

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420451

研究課題名(和文) 衝撃的外力により損傷した鉄筋コンクリート部材の耐衝撃性向上法に関する研究

研究課題名(英文) Study on upgrading method of impact resistant capacity for damaged RC member due to impact loading

研究代表者

栗橋 祐介 (KURIHASHI, Yusuke)

室蘭工業大学・工学研究科・講師

研究者番号：30414189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、衝撃的外力により損傷した鉄筋コンクリート(RC)部材の耐衝撃性向上法の確立を目的に、連続繊維(FRP)シート接着工法に着目し、その耐衝撃性向上効果を検討した。実験は、緩衝材の有無、シート補強の有無、損傷載荷レベルなどを変化させて行った。その結果、1) 衝撃的外力により損傷したRC梁の耐衝撃性は、FRPシート接着工法により向上可能である、2) RC梁の載荷点変位は、補強の有無や損傷の有無によらず、重錘落下による入力エネルギーの増加に比例して増大することなどが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：To establish the upgrading method of impact resistant capacity for damaged RC member due to impact loading, falling-weight impact loading tests for flat RC beams strengthened with Fiber Reinforced Polymer (FRP) sheet bonding method were conducted taking with/without cushion layer, with/without FRP sheet bonding, damage level before strengthening as variables. From these experiments, the following results were obtained: 1) impact resistant capacity of the flat RC beams damaged due to impact loading can be upgraded applying an AFRP sheet bonding method; and 2) the maximum deflection of RC beam can be linearly increased corresponding to an increment of input impact energy, irrespective of with/without cushion layer and with/without applying AFRP sheet bonding.

研究分野：構造工学

キーワード：RC梁 FRPシート 衝撃載荷実験 損傷載荷レベル 入力エネルギー 耐衝撃性 応答変位

1. 研究開始当初の背景

近年、既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の老朽化や新設計活荷重の増大による耐力不足などがその安全性低下を招いており、大きな社会問題となっている。このような状況は、落石防護構造物や壁高欄などの衝撃的外力を受ける構造物においても同様である (写真 - 1)。



写真 - 1 落石災害事例

例えば、ロックシェッドの場合には、岩盤の凍結融解・乾湿の繰返し作用や地震による劣化損傷によって、設計当時よりも落石規模が増大しているケースが多い。また、壁高欄においても、車両重量の増加に伴い、耐衝撃性の向上が求められている。安全な社会基盤設備を国民に提供するためには、耐衝撃用途の既設 RC 構造物の性能向上が急務である。

これまでの研究では、耐衝撃用途構造物としてロックシェッドに着目し、その頂版部を模擬した扁平 RC 梁を対象に、緩衝材の有無やアラミド製連続繊維 (AFRP) シート補強の有無を変化させた衝撃載荷実験を実施してきた。しかしながら、衝撃荷重により損傷した RC 梁を対象とした AFRP シート補強効果に関しては実施されていないのが現状であった。ロックシェッドに代表される既設耐衝撃用途構造物を安全に維持管理するためには、落石等により損傷した場合を想定しシート接着工法の補強効果を検討することが重要であるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、衝撃的外力による損傷度合いの異なる扁平 RC 梁を対象に AFRP シート曲げ補強による耐衝撃性向上効果を重錘落下衝撃実験により検討した。また、既往の緩衝材の有無や AFRP シート補強の有無に関する実験結果を含めて、ロックシェッド頂版部の合理的な耐衝撃性向上法や補強設計法の提案に向けた検討を行った。

3. 研究の方法

試験体は、断面寸法 (幅×高さ) が 450×150 mm の扁平断面を有する複鉄筋 RC 梁であり、一般的な RC 製ロックシェッド頂版部の 1/5 縮小模型である。試験体の配筋状況は、

実構造物と同様に、上縁鉄筋量が下縁鉄筋量の 50% 程度となるように設定した。すなわち、上下縁でそれぞれ D10、D13 を 4 本ずつ用い 120 mm 間隔で配置した (図 - 1)。

