

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06527

研究課題名(和文)破壊エネルギー等価の概念を用いた各種FRP補強RC部材の衝撃応答解析手法の開発

研究課題名(英文)Development of impact response analysis method for various FRP reinforced RC members applying an equivalent fracture energy concept

研究代表者

小室 雅人 (Komuro, Masato)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10270183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：偶発作用時における新素材繊維(FRP)材料を用いて補強された鉄筋コンクリート(RC)部材の衝撃挙動特性および終局状態を適切に評価可能な解析手法の確立を目的として、アラミド繊維材料などによって補強されたRCはりを対象に、破壊エネルギー等価の概念を利用した三次元非線形動的応答解析を実施し、実験結果との比較によってその適用性を検討した。その結果、コンクリートの要素長を6mm程度まで小さくすることによって、はりの変形状況や補強材のひずみ分布など実験結果をほぼ適切に再現可能であり、偶発作用を受けるFRP補強部材の評価手法として十分に適用可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、偶発作用に対する既設RC部材の耐衝撃性向上策の一つとして新素材繊維(FRP)材料に着目し、RCはりを対象とした衝撃荷重載荷実験を実施するとともに、実験結果を適切に評価可能な解析手法の開発を行った。RCはりをFRP材料で補強することによって、耐衝撃性能が大きく向上することを実験的に確認するとともに、その挙動を適切に再現可能な解析手法を提案した。本研究成果は、RCはりのみではなく、2次元(RC床板など)部材や3次元構造(落石覆道など)への適用が可能となり、より安全で安心なインフラ整備の構築に大きく貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：In order to establish a numerical analysis method to provide an improved estimate of the dynamic response characteristics of reinforced concrete (RC) beams strengthened with Fiber Reinforced Plastics (FRP) materials under impact loading, a method using fictitious tensile strength of the concrete elements based on an equivalent tensile fracture energy concept (Gf) was proposed. Applying this concept for the concrete elements, an elasto-plastic dynamic response analysis of the RC beams under impact loading was carried out. The applicability of the method was investigated comparing with the experimental results. Here, the time histories of the mid-span deflection, and crack patterns occurred in the RC beams were used for this investigation. From this study, it was seen that the RC beams strengthened with FRP materials under impact loading can be better simulated using fine meshes with fictitious tensile strength for concrete elements following proposed Gf concept.

研究分野：構造工学，衝撃工学

キーワード：FRP補強 偶発(衝撃)作用 RC部材 数値解析 破壊エネルギー

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化等に起因する異常気象の発生に伴い、集中豪雨や強風・竜巻等による災害が多数発生している。特に、2014年8月20日に発生した広島土砂災害では、多くの尊い命が奪われるとともに多数の家屋が損壊した。また、北海道においても、2014年9月6日に国道228号において落石が発生し、車両1台が損傷するとともに人身事故に至った。このような状況下、国土交通省では「新たなステージに対応した防災・減災のあり方に関する懇談会」を立ち上げるなど、災害対策の見直しを推進している。また、土木学会「耐爆・耐衝撃設計法に関する調査研究小委員会」では、落石防護構造物および砂防ダムのあり方やそれらの合理的耐衝撃設計法の確立に向けた検討を鋭意進めている。これより、耐衝撃用途構造物の性能向上は、国民の安全安心な社会生活を支えるために解決すべき重要課題の1つであるものと考えられる。

現在、偶発（衝撃）荷重を受ける鉄筋コンクリート（RC）構造物の耐衝撃性向上法としては、緩衝材の設置により衝撃力を低減する方法の他、部材の引張力作用面に補強材を接着する方法がある。申請者らは、これまでRC部材の耐衝撃性向上法として、連続繊維（FRP）シート接着工法に着目し、同シートで曲げ補強したRCはりの静的および衝撃荷重実験を実施してきた。その結果、FRPシート補強を施すことにより、衝撃荷重によって生じる変形量やひび割れ幅を抑制可能であることを明らかにした。一方、終局時には曲げひび割れ開口部を起点にシートが破断する傾向にあることも確認された。しかしながら、この種の研究を実験的検討のみで実施するには多大な費用を要することより、実験的研究とともに数値解析的研究も実施し、効率的に推進する必要がある。本研究では、FRPシート補強RCはりの動的挙動と破壊性状を適切に評価可能な解析手法の確立に関して検討を行うものである。

