

PCM-CFグリッド工法により補強したRC梁の耐衝撃性 に関する基礎検討

玉井, 宏樹
九州大学大学院工学研究院社会基盤部門 : 准教授

Munkhbayar, Erdenechuluun
九州大学工学部土木工学科 : 学士課程

SENE SAVATH, Souphavanh
九州大学大学院工学府土木工学専攻 : 博士課程

園田, 佳巨
九州大学大学院工学研究院社会基盤部門 : 教授

<https://hdl.handle.net/2324/7182192>

出版情報 : 2024-01. Japan Society of Civil Engineers
バージョン :
権利関係 :



PCM-CF グリッド工法により補強した RC 梁の耐衝撃性に関する基礎検討

Basic study on impact resistance of RC beams reinforced by PCM-CF grid method

玉井宏樹*, Erdenechuluun Munkhbayar**, Souphavanh SENESAVATH***, 園田佳巨****
Hiroki Tamai, Erdenechuluun Munkhbayar, Souphavanh SENESAVATH, Yoshimi Sonoda

*博 (工), 九州大学大学院准教授, 工学研究院社会基盤部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

**九州大学学士課程学生, 工学部土木工学科 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

***九州大学大学院博士課程学生, 工学府土木工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

****工博, 九州大学大学院教授, 工学研究院社会基盤部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

キーワード: 落錘式衝撃実験, 耐衝撃補強, PCM, CF グリッド, RC 梁

Key Words: weight-falling impact test, impact strengthening, PCM, CF grid, RC beam

1. はじめに

我が国を取り巻く環境について概観すると, 近年, 衝撃的な荷重の作用を含む自然災害が数多く発生しており, それらは頻発化・激甚化の傾向もみられる¹⁾。また, 一方で, 道路橋に代表されるインフラ施設の経年劣化が問題となっており, それは衝撃荷重の作用が想定される防護構造物にとっても重要な問題であると言える。上記の背景を踏まえると, 今後, 安心して安全なまちづくりを実現するためには, 経年劣化による防護構造物の性能低下, また, 想定以上の作用に対する防護構造物の性能向上を適切に把握し, その策について提案して必要がある。本研究は, 後者をターゲットとしており, 特に防護構造物の主要な構成要素である鉄筋コンクリート梁 (以降, RC 梁) に着目し, その耐衝撃性を向上させるための補強工法について検討したものである。

高強度で耐久性に優れ, かつ施工性も良好な, 連続繊維補強材を用いた補修・補強工法が一般的に多く用いられており, RC 梁の耐衝撃性向上を目的とした補強工法についても, 既に多くの研究^{2) 3)}がなされてきている。著者らも, 過去に, 施工性を重視した炭素繊維シートと繊維補強セメント板を用いた複合板による RC 梁や版の耐衝撃補強効果について検討してきた⁴⁾。また, 導水路トンネルやボックスカルバートの補強工法として, CFRP グリッド (以降, CF グリッド) を配置し, ポリマーセメントモルタル (以降, PCM) を吹き付けて一体化する工法 (以後, PCM-CF グリッド工法) について研究してきた⁵⁾が, その中で, CF グリッドの筋断面積の調整で高剛性と可撓性のバランスを保て, かつ, 吹き付け工法による施工の容易さから, 本工法の耐衝撃補強用途への適用について検討するに至った。

