

令和元年6月18日現在

機関番号：17301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06960

研究課題名(和文)熊本地震で被災した補強が施されていたRC部材の光学的計測法による再劣化機構の解明

研究課題名(英文)Elucidation of re-deterioration mechanism of RC members damaged by the Kumamoto earthquake with optical measurement method

研究代表者

山口 浩平 (YAMAGUCHI, Kohei)

長崎大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60336013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：高度経済成長期に集中的に建設されたわが国の各種社会基盤構造物の多くが高齢化を迎え、近い将来には、維持更新費が総額でも減少する公共投資額の内ではかなりのシェアを占めると見込まれている。地方自治体が管理する橋梁は膨大で架設年すら不明で、当然設計図書もない場合が多く、近接目視点検を実施しても建設初期状態が不明であるので健全度を評価することは困難である。そこで本研究では、再劣化の範囲や程度などを復元設計データに取り入れることにより、バーチャルリアリティ環境下で、設計荷重レベルや終局荷重レベルでの再劣化した橋梁の構造性能を評価して、簡易な橋梁モニタリング手法の構築を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

補修が施されたRC部材について、これらの変状を基礎データとして、再劣化のメカニズム、補修補強後の効果、さらに数値シミュレーションによる残存耐力の算定法を解明することは、インフラのメンテナンス時代が到来した現在、我が国の橋梁の長寿命化計画や新設橋梁の設計・施工において有用な知見となるものと確信している。さらに、光学的手法により取得する膨大な量のデジタル画像情報は、デジタルデータベースに容易に取り込むことができ、いわゆるビッグデータとしての利活用が可能となり、劣化診断システムを利用した劣化原因や損傷度および構造性能の評価を行うことが可能となる。

研究成果の概要(英文)：Many of Japan's various social infrastructures built intensively in the high economic growth period will be aging, and in the near future, maintenance and renewal costs will occupy a considerable share of the amount of public investment that the total amount will also decrease. It is expected that. It is difficult to evaluate the soundness level because the bridges managed by the local government are huge and the construction year is unknown, and naturally there are no design documents, and even if the proximity visual inspection is carried out, the initial condition of construction is unknown. Therefore, in this research, the structural performance of the re-degraded bridge at the design load level and the final load level is evaluated in the virtual reality environment by incorporating the range and degree of re-deterioration into the restoration design data. We examined the construction of a simple bridge monitoring method.

研究分野：維持管理工学，橋梁工学

キーワード：橋梁モニタリング手法の構築 数値シミュレーション 残存耐力・変形能

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 高度経済成長期に集中的に建設されたわが国の各種社会基盤構造物の多くが高齢化を迎え、近い将来には、維持更新費が総額でも減少する公共投資額の内でもかなりのシェアを占めると見込まれている。また、今後到新設される構造物の建設にあたっては、長寿命化を見据えた LCC 評価に基づくコスト縮減が必要不可欠との認識が一般化されている。研究代表者は、平成 28 年熊本地震により落橋や大規模損傷した橋梁のみならず、小規模損傷ではあるが『みち』の一部としての橋梁の機能をほぼ喪失した多くの橋梁を近接目視により点検・診断した。その中で、兵庫県南部地震の甚大な被害を受けて改定された道路橋示方書の新基準で新設または補強された橋梁の損傷状況を把握できた。さらに、CFRP やポリマーセメントモルタル (PCM) といった、新しい建設材料により補強された主桁や橋脚の再劣化も把握できた。その中で、特定の部材に集中する特異な損傷等の橋梁構造の弱点や落橋防止システム等の耐震補強対策が効果的に機能した部材について、これから解明すべき課題を目の当たりにした。具体的には、様々な壊れ方が見られたのも事実で、どの部位で壊れるように設計すべきか、直しやすく、見つけやすい個所で壊れるようなダメージコントロールを積極的に設計に取り入れる必要があるとも実感した。
- (2) 一方、研究代表者は九州大学助教として 2001 年～2014 年には、『高機能 FRP 材による RC 構造物の高品質な維持修繕技術の開発』や『合成床版橋における革新的モニタリング技術の開発とその一般橋梁への展開』、『更新頻度の高い橋梁部材の高耐久化および維持管理用付帯設備も含めたイージーメンテナンス橋の開発』など、主として FRP による RC 部材の補強工法の開発、複合構造形式橋梁やそのモニタリング手法の開発、橋梁の高耐久化や維持管理に関する研究に取り組んできた。このような中、さまざまな補強工法は開発・適用されているものの、補強後に有効に機能するのかなどの『真の効果』についての研究や検証は、研究代表者が知る限りでは決して多くないのが現状である。
- (3) また、熊本地震により損傷を受けた橋梁の補修補強は、県市町村道を含めて、国土交通省が大規模災害復興法に基づく直轄代行により刻一刻と進めており、地震による損傷の程度や補修補強後の効果を明らかにするには、平成 30 年度時点では絶好の機会であるとともに時間的猶予がないのも実際である。研究代表者が熊本自沈直後に点検・診断した橋梁の中で再劣化の疑いがある部材について、再劣化箇所が既に再補強された事例は少なくはない。