### 2. 研究の目的

偶発作用時におけるFRP材料を用いて補強されたRC部材の動的（衝撃）挙動特性および終局状態を適切に評価可能な解析手法を確立することを最終目的とし、本研究では、FRPシートを接着することによって補強されたRCはりを対象に、3次元非線形動的応答解析を実施する。部材の耐衝撃挙動特性やひび割れの発生状況等を実験結果と比較し、その妥当性を検証するとともに、それらの部材の終局状況を適切に評価可能な手法の開発を試みる。

これらの数値解析的研究を推進するためには、1) コンクリートとFRP材の境界面のモデル化、2) 補強材の剥離あるいは破断の考慮、3) 要素分割長（要素長）による影響の考慮、等が重要となる。特に、ひび割れに起因する破断や剥離現象を詳細に再現するためには、ひび割れ分布を精度よく再現することが要求される。これらの問題点を解決するために、本研究では、コンクリート要素に引張破壊エネルギー等価の概念を導入し、ひび割れ分布を精度よく再現するとともに、FRP材の補強効果を適切に評価可能な解析手法を提案した。また、既往の研究に加えて補強量や載荷条件の異なるRCはりを対象とした衝撃荷重実験を実施することにより、それらの実験結果と提案手法による解析結果を比較することで、汎用性に関する検討も行っている。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、以下の項目について研究を実施した。

#### (1) 実験的検討

既往のFRP補強RCはりの形状寸法(図-1)を基本として、信頼性の高い解析手法の確立のために重要となる衝撃荷重実験を実施した。断面寸法が200×250mm(幅×高さ)、純スパンが3mのRCはりを対象に、シート補強量(目付量)を4種類(280, 415, 830, 1660 kg/m<sup>2</sup>)に変化させた全30体製作した。

実験は、質量300kgの鋼製重錘を用いた衝撃荷重実験および静的な耐荷性状を確認するための静荷重実験を実施した。衝撃荷重実験は、1) 重錘の落下高さを漸増させる繰り返し衝撃荷重実験、2) 重錘を一度だけ落下させる単一衝撃荷重実験、および3) 同一の高さから重錘を落下させる繰り返し衝撃荷重実験を実施した。実験は全93ケース実施した。

測定項目は、重錘に内蔵されたロードセルによる重錘衝撃力、支点反力、レーザー変位計を用いたスパン中央点のたわみ(変位)、およびシートの軸方向ひずみである。また、荷重点部に限定して秒速2,000コマの高速度カメラ撮影を行い、ひび割れの発生状況やFRPシートの剥離・破断性状を観察している。実験終了後に残留変

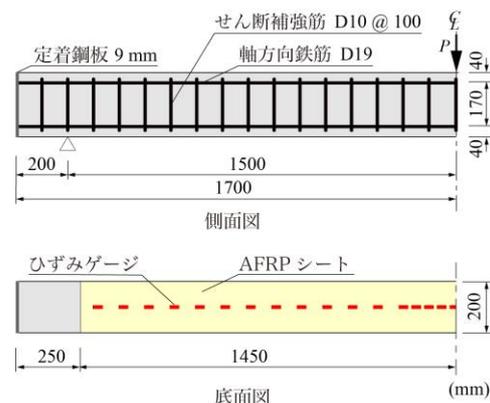


図-1 試験体の形状寸法



写真-1 実験状況

位を求めるとともに、ひび割れ分布も記録している。写真-1には、重錘落下衝撃荷重衝撃実験風景を示している。

## (2) 数値解析的検討

既往の無補強ならびにFRP補強RCはりの衝撃実験結果を対象に、弾塑性衝撃応答解析を実施した。図-2に数値解析に用いた有限要素モデルを示す。既往の実験結果によると、FRPシートとコンクリート界面の付着強度は、コンクリートの引張強度よりも大きく、シート剥離時にはコンクリートとともに剥落することが確認されている。これより、数値解析ではFRPシートとコンクリートは完全付着を仮定した。また、コンクリートのひび割れの評価に関しては、簡略化のために分散ひび割れを採用した。図-3にコンクリート、鉄筋ならびにFRPシートに適用した応力-ひずみ関係を示す。

