

AFRP ロッドを適用した π 型断面 RC 梁の静的載荷による曲げ強度の検討

渡部 洋平¹・大西 弘志²・出戸 秀明³・天野 順弘⁴・松原 澄行⁵

¹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:t2515018@iwate-u.ac.jp

²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

³正会員 岩手大学教授 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:deto@iwate-u.ac.jp

⁴サカイ産業株式会社 繊維事業部 (〒427-8512 静岡県鳥田市細鳥1349-1)
E-mail:norihiro-amano@sakai-grp.co.jp

⁵株式会社 竹入製作所 アラミド複合材料事業部 (〒498-0002 愛知県弥富市東中地1-200)

コンクリートを主材料としたRC部材は広く社会基盤を構成する構造物に適用されている。RC構造は経済的であり、耐久性に優れると説明されることが多いが、近年では塩害や凍害等の環境劣化による損傷が数多く報告されるようになってきている。特にRCにおける塩害ではRC内に配置されている鉄筋が腐食することにより、鉄筋自体が損傷を受けることはもとより、鉄筋周辺のコンクリートに損傷が生じることも大きな問題である。この損傷を防止するため、本研究では鉄筋の腐食を根本的に解決するために、RCに鉄筋の代替物としてAFRPロッドを適用することを考えた。AFRPはFRPの一種であるために塩害で腐食することはない、十分な強度を有している素材である。本研究ではAFRPロッドを適用したコンクリート梁の破壊強度や形式を確認するための静的載荷試験を実施した。

Key Words : AFRP, AFRP rod, RC, bending strength, π -shaped cross-section

1. はじめに

我が国の道路橋に使用されている補強材は、鋼材が大半を占めている。鋼材の一種である鉄筋を用いた鉄筋コンクリート (RC) によって建造された構造物は、いわゆる社会基盤の一部として整備され、社会基盤を構成する主要な構造物の一形式として普及している。しかし、鋼材には大きな欠点として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り、既往の過度なひび割れや海砂の使用による鉄筋の発錆は、RC の健全性を維持することに失敗した代表例である。

鉄筋は鋼材でできていることからいかなる環境下においても腐食損傷を完全に防止することを保証することは非常に困難である。そのため、本研究では鉄筋に代わる補強材として AFRP を取り上げることにした。AFRP の特徴として引張強度は鋼材の 4 倍、比重は鉄の 1/6、耐久性に優れており、腐食による発錆をすることもなく絶

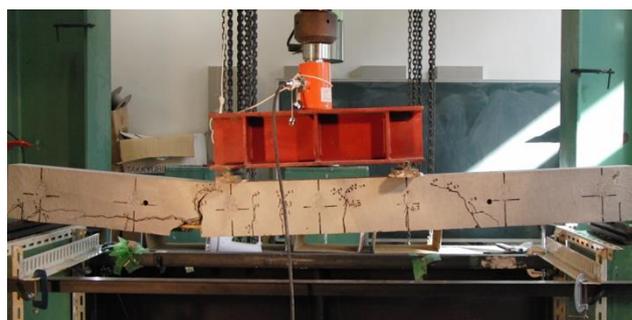


写真-1 既往研究

縁性に優れ磁化しない、 -80°C の極低温環境にも耐えるという点が挙げられる²⁾。塩害等のリスクのある地域で新設構造物に AFRP 補強材を用いることにより腐食損傷を抜本的に回避し、高強度な構造物を開発できる可能性がある。

既往の研究では、矩形断面の梁にAFRPロッドを重ね継手により適用し曲げ試験を行ったところ、付着切れが

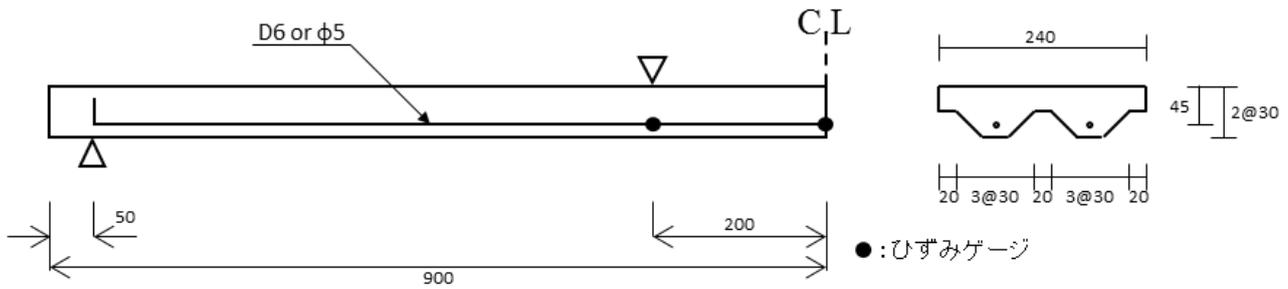
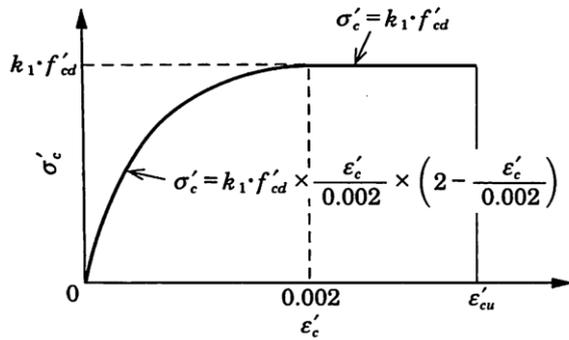
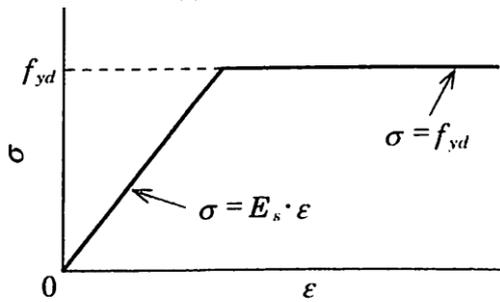


