

せん断破壊したRC構造物の常温硬化型UFCによる 補強に関する検討

大野 了¹・佐々木 一成²・石関 嘉一³・吉田 浩一郎⁴

¹正会員 工修 榊大林組 技術研究所 構造技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

²正会員 工修 榊大林組 技術研究所 構造技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

³正会員 工博 榊大林組 技術研究所 生産技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

⁴正会員 宇部興産(株) 建設資材カンパニー 技術開発研究所 (〒141-0032 東京都江東区豊洲4-11-3)

1. はじめに

東日本大震災などの震度6程度以上の大規模地震では、鉄道高架橋等の鉄筋コンクリート(以下、RCと記す。)柱や梁などで、しばしばせん断破壊が生じている。被害後の応急復旧対策では、中規模の被害では、せん断破壊したコンクリートを研り、エポキシ注入を実施し、場合によっては、せん断補強筋の取換え後、断面をコンクリートあるいはモルタル等で修復している。しかし、この断面修復工法では、断面を大きくしない限り、元のせん断耐力よりもせん断耐力を大きくすることはできず、余震や将来のさらなる地震に対して、再度せん断破壊する可能性があり、その都度、復旧対策を施す必要がある。

また、あらかじめせん断破壊の恐れがあるRC部材では、RC巻立て工法、鋼板巻き工法や繊維補強工法等により事前に耐震補強が実施されているが、鋼板補強の場合では、現地測量を実施後、鋼板の加工、現地取付け(溶接含む)、グラウト注入および場合によっては鋼板表面塗装(錆止め)を実施するため、工種が多く、工期も長くなる傾向にある。特に鋼板補強工法の場合、鋼板の製作に最も時間を要することになる。

これらの応急復旧および補強工法に対し、常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート^{1),2)}(以下、UFCと記す。)による補強工法は、断面を大きくしなくとも、せん断耐力の増大が見込まれ、その施工も、現地での型枠設置、UFCの打込みおよび養生、脱型と、工種が少なく工程も短縮できると考えられる。常温硬化型のUFCは、鋼繊維を混入した超高強度モルタルであり、圧縮強度180N/mm²、引張強度

8.8 N/mm²程度(いずれも特性値)の物理特性と常温で硬化する特長を有している。さらに、練混ぜ直後のフレッシュな性状では、スランプフロー800mm程度と流動性に優れ、狭隘な場所にも打込み可能である。これらの特性を利用すると、被災したRC柱や梁などの復旧工法あるいは事前補強工法として有用であると考えられる。本報では、せん断破壊した試験体を常温硬化型のUFCで補強することによる効果について検討する。

2. 試験体

(1) 補強前RC試験体

補強前RC試験体の構造諸元を表-2.1に、構造を図-2.1にそれぞれ示す。試験体は、400×400mmの断面を持つせん断スパン比3.0(S3シリーズ試験体)および2.0(S2シリーズ試験体)の2点載荷梁型試験体とし、せん断破壊するように設計した。

曲げせん断試験結果として、図-2.2に補強前試験体のせん断力～変位関係を、写真-2.1に最終破壊性状の例(S3BおよびS2B試験体)をそれぞれ示すが、すべての試験体がせん断破壊した。

(2) 補強試験体

a) 補強方針

各試験体の補強方法は、以下の通りとした。

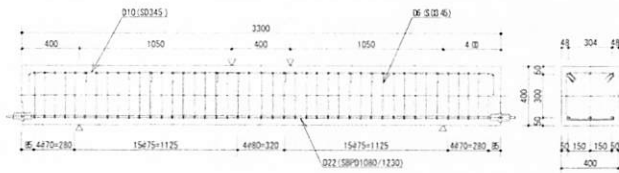
S3A-R試験体では、かぶりコンクリート(40mm厚さ)を除去し、その部分をUFCで置き換えた。S3B-R+試験体では、破壊した試験体の周囲をUFCで巻き立てた試験体で、側面および上下面を40mm厚さとした。ただし、破壊したコンクリートの脆弱部は除去

表-2.1 補強前 RC 試験体の構造諸元一覧

試験体	S3A	S3B	S2A	S2B
幅	b(mm) 400			
高さ	h(mm) 400			
有効高さ	d(mm) 350			
せん断スパン	a(mm) 1050		700	
せん断スパン比	a/d 3.0		2.0	
引張鉄筋 ¹⁾	3-D22			
引張鉄筋比	P _t (%) 0.8			
降伏強度	$\sigma_y(N/mm^2)$ 1080			
せん断補強筋	D6@75		D6@175	
せん断補強筋比	P _w (%) 0.2		0.1	
降伏強度	$\sigma_y(N/mm^2)$ 340			
コンクリート 圧縮強度	$\sigma_c(N/mm^2)$ 38.7	46.0	38.7	46.0
破壊形態	せん断破壊			
実験時 最大せん断力	V max(kN) 268	390	278	390

