

# 論文 CFRP 板による RC 補強部材の曲げ挙動

木村 耕三\*1, 小島 克朗\*2, 平田 亮\*3, 土屋 好男\*4

**要 旨:** 炭素繊維を収束・硬化させた炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 板を表面に貼り付けて補強した既存鉄筋コンクリート部材の曲げ性状を実験的に検討した。CFRP による補強部材は、いずれも鉄筋降伏後に補強材の剥離と、これに伴うコンクリートの圧壊によって終局状態に至ったが、CFRP による補強量が多いほど曲げ降伏荷重および剥離荷重が増大した。本論文では、実験結果に基づいて、CFRP 補強材の剥離荷重の算定式を提案し、その妥当性を検討した。

**キーワード:** 炭素繊維強化プラスチック, 剥離荷重, 曲げ補強, 鉄筋コンクリート

## 1. はじめに

軽量で高弾性・高強度の炭素繊維 (以下、CFと記す) を既存 RC 構造物の表面に貼り付けてせん断補強する工法は、阪神淡路大震災を契機に急速に普及してきた[1]。また、CF による既存 RC 部材の曲げ補強についても多くの実験が行われ、その補強効果が確認されている[2]。しかし、曲げ補強効果に大きな影響をおよぼすCF 補強材と既存コンクリートとの付着・定着性状については、まだ十分に解明されていないのが現状である[3],[4]。

本研究の目的は、CFを収束しエポキシ樹脂を含浸・硬化させた炭素繊維強化プラスチック (以下、CFRP) 板およびCFシートを表面に貼り付けて補強したコンクリート部材の曲げ性状を把握し、CFRP 補強材の剥離荷重に対する算定式の提案とその妥当性を検討することである。

## 2. 曲げ補強実験

### 2.1 試験体

試験体は図-1 および表-1 に示すようにスラブを想定した幅 44.5 cm×高さ 14 cm×長さ 450 cm の RC部材の下面に、幅 4.8cm×厚さ 0.96 mm (CFRP板), 幅 4.2cm×厚さ 3.6mm (CFRP筋) の CFRP 補強材と幅 33cm×厚さ 0.11mmの CFを一方向に配したシート (CFシート) を長さ 160cmでそれぞれ所定量 (枚数) 貼り付けた補強部材 6 体と無補強部材 1 体の計 7 体である。RC 部材には上端、下端にそれぞれ曲げ補強筋 (2-D13) のみを配筋している。使用材料の特性は表-2 に示す通りである。CFRP 筋およびCFRP 板は PAN系炭素繊維をPultrusion 法で製造した補強材で、CFシートは単位面積 (m<sup>2</sup>) 当たり 200 g の CFを配したPAN 系の製品である。CFRP 筋およびCFRP 板は 2 液性エポキシ樹脂ベースのモルタル接着剤で、CFシートはプライマーを塗布した後、エポキシ樹脂によって、それぞれ既存コンクリートと接着した。いずれの試験体も接着後、室温で約 2 週間の養生を行った。

試験体のパラメータは、① CFRP 補強材による補強量と、② CF補強材の種類 (CFシート, CFRP 筋, CFRP板)、③ CFRP 補強材の厚さである。なお、CFRP 補強材の早期剥離を防止するために左右

\*1 (株) 大林組技術研究所 構造第一研究室 主任研究員、工博 (正会員)

\*2 (株) 大林組技術研究所 構造第一研究室 室長、工博 (正会員)

