論文 初期荷重を受けたRCはりに対するCFRP補強について

高橋 義裕^{*1}·佐藤 靖彦^{*2}

要旨:初期荷重を RC はりに作用させ,ある程度の損傷を RC はりに与え後に CFRP シ - トを下面に貼付し,再度静的曲げ載荷試験を行った。本研究では,CFRP のシート層 数を変化させ(1層~3層),さらにシートの貼付方法としてはコンクリートとシートと のに緩衝材を塗布しその有無による影響等について実験的に検討した。初期荷重による 損傷をうけたはりの最大耐力は,初期荷重を受けなかったはりの最大耐力を上回ること はなかった。また,シート層数が3層で緩衝材を塗布した場合には初期荷重によるシー トひずみへの影響は殆ど見られなかった。

キーワード:初期荷重,炭素繊維シート,曲げ補強,緩衝材,曲げ耐力

1. はじめに

既存構造物の補強を行う上で重要なこと は,曲げ及びせん断に対して十分な補強効果 を有しているとともに、その施工性に優れて いることであり、連続繊維シートはこの様な 要求を十分に満たす新しい補強材である。現 在,連続繊維シート,特に炭素繊維 (CFRP) シート(以下「シート」と呼ぶ)は、高い引 張強度を持ち軽量で耐食性に優れ、施工性に 優れたシート状であるため、既存構造物の補 強材に用いた事例が増加している。この様な 現状を踏まえて現在合理的な補強設計方法の 確立に向けての積極的な研究・検討が行われ ている^{1),2),3)}。一方,通常既存構造物の補強 補修を行う場合、その構造物は何らかの初期 載荷による損傷を受けている可能性がある。 そこで,著者らは,初期荷重を RC はりに作 用させ、ある程度はりに損傷(ひび割れ)を 与えた後に CFRP シートをはり下面に貼付 し、再度静的曲げ載荷を行い、はりの曲げ性 状及びシートのひずみ性状等について実験的 に検討した。その際、特にひび割れに対する

樹脂注入等の処理は施していない。また、シ ートとコンクリート面との間に変形能力の大 きい緩衝材(層厚を 0.5mm とした)をプラ イマーを塗布した後に塗布した実験供試体も を用いて同様の実験を行った。含浸接着樹脂 は、シート用の汎用エホ[®] シ樹脂を使用した。

2. 実験概要

実験供試体は合計 14 体である。実験供試 体の形状・寸法・鉄筋配置等については図-1に示す。実験供試体の設計は曲げ耐力がせ ん断耐力を上回りせん断破壊先行にならない ように行い,主鉄筋として D19を2本,せん 断補強鉄筋として,D10 (SD295A)を10cm ピッチで配置した。供試体 F0,F1は、シー トを全く貼り付けてない RC はりであり,初 期荷重のを受けない,受けたによる最大荷重 確認実験の為に行ったものである。供試体 F0 を基準供試体とする。初期荷重の大きさは引 張鉄筋単体の降伏歪 1850 μを目標に決め,荷 重の大きさ的には基準供試体 F0 の最大荷重 の約 70%程度,つまり 140 k N となる。供試

- *1 北海学園大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)
- *2 北海道大学大学院助手 工学研究科社会基盤工学専攻 工博 (正会員)



体 F2~F4 はシート層数をそれぞれ 1 層~3 層まで変化させ、単調に増加荷重を作用させ た。供試体 F5~F7 は剥離耐力の向上を目的 として緩衝材を用いた供試体で、シート層数 はそれぞれ 1 層~3 層である。供試体 F8~ F10 は、シート層数は供試体 F2~F4 と同様 であるが、初期荷重を受けた供試体である。 供試体 F11~F13 は、シート層数と緩衝材は 供試体 F5~F7 と同様であるが、初期載荷を 受けた供試体である。それぞれの供試体にお いて、それぞれのシートは支点区間に渡り貼 付(但し、支点部手前 3cm で貼り止め、支点 はコンクリート表面を直接支持している)し

表-2 使用材料の特性値

CFRP シート		繊維目付量	$300 g/m^3$	
		設計厚さ	0.167mm	
		引張弾性率	230GPa	
		引張強度	3480MPa	
		破断ひずみ	15130μ	
鉄筋	D19	降伏強度	371MPa	
	(SD345)	引張強度	570MPa	
	D10 (SD295A)	降伏強度	377MPa	
		引張強度	537MPa	
緩衝材		引張強度	1MPa	
		伸び率	70%以上	

た。

実験結果の一覧を表-1 に,各実験供試体 に用いた材料の力学特性値を表-2 に示す。

本実験では、はりに二点対称集中荷重を作 用させ、荷重を約 5kN ずつ単調に増加させ破 壊に至らしめた。なお測定は、はりの荷重載 荷点での変位、主鉄筋およびシートのひずみ である。シートには、ゲージ長 5mm の一軸 ひずみゲージを貼り付けた。

