

論文 ポリアセタール繊維による RC 柱の耐震補強効果

飯星 力^{*1}・福山 洋^{*2}・松本 佳也^{*1}・阿部 信一^{*1}

要旨：本研究では、RC 構造物の新規補強シートとして、高強度で高い伸び特性を持つポリアセタール繊維 (PolyAcetal Fibre ; PAF) の適用の可能性を検討することを目的としている。RC 柱を用いて行った曲げせん断実験の結果、せん断耐力の上昇と変形性能の大幅な向上が得られ、高い補強効果がある事が確認された。本論文では、その実験結果とせん断耐力および変形性能の評価に関する検討結果について報告する。

キーワード：耐震補強、ポリアセタール繊維、せん断、強度・変形特性

1. はじめに

ポリアセタール繊維 (PAF) は、じん性・剛性を兼ね備えた信頼性の高いエンジニアリングプラスチックとして、幅広く使われているポリアセタール樹脂を超延伸したものである。ポリアセタール繊維の特徴を以下に列挙し、特性値を表-1 に示す。

1. 引張強度が高い
2. 破断伸び率が大きい
3. 電気を通さない
4. 耐摩耗性・耐カット性に優れる
5. 耐油性・耐有機溶剤性に優れる
6. 吸水率がきわめて低い

また、PAF シート施工の特長を以下に示す。

1. 隅角部の面取り処理が不要
2. 専用特殊接着材でプライマー・パテが不要
3. 複層貼りの際、接着材の養生時間が不要
4. 上記により、最短1日施工が可能

既往の研究¹⁾で、PAF 補強により、コンクリートの圧縮性状に高い補強効果が得られる事が報告されている。そこで、本研究では PAF 連続シートで補強した、RC 柱部材の軸力下における曲げせん断性状を明らかにし、補強柱のせん断・じん性設計法を提案する事を目的としている。

2. 実験概要

2. 1 試験体

使用した材料の力学的特性を表-2 に、曲げせん断実験に用いた柱試験体 14 体の一覧を表-3 に示す。試験体は、柱断面寸法 (300×300mm) および主筋量 (12-D13) を共通仕様とし、PAF シート補強量、主筋強度、せん断スパン比、軸力比を変動因子とした。PAF シートは目付量 528g/m^2 のものを使用した。

No.1~5 および No.8~11 はそれぞれせん断スパン比 1.5 および 2.0 で PAF シート補強量を変動させたものであり、シート補強量がせん断耐力および変形性能に及ぼす影響を調べるものである。

No.6 はせん断スパン比 2.0 の基準となる無補強試験体で、No.7 は圧縮強度 13.1MPa の低強度仕上げモルタルの上からシート補強したものである。No.12 は No.8 と同等のせん断補強効果を想定した RC 試験体で、帯筋量は $p_{ws}=0.59\%$ とした。

No.13, 14 は軸力比を No.10, 11 の倍とした試験体である。

表-1 PAF シート特性

項 目	特 性 値
引張強度 (MPa)	1,275
弾性係数 (GPa)	40
伸び率 (%)	6~8
密度 (g/cm ³)	1.45

*1 旭化成建材(株) 工修 (正会員)

*2 建設省建築研究所 国際地震工学部 主任研究員 工博 (正会員)

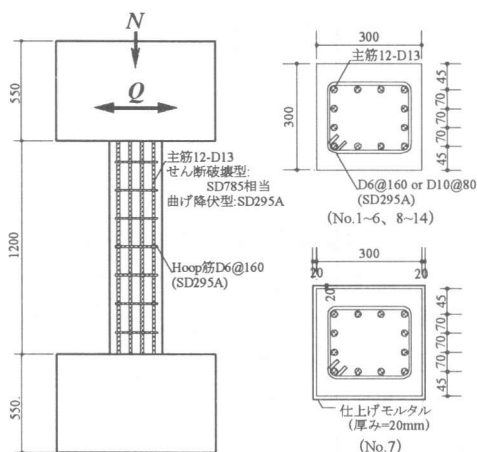


図-1 試験体形状

表-2 材料力学的特性

材料	No.1~5	No.6~14
	降伏強度 (MPa)	
帯筋 D6 (SD295A)	360	343
帯筋 D10 (SD295A)	-----	347
主筋 D13 (SD295A)	343	358
主筋 D13 (SD785相当)*	792	816
ポリアセタール繊維シート	1,300	

