

簡易型試験体による連続繊維補強コンクリート部材の付着割裂強度の把握 (その1：実験概要と結果)

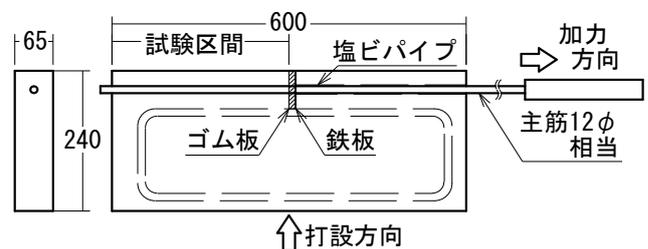
正会員 ○ 米丸 啓介^{*1}
同 金久保利之^{*2}
同 福山 洋^{*3}

1. はじめに

ガラス、カーボン、アラミド等の繊維を束ね、鉄筋代替の補強筋として用いる連続繊維補強筋（以下、FRPR）の付着性状は、補強筋のヤング係数、表面形状、表面処理法等に代表されるFRPR特有の性状に影響されると考えられる。著者らはすでに簡易型試験体および片持梁試験体による付着割裂実験を行いその性状を報告し、強度算定式を提案しているが¹、付着性状を考える上で重要な因子となる付着長に関しては未検討であった。本研究では同実験で用いられた簡易型試験体を使用し、付着長を主たる変動因子として様々なFRPRに対して付着割裂実験を行い、付着長およびその他の因子がFRPRの付着割裂強度に与える影響度を明らかにすることを目的とする。本報では実験概要と結果の概略を報告する。

2. 実験概要

試験体 試験体の配筋例および変動因子と名称の関係を図1に示す。幅×せい×長さ=65mm（または45mm）×240mm×600mmの直方体のコンクリートブロックの表面付近に主筋を1本配したもので、サイドスプリット型の付着割裂破壊を起こすように計画されている。試験区間内の荷重端位置では、荷重端側のコンクリートが試験区間のコンクリートの割裂を拘束しないよう鉄板およびゴム板を設けた。コンクリートは主筋のない側から打設を行い、試験区間が下端対応になるようにした。変動因子はコンクリートの種類（軽量または普通コンクリート）、試験体幅（65、45mm）、主筋の種類（FRPR10種および異形鉄筋）、付着長（6、12、18、



試験体名称
N 65 - CS5 - 6
├── コンクリート種類 N=普通 L=軽量
├── 試験体幅 65=65mm 45=45mm
└── 補強筋種類
 ├── 付着長 (cm)

図1 試験体配筋例

24、30cm) とした。以下、普通コンクリートを使用した幅65mmの試験体群をN65シリーズ、軽量コンクリートを使用した幅65mmの試験体群をL65シリーズ、普通コンクリートを使用した幅45mmの試験体群をN45シリーズと称する。試験体数はN65、L65、N45シリーズの順にそれぞれ55体、33体、21体の計109体である。

使用材料 主筋に使用した補強筋は公称径が12mm程度の螺旋巻きカーボン3種、螺旋巻きガラス3種、組紐状カーボン2種、組紐状アラミド2種および異形鉄筋D13の計11種である。これらの補強筋の形状および力学的性質を表1に示す。螺旋巻きカーボンおよびガラス繊維筋では、スパイラル部分の繊維の径を変えることにより、ふし高さ比（径

