

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2 1年経過時の付着性状—

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。建設業界における環境負荷低減に有益な配慮として、資源の再利用、構造物の長寿命化や軽量化が挙げられる。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。中品質再生コンクリートは、乾燥収縮率が高く、乾燥収縮ひび割れが多量発生することが明らかになっている¹⁾。乾燥収縮ひび割れが発生すると、そこから侵入した雨水や塩分などによって、鉄筋が腐食し、鉄筋コンクリート構造物の耐久性が低下し、コンクリート片剥落等の危険性が懸念される。環境負荷低減のためにも鉄筋コンクリート構造物の長寿命化を図る必要があるため、耐久性の高い鉄筋に代わる新たな補強材が必要と考える。構造物の長寿命化や軽量化を目的として、繊維補強プラスチック(以下FRP: Fiber Reinforced Plastics) 補強材をコンクリート構造物に用いる研究が進められている。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。そこで本研究では、将来鉄筋に代わる耐久補強材の先駆けとして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。その1では、鉄筋の代替として

主筋に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。その結果、CFCCを主筋に用いた梁試験体は、鉄筋を主筋に用いた試験体よりも剛性が劣る結果となったことを報告した。本報では、材齢1年時における梁試験体の付着割裂強度について検討を行った結果について報告する。

表-1 試験体詳細

試験体名	骨材置換率	主筋	載荷時期
RMEF	砕石 50% 再生粗骨材	D19 (SD685)	5週経過時
RMEF1K			1年経過時
RMC	50% 天然砂	CFCC (1×19 20.5φ)	5週経過時
RMC1K			1年経過時

重ね継手長さ $\ell_s=570\text{mm}$ 共通

表-2 コンクリートの調査

W/C (%)	単位質量 (kg/m^3)				
	水	セメント	粗骨材		細骨材
			砕石	再生	天然
65.0	180	277	449	413	900

表-3 骨材の品質

骨材	絶乾密度 (g/cm^3)	表乾密度 (g/cm^3)	実積率 (%)	吸水率 (%)
砕石	2.70	2.68	60.0	0.86
再生粗骨材	2.48	2.37	61.0	4.63
天然砂	2.61	2.54	65.0	2.65

表-4 フレッシュ性状

スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 ($^{\circ}\text{C}$)
22.7	5.0	23.5

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

-Part.2 Bond Properties after Material Age of One Year 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、主筋に鉄筋を用いた RMEF シリーズと、主筋に 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、主筋に CFCC を用いた再生コンクリート梁試験体の付着割裂強度を検討するため、梁部材中央部(重ね継手区間)が純曲げ区間となるように、2 点集中荷重による正負繰り返し载荷を行った。

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、スランプ 18 ± 2.5 cm、空気量 4.5 ± 1.5 % を目標として行った。

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²⁾。本研究では、鉄筋に用いられる規準値を CFCC にも当てはめて付着割裂強度について検討を行った。そのため、CFCC の長期許容応力度については、鉄筋に相当した場合として扱った。また、鉄筋コンクリートは、鉄筋とコンクリートの線膨張係数

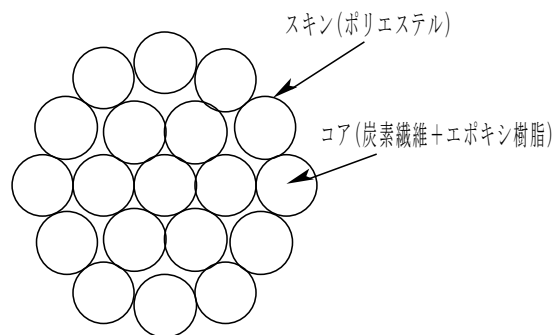


図-1 CFCC の断面

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	降伏点	—
	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	線膨張係数(1/℃)	0.6×10^{-6}

