

## 論文 連続繊維補強材の引張力分担に関する基礎的研究

鶴田浩章\*<sup>1</sup>・牧角龍憲\*<sup>2</sup>・長島玄太郎\*<sup>3</sup>

要旨：複数本の連続繊維補強材により補強されたコンクリート部材においては連続繊維補強材に降伏現象がないため、引張力の分担性状にばらつきが生じることが報告されている[1]。そこで本検討では、鉄筋と連続繊維補強材のコンクリート中での引張力分担性状を調べ比較検討した。その結果、連続繊維補強材は部材中の補強材のひずみにばらつきが生じやすいが、ひずみ差の変動の割合は鉄筋の場合とほぼ同等であり、ばらつきの度合いはあまり変わらないことが分かった。

キーワード：連続繊維補強材、引張性状、ひずみのばらつき

### 1. はじめに

連続繊維補強コンクリート部材を設計する場合、鉄筋の場合と同様に複数本の補強材を1本とみなして算定を行って良いかということは、非常に重要なことである。それは連続繊維補強材が鉄筋のように降伏域をもたず、各補強材の引張力にばらつきが生じれば、そのばらつきを改善しないまま破断に至るからである。

そこで、本検討では鉄筋と連続繊維補強材についてコンクリート中で引張力が複数本の補強材にどのように分配されているかを調べるために、中央部に切り欠きを設けたはりの曲げ試験を行い、部材中の補強材それぞれのひずみが荷重の増加とともにどのように変化するか、鉄筋と連続繊維補強材では、ひずみのばらつきの度合いが大きく違うのかという点について調べた。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 使用した補強材

本実験に使用した補強材は、鉄筋：D 3（模型実験用試作品）、連続繊維補強材：CFRPロッド（直径3mm）、接着タイプ格子（前述のCFRPロッドを格子間隔30mmで、結合材としてエポキシ樹脂を使用し作製したもの）、からみ織り格子（PAN系炭素繊維、48K・格子間隔30mmのからみ織り[2]で結合材としてエポキシ樹脂を使用し作製したもの）の4種類である。なお、鉄筋・CFRPロッド・PAN系炭素繊維それぞれの弾性係数はD 3：20.0 tonf/mm<sup>2</sup>、CFRPロッド：12.3 tonf/mm<sup>2</sup>、PAN系炭素繊維：23.5 tonf/mm<sup>2</sup>、引張強度はD 3：46 kgf/mm<sup>2</sup>（降伏点34 kgf/mm<sup>2</sup>）、CFRPロッド：190 kgf/mm<sup>2</sup>、PAN系炭素繊維：360 kgf/mm<sup>2</sup>（素線強度）である。また、CFRPロッドおよびPAN系炭素繊維の破断伸度は、ともに約1.5%である。

#### 2. 2 供試体および試験方法

供試体は、15×15×53cmの曲げ供試体の中央部に厚さ10mmの切り欠きを設け、かぶり高が10mmとなるように補強材を配置した。配置はD 3が5本、CFRPロッドが4本、接着タイ

\*1九州大学助手 工学部建設都市工学科、工修（正会員）

\*2九州大学助教授 工学部建設都市工学科、工博（正会員）

\*3九州大学大学院 工学研究科土木工学専攻

ブ格子は縦線4本・横線16本、からみ織り格子は縦線5本・横線16本で、供試体数はからみ織り格子については5体、それ以外については3体とした。

試験は100tonf万能試験機を用い、図-1のように行った。なお、切り欠き部での補強材ひずみを測定するため、切り欠き部の全ての補強材の引張縁側にひずみゲージ(2mm)を貼付した。切り欠きの高さは中立軸高さを考慮し引張部コンクリートの抵抗を低減させるために全て130mmとした。コンクリートは普通ポルトランドセメントを使用し、 $G_{max}=10mm$ 、 $W/C=40\%$ 、スランプ8cmの条件で作製し、湿潤養生後、材齢7日で試験した。

