

プロジェクト1

RPC を CFS 補強した合成はりの変形性状と耐力に関する実験研究

日大生産工 木田 哲量 日大生産工 阿部 忠 日大生産工 澤野 利章

1. はじめに

コンクリート系材料では、構造物の部材自重の軽減や部材断面の簡素化のために改良・開発が行われており、新材料が開発されている。それら新材料の中で、高強度を有し、靱性能にも優れていることから、反応性粉体コンクリート(Reactive Powder Concrete、以下 RPC)が注目されている¹⁾。RPC は圧縮強度 200 N/mm^2 以上を有し、また、RPC 中に配合されている高強度鋼繊維とコンクリートとの付着により、ひび割れ発生後も応力が保持される^{2,3)}。すなわち、架橋効果によって優れた変形性能を示す。しかしながら一般に、鋼繊維の架橋効果はコンクリートにひび割れが発生した後に発揮されることが知られている⁴⁾。

一方、炭素繊維シート(Carbon Fiber Sheet、以下 CFS)は、引張強度 3000 N/mm^2 以上を有する材料である。この CFS をコンクリート部材に貼付することにより過大なひび割れの進展を抑制させ、耐力の向上が期待できる。また、CFS は薄く軽量であることから部材自重を軽減することが可能である。

したがって、CFS を RPC 部材に貼付したハイブリッド構造とすることによって RPC 部材の耐力を向上させ、部材の軽量化を図ることが可能であると考えられる。

そこで本研究は、CFS と RPC を合成したはり部材を CFS・RPC はりと称し、この合成はりの力学特性を解明する目的で、①静荷重実験、②走行荷重実験を行い、同一断面形状・支間の RC はりと比較検討したものである。

2. 供試体の使用材料および寸法

2.1 使用材料

本研究では、RC はり 2 本と CFS・RPC はり 2 本の供試体を用いる。RPC はりはポルトランドセメントにシリカフューム、珪砂粉末等をプレミックス配合したもの(太平洋セメント(株)製、ダクトル FM)に水、高強度鋼繊維($\phi=0.2 \text{ mm}$ 、長さ $L=15 \text{ mm}$)を

表-1 RPC の構成材料 (単位: kg/m^2)

水	鋼繊維	減水剤	ダクトルプレミックス
180	157	26	2254

表-2 RPC の材料特性 (単位: N/mm^2)

圧縮強度	曲げ強度
209.69	26.90

表-3 CFS の力学特性

名称	目付量 (g/m^2)	設計厚 (mm)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)
高強度連続CFS	202	0.111	4420	235

表-4 RC の力学特性

コンクリート	鉄筋 (SD295A, D16)		
圧縮強度 (N/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)
38.5	368	568	196

練り混ぜた長方形断面はりである。また、CFS には高強度連続カーボンシートを用い、表面処理剤にはプライマー、接着剤には接着用樹脂を用いた。ここで、RPC の構成材料および材料特性をそれぞれ表-1、表-2 に示す。また、CFS の力学特性を表-3、RC の力学特性を表-4 に示す。

2.2 供試体寸法

CFS・RPC はり供試体は全長 2200 mm 、支間長 2000 mm 、幅 300 mm 、高さ 210 mm とし、その下面全長に CFS を貼付した。RC はり供試体の支間長および断面寸法は CFS・RPC はりと同一寸法とし、鉄筋は引張側に 3 本($A_s=596 \text{ mm}^2$)、圧縮側に 2 本($A_s=397 \text{ mm}^2$)配置して有効高さを 172 mm とした。なお、供試体の寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。

3. 実験概要

3.1 実験装置

本実験に用いる実験装置は鋼製の反力フレームのはりに鋼製の車輪(直径 40 cm 、幅 25 cm)を取り付けた油圧式の構造物振動疲労試験装置を固定し、クランクアームとモーターにより供試体を取り付けた

台車を水平方向へ往復運動させ、車両の走行状態を再現した装置である。なお、本実験装置の最大荷重は 300kN であり、その概要を図-2 に示す。

3.2 静荷重実験 (M)

