

V-38

炭素繊維シートを曲げ補強材として用いたRCはりの曲げ及びせん断性状について

北海道大学	正員	佐藤 靖彦
北海学園大学	正員	高橋 義裕
清水建設(株)	正員	小野 定
東燃(株)	正員	小林 朗

1. はじめに

既存構造物の補強を行う上で重要なことは、曲げ及びせん断力に対して十分な補強効果を有していることとともに、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ような要求を十分に満たす新しい補強材料である。

現在、連続繊維シート、特に炭素繊維シート（以下「CFS」）を既存構造物の補強材に用いた事例が増えつつある。しかしながら、合理的な補強設計方法が確立されていない現時点では、適切な補強が行われているとは言えないものも多い。CFSにより、桁の補強のみならず橋脚の耐震補強を合理的に行う為には、CFSを用いた既存コンクリート構造物の補強設計方法の構築が急務である。そこで本研究は、今後、設計方法を構築する上で必要とされる基礎的な資料を得ることを目的とし、炭素繊維シートを曲げ補強材として張り付けた鉄筋コンクリート（以下「RC」）はりの曲げ及びせん断性状を実験的に明らかにする。

2. 実験概要

実験供試体は合計5体である。供試体図を図1に示す。供試体F0及びS0は、CFSを全く張り付けていないRCはりである。供試体F1は、曲げ補強シートとして用いた炭素繊維シートの曲げ補強効果を確認するためのものであり、供試体F0と同じ諸元を有するRCはりの下面にCFSを1層張り付けたものである。供試体S1及びS2は、曲げ補強材として用いたCFSのせん断補強効果を確認するものであり、供試体S0と同じ諸元を有するRCはりの下面にそれぞれCFSを1層及び3層張り付けたものである。各供試体の諸元を表1に、供試体図を図1に示す。また、使用した鉄筋及び炭素繊維シートの力学的特性値を表2に示す。

本実験では、RCはりの2点に集中荷重を作用させ、約10kNづつ荷重を単調に増加させ破壊にいたらしめた。なお、測定は、はり中央点の変位及びCFSのひずみであり、ひずみゲージの貼付位置は図1に示すとおりである。

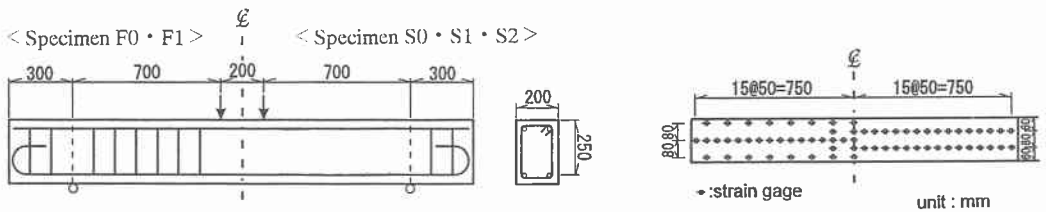


図1 供試体図及びひずみゲージ貼付位置

Flexural and Shear Behavior of RC Beams using CFS as Flexural Reinforcement

by Yasuhiko SATO, Yoshihiro TAKAHASHI, Sadamu ONO and Akira KOBAYASHI

表1 使用材料の力学的特性値

	Type	Cross sectional area (mm ²)	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength(MPa)
Steel	D10	71.3	200	377	not measured
	D19	286.5	180	371	570
CFS	A	1.65*	230	—	3480

*Cross sectional area in width of 10mm

表2 実験供試体の諸元

Specimen	Compressive strength	Tension reinforcement		CFS		Ultimate load(kN)	Failure mode
		Type	p_s (%)	Number of sheet	A_{CFS} (mm ²)		
F0	31.7	D19×2	1.15	—	—	193	Flexural tension
F1	38.2	D19×2	1.15	1	33.0	229	Peeling
S0	42.7	D19×2	1.15	—	—	158	Diagonal tension
S1	34.1	D19×2	1.15	1	33.0	151	Diagonal tension
S2	33.6	D19×2	1.15	3	99.0	170.6	Diagonal tension

表3 曲げ耐力の比較

Specimen	P_{y-test} (kN)	P_{y-cal} (kN)	$\frac{P_{y-test}}{P_{y-cal}}$
F0	156.8	134.0	1.17
F1	171.0	146.0	1.17

3. 曲げ補強シートの曲げ補強効果

3.1 破壊形式及び終局耐力

表2に示した終局荷重より、CFSを張り付けた供試体F1の終局耐力は、無補強の供試体F0より、18%程度増加しており、曲げ補強効果が確認された。なお、供試体F0の破壊形式は、主鉄筋の降伏による曲げ破壊であり、供試体F1の破壊形式は、主鉄筋の降伏後のCFSの剝離破壊である。

