

炭素繊維複合ケーブルを用いた再生コンクリート梁部材の構造特性

—その1 5週経過時の付着性状—

日大生産工 (院) ○関 真太郎

日大生産工

師橋 憲貴

日大生産工 小山 潔

日大生産工

桜田 智之

1. はじめに 環境問題は世界的な問題であり、建設業界の分野においても例外ではない。日本はコンクリート工学の分野において、国際基準の策定作業で主導的な役割を果たしている。国際標準化機構 (ISO) においてコンクリート構造物のライフサイクルマネジメントに関する国際標準化を目指す動きがあり、現在、コンクリート構造物の維持補修に関する ISO規格を策定している¹⁾。その中で、繊維補強プラスチック (以下FRP:Fiber Reinforced Plastics) 補強材を用いる研究が進められている。FRPを適用する理由として、構造物の長寿命化や軽量化があげられるが、それらは環境負荷の低減にも有益である。また、コンクリート構造物のリサイクルという観点から、再生骨材に関する研究が進められてきた。再生骨材の多くは路盤材として用いられていたが、公共事業の減少により、将来その利用が期待できないと考えられる。これらのことから、再生骨材とFRPを構造用梁部材に用いることで建築における環境問題への取り組みに貢献できると考えられる。FRPは鉄筋コンクリート構造物における主筋の補強材としての研究が進んでいるが、補強材以外の研究はあまり成されていない。また鉄筋コンクリート建造物では、飛来塩分による鉄筋の腐食により、コンクリート片の剥落事故が発生している。このような鉄筋の腐食による被害は日本各地で起こっている。環境負荷軽減のためにもコン

クリート建造物の長寿命化を確立する必要があるため、将来鉄筋に代わる耐久補強材が必要と考える。本研究では、その先駆けとしてFRPのひとつであり鉄筋よりも引張強度が高く耐食性の高い炭素繊維複合ケーブル (以下CFCC: Carbon Fiber Composite Cable) で補強されたコンクリートを提案する。本報では、鉄筋の代替として縦補強筋にCFCCを用いた再生コンクリート梁試験体を作製したのちに、材齢5週時の付着性状の検討を行った。

表-1 試験体詳細

試験体名	骨材置換率	縦補強筋	載荷時期
RM ²⁾	砕石 50% 再生粗骨材	D19 (SD345)	5週経過時
RM1K ²⁾			1年経過時
RMC	50% 天然砂 100%	CFCC (1×19 20.5φ)	5週経過時
RMC1K			1年経過時

重ね継手長さ $l_s=570\text{mm}$ 共通

表-2 コンクリートの調査

試験体	W/C (%)	単位質量(kg/m ³)			
		水	セメント	粗骨材	
				砕石	再生
RM ²⁾	65.0	180	277	503	455
RM1K ²⁾					
RMC				449	413
RMC1K					

表-3 骨材の品質

試験体	骨材	表乾密度 (g/cm ³)	実積率 (%)	吸水率 (%)
RM ²⁾ RM1K ²⁾	砕石	2.70	61.5	0.60
	再生粗骨材	2.37	62.5	4.58
	天然砂	2.54	66.7	1.96
RMC RMC1K	砕石	2.70	60.0	0.86
	再生粗骨材	2.48	61.0	4.63
	天然砂	2.61	65.0	2.65

Structure Characteristic on the Recycled Aggregate Concrete Beam
using Carbon Fiber Composite Cable

-Part.1 Bond Properties after Material Age of Five weeks Passes-

Shintaro Seki, Noritaka MOROHASHI, Kiyoshi Koyama and Tomoyuki SAKURADA

2. 実験概要 表-1 に試験体詳細を示す。本研究では、縦補強筋に鉄筋を用いた RM シリーズと、縦補強筋に CFCC を用いた RMC シリーズを作製した。骨材は、粗骨材の砕石に対する置換率を再生粗骨材 50%、細骨材に天然砂を 100%用いた。本研究では、長期に渡り主筋に CFCC を用いて付着性状を検討するため、試験体は材齢 5 週、1 年用としたものを作製した。

