

論文 FRP 連続繊維プレート補強による RC 部材の付着割裂強度増大効果

松野 一成^{*1}・角 徹三^{*2}

要旨：近年、様々な種類あるいは形態の連続繊維がRC構造物の耐震補強に用いられており、設計法も確立されつつあるが、連続繊維プレートで補強されたRC部材の付着性能、特に鉄筋群としての性能に関しては明らかにされていないため、24体の簡易型試験体を用いた付着試験を行った。その結果、プレート補強することで強度面での補強効果が得られ、繊維が連続したコ型のプレート補強の場合には靱性能も向上することが分かった。また、著者等の連続繊維補強による付着強度増大算定の提案式を簡易な修正を行うことで、連続繊維プレート補強による付着強度増分の算定も可能となった。

キーワード：FRP, 付着割裂強度, 炭素繊維プレート, ガラス繊維プレート

1. はじめに

著者等は一貫して連続繊維シート巻き付けによるRC部材の付着割裂破壊抑止効果についての検討を行っており、その成果として連続繊維シート補強による付着割裂強度増大分の算定式を提案するに至った¹⁾。さらに、現実の柱・はりにはせん断力で評価すべきであり、強度（応力度表記）では実設計には適応できないため、付着割裂強度からRC部材の付着割裂破壊時のせん断力を算定することが重要との認識から、付着割裂強度から付着せん断耐力を算定する手法を提案し、有用性の高いものであることを確認した²⁾。その後、連続繊維にはシート形態だけでなく、RC部材に貼付するという点で施工が容易なプレート型に成型されたものもあるため、簡易型付着試験を実施し文献¹⁾の提案式をプレート型にも適応可能な形態に修正し³⁾、さらにその検証のため、複数の連続繊維を用いた検証も行った⁴⁾。しかし検証に用いた試験体には試験鉄筋1本のみという特異性があり、鉄筋群としての性能を評価することができず、必ずしも検証が十分とはいえない。また補強方法としては、試験体側面に2枚、上面1枚の3箇所にてプレートを貼付したが、板状に成型したプレートの性質上断面隅角部に繊維が連続していない箇所が生じ、そこが補強の弱点となったため、耐震補強法としては不十分と考えられた。

そこで本研究では、簡易型付着試験法を用い、連続繊維の種類、補強比、補強形態、さらにプレートの形状を

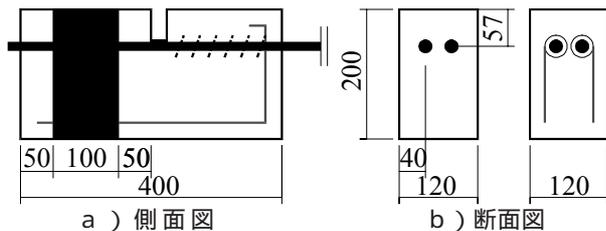


図 - 1 試験体図 (単位 mm)

実験変数とした連続繊維プレートで補強されたRC部材の付着割裂強度増大効果の検討を行うとともに、著者等の提案式の連続繊維プレート補強への適応可能性について検証を実験的に行うこと、RC部材の耐震補強法としての適応可能性について検討することを目的とした。

2. 実験概要

実験は2シリーズに分けて行った。1シリーズは連続繊維プレートの補強比および補強形態に注目し、2シリーズは連続繊維の種類を変化させ、プレートの形状を実験変数とした実験を行った。

2.1 試験体 (共通部)

表 - 1 に試験体一覧を実験結果とあわせて示し、図 - 1 に試験体図代表例を示す。試験体総数は24体、試験体の断面はすべて120 mm × 200 mmとし、全長400 mm、付着長さ200 mm、側面かぶり40 mm、鉛直かぶり57 mmとした。本論で用いるかぶりは鉄筋の中心からコンクリート縁までの長さとした。主筋には載荷の際の利便性を考慮し、D19のネジ式異形鉄筋を用い、鉄筋群としての付着割裂強度を評価、検討するために2本を並列に配した。

図 - 2 に載荷装置の概略を示す。試験鉄筋に十分な剛性を持つ鉄板を取付け、試験鉄筋より太径の鉄筋を介し、オイルジャッキにより載荷を行った。載荷に際しての偏心圧縮応力による曲げ引張破壊を防ぐため、D10の普通強度異形鉄筋を配し曲げ補強を行った。試験体をスリッ

