

論文 柱主筋の付着劣化を伴う破壊に対するポリエステル製繊維シートによる耐震補強効果

岡田 浩一*1・田才 晃*2・壁谷澤 寿海*3・田村 玲*4

要旨：地震時水平力により主筋の付着劣化を伴う鉄筋コンクリート造柱を，ポリエステル製繊維シートで補強した場合の，構造性能改善効果を実験により検討した。柱主筋として丸鋼及び異形鉄筋を検討対象とした。柱片側に袖壁が取り付く場合の補強効果も調べた。シートの補強により水平最大耐力，変形能力及び軸力保持能力に対する性能改善効果が見られた。また，シートの伸び歪に基づいて，補強柱の耐力評価法を示した。

キーワード：付着割裂破壊，曲げ圧縮破壊，鉛直荷重保持，ポリエステル製繊維シート，袖壁

1. はじめに

脆性的な破壊モードを有する RC 造建物では，地震時の水平力によって柱の鉛直荷重支持能力が失われ，建物が倒壊または崩壊に至る。そこで，耐震補強の新しい方法として，柱にポリエステル製繊維シート（以下シートと呼ぶ）を巻き付ける方法が提案され，水平耐力，靱性能，軸力保持能力等に対する性能の改善効果が実験によって実証されている（文献1）。

本報では，柱主筋の付着劣化を伴う破壊に対して，シートによる補強の有効性を検討するための構造実験の結果を報告し，シートの補強効果を考慮した耐力評価法を示す。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体一覧を表-1に，柱断面を図-1に，配筋図を図-2に示す。試験体は，異形鉄筋を用いた建物を想定したもの（No.1，No.2）と，丸鋼を用いた1971年以前の古い建物を想定したもの（No.3，No.4），袖壁の付いたもの（No.5，No.6）とした。柱の断面形状（幅×せい，内法高さ[mm]）は，No.1，No.2で300×300，750，No.3，No.4で300×300，900，No.5，No.6で

300×300，900とし，袖壁の断面形状は75×300mmとした。

2.2 材料特性

使用したコンクリートは，呼び強度24MPaの普通コンクリートである。圧縮試験結果を表-2に示す。使用した鉄筋は，主筋にD16（SD390），13（SR295）を，せん断補強筋にD6（SD295），4（SR295）を用いた。引張試験結果を表-3に示す。使用した補強材は，ベルト状とシート状の2種類のポリエステル製繊維シートである。引張試験結果を表-4及び図-3に示す。

2.3 補強概要

補強方法はA-TypeとB-Typeの2種類で，No.2，No.4がA-Type 2層補強，No.6がB-Type 4層補強である。補強方法を図-4に示し，補強概要一覧は表-1に含めて示す。

A-Typeは，柱部分にエポキシウレタン系の接着剤を塗布し，ベルト状のシートを人力で引っ張りながら，らせん状に巻き付けた。A-Typeで用いたベルト状シートは，厚さ4mm，幅45mmである。

*1 横浜国立大学 工学部建設学科建築学コース（正会員）

*2 横浜国立大学 助教授 工博（正会員）

*3 東京大学地震研究所 教授 工博（正会員）

*4 横浜国立大学大学院 工学府社会空間システム学専攻建築学コース（正会員）

表 - 1 試験体一覧

試験体	B×D (mm)	H (mm)	Fc (MPa)	主筋	Pt (%)	帯筋	Pw (%)	軸力比	補強方法	補強量
No.1	300×300	750	24	12-D16 SD390	0.88	D6@50 SD295	0.43	0.25	無補強	-
No.2									A-Type	2層
No.3									無補強	-
No.4		900		12-13 SR295	0.59	4 @100 SR295	0.083		A-Type	2層
No.5									無補強	-
No.6									B-Type	4層

B×D：幅×せい，H：内法スパン，Pt：引張鉄筋比，Pw：せん断補強筋比

B-Type は，試験体の柱部分と袖壁部分にエポキシウレタン系の接着剤を塗布し，シートを柱部分と袖壁部分の2つの部分に分け，貼り付けた。重なった部分にも接着剤を塗布した。この作業を1層とする。また，養生する際シートが自重ではがれてきてしまうので，木板を接着したシートの上から当てて固定し，1日間養生後取り外した。B-Type で用いるシートは厚さ4mm，幅900mm（柱高さ）である。補強の養生には，24時間程度の期間が必要となるが，施工は短時間で済み，容易であることが特徴である。

