

論文 連続繊維プレート補強により増大する付着割裂強度の算定・評価

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，プレート型の連続繊維で補強された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，18 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わずかではあるが向上した。また補強による付着ひびわれパターンの変化に対応した付着強度算定を行うことで，プレート型連続繊維補強による付着強度増分の算定が可能となった。

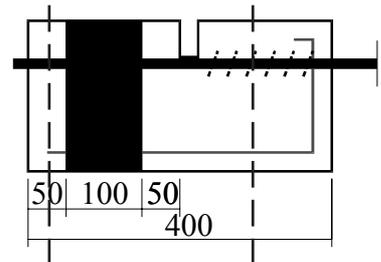
キーワード：FRP，付着割裂強度，ガラス繊維プレート

1. はじめに

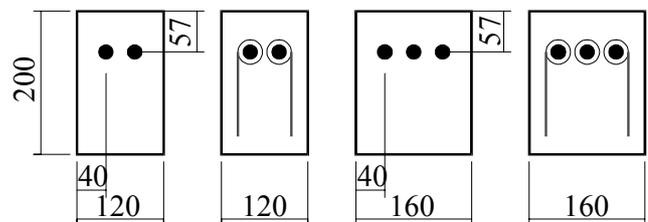
著者等は一貫して連続繊維シート（FRPシート）巻き付けによるRC 部材の付着割裂破壊抑止効果についての検討を行っており，その成果として連続繊維シート補強による付着割裂強度増大分の算定式¹⁾，さらには付着割裂破壊時のせん断力を算定することが重要との認識から，付着せん断耐力を算定する手法を提案した²⁾。その後，シート型あるいはプレート型といった各種形態の連続繊維に対応できるように付着割裂強度算定式を修正・検証を行い，有用性の高いものであることも確認した³⁾・⁴⁾・⁵⁾。しかし検証に用いた試験体の試験鉄筋は最大で2本，それらの多くは1本であったため，鉄筋群としての付着割裂強度算定の評価することができておらず，検証は必ずしも十分とはいえない。また，文献⁵⁾で用いた連続繊維をコ型に一体成型し，繊維を隅角部で遮断することのないプレートをRC 部材の耐震補強に用いることの信頼性の評価も，標本数が少ないために十分とはいえない。加えて板状とコ型のプレートの弾性係数に大きな差異があったことも無視できない問題であった。

そこで本研究では，複数本の試験鉄筋による実験が可能な改良型の簡易型付着試験法を用い，補強に用いる連続繊維プレートの形状を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，特に鉄筋群に対しての評価を行うこと，加えてコ型に成型した連続繊維プレートの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。

1に試験体図代表例を示す。試験区間断面120mm × 200mmのもの（120type）を9体，160mm × 200mmのもの（160type）を9体それぞれ作成し，試験体総数18体で実験を行った。両タイプとも全長400mm，付着長さ（試験区間長さ）200mm，側面かぶり40mm，鉛直かぶり57mm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（試験鉄筋）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，120typeは試験鉄筋を2本，160typeは試験鉄筋を3本並列に配した。両タイプとも断面の寸法と試験鉄筋の配置決定には，以下に示す藤井・森田式⁶⁾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。なお，試験体の断面は200mmであり，試験鉄筋下のコンクリート層は130mm程度であることから，プリー



a) 側面図(共通)



b) 断面図(120type) c) 断面図(160type)

図 - 1 試験体図 (単位 mm)