コンクリートは,水セメント比 45%,細骨 材率 38%,早強ポルトランドセメント,海砂 及び川砂利を使用した。

以上の事により各実験供試体の破壊性状, たわみ,主鉄筋のひずみ及びシートのひずみ を測定した。

表一	-1	実験	結果	一覧	
			н	1 #	1 3 7

No	シート層数	緩衝材	初期載荷	$f_c(MPa)$	最大荷重(kN)	備考
FO	0			40.3	193.2	曲げ破壊
F1	0		有り	42.1	194.0	曲げ破壊
F2	1			35.8	226.5	シート剥離
F3	2			40.2	244.0	シート剥離
F4	3			39.0	269.5	シート剥離
F5	1	有り		50.3	254.0	シート中央で破断
F6	2	有り		50.3	278.0	一部かぶりコンクリートの剥離
F7	3	有り		49.5	311.0	一部かぶりコンクリートの剥離
F8	1		有り	43.0	214.0	シート剥離
F9	2		有り	46.3	227.0	シート剥離
F10	3		有り	48.2	260.0	シート剥離
F11	1	有り	有り	46.3	228.0	シート剥離
F12	2	有り	有り	56.3	266.0	シート剥離
F13	3	有り	有り	55.5	302.0	シート剥離

3. 実験結果

3.1 破壊荷重及び破壊性状

コンクリート強度のばらつきによる影響も ないとは言えないが、今回の実験の範囲内で は曲げ補強に対する影響は少ないと考んがえ られる。従って、シト層数増加により曲げ耐力 は増加していると思われる。また、下面にシ ートを貼付した場合は、全てシートの剥離破 壊であった。一方、コンクリート面と CFRP シートとの間に緩衝材を用いたシート1層貼 りの F5 供試体はスパン中央でのシート破断 での破壊であった。緩衝材を用いたシート2 層、3層の供試体 F6、F7 は、載荷点と支点 との中間部付近でのかぶりコンクリートの剥 離であった。初期荷重載荷を行い、ある程度 の損傷を受けた供試体の場合,緩衝材を使用 しなかった供試体 F8~F10 の場合,ひび割れ の進展状況は,初期荷重により発生した既存 のひび割れからのさらなるひびわれの進展で あり,ほとんど新規のひび割れは見られなか った。一方,緩衝材を用いた供試体 F11~F13 においては新たなひび割れの発生も見られた。 本実験の範囲(ひび割れに対する処理を行っ ていない)では,いずれの場合においても, 初期荷重を受けたはりの最大荷重はそれに対 応する初期荷重を受けていないはりの最大荷 重を超えていない。

3.2 変形性状及び主鉄筋ひずみ

図-3は、荷重と載荷点直下のたわみ関係 を示したものである。図-3(a)は、シー



図-3 荷重-たわみ関係

ト1層で、図-3(b)は、シート3層で、 初期荷重の有無による荷重-たわみ関係を示 したものである。同図中には断面分割法によ る1層と3層の計算値(緩衝材は特に考慮し ていない)も示されている。シート1層の場 合残留変位を差し引くと200kN近傍までは ほぼ初期荷重を受けない場合に一致する。鉄 筋降伏荷重と思われる200kN近傍から初期 載荷供試体のたわみが大きくなっている。初 期荷重による影響は、鉄筋降伏後の剛性低下 として出てきている可能性がある。一方、シ ート3層の場合にはそれほどの剛性低下は見 らず、両者はほぼ同様の挙動を示している。 最大荷重において若干の低下が初期荷重を受 けたはりに見られる。図-3(c)と(d)



は、シート層数はそれぞれ1層及び3層で、 緩衝材を有する場合の荷重-たわみ関係を示 したものである。シート1層においては 200kN近傍までは、図(a)とほぼ同様の挙 動を示すが、200kN以降においては若干た わみが大きく出ている。これも曲げ剛性の低 下が初期荷重を受けたはりの方が大きかった ためと思われる。シート3層においては、そ れほど、曲げ剛性の低下はそれほど見られな かった。1層の計算値は実験値をよく追従し ていると思われる。さらに3層で剥離制御の 緩衝材使用の場合も計算値は概ね追従してい るものと思われる。また、これらのグラフよ り緩衝材を用いた場合は、終局たわみが増加 し、シート層数の増加による曲げ剛性の増加





