法による残存プレストレス量の推定⁵⁾

ラインセンサーを用いた画像撮影装置のひずみのない高精細画像を取得できる特徴を利用して、画像解析により構造物表面ひずみ計測装置が開発されている。ラインセンサータイプ全視野ひずみ計測装置(以下、スキャナ装置)は、屋外でのひずみ計測にも適用可能である。

近年、PC橋においても塩害、中性化、ASR劣化などに伴うひび割れの発生が数多く報告されるようになってきた。ひび割れが生じたPC桁では、設計時のプレストレス量を満足していない場合が多く、耐荷力を評価し維持管理を行う必要がある。スキャナ装置を用いれば、切削部近傍



写真-4 スリット切削と画像撮影状況⁵⁾

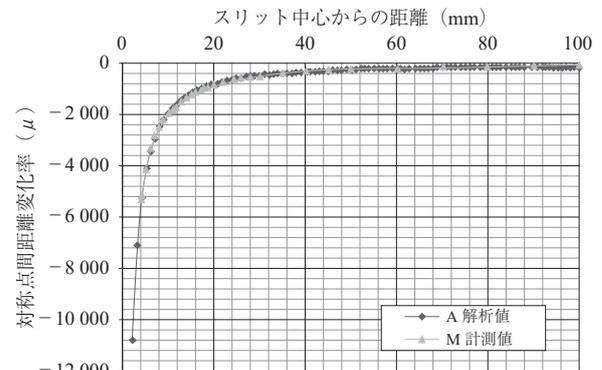


図-10 対称点間距離変化率⁵⁾

の多点のひずみを求めることができ、さらに変位量の大きい切削部を跨ぐ2点間の長さ変化率を求めることができる。

スキャナ装置を用いた新しい応力解放法として、応力方向に対して垂直にスリットを切削し、スリット周辺の解放ひずみをスキャナ装置で測定するという方法（スリット応力解放法）が開発された。スリット応力解放法は、スリットを中心とした2点間の長さ変化率（対称点間距離変化率）をスキャナ装置で計測した値に対して対象部材をモデル化したFE解析による逆解析を行い、部材に作用している応力を推定するものである。この方法で切削するスリットの深さは20～30 mm程度で、写真-4に示すように専用の装置を用いて一定深さで直線状に切削するため鉄筋切断の危険性はない。

開発したスリット応力解放法の精度を確認するために、プレストレス導入量が既知のプレテンションPC桁を用いて現有応力推定の実証実験を行った。深さ30 mmのスリット切削前後の画像からデジタル画像相関法によって求めた対称点間距離変化率の分布を図-10に示す。また、グラフには対象部材をモデル化して8.1 N/mm² 応力を作用させた場合のFE解析の結果を合せて示す。逆解析から求めた解析値とスキャナ装置による計測値は良く一致しており、各スリット中心からの距離における両者の差は5%以下であった。本実験で用いたプレテンションPC桁の設計時有効応力は、9.0 N/mm²であった。設計値とスリット応力解放法による計測値との差は0.9 N/mm²であり、誤差10%で精度良く推定することができた。

スリット応力解放法により実橋のPC桁の作用応力を測定した事例は現在までに20橋以上ある¹⁰⁾。また、PCタンクの耐震診断の一環として、スリット応力解放法により残留プレストレス量を推定した事例もある¹¹⁾。

4. SIP インフラ地域実装支援チームでの活動

九州・山口地域においては、(一社)九州橋梁・構造工学会(KABSE)を中心に各県に在籍する研究者・技術者による分科会、講習会、報告書の作成などを通じて、連携して研究開発に取り組めるネットワークが完備している。このことから、九州・山口地域を対象としたSIP等の研究開発チームには、KABSEに所属する各県の大学・高専の研究者がコアメンバーとして参画してもらった。

