

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：15501
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2015～2017
課題番号：15K06180
研究課題名(和文)人間と計算機の知的協働によるコンクリート施設維持管理のための変状図作成の高度化

研究課題名(英文)A study on human-machine collaborative software for making a defects map of concrete structures

研究代表者
河村 圭(Kawamura, Kei)

山口大学・大学院創成科学研究科・准教授

研究者番号：70397991
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、既存トンネルなどのコンクリート施設点検における変状図作成作業の人間と計算機の知的協働による効率化を目的としコンクリート壁面をデジタルカメラもしくはビデオカメラで撮影した画像より、半自動的にひび割れを効率的かつ高精度に抽出する手法を提案した。具体的には、対話型遺伝的アルゴリズム(iGA：interactive Genetic Algorithm)による視覚的な画像処理パラメータ調整およびタッチパネルを用いた直観的なひび割れ抽出を可能とする機能の特徴とするソフトを開発した。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a semiautomatic method for concrete surface cracks extraction from digital images. The characteristic feature of the method was the combination of interactive genetic algorithm (iGA) and touchscreen. The iGA was applied to optimize image processing parameters for each image without knowledge of image processing techniques. The touchscreen enabled the user to touch images directly and extract cracks smoothly. In order to show the capability of the software which implemented the proposed method, concrete surface cracks were extracted from digital images with reasonable accuracy and processing time.

研究分野：維持管理工学

キーワード：維持管理
システム ひび割れ抽出 画像処理 社会基盤 コンクリート施設 知的情報処理 対話型遺伝的アル

1. 研究開始当初の背景

我が国には、『道路統計年報 2013』によると、全国に 9,760 本の道路トンネルが存在する。このように社会基盤施設を使いこなす保全が主体となる時代を迎えた中で、これらの多くが高度経済成長期に建設されており、重大な事故（笹子トンネル天井板落下（2012 年 12 月））が発生するなど、その高齢化・老朽化が顕著になり、国民の維持管理への意識が高まっている。

このような背景のもと、国土交通省は、点検の重要性を再認識し、ソフト・ハードの一体的な取組みによる維持管理・更新システムの高度化を図るとし、「道路トンネル定期点検要領（平成 26 年 6 月）」にて、「定期点検は、5 年に 1 回の頻度で実施することを基本とする」と明記した。今後は、本要領に従った点検が実施されることから、大量の点検が定期的に行われる。さらに、点検に関する新技術の開発・導入を進めるとして、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進」プログラムを進めている。このように近年の、センサ、ロボット、情報通信技術の発展に後押しされ、維持管理の基本である専門技術者による点検業務においても、その高度化また省力化を目的とした次世代型の点検装置の開発・検証が急速に進められている。

2. 研究の目的

(1) 概要

我が国の社会基盤施設の点検は、センサやロボット技術の発展に後押しされ、点検現場にて質の高いデジタルデータが生成され、事務所において大量のデータを情報へ変換する時代へと移行している。しかし、デジタルビデオ等により作成された画像展開図から変状図へ変換する作業の自動化は進んでおらず、依然として CAD 等をベースとした長時間のトレース作業が実施されており、作成経費も高額である。そこで、本研究の目的は、コンクリート施設の点検・診断プロセスを革新するための要素技術となる、新たな変状図作成支援システムの創成とする。具体的には、人間と計算機の協働を可能とした知的情報処理により、効率的かつ高精度に変状展開図を半自動的に作成する手法を確立する。なお、本研究の対象施設はトンネルとし、対象とする変状は、ひび割れとする。

(2) トンネル点検の現状

図-1 には、健全度診断の重要資料となる変状図の作成を中心とした点検業務の流れを示す。現在は、図-1 の下段からの流れに示されるように、点検者は点検現場で、変状の状態を詳細に野帳へ手書きで記録する（変状程度や箇所スケッチ）。また、著しい変状箇所をカメラで撮影するなど、近接目視かつ長時間の上向きの苦渋作業となっている。一方で、暗い坑内環境による人的誤差の増大や、長時間の交通規制を余儀なくされている。さ

らに、事務所内では、点検成果物として、現場で作成した野帳をもとに、ひび割れなどを抽出した施設全体の変状図を、手書きもしくは CAD を利用し、長時間をかけて作成している。このように、点検現場また事務所での作業において、点検また成果物の精度向上また効率化への期待が大きい。