無補強RCはりに関する実験結果の各種応答波形（重錘衝撃力、支点反力および荷重点変位）との比較によって、引張破壊エネルギー等価の概念を適用するための適切な要素分割長を探索し、結果として25 mmを同定した。一方、FRPシート補強RCはりの場合には、要素長を25 mmとすると、解析結果ではシートの補強効果を適切に評価できず、実験結果の変形を過大に評価するなどが確認された。これは、数値解析におけるひび割れ幅が実挙動よりも大きく評価されることに起因していることから、コンクリート要素に破壊エネルギー ( $G_f$ ) 等価の概念を適用し、要素長を無補強時よりも小さくし、その適用性の検討を行った。

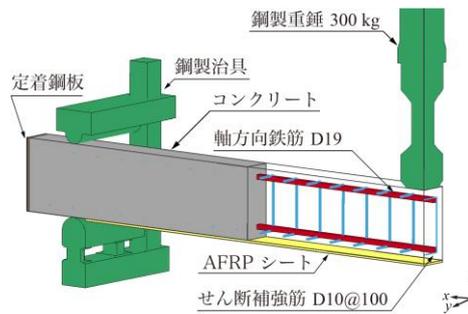


図-2 有限要素モデル

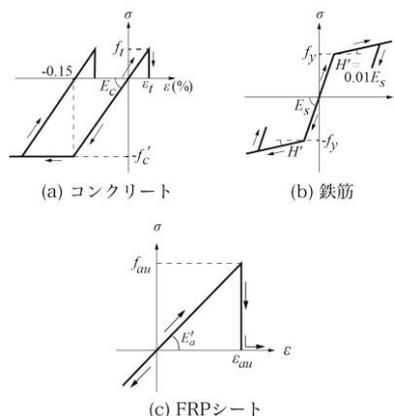


図-3 応力-ひずみ関係

## 4. 研究成果

### (1) 静載荷実験の結果

図-4には、静載荷実験より得られた荷重とスパン中央点変位の関係を示している。図より、シート補強を施すことにより、RCはりの静的耐力は大きく向上することが分かる。また、その効果はシート補強量が大きいほど顕著である。なお、いずれの場合もシートの剥離によって終局となることが分かる。

実験結果と解析結果を比較すると、シート補強量の小さい280, 415 g/m<sup>2</sup>の場合には、計算結果は計算終局時まで実験結果と概ね対応している。一方、補強量の大きい830, 1660 g/m<sup>2</sup>の場合には、実測最大耐力が計算耐力を下回っており、両者は一致していない。前者は上縁コンクリートが圧壊した後にシートが剥離することから「曲げ圧壊型」、後者は上縁コンクリートが圧壊する前にシートが剥離して終局に至っていることから「剥離破壊型」と分類され、既往の研究成果に基づく破壊形式推定法と対応した結果となった。

### (2) 衝撃荷重載荷実験の結果

図-5には、落下高さが2.5 mの場合における無補強および曲げ補強試験体の重錘衝撃力波形、支点反力波形、荷重点変位波形を比較して示している。なお、補強量280 g/m<sup>2</sup>の場合には2.5 mよりも低い落下高さでシートが破断したことより、結果の比較は行っていない。