2. 実験概要

2.1 試験体

表 - 1 に試験体一覧を実験結果とあわせて示し，図 -

*1 呉工業高等専門学校 建築学科 准教授 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		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(%)	補強形態*1				実験値			計算値*2		
											付着強度	平均値	増分	τ_{fm}	τ_{wf}	τ_{bu}
No.1	2-D19	120	200	40	57	0	-	25.6	40.21	0.11	1.68	2.07	-	2.10	-	2.10
No.2									59.26	0.12	2.47					
No.3									49.65	0.15	2.07					
No.4						69.51	0.26		2.90	3.15	1.08	0.74	2.84			
No.5						84.81	0.49		3.53							
No.6						72.12	0.46		3.00							
No.7						68.70	0.92		2.86	3.09	1.02	1.05	3.15			
No.8						80.26	0.51		3.34							
No.9						73.42	0.37		3.06							
No.10	3-D19	160	200	40	57	0	-	25.6	78.95	0.13	2.19	2.10	-	1.90	-	1.90
No.11									84.16	0.23	2.34					
No.12									63.16	0.31	1.75					
No.13						92.14	0.28		2.56	2.58	0.48	0.64	2.54			
No.14						101.42	0.45		2.82							
No.15						85.47	0.33		2.37							
No.16						94.91	0.33		2.64	2.60	0.50	0.91	2.81			
No.17						92.63	0.32		2.57							
No.18						95.56	0.56		2.65*3							

*1 図 - 3 参照 *2 τ_{fm} : 藤井・森田式⁶⁾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⁵⁾, $\tau_{bu} = \tau_{fm} + \tau_{wf}$
 *3 試験区間外での破壊により以後の考察から除外

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

	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
1	25.0	2.56 × 10 ⁴	2.55
2	25.3	2.67 × 10 ⁴	2.74
3	26.4	2.64 × 10 ⁴	2.71
Ave.	25.6	2.62 × 10 ⁴	2.67

ジングの影響による付着強度の低下はほとんどないものと判断し、水平上端筋以外の算定式を使用した。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, $bi = b_{si} = b / (N \cdot d_b)$, p_{st} : 横補強筋比, b : 部材幅 (mm), N : 主筋本数, d_b : 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⁵⁾で算出した。

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

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, 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。文献 2) の部材実験において付着割裂強度に対する補強効果は、コンクリートの寄与分とせん断補強筋の寄与分に、連続繊維

表 - 4 鉄筋の機械的性質

種類	引張強さ (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

ガラス繊維プレート	
繊維目付量 (g/m ²)	1.732
設計厚さ (mm)	1.50
引張強度 (N/mm ²)	442
引張弾性率 (N/mm ²)	0.27 × 10 ⁵

シートが累加されることが確認できているため、(4) 式の値を藤井・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。

図 - 2 に载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

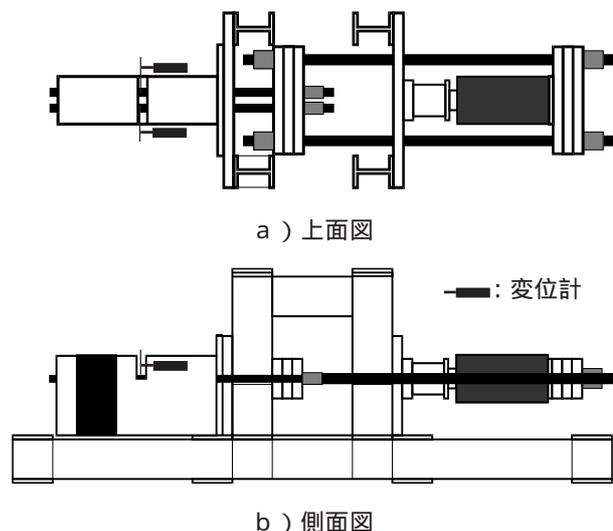


図 - 2 载荷装置

し、オイルジャッキにより載荷を行った。図 - 2 は 120type であるが、160type も同じ装置を改良し実験を行った。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。

2.2 使用材料の性質

(1) コンクリート

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 30 日以上を経過したため、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、実験結果に影響を与えるほどで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