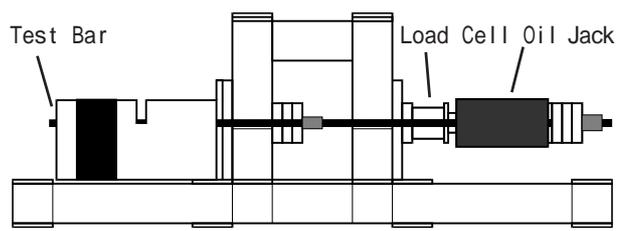


図 - 2 載荷装置

*1 呉工業高等専門学校 建築学科 助教授 博士(工学) (正会員)

*2 日本福祉大学 情報社会科学部 生活環境情報学科 教授 工学博士 (正会員)

表 - 1 試験体一覧および実験結果の概要

| 試験体名 | 試験鉄筋 | 試験区間断面 (mm) | 付着長さ (mm) | 側面かぶり (mm) | 鉛直かぶり (mm) | 連続繊維プレート | | | 目標コンクリート強度 (N/mm ²) | コンクリート実強度 (N/mm ²) | 最大引張力 (kN) | 最大引張力時のすべり (mm) | 付着強度 (N/mm ²) | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------------|-----------|------------|------------|----------|--------|--------|---------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------|---------------------------|------|--------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | 補強比 (%) | 繊維種類*1 | 補強形態*2 | | | | | 実験値 | | | 計算値*3 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 付着強度 | 平均値 | プレート増分 | τ_{fm} | τ_{wf} | τ_{bu} | | | | | | | | |
| 共通 | No.1 | 2-D19 × 200 | 200 | 40 | 57 | 0 | - | - | 24 | 28.08 | 65.12 | 0.253 | 2.71 | 2.58 | - | - | 2.20 | | | | | | | | | |
| | No.2 | | | | | | | | | | 67.07 | 0.235 | 2.79 | | | | | | | | | | | | | |
| | No.3 | | | | | | | | | | 53.40 | 0.248 | 2.23 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | No.4 | | | | | 120 | 200 | 40 | | | 57 | 0.417 | C | 板状2面 | 24 | 28.08 | 92.63 | 0.336 | 3.86 | 3.55 | 0.98 | 1.21 | 3.41 | | | |
| | No.5 | | | | | | | | | | | | | | | | 78.79 | 0.346 | 3.28 | | | | | | | |
| | No.6 | | | | | | | | | | | | | | | | 84.49 | 0.341 | 3.52 | | | | | | | |
| | No.7 | | | | | | | | | | | | | | | | 89.05 | 0.344 | 3.71 | | | | | | | |
| | No.8 | | | | | | | | | | | | | | | | 86.77 | 0.367 | 3.62 | | | | | | | |
| | No.9 | | | | | | | | | | | | | | | | 86.60 | 0.355 | 3.61 | | | | | | | |
| | 1 | | | | | No.10 | 200 | 200 | | | 40 | 57 | 0.417 | C | | | 板状3面 | 24 | 28.08 | 85.30 | 0.421 | 3.55 | 3.64 | 1.07 | 1.71 | 3.91 |
| | | | | | | No.11 | | | | | | | | | | | | | | 81.07 | 0.403 | 3.38 | | | | |
| | | | | | | No.12 | | | | | | | | | | | | | | 87.58 | 0.462 | 3.65 | | | | |
| | | | | | | No.13 | | | | | | | | | | | | | | 104.7 | 0.575 | 4.36 | | | | |
| | | | | | | No.14 | | | | | | | | | | | | | | 80.42 | 0.402 | 3.35 | | | | |
| | | | | | | No.15 | | | | | | | | | | | | | | 89.86 | 0.458 | 3.74 | | | | |
| 2 | No.16 | 200 | 200 | 40 | 57 | 1.825 | G | 板状3面 | 24 | 28.08 | 93.12 | 0.458 | 3.88 | 3.91 | 1.33 | 1.63 | 3.83 | | | | | | | | | |
| | No.17 | | | | | | | | | | 96.86 | 0.577 | 4.04 | | | | | | | | | | | | | |
| | No.18 | | | | | | | | | | 91.49 | 0.545 | 3.81 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | No.19 | 200 | 200 | | | 40 | 57 | 1.575 | G | コ型 | 24 | 28.08 | | | 99.79 | 0.559 | 4.16 | 4.00 | 1.42 | 1.23 | 3.43 |
| | | | | | | No.20 | | | | | | | | | | | | | | 90.51 | 0.650 | 3.77 | | | | |
| | | | | | | No.21 | | | | | | | | | | | | | | 103.1 | 0.668 | 4.29 | | | | |
| | | | | | | No.22 | | | | | | | | | | | | 95.40 | 0.754 | 3.98 | | | | | | |
| | | | | | | No.23 | | | | | | | | | | | | 78.63*4 | 0.575*4 | 3.28*4 | | | | | | |
| | | | | | | No.24 | | | | | | | | | | | | 91.33 | 0.423 | 3.81 | | | | | | |