(a)図より、重錘衝撃力波形は、補強の有無や補強量の大小によらず、振幅が大きく継続時間が1 ms程度の第1波に振幅が小さい第2波目が後続する性状を示していることが分かる。また、重錘衝突時から5 ms時点まで4試験体とも類似の波形性状を示している。これは、いずれの試験体も圧縮強度が同程度のコンクリートであることより、衝撃初期の重錘衝撃力波形は衝突部コンクリートの材料物性に依存していることを暗示している。

(b)図に示す支点反力波形は、継続時間が30~50 ms程度の主波動に高周波成分が合成された分布性状を示していることが分かる。また、補強量の増加に対応して試験体の曲げ剛性が增大することより、補強量が大きいほど継続時間は短くなる傾向にあることが読み取れる。

(c)図に示す荷重点変位波形は、いずれの試験体においても最大振幅を示す第1波が励起した後、減衰自由振動状態に至っていることが分かる。また、無補強およびシート補強試験体を比較

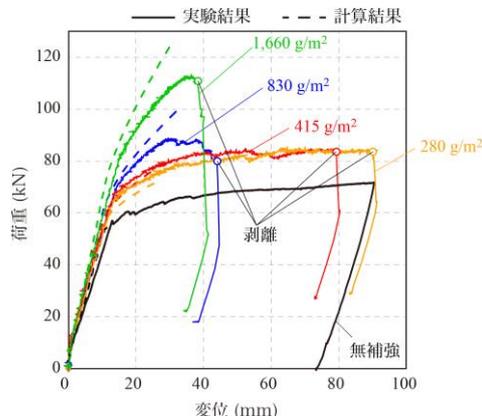


図-4 荷重-変位関係（静載荷実験）

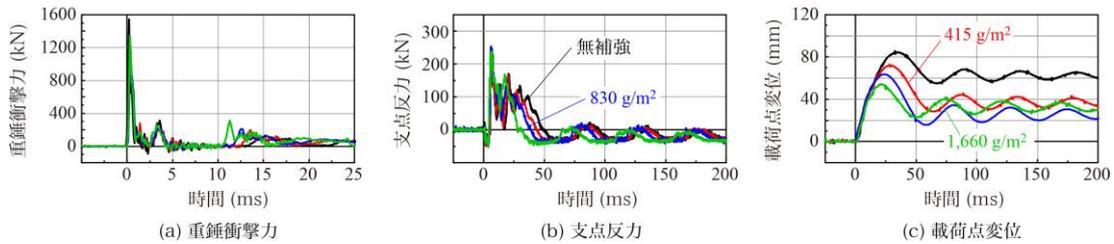


図-5 時刻歴応答波形の比較 (落下高さ 2.5 m)

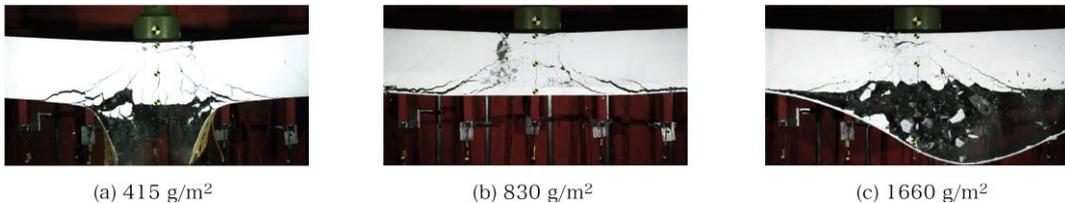


写真-3 重錘衝突後 40 ms における補強 RC はりの損傷状況 (落下高さ 3.0 m)

