

AIと5Gによる超高解像度画像の伝送を活用した 橋梁点検支援システムの開発

吉倉 麻衣¹・南 貴大²・福岡 知隆³・藤生 慎⁴・
端 一彦⁵・中野 哲也⁶・島崎 友祐⁷・小村 拓朗⁸・高山 純一⁹

¹学生会員 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:m.yoshikura35201@gmail.com

²学生会員 金沢大学大学院 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学博士研究員 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:tfukuoka@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学准教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵非会員 株式会社NTTドコモ (〒100-6150 東京都千代田区永田町2丁目11番1号)
E-mail:hashi@nttdocomo.com

⁶非会員 株式会社NTTドコモ (〒100-6150 東京都千代田区永田町2丁目11番1号)
E-mail:nakanotet@nttdocomo.com

⁷非会員 株式会社NTTドコモ (〒100-6150 東京都千代田区永田町2丁目11番1号)
E-mail:yuusuke.shimazaki.hu@nttdocomo.com

⁸非会員 株式会社NTTドコモ (〒100-6150 東京都千代田区永田町2丁目11番1号)
E-mail:komurata@nttdocomo.com

⁹フェロー 金沢大学名誉教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp.

日本では、高度成長期に建設された橋梁の老朽化が進み、その維持管理が社会課題になっている。道路管理者には、橋長2m以上の橋梁において5年に1度の近接目視点検が義務付けられているが、財政や人材が不足している市町村にとっては達成が困難な状況である。そのような中、効率的な点検作業のため近接目視点検の代替方法として、橋梁写真の画像データをAI分析するなどICT（情報通信技術）を活用した損傷自動検出の研究が進められている。

本研究では、コンクリート橋の損傷を橋梁写真からAIが損傷自動検出する橋梁点検支援システムを開発した。画像分析に必要な写真は容量が重く、枚数も膨大になるため、通信による画像のアップロードには時間がかかる。そこで、5Gの高速・大容量の通信を活用してAI分析に必要な画像を伝送し、損傷自動検出に成功した。

Key Words : Bridge Inspection System, 5G, AI, Cloud, bridge, AI diagnosis times

1. はじめに

わが国では高度経済成長期以前に建設された道路橋の老朽化が進んでいる。10年後には全国72万橋のうち約52%が建設から50年が経過する¹⁾(図-1)。このような中、2014年に道路構造物の効率的な維持管理のために、道路

管理者に5年に1度の近接目視点検が義務付けられた。道路橋における管理者は、約72万橋のうち7割以上となる約52万橋を市町村が管理しており²⁾、今後、市町村には修理・修繕にかかる財政的な負担が増大する。特に足

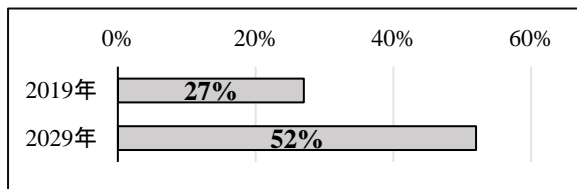


図-1 建設後50年を経過した橋梁の割合



図-2 超高解像度カメラでの撮影の様子

場点検車，人件費の費用負担が大きくなると考えられている²⁾。財政的・人的資源が不十分な地方自治体には継続的な近接目視点検の達成が困難な状況である。

そこで，新たな点検手法として近接目視点検の画像による代替技術に期待が高まっている。代替技術により点検費用の軽減や，作業時間の短縮への効果，危険な場所での点検に対して期待がされている。例えば，橋梁の画像データから，コンクリート構造物のひび割れを検出するといった研究が数多くなされている³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

本研究では，超高解像度画像データを用いて橋梁の画像をAI (Artificial Intelligence) で分析し，損傷箇所を抽出する「損傷診断支援システム (以下，SeeCrack)」を開発した。このSeeCrackは，点検が必要な箇所の画像データ (写真撮影データ) を取り込み，AIがコンクリートのひび割れ箇所や長さ，幅などを自動検出し，損傷の診断を支援するシステムである。このシステムを活用すれば，点検作業者のスキルに依存せず，容易で安価に作業ができる。

さらに，SeeCrackの社会実装に向けて作業時間の効率化を目指し，本システムをクラウド上に構築した。クラウドにSeeCrackを構築することで，点検作業現場からでもシステムを使用できるようになる。クラウド上のSeeCrackで橋梁の写真画像を分析するには，インターネットを介した画像のアップロードが必要となる。

