

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04422

研究課題名（和文）外力作用条件が実大鉄筋コンクリート部材のひび割れ進展メカニズムに与える影響評価

研究課題名（英文）Influence of External Forces on Crack Propagation Mechanism of Full-Scale Reinforced Concrete Members

研究代表者

高橋 典之（TAKAHASHI, NORIYUKI）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60401270

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：はじめに、載荷実験に適用する損傷量計測システムの開発を進め、予備的検討としてRC造スラブを有するS造部分架構の実大動的載荷実験、RC造壁の静的載荷実験を実施した。汎用アクションカムを用いた計測装置（固定具）の開発し、損傷量（ひび割れ幅・ひび割れ長さの組み合わせ量：ひび割れ幅分布モデル）が部材角の増大に応じてどのように変化するかを計測した。その際、一般画像処理によるひび割れ検出だけでなく、A.I.を用いたひび割れ検出技術の特性についても検証した。従来より簡便法による損傷量進展評価が検討されてきた柱・梁部材だけでなく、壁部材を対象とした簡易損傷量評価手法を開発し、その精度を検証することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RC部材の地震損傷を簡易なモデルで推定する手法を提案し、「ひび割れ幅・ひび割れ長さ」関係を「ひび割れ幅分布関数」として対数正規分布でモデル化し、計算負荷の小さい方法で部材損傷量（ひび割れ幅、ひび割れ長さ）を推定する方法を確立した。また、推定手法の精度検証にあたって、A.I.を用いた画像処理技術に基づく損傷量計測・評価技術に関する近年の研究動向を踏まえ、A.I.を用いた損傷量評価における撮影環境条件および解析フローを提案し、経年劣化損傷と地震損傷を区別して評価する技術を開発した。これらの技術は、ユーザー指向型の性能評価型設計、特に修復性能評価の普及・促進に資する基盤技術となり得るものである。

研究成果の概要（英文）：The development of a damage measurement system to be applied to loading tests was carried out. As a preliminary study, full-scale dynamic loading tests of an Steel structure sub-assemblies with RC slab and static loading tests of RC walls were conducted. A measurement device using a not-expensive action cam was developed to measure how the amount of damage, that is the combination of crack width and crack length named as "crack width distribution model", changes as the member drift-ratio increases. In this research, the characteristics of crack detection techniques using A.I. as well as general image processing were verified. A simple damage evaluation method was developed for wall members as well as for column and beam members, for which the evaluation of damage propagation by a simplified method has been studied in the past, and the accuracy of the method was verified.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート ひび割れ 損傷量 深層学習

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球環境問題や経済合理性の観点から、建築構造物をすぐに取り壊すのではなく、長期に渡り補修しながら使用し続けるための社会的要求が高まっている。日本のように、たびたび大きな地震に襲われる地震頻発国においては、耐震設計において建築構造物の安全性能の検証だけでなく、修復性能を適切に評価することが重要な課題となる。特に、鉄筋コンクリート構造物の損傷量(ひび割れ幅、ひび割れ長さ、剥落面積等)の評価は、修復性能評価および修復費用計算において重要な要素技術となる。そのため、鉄筋コンクリート構造物の損傷量データの収集と評価手法の開発が進められつつあるが、多くはひび割れ幅のみに着目した研究であった。一方、実地震被害では、ひび割れ幅に対して適切な補修工法を選択するだけでなく、補修対象がどれくらいの量になるかを評価することで、修復性能評価(修復費用評価)につながるが、ひび割れ全量(ひび割れ幅だけでなくひび割れ長さを含む量)に着目すると、実験室で計測されたひび割れ量よりも、被害調査時に観察されるひび割れ量の方が少ない事例が多くあることが分かっている(写真-1)。そこで、新たに損傷量を適切に予測・評価する技術および手法を開発することで、実地震におけるひび割れ発生・進展メカニズムを解明する必要があると考えた。