*1: C: 炭素繊維, G: ガラス繊維 *2: 図 - 4 参照 *3: τ_{fm} : 藤井・森田式⁴⁾による付着割裂強度, τ_{wf} : プレートによる付着割裂強度増分¹⁾, $\tau_{bu} = \tau_{fm} + \tau_{wf}$ *4: コ型プレートの接着不良により考察から除外

表 - 2 コンクリート調合表

| W/C (%) | セメント (kg/m ³) | 水 (kg/m ³) | 細骨材 (kg/m ³) | 粗骨材 (kg/m ³) | AE 減水剤 (kg/m ³) |
|---------|---------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 54.0 | 378 | 204 | 870 | 785 | 0.945 |

表 - 3 コンクリートの力学的性質

| | 両シリーズ共通 | |
|------|---------------------------|---------------------------|
| | 圧縮強度 (N/mm ²) | 弾性係数 (N/mm ²) |
| 1 | 28.36 | 2.40 × 10 ⁴ |
| 2 | 27.77 | 2.28 × 10 ⁴ |
| 3 | 28.11 | 2.28 × 10 ⁴ |
| Ave. | 28.08 | 2.32 × 10 ⁴ |

トにより付着領域 (試験区間) と非付着領域に分け, 載荷による反力が試験区間に影響を与えないよう留意した。また非付着領域には鋼管を配し, コンクリートと鉄筋間の付着を完全に断ち切った。非付着領域内でのコンクリートの破壊が先行するのを防ぐため, 6 普通強度鉄筋によりスパイラル補強を施した。断面の寸法と試験筋の配置決定には, 以下に示す藤井・森田式⁵⁾に従えばサイドスプリット型の付着割裂破壊が先行するよう留意されている。またサイドスプリット型付着割裂破壊を誘発するために, ネジ式異形鉄筋のフシ (ネジ) のある部分を側面になるように配置した。

$$\tau_{fm} = \tau_{co} + \tau_{st} \quad (1)$$

$$\tau_{co} = (0.117 \cdot bi + 0.163) \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (2)$$

$$\tau_{st} = \left(9.51 \frac{p_{st} \cdot b}{N \cdot d_b} \right) \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (3)$$

但し, $bi = bsi = b / (N \cdot db)$, p_{st} : 横補強筋比, b : 部材 (mm), N : 主筋本数, db : 主筋径 (mm), σ_B : コンクリート強度 (N/mm²)。また, 連続繊維プレート補強による付着強度増分は以下の提案式³⁾で算出した。

表 - 4 鉄筋の機械的性質

| 種類 | 最大強度 (N/mm ²) | 降伏強度 (N/mm ²) | 弾性係数 (N/mm ²) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| D19 (主筋) | 570 | 370 | 1.76 × 10 ⁵ |
| D10 (補強筋) | 525 | 368 | 1.79 × 10 ⁵ |

表 - 5 連続繊維プレートの機械的性質

| | 炭素繊維プレート | ガラス繊維プレート | |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 板状 | コ型 |
| 繊維目付量 (g/m ²) | 1,200 | 1,732 | 1,732 |
| 設計厚さ (mm) | 1.00 | 2.19 | 1.89 |
| 引張強度 (N/mm ²) | 2,400 | 442 | 442 |
| 引張弾性率 (N/mm ²) | 1.56 × 10 ⁵ | 0.60 × 10 ⁵ | 0.27 × 10 ⁵ |

$$\tau_{wf} = 3 \cdot \left(\frac{E_{wf}}{E_0} + 0.5 \right) \cdot \sqrt{p_{wf}} \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (4)$$

但し, p_{wf} : 連続繊維補強比, E_{wf} : 連続繊維の弾性率 (N/mm²), $E_0 = 2.30 \times 10^5$ N/mm²。この値を藤井・森田式で算出された付着割裂強度に累加することで, 連続繊維プレートで補強された試験体の付着割裂強度を算定した。

