

神戸大学大学院 学生員 ○杉山 裕樹
神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎

神戸大学工学部 正 員 森川 英典
神戸大学工学部 正 員 小林 秀恵
積水化学工業（株） 中島潤一郎

1. はじめに：近年，FRPシートをコンクリート構造物に接着し補強する工法が注目されている．本研究では，この補強法におけるエポキシ樹脂および繊維シートの材質に着目し，エポキシ樹脂の接着性能および部材としての補強性能についての評価を行うことを目的とし，RCはり供試体にFRPシートを接着し，曲げ載荷実験を行った．

2. 実験の概要：供試体は断面が $150 \times 150 \text{ mm}$ ，長さを 1400 mm のRCはりとし，コンクリートの設計基準強度は 27.4 N/mm^2 とした¹⁾．FRPシートは，幅 75 mm ，長さ 1100 mm とし，エポキシ樹脂を用いて供試体下面に接着した．また，初期のひび割れ発生箇所をある程度制御するため，RCはり中央部には，人工切欠として高さ 75 mm ，幅 150 mm の亚克力板をあらかじめ埋め込んだ．供試体の名称および要因を表-1に示す．エポキシ樹脂は実施工で用いている材質のものを高弾性率とし，一般的なエポキシ樹脂を用いる際の規定値²⁾のものを中弾性率，それ以下のものを低弾性率とした．供試体および載荷方法を図-1に示す．また，繊維シートの性質およびエポキシ樹脂の物性を表-2，3に示す．

3. 実験の結果および考察：実験結果を表-4に示す．各供試体のコンクリート圧縮強度は 29.9 N/mm^2 であった．表-4によると炭素繊維，アラミド繊維とも樹脂の弾性率が小さくなるほど，最大荷重は大きい．炭素繊維およびアラミド繊維については，ほぼ同程度の最大荷重である．このことから，樹脂の弾性率が小さいほど，耐力面での補強効果が高いといえる．また，炭素繊維とアラミド繊維とではほぼ同程度の補強効果が期待できる．FRPシートの破壊について炭素繊維シートに関しては，高弾性率のものはFRPシートがはく離したが，中，低弾性率のものはFRPシートが破断した．このことから中，低弾性率の場合，FRPシートの強度よりもエポキシ樹脂の接着性能の方が上回っているといえる．アラミド繊維に関しては，どの供試体もFRPシートがはく離したが，特に低弾性率のものはコンクリートをえぐり取るようにしてはく離しており接着性能が高いといえる．

図-2，3に炭素繊維，アラミド繊維の荷重－たわみ関係を示す．どの供試体も無補強供試体に比べかなりの耐力増加が認められる．各供試体の比較を行うと，炭素繊維については低弾性率のものはFRPシートが破断し，最大荷重は低弾性率の方が大きい．

表-1 実験要因

供試体番号	繊維シートの種類	樹脂の圧縮弾性率
C-H-L	炭素繊維	高弾性率
C-M-L	"	中弾性率
C-L-L	"	低弾性率
A-H-L	アラミド繊維	高弾性率
A-M-L	"	中弾性率
A-L-L	"	低弾性率

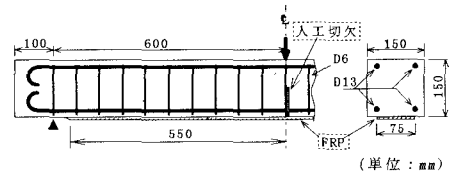


図-1 供試体図および載荷方法

表-2 繊維シートの性質

繊維シートの種類	繊維目付 (g/m^2)	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm^2)	引張弾性率 (N/mm^2)
炭素繊維シート	300	0.167	3481	2.30×10^5
アラミド繊維シート	415	0.286	2059	1.18×10^5

表-3 エポキシ樹脂の物性

樹脂の種類	圧縮弾性率 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	引張せん断接着強さ (N/mm^2)
高弾性率	2.6×10^3	44.1	22.8
中弾性率	1.5×10^3	31.1	15.1
低弾性率	0.3×10^3	8.8	8.8

表-4 実験結果

供試体番号	引張鉄筋降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	無補強供試体に対する耐力比
C-H-L	30.4	50.5	1.14
C-M-L	36.3	51.0	1.16
C-L-L	31.9	53.9	1.22
A-H-L	33.3	51.5	1.17
A-M-L	32.4	52.8	1.20
A-L-L	30.4	56.4	1.28