→ 実地震でのひび割れは集中する

→ 実験室でのひび割れは分散する

写真-1 実地震と実験室でのひび割れ進展状況の違い

### 2. 研究の目的

本研究の目的を端的に表すと、実地震を想定した外力作用条件における鉄筋コンクリート造建築構造部材の損傷量進展メカニズムを解明し、損傷量評価手法へと展開させることである。

特に、建物中の見付面積の大きさから損傷量評価に大きな影響を与えると考えられる鉄筋コンクリート造壁部材に目を向けると、実験時に損傷量計測にかかる労力が甚大なこともあり、損傷量推定・評価手法に関する実験的研究は柱・梁部材ほど多くはない。また、特殊な有限要素解析や剛体ばねモデル解析による鉄筋コンクリート造(RC造)壁部材のひび割れ進展評価についての高度な研究も行われているが<sup>例えば(1)</sup>、一般的な建築物の構造設計に修復性能評価を普及させるためには、より簡便な損傷量推定手法の確立が必要である。

そこで本研究では、(1)損傷量計測に甚大な労力をかけずに済むよう画像処理技術(およびA.I.)を用いた損傷量自動計測システムを開発すること、(2)RC造柱・梁部材だけでなくRC造壁部材も対象に、ひび割れ幅-ひび割れ長さ関係を表わす「ひび割れ幅分布特性」を実験結果からモデル化し、計算負荷の小さい簡便な解析手法から得られる工学量をもとに損傷量を推定する手法を提案すること、を研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

鉄筋コンクリート部材の地震損傷量進展の実態を把握するため、第一段階として画像処理およびA.I. (ディープ・ラーニング) を用いた損傷量計測手法技術を開発することとした。具体的には、汎用光学機器 (いわゆるデジタルカメラ) を用いた計測装置と画像処理技術を組み合わせ、RC造スラブを有する鉄骨造部分架構の実大動的載荷実験およびRC造壁の静的載荷実験に当該システムを適用することにした。損傷量の画像計測を通して、ひび割れ幅-ひび割れ長さの組み合わせ量 (ひび割れ幅分布モデル) が外力作用に応じてどのように変化するかを計測し、ひび割れ幅分布モデルの構築を試みた。また、一般画像処理によるひび割れ検出だけでなく、A.I. を用いたひび割れ検出技術の特性についても検証し、A.I.を用いた損傷量評価における撮影環境条件および解析フローを提案した。

続いて、第二段階としてRC部材の地震損傷を簡易なモデルで推定する手法を提案し、「ひび割れ幅-ひび割れ長さ」関係を「ひび割れ幅分布関数」として対数正規分布でモデル化し、計算負荷の小さい方法で部材損傷量 (ひび割れ幅、ひび割れ長さ) を推定する方法を検討した。この推定方法の検証にあたっては、第一段階で開発した技術により計測された損傷量 (およびそのモデル) との比較により実施した。

### 4. 研究成果

はじめに、画像処理およびA.I. (ディープ・ラーニング) を用いた損傷量計測手法技術を開発し、RC造壁部材およびRC造梁部材を対象とした実験損傷画像に適用した結果を示す。損傷量計測の画像処理フローを図-1に、検討対象例として、RC造壁部材試験体配筋図を図-2に、RC造梁試験体配筋図を図-3に示す。当初研究目的に掲げていた実大試験体だけでなく、開発した損傷量計測手法では、縮小試験体に対しても高精細なひび割れ量評価が可能となった。

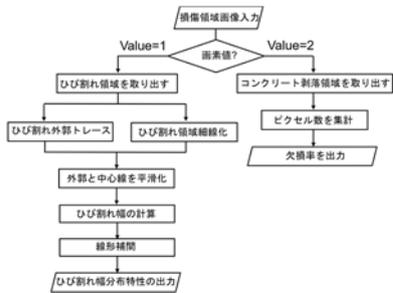


図-1 損傷量計測フロー

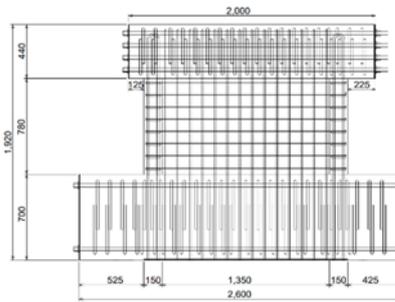


図-2 計測対象試験体(壁)

