

# アラミド FRP 補強材の曲げ加工部の引張耐力の検討

## Examinations of Tensile Strength at the Bended Portion on AFRP Rod

三加 崇 TAKASHI SANGA

篠崎 裕生 HIROO SIHOZAKI

ファイベックス(株) 小林 宣博 NORIHIRO KOBAYASHI

三上 浩 HIROSHI MIKAMI

アラミドロッドを鉄筋の代替品としてスターラップ等で使用する場合には、曲げ加工部を有する。曲げ加工部は、直径に対して曲げ半径が小さいと引張耐力が低下し、大きいと直線部と同等の耐力とされている。これまでに、直径に対して曲げ半径が小さい場合では、研究がおこなわれている。ここでは、直径に対して曲げ半径が大きい場合の引張耐力への影響を確認するために引張試験を実施した。その結果、アラミドロッドの引張耐力は直径に対して5倍以下の曲げ半径では、直径に対して曲げ半径の比率が大きくなると引張耐力の低下が小さく。また、10倍および15倍では、引張耐力は若干低下するが差は見られなかった。

**キーワード:** アラミドロッド, 曲げ加工, 引張耐力

An AFRP rod used as a stirrup instead of a steel rod has a bended portion. Past researches have focused on only cases of small bending radius. In the studies, the influence of the large bending radius on tensile strength is checked by tensile tests. The larger the bending radius under 5 times radius to diameter (5d), the smaller the decrease of the tensile strength. The cases of 10 and 15 times (10d and 15d) showed slightly little decreased strength, but no influence of the diameters was observed.

**Key Words:** AFRP rod, Bending Process, Tensile Strength

### 1. はじめに

構造物の長寿命化が重視されている中、その方法として様々な方法が用いられている。例えば、塩害による鉄筋腐食に対しては、エポキシ塗装を行った鉄筋やコンクリート表面に塗装を行い、腐食や飛来塩分の浸透を防ぐことで、耐久性を向上させる方法などが用いられている。また、外ケーブルには、多重の防錆対策の処理が行われている。これらは、長期に渡って健全性を保持するために鋼材を腐食させないことが目的である。腐食に対して鋼材に代わる材料の一つがアラミド繊維である。アラミド繊維は、高強度で耐久性に優れていることから、鉄筋コンクリート構造の補強材や、プレストレスを構造物に導入するための緊張材として用いられている。

アラミド繊維をロッド状に製作して構造物の補強材として使用する場合に問題となるのが、曲げ加工部である。アラミドロッドは、製作時に曲げた状態で樹脂を硬化させる。曲げ加工部を有するアラミドロッドの引張耐力は、スターラップ等で用いられる鉄筋の最小曲げ半径

と同等程度である場合、引張耐力が低下することがこれまでの研究で明らかになっている<sup>1),2)</sup>。しかし、ラーメン構造の隅角部などに用いる場合には、直径に対して曲げ半径が大きくなるが、曲げ半径が大きい場合の引張耐力に関する研究は報告されていない。

本報告では、アラミドロッドの曲げ半径を大きくした加工部への影響を確認する目的で引張試験を実施し、曲げ半径による引張耐力を確認した。

### 2. 試験体

本試験で対象としたアラミドロッドの規格値を表-1に示す。試験体に使用するアラミドロッド (FiBRA) は組紐状の形状であり、RA9, RA13 および RA15 の3種類である。試験体の種類を表-2に示す。アラミドロッドの曲げ半径は直径に対して2.5倍, 5倍, 10倍および15倍の4種類とする。試験体の形状を図-1~図-3に示す。試験体は、直線部と曲げ加工部からなる構造である。曲げ加工部の角度は180度で製作した。試験体数は各3体で

表-1 アラミドロッドの規格値

試験体名	RA9	RA13	RA15
公称直径 mm	9.3	13.7	15.7
公称断面積 mm <sup>2</sup>	67.9	147	193
保証耐力 kN	85	172	225
ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	68.6		

表-2 試験体種類

曲げ半径		RA9	RA13	RA15
2.5倍 <sup>※</sup>	設計値	23.3	34.3	39.3
	鋼管半径	21.4	32.5	38.2
5倍 <sup>※</sup>	設計値	46.5	68.5	78.5
	鋼管半径	44.6	69.9	82.6
10倍 <sup>※</sup>	設計値	93.0	137.0	157.0
	鋼管半径	95.4	133.7	159.3
15倍 <sup>※</sup>	設計値	139.5	205.5	235.5
	鋼管半径	133.7	203.2	228.6

