

V - 9

局部応力下における連続繊維補強材の破壊挙動に関する研究

北海道大学大学院 学生員 石原 一伸
 函館工業高等専門学校 正会員 今野 克幸
 北海道大学大学院 正会員 佐藤 靖彦
 北海道大学大学院 正会員 上田 多門

1. はじめに

連続繊維補強材は、軽量、高強度かつ、非磁性、耐食性に優れた素材であり、多くの研究がなされてきた。しかし、脆性材料で、直交異方性を有するために、その破壊挙動について解明されていない部分が多い。特に、直交異方性のため、局部応力下においては、一軸引張強度よりも低い応力で破断することが報告されている。本研究は、ひび割れ交差部において引張力とせん断力が働く状態をモデル化した供試体を用いて実験を行い、破断時の引張力、せん断力、ひび割れ幅、並びにせん断力の関係から連続繊維補強材の破壊挙動を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用した連続繊維補強材は FiBRA であり、連続繊維を組紐状に編み、樹脂を含浸させたものである。繊維の種類は、アラミド繊維、炭素繊維の二種類の繊維を用いた。それらの材料諸元を Table 1 に示す。コンクリートには早強セメントを用い、粗骨材の最大寸法は 25mm、単位水量は 160kgf/m^3 、細骨材率は 41% とした。

Table 1 Specifications of FRP(Fiber Reinforced Plastic) rods

Fiber	Diameter	Cross section	Young's modulus	Maximum load	Tensile strength
Aramid	9.0mm	63mm^2	76.6GPa	102.7kN	1629MPa
Carbon	9.0mm	63mm^2	157.4GPa	143.8kN	2283MPa

2.2 実験供試体と実験方法

実験は、アラミド繊維を 4 体と炭素繊維を 2 体の計 6 体行なった。実験供試体図を Fig 1 に示す。供試体は連続繊維補強材を主筋に用いた場合を想定したもので、斜めひび割れをまたぐ位置での主筋の挙動をモデル化している。コンクリートを三つのブロックに分け、その中に連続繊維補強材を埋め込んだ。コンクリートの打設は、両端のコンクリートを打設し、24 時間後に中央のコンクリートを打設した。養生は湿布養生を行い、養生期間は一週間とした。また、人工ひび割れ面においては、せん断力を与えたときコンクリート間の摩擦抵抗の発生を防ぐために厚さ 0.5mm のテフロンシートを貼り、さらにグリースを塗ることにより、せん断力の伝達は連続繊維補強材のみが受け持つようにした。

引張力の伝達は、あらかじめ人工ひび割れ面に挟んでいた鋼板とヒンジを溶接した鋼板とを鋼棒で連結させ、ヒンジをジャッキで引張ることにより引張力を伝達させた。また、鋼棒とコンクリートとの付着を取り除くため、塩化ビニル管をコンクリートに通して鋼棒のコンクリートへの付着を取り除いた。

Study on the failure of fiber reinforced plastic under local stress

by Kzunobu ISHIHARA, Kastuyuki KONNO, Yasuhiko SATO, Tamon UEDA

載荷方法は、
 引張力を与え、
 人工ひび割れ
 がある一定の
 幅になった時
 点で、中央の
 ブロックを押
 上げてせん
 断力を与えた。
 せん断力載荷
 中はひび割れ
 幅を一定に保
 つために引張
 力を制御した。
 また、連続繊
 維補強材に引
 張力とせん断
 力のみを与え