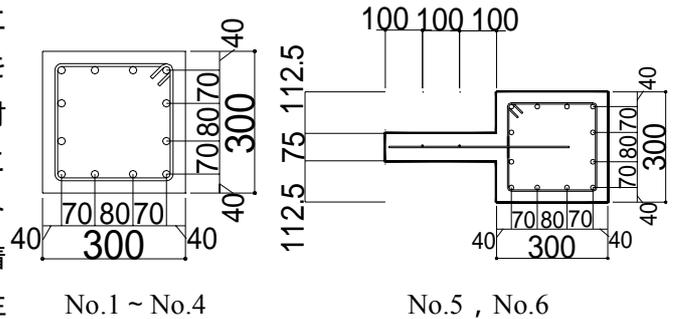


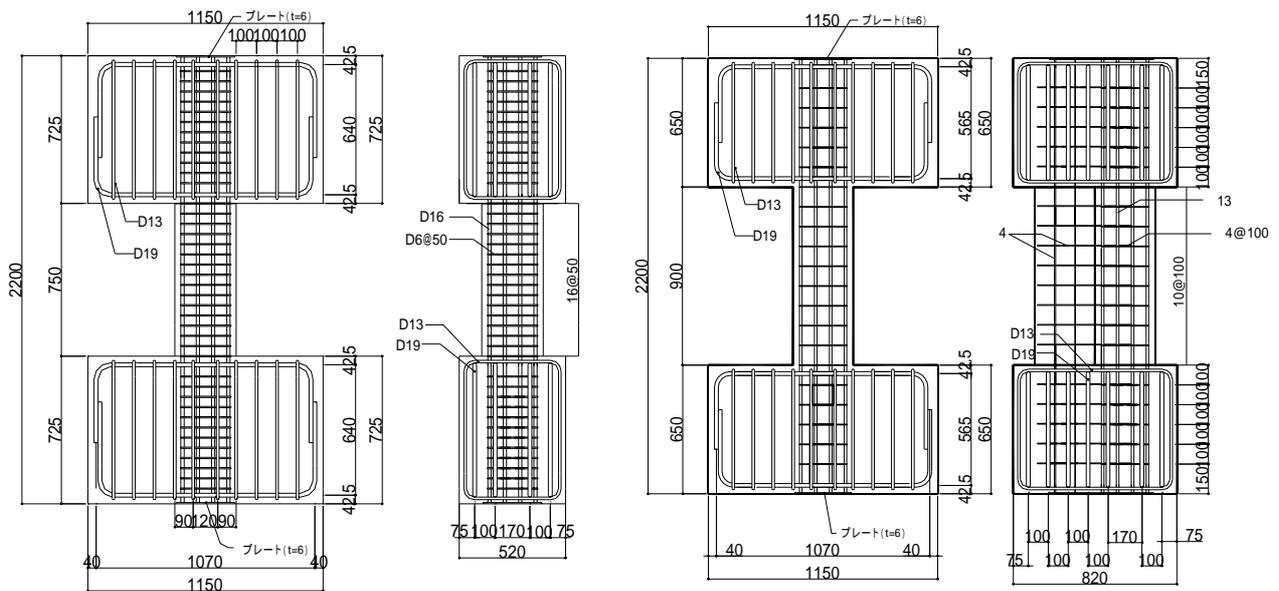
図 - 1 柱断面図 [mm]

表 - 2 コンクリート圧縮試験結果

	呼び強度 (MPa)	最大荷重 (kN)	σ_c (MPa)	最大荷重時歪 (%)
No.1～No.4	24	228	28.79	0.1345
No.5, No.6	24	204	25.98	0.2465

表 - 3 鉄筋引張試験結果

	鉄筋種	ヤング係数 ($\times 10^5$ MPa)	降伏強度 (MPa)	降伏歪 (%)	引張強度 (MPa)	破断歪 (%)
主筋	D16(SD390)	1.85	431	0.32	605	11.60
せん断補強筋	D6(SD295)	2.06	405	0.28	535	16.68
主筋	13 (SR295)	2.01	311	0.16	452	33.82
せん断補強筋	4 (SR295)	1.85	435	0.45	460	4.83