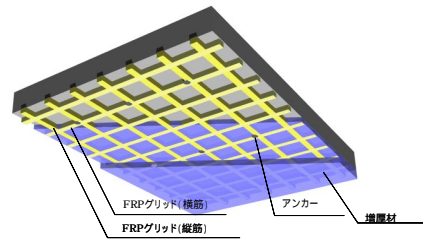


図 - 1 CF グリッド RC 床版補強

### 2. 研究の目的

本研究で取り組む『再劣化のメカニズム』、『補修補強後の効果』、『残存耐力』の解明には、再劣化が疑われる橋梁部材の損傷状況を迅速にかつ高精度で計測することも、本研究を推進する上で重要となる。このような背景のもと本研究では、平成 28 年熊本地震で損傷を受けた過去に補修補強が施されていた RC 部材を対象とし、長崎大学が主導的に研究開発中である『光計測技術』を用いて、『再劣化のメカニズム』、『補修補強後の効果』、『残存耐力』の解明を目標とする。

### 3. 研究の方法

以下の 3 項目について明らかにした。

- (1) デジタル画像相関法 (DICM) による主桁や橋脚のひび割れおよび補強部界面のうき検知法の改良開発
- (2) 再劣化のメカニズムの解明および補修補強後の効果の検討
- (3) 数値シミュレーションを用いた残存耐力の簡易な算定法の提案

### 4. 研究成果

- (1) RC 補強部の破壊挙動は、いまだに解明されていない部分が多い。特に抵抗値によりひずみを電氣的に検知する従来技術であるひずみゲージを用いたひずみ性状の解明は、コンクリートのひび割れによりひずみゲージが破損するなど、大変形時のひずみ値を正確に計測することは困難である。一方、近年研究が進みその精度が保証されるものとなったデジタル画像相関法 (以下 DICM) を用いれば、作業コスト、測定時の制約等に対応できること、またひずみの集中やひび割れ発生を検知できる。そこで、鉄筋埋設式の PCM 巻立て補強された供試体を使用し、DICM を用いて RC 補強部のひずみ分布や変位等を解析しそのひび割れ性状を検討した。

(2) 本研究では鉄筋埋設式 PCM 巻立て補強工法を対象とした,この工法では,コンクリート打設の際に溝切を設け,コンクリートが固まった後にエポキシ樹脂により補強鉄筋を埋設し定着させ,その上から PCM を塗布する.補強部において補強鉄筋が既設コンクリートの中に配置されるため,補強鉄筋分の増厚がない.このことにより,従来の RC 巻立て工法と比較して,巻立て厚を薄くしながらも所要の耐震性能を満足することができる.そこで,本研究では,薄肉モルタルと埋設鉄筋の混在する供試体のひび割れ性状を検討することを目的とした.