表1 補強筋の形状および力学的性質

素材	表面形状	記号	断面積 a_{ma}^{*1} (cm^2)	平均径 d_{ma}^{*2} (cm)	周長 ϕ_{ma}^{*2} (cm)	ふし高さ比 h/d^{*3} (%)	ヤング係数 E_{ma}^{*4} $\times 10^6(\text{kgf}/\text{cm}^2)$
カーボン	螺旋巻き	CS5	1.02	1.14	3.59	5.7	1.30
	〃	CS10	1.14	1.21	3.79	8.8	1.13
	〃	CS15	1.29	1.28	4.03	9.2	1.02
組紐状	組紐状	CB	0.78	1.00	3.13	5.2	1.48
	組紐状砂付	CBS	0.85	1.04	3.27	4.0	1.31
ガラス	螺旋巻き	GS5	0.94	1.10	3.44	5.9	0.441
	〃	GS10	1.03	1.14	3.59	8.5	0.387
	〃	GS15	1.14	1.21	3.79	8.8	0.322
アラミド	組紐状	AB	0.84	1.04	3.25	5.5	0.724
	組紐状砂付	ABS	0.89	1.07	3.35	4.5	0.667
鉄筋	異形 (D13)	SD	1.23	1.25	3.94	5.7	1.98

*1 補強筋の体積を実測し、長さで除して求めた。*2 断面が真円として、 a_{ma} より逆算した。

*3 公称径区間内での最大径(d_{max})、最小径(d_{min})を測定し、ふし高さ(h)を $h=(d_{max}-d_{min})/2$ 、直径(d)を $d=(d_{max}+d_{min})/2$ により算出した。*4 断面積には a_{ma} を用いた。

表2 コンクリートの性質

圧縮強度 (kgf/cm^2)	365 (N65) 374 (N45) 374 (L65)
割裂強度 (kgf/cm^2)	26.3 (N65) 25.4 (N45) 23.6 (L65)
ヤング係数 ($\times 10^5 \text{kgf}/\text{cm}^2$)	2.29 (N65) 2.29 (N45) 1.85 (L65)

テストピースは200φx100mmの形状。値は気中養生の加力前後試験時の平均値による。

Bond Splitting Strength of FRP Reinforced Concrete Members by the Simple Bond Test
(Part 1 : Test outline and results)

YONEMARU Keisuke, KANAKUBO Toshiyuki and FUKUYAMA Hiroshi

の最大および最小値の差で定義)を3段階に設定した。また組紐状繊維筋では表面に砂を接着したのもも実験対象とした。コンクリートには設計強度が360kgf/cm²の軽量コンクリートおよび普通コンクリートを用いた。硬化コンクリートの性質を表2に示す。

加力方法 加力装置には変位制御による加力を行う200tfユニバーサル試験機を用い、主筋を単調に引き抜くことにより加力を行った。計測項目は、引張力、荷重端および自由端における主筋の抜け出し量である。

3. 実験結果

ほとんどの試験体は、サイドスプリット型の付着割裂により破壊に至った。引張荷重-荷重端抜け出し量曲線の例を図2に示す。主筋のヤング係数が小さいほど曲線の剛性は徐々に小さくなる傾向がある。また、同一の主筋間では同一の曲線を描き、付着長が短い試験体ではその曲線の中で破壊に至っている。

全試験体の最大荷重実験値を、各シリーズ(N65、L65、N45)別に主筋種別および付着長をx軸およびy軸にとり、図3に示す。x軸の主筋種別の順序は、左側から右側に行くにしたがってヤング係数が大きい順になっている。なお、付着割裂以外の形式で破壊した試験体は除いている。付着長が短いと主筋種別による最大荷重への影響は顕著でない。しかし、主筋が砂付き組紐状であるABSとCBSではかなり大きな値を示している。付着長が長くなると主筋のヤング係数が大きいほど最大荷重が大きい傾向が見られる。またヤング係数が小さい主筋では付着長が18cmを超えると最大荷重の差はあまりなくなっており、付着応力を担う有効な付着長さを主筋の種類により考慮する必要があることを示唆している。L65シリーズとN45シリーズの試験体は、同一のパラメーターを持つN65シリーズの試験体と比較すると、ほとんどの試験体で最大荷重が小さくなっている。