単位:mm

※直径に対して

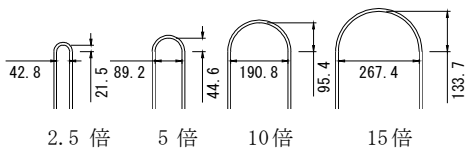


図-1 アラミドロッド曲げ加工試験体 (RA9)

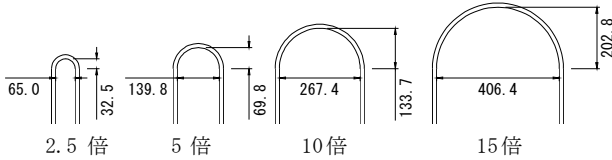


図-2 アラミドロッド曲げ加工試験体 (RA13)

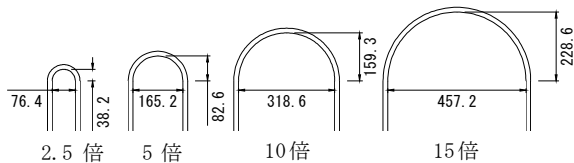


図-3 アラミドロッド曲げ加工試験体 (RA15)

ある。試験体の製作は、アラミ繊維を組紐の状態のエポキシ樹脂を含浸させて、表-2に示すような所定の曲げ半径に近い鋼管に巻きつけて加工部の成形を行った。曲げ加工部の断面は円形ではなく、写真-2に示すように扁平の形状となる。その後、熱処理によりエポキシ樹脂を硬化させて製作した。試験体の端部には、引張試験用の定着具を設置した。定着具は長さ300mmの鋼管内にアラミドロッドを挿入し、エポキシ樹脂で付着定着させた構造である。鋼管の外面上には、ねじ加工を施して荷重用のPC鋼棒とカップリングして引張力を与える構造である。



写真-1 試験体形状



写真-2 曲げ加工部形状

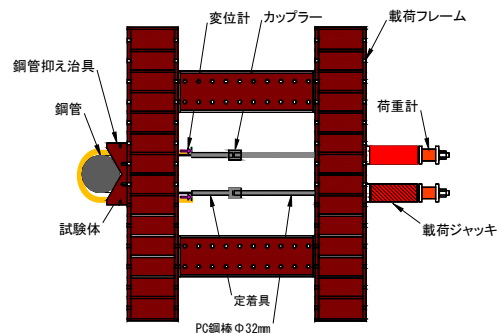


図-4 試験方法

### 3. 試験方法

試験方法を図-4、試験状況を写真-3に示す。アラミドロッドの曲げ加工部には、写真-4のように試験体の製作時と同径の鋼管を配置して、曲げ半径を保持して荷重を行う。鋼管にアラミドロッドを介して荷重が作用した場合、鋼管が座屈する恐れがあるため鋼管内部にはコンクリートを充填した。図-4に示すようにカップリングした2本のPC鋼棒でアラミドロッドに引張力を作用させる構造である。ただし、2本のPC鋼棒が干渉するような曲げ半径が小さい場合には、定着具を荷重治具に固定して、1本のPC鋼棒で荷重をする構造とした。計測は、図-4に示すように引張耐力を確認する荷重計と伸びを確認するための変位計を設置した。

### 4. 既往の研究

連続繊維補強材の曲げ加工部引張強度が既往の実験結果による回帰式(1)<sup>3)</sup>がある。実験結果は、炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維およびビニロン繊維の試験結果によるものである。

丸山ら<sup>1)</sup>および福山ら<sup>2)</sup>は、本試験で使用したものと



写真-3 試験状況



写真-4 曲げ加工部試験状況

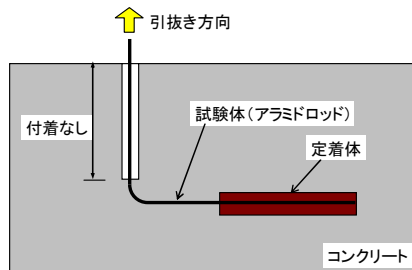


図-5 試験方法 (丸山ら<sup>1)</sup>)

