

## CF ラミネートを用いた RC スラブの開口補強効果に関する実験的研究

正会員 ○芦川 茂\*  
同 松井 孝洋\*

CFRP 帯板材 RC スラブ 開口補強

## 1. 目的

CF ラミネートは、繊維が一方方向に揃えられた炭素繊維 (CF) とエポキシ樹脂を用いて、引抜き成形法で製造された帯板状の炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 帯板材である。CF ラミネートを用いた CF ラミネート工法は、既存 RC 構造物の曲げ補修・補強工法<sup>1)</sup>の一つとして現在認知されている。

本研究対象の既存 RC スラブ開口部に対する補強について、CF ラミネートを用いた開口補強方法が報告<sup>2)</sup>され、実績を重ねている。しかし、開口位置によっては CF ラミネートの定着長が取れない場合もある。その場合、定着を補助するための定着金具併用が考えられる。本研究では、短尺化した CF ラミネートを定着金具併用で補強した開口付き RC スラブが、通常 RC スラブ (無開口) の降伏荷重相当まで構造性能が復旧することを実験的に検証した。

## 2. 試験概要

## 2.1 試験体仕様

RC スラブ試験体は、1100mm 幅×1700mm 長×150mm 厚の寸法で、開口付きスラブは、中央部に 300mm 幅×150mm 長の開口を有する。

コンクリートは圧縮強度 25N/mm<sup>2</sup> である。主鉄筋は D10 (SD295A, 弾性率 203kN/mm<sup>2</sup>, 降伏強度 367N/mm<sup>2</sup>) で、かぶり 3cm かつ、200mm 間隔で上下面に配置されている。開口補強に用いた CF ラミネートは、高強度タイプ (50mm 幅×2mm 厚, 弾性率 172kN/mm<sup>2</sup>, 引張強度 2,868N/mm<sup>2</sup>) を用いた。CF ラミネート及び鋼板の接着剤は、CF ラミネート用エポキシ系接着剤 (引張せん断強さ 14.4N/mm<sup>2</sup>) である。定着用鋼板 (SS400) は、250mm 幅×100mm 長×9mm 厚で、定着用鋼板が接着剤養生中にズレないように心棒打込みアンカー M8 で 2カ所仮止めしている。

## 2.2 試験体水準

RC スラブ試験体は、表 1 の 4 体を準備した。

表 1 試験体一覧

番号	試験体名	備考
1	CS	通常スラブ試験体 (無開口)
2	CS-OP	中央に開口を有するスラブ試験体
3	CS-CL	開口両脇に CF ラミネート (1150mm 長) を定着長 500mm で接着したスラブ試験体
4	CS-CLP	開口両脇に短尺化 (410mm 長) した CF ラミネートを接着し、両端を定着用鋼板と仮止めボルトで押さえたスラブ試験体

## 2.3 試験方法

支点間長さを 1500mm とし、開口部が荷重点内に入るように荷重点間長さが 500mm となる 4 点曲げ載荷とした (図 1)。試験中にスラブの挙動を確認するために、荷重測定ロードセルを、スラブ中央部と荷重下に鉛直変位計を、コンクリート、鉄筋、CF ラミネートにひずみ計を設置した。

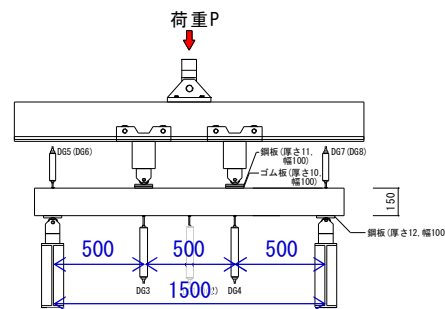


図 1 4 点曲げ載荷試験

## 3. 曲げ試験結果

試験結果を表 2 に、荷重-変位関係を図 2 に示す。なお、最大荷重は変位 15mm 付近までの最大値である。

表 2 試験結果一覧

試験体名	ひび割れ時		曲げ降伏時		最大荷重 (kN)
	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	
CS	48.81	0.41	76.32	3.36	95.59
CS-OP	33.04	0.41	47.33	2.41	64.94
CS-CL	47.96	0.67	93.10	3.15	104.25
CS-CLP	46.85	0.59	72.15	3.06	77.22

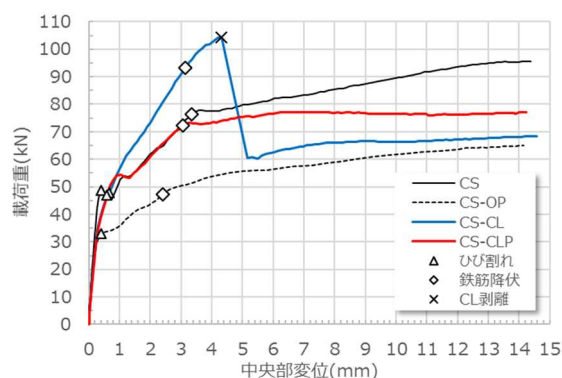


図 2 荷重-変位関係

試験体 CS は、荷重点下の曲げひび割れと同時に、中央部変位と鉄筋ひずみが急激に伸びた。荷重増加と共に曲げひび割れは増加し、かつ下面から上面へ進展した。鉄

筋降伏後、荷重は微増加しながら変形は進行した。

試験体 CS-OP は、開口部四隅にひび割れが発生したと同時に中央部変位や鉄筋ひずみが急激に伸びた。荷重増加と共に開口四隅から X 字となるようにひび割れが進展し、ひび割れ幅が拡大した。試験体 CS 対比、曲げ降伏荷重は 0.62 倍、最大荷重は 0.68 倍と構造性能が低下した。