1) 引張鉄筋には PC 棒鋼 (SBPD1080/1230) を使用した。

S3 シリーズ試験体



S2 シリーズ試験体

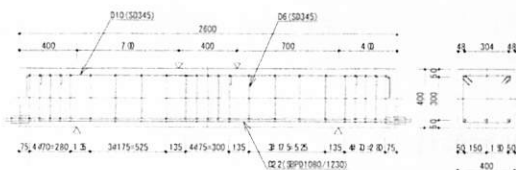


図-2.1 補強前試験体の構造一般図

した。

S2A-R+試験体では、側面を75mm、上下面を50mm厚さで破壊した試験体の周囲をUFCで巻き立てた。S2B-R試験体では、かぶりコンクリート(40mm厚さ)を除去し、その部分をUFCで置き換えた。

なお、全ての試験体とも破壊した内部コンクリートには、エポキシ注入などの修復処置は実施しなかった。写真-2.2にコンクリート除去状況の例を示す。

b) UFCによる補強

使用したUFCは、鋼繊維とモルタルで構成(鋼繊維含有率2.0vol%)される。鋼繊維には、直径0.16mm、長さ13mmの直線形状で引張強度2000N/mm²以上を有する高強度鋼繊維を使用した。また、モルタルは、ポゾラン質微粉末等を含むプレミックス粉体、水、細骨材および特殊高性能減水剤から成る。練混ぜは、容量0.4m³のパン型ミキサを使用し、1バ

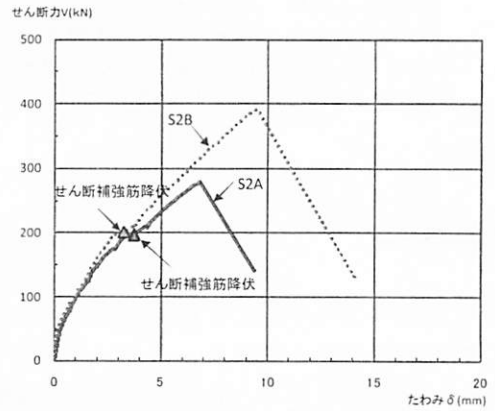
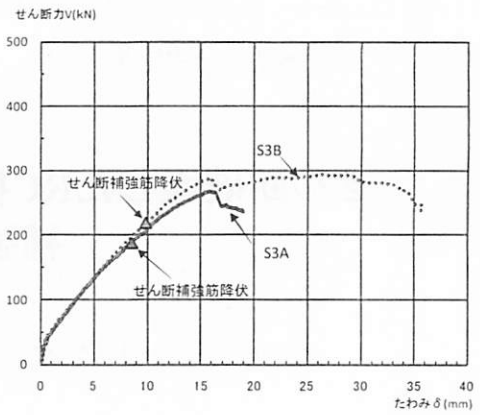
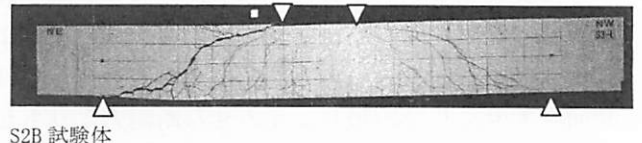


図-2.2 補強前試験体の荷重～変位関係

S3B 試験体



S2B 試験体

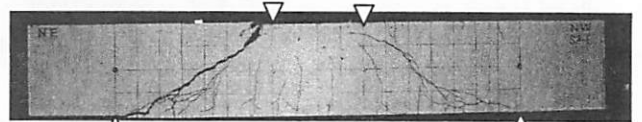


写真-2.1 補強前試験体の最終破壊状況

S3B 試験体 (UFC 巻立て前)



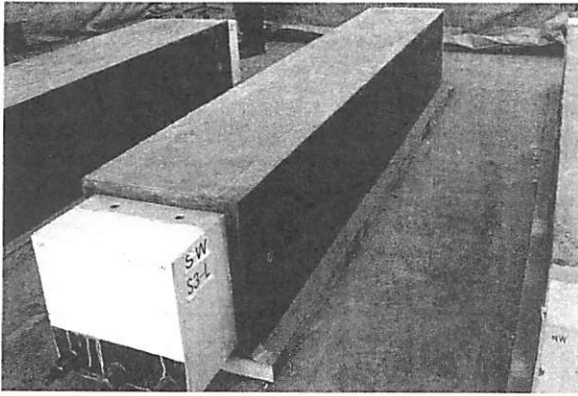
S2B 試験体 (UFC 置換前)