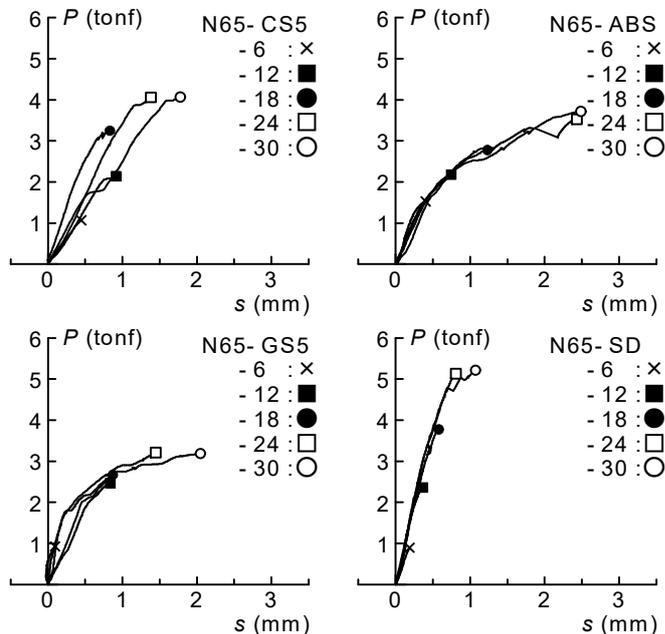
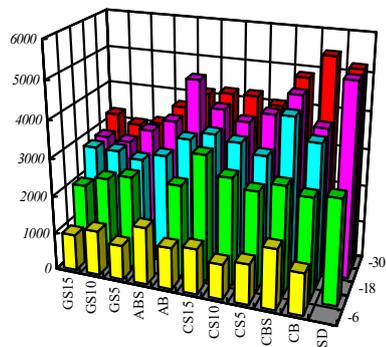
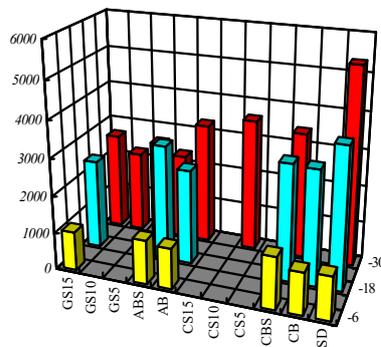


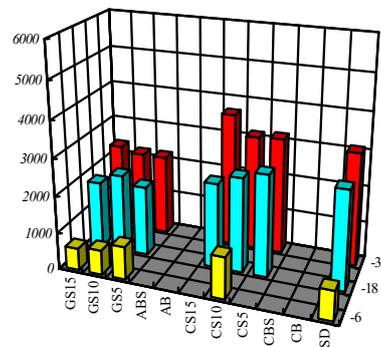
図2 引張荷重-荷重端抜け出し量曲線の例



N65 シリーズ



L65 シリーズ



N45 シリーズ

図3 各試験体の最大荷重実験値

4. まとめ

付着長をはじめ、主筋のヤング係数、表面処理法、コンクリートの種類等の各変動因子はFRPRの付着割裂強度に影響を与える。特に、主筋のヤング係数と試験体の付着長が強度(引張荷重)に与える影響は大きく、付着応力を担うことのできる有効な付着長さを主筋の種類により考慮する必要があると思われる。

[文献]

[1]米丸啓介, 金久保利之ほか: 連続繊維補強コンクリート部材の付着割裂強度, コンクリート工学論文集, Vol. 4, No. 2, pp. 101~109, 1993. 7

*1 清水建設技術研究所 研究員・工修

Research Engineer, Technical Research Institute, Shimizu Corporation, M.Eng

*2 筑波大学構造工学系 助手・博士(工学)

Research Associate, Institute of Eng. Mechanics, Univ. of Tsukuba, Ph.D.

*3 建設省建築研究所 主任研究員・工博

Senior Research Engineer, Building Research Institute, MOC, Dr. Eng.

