

## (44) AFRP ロッドを適用した $\pi$ 型断面RC梁の疲労試験

柏 翔悟<sup>1</sup>・大西 弘志<sup>2</sup>・天野 順弘<sup>3</sup>・松原 澄行<sup>4</sup>  
 ・工藤 孝廣<sup>5</sup>・岩根 颯太郎<sup>6</sup>

<sup>1</sup>学生会員 岩手大学大学院 工学研究科 社会環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
 E-mail: t2516004@iwate-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 岩手大学准教授 理工学部 システム創成工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
 E-mail: onishi@iwate-u.ac.jp

<sup>3</sup>サカイ産業株式会社 繊維事業部 (〒427-8512 静岡県鳥田市細島1349-1)  
 E-mail: norihiro-amano@sakai-grp.co.jp

<sup>4</sup>株式会社 竹入製作所 アラミド繊維事業部 (〒498-0002 愛知県弥富市東中地1-200)

<sup>5</sup>株式会社 いおう化学研究所 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
 E-mail: t-kudo@scl-inc.jp

<sup>6</sup>学生会員 岩手大学大学院 総合科学研究科 地域創生専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)  
 E-mail: g0117004@iwate-u.ac.jp

鉄筋コンクリート (RC) 構造は社会基盤を構成する構造物の主要な形式の一つである。RC構造には多くの利点がある反面、塩害により鉄筋の腐食損傷を生じる等の問題がある。RC構造においては鉄筋の腐食防止は部材の性能、ひいては構造物の機能を維持するために極めて重要である。鉄筋の腐食やそれに伴う損傷を予防するための根本的な解決法の一つとしてRC部材に鉄筋ではなくアラミド繊維補強樹脂 (AFRP)製のロッド (AFRPロッド) を用いることを考えた。AFRPロッドは腐食することなく、軽量で高強度な材料である。しかし、AFRPロッドを用いたRC部材の疲労耐久性に関しては研究事例が少ないため、AFRPロッドを適用したRC梁について疲労試験を実施した。

**Key Words :** AFRP rods, RC beam, pi-shaped cross section, fatigue durability

### 1. はじめに

我が国では鉄筋コンクリート (RC) 構造は社会基盤構造物を構成する主要な構造形式の一つとして広く普及している。しかし、RC構造に用いられる鉄筋をはじめとする鋼材には欠点の一つとして種々の環境作用により腐食損傷を生じることがある。鉄筋の腐食防止はRC部材の健全性を維持するためには極めて重要である。

鉄筋の腐食損傷に対する根本的な解決策の一つとして、炭素鋼で製作される鉄筋を腐食しない材料で置き換えることが考えられる。この手法に適用可能な材料の一つに繊維補強樹脂 (FRP) があり、その中で著者らは写真-1に示す、アラミド繊維補強樹脂 (AFRP) に着目することにした。AFRPで製造された補強材の特徴として引張強度は鋼材の4倍、比重は鋼材の1/6であることの他に、



写真-1 アラミド繊維補強樹脂 (AFRP)

耐候性に優れていることや、絶縁性に優れ磁化しないこと、 $-80^{\circ}\text{C}$ の極低温環境にも耐えうるなどの点がある<sup>1)</sup>。沿岸部の新設コンクリート構造物にFRP補強材を用いることで、従来用いられていた鉄筋に発生する腐食損傷による劣化の可能性を排除することができ、さらに力学的特性に優れた構造物を実現できる可能性がある。しかし、AFRPをコンクリート構造物の補強材として用いる際の

問題点として、AFRPとコンクリートとの間の付着力の確保があるため、その改善を目指した研究を実施してきた。

## 2. 既往の研究

AFRPとコンクリートとの間の付着特性を確認するためにRC梁とAFRPロッドを補強材として適用した図-1に示す短形断面を有する梁の曲げ耐力の比較を行った<sup>2)</sup>。この試験ではAFRPロッドの付着特性により梁の曲げ耐力が変化する可能性があるため、鉄筋と2種類のAFRPロッド(通常製品、表面珪砂接着)を用いた梁に対して静的載荷試験を行った。