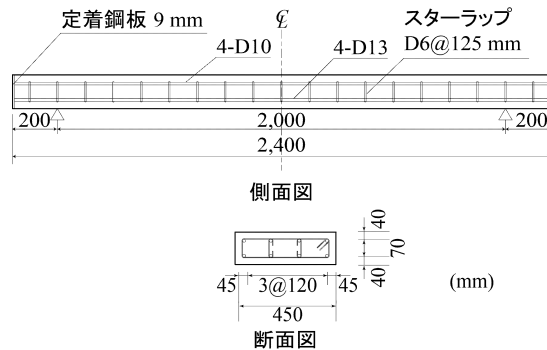


図 - 1 試験体の概要

試験体数は、補強の有無、緩衝材の有無、重錘落下高さ、補強前の損傷載荷条件を変化させた 25 体である。損傷載荷後には AFRP シート補強を行い、緩衝材を設置して衝撃載荷実験を行っている。補強材には目付量 830 g/m² の AFRP シートを用いた。なお、AFRP シートの補強量は、衝撃載荷時においてもシートが破断とならないように、既往の実験結果を参考にして、市販のアラミド繊維シートから適切な目付量のシートを選定して決めた。

静載荷実験は梁幅方向に 450 mm、梁長さ方向に 100 mm の載荷板をスパン中央部に設置し、容量 500 kN の油圧ジャッキを用いて載荷した。衝撃載荷実験は、質量 300 kg、先端直径 200 mm の鋼製重錘を所定の高さから RC 梁のスパン中央部に一回のみ自由落下させて行った。緩衝材を設置するケースにおいては、後述するように厚さ 200 mm の敷砂を設置した。重錘底部は、2 mm のテーパを有する球面状となっている。RC 梁は、浮き上がり防止治具付きの支点上に設置しており、支点部の境界条件はピン支持に近い状態になっている (写真 - 2)。

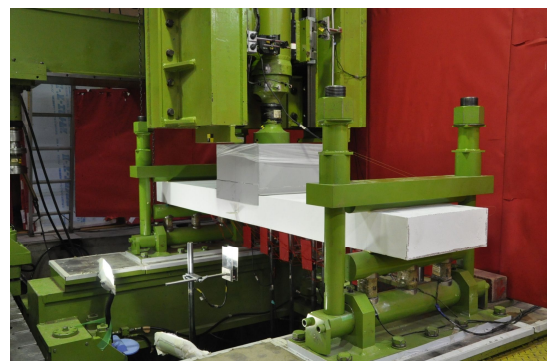


写真 - 2 衝撃実験状況

RC 梁の終局状態は、残留変位量が純スパン長の 2% 程度に達した状態とし、AFRP シ

ート補強を行った場合についてはシートが剥離または破断に至った状態と定義した。

測定項目は重錘衝撃力(静的の場合は載荷荷重) P ，両支点の合支点反力(以後，支点反力) R ，載荷点変位，重錘移動量 D である。

損傷載荷は，無補強の RC 梁に対して，緩衝材の有無や重錘落下高さを変化させて行った。損傷載荷時の落下高さは，RC 梁の残留変位が純スパンの 2% (= 40 mm) 程度以下になるように設定した(図 - 2)。

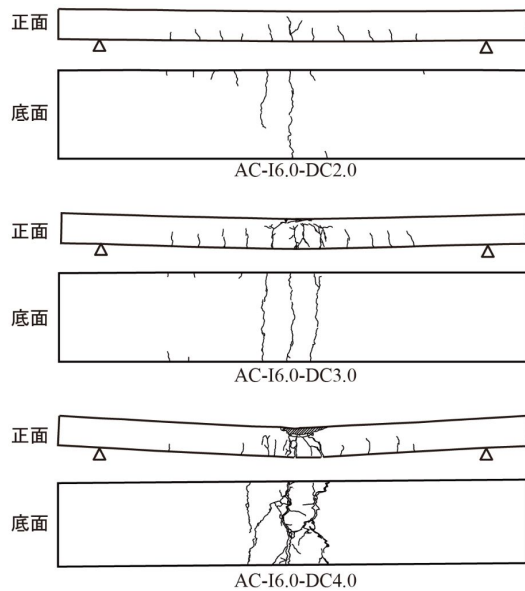


図 - 2 損傷載荷後のひび割れ状況

損傷載荷を行った RC 梁の補修は，長期耐久性に対して有害であるとされるひび割れ幅 0.2 mm 以上のひび割れ部を対象にひび割れ注入材としてエポキシ樹脂を注入することにより行っている(写真 - 3)。