KABSEとの連携を図り、新技術の活用結果の評価をするために、「インフラ維持管理・更新・マネジメントに関する新技術の社会実装支援に関する研究分科会」(以降、KABSE-SIP分科会と略記)を設置して活動した。分科会のメンバーには、各県のSIPメンバーのほかに維持管理に精通した自治体職員、点検コンサルタント職員、補修補強メーカーなどの技術者が参加している。さらに、KABSEには図-11に示すように国交省、九州7県、3政令市などのインフラ管理者がメンバーとして参画していることから、新技術の実装のために、情報共有、実証試験現場確保、終了後の継続体制等の検討ができるメリットがある。

KABSE-SIP分科会は、九州・山口地域の中小橋梁を対象として、定期点検におけるSIPインフラ等の新技術の実

装を主な活動目的として、①SIPの研究開発技術と現場の課題のマッチング、②実証試験結果の評価・分析の二つを柱に活動した。また、SIPインフラ等の新技術を評価し、地方自治体管理の橋梁に新技術を実装するうえでの課題と解決策を検討するとともに、新技術を社会実装するための仕組みについても検討している。

5. おわりに

KABSEのHPの冒頭に「技術者不足に悩む地方自治体等への技術や人材育成の支援等も含め、より一層の社会貢献に努めるとともに、橋梁・道路のメンテナンス活動を支援する」とある。長崎県でのインフラメンテナンスの取組みが九州・山口地域、そして日本全国へ、さらには世界へ拡大することを願いたい。

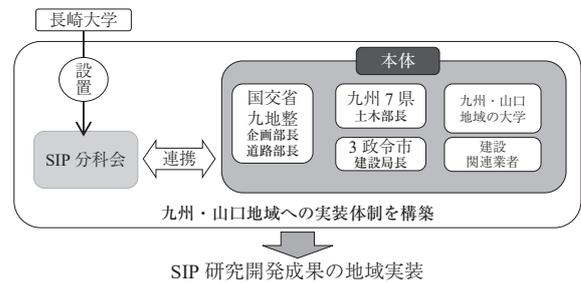


図-11 KABSEにおけるSIP分科会の地域実装体制

参考文献

- 1) 松田 浩, 中村聖三ほか: インフラ再生技術者育成のための道守養成講座の構築と認定者の活用の取組み, 土木学会論文集F4(建設マネジメント), Vol.73, No.4, I 21-I 32, 2017.
- 2) 松田 浩ほか: 光学的全視野計測法を用いた構造物の変位・ひずみ・応力・振動計測, 検査技術, 2017.
- 3) 松田, 伊藤, 木本: インフラ維持管理における光学的計測技術, 光技術コンタクト, Vol.54, No.12, pp.4-13, 2016.
- 4) 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, Oct.pp.8-15, 2016.
- 5) 伊藤幸広, 松田 浩, 出水 享, 木本啓介: (技術展望) デジタル画像による構造物の維持管理技術の現状, 土木構造・材料論文集, 第34号, 2018.
- 6) K.KIMOTO, K.YAMAGUCHI, T.OKUMATSU, T.KAWAMURA, H.MATSUDA: Development of Bridge Inspection Method without Temporary Scaffolding by Using Optical Measurement Techniques, SHMII-8-Proceedings, ss3-7, 2017.
- 7) 木本啓介: 画像解析技術の応用とロボット技術の活用による橋梁点検の効率化・高度化に関する研究, 長崎大学博士論文, 2019.
- 8) 西村正三・原 健司・木本啓介・松田 浩: 3Dレーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成, 日本写真測量学会「写真測量とリモートセンシング」Vol.51, No.1, 2012.
- 9) 西村正三: インフラ構造物の変状調査とモニタリングのための遠隔測定法の開発と評価に関する研究, 長崎大学博士論文, 2012.
- 10) 例えば, 肥田研一, 伊藤幸広, 出水 享, 大町正和: 塩害により損傷を受けたポストテンションPCT桁橋の耐力調査報告, プレストレストコンクリート工学会, 第23回シンポジウム論文集, pp.649-652, 2014.
- 11) 小城 誠, 上村剛史, 中原 晋, 都甲博明: 豊後高田市第2配水池・耐震補強工事, プレストレストコンクリート工学会, 第23回シンポジウム論文集, pp.179-182, 2014.

【2019年8月30日受付】