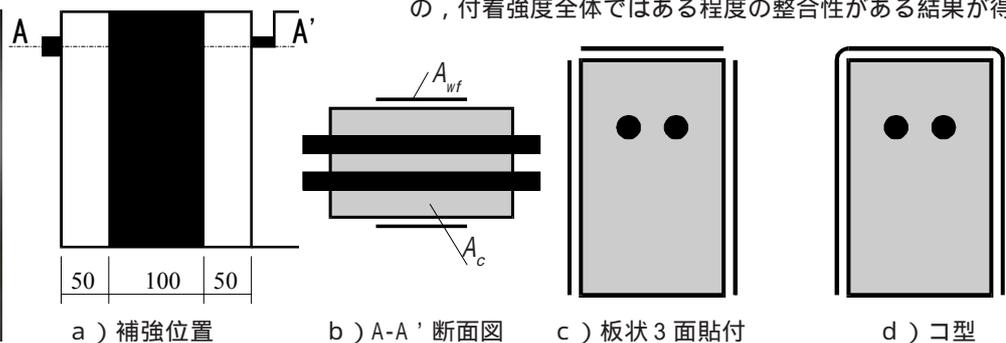
連続繊維プレートにはガラス繊維を使用した。表 - 5 に機械的性質を示す。ガラス繊維プレートの弾性係数以外の数値はカタログ値を記載した。ガラス繊維は一方方向に配し、試験鉄筋に直交するよう貼付した。また形状による付着割裂強度への影響を明確にするために、板状・コ型とも同一の製法で作成した。そのため両者とも材料定数は同一となった。

2.3 実験変数

実験変数は主筋本数（2 本、3 本）（図 - 1 b）、c）参照）とプレート補強形態（板状、コ型）（図 - 3 c）、d）参照）とし、それぞれの組合せによる 4 種類の連続繊維プレートで補強された試験体を作成した。それらをブ



写真 - 1 コ型プレート



レート無補強の試験体と比較することで補強効果を検討した。またプレートの補強比 (p_{wf}) は、図 - 3 b) 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)。

コ型に成型したプレートは板状 3 面補強とは異なり、断面の隅角部においてもガラス繊維の連続性が確保でき、補強する繊維が連続していないという耐震補強上の弱点を解消することができる。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(写真 - 1 参照)。

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(図 - 2 参照)。

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。連続繊維プレート無補強の試験体は、両タイプとも想定通りサイドスリット型の付着割裂破壊を呈した。なお、表中の付着強度は実験時の最大引張力を試験区間 200mm の試験鉄筋の本数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、載荷の際に主筋間の引張力に差異が生じないように留意したために、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。そのため主筋すべり量についても平均値で表した。また表中の実験値の増分は、プレート補強した試験体の付着強度と無補強試験体の付着強度との差で表した。

付着強度全体で比較すると、試験体の主筋本数に関係なくプレート補強することで付着割裂強度は増大し、補強効果は得られたが、文献5)でみられたような隅角部で繊維が連続しているコ型プレートの優位性は、付着強度増大効果においてはほとんどみられなかった。また計算値と比較すると試験鉄筋が 2 本の 120type の場合には、個々に実験値が計算値を下回っているものがあるものの、付着強度全体ではある程度の整合性がある結果が得



写真 - 2 破壊状況
断面 (No.3)



写真 - 3 破壊状況
上面 (No.3)



写真 - 4 破壊状況
断面 (No.6)



写真 - 5 破壊状況
上面 (No.6)



写真 - 6 破壊状況
断面 (No.8)



写真 - 7 破壊状況
断面 (No.8)



写真 - 8 破壊状況
断面 (No.12)



写真 - 9 破壊状況
断面 (No.14)

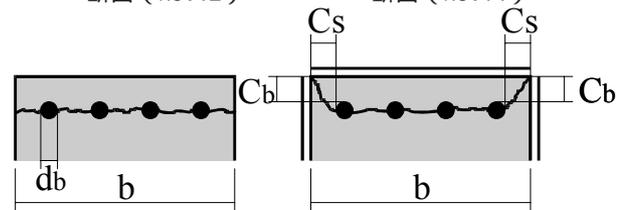
られた。しかし試験鉄筋が3本の160typeでは、多くの場合で実験値が計算値を下回り、期待していたほどの補強効果が得られない結果となった。