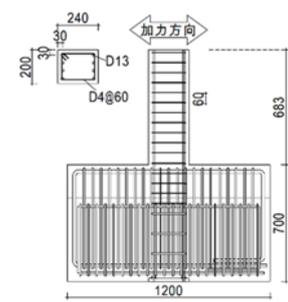


図-3 計測対象試験体(梁)

ひび割れ幅-ひび割れ長さ関係を対数正規分布でモデル化した「ひび割れ幅分布特性」を各部材に対して求めたところ、壁部材では図-4を、梁部材では図-5となる結果を得た。

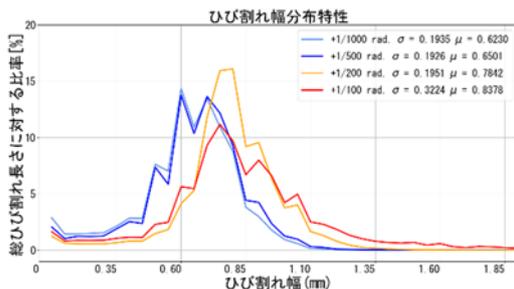


図-4 ひび割れ幅分布特性 (壁部材)

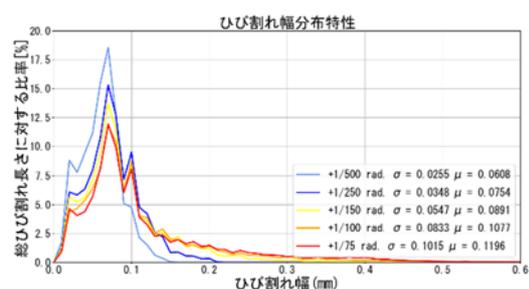


図-5 ひび割れ幅分布特性 (梁部材)

損傷量計測手法の開発とあわせて、特に、その適用範囲や適用限界についても検討を行った。まず一般画像処理による損傷量計測の精度は、主に二値化閾値の設定に大きく依存することが分かった。その具体例として、図-4の壁部材が1/200rad.時に生じたせん断ひび割れについて、図-6に示す斜め方向座標軸上に投影したひび割れ位置ごとのひび割れ幅を図-7に示す。二値化閾値をOtsu法に従い定めた場合(黒線)は最大1.3mm近いひび割れ幅を示したが、目視計測された最大ひび割れ幅(0.4mm)に合うように二値化閾値をキャリブレーションすると、今度はひび割れの検出漏れが生じて、ひび割れ長さが減少する結果となった(図-8の薄墨線)。

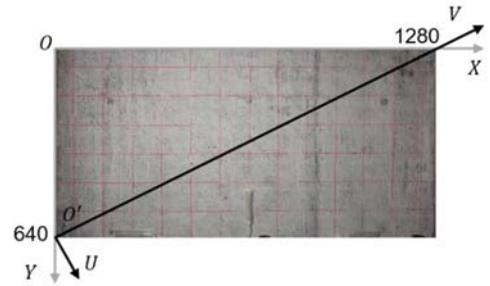


図-6 ひび割れ位置特定座標軸

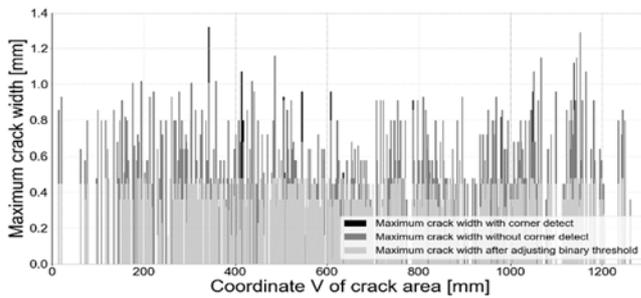


図-7 各ひび割れのひび割れ幅(1/200rad.時)