SeeCrackに必要な超高解像度の写真は，1枚当たり最大約600MBの容量であり，1橋あたり複数の写真を要する。なお，通常のスマートフォンで撮影した写真の容量は約2-3MBほどである。SeeCrackに必要な写真は，スマートフォンで撮影した写真より，数百倍ものデータ量で

表-1 点検部位の健全性の区分

区分	定義
I 健全	道路橋の機能に支障が生じていない状態
II 予防保全段階	道路橋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	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり，早期に措置を講ずるべき状態
IV 緊急措置段階	道路橋の機能に支障が生じている，または生じる可能性が著しく高く，緊急に措置を講ずるべき状態

あり，写真のアップロードには時間がかかる。写真のアップロード時間を短縮できれば，点検作業の時間短縮につながる。そこで，2020年春より日本で開始が予定されている第5世代移動通信システム (以下，5G) の活用を検討した。

2. システムの開発

本研究で開発したSeeCrackは，超高解像度カメラで橋梁を撮影し，点検箇所の画像の保存，損傷の検出，健全性の診断支援，地理空間上での管理を一元的に行うシステムである。近接目視点検の点検項目の1つであるひび割れをAIによる画像分析で自動検出ができる。2章ではSeeCrackのシステム概要を説明し，実際に橋梁点検作業の技術者にSeeCrackの所感をヒアリングした。

(1) システムの概要

SeeCrackは「Phase1：超高解像度カメラによる対象橋梁の撮影」「Phase2：ひび割れ自動検出AI」「Phase3：健全性の診断支援」「Phase4：地図空間上での管理」の4つのフェーズから構成されるシステムである。以下に，SeeCrackを構成する4つのフェーズについて説明する。

Phase1：超高解像度カメラを使うことにより，画像分解能が小さい画像を入手することができ，遠距離からの撮影でも近接目視点検と同じような感覚でひび割れが視認できる。図-2は，橋脚まで17m離れた位置からの超高解像度カメラで撮影している様子である。この撮影では17m離れた位置からでも，0.2mm程度のひび割れを視認することができた。

Phase2：深層学習を用いた画像処理技術で，画像のひび割れを自動検出する。画像の領域を自動で推定する技術を活用し，事前に学習したモデルで橋梁の写真に対して，ピクセル単位で「ひび割れ箇所」と「ひび割れ以外の領域」を推定する。さらに抽出したひび割れ箇所の長さや幅を計算したクラックマップを作成する。

Phase3：ひび割れの検出結果や立地条件，過去の蓄積された点検記録を考慮して，表-1のように健全性を4段

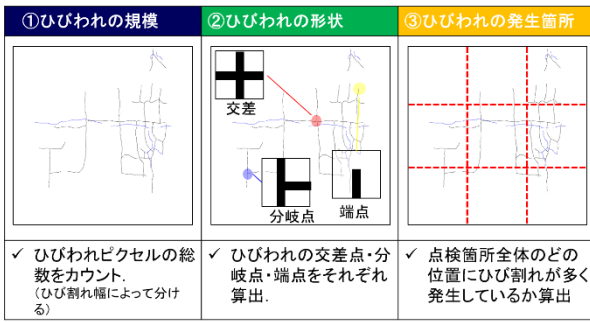


図-3 ひび割れの特徴点抽出の一例



図-4 SeeCrackのインターフェイス画面のイメージ

階で診断し記録する。また、Phase2で作成したクラックマップの画像から、図-3のようにパターンマッチングを示すことで、診断支援の情報を提供することができる。

Phase4：橋梁の位置情報と点検結果を紐づけ、マップ上に点検結果を表示する。管理者・診断結果・点検日といった項目で橋梁群をグルーピングすることによって、詳細点検・補修の優先順位を決定する参考資料になる。SeeCrackの画面イメージを図-4に示す。

(2) システムの評価

本研究で開発したSeeCrackの機能および有用性について、橋梁点検技術者にヒアリングを行った(図-5)。

SeeCrackは、客観的な損傷検出が一律の精度で得られ、さらに遠隔地にいる技術者や橋梁管理者にリアルタイムで橋梁の画像を共有できる点が有効であると講評を得た。また、1億画素のカメラであれば、橋脚や床板を17~18m程度の距離からでも損傷が記録できるため、橋梁に接近せずに撮影できる点がよいとのコメントがあった。加えて、現場の作業員と遠隔地の熟練技術者がリアルタイムで橋梁写真の画像を確認しながら、指導を受けられるよう、システムに音声通話機能があるとさらに良いシステムになるとの指摘を得た。