(3) トンネル点検の将来

将来の点検の流れは、図-1 の上段に示されるように、点検現場では、各種センサを搭載した車両等が施設全体もしくは一部を計測し、デジタルデータ（撮影画像展開図など）を作成する。点検者は、必要に応じて計測個所の確認また目視での変状箇所を簡単に野帳へ記録する。続いて、事務所内では、点検現場で取得されたデジタルデータから必要な情報（変状）を抽出する作業を行い、変状図を作成する。図-1 の A の範囲で利用される非破壊検査技術は、前述の国交省プロジェクト等により、様々なセンサまたロボット技術を応用しながら研究・開発がすすめられ、現在多くの検査装置が実用化への検証へ進んでいる。これにより、点検現場の点検者の作業負担は、大幅に軽減される。さらに、変状に関するリッチな情報を含んだデジタルデータを容易に事務所へ持ち帰ることが可能となる。しかしながら、事務所では、大量のデジタルデータより、注目箇所（変状など）を抽出する作業を実施する必要がある。

(4) 研究目的・範囲

本研究は、図-1 の B の範囲を主対象とする。現在、デジタル画像より変状を抽出する手法は、本研究代表者らを含め、多くの研究²⁾が実施されているが、完全な自動化は実現されていない。これは、社会基盤施設は単産品であり、竣工時期・建設環境も異なることからコンクリート表面の状態は、多種多様であること、また、条件の良い撮影が難しく撮影データが一様でないことも原因となり、多くの雑音を含むデジタルデータが生成され、これらに対応する汎用的な変状抽出アルゴリズムの開発が難しいこと、さらに、個別のコンクリート表面の状況に適したアルゴリズムのパラメータ調整が一般的なユーザには困難であることが、計算機による完全な自動での変状抽出を難しくしている。

そこで本研究では、人間と計算機の知的な協働による変状抽出の半自動化技術を確立し、一般的な点検者が容易に操作でき、かつ高精度に変状を抽出できる変状図作成支援システムの開発を目的とする。具体的には、デジタルデータを特徴量へ変換する繰り返し計算は計算機に担当させ、計算機が不得意である「価値判断（良い悪い）」や「抽象化（対象から注目すべき要素を重点的に抜き出して、他は無視する（捨象）」）すなわち、「良い処理結果か悪い処理結果か？」また「変状かそれ以外かの判断」は人間が担当

する。この得意領域を融合させ、変状図作成の高度化を目指す。なお、Aの範囲は、本研究代表者らも実施しており、センサの1つであるデジタルビデオカメラを用いて画像展開図を作成することを目的とし研究・開発を進めている。Aは、変状図作成に影響することから、関連技術の改良は、本研究の範囲に含める。

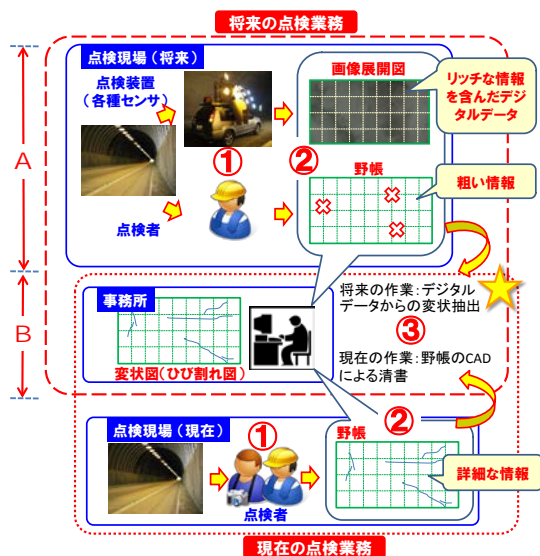


図-1 変状図作成を中心に見た点検業務の現状と将来像

3. 研究の方法

研究は、3年間の研究期間において、変状図作成のための人間と計算機の協働を可能とする知的情報処理技術を確認し、点検精度の向上また効率化を実現する変状図作成支援システムのプロトタイプを構築することを目的とした。この実現のため、次の3つの主要技術の研究・開発・検証を行った。