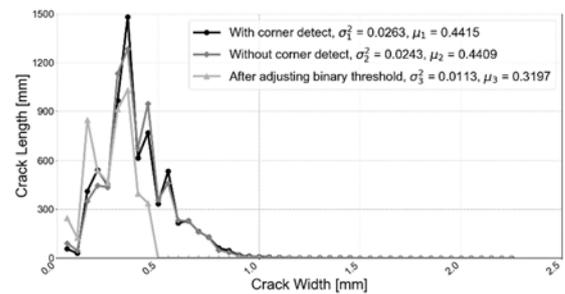
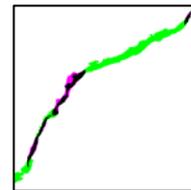


図-8 閾値によるひび割れ幅分布関数の変化

一方、A.I.を用いた損傷量計測手法では、入力画像の解像度(空間分解能)に計測精度が大きく依存することが分かった。A.I.を用いた損傷量計測手法に用いる精度評価指標には複数あるが、評価したい内容に応じて Recall や Accuracy, IoU などの指標を使い分ける(図-9)。



- True Positive (TP) = 1102
- True Negative (TN) = 85755
- False Positive (FP) = 422
- False Negative (FN) = 2721

Accuracy = 96.51%  
IoU = 25.96%

図-9 A.I.を用いたひび割れ検出技術における検出精度算出例

A.I.を用いた損傷量評価において、被災度判定などで損傷を見落とさないよう安全側に評価することが求められる場合の、最適な撮影環境を調査したところ、対象とする損傷度ごとに表-1(損傷度I対象)および表-2(損傷度II対象)を得た。また、地震ひび割れを、それ以外の(経年劣化などの)ひび割れと見分ける技術について

表-1 必要な撮影環境条件(損傷度I)

項目	留意点
カメラ	有効画素数約2000万画素以上
画角	広角レンズ(焦点距離24mm程度)の場合 0.55m×0.37m以内を確保する 標準レンズ(焦点距離50mm程度)の場合 0.55m×0.37m以内を確保する 望遠レンズ(焦点距離200mm程度)の場合 0.18m×0.12m以内を確保する
撮影距離	光学ズームを使用しない場合、距離を1m以内にすることで条件を満足する(広角レンズ使用時)
撮影角度	正対(撮影角度0°)を標準とする
明るさ(照度)	照度は500ルクス以上 フラッシュは使用しない

表-2 必要な撮影環境条件(損傷度II)

項目	留意点
カメラ	有効画素数約1200万画素以上
画角	広角レンズ(焦点距離24mm程度)の場合 2.1×1.4m以内を確保する 標準レンズ(焦点距離50mm程度)の場合 1.08m×0.72m以内を確保する 望遠レンズ(焦点距離200mm程度)の場合 0.27m×0.18m以内を確保する
撮影距離	光学ズームを使用しない場合、距離を1.5m以内にすることで条件を満足する(広角レンズ使用時)
撮影角度	正対(撮影角度0°)を標準とする
明るさ(照度)	照度は200ルクス以上 フラッシュは使用しない

検討したところ、地震発生前から生じている古いひび割れについて Detection 技術によってプリプロセス除去をすることで、地震発生時に生じた新しいひび割れを Segmentation 技術により精度よく領域抽出できることが確認された。

最後に、RC 部材の地震損傷を簡易なモデルで推定する手法、特に、RC 造壁部材の簡易損傷量推定手法について、Collins ら<sup>(2)</sup>が提案した修正圧縮場理論とひび割れ幅分布特性およびひび割れ発生メカニズムを用いて各変形状態における損傷量を推定する簡便手法を提案した。解析フローを図-10に示す。前述の損傷量計測手法で得られた実験結果との比較を通し、提案手法によるひび割れ量評価の精度検証をしたところ、ひび割れ間隔の変化をとらまえることで、ひび割れ間隔・本数に応じて、ひび割れ幅、長さの進展(推移)を概ね推定することができた(図-11, 図-12, 図-13)。本研究の損傷量進展を表す損傷量評価手法により、修復性能評価を汎用技術として普及させるための基盤技術を提示することができた。

