

論文

[2147] 現場加工型 CFRP を用いた RC 部材のせん断性状

奥村一正*1・齋藤宗*2・秋山暉*3・中村宏*4

1. はじめに

FRPは高強度・高耐久性・軽量などの特長を有し、付加価値の高い建設材料として注目されている。これまでFRPは主に緊張材として研究開発が進められてきたが、耐久性の観点からはせん断補強筋としての適用が望まれていた。しかし、FRPをせん断補強筋として用いる場合には、FRPを現場で加工することが困難であり、工場で曲げ加工し現場に搬入する場合には輸送上の規制から大きさに限度が生ずるなどの問題があった。さらに、FRPは曲げ加工部の強度低下が大きいなどの問題も指摘されていた。そこで、現場にロープ状で搬入し、任意の形状の補強筋を製作できるCFRP（写真-1）を開発した。本材料は曲げ加工部における強度低下が小さく、主筋のみならず、せん断補強筋として適用するのに最適な材料の1つといえる。また、軽量で柔軟性に富むことから施工性の向上にもつながるものと考えられる。

本論は本材料の特性を示すとともにせん断補強筋に用いた梁部材のせん断性状を示すものである。

2. 現場加工型のCFRP

2.1 材料特性

本材料は炭素繊維のロープに熱硬化性樹脂を含浸させたものであり、ロープに通電することにより発生する炭素繊維の電気抵抗熱を利用し樹脂を硬化させCFRPとする。このため、従来の加熱炉による硬化に比べて効率よく大きなものまで製作可能となる。

樹脂を硬化させる条件はロープの径や樹脂の配合により変化するが、今回用いた直径10mmのロープは、12A、10V/mの通電により150℃に昇温し30分程度保持して硬化させた。硬化状況を写真-2に示す。

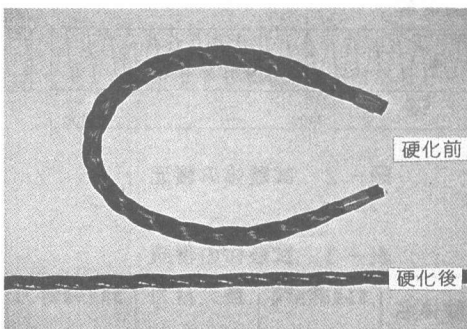


写真-1 現場加工型CFRP

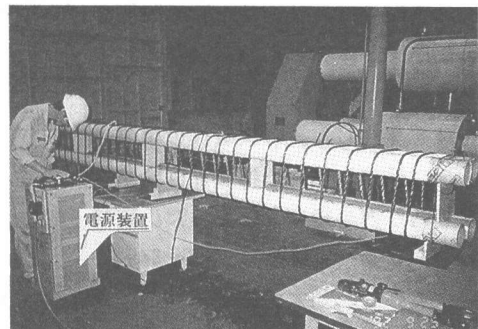


写真-2 硬化状況

- * 1 鹿島技術研究所第一研究部第1研究室（正会員）
- * 2 鹿島技術研究所第一研究部第1研究室
- * 3 鹿島技術研究所第一研究部第1研究室主管研究員（正会員）
- * 4 住友化学工業（株）筑波研究所副主任研究員

2. 2 機械的性質

本材料の加工後の機械的性質を表-1に示す。引張試験方法は土木学会の連続繊維補強材の試験方法試案を準拠した。また、曲げ加工部の強度試験の

試験体および結果を図-1に示す。なお、工場で曲げ加工を施した既存のCFRPの試験結果^[1]も合わせて示す。曲げ加工部の製作では所定の半径を有する円盤にロープを添わせて通電加工した。これより曲げ加工部の強度は曲げ内半径が直径の6倍で引張強度の100%、3倍で90%以上あることが確認された。強度保持率(純引張強度との比)が100%に達しないものは曲げ加工部の緊張端付近での破断した。

製品のばらつきを確認するために硬化時間を30分で一定とし硬化温度を変化させて製作したCFRPの引張試験を実施した。試験結果を表-2に示す。この結果、硬化温度が125~170℃の範囲であれば所定の強度が得られることが確認された。

3. 現場加工型CFRPをせん断補強筋とする部材のせん断特性

3. 1 試験体および荷重方法

本材料のせん断補強効果を確認する目的で梁のせん断実験を実施した。試験体の諸元は図-2に示す通りであり、せん断補強筋を用いない梁1体とせん断補強筋のピッチを変化させた3体の合計4体について実験を実施した。各試験体の種類を表-3に示す。せん断補強筋は螺旋状であり曲げ内半径は6cmとした。実験時のコンクリート強度は327~349 kgf/cm²であり、最大骨材寸法20mmの普通コンクリートを使用した。曲げ補強筋には普通鉄筋SD345のD29、8本を2段に配筋した。また、組立て筋としてコンクリートの圧縮域側にD6鉄筋を用いた。荷重制御により単調荷重で実施した。