【技術1】直観による画像処理パラメータ調整、【技術2】指を利用したひび割れ抽出、

【技術3】撮影画像展開図および変状図Viewerの開発。

最終成果物は、それぞれの仕様書、設計書、これらを実装する情報システム（ハードウェア（ネットワーク含む）とソフトウェア）を含む。

4. 研究成果

(1) 研究成果の概要

本研究では、前述の技術1から3の研究・開発を行なった。以下には、補助事業期間全体を通して得られた成果をまとめる。

技術1：ひび割れ抽出のための画像処理パラメータ調整に、タッチパネルおよび対話型遺伝的アルゴリズムを利用し、システムが提示したサンプル画像を、ユーザは主観的に評価することで、撮影画像展開図の画質に適した、画像処理パラメータへ調整できる機能を開発した。これにより、ユーザは、画像処理の知識がなくともパラメータを直観的に調

整できる。

技術2：タッチパネルに表示された撮影画像上のひび割れを、ユーザが指で抽出領域をおおまかになぞることにより、ひび割れを抽出する機能を開発した。さらに、技術1と2を統合した、ひび割れ抽出画像処理ソフトを開発した。これにより、ひび割れ抽出のための画像処理パラメータ調整から抽出までの一連の作業がソフト上で連続操作でき、分割画像領域における、ひび割れ抽出作業の効率化を実現できた。また、深層学習を利用し、ひび割れ領域の自動識別を可能とすることで抽出作業の効率化を実現した。

技術3：一般的なブラウザ上で、撮影画像展開図全体を表示できる機能を開発した。将来、技術2と連携させることにより、撮影画像展開図全体から円滑に、ひび割れ抽出作業ができるソフト開発が可能となった。

以下では、本研究の主要な成果である「ひび割れ半自動抽出法」を実装したソフトウェア（以下、本ソフト）について記述する。

(2) ひび割れ半自動抽出法と本ソフト

①概要

図-2には、本ソフトによるひび割れ抽出作業の様子を示す。また、図-3には、本ソフトの操作手順を示す。本ソフトでは、図-2に示すように、ユーザが抽出対象であるひび割れをなぞり、画像処理領域を指定することで半自動的にひび割れの抽出を行う。図-4には、本画像処理アルゴリズムのフローを示す。なお、本画像処理アルゴリズムは、STEP3の良品推定のためのメディアンフィルタのサイズ(*fsize*)、STEP5の2値化処理の際の閾値(*binary*)、またSTEP7の線状度判定に用いる閾値(*linear*)の3つのパラメータを設定する必要がある。

本研究では、図-4に示される画像処理アルゴリズムをC言語で開発した。さらに、図-3に示されるフローは、C#にて開発を行った。ここで、図-5には、本ソフトのメイン画面を示す。