写真 - 3 ひび割れ注入状況

AFRP シートの接着は，梁底面のプラスト処理面(処理深さ 1 mm 程度)にプライマーを塗布し，指触乾燥状態にあることを確認した後，含浸接着樹脂を用いて実施した。損傷載荷試験体のプラスト処理は作業性等を考慮し，損傷載荷前にあらかじめ実施している(写真 - 4)。



写真 - 4 シート接着状況

4. 研究成果

1) 無補強および AFRP シート補強した試験体の載荷点変位波形より，無補強の場合には最大変位到達後，変位が残留しているのに対し，シート補強試験体の場合には最大変位は無補強の場合よりも小さく，かつ残留変位はほぼ零であることが分かる。このことから，AFRP シート補強により応答変位が効果的に抑制されていることが分かる(図 - 3)。

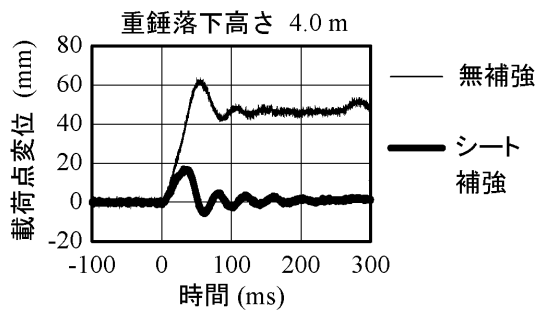


図 - 3 載荷点変位波形
(補強の有無の比較)

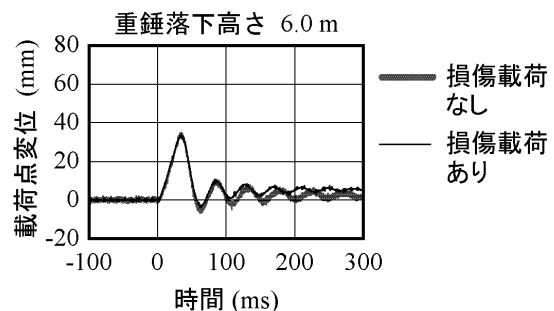
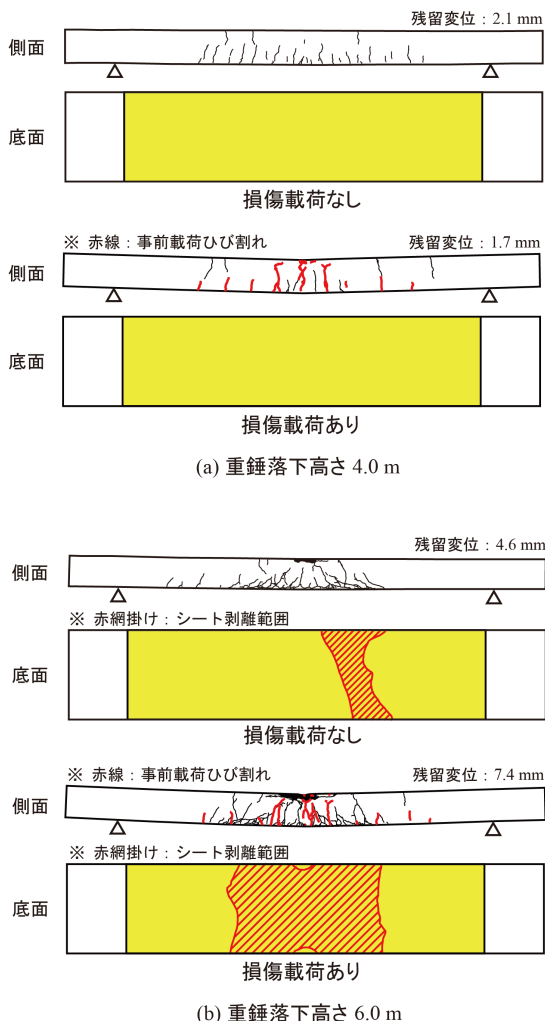