(3) 試験体は,基部は H 型の形をしており,基部上面から柱高さ 1000mm の位置まで本補強工法により補強されている.正負交番繰返荷荷試験を実施し,西面にはひずみゲージを貼付し,表面のひび割れ観察とひずみゲージでひずみの計測を,東面では DICM 計測を行う.それにより,DICM によるひび割れ検知と,ひび割れ観察の結果を比較するとともに,ひび割れ性状の検討を行った.

(4) 図 2 に負荷荷の荷重変位関係の絶対値をとったものとひずみコンター,目視,ひずみゲージの対応を示す.A 点ではひずみコンターではひび割れが確認されたが,目視では確認されなかった.B 点ではひずみコンター,目視ともにひび割れが確認された.C 点ではひずみコンターでひずみを計測可能であったが,ひずみゲージは破損したためひずみを計測できなかった.

(5) 図 3(a)~(f)に-150kN から-2 y 荷重時のひずみ分布(DICM)をそれぞれ示す.基部上面からの高さ 375mm 付近の変化を見ていくと,-150kN 荷重時には値は小さいもののひずみの集中領域が確認され,また-180kN 荷重時には 500  $\mu$  を超えるひずみ集中となっている.これが-210kN 荷重時にはひずみが 500  $\mu$  を超える領域が拡大しており,-240kN 荷重時にはひび割れ発生が予測されるひずみ集中となっている.同様に,基部上面からの高さ 225mm 付近,575mm 付近でもひずみ集中が確認され,ひび割れ発生の予測ができるものと考えられる.

(6) 図 4 に-240kN 荷重時のひずみコンターとひび割れスケッチを左右反転させたものを示す.目視での柱部のひび割れ観察では,-240kN 荷重時に初めてひび割れが発見された.このひび割れの位置は,基部上面からの高さが 375mm 付近であり,前述の DICM で検知されたひずみ集中と同位置であった.よって,DICM で検知したひずみ集中が実際に生じたひび割れに対応していることがわかる.このひび割れは,DICM のひずみコンターでは-210kN 荷重時の時点でひび割れ発生を予測できる.基部上面からの高さが 525mm および 225mm の位置において目視での観察ではひび割れが見つからなかったが,DICM を用いることにより,低荷重領域でのひび割れ発生を予測できることを示唆している.これを踏まえ図 4 のひずみコンターを見ると,ひび割れの進展は柱部と基部の境界部に近い位置