図-2 タッチパネルを利用したひび割れ抽出作業

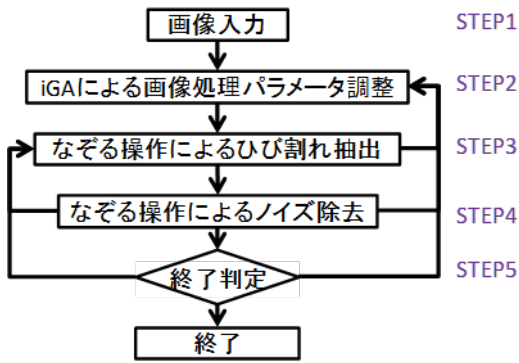


図-3 ひび割れ抽出作業フロー

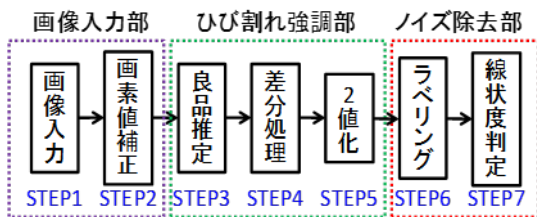


図-4 ひび割れ抽出アルゴリズム

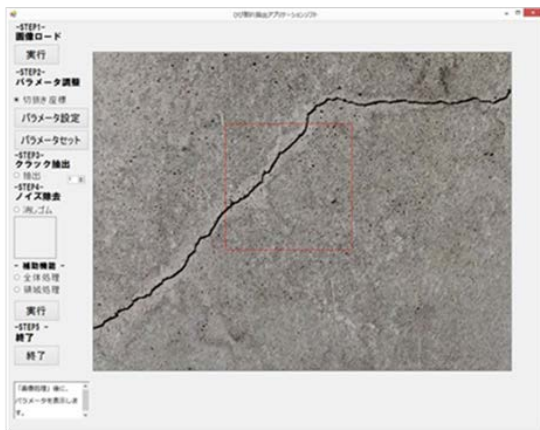


図-5 ソフトのメイン画面

② iGA による画像処理パラメータ調整

画像処理の専門知識を有さないユーザーにとって、画像処理パラメータの調整は困難な作業である。また、本ソフトでのひび割れ抽出に利用される画像処理アルゴリズムの3つのパラメータを試行錯誤で設定すると、約100万通りの膨大な組み合わせが存在する。そこで本ソフトでは、遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)の応用の一つである対話型遺伝的アルゴリズム(iGA)を用いて、視覚的な画像処理パラメータの調整を可能とした。

GA とは、生物の進化を模倣したアルゴリズムであり、近似最適解を探索するアルゴリズムである。GA と iGA の大きな違いは、GA

では事前に定式化された適応度関数を用いて個体を評価するのに対し、iGA では人間が個体に対して評価を与える。人間が評価することにより、人間の感性を用いた評価など、定式化しづらい問題に GA を適用することができる。本研究の目的であるひび割れの抽出においても、未知の画像に対する処理結果の評価の定式化が困難であることから、iGA を適用した。

表-1 には、本ソフトにおいて iGA を用いて決定する画像処理パラメータとその範囲を示す。本研究の iGA に使用した個体は 20bit であり、それぞれ *fsize* が 6bit、*binary* が 8bit、また *linear* が 6bit である。また、刻み幅は、パラメータ値が変化する最小単位である。ここで、図-6 には、個体のコーディングのイメージを示す。

本ソフトの画像処理パラメータ調整では、iGA により生成された個体に対応する画像処理パラメータを用いて画像処理されたサンプル画像をユーザに提示し、ひび割れ抽出精度の質を視覚的にユーザに評価させる。本研究では、本調整手法のソフトへの実装において、以下の工夫を行った。iGA が生成した各個体に対して、処理対象画像全領域の画像処理を行うと、画像処理の待ち時間が長くなる。このため、本ソフトでは、ユーザに処理対象画像の一部を画像処理パラメータ調整用の画像領域として指定させ、小領域として切り抜きを行い、この調整領域に対してサンプル画像を作成する。なお、ソフトを表示するモニターのサイズには制限があることから、モニター上に表示できるサンプル画像枚数には制限がある。このため、本ソフトでは、1世代あたりの個体数を 15 個体とし、15 枚のサンプル画像をモニターに表示した。図-7 には、本ソフトの iGA を利用したパラメータ調整画面を示す。

表-1 パラメータの範囲

パラメータ	範囲	刻み幅	bit 数
<i>fsize</i>	$1 \leq fsize \leq 127$	2	6
<i>binary</i>	$0 \leq binary \leq 255$	1	8
<i>linear</i>	$1.0 \leq linear \leq 32.5$	0.5	6

