

## 第 2 世代 CFRP ロッド接合部の引張強度試験

九州共立大学工学部 学生員 比 嘉 勝 也  
 九州共立大学大学院 正会員 三 原 徹 治  
 九州共立大学大学院 学生員 相 良 栄 作  
 九州大学名誉教授 正会員 太 田 俊 昭

### 1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP) は、カーボン繊維の束を熱硬化樹脂で形状を整えて固めた複合材料である。比重が軽く強度が高い (鋼材と比較して約 1/4 の比重, 約 10 倍の強度) ことから次世代の構造材料として期待されている。しかし, 圧縮強度が低く座屈しやすいという構造材料として好ましくない性質と樹脂硬化時の化学反応によってガスが発生し内部に微小な空洞が生じやすいため, 剥離現象や疲労破壊を招く恐れとが指摘されていた。太田らが開発した第 2 世代 CFRP は, 2000 本の炭素繊維を束にした集合体を一定張力で引張りながら重ね合せ, さらにねじってロッド全体を強固に拘束し, 低温状態での樹脂硬化を採用することによって圧縮強度を高めるとともに内部ガスの発生を抑えることに成功し, 構造材料としての適用可能性を大きく広げている<sup>1)</sup>。

本研究では, この第 2 世代 CFRP を構造材料として用いる場合に必要な接合に関する基礎的検討としての引張強度試験結果について報告する。一般的に CFRP は溶接できないため, 従来の接合には接着剤を用いてきたが, 接合能力が必ずしも十分ではなかった。この難点を克服するひとつの方策として本研究では, 第 2 世代 CFRP ロッドの自動製作時に同時に製作されるロッド両端の U 字アンカー部を利用することによって CFRP ロッド同士を接合する方法を用いた。

### 2. 使用した第 2 世代 CFRP ロッド

本研究で使用した第 2 世代 CFRP ロッド (全長 554mm, 母材部径 2mm) を写真-1 に示す。これらはすべて九州大学工学研究院知能機械システム部門加工プロセス (佐島隆生) 研究室のロボットによって自動製作されたものである。写真-2 はロッド