なお、当該研究活動を軸に、国際共同研究活動(JSPS-NSFC Joint Research Project, "Rapid Post-quake Estimation of Structural Damage and Performance based on Modern Image Processing Technology")における技術交流<sup>(3)</sup>、<sup>(4)</sup>および成果発表<sup>(5)</sup>を展開することになり、本研究が世界的にも注目すべき技術の一端を担うものであることを示した。

<参考文献>

- (1) Yamamoto, Y., Nakamura, H., Kuroda, I., Furuta, N. : Simulation of Crack Propagation in RC Wall using a 3D Rigid-Body-Spring Model with Random Geometry, Proc. of Eighth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete Structures, Paper No.330, 2013.3
- (2) Vecchio, F. J., Collins, M. P. : The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI JOURNAL, Vol.83, No. 2, pp.219-231, 1986
- (3) Noriyuki TAKAHASHI: Simplified method for damage evaluation focused on a cracking space, The Second International Symposium of Advancement and New Technologies in Earthquake Engineering, Nov. 2018
- (4) Noriyuki TAKAHASHI: Assessment of crack propagation mechanism based on the digital image correlation, The Second International Symposium of Advancement and New Technologies in Earthquake Engineering, Nov. 2018
- (5) Zenghui MIAO, Xiaodong JI, Taichiro OKAZAKI, Noriyuki TAKAHASHI: Pixel-level multi-category detection of visible seismic damage of reinforced concrete components, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, DOI:10.1111/mice.12667, Feb. 2021

