

CFRP の曲げ成形部強度に関する研究

ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 正会員 ○鳥巢 陽平
九州大学大学院 正会員 山口 浩平, 学生会員 田北 翔, フェロー会員 日野 伸一

1. まえがき 新素材として注目されている CFRP は、高強度・軽量・耐食性などの特徴を有し、鉄筋や PC 鋼材の代替としてコンクリート構造物への適用を目的とした研究開発が進んでいる。本研究で対象とする CFRP (図-1) は、九州大学で独自に製作された CFRP 配筋ロボット(図-2)を用いて製作される。CFRP をせん断補強筋に用いる場合は、曲げ加工を行う必要がある。現在、連続繊維補強材の曲げ成形部強度は、土木学会「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)」¹⁾(以下、指針と呼ぶ)により定義されている。九州大学で製作される CFRP の曲げ成形部強度の指針の適用性、FEM 解析により破壊メカニズムを明らかにする。

2. CFRP 曲げ成形部強度試験^{2), 3)} 図-3 に CFRP 曲げ成形部強度試験の供試体概略図を示す。供試体は矩形 CFRP を 180×180×100mm のコンクリート塊で覆った。また、曲げ成形部は直線部強度より低い強度であると考えられるので、アクリル管により曲げ成形部付近までコンクリートとの付着を無くす。コンクリートとの付着を無くすことにより CFRP は、曲げ成形部で荷重を負担することになるので、曲げ成形部から破断すると考えられる。コンクリート部には、格子状の補強筋(D6)により補強を行い、コンクリート部から破壊することを防ぐ。また、曲げ成形部に D22 を配置し、CFRP のコンクリートとの滑り抜け破壊を防ぐ。図-4 に試験方法を示す。コンクリート部を治具により固定し、試験機で開くように荷重を与える。治具の両端には端部にねじを切った鋼棒を取り付けてあり、試験機にナットで固定することで供試体に荷重を与えることが可能となる。なお、供試体数は 3 体とする。表-1 に CFRP 諸元を示す。なお、表-1 の CF は炭素繊維そのものの力学特性、CFRP はエポキシ樹脂を含む CFRP としての力学的性質である。式(1)¹⁾に CFRP 曲げ成形部強度算定式を示す。

$$f_{\text{fbd}} = (0.05 + 0.3r/h)f_{\text{fuk}} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 f_{fbd} ：曲げ成形部強度(N/mm²)、 r ：曲げ内半径(mm)、 h ：断面高さ(mm)、 f_{fuk} ：直線部強度である。指針によると CFRP 曲げ成形部強度は、直線部強度の 52%である。

3. 試験結果 試験結果を表-2 に示す。供試体の平均値は 24.9kN であり、指針による算定値と実験値の比は 0.93 であった。図-5 に CFRP の破断状況を示す。全供試体の破断箇所は、アクリル管によりコンクリートとの付着を無くした側の左右両方の曲げ成形部で破断していた。左右で破壊の程度は異なるが、曲げ成形部から破壊していることから、供試体耐力は曲げ成形部の強度として評価できると考えられる。

CFRP 曲げ成形部強度試験について FEM 解析を行った。使用した解析ソフトは MSC.Marc である。2次元非線形解析を行った。解析モデルは奥行き CFRP が 2.54mm、



図-1 CFRP せん断補強筋

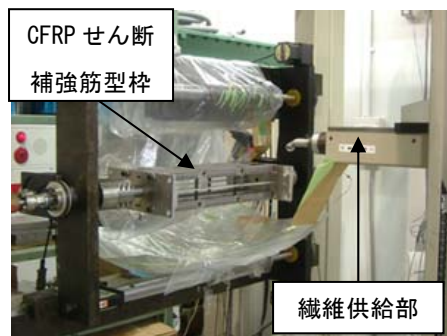


図-2 CFRP 製作ロボット

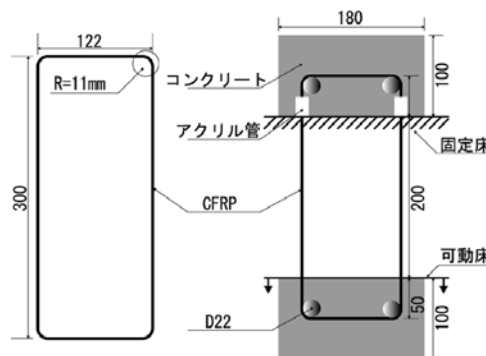


図-3 CFRP 曲げ成形部強度供試体

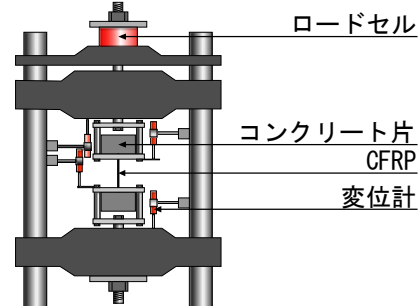


図-4 試験方法概略図

キーワード CFRP, CFRP 曲げ成形部強度, CFRP せん断補強筋

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5 丁目 4 番 20 号, 電話：06-6306-6971, FAX：06-6303-3929

表-1 CFRP 諸元

種類	フィラメント1束の断面積 (mm ²)	断面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
CF	0.46	6.44	4000	230
CFRP		11.2	2300	132

表-2 CFRP 曲げ成形部強度試験結果

No.	理論値 (kN)	実験値 (kN)	実験値/理論値	破断箇所
		平均値		
1		23.3		曲げ成形部
2	26.6	25.2	0.93	曲げ成形部
3		26.1		曲げ成形部