*0.2%オフセット耐力

繊維は引張強度

表-3 試験体概要と最大耐力

No.	σ_B (MPa)	$N/BD\sigma_B$	M/QD	p_{ws} (%)	p_{wf} (%)	シート補強	予想破壊形	主筋材質	実験最大耐力 eQ_{max} (kN)
1	23.6	1.5	0.13	0.13	0.06	PAF 1/4 層*	せん断	SD785 相当	211
2					0.12	PAF 1/2 層*	せん断	SD785 相当	245
3					0.24	PAF 1 層	せん断	SD785 相当	238
4					0.24	PAF 1 層	曲げ	SD295A	231
5					0.48	PAF 2 層	曲げ	SD295A	240
6	31.4	0.15	2.0	0.13	-----	なし	せん断	SD785 相当	202
7					0.24	モルタル+ PAF 1 層	せん断	SD785 相当	262
8					0.24	PAF 1 層	せん断	SD785 相当	233
9					0.24	PAF 1 層	曲げ	SD295A	216
10					0.48	PAF 2 層	せん断	SD785 相当	253
11					0.48	PAF 2 層	曲げ	SD295A	212
12				0.59	-----	なし	せん断	SD785 相当	239
13		0.30	0.13	0.13	0.48	PAF 2 層	せん断	SD785 相当	284
14					0.48	PAF 2 層	曲げ	SD295A	266

σ_B :コンクリート強度、 $N/BD\sigma_B$:軸力比、 M/QD :せん断スパン比、 p_{ws} :せん断補強筋比 (帯筋)、 p_{wf} :せん断補強比 (シート)、*シートをゼブラ状に巻き付けた。

なお、柱隅角部の処理 (面取り) は一切行っていない。シート端部は、重ね長さを 20cm とした。

2. 2 載荷方法

加力は建研式加力装置を用いた定軸力下における逆対称曲げせん断加力方式とし、変位漸増型の正負交番繰り返し載荷とした。

3. 実験結果

せん断破壊を想定した試験体は、全てせん断破壊で耐力が決定し、その他の試験体は全て曲げ降伏が先行する破壊モードであった。また、全ての試験体で載荷終了まで PAF シートの破断や重ね部の継ぎ手破壊は生じなかった。図-2~9 にせん断力-変形角関係を示す。

帯筋が少なくシート補強をしていない No.6 で

は部材角 $R=1/100$ を越えたあたりで、大きなせん断ひび割れが入りせん断破壊した。シート補強した試験体は、補強量の最も少ない No.1 では $R=1/150$ を越えたあたりで、No.2、3 では $R=1/100$ で最大耐力を示した。他は $R=1/75 \sim 1/50$ で最大耐力に達した。

PAF シート補強したものは、全て無補強の試験体に対して最大耐力と変形性能が向上した。せん断破壊した試験体では、シート補強量が増加するにつれて最大耐力が向上する傾向が見られた (図-2、3)。曲げ破壊を想定した試験体では、シート補強量が増加するにつれて変形性能が大きく改善された。最大耐力は主筋の降伏で決まったため試験体による差は見られなかった (図-4、5)。

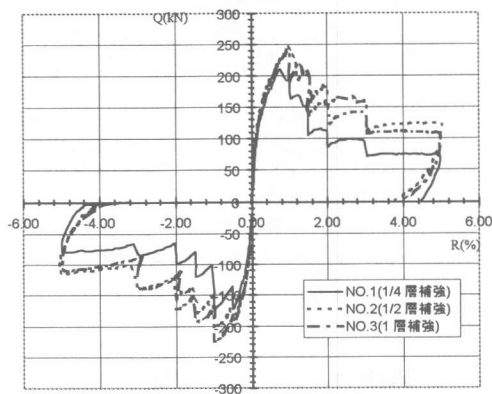


図-2 せん断力-変形角曲線

(補強量の影響：せん断破壊 $M/QD=1.5$)