静荷重実験は、図-3 (a) に示すように、最大応力の生じる支間中央に輪荷重を静止させた後に載荷する実験である。載荷方法は、最大荷重を 5.0kN ずつ増加させ、最大荷重までの載荷と 0kN までの除荷を供試体が破壊に至るまで繰り返し行う漸増繰り返し載荷とした。

3.3 走行荷重実験 (R)

走行荷重実験は図-3 (b) に示すように、供試体が破壊に至るまで荷重増加と走行を繰り返す実験である。輪荷重の走行方法は、支間中央で車輪を停止させた状態から左支点へ走行させ、その後左右支点を折り返して支間中央に停止させることとした。載荷方法は静荷重実験と同様に漸増繰り返し載荷とし、最大荷重載荷後、輪荷重を 1 走行させてからたわみとひずみの計測を行った。なお、走行速度は 1 走行 4m を 18sec で走行する平均速度 0.22m/sec とした。

4. 結果および考察

4.1 実験耐力

本実験における実験耐力および破壊モードを表-5 に示す。

RC はりの実験耐力は静荷重の場合は、83.00kN、走行荷重の場合は 69.30kN となった。全ての供試体が曲げ破壊となったことから、静荷重実験と走行荷重実験における曲げ耐力を比較すると、RC はりは走行荷重が作用することによって約 25% 耐力が低下する結果となった。

次に、CFS・RPC はりの実験耐力は、静荷重の場合は 155.40kN、走行荷重の場合は 140.95kN となり、走行荷重が作用することによって約 10% 耐力が低下する結果となった。このことから、RC はりに比べて走行荷重が作用することによる耐力低下が少ないことがわかる。

また、CFS・RPC はりの曲げ耐力を RC はりと比較すると、静荷重の場合 1.87 倍、走行荷重の場合 2.03 倍となり、CFS・RPC は、RC に比して非常に高い耐力を有していることが明確となった。