2.2 使用材料の性質

(1) コンクリート

現存のRC構造物耐震補強を対象としているため, コンクリート強度は 24N/mm² を目標とした。表 - 2 にコンクリートの調合を, 表 - 3 にコンクリートの力学的性質を示す。コンクリート材令が 60 日を経過したため, 実験期間 2 日では材令によるコンクリート強度の上昇はないものと判断し, 全試験体のコンクリート強度を共通とした。また, 骨材の最大粒径は 20mm とした。

(2) 鉄筋

試験鉄筋として, D19 の異形鉄筋 (ネジ式鉄筋) を, 補強用に D10 の普通強度異形鉄筋を用いた。表 - 4 に使用鉄筋の機械的性質を示す。

(3)連続繊維

連続繊維プレートには、炭素繊維とガラス繊維を使用した。表 - 5 に機械的性質を示す。ガラス繊維プレートの形状間での弾性係数の差異は、コ型隅角部を曲げ加工するための製法が板状成型とは異なったために生じた。また、ガラス繊維プレートの弾性係数以外の数値はカタログ値を記載した。繊維は一方方向に配し、試験鉄筋に直交するよう貼付した。

2.3 実験変数

1シリーズの連続繊維プレートには炭素繊維を使用し、実験変数はプレートの補強比 ($p_{wf}=0.417, 0.833\%$ 、補強位置は図 - 3 参照)、プレートの補強形態 (図 - 4 a), b) 参照) を組み合わせた5種類とし、それぞれを3体ずつ計15体作製した。プレートの補強比は、図 - 3 c) に示す断面の面積比とし(5)式で算出した。

$$p_{wf} = \frac{\sum A_{wf}}{A_c} \quad (5)$$

但し、 A_{wf} :1枚のプレートの断面積(mm²)、 A_c :A-A'断面のコンクリート断面積(mm²)。

2シリーズの連続繊維プレートにはガラス繊維を使用し、実験変数はプレートの補強比($p_{wf}=0.1.825, 1.575\%$ 、補強位置は図 - 3 b) 参照、ただしプレートの幅は100mmを基準とする。)、プレートの補強形態(図 - 4 b), c) 参照)とした。コ型に成型したプレートを補強に用いることで、耐震補強上の弱点を解消することができると思われる。コ型プレート隅角部の曲げ加工は、曲げ半径10mmを基準とした。なお、コ型プレートは初めて使用するため、同一の試験体を6体作製した。

2.4 測定事項

実験においては試験体に作用する引張力と主筋すべり量を試験鉄筋ごとに測定した。主筋すべり量は載荷端側のスリット位置で測定した。連続繊維プレートの繊維方向にひずみゲージを貼付し、載荷中のひずみを測定した。試験体側面プレートのひずみは、サイドスプリット型の付着ひびわれが発生する試験鉄筋の位置で測定し、上面プレートのひずみはプレート中央で測定した。コ型プレートのひずみも同様の箇所で測定した。

3. 実験結果

3.1 実験結果の概要

表 - 1 に実験結果の概要を示す。表中の付着強度は実験時の最大引張力を試験区間200mmの試験鉄筋2本分の表面積で除した平均付着応力度で表した。最大引張力時の主筋すべり量もそれぞれの主筋間のすべり量に大きな差異はみられなかったため、2本分の平均値で表した。破壊形状については次節で詳しく述べる。

付着強度をみると、炭素・ガラス繊維の両プレートと

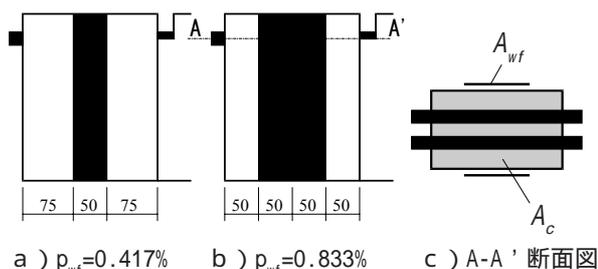


図 - 3 補強位置 (1シリーズ)