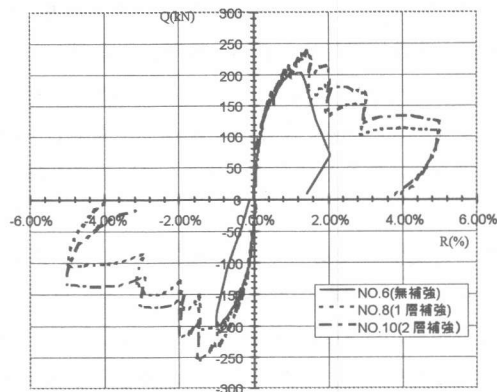


図-3 せん断力-変形角曲線

(補強量の影響：せん断破壊 $M/QD=2.0$)

純 RC のせん断補強筋比 $p_{ws}=0.59\%$ の No.12 と PAF シート補強した No.8 は最大耐力および履歴性状がほぼ一致した (図-6)。低強度のモルタルをコテ塗りで仕上げた後に PAF シート補強した No.7 は、モルタル無しの No.8 に対して 12%程度の最大耐力の向上が見られ、それ以降の包絡線も No.8 を下回る事はなかった (図-7)。

高軸力下 (軸力比 30%) で水平加力した No.13 は、軸力比 15% の No.10 に対して、12%程度の最大耐力の向上が見られた。その後の履歴性状には変化は見られなかった (図-8)。高軸力で曲げ破壊した No.14 では主筋の引張降伏後、 $R=1/50$ で曲げ圧縮破壊を生じ軸力を保持できなくなった。軸力比 15% の No.11 に対し最大耐力は向上したが、変形性能は低下した (図-9)。

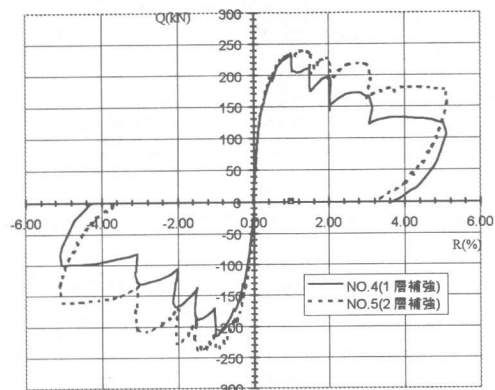


図-4 せん断力-変形角曲線

(補強量の影響：曲げ破壊 $M/QD=1.5$)

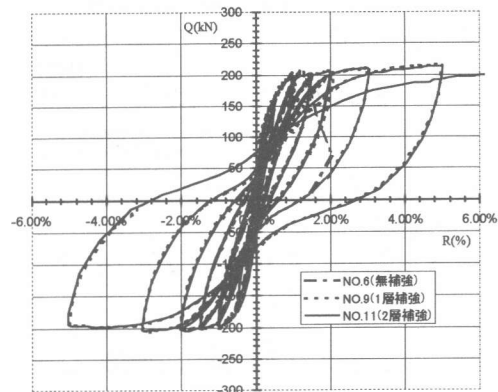


図-5 せん断力-変形角曲線

(補強量の影響：曲げ破壊 $M/QD=2.0$)

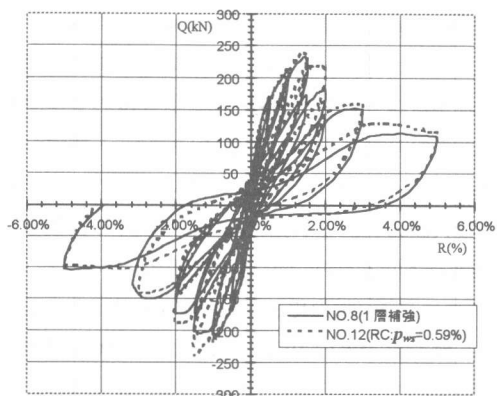


図-6 セン断力-変形角曲線 (RC との比較)