表-6 鉄筋の形状と性質

SD685 D19	形状		機械的性質	
	直径(mm)	19.1	引張強度(N/mm ²)	656
	有効断面積(mm ²)	287.0	降伏点(N/mm ²)	656
	単位質量(g/m)	2250	弾性係数(N/mm ²)	1.89×10^5
	比重(g/cm ³)	7.85	線膨張係数(1/℃)	約 10×10^{-6}

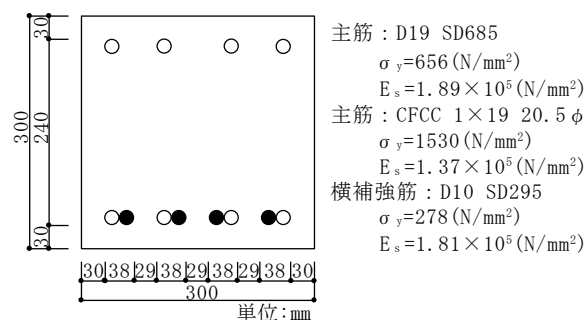


図-2 試験体断面

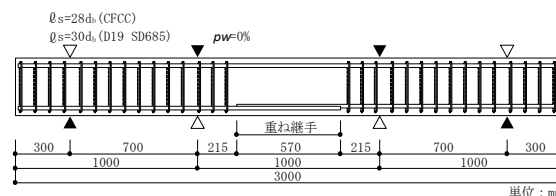


図-3 試験体形状

が限りなく同じ値であるため成立する構造物である。CFCC はコンクリートに比べ、線膨張係数が小さいので、膨張率の違いからコンクリートに対する影響が懸念される。これにより、乾燥収縮ひび割れ及び剛性に影響を与えることが考えられるため、材齢長期経過時における試験体のそれらについて検討を行う。

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。主筋に鉄筋と CFCC をそれぞれ試験体に用い、主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。

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状 表-7 に実験結果一覧を、図-4 に最終破壊形状、図-5 に主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 を主筋とした RMC シリーズは鉄筋を主筋とした RMEF シリーズよりも、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。破壊モードは、全ての試験体において、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。CFCC を主筋とした RMC シリーズにおいては、コンクリートの剥落が見られなかった。材齢 1 年時における 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³⁾の制限目標値 0.25mm を下回る結果となったが、鉄筋を用いた試験体と比べ、曲げひび割れ幅が大きくなる傾向を示した。これは、CFCC の変形にコンクリートが追従できなかったためと考える。

3.2 変位性状 図-6 に各試験体における荷重-変位曲線の正加力時の包絡線を示す。荷重

表-7 実験結果一覧

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 $\tau_{u exp.}$ (N/mm^2)
RMEF	23.5	0.16	226.0	2.54
RMEF1K	30.5	0.16	275.0	3.09
RMC	23.5	0.38	196.5	2.21
RMC1K	30.5	0.24	225.0	2.53

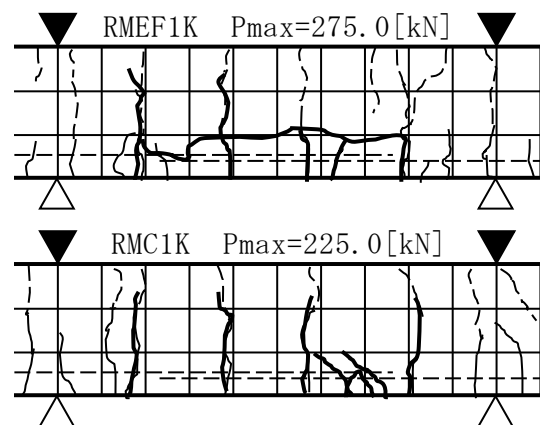


図-4 最終破壊形状(側面)