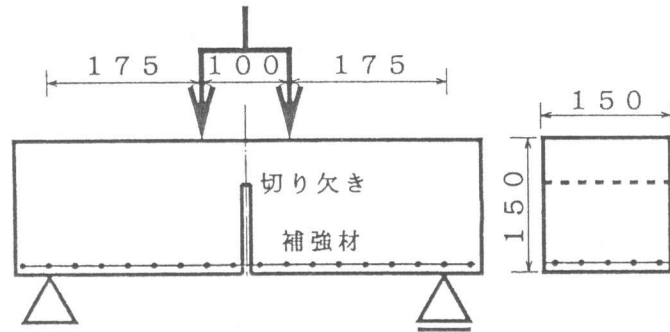


図-1 供試体および試験方法 (単位: mm)

### 3. 実験結果および考察

本実験に使用したコンクリートの平均圧縮強度は $37.2 \text{ kgf/cm}^2$ 、平均弾性係数は $2.89 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、平均引張強度は $3.7 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

#### 3.1 補強材応力-ひずみ関係

全ての補強材の場合において引張力は全て補強材で受け持つと仮定した場合の $M=T \cdot z$ より求めた $T$ を補強材断面積で除して算出した補強材応力と実際のひずみに補強材自身の弾性係数を乗じて求めた応力が、ほぼ等しいことが確認できたので算出して求めた応力と補強材ひずみの関係を図-2~図-5に示す。これは各補強材の一例であるが、各補強材ごとに同様の傾向を示していた。なお、図の凡例中の計算値は補強材自身の弾性係数に基づいて算出した応力-ひずみ関係を示すものである。D3は図-2のように降伏までは縦線5本のひずみがかなり等しく、計算値とかなり一致しており補強材が曲げ等の影響を受けずに引張されていることが分かる。また、降伏ひずみに達した縦線から順次降伏してひずみの変化が激しくなり、縦線間のひずみの大小関係の入れかわりが多く見られる。CFRPロッドの場合、直線材であり表面が滑らかで付着がかなり低い。そのため最終的には荷重が頭打ちになり、切り欠き部変位のみが増加するすり抜けの状態になった。図-3のようにひずみ変化は計算値とほぼ等しい変化である。しかし、各応力段階でのひずみの最大値と最小値の差は応力の増加とともに増大する傾向に

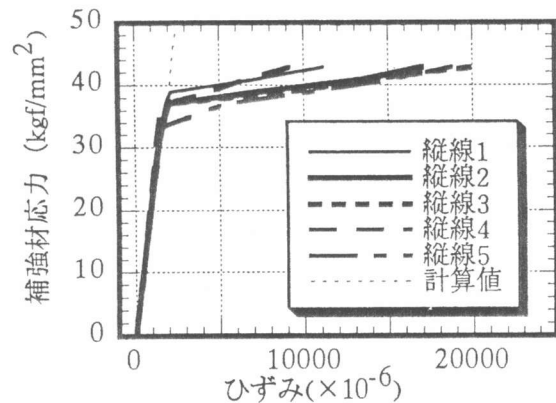


図-2 応力-ひずみ曲線(D3-1)

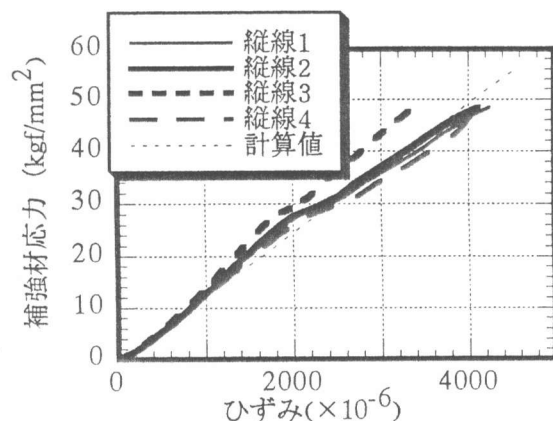


図-3 応力-ひずみ曲線(CFRPロッド-1)