2.1 調合とフレッシュ性状 表-2 にコンクリートの調合を示し、表-3 にコンクリートに用いた骨材の品質を示す。使用した再生骨材に関しては、中品質再生骨材 M のものを用いた。表-4 にフレッシュ性状を示す。調合はすべて、スランプ 18 ± 2.5 cm、空気量 4.5 ± 1.5 % を目標として行った。RMC のスランプが目標値よりも若干大きくなっているが、バイブレータを十分に使用したため打設に影響はなかった。

2.2 炭素繊維複合ケーブルの特性 図-1 に CFCC の断面を示す。各素線は炭素繊維と樹脂からなるコアとその周辺を取り巻くポリエステル被覆層から構成されている炭素繊維強化プラスチック (CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic) を素材に、それをよった構成になっている。介在する樹脂によって相互が接着されているためコアと被覆層は一体となっている。CFCC はより合わせ構造であり、強化繊維の方向が長手方向と一致した一方向複合材に近いものである。表-5 に CFCC の形状と性質を、表-6 に鉄筋の形状と性質を示す。CFCC は比重が鉄筋の約 1/5 と軽く、引張強度は鉄筋よりも強い。CFCC は弾力的なケーブルなので降伏をしない。そのため、最大応力時が引張強度となる³⁾。鉄筋コンクリートは、鉄筋とコンクリートの線膨張係数が限りなく同じ値であるため、成り立つ構造物である。しかし、CFCC の線膨張係数は鉄筋よりも小さいため、コンクリートとの膨張の差で

表-4 フレッシュ性状

試験体名	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
RM ²⁾	17.0	3.5	25
RMC	22.7	5.0	23.5

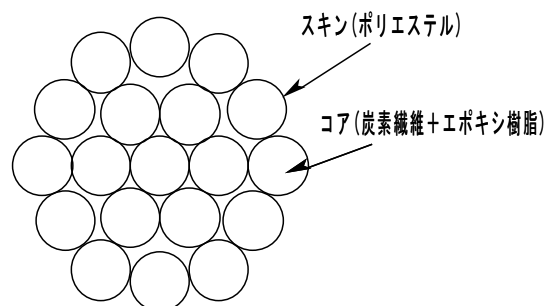


図-1 CFCC の断面

表-5 CFCC の形状と性質

CFCC 1×19 20.5φ	形状		機械的性質	
	直径(mm)	21.3	引張強度(N/mm ²)	1530
	有効断面積(mm ²)	206.2	最大応力(N/mm ²)	1530
	単位質量(g/m)	400	弾性係数(N/mm ²)	1.37×10^5
	比重(g/cm ³)	1.5	降伏点	—
構成		19本のよりローブ	線膨張係数(1/°C)	0.6×10^{-6}

表-6 鉄筋の形状と性質

SD345 D19	形状		機械的性質	
	直径(mm)	19.1	引張強度(N/mm ²)	362.7
	有効断面積(mm ²)	287.0	最大応力(N/mm ²)	513.8
	単位質量(g/m)	2250	弾性係数(N/mm ²)	1.88×10^5
	比重(g/cm ³)	7.85	降伏点(N/mm ²)	376
構成		異形鉄筋	線膨張係数(1/°C)	約 10×10^{-6}

コンクリートが破壊される懸念がある。

2.3 試験体形状 図-2 に試験体断面、図-3 に試験体形状を示す。試験体は、300 mm×300 mm×3000 mmの梁試験体とし、梁試験体中央部下端筋に重ね継手区間(重ね継手長さ 570 mm)を設け、付着性状を検討する形式とした。縦補強筋に鉄筋と CFCC をそれぞれ試験体に用い、縦補強筋から側面および底面までのかぶり厚さは 30mm とした。また、重ね継手区間は、pw=0%とし、横補強筋は配筋していない。