\*3 東レ (株) ACM技術部 次長

\*4 日本シーカ (株) 建材第一本部 マーケティングサービス部 主査

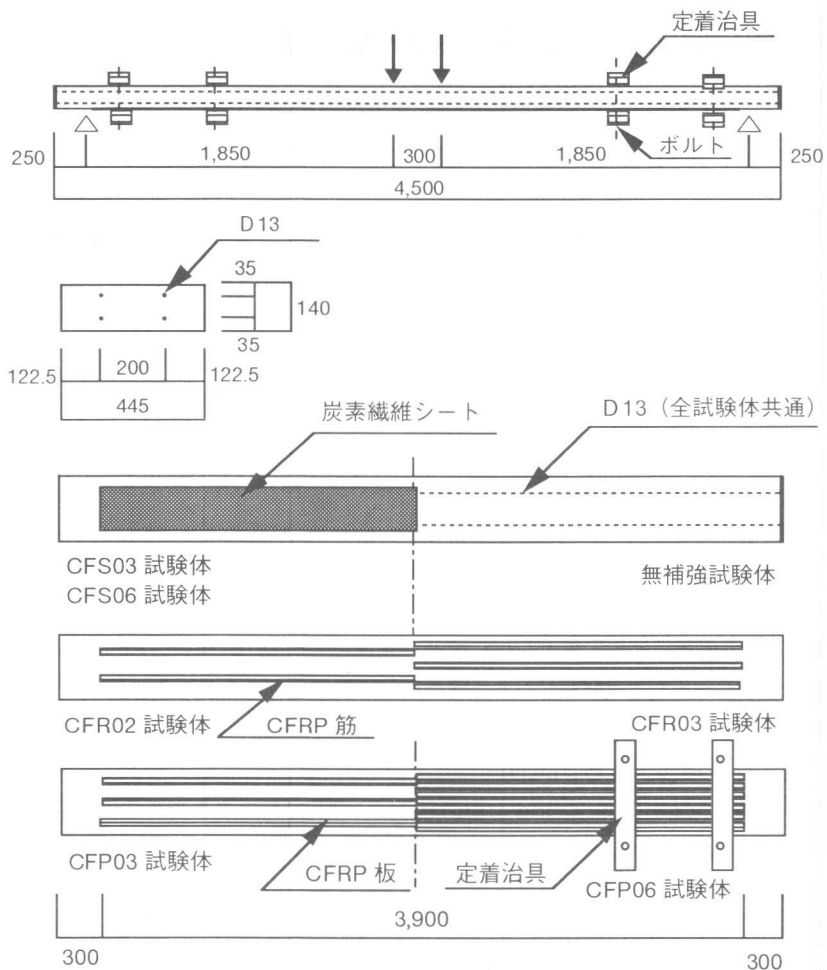


図-1 試験体の形状・寸法

両側の曲げせん断区間でそれぞれ2箇所、計4箇所定着を行った。CF補強材の定着は、試験体の上下面に幅15cm×高さ9.7cm×長さ60cmの鋼材を配し、両者をボルトで締め付ける方法で行なった。

## 2.2 試験方法

試験は、図-1に示すスパン400cmの単純支持中央2点集中荷重(純曲げ区間30cm)による1方向荷重で行ない、補強材のひずみおよび試験体中央での鉛直方向変位(たわみ)を測定した。

## 2.3 実験結果と考察

### 2.3.1 破壊状況

無補強試験体では鉄筋の降伏後、変位の増大に伴って加力点近傍でコンクリートが

表-1 試験体の一覧

試験体名	補強材の種類	補強量*1 (断面積 cm <sup>2</sup> )	補強比*2 $\Sigma AE/(AE)_s$
RC	無補強	—	1.00
CFR02	CFRP筋	2枚@200 (3.02)	1.68
CFR03	CFRP筋	3枚@150 (4.54)	2.02
CFP03	CFRP板	3枚@150 (1.38)	1.41
CFP06	CFRP板	6枚@75 (2.76)	1.82
CFS03	CFシート	3層貼付 (1.09)	1.53
CFS06	CFシート	6層貼付 (2.18)	2.06

\*1 CFRP筋、CFRP板は樹脂を含んだ値、CFシートはCFの実断面積の値

\*2 補強前に対するCFRPを含んだ補強後の補強筋量(断面積×弾性係数)の比

表-2 使用材料の特性

材料名	形状寸法 (mm)	破断荷重 (tf)	引張強度 (tf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (tf/cm <sup>2</sup> )
CFRP筋	42×3.60	25.70	17.0	1,200
CFRP板	48×0.96	12.47	27.1	1,590
CFシート	330×0.11	10.89	30.0	2,590
材料名	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (tf/cm <sup>2</sup> )	降伏強度 (tf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (tf/cm <sup>2</sup> )
コンクリート	416	276	—	—
鉄筋 D13	—	1,990	3.53	5.36