No.1, No.2

No.5, No.6

図 - 2 配筋図 [mm]

表 - 4 シートの材料特性

シートの種類		厚さ - 1層 - (mm)	幅 (mm)	引張強度 (MPa)	引張強度時の歪度 (%)	ヤング係数 (MPa)
ベルト状	規格値	4.00	45.00	400	10.00	4500
	実験値	3.85	44.35	283	6.19	4581
シート状	規格値	1.10	900	250	10.00	1400

ベルト状：A-Type シート状：B-Type

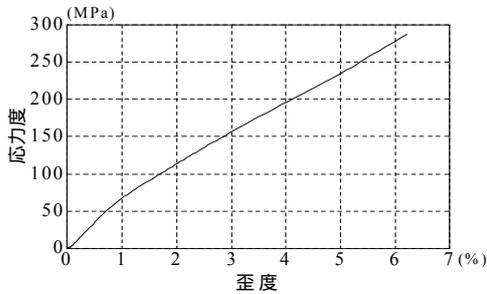
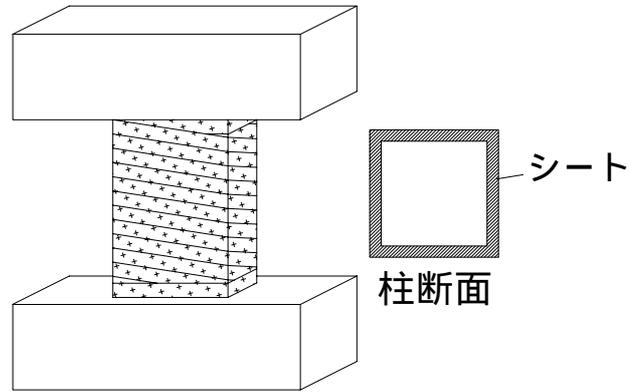
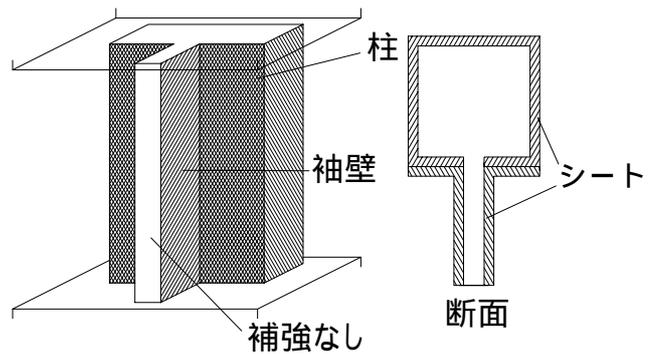


図 - 3 シート引張試験結果



A - Type



B - Type

図 - 4 補強方法

2.4 加力方法

加力は、図 - 5 に示す加力装置を用いて行った。水平加力は、試験体に正負繰り返し逆対称曲げせん断力を加えた。また、定軸力（軸力比 0.25）を各試験体共通に作用させた。定軸力が保持できなくなった時点、または水平ジャッキの能力が限界に達した時点で水平加力を終了し、水平変位をできる限り 0 に戻した後、水平耐力低下後での残存軸耐力状況の把握を目的とし、軸圧縮を行った。加力履歴は各試験体、部材角 $\pm 1/400$ $\pm 2/400$ (各 2 回) $\pm 3/400$ (各 2 回) $\pm 4/400$ (各 2 回), $\pm 6/400$ (各 2 回), $\pm 8/400$ (各 2 回) $\pm 16/400$ $\pm 24/400$, $\pm 32/400$, $\pm 48/400$, $\pm 64/400$, $\pm 96/400$ rad. と制御した。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

No.1 は + 4/400 付近以降、柱端部のせん断ひび割れが主筋と交差するあたりから、主筋上に付着ひび割れが生じ、+ 16/400 付近からかぶりコンクリートが剥落し出し、+ 24/400 に向かう途中で付着割裂破壊を起こした。No.3 は水平変形が進むにつれて、柱上下の端部に圧壊による縦のひび割れが生じ、曲げ圧