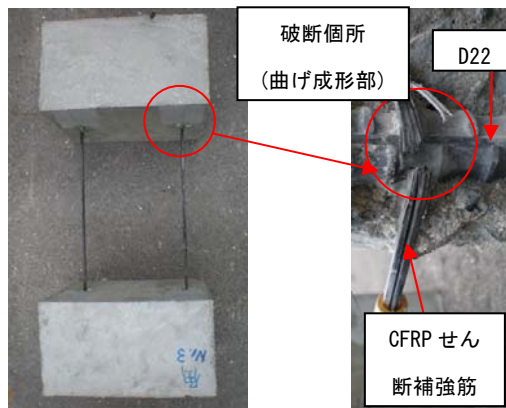


図-5 CFRP 破断状況

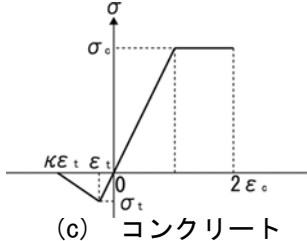
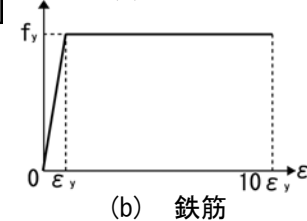
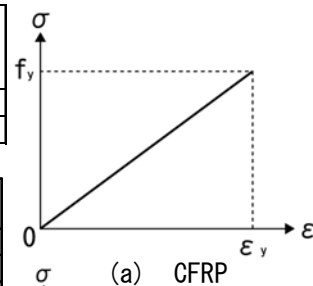


図-6 材料構成則

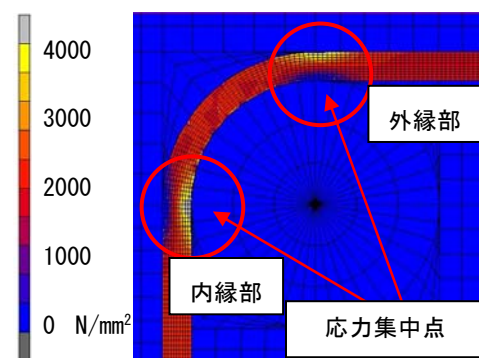


図-7 CFRP 曲げ成形部コンター図

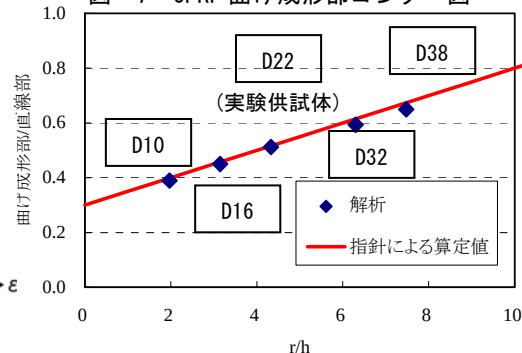


図-8 パラメータ解析

鉄筋およびコンクリートが 180mm の平面要素である。接点数は 28928、要素数は 26632 である。最小要素は CFRP 曲げ成形部で $0.38 \times 0.25\text{mm}$ である。CFRP、コンクリートおよび鉄筋の接触条件は、摩擦は考慮しないが要素同士は接触する解析モデルである。これにより CFRP、コンクリートおよび鉄筋は、圧縮力のみを伝達するという解析モデルである。図-6 に材料構成則を示す。CFRP の材料特性は、引張強度 4000N/mm^2 、ヤング係数 230000N/mm^2 、ポアソン比 0.2、等方性材料とした。鉄筋の材料特性は、降伏強度 386N/mm^2 、ヤング係数 230000N/mm^2 、ポアソン比 0.2、等方性材料とした。コンクリートの材料特性は、圧縮強度 35.6N/mm^2 、ヤング係数 28000N/mm^2 、ポアソン比 0.22、等方性材料とした。なお、引張域の κ は 10 とした。図-7 に破断時の供試体のコンター図を示す。(a)は破断時の供試体全体のコンター図で、(b)は曲げ成形部のコンター図である。応力集中点は CFRP が鉄筋と接触し始める点の内縁部と外縁部からであり、左右両方の曲げ成形部で同様の応力状態である。実際の破断箇所と比較すると、実際の破断箇所と応力集中点はほとんど同じ個所であるため応力集中点付近から破断していると考えられる。

CFRP の曲げ成形部の内半径 r (鉄筋径) を変化させた解析を行った。内半径 r を 5mm(D10)、8mm(D16)、11mm(D22)、16mm(D32)、19mm(D38) に変化させ、CFRP (幅 122mm、高さ 200mm) およびコンクリートの寸法は同じで内半径のみを変化させたモデルで解析を行った。図-8 に指針による算定値と解析値の比較を示す。指針による算定値と解析値は良く一致しており、九州大学で製作される CFRP の曲げ成形部強度は、形状を変化させた場合においても指針により評価可能であると考えられる。

4. まとめ 本研究では、九州大学で独自に製作される CFRP の曲げ成形部強度の評価方法を指針により検討した。供試体の最大耐力は 24.9kN であり、指針による算定値の 93% であった。CFRP の破断箇所は曲げ成形部であり、解析による応力集中点と一致していた。以上より、九州大学で製作される CFRP の曲げ成形部強度は、指針によって評価可能であると考えられる。また、本研究で用いた CFRP をせん断補強筋として用いる場合、CFRP せん断補強筋を用いた RC はりのせん断耐力は、CFRP の曲げ成形部強度を適用して評価可能であると考えられる。

参考文献 1) 土木学会：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)、1996、2) 大原英史、本田勉、FRP スターラップの曲げ加工部の引張強度に関する研究、土木学会第 45 回年次学術講演会講演概要集、pp.320-321、1990、3) 丸山武彦、本間雅人、岡浦甫、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論文報告集、Vol.12、No.1、pp.1025-1030、1990