4.2 破壊メカニズム

本実験における供試体終局時のひび割れ図を図-4 に示す。なお、CFS・RPC はりには微細なひび割れが多く生じたことから、ひび割れ発生区間の支

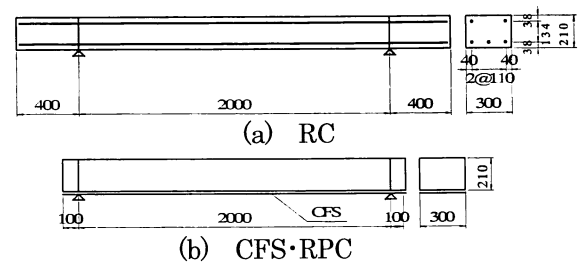


図-1 供試体寸法

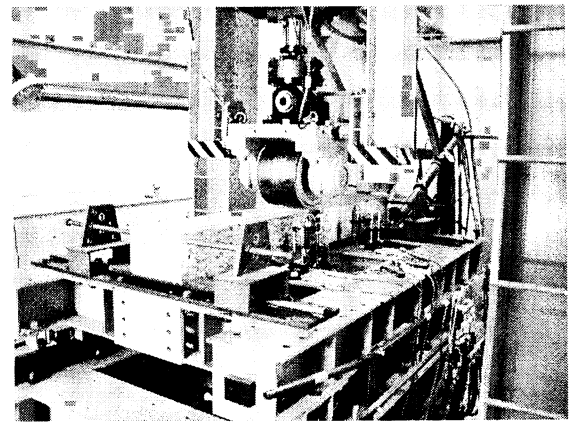


図-2 走行振動試験装置

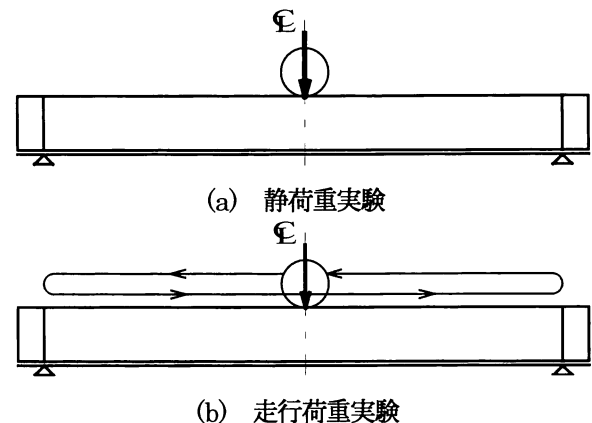


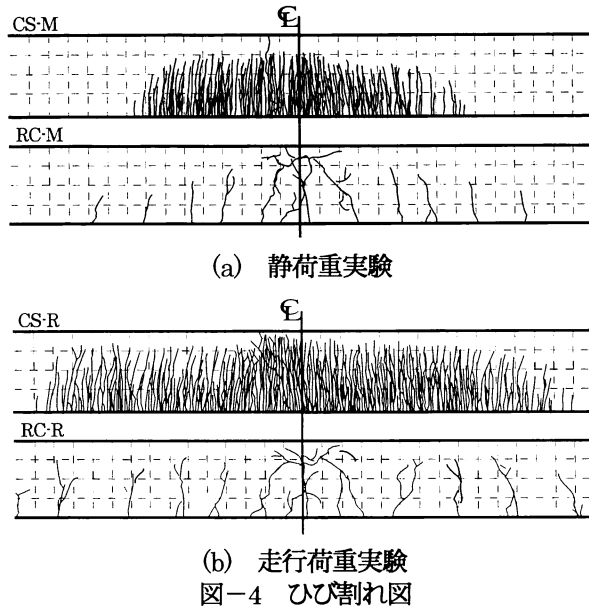
図-3 実験方法

表-5 耐力表

供試体名	実験耐力 (kN)	耐力比	破壊メカニズム
RC-M	83.00		曲げ
RC-R	69.30	0.83(RC-R/RC-M)	曲げ
CS-M	155.40	1.87(CS-M/RC-M)	曲げ
CS-R	140.95	2.03(CS-R/RC-R) 0.91(CS-R/CS-M)	曲げ

間中央 150cm 付近までを表示することとする。

RC はりに静荷重が作用した場合、ひび割れが支間中央に集中して発生し、荷重の増加に伴って、ひび割れは圧縮鉄筋の配置付近まで進展した。なお、ひび割れは 5~15cm 間隔で発生し、最終的に曲げ破壊に至った。走行荷重が作用した場合は、荷重の



走行の影響によってひび割れが支間全体にわたり生じた。

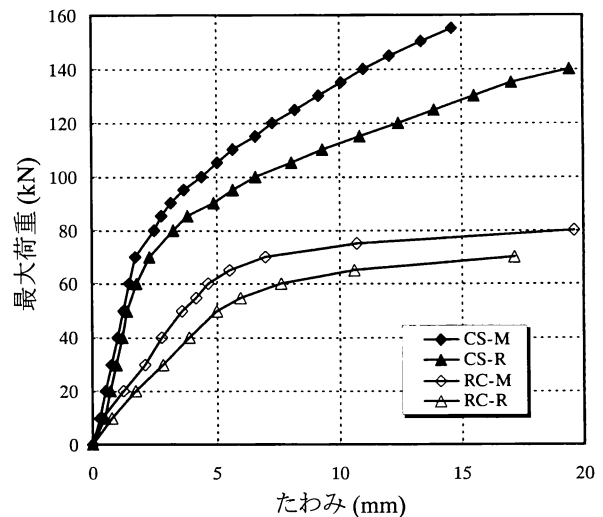
次に、CFS・RPC はりでは、静荷重および走行荷重の場合ともに、RC はりに比してひび割れの発生量が多くなり、複数の微小ひび割れが発生していることがわかる。これは RPC 中に配合された鋼繊維による架橋効果によって応力が広範囲に分散されたためであると考えられる。特に、走行荷重が作用した場合、RC はりと同様に、ひび割れが支間全体にわたり生じた。したがって、RPC 中に配合された鋼繊維による架橋効果が十分に発揮されていることがわかる。