表-3 直線部引張試験結果

試験片	直線製作試験片	曲げ成形製作直線部試験片	規格値
RA9	97kN	97kN	85kN以上
RA13	180kN	181kN	172kN以上
RA15	238kN	235kN	225kN以上

$$f_{fbk} = (0.09r/h + 0.3)f_{fuk} \quad (1)$$

$f_{fbk}$  : 曲げ加工部強度の特性値 ( $f_{fbk} \leq 1.0$ )

$f_{fuk}$  : 一軸引張強度の特性値

$r$  : 曲げ内半径

$h$  : 連続繊維補強材の断面高さ (直径)

同形状である組紐状のアラミドロッドを曲げ加工した試験体により試験を実施している。試験方法を図-5に示す。曲げ加工したアラミドロッドをコンクリート内部に埋め込み、引抜き試験を実施している。試験体の曲げ半径は、直径に対して 0.625 ~ 3.125 倍である。

表-4 引張耐力および破断箇所

試験片	曲げ半径	破断	曲げ半径	破断	曲げ半径	破断	曲げ半径	破断	
	2.5倍*	箇所	5倍*	箇所	10倍*	箇所	15倍*	箇所	
RA9	No.1	65.6 kN	B	83.6 kN	B	91.9 kN	B	92.5 kN	C
	No.2	61.7 kN	B	84.1 kN	B	91.6 kN	B	89.2 kN	B
	No.3	64.4 kN	B	80.4 kN	B	85.3 kN	B	92.8 kN	A
	平均	63.9 kN		82.7 kN		89.6 kN		91.5 kN	
	引張耐力比	0.66		0.85		0.92		0.94	
RA13	No.1	121.1 kN	C	157.4 kN	C	171.9 kN	B	160.7 kN	B
	No.2	120.9 kN	B	163.1 kN	B	165 kN	C	166 kN	B
	No.3	121.3 kN	B	163.7 kN	C	161.6 kN	B	165.3 kN	A
	平均	121.1 kN		161.4 kN		166.2 kN		164 kN	
	引張耐力比	0.67		0.89		0.92		0.91	
RA15	No.1	154.1 kN	C	216.1 kN	C	226.1 kN	B	219.3 kN	A
	No.2	165.8 kN	B	219.6 kN	C	224.8 kN	B	214.1 kN	B
	No.3	135.3 kN	C	222 kN	C	219.6 kN	B	225.3 kN	A
	平均	151.7 kN		219.2 kN		223.5 kN		219.6 kN	
	引張耐力比	0.65		0.93		0.95		0.93	

※直径に対して



(A) 直線部 (B) 接線部 (C) 曲線部

写真-5 アラミドロッドの破断状況

## 5. 試験結果

### (1) 直線部の引張耐力

曲げ加工部の影響を確認する前に、直線で製作した試験片と曲げ加工を行った試験体の直線部を切り出した試験片の引張試験を実施した。アラミドロッド直線部の引張試験結果を表-3に示す。直線部の引張耐力は、直線で製作した試験片とほぼ同等の耐力があることが分かる。

### (2) 破断箇所

アラミドロッドの破断位置を、表-4および写真-5に示す。破断箇所は、直線部 (A)、直線部から曲げ加工部へ断面変化する接線部 (B) および曲げ加工部の曲線部 (C) で分類される。曲げ半径が直径に対して 2.5 倍および 5 倍では、接線部破断 (B) および曲線部破断 (C) であり、曲げ加工部である。断面形状が直線部の繊維と比較して、曲げ加工部に発生する応力の内外差が影響していると推測する。曲げ半径が直径の10倍で接線部、15倍では直線部における破断が見られた。直径に対して曲げ半径が大きくなると、曲げ加工部による曲線部の影響は小さくなる。