ある。次に、接着タイプ格子は前述のCFRPロッドに横線を加えたものであるが、図-4と図-3の最大応力を比較してみると横線が加わるにより付着力がかなり増加することがよく分かる。また、CFRPロッド直線材のみの場合と比較して、ひずみのばらつきがやや少ない。これは横線により拘束されていることによって位置的にも配向についてもすべての縦線がほぼ同じ条件の下に配置されているからだと考えられる。ひずみの変化は他の補強材と同様、計算値とほぼ等しかったが、この場合補強材量が多く補強材破断に至らずことはできなかった。図-5にはからみ織り格子の応力-ひずみ曲線を示すが、他の補強材と比較して、ひずみがばらつく傾向にあった。これは、他の補強材と比較して表面に不規則な凹凸が多く、からみ織りで作製することにより縦線が複雑な形状になっているためと考えられる。また、ひずみ変化は計算値よりもひずみが大きくなっているケースが見られる。そこで、繊維縦線の圧縮縁側ひずみを測定した供試体のデータで検討すると、明らかに引張縁側ひずみが大きくなっており、からみ織り格子の場合若干曲げの影響を受けていたことが考えられる。

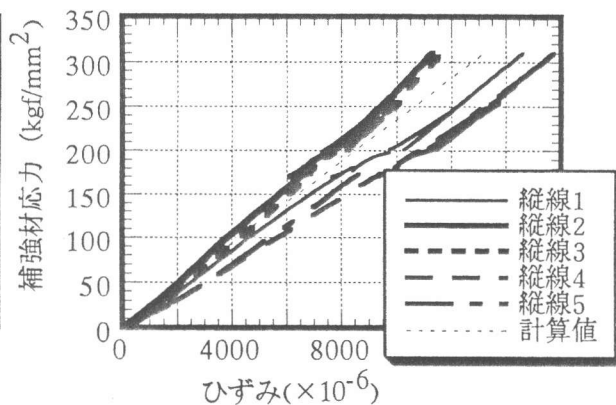
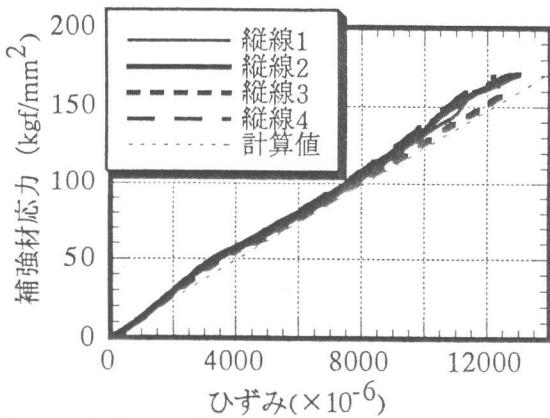


図-4 応力-ひずみ曲線(接着タイプ格子-1) 図-5 応力-ひずみ曲線(からみ織り格子-3)

### 3. 2 ひずみ差の変動率

図-6～9は各補強材について曲げ荷重の増加にともないひずみ差の変動率がどのように変化しているかを示す図である。ひずみ差の変動率は各荷重段階における補強材のひずみの最大値と最小値の差を平均ひずみで除したものであり、図中の折れ線が水平もしくは右下がりであれば荷重の増加に関わらずひずみ差が一定の割合を保って変化した、もしくはひずみ差が減少するように変化したことを示す。一方、右上がりであればひずみ差が一定割合を保たずに増加したことを示している。

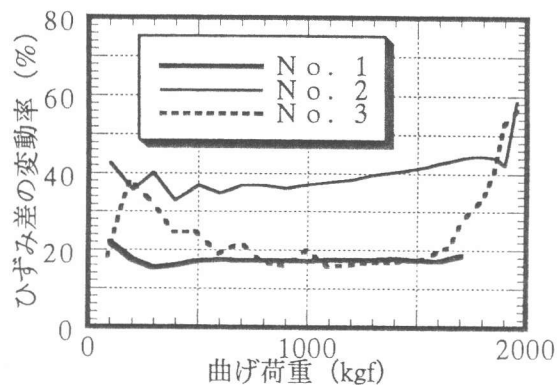


図-6 ひずみ差の変動率 (D3)

図-6よりD3においては降伏まではほぼ水平に変化しており、ひずみ差が一定割合を保っていることが分かる。図-7よりCFRPロッドの場合はやや右上がりに変化しており、荷重の増加とともにひずみ差が増大していることが分かる。しかし、変動割合は30%以下の低い割合で推移している。接着タイプ格子については図-8よりNo.2の極端なひずみ変化を除外するとほぼ水平な変化をしていることになる。これは供試体No.2において縦線2が荷重5900kgfあ