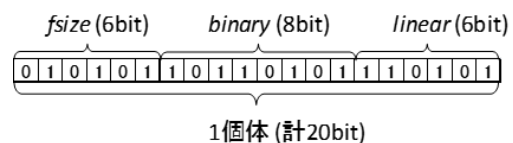


図-6 個体のコーディングのイメージ

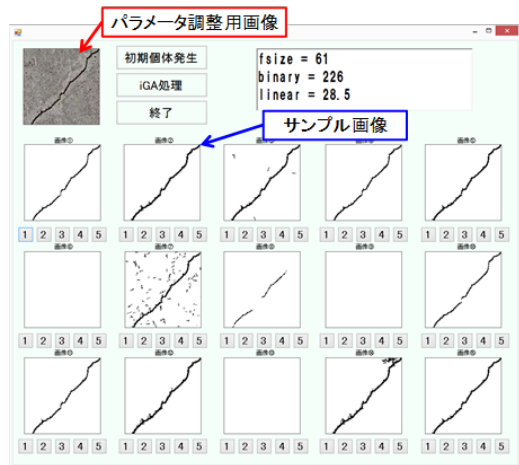


図-7 iGAによる画像処理パラメータ調整

③なぞることによる抽出

iGAを利用した画像処理パラメータ調整を行った場合においても、処理対象画像の全領域に対し画像処理を行うと、抽出対象ではない、ひび割れ以外のノイズが発生し、これを除去する時間が必要となる。そこで、ユーザがノイズを除去する作業領域を極力少なくするために、本研究では、ユーザが範囲指定した領域のみ画像処理を行うこととした。本ソフトでは、ひび割れの存在する領域をユーザがなぞって指定することにより、指定した領域のみ画像処理でひび割れを抽出する。これにより、ひび割れの存在しない領域で余計なノイズなどが抽出されてしまうことを防ぐ。なお、なぞる動作は、スマートフォンなどで、ユーザがタッチパネル操作に慣れていることから、タッチパネルでの直観的な操作を可能とした。また、本ソフトでは、ユーザが抽出領域を細かく指定できるように、なぞる領域の幅サイズを1pixelから51pixelまで変更可能とした。具体的には、本ソフトでは図-8に示すように、ユーザがタッチパネル上でなぞった個所が赤色で表示され、図-9の例のように青色で抽出結果が提示される。



図-8 ドローによる抽出範囲の選択画面



図-9 ドローによる抽出処理の結果画面

④なぞることによるノイズ除去

本ソフトでは、ユーザが領域を指定して抽出作業を行うが、細かなノイズが抽出される可能性は残る。このため、抽出作業の補助機能として、抽出操作と同様に、タッチパネルなどで指定した領域を抽出作業前の画像に戻す機能を搭載している。この機能により、ひび割れ以外のノイズ除去を可能とした。なお、本機能も抽出機能と同様に、なぞる領域の幅サイズを指定することが可能である。

<引用文献>

- ① 国土交通省：報道発表資料（一式）「次世代社会インフラ用ロボット(トンネル維持管理)「現場検証対象技術」が決定しました！」(平成26年7月3日), http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000113.html (入手2014.10.10)
- ② 後藤和夫, 篠原秀明, 下澤正道, 堀内宏信, “デジタル画像を用いたトンネルの変状調査・管理支援システムの開発”, 地下空間シンポジウム論文・報告集, Vol.12, pp.189-194, 2006.12

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

- ① 河村 圭, 吉崎晶俊, Cuong Nguyen KIM, 塩崎正人, 中村秀明, “トンネル壁面画像展開図作成における画像間の画素値差分布の勾配を利用した画像結合位置探索手法に関する研究”, 査読有, 土木学会論文集 F3, Vol.73, No.2, pp.I_188-I_200, 2018.3
- ② 塩崎正人, 河村 圭, 西山 哲, “地方自治体の道路維持管理を効率化する走行型計測システムの開発”, 査読有, 土木学会論文集 F3, Vol.73, No.2, pp.I_141-I_146, 2018.3
- ③ 杉崎光一, 家入正隆, 北原武嗣, 長山智則, 河村 圭, 松田 浩, “維持管理のイ

ノバージョンのためのモニタリング実装方法に関する研究”，査読有，土木学会論文集 F3, Vol.73, No.2, pp.II_17-II_32, 2018.3

- ④ 河村 圭，吉崎晶俊，古賀通博，塩崎正人，澤村修司，“局所探索法を用いたトンネル壁面画像展開図作成に関する研究”，査読有，土木学会論文集 F3, Vol.72, No.2, pp.I_73-I_82, 2017.3
- ⑤ 河村 圭，児玉聖治，村上慧季，塩崎正人，中村秀明，“コンクリート壁面画像からのひび割れ抽出処理における抽出点指示手法”，査読有，土木学会論文集 F3, Vol.72, No.2, pp.I_93-I_102, 2017.3
- ⑥ 古賀通博，河村 圭，塩崎正人“トンネル壁面画像展開図作成における画像結合位置探索の精度向上に関する研究”，査読有，コンクリート工学年次論文集，Vol. 38, No. 1, pp.2055-2060, 2016.7
- ⑦ C. N. Kim, K. Kawamura, and A. Tarighat, “A Study on Semi-automatic Concrete Cracks Detection Using Interactive Genetic Algorithm”，査読有，Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 38, No. 1, pp.2061-2066, 2016.7
- ⑧ 河村 圭，村上慧季，塩崎正人“対話型遺伝的アルゴリズムを用いたひび割れ半自動抽出手法の研究”，査読有，土木学会論文集 F3, Vol.71, No. 2, pp.I_114-I_122, 2016.3
- ⑨ 河村 圭，古賀通博，松本潤児，塩崎正人，澤村修司“画像処理技術を用いたトンネル壁面画像展開図作成における結合精度向上手法”，査読有，土木学会論文集 F3, Vol.71, No. 2, pp.I_142-I_151, 2016.3
- ⑩ 松本潤児，河村 圭，塩崎正人“トンネル壁面連続撮影画像からの画像処理による画像展開図作成の有効性”，査読有，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37, No. 1, pp.1783-1788, 2015.7
- ⑪ 河村 圭，吉野孝亮，塩崎正人“タッチパネルを利用したデジタル画像からのひび割れ抽出作業の効率化”，査読有，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37, No. 1, pp.1789-1794, 2015.7