簡易型試験体による連続繊維補強コンクリート部材の付着割裂強度の把握 (その2: 結果の検討)

正会員 ○ 金久保利之*1
同 米丸 啓介*2
同 福山 洋*3

1.はじめに

本報では前報に引き続き、結果の検討を行う。

2. 各変動因子の付着割裂強度に対する影響

コンクリート種類の影響 N65 シリーズと L65 シリーズの試験体間では、コンクリートの種類のみが異なりその他の変動因子は同一である試験体が計画されている。N65 シリーズと L65 シリーズの付着長 6、18、30cm の試験体の最大荷重実験値を、横軸に普通コンクリート試験体、縦軸に軽量コンクリート試験体を取り直接比較したグラフを図 1 に示す。軽量コンクリート試験体の実験値の普通コンクリート試験体に対する比の平均値は 0.82、標準偏差は 0.14 である。付着長の違いによる差は顕著ではない。本実験で用いたコンクリートのテストピースによる割裂強度は普通コンクリートが 26.3 kgf/cm² (N65 シリーズ)、軽量コンクリートが 23.6 kgf/cm² で、その比は 0.90 であり、実験結果の比はこれより小さい。

試験体幅の影響 N65 シリーズと N45 シリーズとでは、主筋に螺旋巻きガラスとカーボン繊維筋および鉄筋を用いた試験体において、試験体幅 (45mm または 65cm) による影響が直接比較できる。前節と同様に直接比較を示したグラフが図 2 である。N45 シリーズ試験体の実験値の N65 シリーズに対する比の平均値は 0.72、標準偏差は 0.16 である。文献[1]によれば付着割裂強度は割裂線の長さ b_f を用いて表され、主筋の直径を 12mm とすると強度比の計算値は 0.71 となる。実験値は計算値とよい一致をみている。

主筋の表面形状の影響 螺旋巻きカーボン繊維筋およびガラス繊維筋においてはふし高さ比のみを変動因子とした試験体、組紐状カーボン繊維筋およびアラミド繊維筋においては表面の砂の有無のみを変動因子とした試験体が計画されている。螺旋巻きガラス繊維筋 (GS) とカーボン繊維筋 (CS) を用いた N65 シリーズ試験体の最大荷重実験値を図 3 に示す。横軸は主筋の種類を示しており、付着長ごとに記号を変えてある。なお、ガラス繊維筋のふし高さ比は GS15、10、5 の順に 8.8、8.5、5.9%、カーボン繊維筋は CS15、10、5 の順に 9.2、8.8、5.7% である。同図より、主筋のふし高さ比の違いによる実験値への影響には明確な傾向が認められず、本実験で使用した範囲内の補強筋ではふし高さ比は付着強度に影響を及ぼさないと考えられる。組紐状アラミド繊維筋 (ABS および AB) とカーボン繊維筋 (CBS および CB) を用いた N65 シリーズ試験体の最大荷重実験値を図 3 と同様に図 4 に示す。同図より、付着長が短い試験体では砂付き (ABS、CBS) の試験体の方が大きい実験値を示し、付着長が長くなると砂のない試験体の方が大きい実験値を示す傾向が見られる。これは局所の付着強度は砂付きの主筋の方が大きい、付着応力を有効に担う区間の長さが砂付きの主筋の方が短いことを示していると考えられる。ただし、その違いが見れる付着長は主筋の素材により異なっており、アラミド繊維では 18cm、カーボン繊維では 30cm となっている。