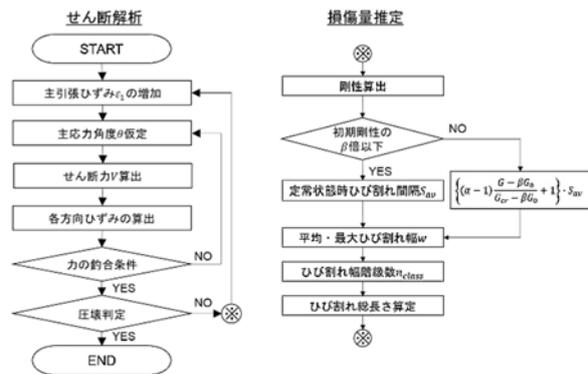


図-10 RC 造壁部材の簡易損傷量推定手法

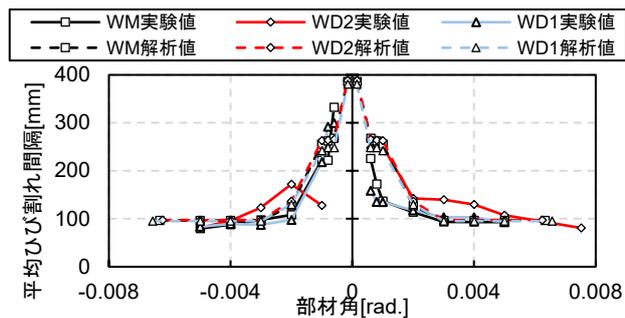


図-11 部材角-平均ひび割れ間隔関係

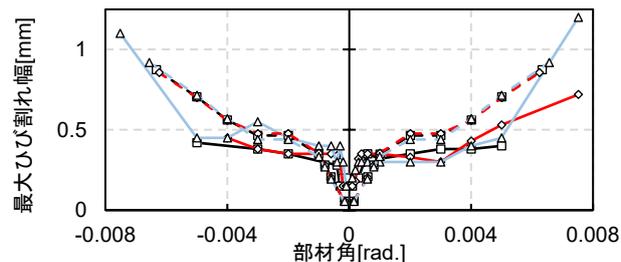


図-12 部材角-最大ひび割れ幅関係

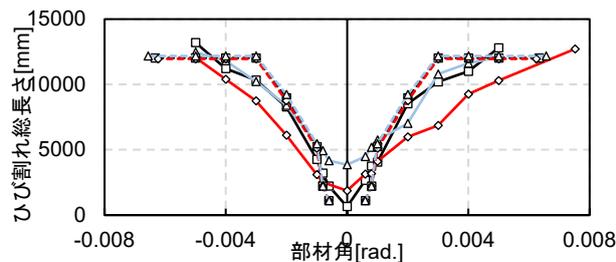


図-13 部材角-ひび割れ総長さ関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 耳塚友貴, 高橋典之, 櫻井真人	4. 巻 67B
2. 論文標題 RC造壁部材を対象とした簡易損傷量推定手法に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 31-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王一哲, 高橋典之	4. 巻 Vol.86, No.781
2. 論文標題 画像処理を用いたRC壁部材のひび割れ幅分布特性の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 481-489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.481	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Noriyuki TAKAHASHI	4. 巻 2020
2. 論文標題 Damage Estimation of RC Members Considering An Effect of Strain Ratio And Distribution on Crack Propagation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 17th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 2i-0023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋賢作, 高橋典之, 千田紘之	4. 巻 Vol142, No2
2. 論文標題 RC部材の地震損傷画像計測のための撮影環境に関する考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 895-900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王一哲, 耳塚友貴, 千田紘之, 高橋典之	4. 巻 Vol.42, No.2
2. 論文標題 画像解析によるRC部材のひび割れ幅分布特性の計測に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 673-678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 耳塚友貴, 王一哲, 高橋典之, 櫻井真人	4. 巻 Vol.42, No.2
2. 論文標題 修正圧縮場理論とひび割れ幅分布特性を用いたRC造壁部材の簡易損傷量推定手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 337-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石橋詩織, 高橋典之, 根本結衣	4. 巻 Vol.42, No.2
2. 論文標題 鉄筋コンクリート梁部材のひび割れ進展過程におけるひずみ分布に関する考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 163-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noriyuki TAKAHASHI, Yusuke KATAKAI, Takayoshi AOKI	4. 巻 Vol.3, No.3
2. 論文標題 Optimal Structural Restoration of Historic Building in Japan Considering Life-cycle Seismic Loss Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japan Architectural Review	6. 最初と最後の頁 284-297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2475-8876.12151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 千田紘之, 高橋典之	4. 巻 Vol.85, No.770
2. 論文標題 深層学習を用いた地震被災木造住宅の画像診断システム構築に関する基礎的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 529-538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.85.529	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 耳塚友貴, 高橋典之, 櫻井真人, 佐藤真俊	4. 巻 Vol.41, No.2
2. 論文標題 修正圧縮場理論と幾何学的部材変形によるRC造壁部材の簡易損傷量推定手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 403-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 根本結衣, 高橋典之	4. 巻 Vol.41, No.2
2. 論文標題 コンクリートひび割れ近傍ひずみ計測におけるデジタル画像関連法適用に関する考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 805-810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 千田紘之, 高橋典之	4. 巻 Vol.41, No.2
2. 論文標題 深層学習を用いたコンクリート基礎および外装材の画像診断	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 .1315-1320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 周ヤン, 高橋典之	4. 巻 Vol.40, No.2
2. 論文標題 実大RC造架構の地震時部材損傷量簡易推定手法に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 853-858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 根本結衣, 高橋典之	4. 巻 Vol.40, No.2
2. 論文標題 画像相関法によるひずみ計測に基づくRC部材ひび割れ進展過程における載荷速度の影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 859-864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 千田紘之, 高橋典之	4. 巻 Vol.40, No.2
2. 論文標題 人工知能を用いたモルタル系建築外装材の損傷画像診断と危険度判定に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1339-1344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋典之	4. 巻 Vol.56, No.9
2. 論文標題 画像処理に基づく損傷量評価技術の構造実験への適用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学	6. 最初と最後の頁 778-782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/coj.56.9_778	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Noriyuki TAKAHASHI