4.3 最大荷重とたわみの関係

全ての供試体における最大荷重と支間中央のたわみの関係を図-5 に示す。

図-5 より、CFS・RPC はりは RC はりに比べて緩やかにたわみが増加している。このことから CFS・RPC はりの剛性が RC に比べて非常に高いことがわかる。なお、全ての供試体において、静荷重・走行荷重実験ともに初期ひび割れ発生後にもたわみの増加が見られた。また、CFS・RPC はりは、両荷重実験の場合ともに、たわみが最大荷重 70kN 付近まで直線的に増加した後、急激に増加し、終局に至った。この 70kN 荷重までは、荷重を除荷したときに生じる残留たわみはほとんど生じていないことから、CFS・RPC はりは健全な状態を維持できていると考えられる。

次に、終局時の CFS・RPC はりのたわみに着目すると、静荷重の場合 14.65mm、走行荷重の場合



19.48mm となり、走行荷重実験における終局時のたわみが静荷重実験の場合よりも 5mm 程度大きかった。これは、4.2 で記述したように、走行荷重が作用することによって支間全体に生じた微小ひび割れに起因したものと考えられる。

4.4 支間とたわみの関係

図-6 は、CFS・RPC はりの左支点からの距離とたわみとの関係である。なお、最大荷重とたわみの関係より、70kN 荷重付近からたわみが急激に増加したことより 60kN 荷重以降を示した。

図-6 より、両供試体ともに局所的なたわみの増加がなく、支間中央を基準としてほぼ対称にたわみが増加しており、曲げ破壊に至ったことが確認できる。しかし、走行荷重が支間全体に作用したことにより、左右のたわみに差異が生じる結果となった。

4.5 支間と CFS ひずみの関係

CFS・RPC はりの終局時直前までの左支点からの距離とひずみとの関係を図-7 に示した。なお、CFS の公称破断ひずみは 18190×10^{-6} である。

図-7 より、静荷重・走行荷重実験ともに、荷重の増加に伴って支間中央における CFS ひずみが増加し、三角形分布形状をしていることがわかる。また、CFS・RPC はりが曲げ破壊に至ったことから、破壊断面方向のひずみが増加することがわかる。さらに、左支点側のひずみが右支点側に比して初期の荷重段階においてひずみが増加していることがわかる。これは、CFS と RPC の付着、また荷重条件に起因したものと考えられる。

次に、静荷重実験と走行荷重実験のひずみを比較

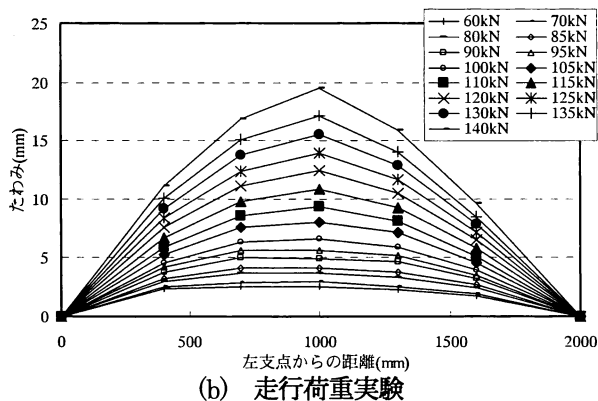
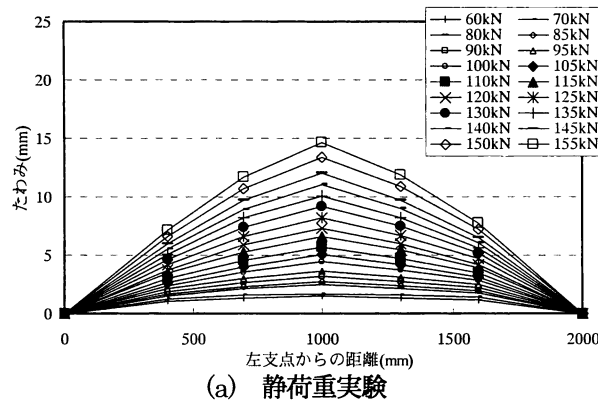