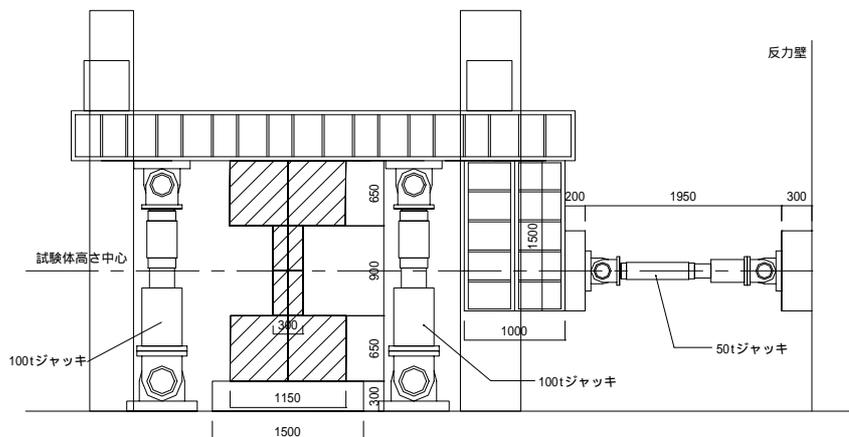


図 - 5 加力装置図 [mm]

縮破壊が進み、+ 24/400 に向かう途中で斜めに大きな亀裂が入り、せん断破壊を起こした。軸圧縮後は、斜めの大きな亀裂を境に引き裂かれるように破壊した。No.5 は、+ 6/400 付近で柱

端部の主筋上に付着ひび割れが生じ， - 16/400 に向かう途中で柱と袖壁の角の上部から袖壁の側面下部に向かって斜めに大きな亀裂が発生し，せん断破壊を起こした。No.6 は袖壁の補強されていない面において， - 16/400 付近での上下端部にひび割れが観察され， - 24/400 付近で下端部が圧壊し， + 32/400 から戻る途中に定軸力を保持できなくなった。軸圧縮前の各試験体の破壊状況を写真 - 1 に示す。

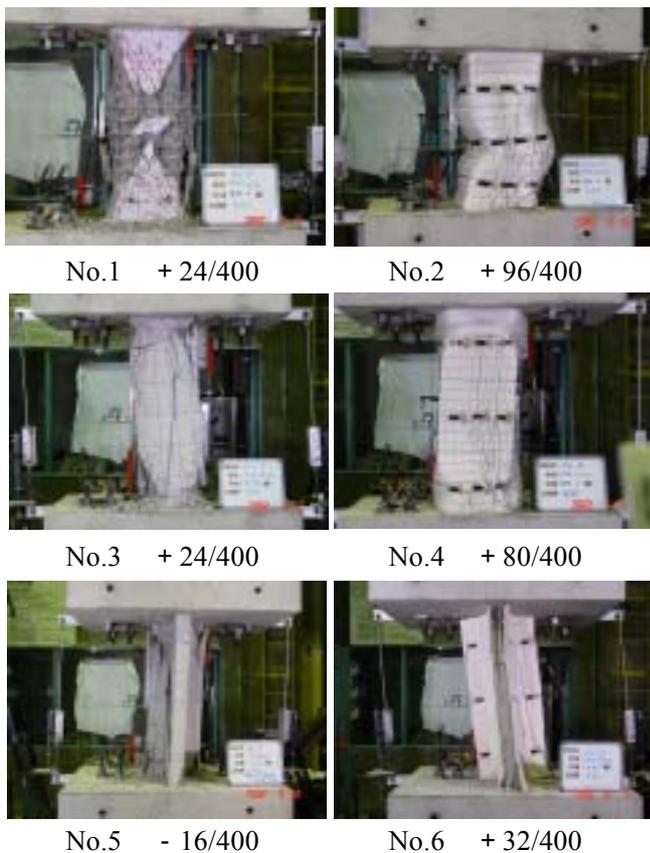


写真 - 1 破壊状況

3.2 軸方向荷重 - 軸変形関係

軸力 - 軸変位の関係を図 - 6 に示す。No.1 は付着割裂破壊後，軸力が急激に低下した。No.3，No.5 もそれぞれせん断破壊後，軸力が急激に低下した。No.6 は No.5 よりも軸変位が進んだところで軸力が急激に低下した。それに対して補強試験体 No.2，No.4 は共に，軸力が大きく低下することなく安定し，軸変位が No.2 で 92.5mm，No.4 で 57.5mm に対しても定軸力を保持した。軸圧縮では，軸変位が No.2 で約 130mm，No.4