試験体 CS-CL は、CS-OP のひび割れ荷重までの剛性は CS や CS-OP と同等であった。しかし、CS-OP のひび割れ荷重以降は若干線形が変化し、CS に比べ変形が進んだ。ひび割れ荷重は CS 同等であった。曲げ降伏荷重は CS 対比 1.22 倍向上し、最大荷重(CF ラミネートが剥離(図 3)した荷重)は 1.09 倍向上した。CF ラミネート剥離後は、開口補強効果が消失したために CS-OP 相当の構造性能となり、以降は CS-OP と同等の線形を示した。なお、剥離時の CF ラミネートひずみは約 2,650  $\mu$  であった。

試験体 CS-CLP は、CS-OP のひび割れ荷重までの剛性は他試験体と同等であった。しかし、CS-CL 同様に CS-OP のひび割れ荷重以降は若干線形が変化し、CS に比べ変形が進んだ。ひび割れ荷重は CS 同等であった。ひび割れ以降は、曲げ降伏までの線形は CS と同じ挙動を示し、かつ CS 同等の曲げ降伏荷重となった。曲げ降伏した断面が補強断面ではなく通常のスラブ断面となったことが理由である。そして曲げ降伏以降は、CS の線形と反して荷重は増大せず、同じ変位量での最大荷重は CS 対比 0.81 倍となった。局所的に発生したひび割れが進展・拡大(図 4)し、かつコンクリートや鉄筋のひずみも急激に伸びていたことから、ラミネート定着金具によって定着部断面の曲げ剛性が急激に上がったために、ラミネート定着部境界の一般スラブ断面に応力集中が起きたことが要因と考えられる。なお、本試験終了までに CF ラミネートの剥離は確認されなかった。

以上から、定着方法が異なる 2 つの CF ラミネート補強試験体いずれも、通常スラブの曲げ降伏性能まで復旧できることを実験にて確認した。

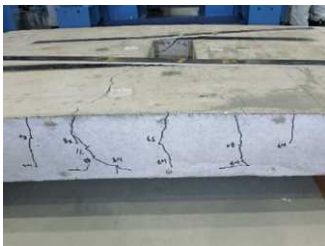


図 3 試験体 CS-CL



図 4 試験体 CS-CLP

#### 4. 開口補強設計の検討

曲げ降伏荷重および最大耐力(CS-CL のみ)について、材料試験結果を用いた補強計算結果と実験結果の比較を表 3

に示す。なお、開口付きスラブの降伏荷重の計算値は、試験体幅から開口幅を除いた有効幅を使って算定した。また、CS-CLP の曲げ降伏荷重はラミネート補強断面境界の通常スラブ断面で破壊したので、CS と同じとした。

曲げ降伏荷重は同程度となったが、最大耐力は 10% の誤差が生じた。しかし、不良率 5% を差し引いた CF ラミネート剥離ひずみ(2,190  $\mu$ )<sup>2)</sup> で計算した最大耐力が 85.6kN となり、既往データ内の結果であることを確認できた。

したがって、開口付きスラブの補強設計を実施する場合、スラブ幅から開口幅を除いた有効幅で計算することによって曲げ降伏荷重ならびに最大耐力を推定できると考える。

表 3 計算値と実験値の比較

試験体名	曲げ降伏荷重 $P_{sy}$ (kN)			最大耐力 $P_{rd}$ (kN)		
	計算値 a	実験値 b	比率 a/b	計算値 a	実験値 b	比率 a/b
CS	68.87	76.32	0.90	-	-	-
CS-OP	46.14	47.33	0.97	-	-	-
CS-CL	94.44	93.10	1.01	114.50	104.25	1.10
CS-CLP	68.87	72.15	0.95	-	-	-

#### 5. まとめ

本研究の結果を以下に纏める。

- (1) CF ラミネートで開口補強した RC スラブ試験体 2 体とも、通常スラブ(無開口)が保有する曲げ降伏性能(荷重、変形)まで復旧できることを確認した。
- (2) 通常定着の試験体は最大荷重が増加する一方、定着金具を併用した試験体は最大荷重の増加は見られなかった。しかしながら、補強された開口付近の補強断面に着目して見ると、通常定着と定着金具併用の開口補強効果の差異は見られなかった。
- (3) 開口付きスラブの補強設計について、スラブ幅から開口幅を除いた有効幅を用いることで、補強後の曲げ降伏荷重および最大荷重を推定できる。

#### 謝辞

本研究は CF ラミネート工法研究会活動により実施したものであり、多大なご支援をくださった関係者へ深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) (一財)日本建築総合試験所, CF ラミネート工法研究会, “建築技術性能証明評価概要報告書 CF ラミネート工法—CFRP 板貼付による既存鉄筋コンクリート造構造部材の曲げ補修・補強工法”, 2015 年 4 月 1 日
- 2) 萩尾浩也, 木村耕三, “新規開口を設けた既存スラブの CFRP 板による開口補強に関する実験的研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 2009 年 8 月

\* CF ラミネート工法研究会

\* Association of Carbon Fiber Laminate System