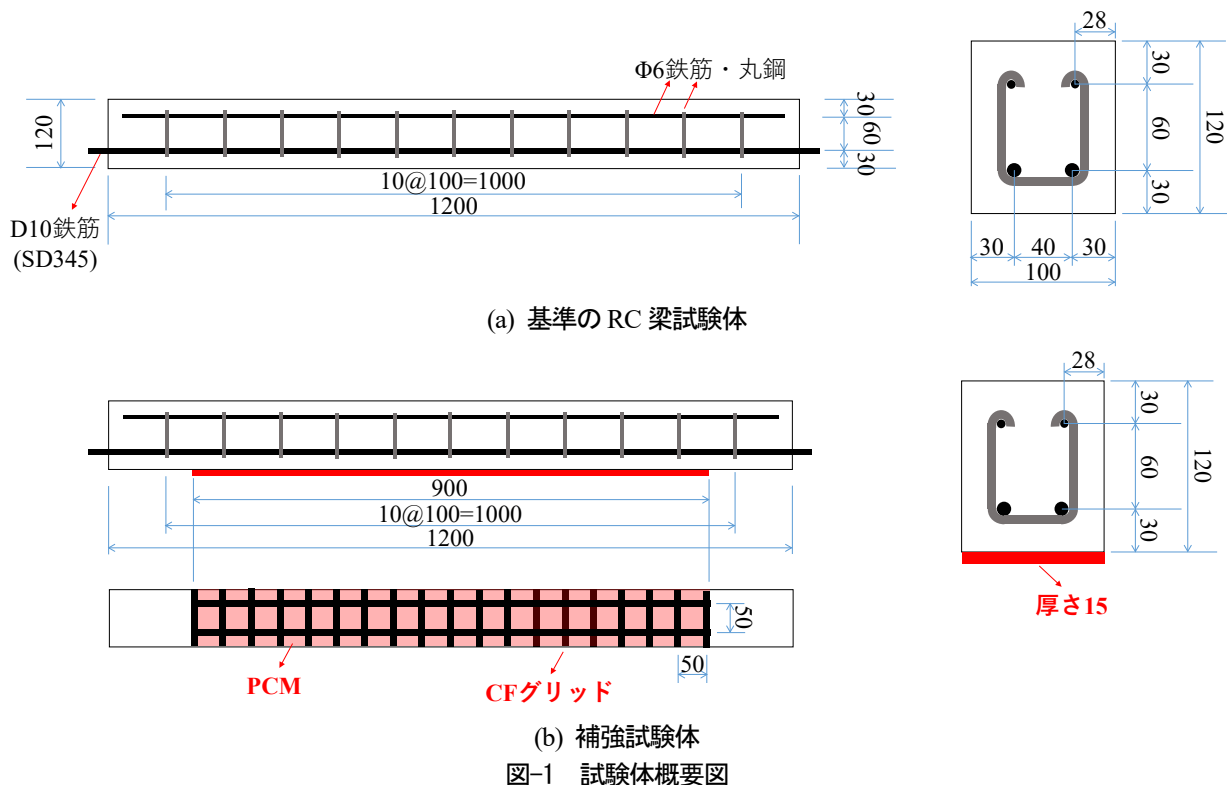
そこで, 本研究では, PCM-CF グリッド工法で補強した曲げ破壊型 RC 梁の落錘式衝撃実験を実施し, 未補強の基準 RC 梁試験体との比較, また, 筋断面積の異なる 2 種類の CF グリッドの補強効果の比較を行い, 本工法の耐衝撃補強用途への適用について基礎検討を実施した。なお, 本稿には一連の実験のうち現時点で得られている実験結果の速報を示したものである。

2. 実験概要

2.1 対象とする供試体

本研究で対象とした基準となる RC 梁試験体の寸法および配筋を図-1(a) に示す。試験体は幅 100mm, 高さ 120mm の複鉄筋矩形断面を有する長さ 1200mm の RC 梁である。引張鉄筋には D10(SD295A) を 2 本, 圧縮鉄筋には $\phi 6$ (無規格) を 2 本, せん断補強鉄筋には $\phi 6$ (無規格) を使用した。せん断補強筋の配置間隔は 100mm である。せん断余裕度は 2.46 であり, 曲げ破壊が先行するように断面設計を行った。なお, 試験体は全て同じ材料で同時に作製し, JIS に基づき測定した載荷試験時のコンクリートの圧縮強度と静弾性係数はそれぞれ 57.4MPa と 35.4GPa であった。

図-1(b) に補強試験体の概要図を示す。補強試験体は, 図-1(a) に示す基準試験体の底部にエポキシ系プライマーを塗布した後, CF グリッドを設置し, その後, PCM を左官工法により所定の厚さ (15mm) になるように施工したものである。なお, 現在製造されているグリッドの種類は筋 1 本当りの断面積により分類されており, 本研究においては, CR-4 (断面積 6.6cm²) と CR-8 (断面積 26.4cm²) の 2 種類の仕様を採用した。なお, CR-4 は低剛性で可撓性に優れている一方, CR-8 は CR-4 に比べ