表-1 CFRPの機械的性質

寸法 mm	引張耐力 tf	引張強度 kgf/mm ²	弾性係数 kgf/mm ²	最大ひずみ %
φ10	8.0	126	1.1×10 ⁴	1.1

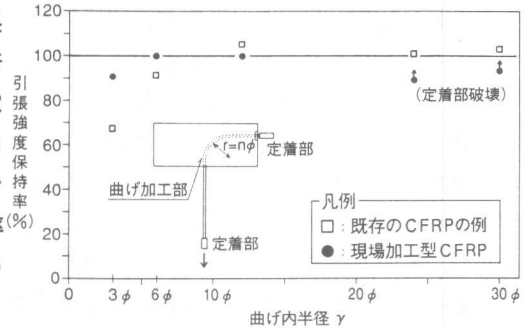


図-1 曲げ内半径と引張強度の関係

表-2 硬化温度と引張強度の関係

硬化温度 ℃	引張耐力 tf	強度発現率 %
170	8.2	103
150	8.0	100
125	8.6	108
常温放置	4.2	53

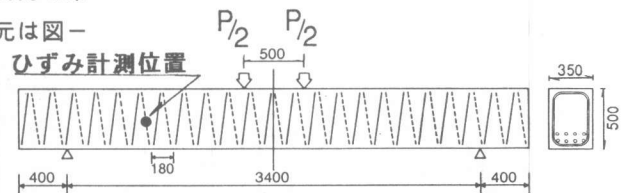


図-2 試験体の諸元

表-3 試験体の種類

試験体名	せん断補強筋間隔	最大耐力	計算せん断耐力
	cm	tf	tf
No. 1	無補強	42.0	37
No. 2	22	76.0	87.5
No. 3	18	80.0	98.2
No. 4	14	84.0	115

曲げ耐力の計算値(圧縮破壊)は84tfであった。

3. 2 実験結果

(1) 載荷結果およびひびわれ性状

各試験体は $P=8tf$ (P :荷重、以下同様)程度で曲げひびわれが発生し、荷重の増加とともにひびわれ範囲およびひびわれ幅を広げた。40tf程度で斜めひびわれが発生し、その後は斜めひびわれが載荷点に向かって進展し、斜めひびわれの幅が増大した。

破壊形態は、No.1では斜めひびわれが圧縮域コンクリートを突き抜ける斜めせん断破壊であった。本試験体は荷重を43tfで一定に保持している状態で斜めひびわれが発生し、荷重が27tfまで低下した。その後、再載荷をおこない37tfで上述の破壊に至った。No.2,3では斜めひびわれがコンクリートの圧縮域を突き抜けると同時に数本のせん断補強筋が破断し、荷重が急激に低下した。荷重と変位の関係を図-3に示す。

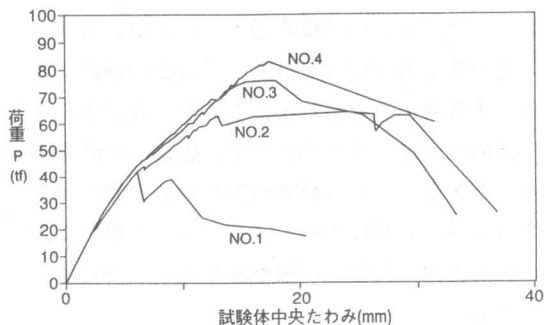


図-3 荷重と変位の関係

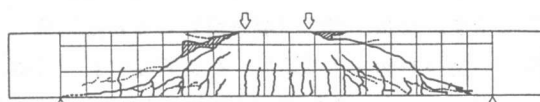


図-4 ひびわれ性状 (No.2)

また、No.2のひびわれ性状を図-4に示す。

No.4では84tfで軸補強筋の一部が降伏し、圧縮域コンクリートが圧壊した。その後、ひびわれ幅が急激に増大し、せん断補強筋1本が破断し、耐力が急激に減少した。

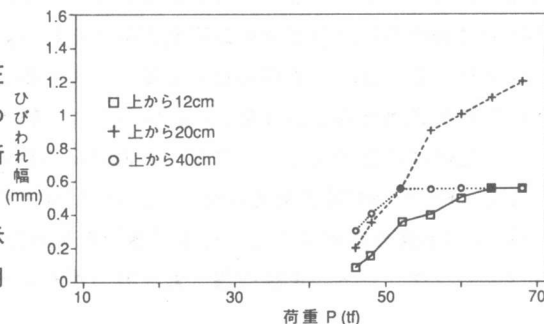


図-5 荷重とひびわれ幅の関係 (No.2)

ひびわれ幅の測定結果の代表例を図-5に示す。ひびわれ幅の測定にはひびわれゲージを用い、せん断ひびわれ幅は試験体の上面から10、20、40cm付近の位置で測定を行った。概略位置を図-4に示す。斜めひびわれの幅はひびわれ発生時に0.1mm程度であり、荷重の増加に比例してひびわれ幅が増大し、破壊荷重の90%程度の荷重において最大で1.3mmにまで達した。さらに、同一斜めひびわれにおけるひびわれ幅は曲げ補強筋および圧縮域近傍で小さく、その中間付近で大きくなる結果となった。