図-6 CFS・RPC はりにおける
支間とたわみの関係

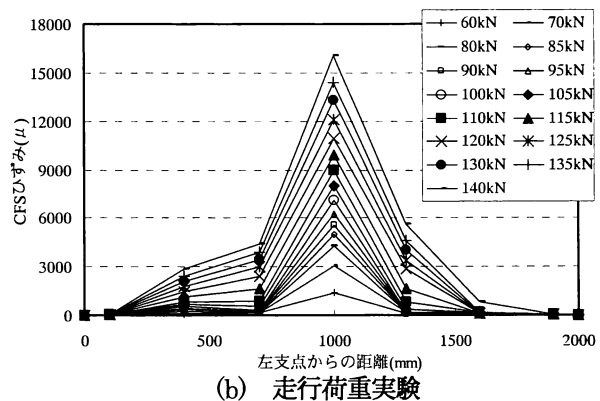
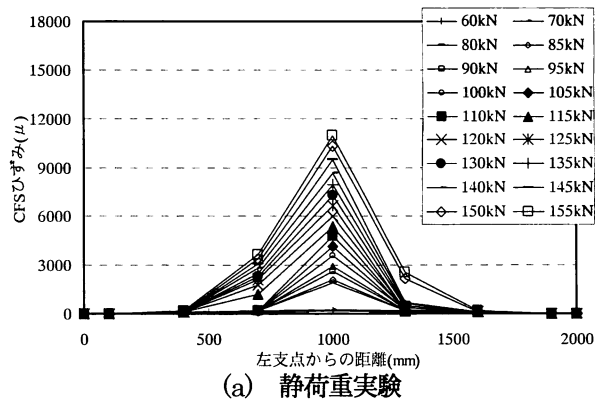


図-7 CFS・RPC はりにおける
支間とCFS ひずみの関係

すると、走行荷重が作用した場合の方が支間全体において大きなひずみを示す結果となった。これは、走行荷重によって広範囲に応力が作用し、ひび割れも広範囲に生じたためであると考えられる。

5. まとめ

- ① CFS・RPC はりの実験耐力は、RC はりの実験耐力に比して、静荷重実験の場合は 1.87 倍、走行荷重実験の場合は 2.03 倍となり、RC はりに比べて CFS・RPC はりは優れていることが明確となった。
- ② 静荷重と走行荷重による実験耐力を比較すると、RC はりは 25%、CFS・RPC はりは 10% 耐力が低下する結果となった。このことから、CFS・RPC はりは RC はりに比べて走行荷重が作用することによる耐力低下は少ないことが明確となった。
- ③ CFS・RPC はりは、静荷重、走行荷重の場合ともに複数の微小ひび割れが生じる結果となった。これは、RPC の鋼繊維の架橋効果によって応力が広範囲に伝達されたためと考えられる。
- ④ CFS・RPC の剛性は RC の剛性に比して非常に高く、最大荷重 70kN 載荷までは残留たわみがほ

ぼ生じることなく健全な状態を維持できると考えられる。

- ⑤ 走行荷重が作用する場合の CFS ひずみは、支間全体において大きい値を示した。これは、荷重が広範囲に作用し、ひび割れも広範囲に生じたためであると考えられる。

【参考文献】

- 1) 武者浩透ほか：無機系複合材料(RPC)を用いた酒田みらい橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.36，No.11，2002.11，pp.5-6
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，丸善(株)，(2004)
- 3) 社団法人日本コンクリート工学協会，高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う，高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書，(2002)，pp.4-49
- 4) 西脇敬一，川又篤，柳博文，松岡茂，短繊維と繊維シートを併用した高靱性モルタルに関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，No.26，(2004)，pp.1561-1566