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120typeでは、板状プレートの場合に実験値が計算値を上回る安全側の算定結果とはなるが、コ型の場合には強度増分を的確に捉えており、(4)式の適応可能性はきわめて高い結果となった。これに対し160typeでは実験値が計算値を大きく下回る危険側の算定となった。これはプレートの性能を十分に発揮できなかったためと考えられ、次節以降でも詳しく述べるが、プレートの定着性に起因しており、耐震補強法としての信頼性を高めるためには改善すべき点である。

3.2 破壊形態

写真 - 2 ~ 9 にそれぞれの試験体の最終破壊状況の代表例を示す。120type、160typeともに、プレートの有無により破壊形態に大きな差異が生じた。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ものもあったが、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 - 2, 3, 8 参照)。

これに対し120typeのプレート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と上部の3面に貼付した補強した試験体(No.4 ~ 6)は、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(写真 - 4, 5 参照)。この場合の拘束力の劣る箇所は側面と上面プ



a) サイドスプリット b) 連続繊維プレート補強後
図 - 4 付着ひびわれパターン

レートの境界であった。3方向からプレート補強することで、図 - 4 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。この点は藤井・森田式⁶⁾の b_i の算定に影響を与えらる。また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.7 ~ 9)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、付着強度に達した直後は、コンクリートと主筋のふしの頂面との境界でのコンクリートのせん断破壊、あるいはふしによるコンクリートの支圧破壊により主筋が抜出した。その後、プレート定着面の接着剤とプレート間においてすべりが生じ、かぶり部コンクリートが割裂し、最終破壊に至った(写真 - 6, 7 参照)。板状プレート補強と比較すると若干ではあるが、靱性能の面でも補強効果がみられる結果となった。

これに対し160typeのプレート補強した試験体(No.13 ~ 17)の最終破壊形態は、補強形態に影響されることなく、120typeの板状3面補強とほぼ同様の破壊形態を示し、きわめて脆的な破壊であった(写真 - 9 参照)。コ

型補強の試験体 (No.16, 17) においても、靱性能の面での補強効果がみられなかった。

3.3 付着応力度 - 主筋すべり量関係

図 - 5, 6 に試験区間の試験鉄筋1本あたりの平均付着応力度と载荷端側スリット位置での測定した主筋すべり量との関係を、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。またコ型補強の履歴曲線上の×印は、前節で述べたプレート定着部がすべり始めた箇所を示している。

図 - 5 をみると連続繊維プレート補強することで、補強形態にかかわらず無補強時より付着応力度および変形性能とも向上したことが明らかであるが、脆性的な破壊を防止するまでには至らなかった。また、補強することで初期剛性が低下しているが、これはすべての試験体でみられた傾向ではないため、連続繊維補強が効果を発揮する以前のコンクリートのみで付着機構を保持している段階で生じた差異であり、連続繊維補強することで剛性が低下することはないと判断している。板状とコ型のプレートの補強形態で比較すると、板状補強の場合、付着強度に達した直後に脆性破壊を呈したが、コ型補強することでわずかではあるが付着強度に達した以降も高い付着応力度を保持しており、変形性能が向上していることがわかり、この点がコ型プレート補強の優位性であることがいえる。プレートの定着方法の改善により耐震補強法としての信頼性が向上するものと思われる。

図 - 6 をみると主筋本数が2本から3本に増加させた場合にも、コ型プレートで補強することで付着強度に達した以降の変形性能を、わずかではあるが保持できていることがわかる。しかし主筋本数が増え、試験体幅40mm

