

大破断ひずみを有する連続繊維による耐震補強について

Seismic Retrofitting Method with Continuous Fiber with High Fracturing Strain

三井住友建設（株） ○中井 博 (Hiroshi Nakai)
 北海道大学工学部 学生員 佐藤英樹 (Hideki Sato)
 北海道大学工学部 正員 上田多門 (Tamon Ueda)
 北海道大学工学部 ハディオノ ヤキン (Hadiyono Jaqin)

1. はじめに

現在、RC 橋脚の耐震補強工法には鋼板巻き立て工法と連続繊維巻き立て工法が主流である。その連続繊維巻き立て工法において、主に用いられている補強材として、GFRP（ガラス繊維）、VFRP（ビニロン繊維）、CFRP（炭素繊維）、AFRP（アラミド繊維）などがある。しかし、それらの FRP 繊維は鉄筋に比べて破断ひずみが低く、コンクリート自体の強度を十分に生かしきることができない。また破断ひずみは強度や剛性と違い、その補強量を増すことで得られるものではない。解決策はより高い破断ひずみを持つ材料を補強材として用いることである。そこで近年、ポリエステル系繊維が注目され始めた。PAF（ポリアセタル繊維）、PEN（ポリエチレンナフタレート）や PET（ポリエチレンテレフタレート）に代表される連続繊維シートはそれまでの FRP シートよりも2から6倍という高い破断ひずみと低い強度、剛性を持っている。この研究では主に PET に着目し、その補強がじん性率に与える影響を調査することで PET による耐震補強効果を評価することが目的である。

2. 実験概要

過去の研究からじん性補強については供試体基部より1D（D：供試体断面幅）の補強区間（以下、ヒンジゾーンと呼ぶ）を確保することで所要の効果を得られることが確認されており¹⁾、この実験でもまた連続繊維を巻き付けることとする。またヒンジゾーンの上部についてもアラミド繊維シートを巻き付け、せん断補強を行った。図-1に補強図と供試体形状を示す。

この供試体に対して、死荷重を想定した軸圧縮力をかけ、頭頂部付近を水平荷重載荷点として正負交番載荷を行った。水平荷重載荷による最大曲げモーメントが生じる断面（供試体基部）の鉄筋が降伏する時の変位を降伏変位（以下、 δ_y と表記する）とし、降伏変位以降は降伏変位を片振幅として正負交番載荷を行い、 δ_y の整数倍を片振幅とした変位制御により正負交番載荷を行った。

表-2 鉄筋の特性

	ヤング係数 E_s	降伏強度 f_y	降伏ひずみ
	GPa	MPa	μ
D19	176	394	2200
D6	188	340	1800

3. 供試体の特性

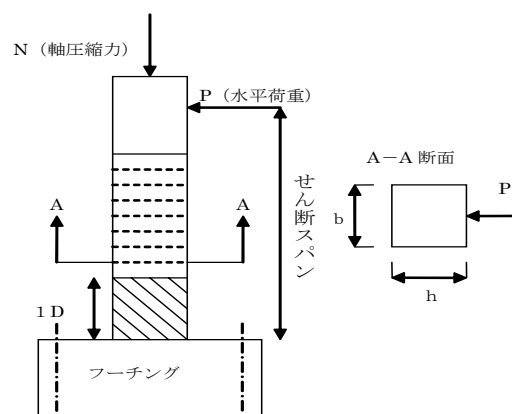
表-3 連続繊維シートの特性

	ヤング係数	最大引張強度	破断ひずみ
	GPa	MPa	
アラミド(テクノール)	79.5	3246	0.041
アズト(ケブラー)	122	2670	0.022
PEN	22.6	1028	0.045
PET	6.7	923	0.138

使用材料はコンクリートについては表-1（次ページ）にその強度を示してある。軸方向鉄筋・帯鉄筋についてはNo.2からNo.8の供試体は軸方向鉄筋にD19を帯鉄筋にD6を用いている。表-2はその特性を示している。

