

連続繊維シートによるRC部材の付着割裂破壊抑止効果に関する研究

豊橋技術科学大学建設工学大学院 正会員 ○葛西 雄介
豊橋技術科学大学建設工学教授 正会員 角 徹三

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以降、既存建物の耐震補強や補修の必要性が高まり、耐震性の向上を図るために、鉄筋コンクリート部材において連続繊維シートを用いた耐震補強がされるようになってきた。それに伴い、連続繊維シートによるせん断補強効果、並びに付着割裂破壊抑止効果に関する研究が行われてきた。しかしながら、未だ付着割裂破壊においては研究が少ないのが現状である。また、その研究の中でも、曲げ降伏後の付着割裂破壊を示す連続繊維補強されたRC部材の靱性能に関する研究については特に少なく早急な解明が望まれている。

そこで本研究は連続繊維シート補強された曲げ降伏先行型逆対称荷重梁型試験体を用いて単調および繰返し荷重実験を行い、シートの補強効果を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体一覧表を表1に、試験体の寸法、配筋および断面を連続繊維シートの貼付要領と併せて図1に示す。尚、表1中のCは炭素繊維シートを示す。尚、炭素繊維シートの引張強度、弾性係数はそれぞれ 3400N/mm^2 、 $2.3 \times 10^5\text{N/mm}^2$ である。

試験体の断面寸法、配筋詳細は全て同一とし、FRPシート補強量をパラメータとした。試験区間は1200mm、断面は $200 \times 300\text{mm}$ とし、試験区間の両側に補強部（スタブ）を設け荷重および反力の支持点とした。横補強筋には曲げ破壊および付着割裂破壊に先行してのせん断破壊を防止するために十分な量($p_{ws}=0.6\%$)を配置した。試験体の寸法と試験筋の配置決定にあたっては、終局強度型設計指針¹⁾に従えば曲げ破壊が先行するよう留意されている。荷重方法は逆対称荷重を採用し、一方向単調荷重と正負繰返し荷重を行った。測定項目は①試験区間に作用するせん断力、②試験区間の部材変位、③試験区間全域の主筋の歪、④試験区間全域の横補強筋の歪、⑤連続繊維シートの歪とした。

表1 試験体一覧

試験体名	断面形状 (mm)	主筋	横補強筋	連続繊維シート	
		本数・径	本数・径 補強比	種類	補強比 p_{wf} (%)
NM	200 × 300	4-D19	2-D10 0.6%	—	0
C08M				C	0.08
NR				—	0
C08R				C	0.08
C16R				C	0.16

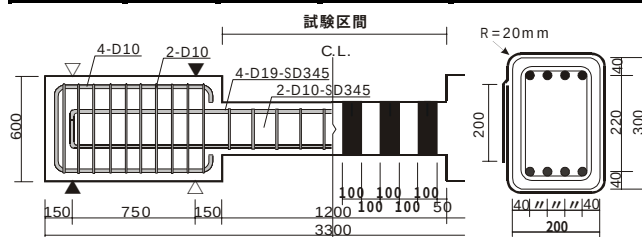


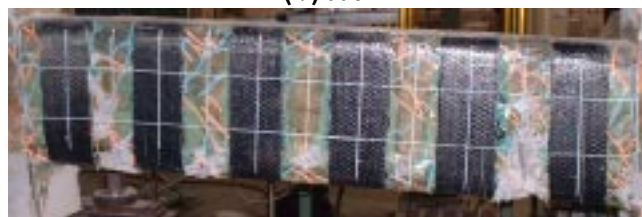
図1 試験体図



(a) NM



(b) C08M



(c) C16R

図2 破壊状況の一例

表2 実験結果の概要

試験体名	荷重方法	コンクリート 圧縮強度 $\sigma_B(\text{N/mm}^2)$	連続繊維シート		計算値(KN)			実験値(KN)	破壊形式 ^{*5}
			種類	$p_{wf}(\%)$	せん断耐力 $Q_{su.cal}^{*1}$	曲げ耐力 $Q_{mu.cal}^{*2}$	付着割裂耐力 $Q_{bu.cal}^{*3}$	$Q_{u.exp}^{*4}$	
NM	単調	36.8	—	0	230	171	204	152	B
C08M		29.1	C	0.08	299	169	202	189	F→B
NR	繰返し	29.1	—	0	219	169	178	151	FB
C08R		36.8	C	0.08	332	171	231	168	F→B
C16R		29.1	C	0.16	322	169	220	181	F→B

*1: FRP 施工指針⁽²⁾によるせん断耐力、*2: 終局強度型設計指針⁽¹⁾による曲げ耐力、*3: 松野らの提案式⁽³⁾による付着割裂強度をFRP設計指針によって換算した付着割裂耐力、*4: 最大せん断力、*5: B= 付着割裂破壊先行, FB= 曲げ降伏と付着割裂破壊の同時発生, F→B= 曲げ降伏先行後、付着割裂破壊

2.2 破壊状況

図2に最終破壊状況を示す。シート補強の無い試験体NMでは、ひとたび付着割裂ひび割れが発生すると、シートによる拘束が無いためにそれ以降はサイクルを重ねるごとにひび割れ幅が大きくなり、破壊に至った。これに対し、炭素繊維シート補強試験体では付着割裂ひび割れが発生してもひび割れ幅は広がらず、その後も変形を続けた。終局状態（最大せん断力の80%）に近づくにつれ、シートが巻かれていない部分でコンクリートが剥離し出した。最終的にC08Mは図2(b)のようにコンクリートの剥離に伴ってシートが破断した。一方、C16Rではコンクリートの剥離は見られたものの、シートの破断はなかった。

