

水硬性樹脂と連続繊維シートを用いて補強した RC 柱の変形性能に関する実験的研究

東急建設株式会社 正会員 黒岩俊之, 笠倉亮太, 鈴木将充, 前原聡, 早川健司, 伊藤正憲
 公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 中田裕喜, 鬼頭直希, 岡本大

1. はじめに

筆者らは、医療用ギブスをアイデアの起源とし、水硬性樹脂を含浸させた連続繊維シート (Fiber Sheet containing Hydroualric-resin 以下、TST-FiSH) を損傷した柱に巻立てた後、散水することで補強効果が得られる安全かつ迅速な復旧工法の開発を行っている¹⁾(図1)。

これまでに、柱の縮小試験体を用いた載荷試験により、せん断耐力は既往の算定式²⁾にて評価できることを確認した³⁾。また、エポキシ樹脂を用いた従来工法と比較し、水硬性樹脂の硬化時間の短縮および施工ステップを省略できることから、迅速な施工が可能であることを確認している³⁾。このため、一般的な耐震補強としても有効な技術と考えられる。

本稿ではせん断破壊型の実大柱試験体に対して本工法による補強を行い、ラーメン高架橋柱の地震時を想定した圧縮軸力下での変形性能を確認した。

2. 使用材料

(1) 水硬性ポリウレタン樹脂

本実験で用いた水硬性ポリウレタン樹脂(粘度: 35000~45000mPa・s at 25)は、一液硬化性であり、水と接触することで直後に反応・硬化が始まる。

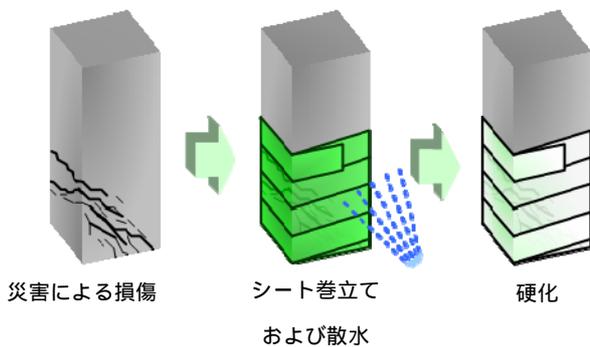


図1 工法概念図

(2) 連続繊維シート

連続繊維シートにはアラミド繊維シートを使用し、目付量 280g/m² のものを用いた。

3. 実験概要

表1に使用材料の試験結果を、表2に試験体諸元、表3に各耐力算定値、図2に試験体の配筋・寸法を示す。また、図2には、アラミド繊維シートの割付を併せて示す。試験体の仕様および載荷方法は、勝木らの研究⁴⁾を参考に決定した。試験体は、一般的なラーメン高架橋のせん断スパンを取り出した実大モデルである。試験体の各耐力は安全係数を1.0とし、土木学会指針²⁾、RC標準⁵⁾、アラミド繊維シート指針⁶⁾に示される算定式に準拠して算出した。試験体の補強は既往の研究⁷⁾を参考に、図3に示すTST-FiSH工法の施工手順に従って行った。なお、TST-FiSHの巻立て量は2層である。

載荷は、地震時の想定軸力 N=2353.6kN ($\sigma_n=3.68$ N/mm²) を作用させた状態で、水平方向に正負交番漸増載荷を行った。載荷パターンは軸方向鉄筋の降伏変位を基準とした変位制御とし、曲げ降伏に達してからは3回繰返し載荷とした。

4. 実験結果

表4に実験結果、写真1に試験体の損傷状況、図4に荷重~変位関係を示す。試験体はRC標準⁵⁾による曲

表1 材料試験結果

コンクリート			鉄筋				アラミド繊維シート (水硬性樹脂硬化)	
圧縮強度 f_c (N/mm ²)	割裂引張強度 f_t (N/mm ²)	静弾性係数 E_c (kN/mm ²)	軸方向鉄筋		帯鉄筋		引張強度 f_s (N/mm ²)	静弾性係数 E_f (kN/mm ²)
			降伏応力度 s (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (kN/mm ²)	降伏応力度 s (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (kN/mm ²)		
25.6	2.56	24.7	375	193	366	208	2440	145