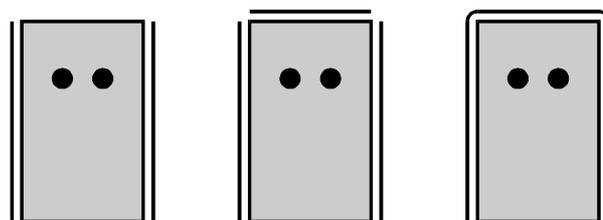


図 - 4 補強形態

も、補強比に応じた補強効果が得られたが、補強形態およびプレートの形状による大きな差異はみられなかった。また計算値を比較すると、個々には計算値を下回っているものがあるものの、付着強度全体では整合性がある結果が得られた。

プレートによる増分のみについて実験値と計算値を比較すると、板状のプレートで補強した場合、実験値が計算値を下回る危険側の算定となり、特に補強比が高い場合に顕著となった。板状のプレートで補強する場合、文献3)、4)で用いた試験鉄筋が1本のみの特異性を持つ簡易型付着試験においては、著者等の提案式(4)式でプレートによる付着強度の増大効果がある程度適切に評価できたが、2本以上の鉄筋群を拘束する場合においては、試験鉄筋が1本の場合のように、3方向から拘束できないため補強効果が劣ると推測され、安全率等を考慮する必要があると考えられる。これに対し試験体を拘束するための繊維が連続しているコ型のプレートをを用いた場合には、プレートの接着が良好で、コンクリートとプレートが一体化していれば、プレートによる付着強度の増大効果を(4)式で評価することは十分に可能と判断できる。

3.2 破壊形態

写真 - 1 ~ 7 にそれぞれの試験体の最終破壊状況の代表例を示す。これをみると、プレートの有無により破壊形態に大きな差異が生じたことが分かる。プレート無補強の試験体は、主筋から鉛直かぶり部に縦ひびわれが発生したのもあったが、想定通りのサイドスプリット型の付着割裂破壊を呈した(写真 - 1, 2 参照)。これに対しプレートで補強した試験体の最終破壊形態はプレートの補強形態ごとに異なる破壊形態を示した。

板状のプレートを試験体側面のみ2面貼付した試験



写真 - 1 破壊状況
断面 (No.3)



写真 - 2 破壊状況
側面 (No.3)



写真 - 3 破壊状況
断面 (No.6)



写真 - 4 破壊状況
断面 (No.13)



写真 - 5 破壊状況
断面 (No.18)



写真 - 6 破壊状況
断面 (No.19)



写真 - 7 破壊状況
側面 (No.19)

体 (No.4 ~ 9) は、縦ひびわれとサイドスプリット型の付着ひびわれの両者が発生し、付着強度に達したときにどちらが支配的であったか判断が困難であった (写真 - 3 参照)。

これに対し試験体上部にもプレート进行貼付し3面補強した試験体 (No.10 ~ 18) は、両シリーズ (炭素・ガラス繊維) の差異に影響を受けることなくほぼ同じ傾向であった (写真 - 4, 5 参照)。若干の例外を除き主筋に沿って側面に載荷端側から付着ひびわれが生じ、ひびわれがプレートにより拘束されると拘束力の劣る方向にひびわれが進行し破壊に至った。この場合の拘束力の劣る箇所は側面と上面プレートの境界であった。この傾向は文献4)でもみられた傾向であり、この弱点を解消するためにコ型のプレートを作製し実験を行った。3方向からプレート補強することで、図 - 5 に示すように主筋列に沿って一直線に割裂するサイドスプリット型の付着ひびわれパターンから、隅角筋からコンクリート断面隅角部へひびわれが進行するというひびわれパターンに変化すると考えられる。

コ型プレートで側面および上面から試験体を拘束した試験体 (No.19 ~ 24) は、引抜力の増大に伴い主筋に沿った付着ひびわれが発生するまでは他の試験体と同様の傾向を示したが、その後は付着ひびわれが進行することなく、コンクリートと主筋のふしとの境界での破壊により主筋が拔出し、かぶり部コンクリートが割裂することなく最終破壊に至った (写真 - 6, 7 参照)。他の試験体の

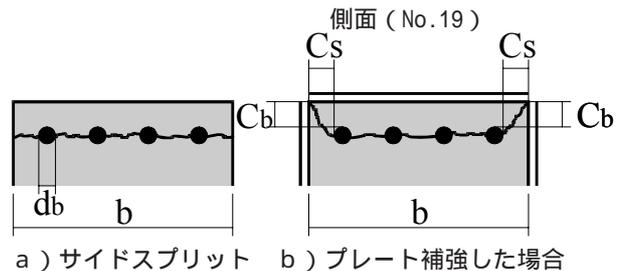


図 - 5 付着ひびわれパターンの変化

ような脆性的な破壊を呈することなく、ある程度の付着応力を保持したままの状態の主筋が拔出していく破壊形態であり、靱性能の面でも補強効果がみられた。この点については次節で詳しく述べる。