で約 85mm，軸力は共に 2000kN 近くまで達した。

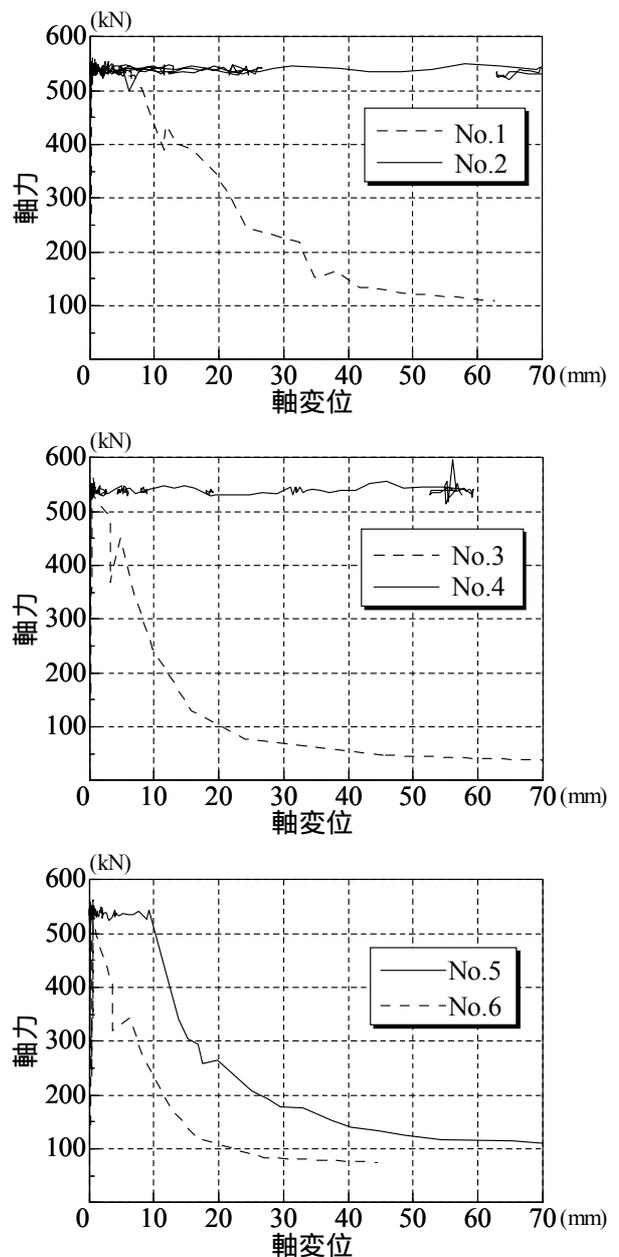


図 - 6 軸力 - 軸変位関係図

3.3 水平荷重 - 水平変形関係

水平力 - 水平変位の関係を図 - 7 に示す。実験値は，P - 効果を考慮している。No.1 は付着割裂破壊後，水平耐力が急激に低下した。No.3，No.5 は，No.1 とほぼ同様な挙動を示した。補強試験体は無補強試験体に比べ最大耐力が，No.2 では 14%増加し，No.4，No.6 はほぼ同一であった。最大耐力は，No.2 が +4/400 で，No.4 が +16/400 でそれぞれ達している。補強試験体は，

水平変位に伴う耐力低下は緩やかで、シートによる靱性の改善が見られた。補強試験体は、大変形時に水平耐力が低下するが、軸力保持能力は維持したままである。その後、水平変形が進むにつれて水平耐力が回復した。最終的には、No.2 が約 230kN、No.4 が約 200kN にまで達した。袖壁つきの補強試験体 No.6 も、水平耐力の低下が +16/400 までは緩やかであったが、それ以降は低下し、回復することはなかった。

水平変位が進み水平耐力が上昇した要因として、大変形においては、シートの中のコンクリートは砂のような状態になっていて、摩擦力が働いているためと考えられる。

4. 付着割裂破壊時のせん断強度に関する検討

4.1 シートの歪分布

シートの歪は、図 - 8 に示す位置に貼り付けた歪ゲージによって計測した。これらのゲージの貼り付け位置は試験体高さの中心である。No.1、No.2 の最大水平加力時のシート歪を図 - 9 に示す。せん断補強筋の降伏歪は表 - 3 に示した通り 0.28% で、ほぼ最大水平耐力時のシートの歪と同等な値となっている。従って、最大耐力時にシートが負担する応力は、せん断補強筋の降伏時歪におけるシートの応力と考えることができる。

