

## UFCとCFRPロッドの複合構造における耐荷力性能および耐疲労性の評価

日本大学大学院 学生会員 ○高木智子 日本大学 正会員 阿部忠, 水口和彦  
太平洋セメント(株) 正会員 河野克哉

## 1. はじめに

近年, 高度経済成長期に建設された橋梁は, 老朽化が著しく, 維持管理のための技術開発が重要な課題となっている. これらのことから重要な土木施設のコンクリート橋(部材)の100年間にわたるメンテナンスフリーを実現させるための新構造や新材料の開発が各種研究機関で精力的に進められている.

本研究では, 新材料である炭素繊維強化プラスチックロッド(CFRPロッド)と超高強度繊維補強コンクリート(UFC)の複合構造を提案し, 耐荷力性能および耐疲労性能を検証する. 実験では, UFCにCFRPを複合したはり部材(CF.Uはり), および同一寸法の鉄筋コンクリートはり(RCはり)を用いて, 静荷重実験および定点疲労実験を行い, 耐荷力性能および耐疲労性の比較検討を行い, 新材料を用いた複合構造部材の実用性を検証する.

## 2. 材料および供試体寸法

## 2.1 材料の特性値

(1)RCはり RCはりのコンクリートには, 普通ポルトランドセメントと5mm以下の砕砂, 5mm~20mmの砕石を使用した. 実験時のコンクリートの圧縮強度は $41.8\text{N/mm}^2$ である. 鉄筋はSD295A, D13を使用し, その材料特性値は, 降伏強度 $368\text{N/mm}^2$ , 引張強度 $513\text{N/mm}^2$ , ヤング係数 $200\text{kN/mm}^2$ である.

(2)UFCはり UFCは, 反応性粉体コンクリートの技術を応用し, 繊維で補強することにより靱性を高めた超高強度繊維補強セメント系材料である. この材料は, 極めて緻密な硬化体構造を持つため, 高強度を有するだけでなく, 中性化, 塩分浸透, 凍結融解および磨耗などに対する耐久性にも優れている<sup>1)</sup>. UFCの配合は, 水(W), 高性能減水剤(SP, ポリカルボン酸), 繊維およびプレミックス材料(DP, 密度 $2.85\text{g/cm}^3$ )とした. 繊維には鋼繊維やビニロン(PVA)繊維が使用されているが, 本研究では塩害による発錆を防止することからPVA繊維を体積比で3.0%を配合した. なお, プレミックス材料は, セメント, シリカフューム, 珪石粉末などが最密充填されるように配合されており, 粗骨材は用いず, 骨材としては最大粒径2mmの珪砂が混合されている. 混和剤使用量は, 目標フロー値を260mm(0打フロー)として決定した. 実験時のUFCの圧縮強度は $175.0\text{N/mm}^2$ である.

(3)CFRPロッド 引張材にはCFRPロッドを用いる. CFRPロッドは高弾性率のピッチ系炭素繊維とエポキシ系熱硬化樹脂を複合化した芯材の表層に, 樹脂を含んだ炭素繊維を螺旋状に巻き付けして硬化形成させたものである. コンクリート部材に用いた場合の付着強度は同径の異径鉄筋と同等以上の付着力を有している. また, 炭素繊維

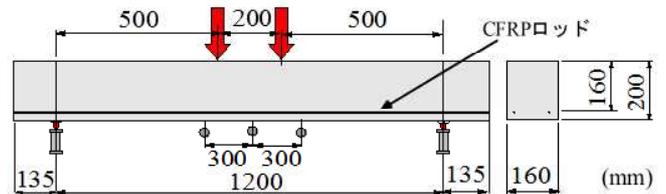


図-1 供試体寸法および荷重載荷位置

材料であることから, 非磁性であり, 塩害やコンクリートの中酸化に対する抵抗性の強い材料である<sup>2)</sup>. 本供試体に使用するCFRPロッドは $\phi 12.5\text{mm}$ , 保証耐力 $117.6\text{kN}$ , ヤング係数 $196\text{kN/mm}^2$ , 単位重量 $260\text{g/m}^3$ を用いた.

## 2.2 供試体寸法

RCはりおよびCF.Uはりの供試体寸法は, 幅160mm, 高さ200mm, 有効高さ160mm, 長さ1,470mm, 支点間は1200mmとする. RCはりには, D13の鉄筋を2本配置し, CF.Uはりには $\phi 12.5\text{mm}$ のCFRPロッドを2本配置した.