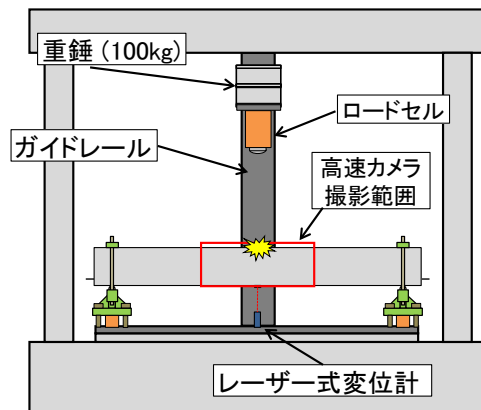


ると高剛性であり、補強仕様が耐衝撃性に及ぼす影響を検討するため、この2つの仕様を用いた。また、試験時のPCMの圧縮強度は72.9MPaであった。

2.2 荷重方法および計測方法

本研究では、落錘式衝撃試験装置を用いて重錘落下衝撃試験を実施した。図-2に落錘式衝撃試験装置の概要ならびに試験体設置状況を示す。本試験装置ではガイドレールにより、自由落下挙動時や衝突時の鋼製重錘の偏心を防止できるようになっている。荷重条件としては質量100kgの鋼製重錘をスパン中央に所定の高さより自由落下させるものとし、供試体を固定する支持具は回転を許容し、衝突による供試体の跳ね上がりを防止するために供試体の上下をクランプすることによって固定している。重錘の衝突条件は、処女荷重速度を1.0m/sとし、その後、0.5m/s刻みで漸増繰返し衝突させ、終局に至るまで実施した。なお、本研究における終局は累積残留変位が供試体の純スパンの1%である10mmに到達したとき、かつ、衝突部のコンクリートが著しく圧壊したときとした。

本試験の測定項目は重錘衝撃力、スパン中央の鉛直変位、供試体のひび割れ発生状況である。測定方法について、衝撃力は重錘側に取り付けられたロードセル、変位はレーザー式変位計、ひび割れ発生状況は高速度カメラ（撮影速度1000fps）を用いた。なお、本稿においては、重錘衝撃力波形や鉛直変位波形の各応答値、また、ひび割れ分布など破壊形式について考察することとした。