表3は、供試体F0、F1の主鉄筋降伏時の荷重の計算値と実験値を示す。計算値は、平面保持を仮定したはり理論により求めた値であり、両供試体ともに概ね実験値と一致している。

図2は、供試体F0、F1の荷重と中央点の変位を示すものである。CFSを張り付けた供試体F1の方が若干剛性が大きい傾向にある。図中の実線は、Bransonの換

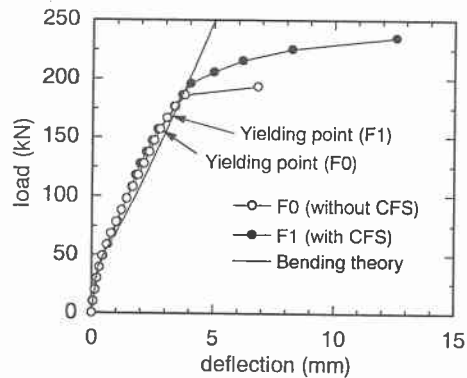


図2 荷重-変位曲線

算断面2次モーメント²⁾を用いて計算した供試体F0の弾性計算値を示すものであるが、両供試体ともに、主鉄筋降伏後に変形が計算値よりも大きくなることが明らかである。

3.2 シートの歪み性状

図3は、供試体F1の剥離を起こしたスパンにおけるCFSの部材軸方向のひずみ分布を示しており、図3の(a)から(c)は、それぞれ曲げひび割れ発生前、曲げひび割れ発生後、破壊直前におけるひずみ分布を示す。

図3(a)に示す実線は、全断面を有効とした弾性計算値より求めたCFSのひずみを示すものであり、実験値と良く一致していることが明らかである。一方、図3(b)に示す実線は、全断面を有効とした弾性計算値を、点線は引張断面を無視した弾性計算値を示すものである。この荷重レベルにおいて曲げひび割れは、やはり中央部から支点側に400mmの範囲内のみ発生しており、曲げひび割れが発生している領域では、引張断面無視の計算値と概ね一致している。また、支点付近の領域では、全断面を有効とした計算値とほぼ一致していることが明らかである。すなわち、この荷重レベルにおいては、平面保持の仮定が満足されており、CFSで補強したRCはりの変形や耐力を考える上で通常のはり理論を適用することができるものと言える。

図3(c)は、終局荷重付近のCFSのひずみ性状を示すものである。ここで示した荷重レベルにおいて、主鉄筋は降伏している。荷重が215.6kNと225.4kN時のひずみ性状を比較すると、やはり中央から400mmまでのCFSのひずみは大きく増加し、その区間内ではほぼ一定のひずみとなるが、400mmから支点までの区間では、全くひずみが増加していない。さらに、破壊直前の229kNにおいて、ひずみの一定値を示す区間がやはり中央位置から500mmまでの範囲に広がり、先ほどひずみの増加が観察されなかった区間のひずみが急激に増加している。すなわち、やはり中央から500mmの領域において剥離が起り、500mmの位置から支点までの領域で引張力を受け持っているものと考えられる。今、500mmの地点のひずみよりCFSに作用する引張力を算出し、引張力を受け持っていると考えられる面積（定着長200mm×幅200mm）で除して平均定着強度を計算すると1.1MPaとなる。過去の定着試験結果²⁾において、定着長が200mmである場合の供試体F1に使用したCFSの定着強度は約1.0MPaであり、仮定した領域においてその定着強度に達したことにより破壊したものと考えることができる。