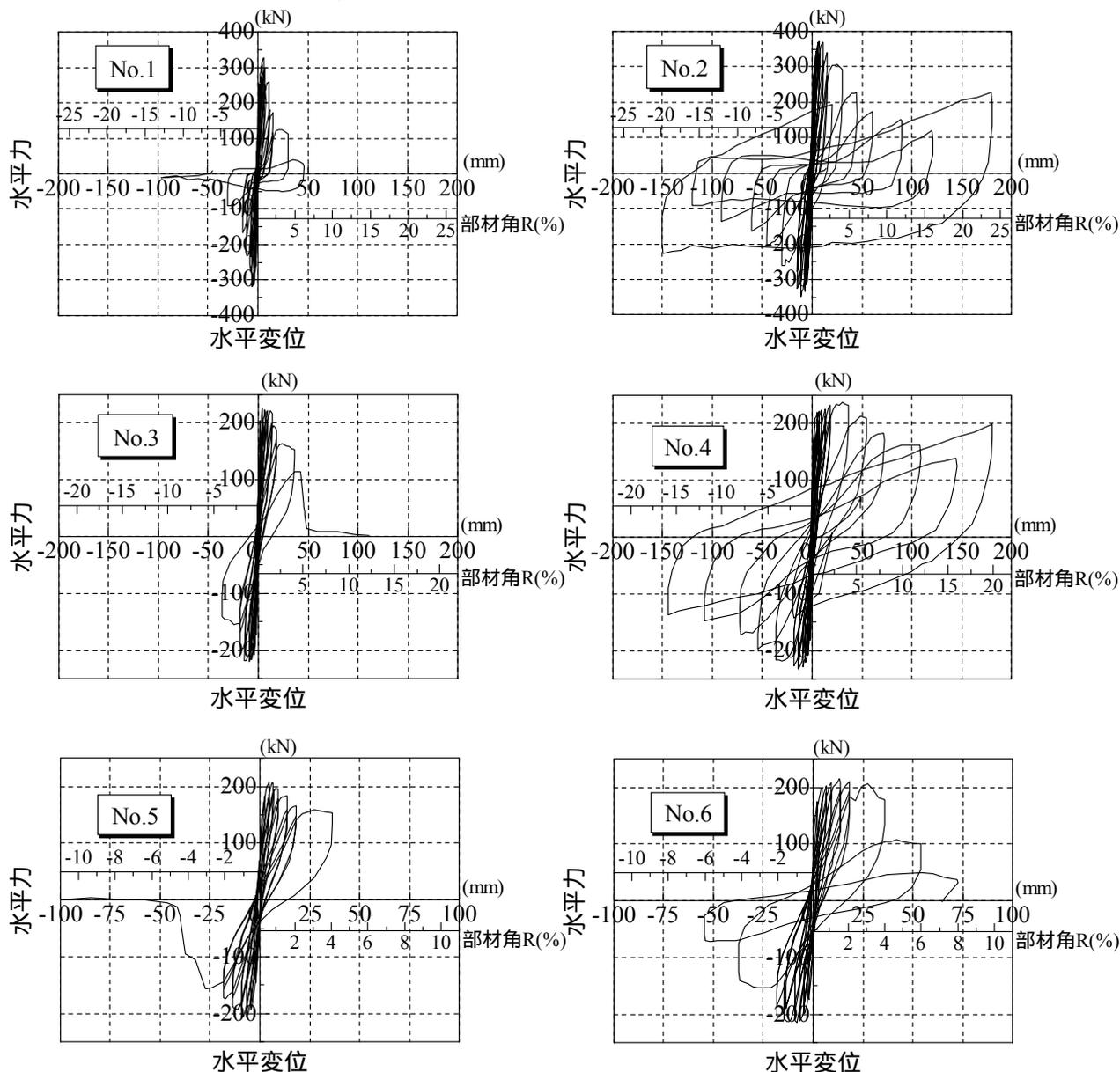


図 - 7 水平力 - 水平変位関係図

4.2 評価方法

補強柱のせん断強度を算定するにあたり，本研究ではシートの引張強度時歪と帯筋の降伏強度時歪の比によって評価する。4.1 より，(1)式のように ΣP_W を求めることと。(1)式により計算した各試験体の ΣP_W を表 - 5 に示す。

$$\Sigma P_W = P_{WS} + \varepsilon_{y_s} / \varepsilon_f \cdot P_{Wf} \quad (1)$$