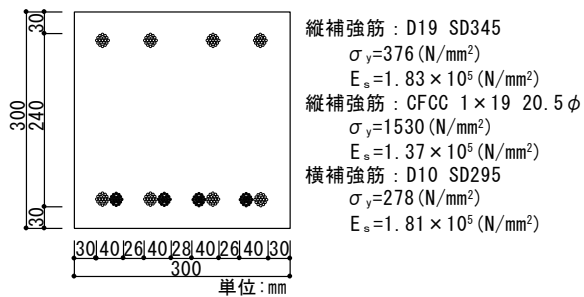


図-2 試験体断面

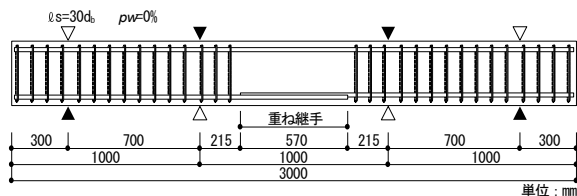


図-3 試験体形状

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状 表-7 に材齢5週時の実験結果一覧を、図-4 に最終破壊形状、図-5 に5週経過時の縦補強筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅 W_{max} を示す。CFCC を縦補強筋としたRMCは鉄筋を縦補強筋としたRMよりも、最大曲げひび割れ幅は大きくなり、最大荷重は小さく、付着割裂強度も小さい値となった。最終破壊形状は、重ね継手区間に付着ひび割れが急激に進展するサイドスプリット型の付着割裂破壊形式であった。RMは縦補強筋に沿って付着割裂破壊を起こしているが、RMCは縦補強筋に対して斜めにひび割れが入る形であった。CFCCはより線状の形態をしているため、より線に沿ってひび割れが発生し、RMCは主筋に対して斜めにひび割れが発生する付着割裂破壊をしたと考えられる。CFCCを用いた試験体の W_{max} は、日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説の制限目標値 0.25mm を上回る 0.38mm となった。

3.2 変位性状 図-6 に各試験体における荷重-変位曲線の包絡線を示す。加力は2点集中加力で正負繰返し载荷とし、荷重の制御は縦補強筋の応力が $\sigma_t = 100 \text{ N/mm}^2$ ずつ増加するよう行った。また、変位は中央変位 δ を示した。

表-7 実験結果一覧(材齢5週時)

試験体名	コンクリート強度 σ_B (N/mm^2)	最大曲げひび割れ幅 W_{max} (mm)	最大荷重 P_{max} (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm^2)
RM ²⁾	27.5	0.14	264.0	2.96
RMC	23.5	0.38	196.5	2.21

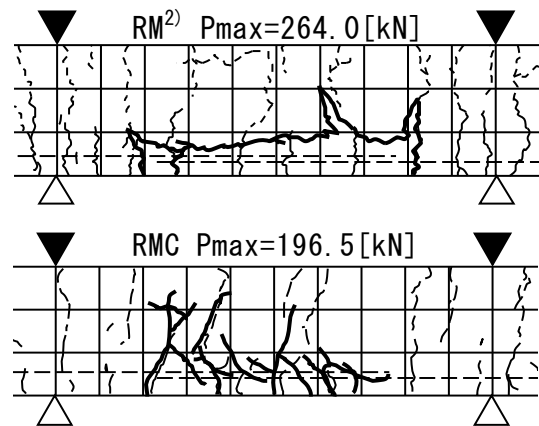


図-4 最終破壊形状(側面)

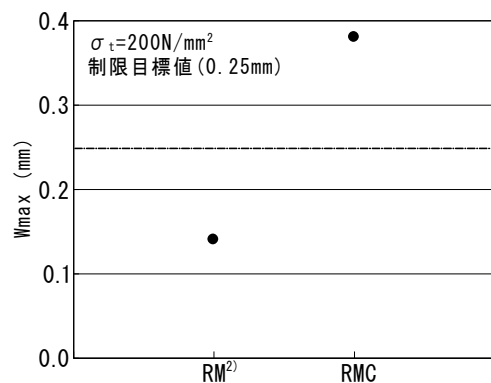


図-5 縦補強筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

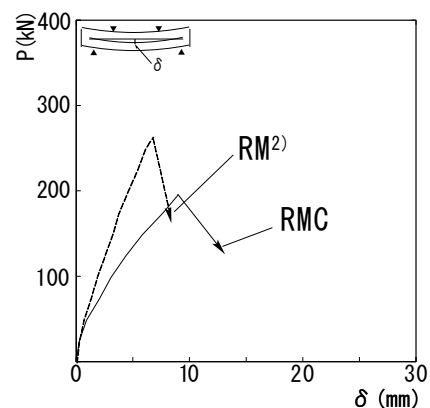


図-6 荷重-変位曲線(包絡線)

縦補強筋にCFCCを用いたRMCは、鉄筋を用いたRMに比べて初期剛性が小さくなった。CFCCがコンクリート内で荷重を負担しないため、初期剛性が小さくなったと考える。