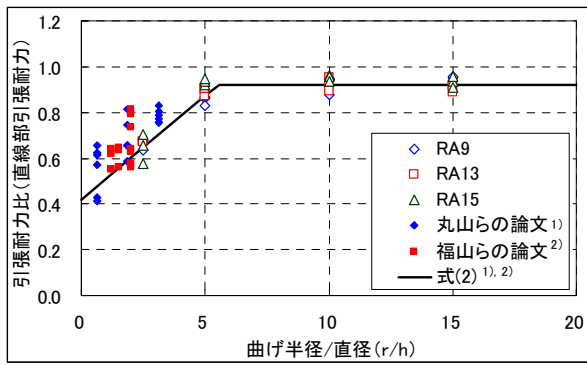


図-6 直線部引張試験結果に対する引張耐力比

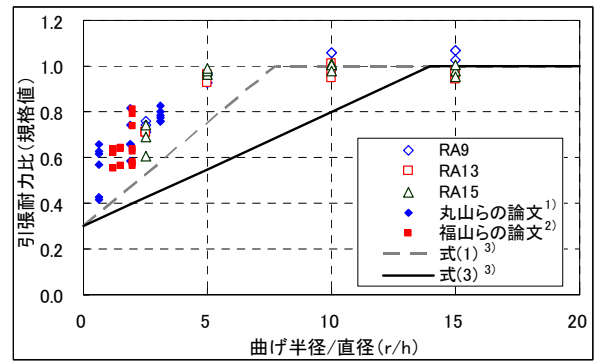


図-7 規格値に対する引張耐力比

### (3) 曲げ加工部による引張耐力

試験体の引張耐力における直径の影響は、曲げ半径が直径の5倍において、RA9の引張耐力比の平均で0.85であり、RA13で0.89、RA15で0.93と比較して若干小さい傾向にあるが、それ以外の曲げ半径では、直径による引張耐力への影響は、ほとんど見られない。曲げ半径が直径との関係は、直径の2.5倍で直線部の引張耐力に対して0.65～0.67、直径の5倍では、0.85～0.93に低下した。10倍および15倍は0.91～0.95で、直線部からは若干低下しているが、曲げ半径の大きさによる影響は見られない。曲げ半径が直径に対して10倍以上であれば、引張耐力比は、ほとんど変わらないものと考えられる。

引張耐力比と直径に対する曲げ半径の割合との関係を図-6に示す。曲げ半径が直径の2.5倍では、丸山ら<sup>1)</sup>および福山ら<sup>2)</sup>の既往の研究と比較して、本試験の試験結果が若干小さい引張耐力比である。これは、本試験の曲げ加工部は180度であるのに対して既往の試験では90度であり、2倍の試験区間を持つことから、破壊する確率が大きくなった影響であると考えられる。本試験で実施した試験結果の回帰式を式(2)に示す。回帰式は、曲げ半径が直径の2.5倍および5倍の試験結果による直線近似と、10倍および15倍の結果が同等程度であることから、引張耐力比の平均値を上限値とした回帰式である。

$$f_{fbk} = (0.09r/h + 0.42)f_{fuk} \quad (2)$$

ただし、 $f_{fbk} \leq 0.92$

規格値における引張耐力比と直径に対する曲げ半径の割合との関係を図-7に示す。曲げ加工部を有する連続繊維シート引張耐力における設計式を式(3)<sup>3)</sup>に示す。本試験で使用したアラミドロッドの曲げ加工部の引張耐力については、設計式より十分安全側に評価されている。

$$f_{fbk} = (0.05r/h + 0.30)f_{fuk} \quad (3)$$

ただし、 $f_{fbk} \leq 1.0$

## 6. まとめ

本試験により以下の結果が得られた。

- ① 直径に対して曲げ半径が2.5倍および5倍では、曲線部および接線部での破断である。10倍では接線部、15倍では直線部の破断が多くみられたことから、曲げ加工した曲線部による影響は小さくなる。
- ② 曲げ加工部において、直径の違いによる引張耐力比への影響は、ほとんどみられない。
- ③ 引張耐力比の平均は、直径に対して曲げ半径が2.5倍では、0.65～0.67、5倍では、0.85～0.93であった。
- ④ 直径に対して曲げ半径が10倍、15倍では、引張耐力比の平均が0.91～0.95で曲げ半径による影響は見られなかった。
- ⑤ 本試験における回帰式を示すとともに、曲げ加工部の引張耐力は、設計式に対して十分安全側であることがわかった。

### 参考文献

- 1) 丸山武彦, 本間雅人, 岡村 甫: FRPロッドの曲げ加工部の引張耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次学術論文集, 12巻, 1号, pp.1025-1030, 1990
- 2) 福山 洋, 藤沢正視, 山口佳春, 永坂具也: 長繊維補強材の曲げ加工部の引張強度, 日本建築学会学術講演梗概集 C, pp.789-794, 1989
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー88 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案), pp.7-9, 1996