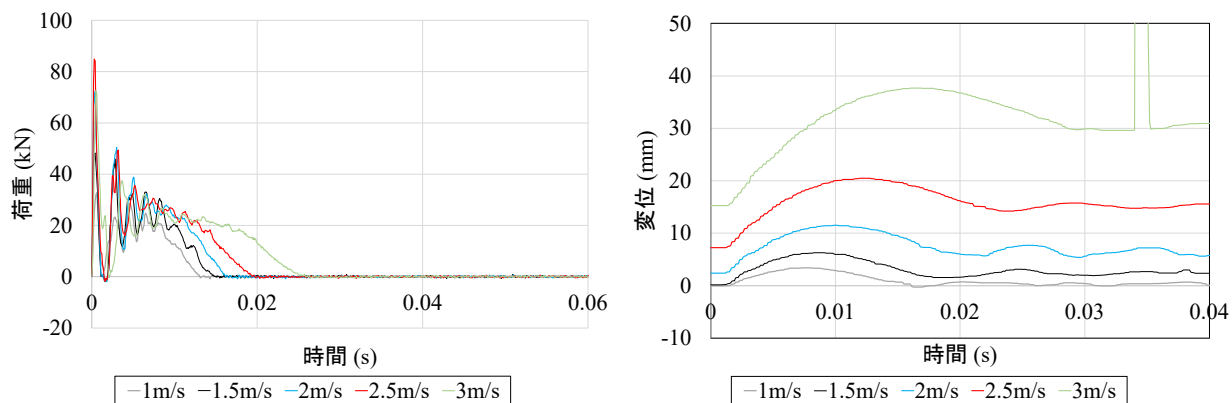


3. 実験結果及び考察

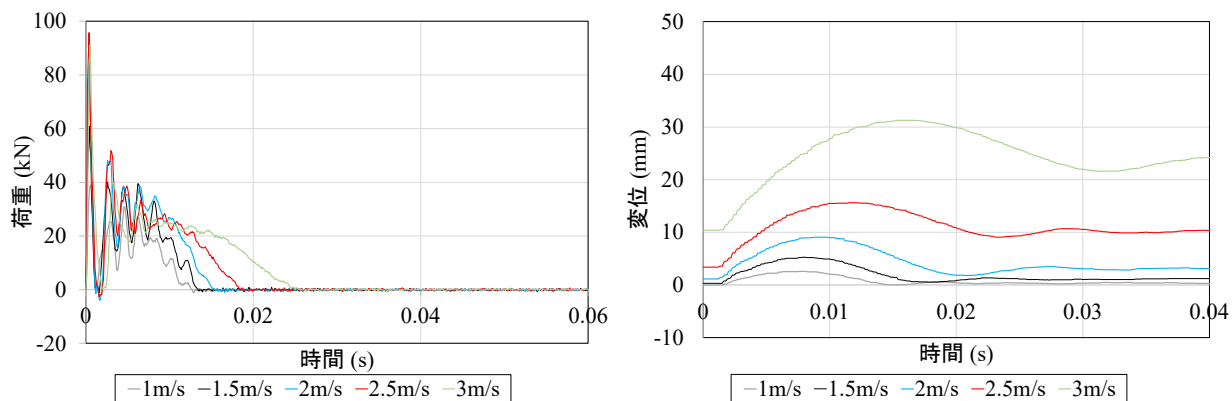
3.1 応答値の比較

図-3に基準RC梁試験体、2種類の仕様の補強試験体の各応答値の比較図を示す。なお、この図の左側には重錘衝撃力波形、右側には鉛直変位波形を示している。

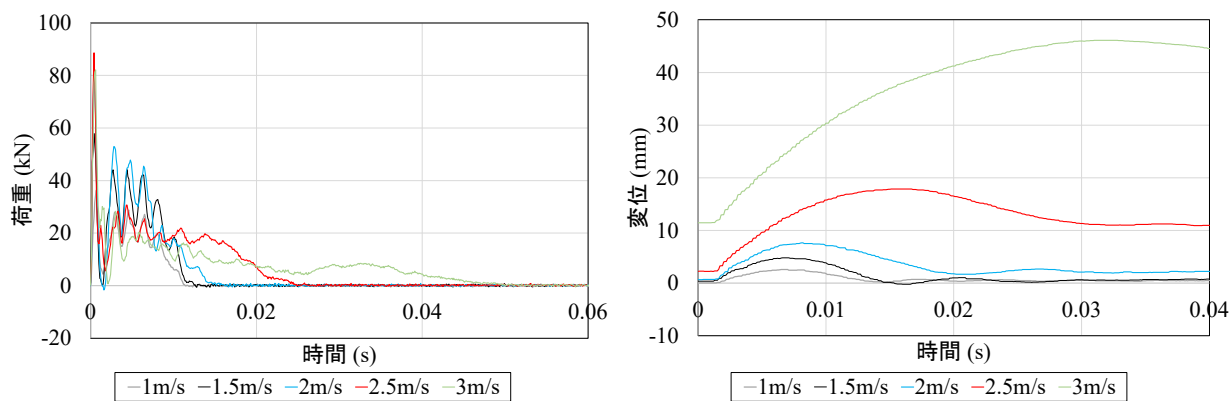
これらの図より、まず、重錘衝撃力波形について考察する。重錘衝撃力波形は、一部を除くと、基本的に衝突初期に励起される継続時間の短い三角形状の波形（第一波）とその後の継続時間の長い台形上の波形（第二波）で構成されていることがわかった。また、図-3(a)に示すように、基準試験体では、最大衝撃力は処女荷重の1m/s時に約33kNであり、その後、0.5m/sの衝突速度の増加に伴い、約48kN、約72kN、約85kN、約73kNであった。衝突速度の増加に伴い、最大衝撃力は大きくなる傾



