

I-B225

炭素繊維シートを用いたくり返し荷重を受けるRC柱のせん断補強設計法

建設省土木研究所 正会員 運上 茂樹
首都高速道路公団 " 寺山 徹

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下RC）部材の耐震補強では、脆性的なせん断破壊を防ぎ、破壊形態を粘り強い曲げ破壊型へと移行させるために、部材のせん断耐力の向上が重要となる。1本柱形式のRC橋脚の耐震補強法としては、せん断耐力の向上や曲げじん性の向上を目的とした鋼板巻立て工法や鉄筋コンクリート巻立て工法が一般に用いられている。しかしながら、施工空間の制限や使用機械の制限がある場合などは、こうした工法の適用が困難となる場合もあり、限定された空間で施工が可能で大型機械を必要としない施工性に優れた炭素繊維等の新素材を活用した耐震補強工法の適用が期待されている。

本文では、せん断破壊先行型のRC柱模型を対象に行った正負交番繰返し載荷実験をもとに、炭素繊維シートによるRC柱のせん断補強効果に関する検討を行った結果を報告する。

2. 実験供試体及び実験方法

図-1は、実験供試体を示したものである。断面が60×60cmの正方形、載荷高さ150cmの片持梁式のRC柱模型である。せん断支間比は2.5である。S1供試体は補強していない基準供試体であり、軸方向鉄筋としてはSD295, D22-26本（鉄筋比2.8%）、帯鉄筋としてはSD295, D6を50cm間隔で配筋している。帯鉄筋間隔が通常の柱部材に比較して大きいのは、模型がせん断破壊型となるようにしたためである。S3, S5, S7供試体はS1供試体を補強した供試体である。炭素繊維シートによる補強方法は、図-1に示す通りであり、炭素繊維シートの巻き数等を変化させた。炭素繊維シートで巻き立てる場合には、柱のコーナー部において半径4cmの面取りを行った。実験では、供試体を横にして反力壁に固定した状態で水平方向に動的ジャッキにより正負交番載荷を行った。載荷は、変位制御で柱基部の最外縁の軸方向鉄筋が降伏する時の載荷位置の変位（降伏変位 δ_y ）を基準として、載荷変位を降伏変位の整数倍で漸増させながら正負交番で載荷した。載荷繰返し回数は3回とした。なお、RCラーメン橋脚の梁部材を検討対象としたため軸力は作用させていない。

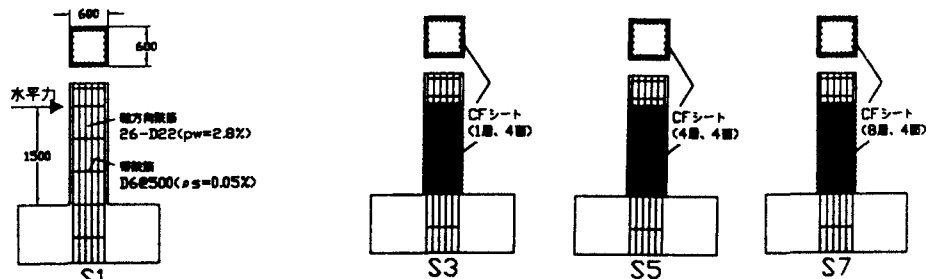


図-1 実験供試体

3. 実験結果

実験から求められた各供試体の水平荷重-水平変位関係を図-2に示す。無補強のS1供試体は、橋脚の下端から上端にかけて斜めのひびわれが発生し、せん断破壊した。S1供試体の正側及び負側の最大荷重の平均値は55tであり、軸方向鉄筋が降伏する前にせん断破壊が生じた。炭素繊維シートで補強したS3及びS5供試体は最終的にはせん断破壊となった。ただし、S3及びS5供試体の最大耐力は76t程度となっており、せん断破壊した無補強のS1供試体の場合よりもせん断耐力が向上している。また、履歴曲線からわかるように、最大耐力付近では基部の軸方向鉄筋の降伏後、変位に対して最大耐力を少し保持するような曲げ破壊型の履歴性状を示している。しかしながら、繰返し載荷とともに小さい載荷変位の段階で炭素繊維シートが破断し、これによって耐力が急激に低下する破壊性状を示した。S3及びS5供試体いずれにおいても炭素繊維シートの内側では、RC柱にS1供試体と同様に斜めのせん断ひびわれが生じて最終状態となった。

これに対して、S7供試体では、5 δ_y 載荷までは炭素繊維シートの破断等は生じず、破壊形態は曲げ破壊型となった。履歴曲線を見ても降伏後の最大耐力が安定して保持されており、曲げ破壊型の特性を示していることがわかる。6 δ_y 載荷の3サイクル目で柱基部において炭素繊維シートが破断し、水平荷重が低下した。炭素繊維シートの破断は、載荷面側で生じており、コンクリートの割裂破壊によるものであった。

キーワード：鉄筋コンクリート部材、耐震補強、せん断耐力、炭素繊維シート
〒305 茨城県つくば市旭1番地 TEL:0298-64-2211 FAX:0298-64-4424