今後は、主鉄筋降伏後にCFSのひずみがどのように増加し、最終的な剥離破壊がいかなる条件で発生

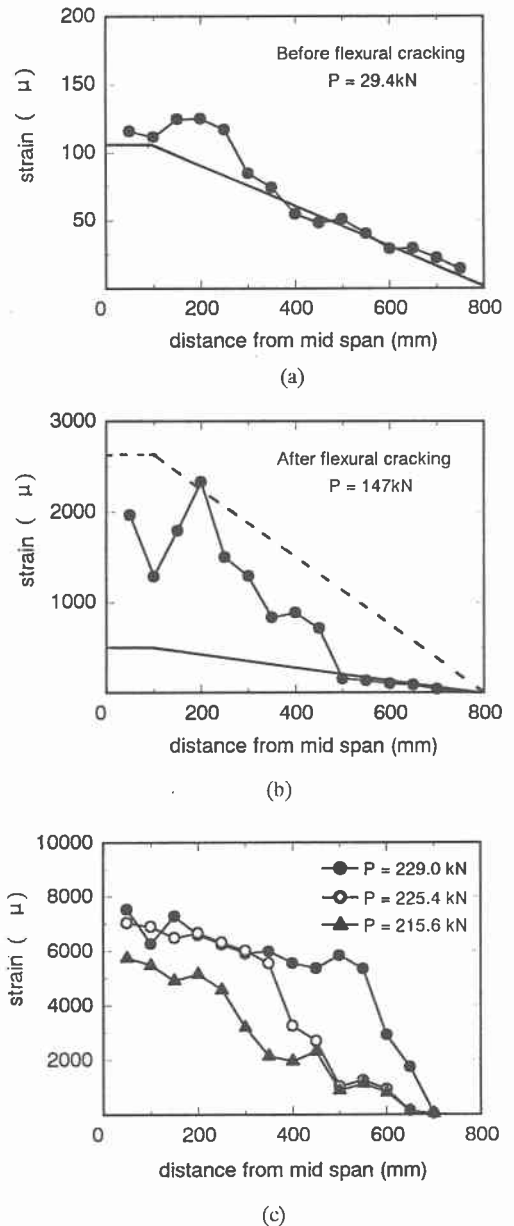


図3 CFSのひずみ性状

するかを明らかにする必要がある。

4. 曲げ補強シートのせん断補強効果

4.1 破壊形式及び終局耐力

供試体S0、S1、S2はすべて斜め引張破壊を起こした。この場合、供試体S1及びS2において、CFSの剥離は観察されていない。

表4は、供試体S0、S1及びS2のせん断耐力の実験値と計算値を示す。供試体S0のコンクリートの圧縮強度が、他の2体の圧縮強度に比べ7MPa程度大きかったため、コンクリートの圧縮強度が35MPaである場合を基準としたせん断耐力（表中の V_u^* ）を用いて比較を行う。無補強の供試体S0に対して、CFSを1層張り付けた供試体S1では約3%、CFSを3層張り付けた供試体S2では約17%せん断耐力が大きいの。すなわち、CFSの張り付け量が多いものほどせん断耐力が増加する傾向にある。表中の V_{cal} は、鉄筋コンクリートはりに対するせん断耐力式（二羽式）³⁾により計算した値であり、本実験供試体のせん断耐力は、二羽式により得られる値よりも、20%から40%程度大きい。

一方、表中の V_u^* は、二羽式に主鉄筋の面積にCFSの弾性係数と鉄筋の弾性係数との比にCFSの面積を掛けた値を足し合わせた補強面積を用いた場合のせん断耐力を示す。供試体S2の耐力比が他と比べ若干大きい、CFSの補強面積を上述の方法により考慮することにより、その補強効果を概ね評価できると言えそうである。

表4 せん断耐力の比較

Specimen	f'_c	ρ_s	ρ_s^*	V_u	V_u^*	V_{cal}	V_{cal}^*	V_u/V_{cal}	V_u^*/V_{cal}^*
S0	42.7	1.15	-	79.0	73.8	60.5	60.5	1.22	1.22
S1	34.1	1.15	1.23	75.5	76.2	60.5	61.7	1.26	1.24
S2	33.6	1.15	1.38	85.3	86.5	60.5	64.3	1.43	1.35

5. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1)炭素繊維シートを曲げ補強材として張り付けたRCはりの曲げ耐力は、炭素繊維シートを張り付けない場合に比べ増加する。また、主鉄筋が降伏するまでの変形及び炭素繊維シートのひずみ、ならびに主鉄筋が降伏するときの荷重は、従来のはり理論により概ね評価できる。
- (3)炭素繊維シートにより曲げ補強したRCはりのせん断耐力は、炭素繊維シートを張り付けない場合に比べ増加する。その増加量は、鉄筋コンクリートはりに対するせん断耐力式に、主鉄筋の面積とシートの弾性係数と鉄筋の弾性係数との比に炭素繊維シートの面積を掛けた値を足し合わせた補強面積を用い概ね評価できるものと思われる。

参考文献

- 1)コンクリート標準示方書（平成3年版）設計編，土木学会，1991年
- 2)浅野靖幸・佐藤靖彦・小野定・小林朗：一軸引張力を受ける炭素繊維シートの付着特性について、土木学会北海道支部論文報告集，第52号，1996年
- 3)二羽淳一郎・山田一宇・横沢和夫・岡村甫：せん断補強筋を持たないRCはりのせん断耐力の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5，pp.167-176，1986年