図 - 4 載荷点変位波形
(損傷載荷の有無の比較)

2) 損傷載荷の有無が異なるシート補強試験体の載荷点変位波形より，損傷載荷の有無によらずほぼ同様の波形性状を示していることが分かる。このような傾向は損傷載荷レベルが異なる場合においても同様

であった。このことから、シート補強前における損傷載荷時に上縁コンクリートが圧壊する程度まで損傷した場合においても、シート接着による扁平 RC 梁の耐衝撃性向上効果を期待できることが明らかになった(図 - 4)。



- 3) 衝撃載荷後におけるひび割れ分布より、損傷の有無による影響を比較検討すると、設定落下高さ $H = 4.0\text{ m}$ の場合には、損傷を有する DA-H4.0 試験体の場合は A-H4.0 試験体よりもひび割れの本数が少なく、その開口幅は大きいことが分かる。また、事前載荷時に発生したひび割れと異なる位置にひび割れが発生している。これは、ひび割れ注入により、事前載荷時のひび割れが確実に補修されたため、本載荷時にはこれら以外の部位にひび割れが発生する傾向にあったためと考えられる。なお、底面においてシートの浮きや剥離は全く見られなかった。
- 設定落下高さ $H = 6.0\text{ m}$ の場合には $H = 4.0\text{ m}$ と同様に損傷を有する DA-H6.0 試験体の方が A-H6.0 試験体よりもひび割れ本数が少なく、また、事前載荷ひび割れ以外の

部位に本載荷時のひび割れが発生している。なお、上縁コンクリートの圧壊の程度やシートの剥離範囲は A-H6.0 試験体の場合よりも大きい。これは、事前載荷で純スパンの 1% 程度の残留変位が生じ、上縁コンクリートにもひび割れ等の損傷が生じるなど、初期損傷の影響を受けたためと考えられる。

このように、シート補強前の損傷がある場合には、ひび割れが載荷点近傍に集中する傾向にある。なお、ひび割れ注入により補修された初期ひび割れの衝撃載荷による開口は見られないことより、ひび割れ注入はひび割れ開口に伴うシート剥離や破断の抑制に寄与したものと考えられる(図 - 5)。

- 4) RC 梁の残留変位は、補強の有無によらず入力エネルギーの増加に伴って線形に増加する。緩衝材がある場合の増加勾配は、緩衝材がない場合の増加勾配よりも小さくなる傾向にあり、さらにシート補強することによりその増加勾配は大幅に低減される。ただし、衝撃荷重により損傷した RC 梁を補強する場合には、残留変位が多少大きく増加する傾向にある(図 - 6)。

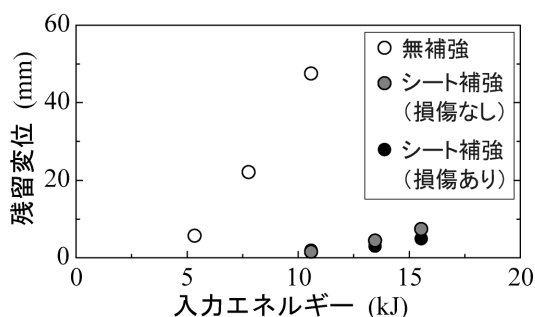


図 - 6 残留変位

- 5) 最大変位や残留変位が入力エネルギーと直線関係にあることから、緩衝材を設置する場合や AFRP シート補強する場合においても、既往の設計概念を準用して耐衝撃設計法を構築できる可能性があるものと考えられる。ただし、衝撃荷重により損傷を受けた RC 梁をシート補強する場合には、無損傷の場合よりも変形量が大きくなる傾向にあることをシート補強量の選定などにおいて考慮する必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

佐藤元彦, 栗橋祐介, 三上 浩, 岸 徳光: AFRP および PFRP シートで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝撃実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 2, pp. 1153-1158, 2015.7, 査読有