一方、点検熟練者は損傷の大きさだけでなく、橋梁の構造や、損傷が起きた場所によって損傷度合いの判断を決めていることから、損傷箇所の画像だけではなく橋梁全体のどの部分の損傷なのか、確認ができるUI(ユーザ



図-5 システムの評価の様子



図-6. 対象橋梁

ーインターフェイス)であれば、遠隔地からでも判断が迅速にできるとの指摘もあった。

本来の点検作業の主旨は、橋梁の状態把握であり、健全性を判断するために、定期的な点検を義務付けている。例えばひび割れがあった場合、もともとあった小さなひび割れが進行したものなのか、突然できたのか見分けるためにも、AIによる客観的な記録を残しておくことは重要であるとの意見もあった。また、損傷の診断は自然環境や橋梁の構造・種類にも大きく影響するため、最終的には人の判断が不可欠である。だが、橋梁点検現場の写真をリアルタイムで共有し、AIによる損傷自動検出の推定ができれば、点検作業のクオリティが上がり、AIがひび割れの特徴をピックアップしてくれれば、技術者も判断がしやすく、業務効率が上がるのではないかと議論もあった。このように、AIと人間の判断を組み合わせ活用していくことに大きな期待をよせるとの講評を得た。

3. 対象橋梁について

(1) 対象橋梁の説明

画像分析を行う対象の橋梁として、I県のU橋を選定した(図-6)。U橋は橋長344m、幅員16.5m、3径間連続PC斜



図-7 対象橋梁のヒアリングの様子

張橋で、路下条件は放水路である。2001年に建設され、主塔高が95m、主桁外面よりの高さが54mの2本のA型主塔から9本の斜材がのびている。

(2) 対象橋梁に関するヒアリング

U橋の構造・点検の手法について、2章2項と同じ橋梁点検技術者にヒアリングを行った(図-7)。U橋の構造では、点検には高所作業車や橋梁点検車では点検は難しく、ロープによる点検になるとのことであった。点検中は通行止めにする必要はないが、点検作業には1日5~6人体制で、4~5日間と見込まれる。点検作業費用は数百万円との推定だが、これはU橋が比較的新しい橋梁であり、供用年数がたてば点検にも時間がかかり、10年後の点検費用は増額するとの見解であった。

4. 実証実験

3章で述べたU橋梁を対象として、2章で述べたSeeCrackを用いて、損傷自動検出の実証実験を行った。事前に撮影したU橋の写真画像データをSeeCrackにアップロードし、AIによるひび割れ損傷の自動検出の結果が出るまでの一連の作業の検証を行った(図-8)。

(1) 実験環境

SeeCrackの実証実験を行うにあたり、調査項目として通信環境、検証場所、システム構築サーバーの3つの項目を設定し、各項目で複数のパターンを準備した(表-2)。通信環境では、LTE(A社)、LTE(B社)、eLTE、5Gプレサービス の4パターンである。

移動通信システムは、1980年代に1G(1st Generations)から始まり、約10年毎に進化し、2010年代から4Gが利用されている。4GはLTE・eLTE(高度化したLTE: enhanced LTE)とがある。そして4Gに続く次世代高速通



図-8 実証実験の様子(検証室)

表-2 実証実験の調査項目

調査項目	設定パターン	設定値選定理由
通信環境	LTE(A社)	一般的に「4G」とも呼ばれる通信システム。
	LTE(B社)	A社との比較のため、B社のLTE通信にて検証。
	eLTE	enhanced LTEの略語で、高度化LTEとも呼ばれる。現在使われている4G LTE方式を発展させた通信システム。
	5Gプレサービス	2020年春開始予定のため、実証実験では5Gプレサービスを使用。
検証場所	検証室	5Gプレサービス、eLTE、LTE通信が可能な検証環境。
	大学内	大学内シミュレーション室。
	橋梁現場	I県内の橋梁フィールド現場。
システム構築サーバー	オンプレミスサーバー	大学内の物理的サーバー。
	クラウドサーバー	5Gの通信を最大限活用できるMEC機能を持つサーバー。

信が5Gである。5Gには高速大容量、低遅延、他数同時接続の3つの特徴を持ち、超高解像度の容量が大きな画像データの伝送ができると期待されている。日本では、2020年春に5G商用サービスが開始予定であり、本実証実験では2019年9月にN社が開始した5Gプレサービス環境にて通信の技術検証を行った。