〔学会発表〕（計 19 件）

- ① C. N. Kim, K. Kawamura, M. Shiozaki, and A. Tarighat “Development of an Automatic Crack Inspection System for Concrete Tunnel Lining Based on Computer Vision Technologies”，2018 3rd International Conference on Building Materials and Construction, Vietnam, 2018.
- ② 中村優志，河村 圭，児玉聖治，村上慧季，塩崎正人“深層学習を用いたひび割れ領域の自動識別法に関する研究”，平成 29 年度土木学会全国大会・第 72 回年次学術講演会，土木学会，2017.

- ③ 塩崎正人，河村 圭，押切幸治，菊地太郎“道路インフラの日常点検に向けた走行型計測装置のプロトタイプ作成”，平成 29 年度土木学会全国大会・第 72 回年次学術講演会，土木学会，2017.
- ④ 仁田尾慎吾，吉崎俊，河村 圭，塩崎正人，“トンネル壁面撮影画像展開図作成における類似度計算手法の検討”，第 69 回土木学会中国支部研究発表会，土木学会中国支部，2017.
- ⑤ 塩崎正人，河村 圭，西山 哲，村上慧季，宮地立，“デジタル画像を用いたひび割れ抽出へのフラクタルの適用”，第 69 回土木学会中国支部研究発表会，土木学会中国支部，2017.
- ⑥ 河村 圭，村上慧季，塩崎正人，“知的情報処理技術を利用したコンクリート壁面撮影画像からのひび割れ抽出”，安全工学シンポジウム 2016，日本学術会議総合工学委員会，2016.
- ⑦ 児玉聖治，河村 圭，村上慧季，塩崎正人“ひび割れ抽出画像処理ソフトにおける抽出点指示機能の開発”，第 68 回土木学会中国支部研究発表会，土木学会中国支部，2016.
- ⑧ 吉崎晶俊，古賀通博，河村 圭，塩崎正人“局所探索法を利用したトンネル壁面展開図作成における画像結合精度向上に関する基礎研究”，第 68 回土木学会中国支部研究発表会，土木学会中国支部，2016.
- ⑨ 塩崎正人，河村 圭，西山哲“トンネル点検における脱着式走行型計測システムの適用”，第 68 回土木学会中国支部研究発表会，土木学会中国支部，2016.
- ⑩ 村上慧季，河村 圭，塩崎正人，“コンクリート壁面撮影画像からのひび割れ図作成ソフトウェアの開発に関する研究”，平成 27 年度土木学会全国大会・第 70 回年次学術講演会，土木学会，2015.
- ⑪ 古賀通博，河村 圭，松本潤児，塩崎正人，“画像処理を用いたトンネル壁面展開図作成における結合エラー補正に関する研究”，平成 27 年度土木学会全国大会・第 70 回年次学術講演会，土木学会，2015.
- ⑫ 塩崎正人，河村 圭，千葉史隆，“トンネル走行型計測でのボケ画像低減に関する基礎実験”，平成 27 年度土木学会全国大会・第 70 回年次学術講演会，土木学会，2015.

6. 研究組織

(1)研究代表者

河村 圭 (KAWAMURA, Kei)

山口大学・大学院創成科学研究科・准教授
研究者番号：70397991