表2 試験体諸元

試験体	断面形状 (mm)	せん断スパン (mm)	既設柱				補強		
			軸方向鉄筋		せん断補強鉄筋		アラミド繊維シート		
			規格 径 本数	引張鉄筋比 (%)	規格 径 間隔	鉄筋比 (%)	目付量 (g/m ²)	層数	せん断補強率比 (%)
No.1	800×800	3000	SD345 D25 28本	0.68	SR235 9 150(300)	0.053	280	2	0.097

表3 各耐力算定値

耐力				破壊形態				じん性率			
V_{mu}^{*1}	V_c^{*2}	V_s^{*3}	V_f^{*4}	$V_d(V_c+V_s+V_f)$		V_d/V_{mu}		μ_{fd}			
(kN)	(kN)	(kN)	文献2)	文献6)	文献2)	文献6)	補強前	補強後		文献2)	文献6)
			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		文献2)	文献6)		
763	449	100	928	485	1477	1034	0.72	1.94	1.36	5.20	5.21

*1: 曲げ耐力
 *2: コンクリートの受持つせん断耐力
 *3: せん断補強筋の受持つせん断耐力
 *4: 連続繊維シートの受持つせん断耐力

キーワード 耐震補強, 補修・補強, せん断破壊, 変形性能, 水硬性樹脂

連絡先 〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1 東急建設株式会社 技術研究所 Tel:042-763-9507

表4 実験結果

試験体	主筋降伏時			最大荷重時			終局時	じん性率		実験値	
	算定値	実験値		算定値	実験値		実験値	算定値			
	降伏荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	変位 (mm)	最大荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	変位 (mm)	変位 (mm)	文献2) μ_{fd2}	文献6) μ_{fd6}		
No.1	正負	637	712.9 -682.8	19.5 -19.7	763	874.7 -825.1	52.0 -73.9	128.0 -124.2	5.20	5.21	6.53 6.33