(2) せん断補強筋の挙動

No.2~4においては斜めひびわれ発生直後にCFRPの計測ひずみは最大で0.25%程度増加し、その後、ひずみは単調に増加した。No.2~3では各計測点のうち、ひずみの最大値が0.7%程度達した段階でせん断補強筋が破断した。この値はせん断補強筋の最大ひずみの65%程度である。No.2のせん断補強筋のひずみ値を図-6に示す。計測位置を図-2に示す。また、図中に

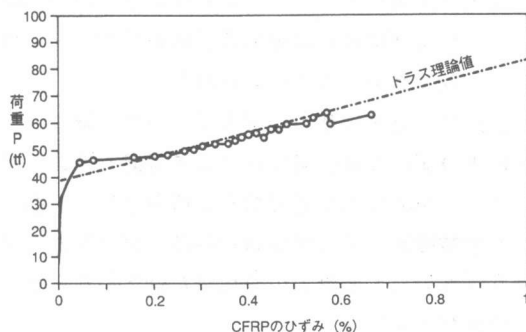


図-6 荷重とせん断補強筋のひずみの関係 (No.2)

トラス理論による計算結果を合せて示す。これより、ひずみの増加傾向はトラス理論と良い対応を示すことが確認された。せん断補強筋の破断位置は斜めひびわれ位置であり、曲げ加工部で破断することはなかったが、破壊後の試験体を観察すると、せん断補強筋が破断位置で水平方向に数mmずれていることから、引張力以外の力の作用により、引張強度が低下したと考えられる。

(3) せん断耐力

せん断耐力および曲げ耐力の計算結果を表-3に示す。また、耐力(実験値)とせん断補強筋比の関係を図-7に示す。

耐力算定に当っては、せん断補強筋のない梁のせん断耐力(V_c)は二羽らの式^[2]を参考にし、せん断補強筋の効果(V_s)についてはトラス理論により評価した。曲げ耐力はコンクリートの圧縮破壊で決まるものとした。

せん断補強筋のないNo.1の耐力(V_{ctest})は42tfであり、 V_c の108%とよい対応を示した。また、No.2~4で斜めひびわれが顕著となったのが40~46tfであり、斜めひびわれ発生時のせん断耐力は既存の計算方法で算定可能と考えられる。一方、No.2~3の最大耐力は計算結果の81~87%となっている。この理由としては、①純引張力以外の力の作用によりせん断補強筋の強度を100%発揮させられなかったこと、②ひびわれ幅が大きく骨材の噛み合わせ作用の低下、コンクリート圧縮域の減少などコンクリートのせん断耐力の分担分が低下したこと、などが考えられる。ここで、No.2~4が最大耐力値を示す18mm程度の変形時のNo.1の耐力は20tf程度に減少しており、この V_c の低減を考慮するとせん断補強筋の負担分 V_{stest} は V_s の80~120%となった。なお、No.4はコンクリートの圧縮破壊で最大耐力が決まった。

4. まとめ

現場加工型CFRPをせん断補強筋に用いた梁について以下の知見が得られた。

- (1) せん断補強筋の破断位置は曲げ加工部ではなく直線部分であり、本材料はせん断補強筋として有効であることが確認された。
- (2) せん断補強筋のひずみはトラス理論により評価可能である。ただし、最大ひずみが純引張の最大ひずみより低減することを考慮しておく必要がある。
- (3) せん断耐力は既存のRCの考えによる値($V_c + V_s$)の81~87%程度となる。これは、①せん断補強筋の強度が引張以外の作用力などにより低下したことと、②ひびわれ幅が大きくコンクリートのせん断耐力の分担分が低下したことなどが原因と考えられる。耐力の算定方法は今後とも検討が必要である。

参考文献

- 1) 村山八洲雄・天野玲子・奥村一正・プシャタムプシャ：新素材によるせん断補強筋効果について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 2, 1992
- 2) 二羽淳一郎・山田一宇・横沢和男・岡村甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度度の再評価、土木学会論文集、第372号、V-5、1986. 8
- 3) 横井克剛・島弘・水口裕之：RCせん断耐力算定式のFRPロッドで補強したはりに対する適用性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 2, 1992
- 4) 山田一宇・青柳征夫：ひびわれ面におけるせん断伝達、第2回RC構造のせん断問題に耐する解析的研究に関するコロキウム論文集、1983. 10

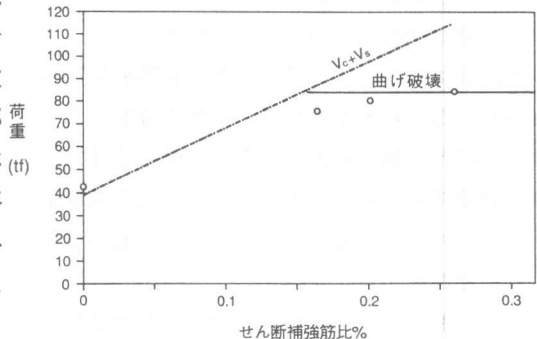


図-7 耐力とせん断補強筋量の関係