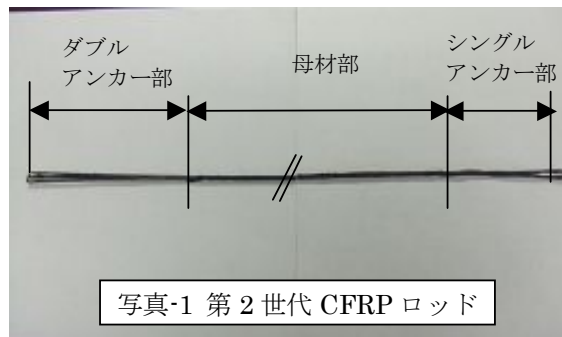


写真-1 第 2 世代 CFRP ロッド

ド端部に作成された U 字アンカー部である。写真-2(b)のシングルアンカー部は一重のループ形状であるが, 写真-2(a)のダブルアンカー部は二股形状である。

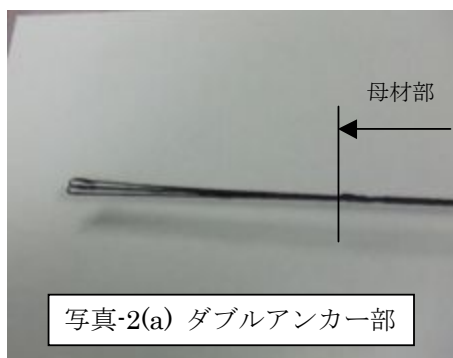


写真-2(a) ダブルアンカー部

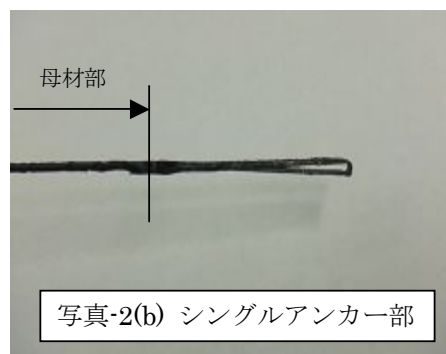


写真-2(b) シングルアンカー部

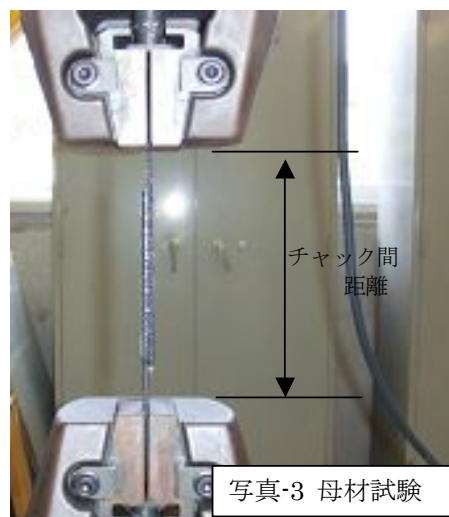
### 3. 予備試験

(1) 使用試験機およびチャッキングの検討: 引張試験では供試体の強度に応じた能力の試験機を使用する必要がある。また供試体を確実に掴むとともに載荷時に滑らず, しかも載荷中に掴み部付近での破断が生じないような適切なチャッキング方法が求められる。母材部を用いて, 数台の試験機および種々のチャッキング方法を検討した結果, 極めて幸いなことに九州共立大学工学部メカエレクトロ学科所有の精密万能試験機オートグラフ (島津製作所製) とその引張治具を用いれば, 特別なチャッキング処置も必要なく母材部そのまま試験できることが判明した。

(2) 母材および接着剤接合の試験：本研究で提示する接合方法の効果を調べるうえで母材の引張強度および従来型の母材同士を接着剤で接合した場合の接合強度を知るための試験を行った。

写真-3 に母材の引張強度試験の様子を示す。母材のみの場合も接着剤接合の場合もチャック間距離を 16cm とし、各々 3 本の供試体を破断するまで静的に载荷した。接着剤には前田工業製エポキシ樹脂 FF プライマーを使用した。

試験結果を表-1 の「母材」欄と「母材同士の接着剤接合」欄に示す。母材の場合、3 本とも中央部付近で破断し、いわゆるチャック切れ現象は見られなかった。供試体②で若干低い値が出たが、おおむね従来の試験結果を裏付ける結果（平均強度 7740N）となった。接着剤接合では供試体①を除く 2 本の平均値が 854N となり、母材強度の約 1/10 とされてきた従来の接着剤接合強度が再現されている。必ずしも十分と評価しがたい強度面のみならず、载荷が進むにつれて固化した接着剤にひび割れが生じ、上下母材が股裂き状態になる破壊形態に関しても問題点が感じられた。「N/C」と表記し平均値算出から除外した供試体①では、载荷直後にその股裂き現象が発生し、きわめて小さな荷重で破断した。初期不整の影響と推測されるが、接着剤接合では母材の軸線を平行に保たなければならないなどの十分な配慮が必要であることがわかった。



#### 4. U 字アンカー接合試験

写真-2(a)に示すダブルアンカーに写真-2(b)に示すシングルアンカーをかみ合わせ、連結棒を通すとロッド同士が構造的に接合される。これを「U 字アンカーのみ」とする。連結棒には直径 2mm、長さ 9mm の鋼製ピンを用いた。3 供試体ともダブルアンカーの開き角が広がり、鈍い音とともにアンカー部が破断した。表-1 に示すように接着剤接合の 2 倍程度の接合強度が確認された。

さらに接合部を中心に 35,70mm にわたってエポキシ樹脂で拘束した 3+3 供試体の試験を写真-4 に示すように行った。2 種類の拘束長を設定したのは樹脂拘束長が接合強度に及ぼす影響を調べるためであった。しかし、いずれの供試体もアンカー部が破断すると同時に、その近傍のエポキシ樹脂に大きな音とともに亀裂が発生する破断形状を示した。拘束



長の影響は認められず、アンカー接合部をある程度拘束すればよいことが判明した。したがって拘束長と無関係に 6 供試体の平均値を表-1 の「U 字アンカー+樹脂拘束」欄に示す。従来の接着剤接合の約 4 倍、U 字アンカー

表-1 第 2 世代 CFRP ロッドの引張試験結果 (N)

| 実験名       | 母材 | U 字アンカー＋樹脂拘束 |      | U 字アン<br>カーのみ | (従来型の)<br>母材同士の<br>接着剤接合 |     |
|-----------|----|--------------|------|---------------|--------------------------|-----|
|           |    | 拘束長さ(mm)     |      |               |                          |     |
|           |    | 35           | 70   |               |                          |     |
| 供試体<br>番号 | ①  | 8129         | 3317 | 3783          | 2155                     | N/C |
|           | ②  | 6429         | 2916 | 3651          | 1506                     | 937 |
|           | ③  | 8663         | 3347 | 2759          | 1673                     | 770 |
| 平均値       |    | 7740         | 3296 |               | 1778                     | 854 |

のみの約 2 倍、母材の約 1/2 の接着強度が得られており、樹脂拘束した U 字アンカー接合が十分な接合強度を発揮することが確認された。試験結果のバラツキが大きい要因を追求し安定的な強度を確保する方策を検討するとともに、接合部疲労試験などを実施して実用化への種々の知見を得ることが今後の課題である。

参考文献 1) 太田俊昭：第二世代 CFRP の創生と用途技術, SCF 研究会発表会式資料, 2006.10.