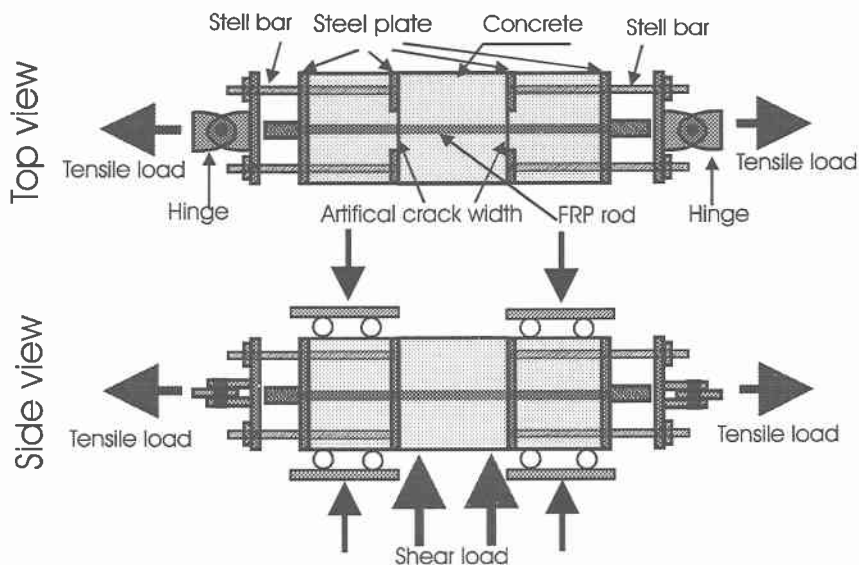


Fig 1 Experimental specimen

るため、両端のコ
 ンクリートはコロを挟んで、上下方向をジャッキにより固定した。

3. 実験結果と考察

実験において終局は、すべて人工ひび割れ面における連続繊維補強材の破断で迎えた。また、全ての供試体の人工ひび割れ面において、連続繊維補強材周辺のコンクリートが円錐状の破壊が見られた。実験結果を Table 2 に示す。

Table 2 Experimental results

Specimen	AP10	AP30	AP50	AP70	CP40	CP70
Tensile load(kN)	16.46	25.08	49.78	64.29	41.46	67.21
Shear load(kN)	29.1	25.8	29.0	17.8	52.8	46.8
Crack width(mm)	0.26	1.09	2.25	5.04	1.76	3.01
Depth of concrete fracture(mm)	13.6	19.3	25.0	35.15	16.0	25.0
Shear displacement(mm)	4.291	4.927	4.683	4.712	10.33	8.356
Concrete strength(MPa)	27.16	28.8	28.4	26.9	24.8	26.9
Young's modulus of concrete(GPa)	22.67	24.71	22.91	24.32	23.42	24.32

3.1 引張力とひび割れ幅およびコンクリートの円錐状の破壊深さ

全ての供試体において引張力が大きい供試体ほど、人工ひび割れ幅、並びにコンクリートの円錐状の破壊深さは大きくなる。連続繊維補強材の抜け出し量は、繊維の種類に関係なく引張力の増加と共に大きくなり、

また、コンクリートの圧縮強度が高くなると小さくなる。また、コンクリートの円錐状の破壊は抜け出し量の増加と共に深くなるなると考えられるので、その深さは、引張力とコンクリートの圧縮強度に大きく影響されると考えられる。今回の実験においては、コンクリートの圧縮強度をほぼ一定に保ったので、変数は引張力のみである。引張力とひび割れ幅の関係を Fig 2 に示す。Fig 2 より、繊維の種類に関係なく、引張力の増加と共に人工ひび割れ幅は大きくなる。炭素繊維の剛性がアラミド繊維の剛性より大きくなったのは、炭素繊維の弾性係数がアラミド繊維の弾性係数より大きいためであると考えられる。また、供試体 AP30 の打設時、型枠をきちんと固定していなかったため連続繊維補強材が少したわんだ状態で打設した。そのため、連続繊維補強材の軸方向に引張荷重がきちんと伝達せず、他のアラミド繊維に比べ剛性が弱くなったと考えられる。

3.2 セン断力とせん断変位

各繊維のせん断力とせん断変位の関係を Fig 3 に示す。両繊維とも、引張力が大きい供試体ほど剛性は小さくなっている。繊維の種類が同じならば、引張力が大きくなれば、ひび割れ幅、並びにコンクリートの円錐状の破壊が大きくなるためせん断変位が大きくなると考えられる。しかし、供試体 AP30 は、予想よりも剛性が小さくなった。AP30 は連続繊維補強材がたわんでいたために、連続繊維補強材の軸直角方向にきちんとせん断力が作用しなかったため、剛性が小さくなったと考えられる。また、供試体 AP10 は、せん断力とせん断変位の関係が曲線的である。これは、引張力が小さい場合、コンクリートの円錐状の破壊の進展が、引張力よりもせん断力に影響され、せん断力載荷時にコンクリートの円錐状の破壊が進展したため、せん断変位が曲線的に増加していったと考えられる。この傾向は既往の研究においても見られる²⁾。

3.3 セン断力と引張力

Table 2 より、実験供試体に働くせん断力と引張力の関係は引張力が大きい供試体ほどせん断力は小さくなる傾向にあるが、その減少傾向は一定ではない。それは、連続繊維補強材は直交異方性を有するため、二方向に荷重が働くと、Fig 4 に示すように大きく変形し、勾配を有する。そのために、破断時