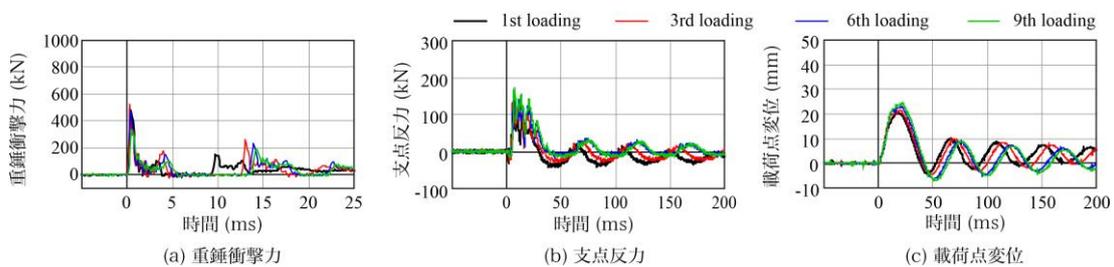


図-6 時刻歴応答波形の比較 (補強量  $415 \text{ g/m}^2$ , 繰り返し落下高さ 0.5 m)

すると、最大変位は補強量の増大に対応して減少しており、残留変位も抑制されていることが分かる。なお、落下高さ 3.0 m において  $415 \text{ g/m}^2$  ではシート破断、830、1660  $\text{g/m}^2$  ではシート剥離によって終局に至っている (写真-3 参照)。

図-6 には、補強量が  $415 \text{ g/m}^2$  における落下高 0.5 m の一定繰り返し载荷時における結果を示している。重錘衝撃力波形を見ると、9 回目载荷時における最大重錘衝撃力は、1 回目の場合の 1/2 程度に低下しており、繰り返し载荷回数が増えるにつれて最大値が小さくなる傾向があることが窺われる。支点反力波形に関しては、最大値は繰り返し回数に対応して大きくなる傾向にあるものの、主波動の継続時間は徐々に延びている。また、変位波形を見ると、最大変位は繰り返し载荷回数に対応して増加傾向が確認される。なお、一定繰り返し载荷の場合には、シートの剥離や破断は生じず、载荷点近傍の上縁コンクリートが圧壊して終局に至る結果となった。

### (3) 数値解析の結果

FRP 補強を対象に、無補強 RC はりで同定された基準長 (25 mm) を基本として、破壊エネルギー ( $G_f$ ) 等価の概念を適用して要素長を数種類に変化させた数値解析を実施し、要素長が各種応答波形に与える影響について検討した。

図-7 には、シート補強量  $830 \text{ g/m}^2$  の RC はりを例に落下高さの異なる単一载荷時の载荷点変位波形に関して、実験結果と解析結果を比較して示している。図より、無補強 RC はりで同定された基準要素長 25 mm の場合には、いずれの落下高さにおいても最大変位が実験結果よりも過大に評価されることが分かる。また、 $G_f$  を考慮しない要素長 6.25 mm の場合においても同様な傾向が確認される。一方、要素長 6.25 mm で  $G_f$  等価の概念を適用する場合には、いずれの落下高さにおいても最大変位および残留変位をほぼ適切に評価可能であることが分かる。

図-8 には、シートの軸方向ひずみに関する時系列分布について実験結果と解析結果を比較して示している。要素長 6.25 mm で  $G_f$  等価の概念を適用する場合の解析結果は、重錘衝突直後から最大変位到達時刻 (25 ms) に至るまで、実験結果のひずみ分布をよく再現していることが確認される。

図-9 には、漸増繰り返し衝撃载荷実験に関する検討として、補強量  $830 \text{ g/m}^2$  を例に変位波形とひび割れ分布を比較して示している。ここでは、初期落下高さ 2 m、繰り返し落下高さ 2.5 m の結果を示す。変位波形を見ると、いずれの落下高さにおいても解析結果は、実験結果と比較して最大変位を若干小さく評価する傾向が確認されるものの、その誤差は 10% 程度以内である。