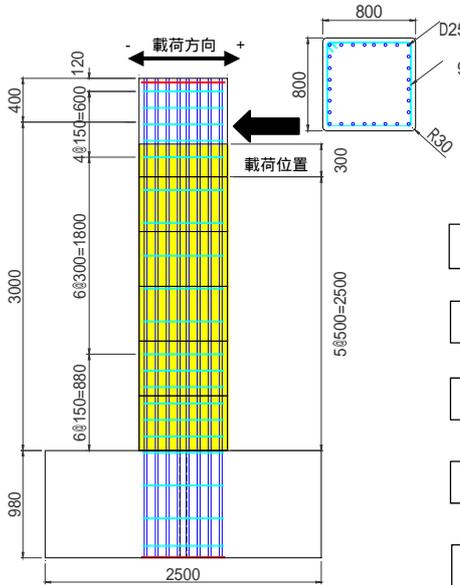


図2 試験体寸法

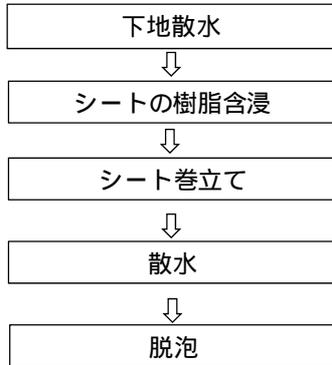


図3 TST-FiSH工法の施工手順

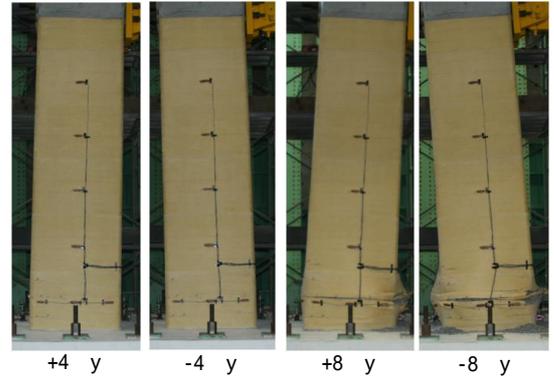


写真-1 損傷状況

げ耐力の算定値 V_{mu} を上回り、 ± 4 y 荷重時にかぶりコンクリートが剥離し、 ± 4 y の繰返し荷重時には柱基部のはらみ出しが認められた。6 y 荷重中に帯鉄筋が降伏に至り、 ± 6 y の繰返し荷重時に柱基部のはらみ出しが顕著となり、緩やかな荷重低下を生じた。 ± 8 y 荷重中にアラミド繊維シートが隅角部にて破断し、大きく荷重が低下したため荷重を終了した。最大荷重は、正負ともに ± 4 y でそれぞれ 874.7kN、-825.1kN であった。また、TST-FiSH は曲げ変形とともに、繊維方向に割裂が発生したものの、継手部破壊や繊維破断は生じなかった。破壊形態は、柱基部の軸方向鉄筋が座屈し塑性ヒンジ化したこと、正側荷重時に RC 標準⁵⁾による曲げ耐力の算定値に達していたことから曲げ破壊であったと考えられる。

じん性率 μ は正側で 6.53、負側で 6.33 となり、土木学会算定式²⁾によるじん性率 $\mu_{fd2}=5.20$ およびアラミド繊維シート指針付属資料 7⁶⁾に示される算定式(下限値) $\mu_{fd6}=5.21$ を上回った。ここで、じん性率は、最大耐力以降に降伏荷重を維持できる最大変位(N点)と引張鉄筋が降伏する変位(Y点)の比である。

5. おわりに

本工法で $V_d/V_{mu} > 1.0$ となるよう補強した試験体の正負交番漸増荷重試験により得られた知見を以下に示す。

- ・ RC 標準によりせん断破壊型と判定される RC 柱の破壊形態が、補強することでせん断破壊型から曲げ破壊型へ移行することを確認した。
- ・ 補強した RC 柱の曲げ耐力は RC 標準により評価できることを確認した。

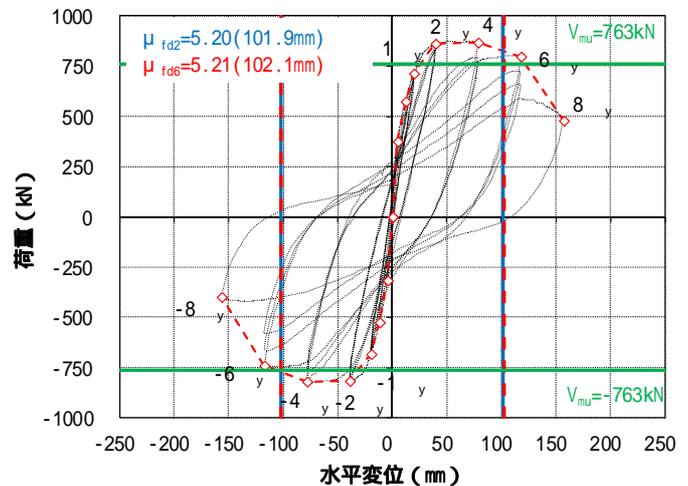


図4 荷重～変位関係

・ じん性率は、土木学会指針、アラミド繊維シート指針により算定されるじん性率を上回った。

参考文献

- 1) 笠倉亮太他：損傷した RC 柱の水硬性樹脂と連続繊維シートによる補強効果に関する実験的研究，土木学会第 68 回年次学術講演会公演概要集，pp.349-350，2013.9
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー101 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，2000.7
- 3) 笠倉亮太他：水硬性樹脂を含浸させた連続繊維シートを用いた迅速復旧工法の開発，コンクリート工学，Vol.47，No.12，pp.12-25，2009.12
- 4) 勝木太他：アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱のじん性能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.19，No.2，pp1569-1574，1997.7
- 5) (公財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，2004.4
- 6) (公財)鉄道総合技術研究所：アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針，アラミド補強研究会，1996.12
- 7) 笠倉亮太他：水硬性樹脂を用いた連続繊維シートの継手性状に及ぼす施工方法の影響，土木学会第 67 回年次学術講演会公演概要集，pp.891-892，2012.9

謝辞

本実験は、エムシー工業山崎久史氏にご協力を頂き、東京理科大学加藤佳孝准教授にご指導頂きました。ここに記して感謝の意を表します。