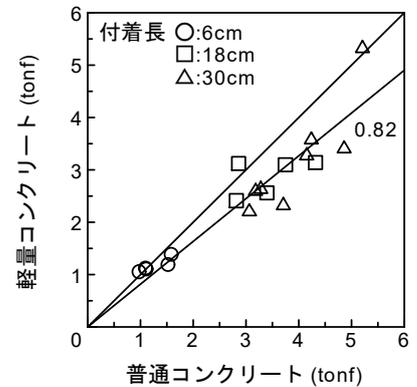


図 1 コンクリート種類による影響

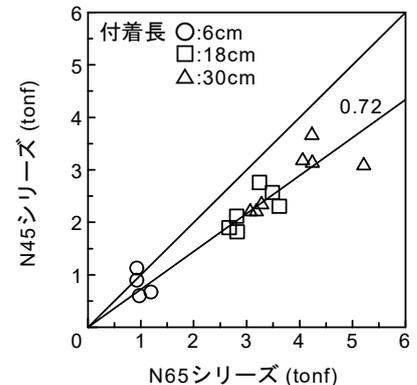


図 2 試験体幅による影響

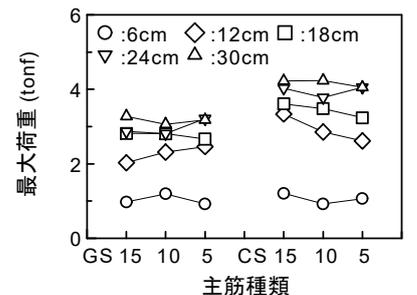


図 3 ふし高さ比の影響

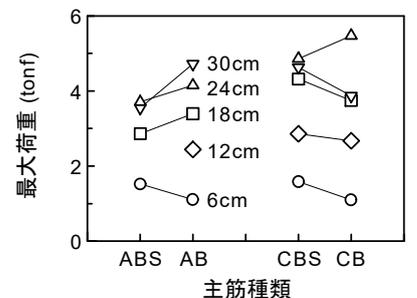


図 4 表面砂の有無の影響

Bond Splitting Strength of FRP Reinforced Concrete Members by the Simple Bond Test
(Part2 : Discussion on the test results)

付着長の影響 図 5に、N65 シリーズ試験体の実験値と付着長の関係を示す。左図は最大荷重実験値を、右図は付着割裂強度を示しており、付着割裂強度は最大荷重実験値を主筋の周長と付着長の積で除したものである。概して付着長が長くなるにしたがって最大荷重は増大し、付着割裂強度は減少するが、その度合いは主筋の種類によって異なりいずれも頭打ちの現象が見られる。頭打ちが見られる付着長は、おおむねガラス繊維筋で 18cm、アラミド繊維筋で 24cm、カーボン繊維筋および鉄筋で 30cm 以上であると思われる。

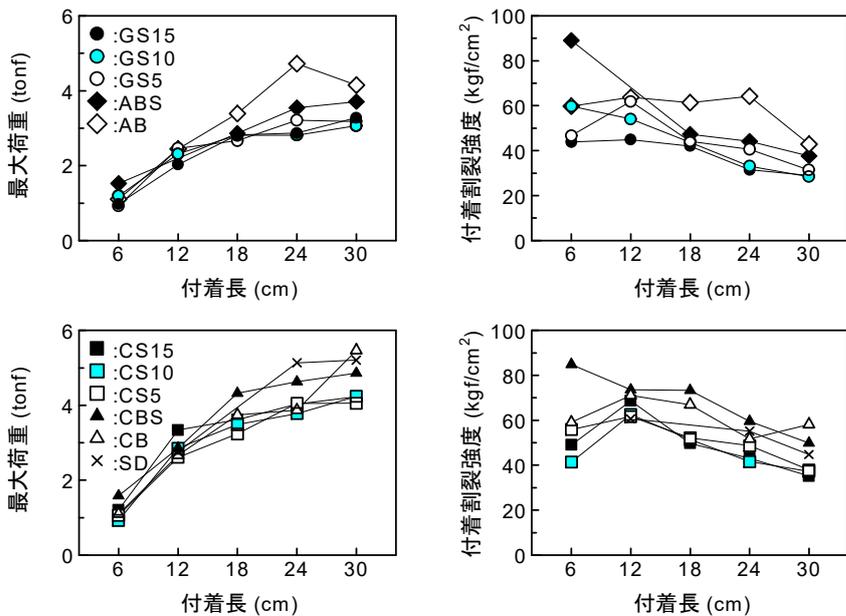


図 5 付着長と強度の関係

ヤング係数の影響 螺旋巻きガラスおよびカーボン繊維筋の試験体 3 体づつの結果をそれぞれ平均し、さらに L65 および N45 シリーズのデータをそれぞれ 0.82、0.72 で除し、3 シリーズの平均値とした実験値と、主筋のヤング係数の関係を図 6 に示す。左図は最大荷重実験値を、右図は付着割裂強度を示している。実験値は付着長が短い場合には主筋のヤング係数の影響をあまり受けていないが、付着長が長くなるにつれて主筋のヤング係数が大きくなるほど最大荷重および付着割裂強度が大きくなる傾向がある。主筋のヤング係数が小さいほど付着応力を有効に担う区間の長さが短いことを示していると考えられる。図 6 のデータと文献 [1] による付着割裂強度算定式による計算値との比較を図 7 に示す。付着長が 24cm 以上の試験体では主筋のヤング係数がおおむね $1.5 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ より小さくなると、実験値が計算値を下回っている。