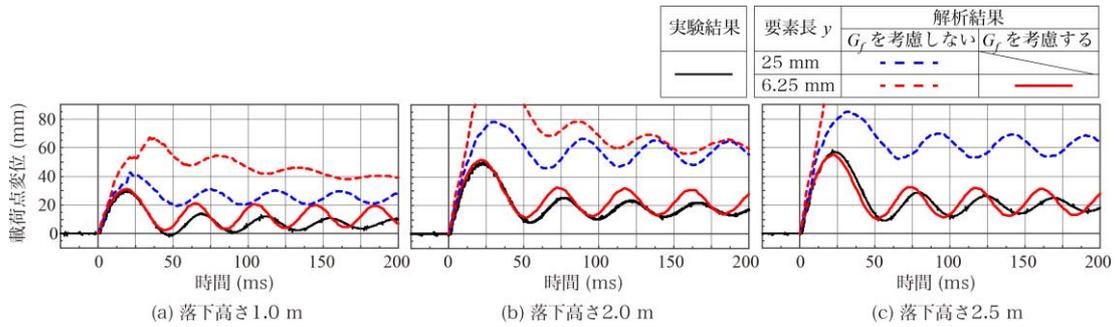


図-7 変位波形に関する実験結果と解析結果の比較 (補強量 830 g/m<sup>2</sup>, 単一載荷)

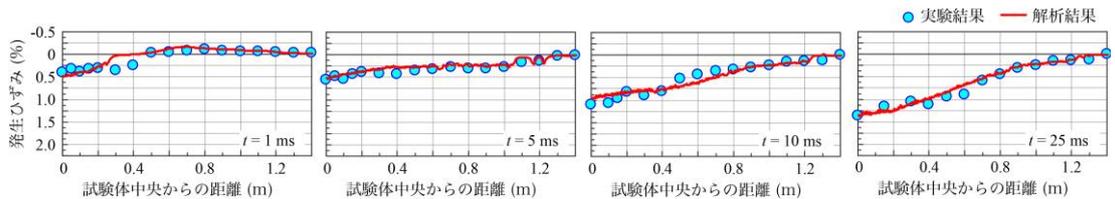


図-8 シート軸方向ひずみの時系列分布比較 (落下高さ 3.0 m, 補強量 830 g/m<sup>2</sup>)

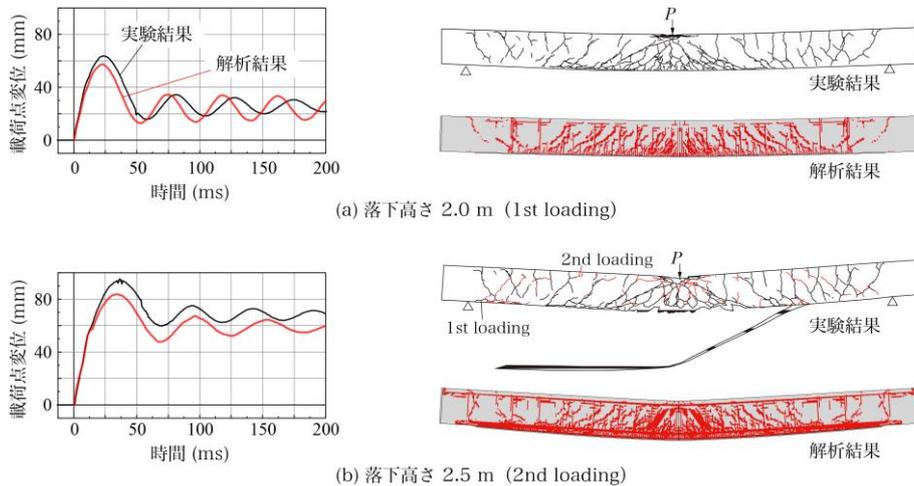


図-9 漸増繰り返し載荷実験における実験結果と解析結果の比較 (補強量 830 g/m<sup>2</sup>)

また、ひび割れ図を見ると、1回目載荷時の解析結果では、実験結果よりもひび割れを示す赤色領域が若干広く分布しているものの、曲げひび割れや斜めひび割れなどをよく再現しており、実験結果と対応している。2回目載荷時に着目すると、実験結果では全体のひび割れがさらに進展するとともに、はりの下縁においてかぶりコンクリートとともにシートが剥離に至り終局に至っていることが確認される。解析結果においても同様にひび割れの範囲が増大し、かつはり下縁にシートに沿うようにひび割れが拡大している。これは、シートに引張応力が伝達されていない現象を示しており、数値解析的にシートの剥離現象を評価できるものと判断した。