3.3 付着応力度 - 主筋すべり量関係

図 - 6 ~ 8 に試験区間の試験鉄筋1本あたりの平均付着応力度と載荷端側スリット位置での測定した主筋すべり量の関係を、有意な実験変数ごとに代表例として1体ずつ抽出し示す。なお図中の×印は、きわめて脆性的な破壊を呈した箇所を示しており、それ以降は耐力が負担できていないため曲線としての表記はしていない。また、図 - 6, 7 と図 - 8 では横軸のスケールが異なっていることに留意されたい。

炭素・ガラス繊維プレートの有無で比較すると、すべての試験体において初期剛性の向上はわずかであるが、プレート補強により強度面での補強効果は顕著に表れている。図 - 6, 7 を比較すると、補強比の増大および補強面の増加により若干ではあるが付着強度に達するまでの主筋すべり量も増大し、変形能力も向上していること

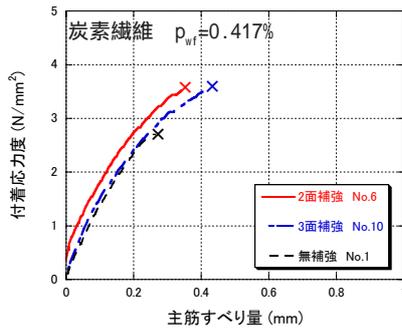


図 - 6 付着応力度 - すべり関係 ($p_{wf}=0.417\%$)

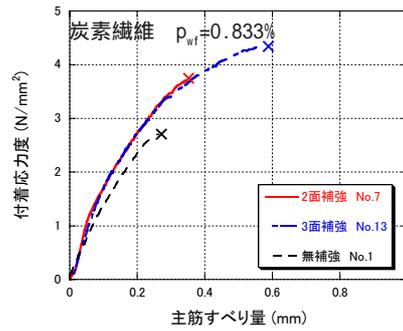


図 - 7 付着応力度 - すべり関係 ($p_{wf}=0.833\%$)

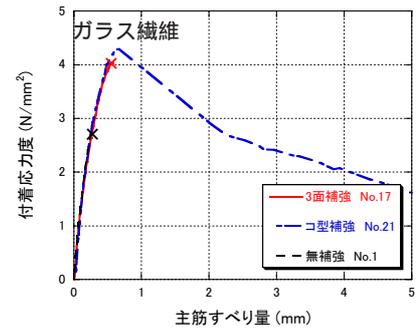


図 - 8 付着応力度 - すべり関係 (2シリーズ)

がみてとれる。しかし炭素・ガラス繊維の種類に関係なく、繊維が連続していない板状のプレートを貼付するだけでは脆性的な破壊を防止することはできず、急激な耐力低下を招く恐れがある。この点が図 - 8 をみると明確に表れている。ガラス繊維プレート板状3面補強とコ型補強を比較すると、付着強度に大きな差異は無いが、それ以降の挙動が決定的に異なっている。コ型補強の場合、付着強度に達した以降もある程度の付着応力を保持したまま主筋の拔出が続いており、靱性能の面でも補強効果が得られている。この点が繊維が連続したコ型のプレートで補強することの最大の利点であり、施工性も考慮に加えると耐震補強法としての有用性は高いものであるといえる。

3.4 付着応力度 - プレートひずみ関係

図 - 9 ~ 12 に付着応力度とプレートひずみとの関係を実験変数ごとに示す。

脆性的な破壊を呈した試験体の場合に、付着強度以降の曲線は表示していない。図 - 9, 10 の $p_{wf}=0.833\%$ の場合、試験区間に50mm幅の炭素繊維プレートを2枚連続で貼付しているため、付着機構保持に大きく寄与している載荷端側のプレートのひずみを示している。また、図 - 9, 10 と図 - 11, 12 ではプレートの種類が異なるため、横軸のスケールが異なっている。この点に留意されたい。これらの図をみると補強比等でそれぞれの貢献度は異なるが、付着機構を保持するために、プレートが機能していることがわかる。