たりで破断音のような音を発したが、破断は認められなかったので横線のずれが生じたのではないかと考えられるからである。図-9よりからみ織り格子についてはほぼ水平な変化をしていることが分かる。また、図中の極端な変動は切り欠き部近傍にひび割れが発生したためである。

以上より、連続繊維補強材においても鉄筋と同様にひずみ差の変動率は同程度で一定割合に保たれており、大きな違いはないと考えられる。

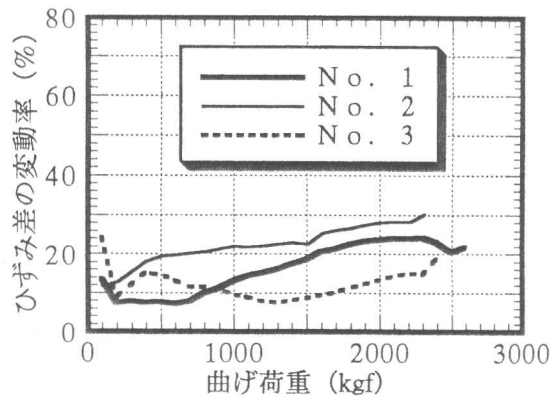


図-7 ひずみ差の変動率 (CFRPロッド)

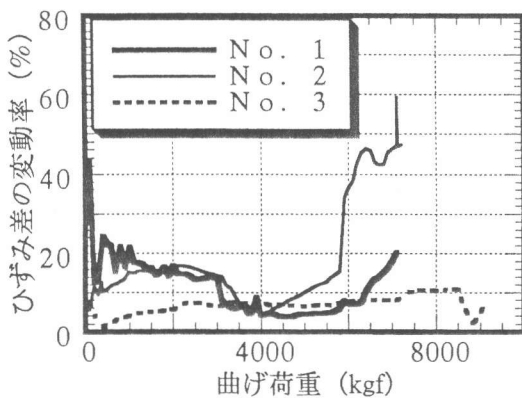


図-8 ひずみ差の変動率 (接着タイプ格子)

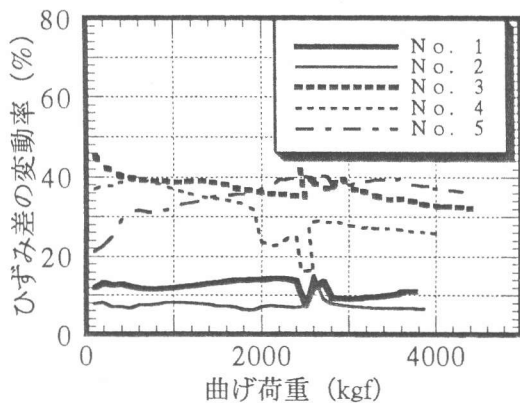


図-9 ひずみ差の変動率 (からみ織り格子)

#### 4. まとめ

- (1) いずれの形態の補強材においても最大荷重までひずみ差が解消されないことが認められた。
- (2) 連続繊維補強材のひずみ差の変動率は荷重が増加してもほぼ一定であり、その大きさは鉄筋の場合と同程度であった。ただし、CFRPロッドにおいては荷重に伴ってひずみ差がやや増加する傾向が見られた。
- (3) 連続繊維補強材が破断した供試体においては破断に至るまでひずみ差の変動率はほぼ一定の値であった。

#### 謝辞

本研究において使用した炭素繊維は大阪ガス株式会社 開発研究所より提供していただきました。また、実験に際しては、丸目一弘君(平成6年度九大大学院修士課程2年)の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 鶴田浩章・牧角龍憲・丸目一弘・阪本好史：炭素繊維ネットの分担引張力の均等性に関する基礎的実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, No. 1, pp. 1191-1196, 1994. 6
- 2) 南英明・牧角龍憲・岡田慎一郎：各種織り込み方法による炭素繊維ネット補強材の引張特性に及ぼす影響、土木学会第45回年次学術講演会、V部門、pp. 828-829, 1990. 9