表-1には、補強量 830 g/m<sup>2</sup>におけるシートの剥離状況に関する実験結果と解析結果を比較して示している。実験結果と解析結果ともに、同一条件下においてシート剥離によって終局に至っており、解析結果は実験結果の終局状況を適切に再現できることが分かる。

以上より、 $G_f$ 等価の概念を適用し要素長を6 mm程度とすることにより、種々の衝撃載荷荷重条件下におけるシート補強RCはりの耐衝撃挙動(各種応答波形、シートの軸方向ひずみ、ひび割れ分布)や破壊形式を適切に評価できることが明らかになった。今後は、2次元部材や3次元構造物への適用性を検討したいと考えている。

表-1 漸増繰り返し載荷実験に関するシート剥離現象の実験結果と解析結果の比較

	試験体 A			試験体 B		試験体 C	
	1.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0
落下高さ (m)							
実験結果	○	○	×	○	×	○	×
解析結果	○	○	×	○	×	○	×

補強量: 830 g/m<sup>2</sup>, ○: 健全, ×: シート剥離

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 栗橋祐介	4. 巻 40
2. 論文標題 AFRPシート下面接着曲げ補強RC梁の衝撃応答解析	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 715-720
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 Komuro, M., Kurihashi, Y., Kawarai, T., Kishi, N.	4. 巻 327
2. 論文標題 Numerical Simulation of AFRP Rod NSM RC Beams under Falling-weight Impact Loading	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACI Special Publication	6. 最初と最後の頁 17.1-17.14
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 KOMURO Masato, KAWARAI Tomoki, KISHI Norimitsu, KURIHASHI Yusuke	4. 巻 74
2. 論文標題 Applicability of proposed impact response analysis method for RC beams strengthened with NSM-AFRP rods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))	6. 最初と最後の頁 I_315 ~ I_326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejam.74.I_315">https://doi.org/10.2208/jscejam.74.I_315</a>	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 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 三上浩, Sinh Le Huy	4. 巻 65A
2. 論文標題 衝撃荷重載荷時における AFRP シート接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式に関する実験的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 構造工学論文集 A	6. 最初と最後の頁 901 ~ 911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11532/structcivil.65A.901">https://doi.org/10.11532/structcivil.65A.901</a>	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 岸徳光, 小室雅人, 瓦井智貴, 三上浩	4. 巻 65A
2. 論文標題 繰り返し衝撃荷重載荷時における AFRP シート接着曲げ補強 RC 梁の耐衝撃挙動に関する実験的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 構造工学論文集 A	6. 最初と最後の頁 964 ~ 974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11532/structcivil.65A.964">https://doi.org/10.11532/structcivil.65A.964</a>	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 Kishi, N., Komuro, M., and Mikami, H.	4. 巻 5
2. 論文標題 Falling-weight impact test of FRP rods NSM RC beams	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 5th International Conference on Protective Structures	6. 最初と最後の頁 61-67
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 Kawarai, T., Komuro, M., Kishi, N., and Kurihashi, Y.	4. 巻 5
2. 論文標題 Impact response analysis of RC beams strengthened with NSM-AFRP rods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 5th International Conference on Protective Structures	6. 最初と最後の頁 102-107
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 Komuro, M., Kishi, K., Kawarai, T. and Mikami, H.	4. 巻 7
2. 論文標題 An effect of mesh size in FE analysis on impact response behaviour of flexurally reinforced RC beams with FRP material sheet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 7th International Conference on Protection of Structures Against Hazards (PSH2018)	6. 最初と最後の頁 303-312
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 Kishi, N., Komuro, M., and Mikami, H.	4. 巻 7
2. 論文標題 Falling-weight impact tests of RC beams flexurally reinforced with CFRP sheet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 7th International Conference on Protection of Structures Against Hazards (PSH2018)	6. 最初と最後の頁 157-164
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 田野順也, 岸徳光, 小室雅人, 瓦井智貴, Le Huy Sinh, 三上浩	4. 巻 75