図 - 9, 10 は両者とも補強比は0.833%であるが、補強面数が異なる。図10をみると、側面のプレートと比較すると小さい値ではあるが、上面のプレートでもひずみが計測されている。これは、主筋の割裂作用によるコンクリート周面を押し開こうとする引張力に上面のプ

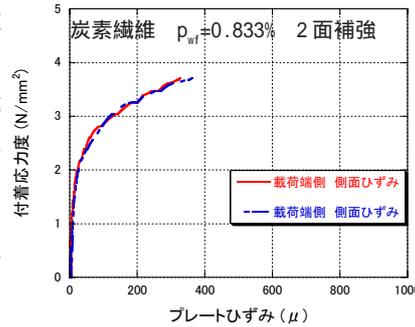


図 - 9 付着応力度 - プレートひずみ関係 (No. 7)

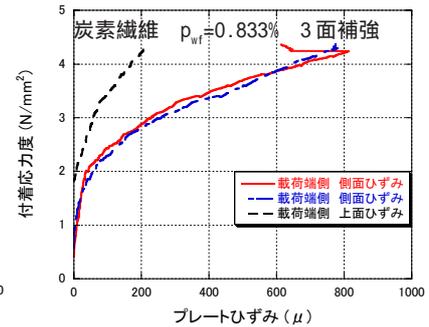


図 - 10 付着応力度 - プレートひずみ関係 (No. 13)

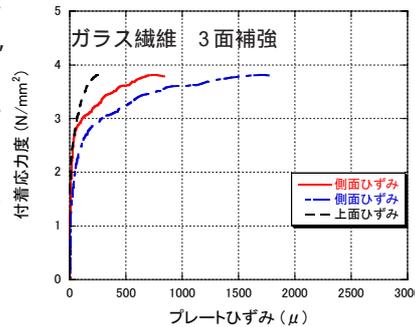


図 - 11 付着応力度 - プレートひずみ関係 (No. 18)

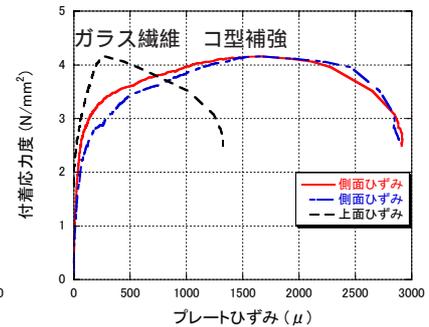


図 - 12 付着応力度 - プレートひずみ関係 (No. 19)

レートが抵抗しているものと考えられ、付着ひびわれの拡大を防止することができ、付着機構の保持に寄与している推測できる。この差が、両者の付着強度差として表れたものと考えられる。ただし、ひずみは最大でも800 μ程度であり、応力に換算すると125N/mm²程度で、引張強度2,400N/mm²の炭素繊維プレートの性能を十分に発揮しているとはいえない。図 - 11 に示すガラス繊維3面補強のプレートひずみからも同様のことがいえる。ガラス繊維が負担している応力も110N/mm²程度で、引張強度の1/4程度の応力負担であった。これらはいずれも性能を十分に発揮する前に脆性的な破壊に至った。これに対しコンクリートの割裂ではなく、主筋が拔出し最終破壊に至ったコ型プレート補強の図 - 12 では付着強度に達して以降も付着機構の保持に大きく寄与していることが明らかである。試験体がサイドスプリット型の付着割裂破

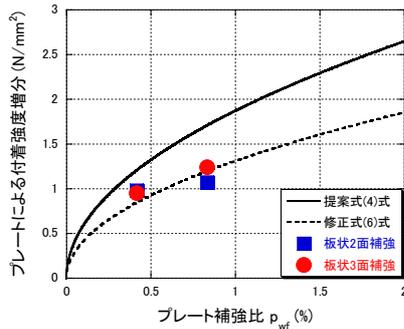


図 - 1 3 付着強度増分比較
(炭素繊維板状補強)

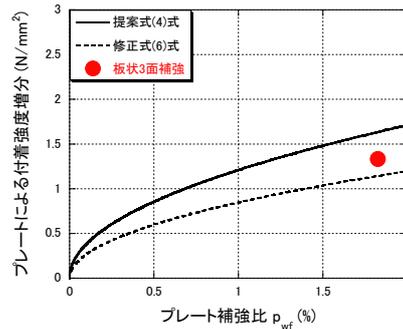


図 - 1 4 付着強度増分比較
(ガラス繊維板状補強)

