# RPC と CFS からなる合成部材の変形と耐力に関する実験研究

日大生産工(院)	○瀬戸山:	満俊	日大生産工	木田	哲量
日大生産工	阿部	忠	太平洋セメント㈱	田中	敏嗣

#### 1. はじめに

コンクリート系材料は、構造物における部 材重量の軽減や、部材断面積の縮小などを目 的として改良・開発が行われており、様々な 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、さらに靭性能にも優れて いることから、近年、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。RPC は圧縮強度 200N/mm<sup>2</sup> 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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。 一方、炭素繊維シート(Carbon Fiber Sheet,

以下 CFS)は、引張強度 3000N/mm<sup>2</sup>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り 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 を併用した はり部材を CFS・RPC はりと称し、CFS・RPC の力学特性を解明する目的で 静荷重実験、

移動荷重実験を行い、支間および断面が同 一の RC はりと比較、また CFS・RPC はりに 移動荷重が作用する影響に関して検討したも のである。

# 2. 供試体の使用材料および寸法

#### 2.1 使用材料

表 - 1 RPC の構成材料 (単位:kg/m<sup>2</sup>)

水	鋼繊維	減水剤	ダクタルプレミックス
180	157	26	2254

表 - 2 RPC の材料	特性 (単位:N/mm²)	
圧縮強度	曲げ強度	
209.69	26.90	

表 - 3 CFS の力学特性			
水	鋼繊維	減水剤	ダクタルプレミックス
180	157	26	2254

表 - 4 RC の力学特性

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

本研究では、RC はり2本と CFS・RPC はり2本を用いる。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、ダクタル FM)に水、高強度鋼繊維( =0.2mm、長さ L=15mm)を練り混ぜた長方形 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

本実験の CFS・RPC はりは全長 2200mm、 支間長 2000mm、幅 300mm、高さ 210mm とし、供試体の下面全長に CFS を貼付した。 RC はり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(As=596mm<sup>2</sup>)、圧縮側に 2本(As'=397mm<sup>2</sup>) 配置して有効高さを 172mm とした。なお、 供試体の寸法および鉄筋配置を**図 - 1** に示す。

Experimental Study on Deformation and Load-Carrying Capacity of Composite Member Which Consists of RPC and CFS by Mitsutoshi SETOYAMA Tetsukazu KIDA, Tadashi ABE and Satoshi TANAKA

## 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 40cm、幅 25cm)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 移動荷重実験 (R)

移動荷重実験は、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。

本実験における RC はりの実験耐力は静荷 重の場合は 83.00kN、移動荷重の場合は 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移動荷重実験 における曲げ耐力を比較すると、RC はりは 移動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、移動荷重の場合は 140.95kN となり、移動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 はりに比べて移動荷重が作 用することによる耐力低下が少ないことがわ かる。





図 - 2 走行振動試験装置



(b) 移動荷重実験図 - 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)	њıт
		0.91(CS-R/CS-M)	目し

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、移動 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



## (b) 移動荷重実験 図-4 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。移動 荷重が作用した場合は、荷重の移動の影響に よってひび割れが支間全体にわたり生じた。

次に、CFS・RPC はりは、図-4 より、静 荷重および移動荷重の場合ともに、RC はり に比してひび割れの発生量が大きく異なり、 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。

移動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

本実験の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、静荷重実験 および移動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 載 荷までは荷重を除荷したときに生じる残留た わみはほぼ生じておらず、CFS・RPC はりは 健全な状態を維持できると考えられる。

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、移動荷 重の場合 19.48mm となり、移動荷重実験に おける終局時のたわみが静荷重実験に比べ、 5mm 程度大きかった。これは、4.2 において 既述したように、移動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 載荷付近から たわみが急激に増加したことより 60kN 載荷 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、移動荷重が 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 はりの終局直前時までの支間と 支間方向の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<sup>-6</sup> である。

図-7 より、静荷重実験および移動荷重実 験ともに、荷重の増加に伴い支間中央におけ 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



支間とたわみの関係

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、静荷重実験と移動荷重実験のひずみ を比較すると、移動荷重が作用した場合の方 が支間全体において大きいひずみを示す結果 となった。これは、移動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

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、移動荷重実験の場合は 2.03 倍と なり、RC はりに比べて優れていることが 明確となった。

静荷重と移動荷重の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 はりに比べて移 動荷重が作用することによる耐力低下が少

## ないことが明確となった。

CFS・RPC はりは、静荷重、移動荷重の場 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。

CFS・RPCの剛性はRC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。

CFS ひずみは、移動荷重が作用する場合、 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) 社団法人日本コンクリート工学協会,高 靭性セメント複合材料を知る・作る・使う, 高靭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

西脇敬一,川又篤,柳博文,松岡茂,短 2) 繊維と繊維シートを併用した高靭性モルタル 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