P_{WS} ：帯筋のせん断補強筋比

ε_{y_s} ：帯筋の降伏強度時歪

ε_f ：シートの引張強度時歪

(表 4，実験値参照)

$$P_{Wf} = 2t_f / (b + 2t_f)$$

t_f ：シートの厚さ

4.3 計算値と実験値の比較

付着割裂破壊時のせん断強度 Q_{sub} の評価式として文献 2)による(2)式を用いて，実験値との適合性を検討する。

$$Q_{sub} = \tau_{bu} \cdot \Sigma \cdot j_t + \tan\theta \cdot (1 - \beta_b) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2 \quad (2)$$

図 - 10 に(2)式による計算値と実験値の比較を示す。なお 図中には本研究の結果とともに，文献 1)において付着割裂破壊した試験体の結果も同時に示している。計算値は実験値とよく対応している。よって，提案した(1)式を用いることで，補強した試験体の付着割裂破壊時のせん断強度を従来の RC 部材と同様に評価できる。

5. まとめ

- ・補強試験体は，付着割裂破壊，曲げ圧縮破壊に対して，軸力保持能力を維持した。
- ・補強により，極めて大きな靱性能の向上が見られた。
- ・補強試験体は，無補強試験体と同様に一時的に水平耐力が低下するが，水平変形の進行に伴い，回復する。
- ・(1)式によりシートの効果を考慮すれば従来の RC 部材と同様に耐力を評価できる。

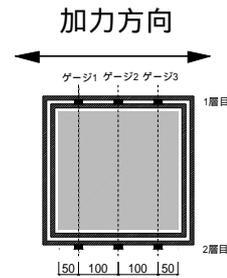


図 - 8 シート歪測定位置(No.2)

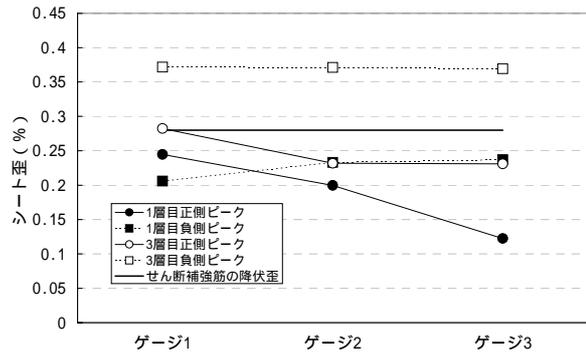


図 - 9 最大耐力時シート歪

表 - 5 ΣP_W 計算値

	シート層数	P_{ws}	P_w
No.1		0.0043	
No.2	2	0.0043	0.0067

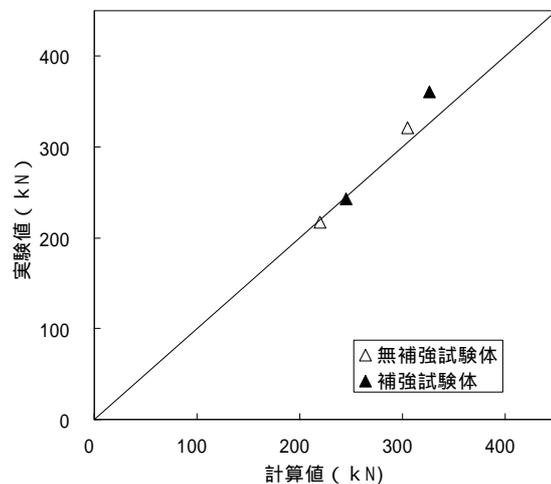


図 - 10 (2)式による計算値と実験値の比較

[参考文献]

- 1) 田村 玲・田才 晃ほか：RC 柱の地震時軸圧縮破壊に対するポリエステル製繊維シートによる補強 コンクリート工学年次論文報告集
- 2) 日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案 2002