実験結果としては、AFRPを用いた梁の曲げ耐力は鉄筋を用いたRC梁より大きくなったが、AFRPロッドを適用した試験体については全て損傷が進行した時点でAFRPロッドとコンクリートとの間で付着切れを起し、付着破壊に至った(写真-2)<sup>3)</sup>。

次に、上記の試験では中央に十分な継手長を持たせた重ね継手を配置していたものの継手部分で付着ずれが発生していたことから、継手を持たないAFRPロッドを用いて以前の試験と同様の静的載荷試験を行った。また、この試験では、以前の短形断面ではなくπ型断面を有したものを製作した。図-2に試験体概要を示す。この断面に関して腐食損傷を生じないというAFRPの特徴を生かすためにかぶりを小さくした場合の梁の曲げ耐荷力に関して検討を試みたものである<sup>3)</sup>。

実験結果を表-1に示す。終局状態における破壊荷重はRCの場合3.33kNであった。これに対して製品のAFRPロッドを用いたA-RC、珪砂接着したAFRPロッドを用いたAS-RCではともに最大荷重の増加が見られ、その増加割合はA-RCで35.1%、AS-RCで55.0%に達した。RCの計算値と比較しても、A-RCで23.3%、AS-RCで41.4%の増加に相当する向上となる。

破壊荷重と計算値との比較では、A-RCよりAS-RCの方が実験値と計算値の整合性が取れているのに対し、AS-RCの実験値と計算値との間でRCのそれと同等の誤差を示した。この実験では継手のないAFRPロッドを用いることで全ての試験体において写真-3に示すように曲げ破壊まで載荷可能となり、通常のRC梁に対するAFRP-RC梁の曲げ耐荷力の向上を確認できた<sup>3)</sup>。以上の研究から静的な載荷に対するAFRPを用いたRC梁の挙動の特徴はある程度明らかになったが、建造物の日常的な使用で作用する繰返し荷重に対する疲労耐久性に関しては不明な点が多い。以上のことから、本研究ではAFRPロッドを適用したRC梁の疲労耐久性について鉄筋を用いたRC梁と比較し、その特徴を確認することを目的とした

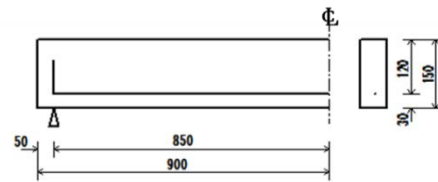


図-1 短形断面梁(単位：mm)

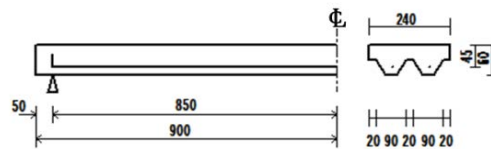


図-2 π型断面梁(単位：mm)

表-1 既往研究(曲げ試験結果)

試験体	破壊荷重 $P_u$ (kN)	計算値 $P_{cal}$ (kN)	破壊荷重の 計算値との比 $P_u/P_{cal}$	最大変位 $\delta_{max}$ (mm)
RC	3.33	3.65	0.91	70.6
A-RC	4.5	5.55	0.81	112.4
AS-RC	5.16		0.93	112

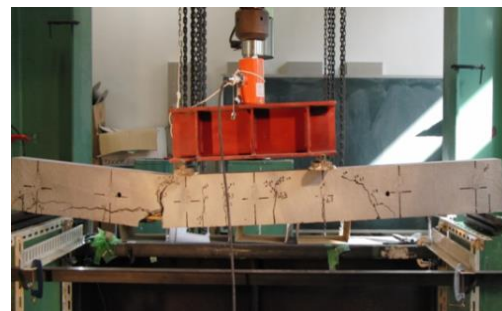


写真-2 破壊形状(付着破壊)

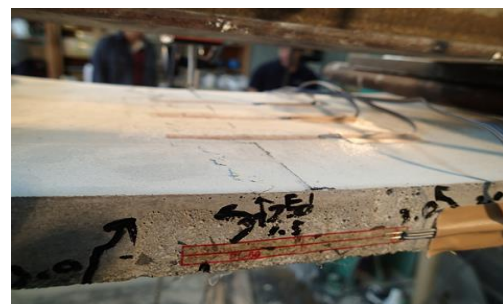


写真-3 破壊形状(曲げ破壊)