2.3 せん断力－部材変形角関係

図3にせん断力－部材変形角関係を示す。

初期剛性は全試験体ともにほぼ同一の挙動を示しており、連続繊維シートによる影響はほとんど見られない。これに対し最大せん断力においては10～25%程度の上昇が見られるが、最大耐力は曲げ耐力を下限値として想定しているため、この段階ではシートの補強効果はそれほど見られない。そこで最大耐力後の挙動について見てみると、炭素繊維で補強された試験体では靱性能が向上する効果が顕著に見られる。シート補強量の違いについて注目すると、シート量の増加に伴って耐力および変形性能の向上が確認できる。

2.4 FRPシート歪分布

図4に炭素補強試験体の最大せん断力時の連続繊維シート歪の分布を示す。荷重方法別に見ると繰返し载荷のC08Rは単調载荷であるC08Mより1.5ないし2倍程度の値となっている。次にシート補強量別に見てみるとC16Rの値はC08Rの1/2～1/3程度に抑えられているのが確認できる。

2.2.6 靱性能の評価

図5は曲げ破壊および曲げ降伏後付着割裂破壊した試験体について、曲げ降伏時の部材変形角 θ_y 、荷重変形曲線包絡線で最大耐力の80%の耐力になる時の部材変形角 θ_u として実験値より終局塑性率 (θ_u/θ_y) を求め、せん断余裕度 $(Q_{bu,cal}/Q_{mu,cal})$ とFRP施工指針に定める式(1)による値との関係である。尚、ここでは昨年の実験およびFRP施工指針によるデータも併せてプロットした。

$$\mu = 10 \left(\frac{Q_{bu,cal}}{Q_{mu,cal}} - 0.9 \right) \quad \text{ただし、} 1 \leq \mu \leq 5 \quad (1)$$

図5の図中の実線は式(1)を表している。計算値は収集データのほぼ中央に位置する格好となっており、上式は有効性が示された。また、せん断余裕度の増加に伴って塑性率も上昇する傾向がある程度表現されている。

2.3 結論

1.炭素繊維シート補強によってひび割れの広がりや抑止され、靱性能は大きく向上する。2.シート量の変化は最大耐力、靱性能に影響する。3.繰返し载荷を受ける場合、単調载荷と比べてシートの補強効果は低下する。

参考文献 (1)日本建築学会：鉄筋コンクリート建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990、(2)日本建築学会の新素材ファイバー補強構造小委員会NFRM；耐震補強WGによる「連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針」第3編 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の耐震補強設計施工指針、2001年8月、(3)松野一成、河野進、角徹三：連続繊維シートによるRC部材の付着割裂強度増大効果（第1報 付着強度式の提案）、日本建築学会論文集

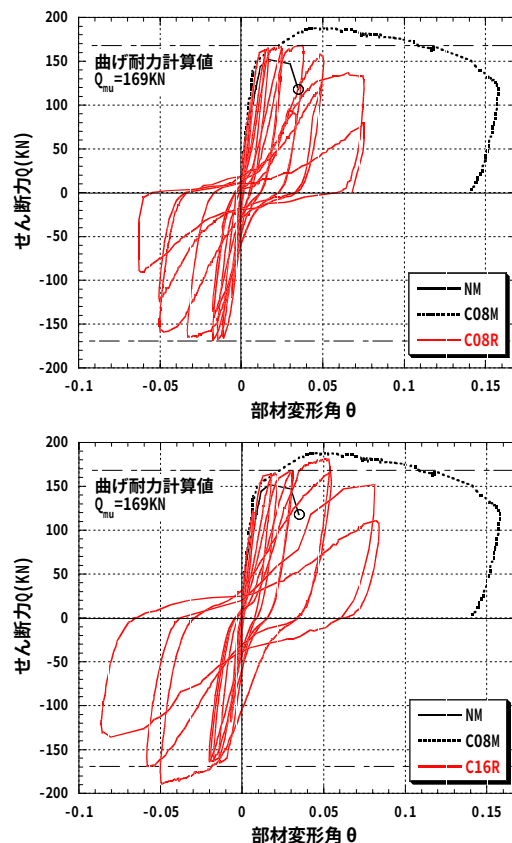


図3 せん断力－部材変形角関係

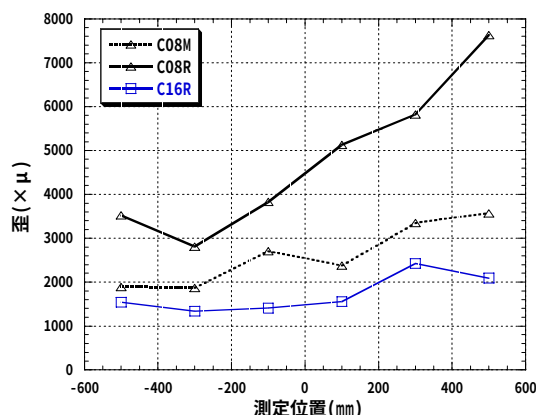


図4 FRPシート歪分布

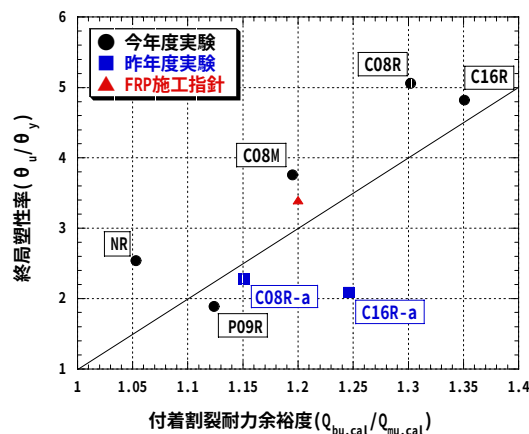


図5 終局塑性率とせん断余裕度との関係