写真-2.2 補強前試験体のコンクリート除去状況

ッチ0.2m³で所要の回数を練り混ぜた。打込みは、片側側面からUFCを流し込み、反対側側面からUFCが押し出され、頂部に達することを確認しながら実施した。写真-2.3に補強後の試験体外観を示すが、充

S3B-R+試験体 (UFC 巻立て)



S2B-R 試験体 (UFC 置換)

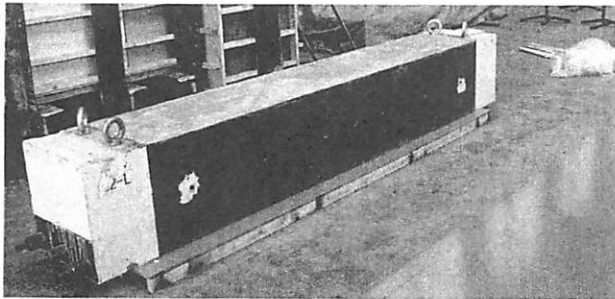


写真-2.3 補強試験体の外観

填不足や表面ひび割れ等はなく、40mm程度の狭隘な個所でも十分に充填できることが確認できた。

3. 補強後曲げせん断実験

(1) 荷重実験

各試験体の荷重は、補強前荷重実験と同様、荷重スパン400mm、せん断スパンをS3シリーズ試験体では、1050mm、S2シリーズ試験体では、700mmとして、一方方向単調荷重とした。各試験体の荷重～変位関係を図-3.1に示す。なお、図中には、補強前試験体の荷重～変位関係と後述するFEM解析結果も併せて示す。また、各試験体の最終破壊状況を写真-3.1に示す。各試験体ともせん断スパン内に斜めひび割れが発生したものの最終的には荷重スパン内の曲げひび割れが進展し、荷重点付近のUFCが圧壊するいわゆる曲げ破壊となった。各試験体の荷重～変位関係も曲げ降伏以降、たわみの増大に対し、荷重の増加がなく、典型的な曲げ破壊の性状を示している。補強前の試験体と比較すると、補強後の試験体の最大せん断力は、補強前の最大せん断力よりも大きくなっている。つまり、せん断破壊したRC部材をUFCにより補強することで補強前のせん断耐力よりも大きなせん断力を付与することができる。また、

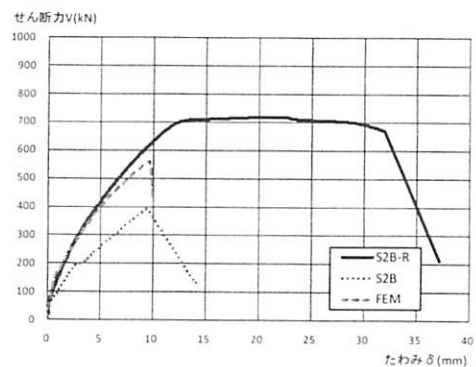
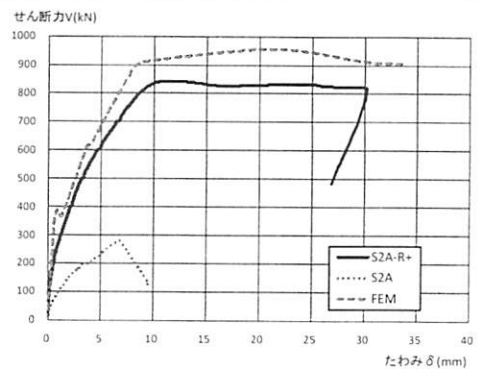
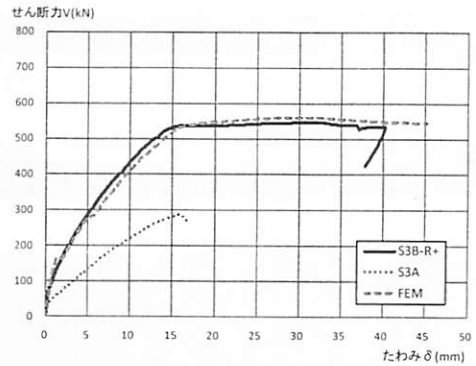
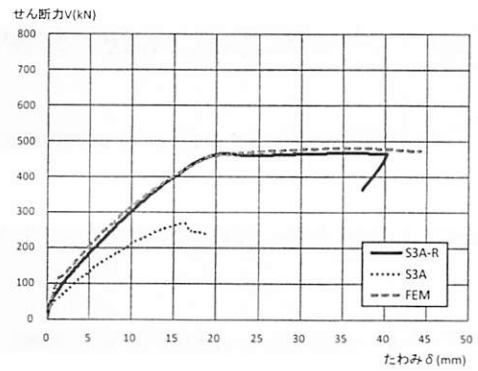
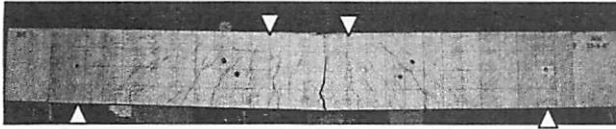