表-2 試験体の一覧

試験体名	主筋	表面処理	試験体数
RC	鉄筋(D10)		3体
A-RC	アラミド(φ9)		3体
AS-RC		珪砂付き	3体

表-3 各種材料の物性値

材料	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	33.7		25.4
鉄筋(D10)			531.8
アラミド(φ9)		1,150	68.6

表-4 疲労試験条件

試験体名	最大荷重 P <sub>max</sub> (kN)	最小荷重 P <sub>min</sub> (kN)
RC	7.812	3.906
A-RC		
AS-RC		

疲労試験を実施した。

### 3. 試験概要

試験体の寸法は幅400mm、長さ1000mm、高さ100mmのπ型断面を有する梁とした。表-2に試験体の一覧を示す。試験体の種類については、AFRPロッドの付着特性が梁疲労耐久性に及ぼす影響を検討するため、主筋の表面処理の種類を変化させた3種類の計9体の試験体を用いた。RC梁以外の試験体名の最初につけている文字は表面処理の種類(A：通常；無処理，AS：珪砂接着)を示している。

試験体に使用したコンクリート、鉄筋の材料試験結果、AFRPロッドの材料特性値を表-3に示す。今回の疲労試験では鉄筋はSD345でD10のもの、AFRPロッドはφ9のロッドを使用している。コンクリートは材齢28日での強度である。また、AFRPロッドの各種物性値についてはメーカー提供値を用いている。

写真4に示す疲労試験機を用いて疲労試験を実施した。この試験機では加振装置として写真5に示す振動発生機を取り付けている。これは、内部の偏心ウェイトを回転させ、それによって生じる遠心力により振動を発生させる装置で、これを疲労試験装置の梁に設置し振幅を増幅させることで繰り返し荷重を実施した。今回の試験では写真6に示すバネにより力を載荷梁に作用させ、載荷梁と試験体が離れて挙動することを防ぐための最小荷重を確保した<sup>4)</sup>。

本試験では図4に示す4点曲げ荷重による疲労荷重を

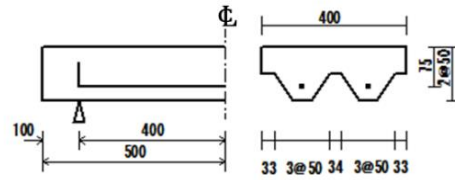


図-3 疲労試験体(単位：mm)



写真4 疲労試験機



写真5 振動発生機



写真6 疲労試験装置バネ部分

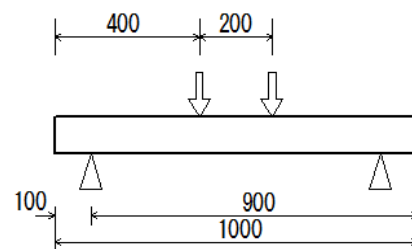


図-4 疲労試験荷重条件(単位：mm)

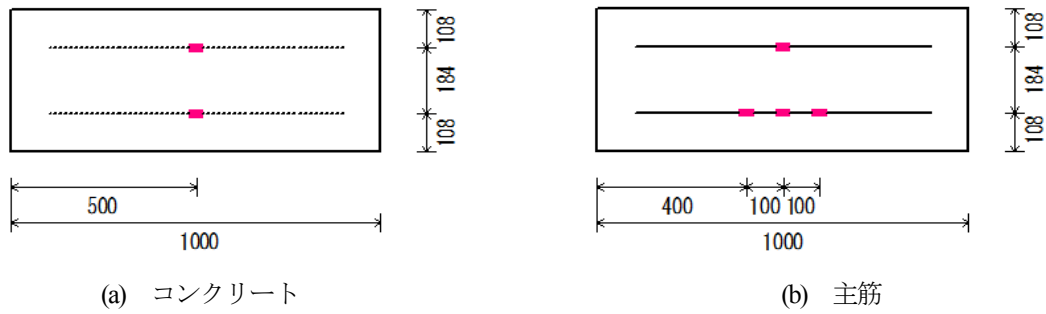


図-5 ひずみ測定位置(単位：mm)