検証場所は、5Gプレサービスが利用できる検証室、大学内の視覚シミュレーション室、I県内の橋梁現場で実施した。

SeeCrackは、オンプレミスサーバーとクラウドサーバーの2パターンを設定した。オンプレミスサーバーは大学内のサーバーを用いた。さらに本研究で使用したクラウドサーバーは、ネットワークの伝送遅延の低減とセキュアなクラウド環境を実現するMEC(Multi-access Edge Computing)の特徴を持ち、5Gを支える技術の一つである。

表-3 実証実験の組み合わせ一覧

No.	実施日	実施場所	通信環境	システム構築 サーバー
1	2020/2/3	検証室	LTE (A社)	オンプレミス
2	2020/2/3	検証室	LTE (A社)	クラウド
3	2020/2/3~13	大学内 橋梁現場	LTE (B社)	オンプレミス
4	2020/2/3~13	大学内 橋梁現場	LTE (B社)	クラウド
5	2020/2/14	検証室	eLTE	オンプレミス
6	2020/2/14	検証室	eLTE	クラウド
7	2020/2/3	検証室	5Gプレサービス	オンプレミス
8	2020/2/3	検証室	5Gプレサービス	クラウド

(2) 評価対象

前項で設定した調査項目のパターンを表-3の通り組み合わせで行った。通信環境のLTE (A社) , eLTE, 5Gプレサービスは検証室にて実施し, LTE (B社) は, 大学内または橋梁現場にて行った。すべての組み合わせにて, 画像のアップロード, AI分析によるひび割れの自動検出が, 運用することを確認した。

5. 実証実験の分析

3章および4章の結果から, 従来の近接目視点検と本研究で開発したSeeCrackの点検時間・アップロード・点検費用について分析を行った。

(1) 点検時間

対象橋梁のU橋の対象部材について, 点検項目の中でコンクリートひび割れの検出のみを行おうとした場合, 点検作業に4~5日間がかかるが, SeeCrackを使用すれば, 写真撮影とAI損傷自動検出処理で1日間もかからない(図-9)。さらにAIの損傷自動検出結果をリアルタイムで遠隔地の点検熟練者が確認できれば, さらに作業時間の短縮が可能となる。

本研究における実験では, 事前に撮影した画像を用い, SeeCrackでAIによるひび割れの自動検出を行ったが, 今後は実際に点検現場での写真撮影にかかる時間の考慮も含めて, 作業にかかる時間を具体的に検討していく必要がある。

(2) アップロード時間

SeeCrackに必要な超高解像度の写真は, 1枚当たり約600MBの容量であり, 1橋梁あたり複数の写真を要する。通常のスマートフォンで撮影した写真は2~3MBほどであり, SeeCrackに必要な写真は数百倍ものデータ量となる。この膨大なデータのアップロード時間は, 通信環境のス

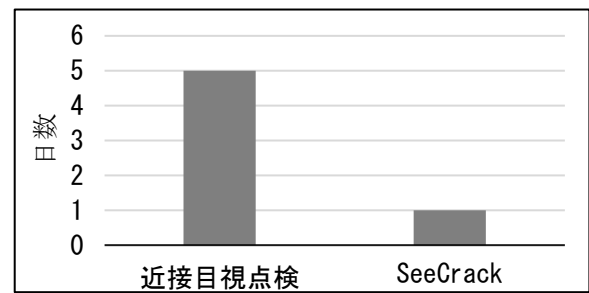


図-9 点検にかかる日数 (推定)

ピードに影響される。2020年春に商用開始予定の5Gの想定実行速度は, 将来的には現行の4G (LTE/eLTE) から100倍にもなるといわれている⁹⁾。多数の画像データのアップロードを5Gで実施できれば, さらなる点検作業の効率化が見込まれる。本研究では, 5Gプレサービス環境化にて通信の技術検証は行ったが, スピードについては言及していない。5G商用サービスでの実証実験とアップロード時間の測定を改めて実施し, そのスピードについても今後検証を行う必要がある。