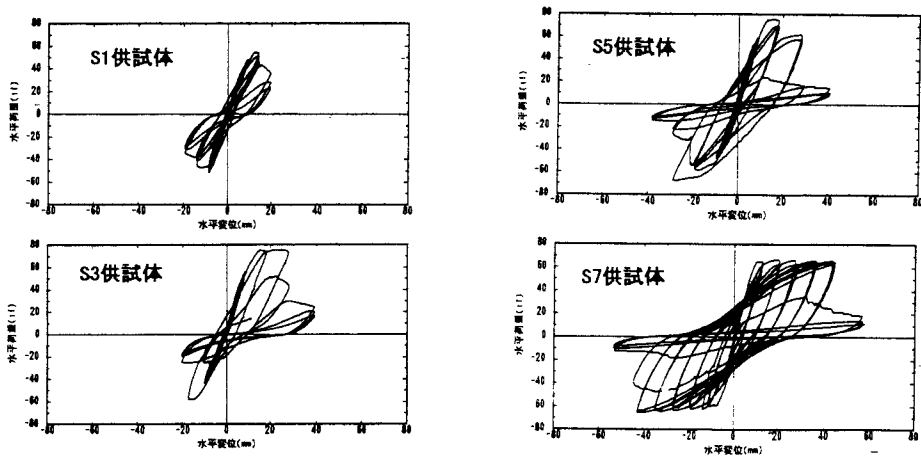


図-2 荷重～変位関係

4. 炭素繊維シートの補強設計定数

炭素繊維シートを4層巻いたS5供試体がせん断破壊型、8層巻いたS7供試体が曲げ破壊型の破壊形態となった。このことから、炭素繊維シートによるせん断補強を行って部材の破壊形態をせん断破壊型から曲げ破壊型に移行させることを期待する場合の設計上の炭素繊維シートの有効ひずみを検討した。表-1は、炭素繊維シートの有効ひずみを算出した結果を示したものである。ここで、炭素繊維シートの有効ひずみは、炭素繊維シートの寄与によるせん断耐力を発揮する際のひずみ値である。また、コンクリートの負担するせん断力としては、①（文献2）の方法及び②（文献3）の方法により算出した値をそれぞれ示している。なお、供試体が曲げ破壊となることを前提としているので、帯鉄筋及び炭素繊維シートが負担するせん断耐力は次式により算出した。

$$S_s = \frac{A_s \cdot \sigma_{sy} \cdot d \cdot (\sin \theta + \cos \theta)}{10 \times 1.15a} \quad S_{cf} = \frac{A_{cf} \cdot \sigma_{cf} \cdot d \cdot (\sin \theta + \cos \theta)}{10 \times 1.15a} \quad (1)$$

ここで、 A_s ：間隔 a 及び角度 θ で配筋される帯鉄筋の量、 σ_{sy} ：帯鉄筋の降伏点、 d ：断面の有効高、 A_{cf} ：間隔 a の炭素繊維シートの断面積、 σ_{cf} ：炭素繊維シートの破断強度、である。

表-1によれば、炭素繊維シートによるせん断補強を行って部材の破壊形態をせん断破壊から曲げ破壊に移行させることを期待する場合には、コンクリートが負担できるせん断耐力を①の方法により算出した場合は、炭素繊維シートが負担できるせん断耐力を算出するための有効ひずみは $2,469\mu$ と $5,050\mu$ の間となる。これに対して、コンクリートが負担できるせん断耐力を②の方法により算出した場合には、炭素繊維シートが負担できるせん断耐力を算出するための有効ひずみは $1,673\mu$ と $3,413\mu$ の間となる。

表-1 炭素繊維シートが負担するせん断耐力

実験供試体	S 3 供試体		S 5 供試体		S 7 供試体	
炭素繊維シートの層数	1 層		4 層		8 層	
コンクリートが負担するせん断力の算定式	①の方法	②の方法	①の方法	②の方法	①の方法	②の方法
S_c (tf)	17.3	31.4	18.1	33.3	17.8	32.6
S_s (tf)	2.2		2.2		2.1	
S_{cf} (tf)	23.5		94.0		188.1	
$S = S_c + S_s + S_{cf}$ (tf)	43.0	57.1	114.3	129.5	208.0	222.8
実験による最大耐力（破壊モード）	66.9 （せん断破壊）		67.2 （せん断破壊）		65.8 （曲げ破壊）	
炭素繊維シートの有効ひずみ(μ)	20,428	16,880	5,050	3,413	2,469	1,673

本研究成果は、（財）土木研究センターに設置された「炭素繊維を用いた耐震補強法研究会（座長：川島一彦東京工業大学教授）」で検討をいただいた。ここに座長はじめ委員の方々に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 土木研究センター：炭素繊維を用いた耐震補強法研究会報告書、平成8年9月、平成10年9月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、平成8年12月
- 3) 河野、渡辺、菊森：大型RCはり供試体のせん断強度に関するデータ集、土木研究所資料、第3426号、1996年