## 2.3 実験方法

静荷重実験は, 図-1に示すように, はり中央から100mmの位置に2点載荷とする. ここで, 静荷重実験に用いたはりの供試体名称をRC-1, CF.U-1, CF.U-2とする. 荷重は0kNから10kNずつ供試体が破壊するまで荷重を増加する. なお, 本実験では, 荷重50kN, 100kN載荷後に, 荷重0kNまで減少させ, 残留値を計測する. 次に, 定点疲労実験における荷重載荷位置は, 静荷重実験と同位置とする. 荷重条件は静荷重実験における破壊荷重の80, 75, 70, 65%を, それぞれの最大荷重とし, 下限は10kNとする正弦波形による荷重載荷とする. ここで, 定点疲労実験に用いたRCはりの供試体名称をRC-80-1.2, RC-75-1.2, RC-70-1.2, CF.Uはりの供試体名称を名称をCF.U-80-1.2, CF.U-75-1.2, CF.U-70-1.2, CF.U-65-1.2とする. なお, はり中央の位置でたわみを計測するとする.

## 3. 結果および考察

## 3.1 静荷重実験

(1)耐荷力性能 RCはりの最大耐荷力は69.6kNである. また, CF.Uはりの最大耐荷力はCF.U-1が140.3kN, CF.U-2は140.6kNである. 平均耐荷力は140.4kNでRCはりの2.0倍の耐荷力となった. 本実験のCF.Uはりに用いたCFRPロッドの寸法値は, RCはりに用いた鉄筋と類似するものを配置したが, 鉄筋よりも引張強度の高いCFRPロッドの材料を選定することで, さらに耐荷力性能の向上が図られるものと考えられる.

(2)荷重とたわみの関係 荷重とたわみの関係を図-2に示す. 同図より, 50kN載荷時のたわみはRC-1が2.3mmに比して, CF.U-1, CF.U-2はそれぞれ0.75mm, 0.60mmであり, RCはりの30%程度に抑制されている. また, 50kN

キーワード: UFC, CFRPロッド, 複合構造, 耐疲労性

連絡先 〒275-8575 習志野市泉町1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL 047-474-2459

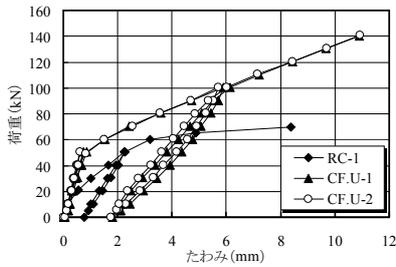


図-2 荷重とたわみの関係

載荷後 0kN に減少させたときの残留たわみは RC はりが 0.71mm, CF.U-1, 2 はそれぞれ 0.07mm, 0.05mm である. なお, RC-1 はその後の荷重増加で破壊に至っており, 破壊時のたわみは 7.39mm である. CF.U-1, 2 は 100kN 載荷後の残留たわみが 1.8mm であり, その後の荷重増加に対しても比較的線形的な増加がみられる. 破壊時のたわみは, CF.U-1 が 10.9mm, CF.U-2 が 11.0mm である.

3.2 定点疲労実験

(1) 荷重比と繰返し回数の関係 RC はりおよび CF.U はりの各上限荷重における繰返し回数を表-1 に示し, 荷重比と破壊時の繰返し回数の関係を図-3 に示す. ここで, 図-3 の縦軸は定点疲労実験における荷重を静的耐荷力で除した値 (実験荷重 ( $P_p$ )/静荷重実験 ( $P_{max}$ ) における最大耐荷力) とする. また, 横軸は破壊時までの繰返し回数  $N$  である. 同図より, 定点疲労実験における RC はりと CF.U はりの荷重比 ( $P_p/P_{max}$ ) と繰返し回数 ( $N$ ) の関係から, 対数近似式(1), (2)が得られる.

RC はり  $\log (P_p/P_{max}) = -0.08835 \log N + 1.1880$  (1)

CF.U はり  $\log (P_p/P_{max}) = -0.09187 \log N + 1.1305$  (2)

ここで,  $P_p$ : 実験荷重の最大値 (kN),  $P_{max}$ : 静荷重実験における最大耐荷力 (kN) (RC はり: 69.6kN, CF.U はり: 140.4kN),  $N$ : 繰返し回数

RC はりの荷重比 ( $P_p/P_{max}$ ) と繰返し回数 ( $N$ ) の関係 (図-3) より, 対数近似式 (1) における RC はりの傾きの逆数  $m$  の絶対値は 11.319 である. また, CF.U はりの場合は 10.885 となり, 定点疲労実験における傾きの逆数  $m$  の比は 0.96 となり, やや低下する結果となった. よって, RC はりと同等な傾きの逆数とするならば CFRP ロッドの配置量を増やすなどの対応が必要であると考えられる. しかしながら, 実際の疲労寿命の推定においては曲げ耐荷力が RC はりの 2 倍を有することから同一荷重条件においては, 耐疲労性は大幅に向上する結果となる.