2. 論文標題 目付量415g/m <sup>2</sup> AFRPシート曲げ補強RC梁の繰り返し衝撃荷重載荷実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成30年度土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 A-33
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 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 田口将大	4. 巻 75
2. 論文標題 目付415g/m <sup>2</sup> AFRPシート下面接着曲げ補強RC梁の繰り返し衝撃荷重載荷時の衝撃応答解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成30年度土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 A-48
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 瓦井智貴, 小室雅人, 栗橋祐介, 岸徳光	4. 巻 74
2. 論文標題 引張破壊エネルギー等価の概念を適用したAFRPシート下面接着曲げ補強RC梁の衝撃応答解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 A-15
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 小室雅人, 瓦井智貴, 栗橋祐介, 岸徳光	4. 巻 74
2. 論文標題 AFRPロッドで下面埋設曲げ補強したRC梁の衝撃応答解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会北海道支部論文報告集	6. 最初と最後の頁 A-16
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 Kawarai, T. and Komuro, M.	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamic response analysis for RC beams strengthened with Near-Surface Mounted AFRP rods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Joint Seminar on Environmental Science and Disaster Mitigation Research 2018	6. 最初と最後の頁 81-82
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 瓦井智貴, 岸徳光, 小室雅人, 栗橋祐介	4. 巻 39
2. 論文標題 AFRPロッドで曲げ補強したRC梁の衝撃応答解析	5. 発行年 2017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 583-588
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 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 田野順也, 小室雅人, 岸徳光, 三上浩
2. 発表標題 補強量を変化させたAFRPシート下面接着曲げ補強RC梁の重錘落下衝撃実験
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 三上浩
2. 発表標題 AFRPシート接着曲げ補強RC梁の衝撃応答解析における構成則に関する一検討
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kishi, N., Komuro, M. and Mikami, H.
2. 発表標題 Falling-weight impact test of FRP rods NSM RC beams
3. 学会等名 5th International Conference on Protective Structures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawarai, T., Komuro, M., Kishi, N. and Kurihashi, Y.
2. 発表標題 Impact response analysis of RC beams strengthened with NSM-AFRP rods
3. 学会等名 5th International Conference on Protective Structures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Komuro, M., Kishi, N., Kawarai, T. and Mikami, H.
2. 発表標題 An effect of mesh size in FE analysis on impact response behaviour of flexurally reinforced RC beams with FRP material sheet
3. 学会等名 7th International Conference on Protection of Structures Against Hazards (PSH2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kishi, N., Komuro, M., Kawarai, T. and Mikami, H.
2. 発表標題 Falling-weight impact tests of RC beams flexurally reinforced with CFRP sheet
3. 学会等名 7th International Conference on Protection of Structures Against Hazards (PSH2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瓦井智貴
2. 発表標題 AFRPロッド下面埋設補強RC梁に関する衝撃応答解析手法の妥当性検討
3. 学会等名 第21回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 栗橋祐介
2. 発表標題 AFRPシートを用いて下面接着曲げ補強を施したRC梁の衝撃応答解析
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小室雅人, 瓦井智貴, 岸徳光, 栗橋祐介
2. 発表標題 AFRPロッドを用いて下面埋設曲げ補強を施したRC梁の衝撃応答解析
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 栗橋祐介
2. 発表標題 CFRPロッドを下面埋設したRC梁の耐衝撃挙動に関する数値解析的検討
3. 学会等名 土木学会第72回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Komuro, M., Kurihashi, Y., Kawarai, T., Kishi, N.
2. 発表標題 Numerical simulation of AFRP rod NSM RC beams under falling-weight impact loading
3. 学会等名 13th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	栗橋 祐介  (Kurihashi Yusuke)  (30414189)	金沢大学・大学院工学研究科・准教授   (13301)	
研究分担者	岸 徳光  (Kishi Norimitsu)  (30153076)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・特任教授   (10103)	