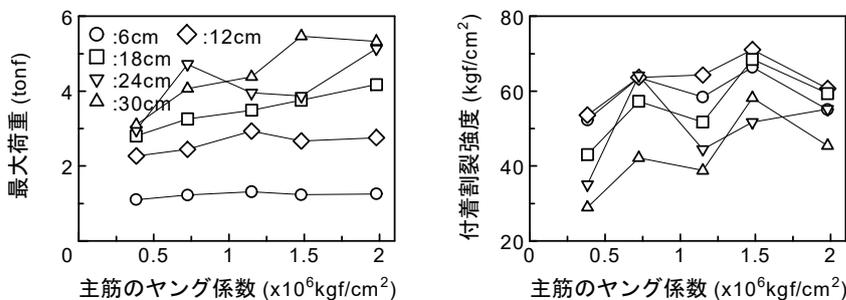


図 6 主筋のヤング係数の影響 (3 シリーズ平均)

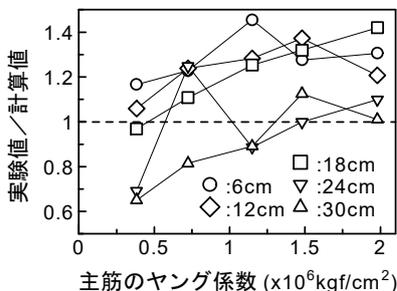


図 7 実験値と計算値の比較

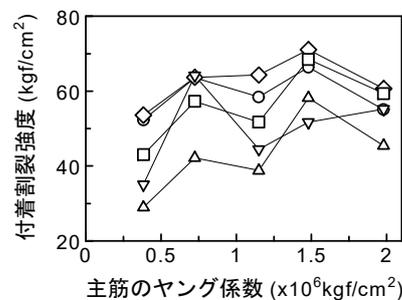


図 8 荷重端すべり量と最大荷重

3. 最大荷重時の荷重端主筋すべり量

N65 シリーズ試験体の最大荷重時の主筋の荷重端すべり量と最大荷重の比較を図 8 に示す。付着長が長くなるにつれ最大荷重は増大し、それとともに荷重端すべり量も大きくなることは明かである。各変動因子と荷重端すべり量との関係は明確でない。

4. まとめ

1. 軽量コンクリートの普通コンクリート試験体に対する実験値の比の平均値は 0.82、N45 シリーズの N65 シリーズ試験体に対する比の平均値は 0.72 であった。 2. 付着割裂強度に対する主筋表面砂の有無の影響は確認されたが、ふし高さ比の影響は顕著でない。 3. 主筋のヤング係数により付着応力を担う区間の長さが変化し、 $0.4 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ で主筋径の 15 倍程度、 $0.7 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ で 20 倍程度、 $1.3 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ でそれ以上の区間が有効付着長であると考えられる。

[謝辞] 試験体の製作にあたっては、人工軽量骨材協会、三井建設 (株) にご協力いただきました。

[文献] [1] 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，pp. 135～141，1990. 11

*1 筑波大学構造工学系 助手・博士 (工学)

Research Associate, Institute of Eng. Mechanics, Univ. of Tsukuba, Ph.D.

*2 清水建設技術研究所 研究員・工修

Research Engineer, Technical Research Institute, Shimizu Corporation, M.Eng

*3 建設省建築研究所 主任研究員・工博

Senior Research Engineer, Building Research Institute, MOC, Dr. Eng.