実施した。所定の荷重を定点載荷し、200万回繰り返し荷重を実施した。載荷荷重については、RCの耐力環境下での検討を行うためにRCの曲げ耐力の30%、15%に相当する荷重をそれぞれ上限荷重( $P_{max}$ )及び下限荷重( $P_{min}$ )に設定した。本試験の荷重条件を表4に示す。また、各部材のひずみの挙動を計測するため、図-5に示す各部材にひずみゲージを貼り付けた。

#### 4. 実験結果

##### (1) 破壊性状

今回実施した200万回繰り返し荷重の各試験体に変形は見られ、試験終了後において目視によるひび割れの進行は確認されたが疲労破壊までには至らなかった。疲労破壊しなかった要因としては、載荷重に比例してたわみが増加していくA-RCおよびAS-RCに対応できず、試験体が保有している疲労耐力に満たない載荷条件しか設定できなかったためである。写真-7に200万回疲労試験終了後のひび割れの進展の様子の一例を示す。

##### (2) 繰返し回数-変位関係

200万回繰返し荷重で疲労破壊に至らなかったため、試験途中の繰返し回数、試験体中央の変位量の関係より検討を行った。変位は、レーザー変位計によりサンプリング周波数1000Hzで、200万回疲労試験の間20分間隔で測定した。各測定時点での測定時間は1分で、1分間での変位の平均を各時点での変位とした。それらの変位と試験はじめの変位の差から、各時点での変位量を求め図-6にまとめた。

RCは載荷開始後25万回ほどで変位が増加しておりひび割れが発生していると考えられる。一方A-RCおよびAS-RCは150万回付近で変位が増加している。同荷重条件下において、A-RCの変位が大きく発現しているが、ひび割れ発生時の変位の増加量はほぼ同程度で推移しており、現時点の条件下においてはA-RCおよびAS-RCはRCと同程度の疲労耐久性を有していると考えられる。



(a) RC



(b) A-RC

写真-7 破壊状況

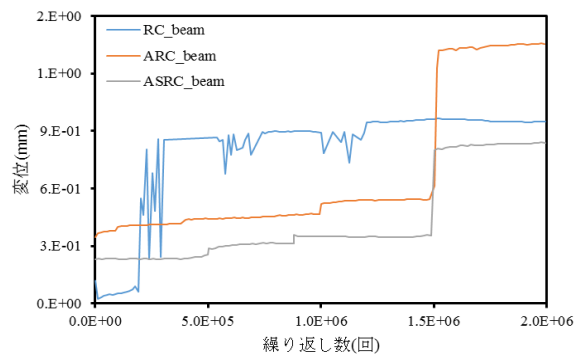


図-6 繰返し回数-変位関係



(a) RC



(b) A-RC



(c) AS-RC

写真-8 破壊状況

### (3) 繰返し回数-ひずみ関係

図-7に繰返し回数-ひずみ関係を示す。鉄筋及びAFRPロッドのひずみも変位の測定と同様、サンプリング周波数1000Hzで、200万回疲労試験の間20分間隔で測定し、各測定点での測定時間は1分で1分間での平均を用いている。

RCは荷重開始後25万回ほどでひずみが増加している。一方A-RC及びAS-RCについては150万回付近でひずみが増加している。これらは変位と同様に鉄筋では25万回、A-RC及びAS-RCでは150万回でひび割れが発生しているためと考えられる。

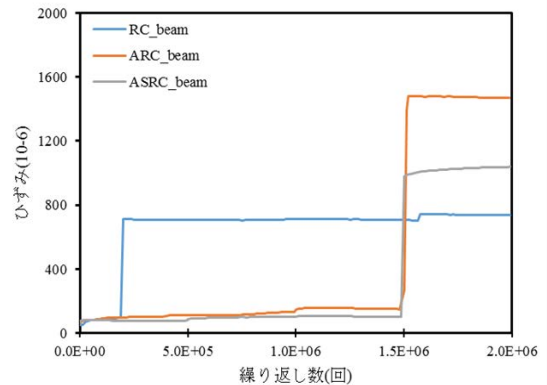


図-7 繰返し回数-ひずみ関係

## 5. 残存耐力試験

### (1) 試験概要

200万回荷重終了後においても疲労破壊が生じなかったため、疲労試験後に各種1体ずつ計3体について残存耐力試験を実施した。

本試験は、梁中央で荷重を計測した。梁中央並びに荷重点また支点部の浮きを計測するために変位計で変位を計測した。荷重方法は、4点曲げ静的荷重を適用し繰返し荷重を実施した。これにより、疲労試験による試験体の耐力低下の比較検討を行った<sup>5)</sup>