(2) たわみと繰返し回数の関係 RC はりおよび CF.U はりのたわみと繰返し回数の関係を図-4 に示す. 同図より, RC はりの荷重比と繰返し回数の関係は, 静的耐荷力の 80% で疲労試験を行なった供試体 RC-80 の初期たわみは 3.6mm であり, 繰返し回数の増加に伴い緩やかに増加している. 破壊時のたわみは 6.9mm である. また, 供試体 RC-75, 70 の初期たわみは, それぞれ 3.0mm, 2.4mm である. その後の繰返し荷重によりたわみが緩やかに増加し, 破壊時のたわみは 8.5mm, 8.7mm である. 次に, CF.U はりのたわみと繰返し回数の関係は, 静的耐荷力の 80%

表-1 繰返し回数

供試体	荷重	繰返し回数	平均値
RC-80	55.0	41,200	41,200
RC-75	52.0	228,000	228,000
RC-70	48.0	610,000	610,000
CF.U-80-1	112.2	9,607	11,304
CF.U-80-2	112.2	13,000	
CF.U-75-1	105.2	53,450	54,175
CF.U-75-2	105.2	54,900	
CF.U-70-1	98.2	108,300	119,150
CF.U-70-2	98.2	130,000	
CF.U-65-1	91.2	688,900	819,450
CF.U-65-2	91.2	950,000	

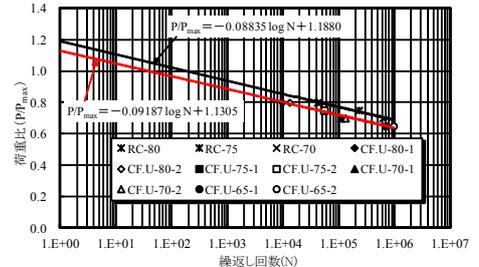


図-3 荷重比と繰返し回数の関係

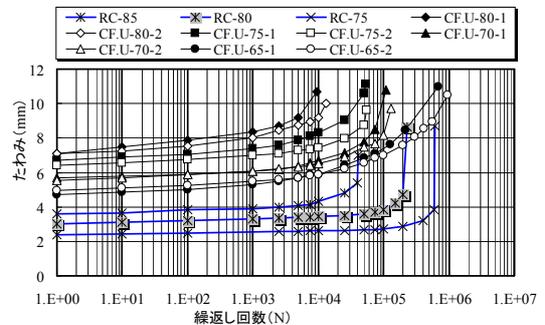


図-4 荷重比と繰返し回数の関係

の供試体 CF.U-80 の初期たわみの平均は 7.1mm, 供試体 CF.U-75, 70, 65 の初期たわみの平均は, それぞれ 6.5mm, 5.6mm, 4.8mm であり, 繰返し回数の増加に伴いたわみは緩やかに増加している. 供試体 CF.U-80, 75, 70, 65 の破壊時のたわみの平均は, それぞれ 10.5mm, 10.4mm, 10.3mm, 10.8mm である. なお, 初期たわみが CF.U はりの場合, RC はりの 2 倍の値を示しているが, これは初期載荷荷重の違いに起因したものである.

4. まとめ

- (1) 本提案する CFRP ロッドと UFC の複合構造である CF.U はりの耐荷力性能は, 同一断面を有する RC はりと比較すると 2 倍の耐荷力となり, 耐荷力性能を十分に有する複合構造である.
- (2) 静荷重実験における荷重とたわみの関係より, CF.U はりは荷重の増加に伴い荷重 50kN 付近までは線形的に増加し, 荷重徐荷時のたわみは平均 0.06mm であり, RC はりの 8.4% である. その後の荷重増加においても線形的にたわみが増加している.
- (3) 定点疲労実験による荷重比と繰返し回数の関係において, 対数近似式の傾きの逆数  $m$  は RC の場合は 11.319, CF.U はりの場合は 10.885 となり, RC はりに比してやや傾きが低下する結果となった.
- (4) 本提案する CFRP ロッドと UFC の複合構造は, 耐荷力性能が RC はりの 2 倍であり, 本提案する S-N 曲線式から算定される破壊繰返し回数を RC はりと同等とする場合は大幅な断面の縮小が可能となることから, 構造部全体の軽量化に繋がるものである.

参考文献

- 1) 土木学会 コンクリートライブラリー 113: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004.
- 2) 林田道弥: こんなところに複合材料ー土木・建築分野でのピッチ系高弾性炭素繊維の利用ー, 日本複合材料学会誌, Vol25, pp30-37, 1999.