また連続繊維シートに関してはその特性値を表-3に示す。

図-1 補強図と供試体形状



4. 結果と考察

じん性率は以下の定義を用いて、表すこととする。

$$\mu = \delta_u / \delta_y$$

δ_y : 降伏変位²⁾

δ_u : 終局変位

終局変位は降伏変位に至った後に荷重がピークを向かえ、荷重が再び降伏荷重まで低下した時の変位とする。なお、この変位はフーチングの変位を除いたものである。

表-1 供試体の諸元

	単位	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5	SP-6	SP-7	SP-8
コンクリート強度	MPa	29.5			31.7			
断面	mm	400*400						
せん断スパン	mm	1150				1500		
軸圧縮力	MPa	1						
ρ_t		0.0098						
ρ_s		0.0016						
M_y	kNm	257						
M_u	kNm	327						
V_u	kN	284				218		
V_c	kN	118						
V_s	kN	73						
$(V_c+V_s)/V_u$		0.67						
ヒンジゾーン上部のせん断補強								
補強材		ケブラー						
ρ_f		0.00097			0.00048	0.00024		
V_f	kN	231			134	67		
$(V_c+V_s+V_f)/V_u$		1.48			1.14	1.18		0.88
ヒンジゾーンのじん性補強								
補強材		テクノーラ	PEN	PET	PET	PET	PET	
ρ_f		0.00126	0.00382	0.00377	0.00187	0.00125	0.00063	
V_f	kN	213	205	181.6	90.8	60.5	30.3	
$(V_c+V_s+V_f)/V_u$		1.42	1.39	1.31	0.99	1.15	1.01	0.88

図-2、3、4は各供試体を交番载荷した時の荷重と変位をそれぞれ降伏時の荷重、変位で標準化したものである。

図-2において、PET補強のじん性率はPEN補強のものよりも約10%、アラミド補強のもの2倍近い数値を示した。ただし、PET補強のグラフが乱れているのは実験途中で軸圧縮力かける垂直ジャッキが滑らかに水平変位せずに軸圧縮力かけることができなかったのが原因である。また、図-3、シートの目付け量による影響を見ると無補強のものと比較して、100kNシートで20%、200kNシートで30%程のじん性率向上が見られる。しかし、正のサイクルで見ると補強した2体の供試体において、じん性率の違いがあまりないことが分かる。このことを考慮すると、目付け量が大きいほど耐震効果が上がると思われるが、これ以上は比較検討するデータがないために言及はできない。そして巻き付けシート層の層数による影響だが、今回の実験ではヒンジゾーンだけでなく、その上部における補強量もアラミドシートの目付け量が半分になっているために図-4のじん性率の差がシートの層数の違いによるものとは言い難い。しかし、じん性補強に対してヒンジゾーン上部の補強の影響が小さいと判断して、敢えてこの2体を比較検討した。この場合、層数が2倍になったことでじん性率は20%程向上している。これらのことから、PETはそれまでのFRPと比べ、耐震補強に大きな効果を示すことが分かった。しかし、各グラフからも分かるように最大荷重においてはアラミド、PEN、無補強の供試体と比較しても大きな差異は認められなかった。

5. 参考文献

- 1) 鉄道総合研究所(財): 既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針 PPS巻補強編
- 2) 石橋忠良・吉野伸一: 鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形能力に関する研究
- 3) 関谷圭介: RC橋脚の新繊維(高強度ポリアセタール繊維)による補強効果

図-2 補強材によるじん性率への影響

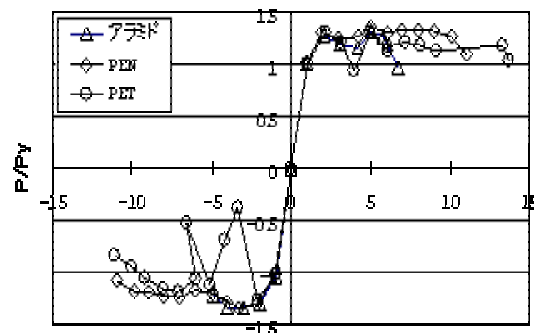


図-3 シート目付け量によるじん性率への影響

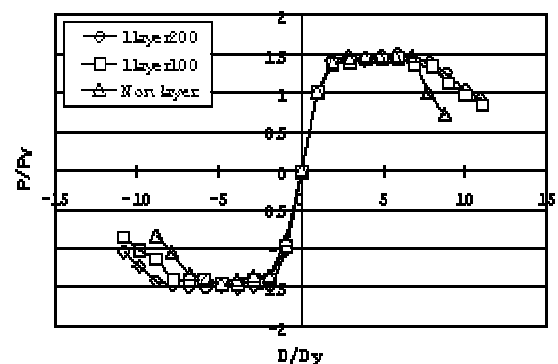
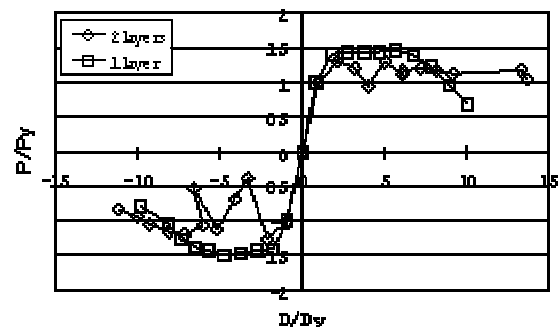


図-4 シート層数によるじん性率への影響



- 4) 長井宏平: 炭素繊維シートにより補強されたRC部材のじん性に与える帯鉄筋の影響