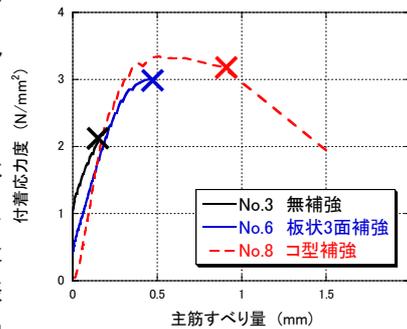


図 - 5 付着応力度 - すべり関係 (120type 補強形態による比較)

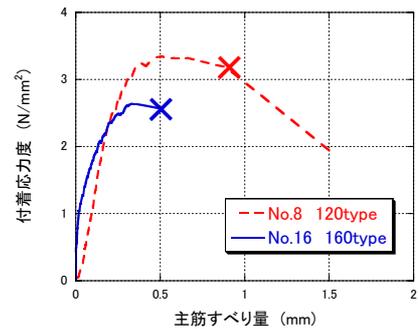


図 - 6 付着応力度 - すべり関係 (コ型補強主筋本数による比較)

分の拘束すべきかぶり部コンクリートが増大したことに対する対応を行わなかったため、プレート定着部により多くの負担を強いることとなり、160typeのプレート定着部でのすべりが120typeよりも早い段階で生じ、より脆性的な破壊を呈した。この点からも耐震補強法としての信頼性向上のための改善点が明確となった。

4. 付着ひびわれパターンの変化を考慮した

付着割裂強度増大分の評価

図 - 7 にプレートによる付着強度の増分と実験値と計算値の比較を示す。図はそれぞれの条件に対応したものを同色で示した。160type ($p_{wf}=0.94\%$) の実験結果はプレート定着の問題もあるため参考程度とし、120type ($p_{wf}=1.25\%$) を重要視し考察を行った。これをみると板状補強に関して安全側の算定となったものの、総合的に(4)式の信頼性は高いと評価でき、設計に使用することに問題は無いと思われる。板状3面補強が安全側の算定となった背景には、前章で述べたプレート補強することで、サイドスプリット型の付着割裂破壊から、図 - 4 に示すような形状で付着ひびわれが発生し、破壊に至ることが影響していると判断できる。コンクリートの付着割裂強度の算定には付着ひびわれパターンが大きく関係するため、板状3面補強の場合にはコンクリートが負担す

表 - 6 付着ひびわれパターンを考慮した連続繊維プレートによる付着強度増大分の算定

試験鉄筋	試験体幅 (mm)	連続繊維プレート		コンクリート実強度 (N/mm ²)	付着強度 (N/mm ²)				ひびわれパターンの変化を考慮した場合				増分 (N/mm ²)		
		補強比 (%)	形状		実験値	平均値	無補強	増分	b _i		τ _{fm} (N/mm ²)			修正無補強試験体付着強度 (N/mm ²)	
									(6)式	(8)式	(6)式	(8)式			
No.4	2-D19	120	1.25	板状	25.60	2.90	3.15	2.07	1.08	2.16	2.81	2.10	2.49	2.45	0.70
No.5						3.53									
No.6						3.00	3.09	1.02	2.16	2.81	2.10	2.49	2.45		
No.7						2.86									
No.8						3.34									
No.9	3.06	コ型	0.94	25.60	2.56	2.58	2.10	0.48	1.81	2.24	1.90	2.15	2.35	0.23	
No.13	2.82														
No.14	2.37				2.60	0.50	1.81	2.24	1.90	2.15	2.35				
No.15	2.64														
No.16	2.57														
No.17	2.57	2.60	0.50	1.81	2.24	1.90	2.15	2.35	0.25						