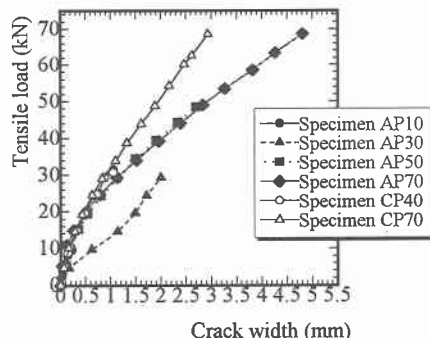


Fig 2 Tensile load - Crack width relationship

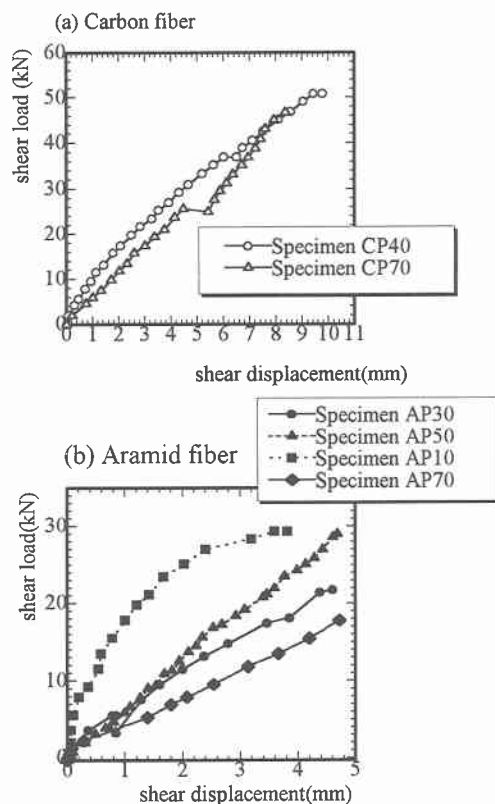


Fig 3 Shear load-shear displacement relationship

においては、連続繊維補強材には、勾配により分解された引張力とせん断力が働くと考えられる。よって、破断時における連続繊維補強材に働く軸方向荷重と軸直角方向荷重を以下のように定義する。

$$F_t = T \sin \theta + S \cos \theta$$

$$F_i = -T \cos \theta + S \sin \theta$$

F_t : 軸方向荷重(kN)
 F_i : 軸直角方向荷重(kN)
 T : 引張力(kN)
 S : せん断力(kN)
 θ ; 勾配

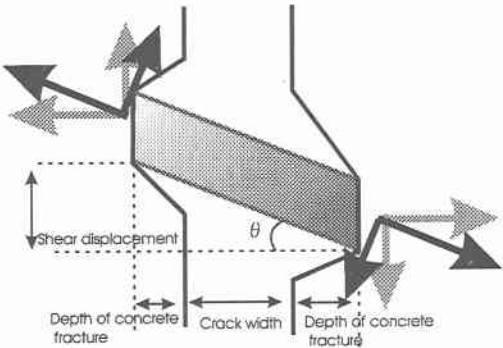


Fig 4 Deformation of FRP rod

F_t と F_i の関係を Fig 5 に示す。Fig 5 より、両繊維共に、軸方向の荷重が大きくなると、軸直角方向の荷重が減少している。特に、アラミド繊維の場合は、その減少傾向が顕著に現れている。よって、この結果より連続繊維補強材に二方向に荷重が働く場合、一軸引張強度よりも小さな荷重で破断し、その破断にはひび割れ幅、コンクリートの円錐状の破壊深さ、並びにせん断変位が大きく影響すると考えられる。

4. まとめ

1. ひび割れ幅、およびコンクリートの円錐状の破壊深さは、コンクリートの圧縮強度が一定である場合、引張力、並びに繊維の弾性係数に影響される。
2. せん断力とせん断変位の関係は、引張力が大きい供試体ほど、剛性が小さくなった。
3. 連続繊維補強材に二方向に荷重が働く場合、ひび割れ幅、コンクリートの円錐状の破壊深さ、並びにせん断変位を考慮することにより、破断時の引張力とせん断力の関係が明らかになった。

謝辞

今回、本研究を進めるにあたり、北海道大学大学院の角田教授、古内助手、木村技官には貴重な意見をいただき、深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山田、木村、小島：連続繊維棒材の付着性状と付着機構に関する実験的研究、連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集、1992
- 2) 小原孝之：局部応力を受ける連続繊維補強材の破壊機構に関する研究、北海道大学大学院修士論文、1995

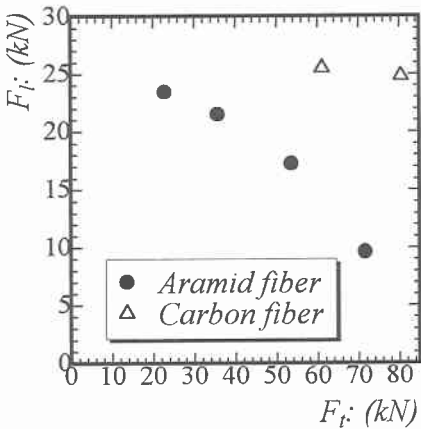


Fig 5 Longitudinal load – vertical load relationship