2. 発表標題 Damage Estimation of RC Members Considering An Effect of Strain Ratio And Distribution on Crack Propagation
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 耳塚友貴, 高橋典之, 櫻井真人
2. 発表標題 RC造壁部材を対象とした簡易損傷量推定手法に関する研究
3. 学会等名 構造工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋典之, 高橋賢作
2. 発表標題 深層学習を用いたRC部材地震損傷検出のための損傷画像撮影環境に関する検討
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 鉄筋コンクリート建造物の非破壊試験部門「歴史的建造物の非破壊検査」ミニシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋賢作, 高橋典之
2. 発表標題 鉄筋コンクリート部材の深層学習を用いた地震損傷検出における最適撮影環境に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王一哲, 高橋典之, 耳塚友貴, 千田紘之
2. 発表標題 画像解析に基づくRC壁部材のひび割れ幅分布特性
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 耳塚友貴, 王一哲, 高橋典之, 櫻井真人
2. 発表標題 修正圧縮場理論とひび割れ幅分布によるRC造せん断壁の簡易ひび割れ進展解析手法
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋詩織, 高橋典之, 根本結衣
2. 発表標題 鉄筋コンクリート梁部材のひび割れ進展過程におけるひずみ分布進展とひび割れ幅関係に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千田紘之, 高橋典之
2. 発表標題 深層学習を用いた戸建て住宅の地震損傷検出に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青柳克弘, 岡崎太一郎, 長江拓也, 松宮智央, 高橋典之, 中澤博志, 御子柴正, 梶原浩一
2. 発表標題 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その8 床スラブの合成効果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野々山優輔, 長江拓也, 岡崎太一郎, 松宮智央, 高橋典之, 中澤博志, 御子柴正, 梶原浩一
2. 発表標題 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その9 合成梁の変形性能と剛性劣化挙動
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根本結衣, 高橋典之
2. 発表標題 載荷速度の異なるRC造部材実験におけるDICの適用と損傷過程の考察
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 耳塚友貴, 高橋典之, 櫻井真人, 佐藤真俊
2. 発表標題 修正圧縮場理論と幾何学的部材変形モデルを用いたRC造せん断壁の簡易ひび割れ評価手法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋典之
2. 発表標題 動的載荷を受けるRC造架構の簡易ひび割れ長さ評価手法 その1 評価手法概要と解析対象
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 周ヤン
2. 発表標題 動的載荷を受けるRC造架構の簡易ひび割れ長さ評価手法 その2 解析結果と実験結果の比較検討
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千田紘之
2. 発表標題 人工知能を用いた地震被災戸建て住宅の画像診断に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 根本結衣
2. 発表標題 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その7 動的載荷実験における画像関連法の適用と部材損傷進展評価
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋典之
2. 発表標題 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第6報 画像相関法を用いたひずみ計測によるひび割れ幅と載荷速度の関係
3. 学会等名 日本建築学会北海道支部研究報告
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本建築学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本建築学会	5. 総ページ数 326
3. 書名 鉄筋コンクリート部材の構造性能評価の現状と将来	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>深層学習を用いた鉄筋コンクリート部材の地震損傷計測技術に関する研究  <a href="https://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2020_1.pdf">https://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2020_1.pdf</a>          修正圧縮場理論と幾何学的部材変形モデルによるRC壁部材の損傷量推定に関する研究  <a href="https://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2019_3.pdf">https://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2019_3.pdf</a>          載荷速度を考慮したRC造部材および架構の損傷量進展簡易解析手法の開発  <a href="http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2018_7.pdf">http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2018_7.pdf</a>          人工知能 (Artificial Intelligence) を用いた住宅外壁の損傷量評価に関する研究  <a href="http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2018_3.pdf">http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2018_3.pdf</a>          載荷速度の異なるRC造部材実験におけるDICの適用と損傷過程の分析  <a href="http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2018_8.pdf">http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/PBEE/research/OC2018_8.pdf</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	梶原 浩一  (KAJIWARA KOICHI)  (10450256)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震減災実験研究部門・総括主任研究員    (82102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長江 拓也  (NAGAE TAKUYA)  (90402932)	名古屋大学・減災連携研究センター・准教授    (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関