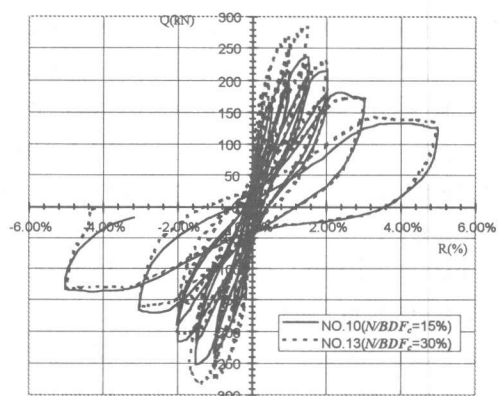


図-8 セン断力-変形角曲線
(軸力の影響：せん断破壊)

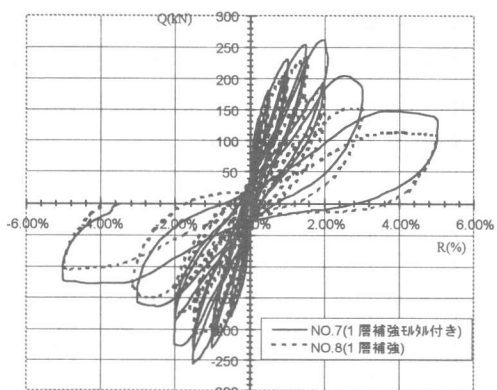


図-7 セン断力-変形角曲線 (モルタルの有無)

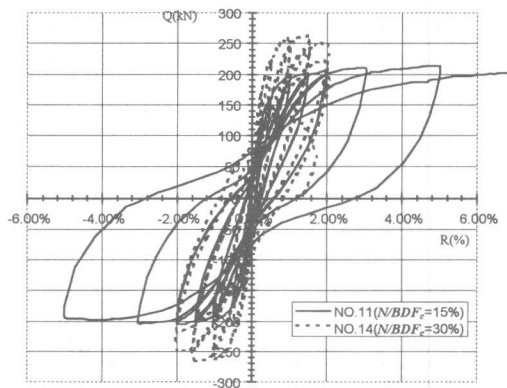


図-9 セン断力-変形角曲線
(軸力の影響：曲げ破壊)

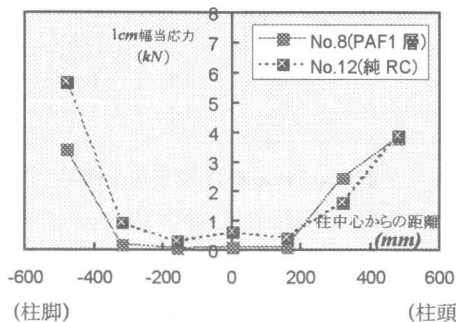


図-10 セン断補強材存在応力 (最大耐力時)

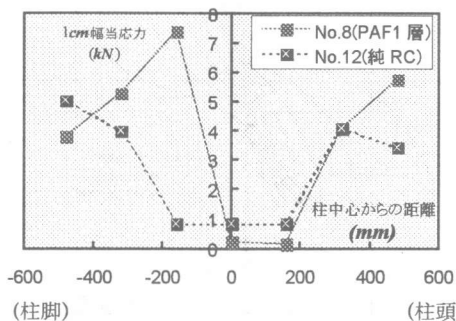


図-11 セン断補強材存在応力 (部材終局時)

4. セン断耐力とじん性能の評価

4.1 純RC試験体とポリアセタール補強のせん断補強効果の比較

先に述べたように PAF 補強の No.8 と純 RC の No.12 はほぼ同じ最大耐力、履歴性状を示した。そこで図-10、11 に柱の高さ方向位置でのせん断補強材の応力を、測定した歪みより算出し 1cm 幅当りに換算して示す。No.8 は Hoop 筋と繊維シートを累加したもの、No.12 は Hoop 筋について求めたものである。各測定点において、No.8 と No.12 は、ばらつきはあるものの、せん断補強材が同様にせん断力を負担していることが分かる。この事より、ポリアセタール繊維が Hoop 筋と同等のせん断補強効果を発揮しており、鉄筋と同様の方法で耐力を評価できる可能性がある

