

曲げ補強用炭素繊維シートの剥離破壊機構と端部定着法に関する研究

長崎大学工学部

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 と呼ぶ）を曲げ補強に適用する場合、接着長をいくら長くとっても、剥離が生じてしまうことがわかっている。そのため、剥離に対して確実な端部での定着が重要になってくるが、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くない。筆者らは、「柔らかいものには柔らかいもので定着する」と言う考えに基づいた端部定着法に関する検討を行っている。

これまで、「端部増貼り補強」と「U 字巻き付け補強」との組み合わせによって、端部定着法としての効果が発揮できることを確認している。しかし、剥離進展メカニズムおよび剥離防止に対する増貼り補強と U 字巻き付け補強の効果については必ずしも明確にできていない。そこで、上記のことを解明するために実験的な検討を行った。

2. 実験概要

供試体は、引張鉄筋比を 0.704%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。CFS は、試験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。曲げ補強用 CFS の剥離挙動を調べるために、CFS 表面に 30mm ひずみゲージを両端部まで貼付した。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 点荷重で、曲げ圧壊または剥離で終局に至るまで漸増荷重した。スパン中央部のたわみ、鉄筋ゲージを計測するとともに、CFS のひずみ分布を調べた。供試体断面図を図-1、供試体の種類を表-1 に示す。

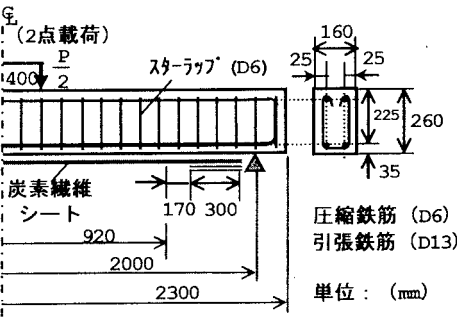


図-1 供試体断面図

表-1 供試体の種類

供試体名	増貼り層数 (端部300mm)	U字補強層数 (端部300mm)	U字補強層数 (端部170mm)	スパン中央部 (920mm)
C-1	2層	1層	1層	無
C-2	2層	1層 (h=50mm)	1層 (h=50mm)	無
C-3	2層	1層 (h=150mm)	1層 (h=150mm)	無
C-4	2層	1層	無	無
D-1	2層	1層	無	無
D-2	2層	1層 (h=50mm)	1層 (h=50mm)	1層 (h=50mm)
D-3	2層+CFRP板	1層	無	無
E-1	2層	2層	無	無
E-2	無	2層	無	無
E-3	2層	2層	1層 (h=50mm)	無

(注)D-1:端部300mm区間以外はアンボンドである

3. 実験結果と考察

3.1 剥離進展メカニズムと端部補強効果

載荷点と載荷点から 45 度の区間内に発生した曲げひび割れに付随して、図-2 に示すようなひび割れ（以下 付着斜めひび割れと呼ぶ）が、剥離の発生起点となっていることが分かった。このひび割れは鉄筋降伏後に発生する。今回の実験で明らかとなった剥離進展メカニズムを以下にまとめて記す。図-3 に示すように、①例えば、左側の付着斜めひび割れが起点となり、支点部に向かって急激に剥離が進行する。② ①の剥離に次いで、右側の付着斜めひび割れが発生し、同様に支点部に向かって剥離が進行する。③この時点で荷重増加がある場合は中央

