

曲げ補強用炭素繊維シートの剥離進展メカニズムと端部定着法について

長崎大学大学院 学生会員 ○久保田慶太 長崎大学工学部 正会員 原田 哲夫
 長崎大学工学部 非会員 永藤 政敏 ショーボンド建設（株） 正会員 岳尾 弘洋

1. はじめに

炭素繊維シート（以下 CFS と略記）を曲げ補強に使用する場合、接着長に関わらず、剥離が生じることが分かっている。そのため、端部での確実な定着が重要となる。この場合、アンカーボルトなどによる機械的定着は、CFS の特性を考えると好ましいとは思われず、筆者らは、「柔らかいものには柔らかいもので定着する」という考えに基づき、端部定着法を検討してきた¹⁾。これまでに、「端部増貼り補強」と「U 字巻き付け補強」との組み合わせが有効であることが分かったが、剥離進展メカニズムや剥離防止に対する端部増貼り補強と U 字巻き付け補強の効果は、必ずしも明確でない。そこで、本研究では上記の事項をより明確にするために実験的検討を行った。

2. 実験概要

供試体は、引張鉄筋比を 0.704% (2-D13 降伏強度 390 N/mm², 引張強度 529 N/mm²) とし、スターラップを 100mm 間隔で配置したスパン 2000mm の単純支持 RC 供試体である。使用したコンクリートの特性は、圧縮強度 37.0N/mm², ヤング係数 29.7 kN/mm² であった。CFS (目付け量 300g/m²) は供試体の接着面をディスクサンダーで表面処理した後、エポキシ樹脂プライマーを塗布し、エポキシ樹脂含浸接着剤により接着した。供試体下面の曲げ補強用 CFS の層数は 2 層である。実験は等曲げ区間 400mm の 2 点荷重方式で、上縁コンクリートの圧壊または CFS の剥離で終局に至るまで漸増荷重した。各荷重段階におけるスパン中央部のたわみ、曲げ補強用 CFS 表面のひずみ分布を測定した。供試体断面図を図-1 に、供試体種類と CFS 補強量を表-1 に示す。

3. 実験結果と考察

3.1 剥離進展メカニズム

今回の実験で明らかとなった剥離進展メカニズムは以下の通りである。図-2 にその模式図を示す。①鉄筋降伏後に図-3 のような曲げひび割れに付随し発生するひび割れ（以下付着斜めひび割れと呼ぶ。）が起点となり、支点に向かって CFS の剥離が進行する。②その後、もう一方の側面にも付着斜めひび割れが発生し、同様に支点に向かって剥離が進行する。③この時点で荷重低下がおこらない場合はスパン中央部での CFS の剥離が進行する。④端部定着部以外の曲げ補強用 CFS 全面で剥離が生じてアンボンド状態となった後は、端部定着部下面の CFS の剥離が進行する。⑤その時、曲げモーメントによる CFS の引張力は、端部の U 字巻き付け部側面の定着により、抵抗することになる。⑥端部 U 字巻き付け部側面の定着が十分な場合は、上縁コンクリートの圧壊で終局に至る。

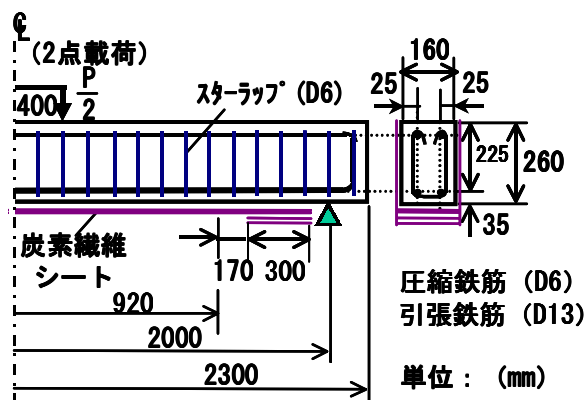


図-1 供試体断面図

表-1 供試体の種類

供試体名	増貼り層数 (端部300mm)	U字巻き付け層数 (端部300mm)	U字巻き付け層数 (170mm区間)
C-1	2層	1層	1層
C-2	2層	1層 (h=50mm)	1層 (h=50mm)
C-3	2層	1層 (h=150mm)	1層 (h=150mm)
C-4	2層	1層	無
D-1	2層	1層	無
D-2	2層	1層 (h=50mm)	1層 (h=50mm)
D-3	2層+CFRP板	1層	無
E-1	2層	2層	無
E-2	無	2層	無
E-3	2層	2層	1層 (h=50mm)