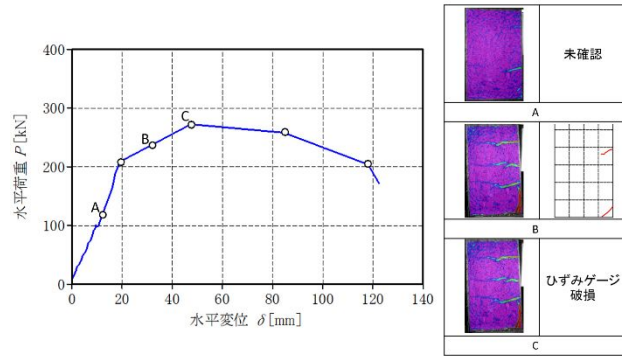


図 2 荷重 変位とひずみコンター,目視,ひずみゲージの対応

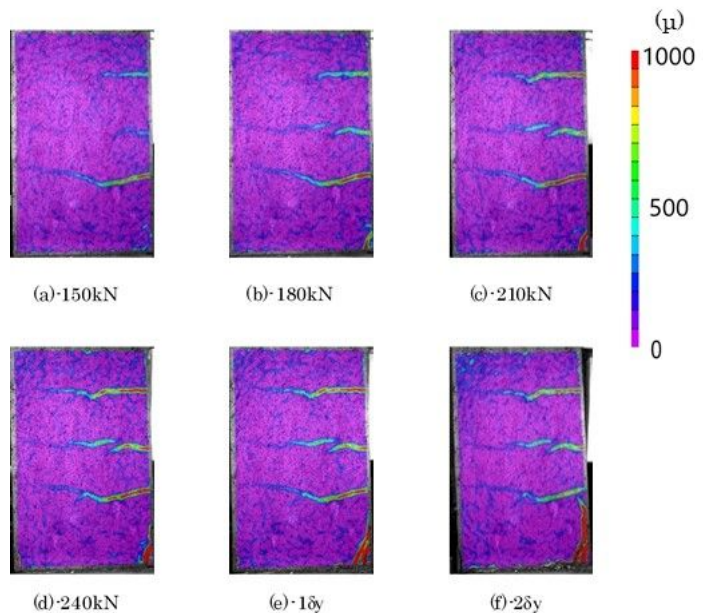


図 3 ひずみの集中の状況

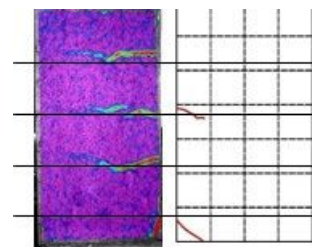


図 4 ひずみコンターとひび割れスケッチの比較

のひび割れから鉛直上方向に約 150mm 間隔で発生，拡大している．また，一つ一つのひび割れの進展方向は負荷荷方向でありほぼ水平に進展している．鉄筋の降伏前後でのひび割れを比較すると，-150kN 載荷時から-240kN 載荷時までには新たなひび割れの発生や既存のひび割れの進展がみられるが，降伏時である-1 y 載荷時以降はひび割れの進展はほとんど見られない．また，鉄筋埋設式 PCM 巻立て補強を施していない無補強供試体にも同様の試験を行ったところ，ひび割れの進展方向は斜め下方向であった．一方，補強供試体のひび割れ進展方向は水平方向であった．この違いは，補強供試体では補強厚が薄いためせん断補強筋までの距離が短くなることに起因すると考えられる．

- (7) 以上より，DICM のひずみコンターを用いれば，目視でのひび割れ観察よりも早い段階でひび割れの発生を予測できる．また，ひび割れ発生前後でのひずみの集中の変化を検知できる．また，DICM はひずみゲージのようにコンクリートのひび割れ等による破損の影響を受けないため，ひずみゲージでは計測できない荷重においても，ひび割れの進展をひび割れ位置およびひずみ集中の観点から検知できる．また，ひび割れ性状で無補強供試体と補強供試体で大きく異なったのは，鉄筋降伏前後のひび割れの進展，ひび割れの進展方向であった．ひび割れの進展方向は補強により水平になった．

## 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- (1) 林謙介，木本啓介，河村太紀，奥松俊博，山口浩平，松田浩：損傷を有する鋼トラス橋の固有振動数とたわみ影響線変化率の関係，鋼構造年次論文報告集，査読有，第 26 巻，pp.390-395，2018 年

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) 田村 拓登，島田 有二郎，堤 寛士，山口 浩平：デジタル画像相関法を用いた鉄筋埋設式 PCM 巻立て補強された RC 部材のひび割れ性状，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会，2019 年
- (2) 島田 有二郎，堤 寛士，山口 浩平，彌永 裕之，合田 寛基，日野 伸一：既設 RC 橋脚を対象とした鉄筋埋設式 PCM 巻立て補強工法の曲げ補強効果に関する実験的研究，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会，2019 年
- (3) 那須 瑞生，山口 浩平，尾関 将克，山本 裕，宮根 正和，森田 真理乃，嘉賀 郁弥：空港インフラの効率的な維持管理を目指した定期点検データの分析，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会，2019 年
- (4) 豊福 晋ノ介，國廣 智志，海部 貴裕，山口 浩平，松田 浩：切断された RCT 桁の残存耐力および構造特性同定の可能性の検討，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会，2019 年
- (5) 鈴木 航作，井上 知香，伊勢田 幹太，山口 浩平，松田 浩：復元設計に着目した 3D 計測の利活用に関する一考察，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会，2019 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://www.st.nagasaki-u.ac.jp/laboratories/yamaguchi/>

## 6．研究組織

研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。