(a) 基準の RC 梁試験体



(b) 補強試験体 (CR-4)



(c) 補強試験体 (CR-8)

図-3 各応答値 (左: 重錘衝撃力波形, 右: 鉛直変位波形)

向にあるが、3m/s 時には衝突部の著しい圧壊により 2.5m/s 時より若干小さくなる傾向を示した。第二波の継続時間については、衝突速度の増加に伴い、大きくなる傾向となった。この傾向は、図-3(b)に示す CF グリッドに CR-4 を用いた補強試験体でも同様であり、最大衝撃力は処女載荷の 1m/s 時に約 39kN であり、その後、0.5m/s の衝突速度の増加に伴い、約 61kN、約 84kN、約 96kN、約 91kN であった。一方、図-3(c)に示す CF グリッドに CR-8 を用いた補強試験体では最大衝撃力波形では同様な傾向を示したが、第二波の形状や継続時間において若干異なる傾向を示した。最大衝撃力は処女載荷の 1m/s 時に約 36kN であり、その後、0.5m/s の衝突速度の増加に

伴い、約 58kN、約 79kN、約 89kN、約 82kN であったが、衝突速度 2.5m/s で第二波の継続時間が大きく増加し、衝突速度 3m/s では、第二波が台形状と言えないものとなり、継続時間も大きく増加した。これは以降に説明するひび割れ分布性状の大きな変化、つまりせん断破壊の発生に起因している。なお、補強試験体の方が総じて若干重錘衝撃力は大きくなる傾向にあった。

次に、鉛直変位波形について考察する。図中の変位波形は前回の載荷時の残留変位を初期化していないものとなっているため、縦軸は累積値を示している。まず、準供試体の各衝突速度における累積残留変位はそれぞれ約 0.2mm、約 2.4mm、約 7.3mm、約 15.3mm、約 31.0mm

であり、もちろん衝突速度の増加とともに大きくなった。これに対して、CF グリッドに CR-4 を用いた補強試験体では、それぞれ、約 0.3mm、約 1.1mm、約 3.4mm、約 10.4mm、約 22.6mm であった。CF グリッドに CR-8 を用いた補強試験体では、それぞれ、約 0.4mm、約 0.7mm、約 2.2mm、約 11.4mm、約 40.0mm であった。以上より、衝突速度 1m/s の累積残留変位は若干ばらつきがあるものの、CF グリッドに CR-4 を用いた補強試験体では、変位が抑制され、補強効果が得られる結果となった。一方、CF グリッドに CR-8 を用いた補強試験体では、衝突速度 2.0m/s までは他のケースよりも変位が抑制されているものの、2.5m/s では CR-4 を用いた補強試験体より、3m/s では基準試験体よりも大きな変位が得られた。これは、後述の破壊形式に起因している。