### (2) 破壊状況

写真-8に各試験体の残存耐力試験終了後の破壊状況を示す。各試験体において曲げひび割れが進展したのち、曲げ引張破壊に至っている。ひび割れの状況を比較してみると、RCは梁全体にひび割れが発生しているのに対して、A-RCとAS-RCにおいてはひび割れの本数が少なく大きなひび割れが進展している。これらはロッド自体の付着性の低さによるものだと考えられる。

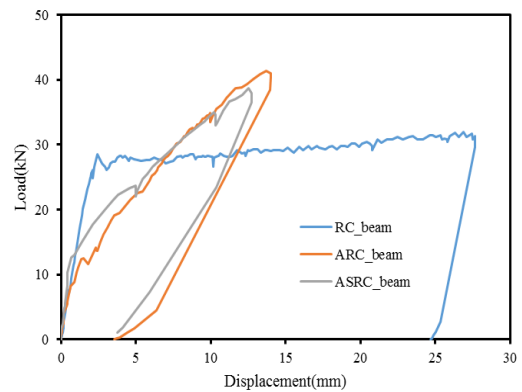


図-8 荷重-変位関係

### (3) 荷重-変位関係

図-8に、RCとA-RCとAS-RCそれぞれの荷重試験時の荷重と変位関係を示す。この図より、A-RCおよびAS-RCの試験体が高い耐荷力を発現している。今回の疲労試験は、RC環境下の効力範囲での試験であり、RCの試験体自体も著しい耐力の低下が見られないため、現時点でRCと同様の疲労耐性を保有していると言える。

## 6. まとめ

本試験では AFRP を適用した梁の疲労耐性について RC 梁と比較し、特性を調査することを目的とし、試験を実施した。

- (1) 今回は RC の静的曲げ耐力をもとに低荷重域での疲労荷重を行った。それぞれの試験体において著しい結果の差異は見られず、疲労耐久性は現時点で大きな差はないと推定される。
- (2) 残存耐力試験では大きな曲げ耐力低下等の傾向は確認されなかったため、繰返し荷重による大きな性能低下は発生しなかったものと推定できる。

## 参考文献

- 1) 株式会社 竹入製作所  
<http://www.takeiri-seisakusyo.jp/tafrod/about/entry-152.html>
- 2) 柏翔語：AFRP・コンクリート間の付着性改善について、2016
- 3) 渡部洋平：AFRP ロッドを適用した  $\pi$  型断面 RC 梁の静的荷重による曲げ強度の検討、2016
- 4) 国土技術政策総合研究所：損傷状況を考慮した鋼床版の構造形式見直しに関する研究、国総研資料第 608 号、2010.9
- 5) 田中宏昌，関雅樹，久保淳一郎，長谷川昌明，日紫喜剛啓：35 年間供用されたラーメン高架橋縦梁の耐力・疲労に関する研究，土木学会論文集，No.700，Vol.54，pp31-43，2002.3

## A FATIGUE TEST OF PI-SHAPED CROSS SECTION RC BEAMS APPLIED AFRP RODS.

Syogo KASHIWA, Hiroshi ONISHI, Norihiro AMANO, Sumiyuki MATUBARA,  
Takahiro KUDO and Sotaro IWANE

Reinforced concrete (RC) structure is one of the major forms of structures constructing infrastructures. The RC structure has many advantages but there are problems such as corrosion damage of rebar by salt injury. Preventing corrosion of rebar is extremely important to maintain performance of member and function of structure as well. We considered that using an aramid fiber reinforced polymer (AFRP) rod instead of rebar for the RC member as one of the fundamental method to prevent rebar corrosion and damage. The AFRP rod is not corroded and it is a lightweight and high strength material. However, there are few research cases of the fatigue durability for the RC member using the AFRP rod. Therefore we conducted the fatigue test for RC beams using AFRP rods. We conducted the fatigue test for RC beams using AFRP rods because there are few research cases of the fatigue durability for that.