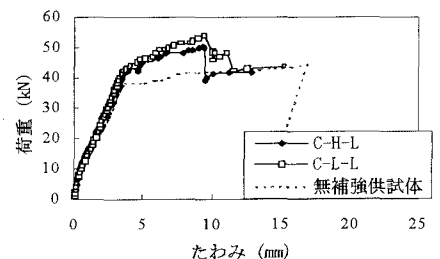


図-2 荷重－たわみ関係（炭素繊維）

アラミド繊維については、低弾性率ほど最大荷重は大きく、FRPシートはく離時のたわみも大きい。このことから、低弾性率の方が粘り強くはく離しにくいことがうかがえる。

各供試体における荷重 30kN 時および全面的なシートはく離または破断直前時の最大接着応力を表-5 に示す。荷重が 30kN 時では、C-M-L、C-L-L について最大接着応力が大きい値となっている。一方、はく離直前時の荷重では C-M-L、C-L-L、A-L-L の最大接着応力が大きくなっている。また、図-4、5 に A-H-L と A-L-L の全面的なシートはく離直前の荷重段階における接着応力分布を示す。ここで、図中の矢印は卓越したひび割れの位置を示す。A-L-L について、中央部分の卓越した正負の接着応力が発生しているのはひび割れの段差による局所的なせん断はく離によるものと考えられる。この影響により前述の最大接着応力が大きい値になったと考えられる。特に、C-M-L、C-L-L については初期の荷重段階においてもその影響を受けている。

次に、各供試体の接着力の挙動を図-6、7 に示す。ここで、接着応力分布のグラフの積分値と FRP シート幅の積を接着力と定義した。どの供試体も 40kN 付近から傾きが大きくなっているがこれは部材が降伏することによって、FRP シートの負担する引張力が増加したためである。比較を行うと炭素繊維、アラミド繊維とも樹脂の弾性率が低いほど最大接着力は大きく、また部材降伏後の傾きも大きいことがわかる。このことから、炭素繊維、アラミド繊維とも低弾性率の樹脂ほど接着性能は高いといえる。なお、前述の接着応力におけるせん断はく離の影響は正負の接着応力を積分することによってある程度解消されるものと考えられる。

4. 結論：以上から次の結論を得た。

- ・最大荷重は、炭素繊維とアラミド繊維とは同程度であるが、両者とも樹脂の弾性率が低いほど大きい。
- ・すべてはく離したアラミド繊維に関して、FRP シートはく離時のたわみは、樹脂の弾性率が小さいほど大きい。
- ・最大接着応力値は、ひび割れの段差によるせん断はく離の影響を大きく受ける。
- ・接着力は部材降伏後に大きく増加し、樹脂の弾性率が低いほどその増加量は大きい。また、最大接着力も樹脂の弾性率が小さいほど大きい。
- ・接着力は、それほどせん断はく離による影響を受けない。

表-5 最大接着応力値

供試体	荷重30kN時 (N/mm ²)	はく離直前 (N/mm ²)
C-H-L	0.98	1.93
C-M-L	1.99	5.26
C-L-L	1.22	5.16
A-H-L	0.90	2.02
A-M-L	0.84	1.67
A-L-L	0.96	14.0

【参考文献】

- 1) 高速道路公団：道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性，1991. 12.
- 2) 阪神高速道路公団：土木補修工事共通仕様書

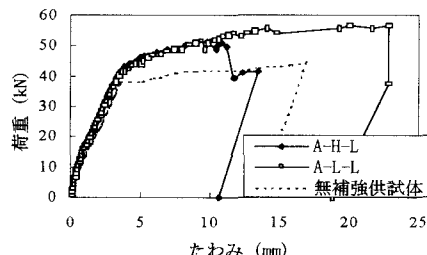


図-3 荷重-たわみ関係（炭素繊維）

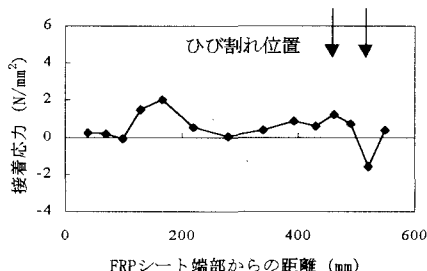


図-4 接着応力分布（A-H-L）

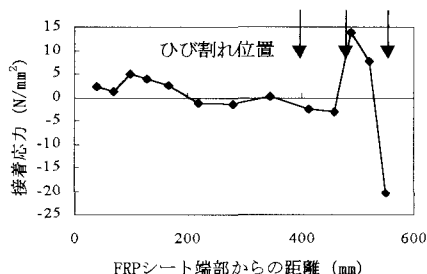


図-5 接着応力分布（A-L-L）

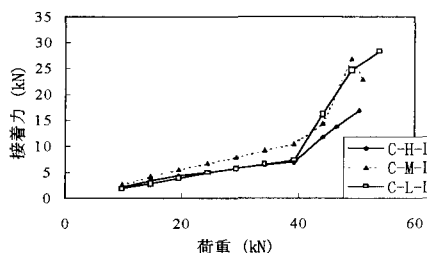


図-6 接着力の挙動図（炭素繊維）

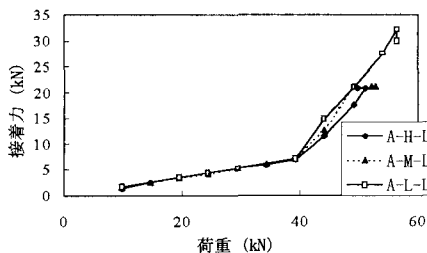


図-7 接着力の挙動図（アラミド繊維）