栗橋祐介, 三上 浩, 今野久志, 佐藤元彦, 岸 徳光: AFRP シート曲げ補強した RC 梁のシート破断抑制法に関する実験的研究,

構造工学論文集, Vol. 62A, pp 1043-1052, 2016.3, 査読有

栗橋祐介, 今野久志, 三上 浩, 酒井啓介, 岸 徳光: 損傷度の異なる扁平 RC 梁の AFRP シート接着による耐衝撃性向上効果, 構造工学論文集, Vol. 63A, pp.1177-1187, 2017.3, 査読有

酒井啓介, 栗橋祐介, 今野久志, 岸 徳光: 扁平 RC 梁の耐衝撃挙動に及ぼす敷砂緩衝材の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 2, pp. 787-792, 2016.7, 査読有

栗橋祐介, 今野久志, 三上 浩, 岸 徳光: 衝撃荷重により損傷した扁平 RC 梁の AFRP シート曲げ補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 2, pp. 763-768, 2016.7, 査読有

Y. Kurihashi, H. Mikami, M. Komuro, and N. Kishi, "Effect of Sheet Volume on Impact Resistant Capacity of RC Beam Strengthened with AFRP Sheet", Proceedings of the 7th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2016), HongKong, China, 14-16 December, 2016, 査読有

Y. Kurihashi, H. Kon-No, H. Mikami, and N. Kishi, "Falling-weight impact tests of flexural strengthened RC beams with AFRP sheet", Proceedings of PROTECT2015, pp. 636-642, East Lansing, USA, 28-30 June, 2015, 査読有

その他, 査読無し論文 6 件

[学会発表](計 13 件)

Yusuke Kurihashi: Falling-weight impact tests of flexural strengthened RC beams with AFRP sheet, PROTECT2015, 2015.6.30, Michigan, USA

佐藤元彦: AFRP および PFRP シートで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝撃実験, コンクリート工学年次大会 2015, 2015.7.14, 千葉

栗橋祐介: 敷砂緩衝材を設置した扁平 RC 梁の耐衝撃挙動, 平成 27 年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 2016.1.30, 札幌

酒井啓介: 衝撃荷重載荷により損傷した扁平 RC 梁に対する AFRP シート接着補強効果, 平成 27 年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 2016.1.30, 札幌

栗橋祐介: AFRP シート下面接着した扁平 RC 梁の重錘落下衝撃実験, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.9.16, 岡山

佐伯侑亮: 扁平 RC 梁の耐衝撃挙動に及ぼす敷砂緩衝材の影響, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.9.16, 岡山

栗橋祐介: AFRP シート曲げ補強した RC 梁のシート剥離抑制法に関する実験的研究, 第 62 回構造工学シンポジウム(土木部門),

2016.4.23, 東京

栗橋祐介: 衝撃荷重により損傷した扁平 RC 梁の AFRP シート曲げ補強効果, コンクリート工学年次大会 2016, 2016.7.7, 福岡
酒井啓介: 扁平 RC 梁の耐衝撃挙動に及ぼす敷砂緩衝材の影響, コンクリート工学年次大会 2016, 2016.7.7, 福岡

栗橋祐介: 損傷度の異なる扁平 RC 梁の AFRP シート接着による耐衝撃性向上効果, 第 63 回構造工学シンポジウム(土木部門), 2017.4.23, 札幌

酒井啓介: 損傷度の異なる扁平 RC 梁の AFRP シート補強による耐衝撃性向上効果, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2014.9.8, 仙台

酒井啓介: AFRP シート接着工法を施した損傷度の異なる扁平 RC 梁の耐衝撃性, 平成 28 年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 2017.2.4, 北見

Y. Kurihashi: shi, "Effect of Sheet Volume on Impact Resistant Capacity of RC Beam Strengthened with AFRP Sheet", Proceedings of the 7th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2016), HongKong, China, 14-16 December, 2016

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗橋 祐介 (KURIHASHI Yusuke)
室蘭工業大学・工学研究科・講師
研究者番号: 30414189

(2) 研究分担者

小室 雅人 (KOMURO Masato)
室蘭工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 10270183

岸 徳光 (KISHI Norimitsu)
釧路工業高等専門学校・校長
研究者番号: 30153076