(注) D-1 ; 端部300mm区間以外はアンボンド

[キーワード] 炭素繊維シート, 曲げ補強, 定着, 剥離, 付着

[連絡先] 〒852-8521 長崎市文教町1番14号 TEL&FAX 095-848-9637

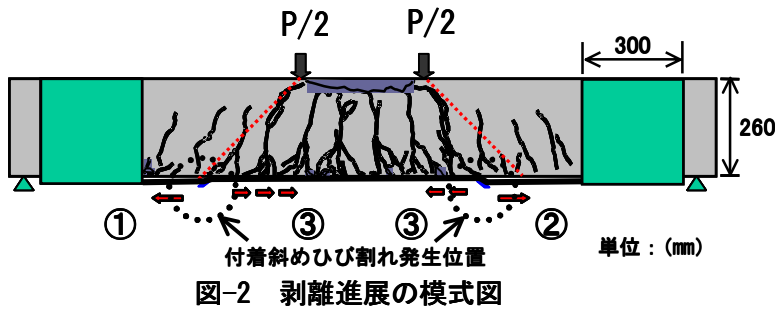


図-2 剥離進展の模式図

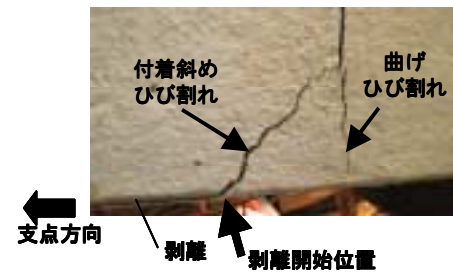


図-3 付着斜めひび割れ

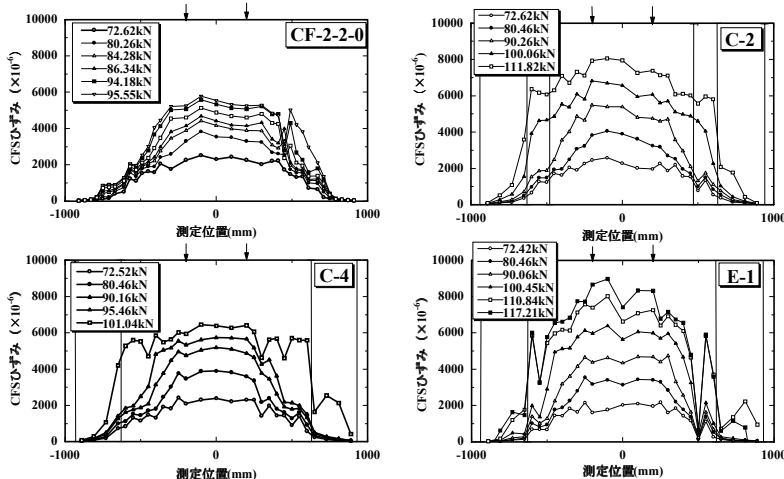


図-4 下面 CFS ひずみ分布

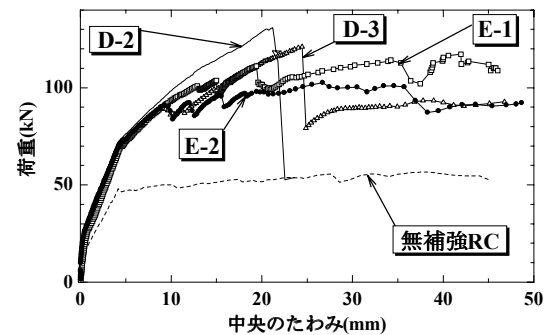


図-5 荷重～たわみ性状

3.2 剥離の進展と端部補強

付着斜めひび割れを起点とする曲げ補強用 CFS の剥離は急激であり、端部増貼り補強のみ（CF-2-2-0）の場合には、剥離の進行は防止できず、急激な荷重低下を引き起こす¹⁾。しかし、U字巻き付けと増貼り補強を組み合わせた場合（E-1）には、増貼り部において剥離の進展が緩和される。これらの状況は図-4からも分かる。この場合、U字巻き付けと増貼りによって端部補強しても、曲げ補強用 CFS の剥離は端部にまで進行する。しかしながら、下面 CFS 全面が剥離してアンボンド状態になった後も、U字巻き付け部側面とコンクリート側面の付着が十分であれば、曲げモーメントに抵抗でき、最終的には上縁コンクリートの圧壊で終局に至るようになる。一方、供試体 D-2 では、付着斜めひび割れの発生を拘束するため、スパン全長にわたり高さ 50mm で U字巻き付け補強した。この場合、耐力は増加するが、かぶりコンクリートの剥落をとまって衝撃的に破壊した。D-3 は、CFRP 板により増貼り部の剛性を増加させる供試体である。端部定着区間での剥離の進行を遅らせ、耐力は増加するものの、圧壊に至る前に急激な荷重低下を引き起こした。以上のことから、曲げ補強用 CFS の緩やかな剥離進展を許容する端部定着が重要であることが分かる。例えば、端部増貼り補強と U字巻き付け補強が適切に組み合わせられた供試体 E-1 の場合には、剥離が進行しながらも図-5 に示すような粘りのある荷重～たわみ性状を示している。

4. まとめ

- (1) 曲げ補強用 CFS の進行性の剥離は、曲げひび割れに付随した付着斜めひび割れを起点とすることが分かった。また、U字巻き付け補強と増貼り補強を行った場合の剥離進展メカニズムも明らかにすることができた。
- (2) 付着斜めひび割れを拘束するためにスパン全長にわたって U字巻き付け補強を行った場合は、耐力は増加するものの、最終的にはかぶりコンクリートの剥落を伴う衝撃的な破壊性状を示した。
- (3) 端部増貼りと U字巻き付け補強を適切に組み合わせることにより、下面 CFS の剥離進展を遅らせ、CFS 全面剥離後は、U字巻き付け部側面の付着で抵抗させることにより、粘りのある荷重～たわみ性状が得られる。

【参考文献】

- 1) 原田、永藤、久保田、岳尾：端部増貼り補強による炭素繊維シート の定着耐力向上に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.22, No.1, pp469-474, 2000.6