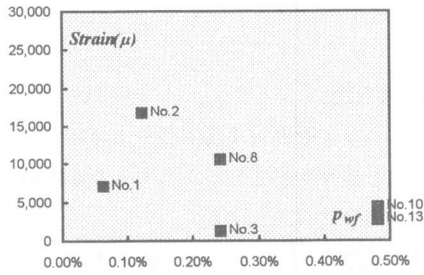


図-12 繊維歪み (最大耐力時)

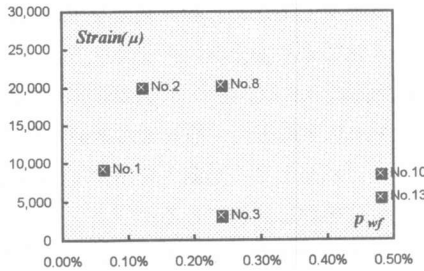


図-13 繊維歪み (部材終局時)

考えられる。

4. 2 シートの歪み

せん断破壊した各試験体について、繊維シート
の歪み (測定点中の最大の点) を図-12、13
に示す。最大耐力時では最大で約 17,000 μ の歪み
を発生している。部材終局時 (耐力が最大耐力の
80% になった時点) では、ばらつきは大きい
が最大で約 21,000 μ を示した。

4. 3 セン断耐力の評価

せん断破壊した試験体について、式(1)を用い
て終局強度型設計指針式 (以下 A 法) ²⁾ により
算出した計算値と実験値の比較を図-14 に示す。

$$\Sigma(p_w \sigma_w) = p_{ws} \cdot \sigma_{ws} + p_{wf} \cdot v_f \cdot \sigma_{wf} \quad (1)$$

*なお $p_w \sigma_w$ の制限を設けない。

$$v_f = 0.08 + 0.9 / (\Sigma p_w \sigma_w / \sigma_B)^{1.05} \leq 1 \quad (2)$$

シート強度は材料試験より $\sigma_{wf}=1,275\text{MPa}$ を、
帯筋強度 σ_{ws} は材料試験値を、有効係数 v_f は部材
終局時のシート歪み 21,000 μ より求め $v_f=0.43$ と
した。計算値は実験値をほぼ安全側に評価できた
が、2 層補強した No.10、13 のみ危険側の評価と
なった (両試験体は A 法において、アーチ機構が

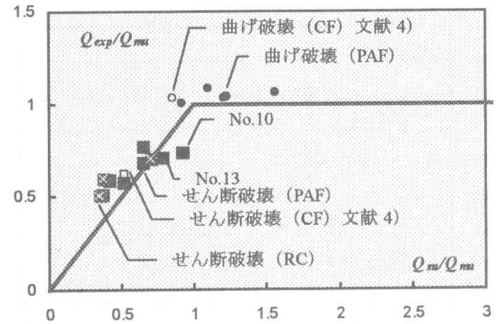


図-14 セン断耐力計算値と実験値

消滅しトラス機構のみになる領域である)。

なお、 Q_m 、 Q_{exp} はそれぞれせん断耐力の計算
値と実験値、 Q_m は耐震診断基準 ³⁾ 記載の略算式
により求めた曲げ耐力計算値である。参考に試験
体諸元がほぼ同じである文献 4) の CF データを
記載した (Q_m は $\sigma_{wf}=1,765\text{MPa}$ 、 $v_f=1.0$ で計算
した ⁴⁾)。

繊維歪みゲージは載荷途中で測定不能になっ
たものもあった。また、載荷終了までシートとコ
ンクリートの間はほぼ付着していた (シートとコ
ンクリート表面との付着力が強固なため、変形が
進むにつれコンクリート表面が剥離する部分が
あった)。その結果、測定したシート歪みは繊維
長さ方向でのバラツキも極めて大きかった。これ
らの理由から、本実験における歪測定値はポリア
セタール繊維シートの真の歪みを表していない
可能性がある。

そこで、A 法がせん断耐力を正しく評価でき
ると仮定し、A 法によるせん断耐力計算値に実験
値を代入することにより得られた有効係数 v_f を
図-15 に示す。補強量が増えるに従い v_f が低く
なっているのが分かる。その下限は式(2)により評
価できる。