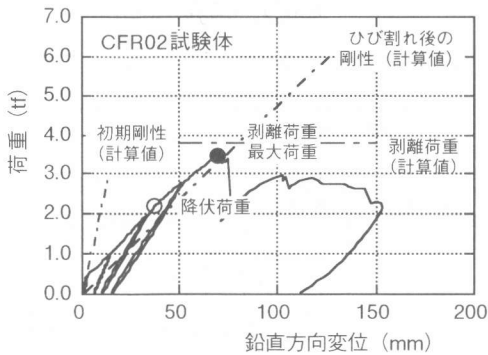


図-2 荷重～変位（たわみ）関係

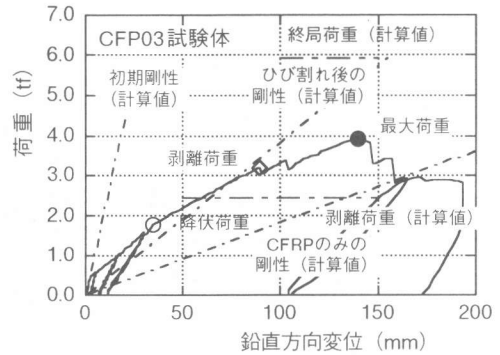


図-3 荷重～変位（たわみ）関係

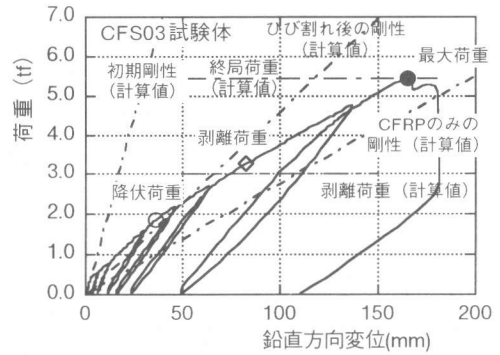


図-4 荷重～変位（たわみ）関係

圧壊し、終局状態に至った。これに対して、CFRP 補強材で補強した試験体では、鉄筋の降伏後、補強材の剥離を生じたが、定着の効果によって、さらに荷重と変位が増大し、補強材の滑り（はがれ）と、これに伴うコンクリートの圧壊により終局状態に至った。

### 2.3.2 変位性状

CFRP による補強後の最大荷重（計算値）に近い値となっている CFR02、CFP03、CFS03 試験体中央での鉛直方向変位と荷重の関係を図-2～図-4、各試験体の荷重～変位関係の包絡線を図-5、6 に示す。この結果、曲げひび割れ発生後および鉄筋降伏後の剛性は、鉄筋量に対するCFRP の補強量が多い（補強比が大きい）

ほど高くなっている。また、鉄筋降伏後の剛性は、CFRP のみの剛性（計算値）と近似している。なお、ひび割れ後の剛性（計算値）は、引張側のコンクリートを無視して求めた値で、終局荷重（計算値）は後述する e 関数法で求めた値である。

### 2.3.3 ひずみ性状

CFP03、CFS03 試験体での荷重～ひずみ関係を図-7 および図-8 に示す。CFRP で補強した試験体で

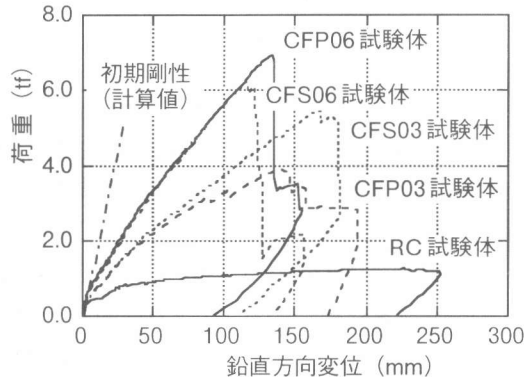


図-5 荷重～変位関係 (CFRP板とCFシートの比較)