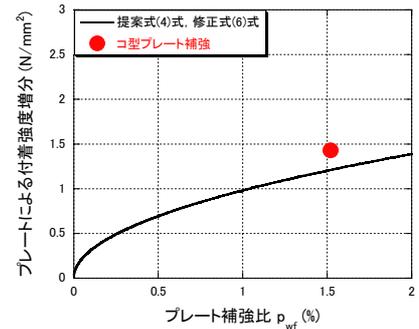


図 - 1 5 付着強度増分比較
(ガラス繊維コ型補強)

壊を基準としているため、側面位置でのひずみが大きくなっているが、繊維が連続したプレートが一体となり付着機構保持に寄与していることがこの図からみてとれる。

4. 連続繊維による付着割裂強度増大の算定

図 - 1 3 ~ 1 5 にプレートによる付着強度の増分の実験値と計算値の比較を実験変数ごとに示す。2面あるいは3面補強された試験体は、繊維の種類に関わらず、著者等の提案式(4)式での算定結果を下回る危険側の算定となった。このため、このままの設計式として使用することには問題があると思われる。(4)式の成立過程においては連続繊維巻付け補強した試験体の付着強度を使用しており、繊維自体の連続性という点で大きく前提条件が異なっている。また繊維が連続しているコ型補強においては実験値と計算値がほぼ一致している(図 - 1 5 参照)ため、繊維の連続性が影響し危険側の算定となっていると考えられる。よって(4)式を繊維の連続性を考慮した算定式に修正することで、板状のプレートにも適応可能な算定式になると考えられる。ただし、現状では標本数が少ないため確立させることは困難であると考え、暫定的な修正を行うものとする。修正は3.1節で述べた安全率に近い、繊維の連続性による係数を(4)式に乘じる形態をとり、次式で定義した。なお、コ型プレートによる補強と形態が大きく異なるため、2面補強による補強は(4)式の修正には考慮していない。

$$\tau_{wf} = 3 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{E_{wf}}{E_0} + 0.5 \right) \cdot \sqrt{p_{wf}} \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (6)$$

但し、 α : 繊維の連続性を考慮した低減係数。繊維が連続していれば1.0、板状3面補強のように連続していなければ0.7とする。

(6)式による算定結果も図 - 1 3 , 1 4 に加えている。図 - 1 5 は α が1.0となり(4)式と同じ値を示すため標記していない。(6)式による算定結果は、実験値との整合性が非常に高いことが図からみてとれる。あくまで暫定的ではあるが、設計式としての有用性は高いと判断できる。

5. まとめ

鉄筋群としての付着強度を評価するために、24体の簡易型付着試験を行った。その結果により得られた知見を以下に示す。

- 1) 連続繊維プレートで補強することで、鉄筋群に対しても付着割裂強度が増大することが確認できた。
- 2) 繊維が連続したコ型のプレートを用いることで、かぶり部コンクリートを割裂させることなく、脆性的な破壊を防止することができた。
- 3) 繊維の連続性を考慮した低減係数を用いて連続繊維による付着割裂強度増大の算定式を修正することで、暫定的ではあるが、連続繊維プレート補強による付着割裂強度増大を適切に評価することが可能となった。

謝辞

フクイファイバーテック株式会社にはガラス繊維プレートをご提供いただいた。また、三菱化学産資株式会社には炭素繊維プレートならびに接着剤をご提供いただいた。ここに記し、深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 松野一成・河野進・角徹三：連続繊維シートによるRC部材の付着割裂強度増大効果 - 第1報付着強度式の提案 - ,日本建築学会構造系論文集 ,第548号 ,pp.95-100 , 2001.10
- 2) 松野一成・角徹三：連続繊維シートによるRC部材の付着割裂強度増大効果 - 第2報部材実験による付着強度式の検証 - ,日本建築学会構造系論文集 ,第556号 , pp.117-122 , 2002.8
- 3) 松野一成・角徹三：プレート型に成型したFRP連続繊維を用いたRC部材の付着割裂強度 ,日本コンクリート工学年次論文集 ,第28巻 ,第2号 , pp.709-714 , 2006.7
- 4) 松野一成・角徹三：FRP連続繊維で補強されたRC部材の付着割裂強度 ,日本コンクリート工学年次論文集 ,第29巻 ,第2号 , pp.1135-1140 , 2007.7
- 5) 藤井栄・森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究 ,日本建築学会論文報告集 ,第319号 , pp.47-55 , 1982.10