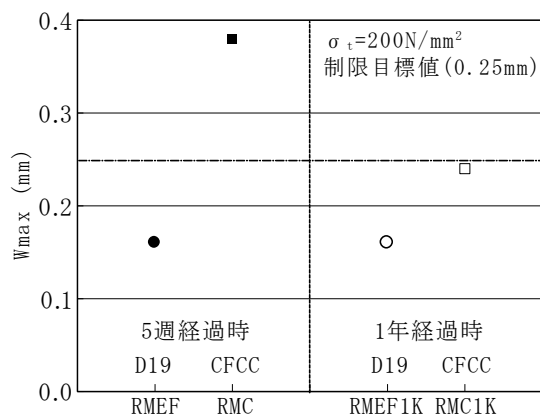


図-5 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

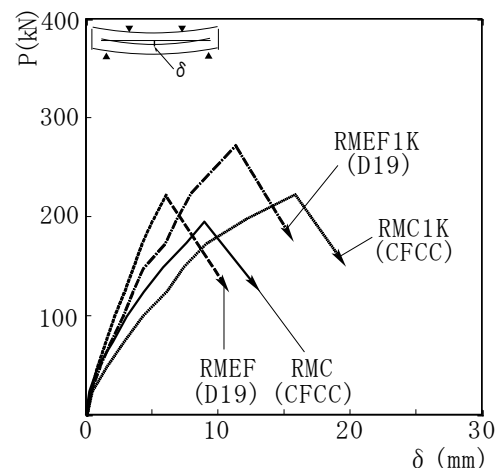


図-6 荷重-変位曲線(包絡線)

の制御は鉄筋の応力が $\sigma_t=100\text{N/mm}^2$ ずつ増加するよう行い、CFCC の応力も同様の増加をするよう荷重の制御を行った。また、変位は中央変位 δ を示した。主筋に CFCC を用いた試験体は、鉄筋を用いた試験体に比べて初期剛性が小さくなった。これは、CFCC が鉄筋に比べて弾性係数が小さいためと考える。

3.3 付着割裂強度 付着割裂強度は式(1)により求めた。

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

ここで、

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 20.5 ϕ 249.0mm

ϕ : 鉄筋周長 (4-D19 240mm)

CFCC 周長 (CFCC 1×19 20.5 ϕ 257mm)

ℓ_s : 重ね継手長さ (570mm)

図-7 に付着割裂強度を示す。材齢 5 週時における試験体の付着割裂強度は概ね同等となったが、材齢 1 年時における付着割裂強度は、主筋に CFCC を用いた再生コンクリート梁試験体の付着割裂強度が、鉄筋を用いた再生コンクリート梁試験体よりも小さい値を示す傾向が見られた。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、1 年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) 主筋に CFCC を用いた試験体は、コンクリートの剥落が見られなかった。
- 2) 主筋に CFCC を用いた試験体は、曲げひび割れ幅が大きくなった。
- 3) 主筋に CFCC を用いた場合、主筋に鉄筋を用

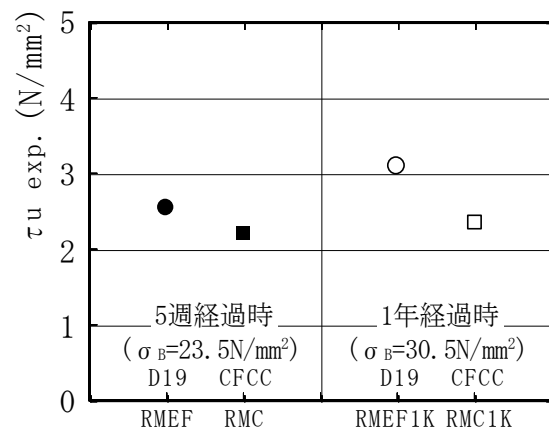


図-7 付着割裂強度

いた再生コンクリート梁試験体よりも、正加力時の初期剛性ととも付着割裂強度が低下した。

本研究で主筋に CFCC を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、乾燥収縮を考慮した付着性状について検討を行う。また、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。現在は、光ファイバーセンサーを用いて構造モニタリングを行った試験体についての検討を行っている。

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でご協力頂きました。株式会社 F 社および T 社の方々には調合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) 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
- 2) 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，pp. 1015 - 1018
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010 年