も確認できた。

図-4(a)~(d)は、載荷点直下の鉄 筋ひずみと荷重との関係を示したものである。 シート層数は、2層と3層である(1層での 鉄筋ひずみはコンクリート内部でのリード線 切断により測定できなかった)。図-4(a) と(b)は、緩衝材が無い場合、図-4(c) と(d)は、緩衝材を有する場合である。鉄 筋ひずみは1万 μ で打ち切りとした。図-4 (a)と(b)より緩衝材の無い場合は、初 期荷重を受けた場合と受けなかった場合とも その上り勾配は殆ど一致する。しかし、降伏 状態と思われる水平になる荷重は,初期荷重 を受けたはりの場合の方が若干低めである。 一方,緩衝材を有する**図-4(c)**と(d) の場合,初期荷重を受けた後のひずみ曲線の 傾きが急になっており緩衝材により見かけ上 鉄筋剛性の増加が見られる。

3.3 CFRP シートのひずみ性状

図-5は、スパン中央での CFRP シートの ひずみと荷重との関係を示したものである。 シート層数は1層と3層である。**図-5(a)** と(b)は、それぞれシート1層と3層で緩 衝材のない場合で、**図-5(c)**と(d)は 緩衝材を有する場合である。**図-5(a)**と (b)より緩衝材の無い場合,鉄筋降伏荷重 と思われる200kN近傍までは,初期荷重を受 けたはりのシートひずみは若干低めである。 これは,初期荷重のはりでは既にひび割れが 生じており力の再配分が終了しているためシ ートに生ずるひずみ量が初期荷重を受けてい ないはりの場合に比べ若干低めの値となって いるものと思われる。荷重が鉄筋降伏荷重近 傍を超えると逆転し,初期荷重を受けたはり のシートひずみが初期荷重を受けたはりの ひずみより大きく出ている。これは鉄筋降伏 による影響が初期荷重を受けたはりの方が大 きかったことを示しているものと思われる。

図-5(c)と(d)は,緩衝材を有する場合 である。この場合は,初期荷重を受けたはり のシートひずみは若干大きくでている。しか しシート3層の場合は,殆ど両者は一致して おり初期荷重の有無による違いは見られれな なかった。

4. まとめ

本研究は,初期載荷を受けた RC はりと初 期荷重を受けなかった RC はりに対し,下面 シート補強を行い静的二点対称荷重を作用さ せた。その際のはりの破壊性状,最大荷重, 載荷点のたわみ,スパン中央での鉄筋及びシ ートのひずみについて,緩衝材の有無,初期 荷重の影響,シート層数の影響を実験的に検 討したものである。今後さらに検討すべき点 もあるが本研究の範囲で得られた知見を以下 に示す。

(1)初期荷重を受けないはりの破壊形式と しては、緩衝材無しではシートのピーリング 破壊、緩衝材有りではシート1層の場合はシ ート破断、2、3層では、かぶりコンクリー トを剥ぎ取る剥離破壊であった。

(2)初期荷重を受けたはりの破壊形式は、緩衝材の有無に関わらずシートの剥離破壊であった。

(3)荷重-たわみ関係より初期荷重を受け

たはりの曲げ剛性の低下は殆ど見られなかった。初期荷重を受けたはりにおいても緩衝材を使用したはりの終局たわみは増加した。シ -ト3層数の場合,その曲げ剛性は増加する が終局たわみの増加はそれほど期待できない。

(4)荷重-鉄筋ひずみの関係より,緩衝材 を有する初期荷重を受けたはりの鉄筋剛性が 見かけ上増加傾向を示した。

(5)荷重-シートひずみ分布から,緩衝材 無しのはりでは,鉄筋降伏後初期荷重を受け たはりのシートひずみが初期荷重を受けない はりのシートひずみより大きく出ている。

謝 辞

本研究の遂行において CFRP シート及び 接着樹脂を提供して頂いた日鉄コンポジット

(株)及び緩衝材を提供して頂いた日石三菱 (株)の各位に深く感謝の意を表します。ま た,実験を進めるに当たっては,北海学園大 学工学部土木工学科四年生の石川,小倉,鳴 川,沼田,有馬,中村,久保君の協力を得た。 さらに,本研究の一部は,「平成14年度私立 大学学術フロンティア推進事業」の補助金を 受けた。ここに付記し謝意を表する。

参考文献

 高橋,佐藤:炭素繊維シートで曲げ補強 した RC はりの耐力及び変形に関する実験的 研究,コンクリート工学年次論文報告集,
Vol.24, No.2, pp1393-1398,2002
2)高橋,秦 他:炭素繊維シートで曲げ補 強したはりの曲げ性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20,
No.1, pp.509-514,1998
3)高橋,佐藤 他:炭素繊維シートにより 曲げ補強した鉄筋コンクリートはりの耐力及 び変形,コンクリート工学年次論文報告集,
Vol.19, No.2, pp.1161-1616,1997