3.3 付着割裂強度 付着割裂強度は式(1)により求めた。

$$\tau_{u \text{ exp.}} = \frac{M_u}{j \cdot \phi \cdot \ell} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

M_u : 最大曲げモーメント (N・mm)
 j : $(7/8)d$ (d : 梁有効せい)
 4-D19 260.5mm
 CFCC 1×19 20.5φ 249.0mm
 ϕ : 鉄筋周長 (4-D19 240mm)
 CFCC 周長 (CFCC 1×19 20.5φ 257mm)
 ℓ_s : 重ね継手長さ (570mm)

図-7 に付着割裂強度を示す。本実験の縦補強筋に CFCC を用いた再生コンクリート梁試験体(RMC)の付着割裂強度は、鉄筋を用いた既往の再生コンクリート梁試験体(RM)よりも小さい値を示した。これは、CFCC の被覆層であるポリエステルがコンクリートとの付着を妨げ、CFCC とコンクリートが十分に付着をしていなかったためと考える。

4. まとめ 主筋に CFCC を縦補強筋に用いた再生コンクリート梁部材の構造特性に関する研究として、5 週経過時の付着性状の検討を行った結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) 材齢 5 週実験において、CFCC を用いた試験体は鉄筋を用いた試験体とは異なる曲げひび割れの発生の形式が見られた。
- 2) 縦補強筋に CFCC を用いた場合、5 週経過実験時において正加力時の初期剛性は、縦補強筋に鉄筋を用いた再生コンクリート梁試験体よりも低下した。
- 3) CFCC を主筋とした再生コンクリート梁試験体は、鉄筋を縦補強筋とした再生コンクリート梁試験体と比較して、付着割裂強度が低下した。

現在、材齢 1 年経過時に載荷実験を行う試

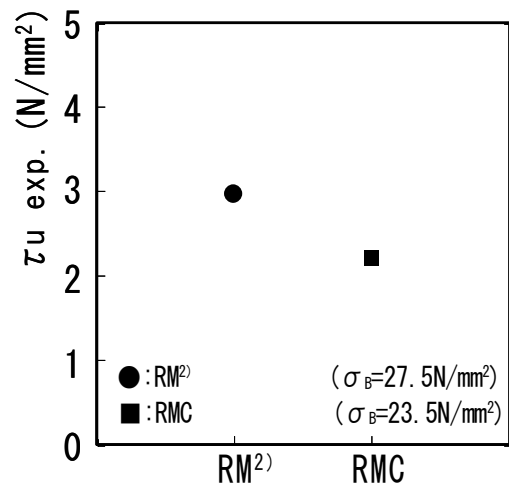


図-7 付着割裂強度

験体を保存している。今後は、乾燥収縮を考慮した、CFCC を縦補強筋に用いた再生コンクリート梁部材のより長期的な材齢における付着性状について検討を行う。

本研究で CFCC を縦補強筋に用いた再生コンクリート梁試験体の構造特性は、鉄筋を用いたものより劣る結果となった。今後は CFCC を縦補強筋だけとしてではなく、CFCC の特性を活かした構造部材への適用方法について検討を行う必要がある。現在、光ファイバーセンサーを用いて構造モニタリングを行うための試験体を保存しているので、合わせて検討を進める予定である。

謝辞 本研究を遂行するにあたって、東京建設廃材処理共同組合 葛西再生コンクリート工場には再生コンクリートの手配をご協力頂きました。株式会社 F 社および T 社の方々には調査計画において貴重な御助言頂き、また、CFCC の手配をご協力頂きました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本コンクリート工学会：平成 23 年度国際標準開発事業「テーマ名：コンクリート構造物のライフサイクルマネジメントに関する国際標準開発」成果報告書概要
- 2) 渡辺慎吾、師橋憲貴、桜田智之：普通骨材と中品質再生骨材を混合使用した鉄筋コンクリート梁 - 乾燥収縮性状と付着性状 -，日本大学生産工学部第 40 回学術講演会，2007 年 12 月，pp. 35 - 38
- 3) 木村浩，白鳥信令，高木宏：コンクリート補強用炭素繊維複合ケーブルの基本的特性，コンクリート工学年次論文報告集，1990 年 12 月 1 日，pp. 1015 - 1018