(3) 点検費用

対象橋梁のU橋の場合, 近接目視点検で1日5~6名体制で, 4~5日間の点検作業を想定し, 約数百万円との試算であった。これに対し, SeeCrackの場合, カメラのレンタル代金やシステムの利用料はかかるものの, 撮影の人員は2~3名で1日間で完了すると想定している。SeeCrackを利用することで費用も安価に抑えることができると考えている。さらに, 点検技術者の近接目視点検では, 供用年数が経つ古い橋梁ほど, 損傷箇所を綿密に確認するため点検作業に時間がかかる。そのため同じ橋梁でも5年後10年後の点検では, 費用が上がると思われる。それに比べ, SeeCrackは, 5年, 10年経過しても橋梁写真の撮影, AIによる分析の時間が変わることは少ないため, 費用も変わらないと推測される。

6. まとめと今後の課題

本研究では, 近接目視点検の代替技術として, コンクリート橋のひび割れ損傷をAIで分析し, 診断を支援するシステム「SeeCrack」を開発した。さらに損傷自動検出に必要な橋梁の画像データを5Gを活用してアップロードし, 損傷自動検出結果をシステムから得る実証実験に成功した。今後5Gの商用サービスが開始され, 橋梁点検現場でSeeCrackによる損傷自動検出が可能となれば, 従来の橋梁点検に比べて時間・費用が抑制されるとともに, 安全性が向上した点検が実現可能となる。その結果,

橋梁の予防保全的維持管理の効率化に大きく貢献することが期待できる。

ただし、本研究で使用した5Gプレサービスとクラウドサービスは、プレサービス環境下のため、通信速度のスピードは測定していない。スピードについては、5G商用サービス開始後にアップロード時間の測定を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省「老朽化の現状・老朽化対策の課題」
<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf> [2020年3月1日時点].
- 2) 一般社団法人次世代センサ協議会「自治体橋梁における橋梁点検業務実態調査報告書」
http://www.socialinfra.org/p_technology/Apdf_H.pdf [2020年3月1日時点].
- 3) 今井道男, 太田雅彦, 露木健一郎, 今井浩, 三浦悟, 村田一仁, 高田巡: 高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法によるコンクリート構造物の動的挙動把握, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.1, 279-289, 2016.
- 4) 西村正三, 木本啓介, 松岡のどか, 大谷仁志, 緒方宇大, 松田浩: 橋梁維持管理における遠隔測定法の開発と評価, 応用測量論文集 24, 52-61, 2013.
- 5) 岡田佳都, 岡谷貴之: 橋梁点検を代替するための受動回転球殻を有するマルチコプタの開発と実橋梁における点検性能評価, 日本ロボット学会誌, Vol.34, No.2, pp119-122, 2016.
- 6) 木本啓介, 山口浩平, 奥松俊博, 河村太紀, 松田浩: 光学的計測手法による仮設足場を必要としない橋梁点検手法の開発, 長崎大学大学院工学研究科研究報告, 47(89), pp.59-66, <http://hdl.handle.net/10069/37675>, 2017.
- 7) 藤田悠介, 田口岳志, 浜本義彦: コンクリート構造物の外観検査のための画像合成および半自動ひび割れ評価, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.74, No.1, pp18-32, 2018.
- 8) Minami T, Fujii M, Takayama J, Suda J, Okumura S(2018) A Study on Image Diagnostic Technology for Bridge Inspection Using Ultra High Resolution Camera. 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure:79-85.
- 9) (株)NTTドコモ「2020年の5G実現に向けた取組」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000593247.pdf[2020年3月3日時点].

(202?.???.??受付)

DEVELOPMENT OF A BRIDGE INSPECTION SUPPORT SYSTEM USING AI AND SUPER HIGH RESOLUTION IMAGE TRANSMISSION BY 5G

Mai YOSHIKUTA, Takahiro MINAMI, Tomotaka FUKUOKA, Makoto FUJII
Kazuhiko HASHI, Tetsuya NAKANO, Yuusuke SHIMAZAKI, Takuro KOMURA
and Junichi TAKAYAMA

In Japan, bridges constructed during the high growth period are aging and their maintenance is becoming a social issue. Road administrators are required to conduct visual inspections of bridges over 2 m in length once every five years, but municipalities are in a difficult situation due to lack of financial and human resources. Under such circumstances, research on inspection and diagnosis technology utilizing ICT (information and communications technology), such as AI analysis of image data of bridge photographs, as an alternative method of proximity visual inspection, has been advanced for efficient inspection work.

In this study, we developed a bridge inspection support system in which AI automatically detects damage of concrete bridges from bridge photographs. It takes time to upload images by communication because the capacity and number of photos required for image analysis are large. Therefore, using 5G high-speed and large-capacity communication, images necessary for AI analysis were transmitted, and automatic damage detection was successful.