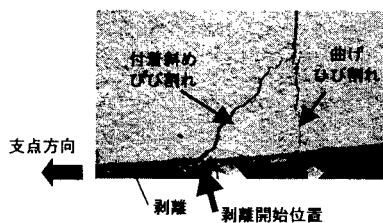


図-2 付着斜めひび割れ

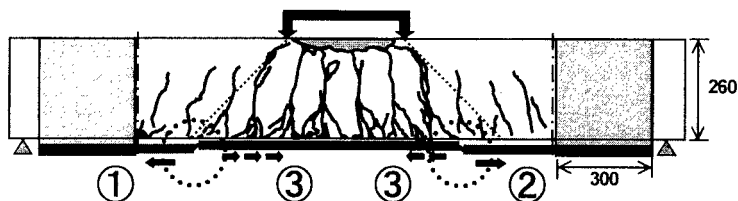


図-3 剥離進展の模式図

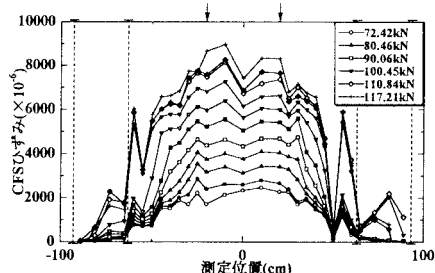


図-4 E-1 下面 CFS ひずみ分布

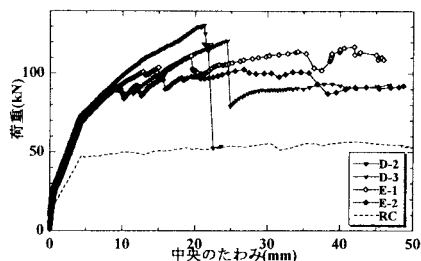


図-5 荷重～たわみ曲線

部での剥離が進行する。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、端部定着部内の 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 字巻き付け部の付着で抵抗することになる。⑥U 字部側面の付着が十分な場合には、上縁コンクリートの圧壊で終局に至る。

付着斜めひび割れの発生による CFS の剥離は急激であり（モードⅠ）、増貼り補強のみの場合には、剥離の進行は防止できず、急激な荷重低下を引き起こした。端部に U 字巻き付け補強と増貼り補強が配置されている（供試体 E-1）ならば、増貼り部において剥離の進行が緩和されるが、荷重の増加にともなって最終的には下面全体において剥離が生じる。U 字巻き付け補強が増貼り部の手前にある場合もその U 字巻き付けの高さに関係なく、急激な剥離（モードⅠ）を緩和させる効果があることが分かった。以上のことは、図-4 に示すひずみ分布の挙動からも判断できる。上記のように、端部での増貼り補強と U 字巻き付け補強が適切な場合は、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～たわみ曲線となる。

3.2 剥離状態を考慮した端部補強のあり方

曲げ補強用 CFS の急激な剥離の起点となる付着斜めひび割れの発生を拘束するために、D-2 ではスパン全体にわたって U 字巻き付けを高さ 50mm で巻き上げ補強した。最終的には U 字巻き付け部が引き裂け、かぶりコンクリートを剥落させる衝撃的な破壊であった。供試体 D-3 は、増貼り部の剛性を増加させ、端部定着区間での剥離進行をより遅らせるため、CFRP 板を設置した供試体である。D-2、D-3 のように曲げ補強用 CFS の剥離進行を強くする補強をした場合には図-5 に示すように、耐荷力は増加するが、急激な荷重低下を引き起こすことが分かった。従って、剥離を緩やかに進行させる増貼りと U 字巻き付け補強が適切であると考えられる。

4. まとめ

- (1) 曲げ補強用 CFS の剥離発生起点が、曲げひび割れに付随した付着斜めひび割れであることが分かった。また、U 字巻き付けと増貼りの補強状態での剥離進展メカニズムにおける影響も明確にすることができた。
- (2) 付着斜めひび割れの発生を拘束したり、剥離進行を防止するような U 字巻き付けや増貼り補強では耐荷力は増加するものの最終的にはかぶり部の剥落を伴い CFS の破断によって終局に至る衝撃的な破壊を示すことが分かった。
- (3) 増貼り補強と U 字巻き付け補強を適切に組み合わせ、付着斜めひび割れによる剥離を緩和し、下面 CFS 全体剥離後は、U 字巻き付け部の付着で抵抗させる補強を施すことにより、耐荷力の向上とともに変形性能が得られることが分かった。