図-3.1 荷重～変位関係

UFCで補強した試験体のひびわれ剛性は、無補強の試験体よりも高くなっていることも特長の1つである。

(2) FEM解析

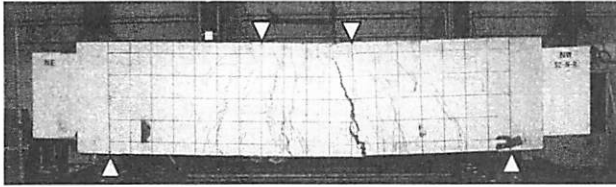
S3A-R 試験体



S3B-R+試験体



S2A-R+試験体



S2B-R 試験体

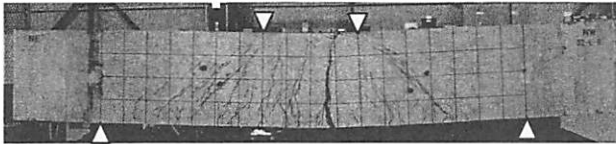


写真-3.1 補強試験体の最終破壊状況

実験結果の妥当性を検討するために非線形FEM解析を実施した。解析に使用したUFCの材料特性は、一軸圧縮強度試験および引張軟化特性試験により求めた。使用したUFCは、一軸圧縮試験結果から圧縮強度 217N/mm^2 、ヤング係数 47.8kN/mm^2 （試験時材齢34日）を有することを確認した。また、JCI規準の「切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法」³⁾ および「多直線近似法によるコンクリート引張軟化曲線推定マニュアル」⁴⁾ により試験・計算した引張軟化曲線とFEM解析に使用した同曲線を図-3.2に示す。FEM解析に使用した引張応力～ひずみ関係は、引張応力～開口変位関係から等価検長⁵⁾ を用い、開口変位をひずみに変換した。なお、FEM解析では、UFCの圧縮/引張応力ひずみ特性と無補強試験体の引張主鉄筋およびせん断補強筋の引張応力ひずみ特性を考慮したが、せん断破壊した無補強試験体のコンクリートの効果は無視した。

図-3.1に示した荷重～変位関係では、S3シリーズの試験体では、実験値と解析値は非常に近似している。一方、S2シリーズでは、S2A-R+試験体は、若干解析値の方がせん断力が高いが、どちらも曲げ破壊型となっており、おおむね一致している。S2B-R試験体では、実験結果が曲げ破壊型となり、解析結果

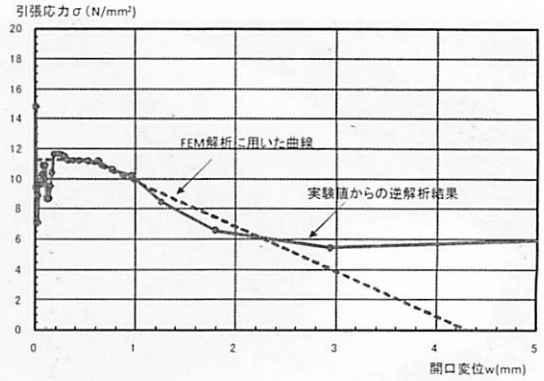


図-3.2 引張応力～開口変位関係

はせん断破壊型となっているが、せん断破壊するまでの曲線は近似している。実験では、最終破壊形状が曲げ破壊型となったものの、荷重途中までは、せん断スパン内の斜めひび割れの進展が確認されており、試験体のせん断余裕度は小さかったと推定される。

4. おわりに

曲げせん断実験およびその検討から、せん断破壊した試験体をUFCで補強することにより、補強前試験体以上のせん断耐力を付与し、曲げ破壊型とすることができることを示した。つまり、震災後の応急復旧あるいは事前耐震補強としてRC柱や梁などへの常温硬化型UFCによるせん断補強は有用であると考えられる。

参考文献

- 1) 石関嘉一, 平田隆祥他: 鋼繊維の種類が高強度高じん性セメント複合材料に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, 2010
- 2) 武田篤史, 平田隆祥他: 常温硬化型高じん性高強度モルタル「スリムクリート®」の屋内ブリッジへの適用, 大林組技術研究所報No. 74, 2010
- 3) 日本コンクリート工学協会: 協会規準JCI-S-001-2003 切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法
- 4) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会: 多直線近似法による引張軟化曲線の推定マニュアル
- 5) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー113, 2004