る付着割裂強度の算定に考慮すべき問題であろう。そのため、藤井・森田式⁶⁾の付着ひびわれパターンによる係数 b_i を以下の手法で評価することとした。藤井・森田式⁶⁾でサイドスプリット型の b_i は(6)式で表される。

$$b_i = \frac{b - N \cdot d_b}{N \cdot d_b} \quad (6)$$

但し、 b :部材幅(mm)、 N :主筋本数、 d_b :主筋径(mm)。この部材幅を付着ひびわれ全長(b')と考え、図-4に示すようにプレート補強された場合の付着ひびわれ全長は(7)式となる。

$$b' = b - 2 \cdot C_s + 2 \cdot \sqrt{C_s^2 + C_b^2} \quad (7)$$

但し、 C_s :側面かぶり(mm)、 C_b :鉛直かぶり(mm)(両者とも鉄筋の縁からコンクリート表面までをかぶり厚とする)。簡略化のため、 $C_s = C_b$ と置き整理し、これを(6)式の付着ひびわれ全長である b と置換すると、付着ひびわれパターン係数 b_i は(8)式で表すことができる。

$$b_i = \frac{b + 0.82 \cdot C_s - N \cdot d_b}{N \cdot d_b} \quad (8)$$

(8)式により b_i が増大し、コンクリート負担分が増大する。その増大分がプレートで補強された試験体のコンクリートが負担する付着強度としてにそのまま上乘せされるものとし、(8)式と(6)式によるコンクリート負担分の強度差を無補強試験体(No.1 ~ No.3, No.10 ~ No.12)の付着強度に累加したものを修正無補強試験体の付着強度とし、プレート補強試験体の付着強度との差をプレートによる付着強度の増分として再算定した。これらの一連の算定結果を表-6に示す。

図-8に付着ひびわれパターンを考慮した場合のプレートによる付着強度の増大分の実験値と計算値の比較を示す。これをみると危険側の算定とはなっているが差はわずかであり、強度算定式としての適応可能性は高いものと判断できる。なおコ型プレートで補強された場合には、隅角部への付着ひびわれの進行は明確にみられなかったため、ひびわれパターンの変化は無いものと判断し、従来のサイドスプリット型の b_i により算定すべきと思われる。現時点では傾向を把握することができたのみにとどまっております、今後実設計に適応させるためには、試験体の形状・ばらつきを考慮し、安全率・低減係数等を定義する必要があると思われる。

5. まとめ

連続繊維プレート補強による鉄筋群としての付着強度の評価、および付着強度算定の信頼性向上のために18体の簡易型付着試験を行った。その結果により得られた

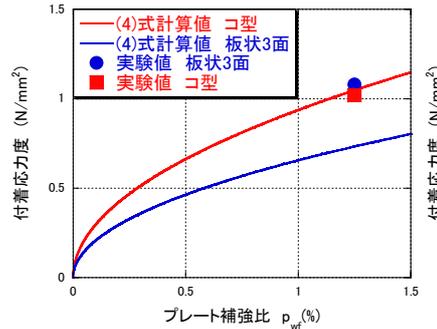


図-7 付着強度増分比較
(付着ひびわれパターン無視)

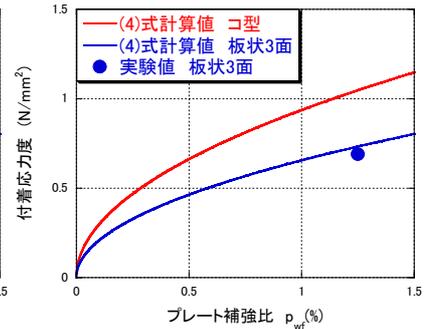


図-8 付着強度増分比較
(付着ひびわれパターン考慮)

知見を以下に示す。

- 1) 連続繊維プレート補強することにより、鉄筋が3本の鉄筋群に対しても付着割裂強度の増大効果を期待できることが明らかとなった。
- 2) 連続繊維プレートを貼付する耐震補強法は、信頼性向上のためにプレート定着部の改善が望まれる。
- 3) プレート補強による付着ひびわれパターンの変化を考慮することで、連続繊維による付着強度増大効果の算定の信頼性が向上した。

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、三菱樹脂株式会社には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) 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30巻, 第3号, pp.1177-1182, 2008.7
- 6) 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