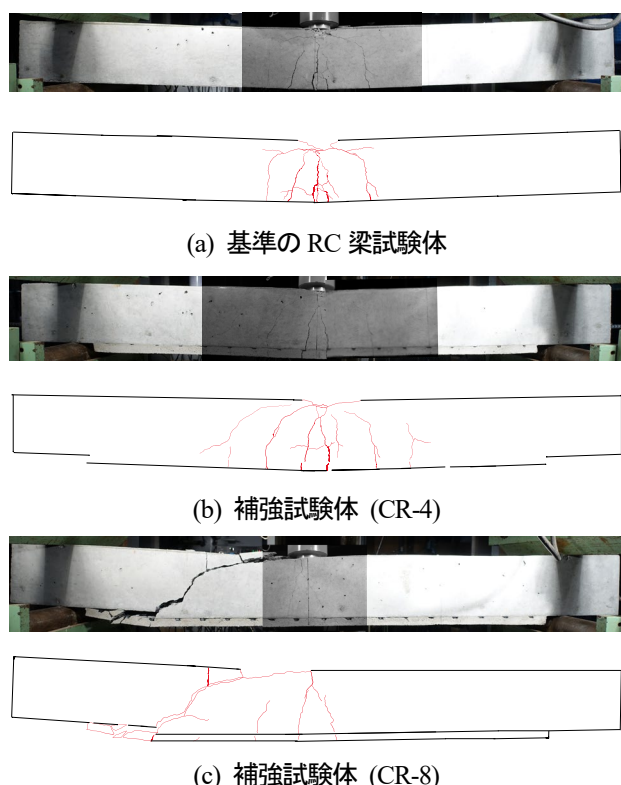


図-4 衝突速度 2.5m/s 時のひび割れ分布状況
(上：写真，下：スケッチ図)

3.2 破壊状況の比較

ここからは、破壊状況について考察する。図-4に衝突速度 2.5m/s 時のそれぞれの試験体の破壊状況の写真とひび割れ分布性状を示す。各ケースにおける載荷速度に伴う破壊状況の推移などは割愛する。まず、基準試験体におけるひび割れ分布状況は図-4(a)に示すように曲げひび割れが卓越していると言える。同様に、図-4(b)に示す CR-4 を用いた補強試験体でも同様に曲げひび割れが卓越しているが、基準試験体よりも分散性があり、ひび割れ幅は小さいものの斜めひび割れも励起された。一方、図-4(c)に示す CR-8 を用いた補強試験体では他の試験体とは大きく傾向が異なり、ひび割れ幅の大きなせん断

破壊が生じ、それに伴う剥離破壊も見られた。静的時に曲げ破壊するよう設計された試験体にも関わらず、このようにせん断破壊が生じた理由については、今後、検討していく予定である。なお、この結果は、補強部を高剛性かつ高強度にすることで静的耐荷力を向上できたとしても、耐衝撃補強効果を向上できないことを示唆しており、耐衝撃補強には母体の部材剛性等に即した適切な補強仕様が存在することを意味していると考えられる。

なお、CR-8 を用いた補強試験体のせん断破壊に伴う剥離破壊は確認されたものの、いずれの試験体においても、PCM と母材コンクリート、CF グリッドと母材コンクリートの著しい付着破壊は確認されなかった。

4. 結論

PCM-CF グリッド工法で補強した曲げ破壊型 RC 梁の落錘式衝撃実験を実施し、その工法の耐衝撃補強用途への適用について基礎検討を実施した。本研究で得られた成果を以下に列挙する。

- 1) 本実験の範囲内においては、低剛性かつ可撓性を有する CF グリッドを用いた本工法による耐衝撃補強効果を確認できた。
- 2) 一方で、高剛性を有する CF グリッドを用いた本工法においては、衝突速度が小さい場合は同様に耐衝撃補強効果を確認できた。しかし、衝撃速度を増加させると、せん断破壊することで、十分な耐衝撃補強効果を得られない場合があることが確認できた。

本稿に示した結果は一連の実験の一部であり、今後、すべての実験結果を整理・考察し、さらには数値解析を併せた検討を行うことで、メカニズムに言及していきたい。

参考文献

- 1) 稲垣秀輝：激甚化する気象現象に係わる火山地域での豪雨災害などの特徴と課題，応用地質，第 55 巻，第 6 号，pp.279-289，2015
- 2) 岸徳光，三上浩，栗橋祐介：AFRP シートで曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.47-64，2001.8
- 3) 栗橋祐介，今野久志，三上浩，岸徳光：AFRP シート曲げ補強 RC 梁の耐衝撃性能に関する実験的検討，構造工学論文集，Vol.60A，pp.953-962，2014.3
- 4) 小尾博俊，玉井宏樹，園田佳巨：鉄筋腐食による劣化後に連続繊維複合パネルで補強した RC 版の耐衝撃性に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，第 40 巻，第 2 号，pp.721-726，2018.6
- 5) 上野貴行，池田博嗣，玉井宏樹，出蔵貴司：導水路トンネル補強工事の施工品質向上とコスト低減効果に寄与する製品開発，電力土木，No.427，pp.7-16，2023 年 9 月