図-16 に式(2)により求めた v_f を用いて算出
したせん断耐力と実験値の比較を示す。破壊モー
ドを若干、正確に評価できていないところもある
が、全ての試験体についてほぼ同等の安全余裕を
持った評価となっている。

4. 4 じん性能の評価

曲げ降伏破壊した試験体について、最大耐力

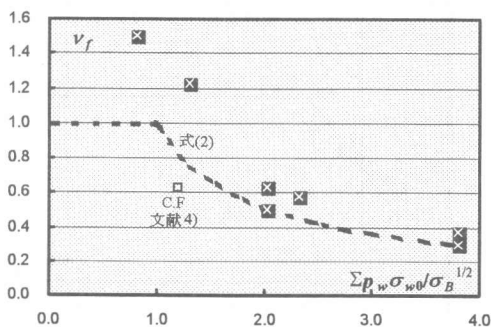


図-15 シート強度有効係数 ν_f

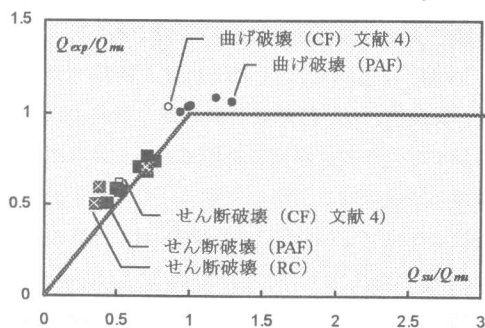


図-16 せん断耐力計算値と実験値

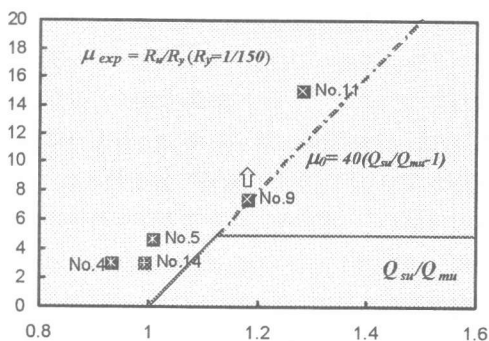


図-17 塑性率の実験値と計算値

の 80%の耐力を保持できる部材角を終局部材角 R_u 、降伏部材角 $R_y=1/150$ として、実験値より塑性率を求め、式(3)による値と比較し、結果を図-17 に示す。

$$\mu_0 = 40(Q_{su}/Q_{mu} - 1) \leq 5 \quad (3)$$

同図より、軸力比 30%の試験体を含め、PAF 補強した全ての試験体の塑性率を式(3)により安全側に評価でき、その傾向をよく表現する事がで

きた。

5. まとめ

- (1) ポリアセタール繊維シートを用いて RC 柱を補強することによって、せん断耐力と変形性能が向上する。
- (2) 補強した RC 柱のせん断耐力は、シートの材料強度 $1,275\text{MPa}$ に式(2)による有効係数 ν_f を乗じて求めた設計強度を用い、指針式 A 法により安全側に評価できる。
- (3) 補強した RC 柱のじん性能は、軸力比が 30%以下の場合、前記せん断耐力算定式により求めたせん断耐力を用いて、式(3)により安全側に評価できる。
- (4) 仕上げモルタルを除去せずに、ポリアセタール繊維で補強した場合でも、耐力・変形性能の低下は無かった。耐震改修時にはモルタルを無視して設計する事により、仕上げモルタルが健全であれば、これを除去せずに補強することができる。
- (5) PAF シート補強した RC 部材の付着割裂性状については今後の検討課題であるが、シートによる付着割裂強度の増分を無視し、文献 2) 等の RC を対象とした方法を用いれば、安全側に評価できる。

参考文献

- 1) 飯星 力ほか：ポリアセタール繊維による RC 部材耐震補強に関する研究(その 1)、日本建築学会大会学術講演概要集 (構造IV)、pp.193-194、1998
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990.11
- 3) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説、1990.12
- 4) 福山 洋ほか：連続繊維シートにより補強された柱部材の諸要因による影響、JCI 連続繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集、pp.133-140、1998.5