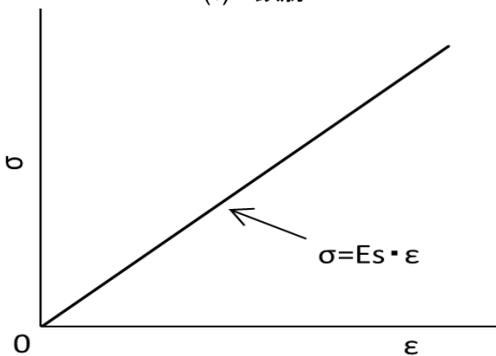
図-1 試験体の形状寸法および配筋(単位 : mm)



(a) コンクリート



(b) 鉄筋



(c) AFRP ロッド

図-2 各材料のモデル化された応力ひずみ曲線

発生し付着破壊に至っている³⁾(写真-1参照). そこで本研究では、一本形成されたAFRPロッドを使用しフックの作用により構造物としての一体化を図り、また軽量化したπ型断面を有する梁にすることで、過度なひび割れに対する抵抗性があるAFRPの特徴を生かし、AFRP-RC梁の曲げ耐荷性能に関して優位性の検討をするものである。

表-1 試験体の一覧

試験体名	主筋	表面処理	試験体数
RC	鉄筋(D6)		各3体
A-RC	アラミド(φ5)		
AS-RC		珪砂付き	

表-2 各種部材の物性値

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
コンクリート	32.6		25.0
鉄筋(D6)		551.3	198.6
アラミド(φ5)		1,150	68.6



写真-2 荷荷状況

なお、AFRPロッドの付着性により、曲げ性能が変化する可能性があるため、鉄筋と2種類のAFRPロッド（ノーマル、珪砂付き）を用いて検討した。

2. 試験概要

表-1に試験体の一覧を示す。試験体は主筋の種類を変化させた全3種類、9体である。試験体名のうちの第1項は使用した主筋の種類(A : AFRPロッド, AS : 珪砂付き

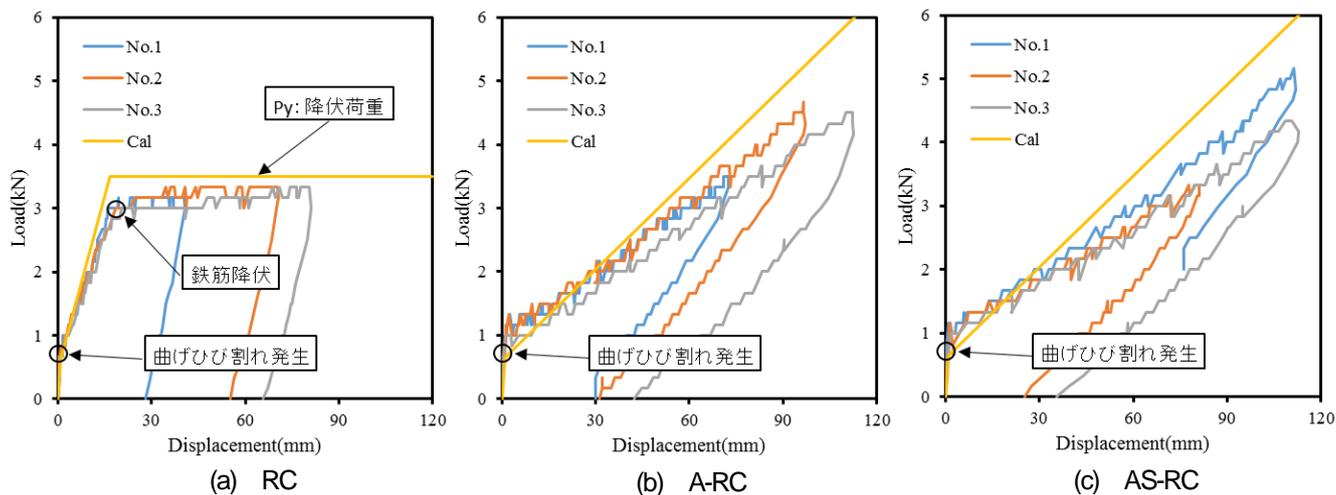


図-3 荷重-変位関係

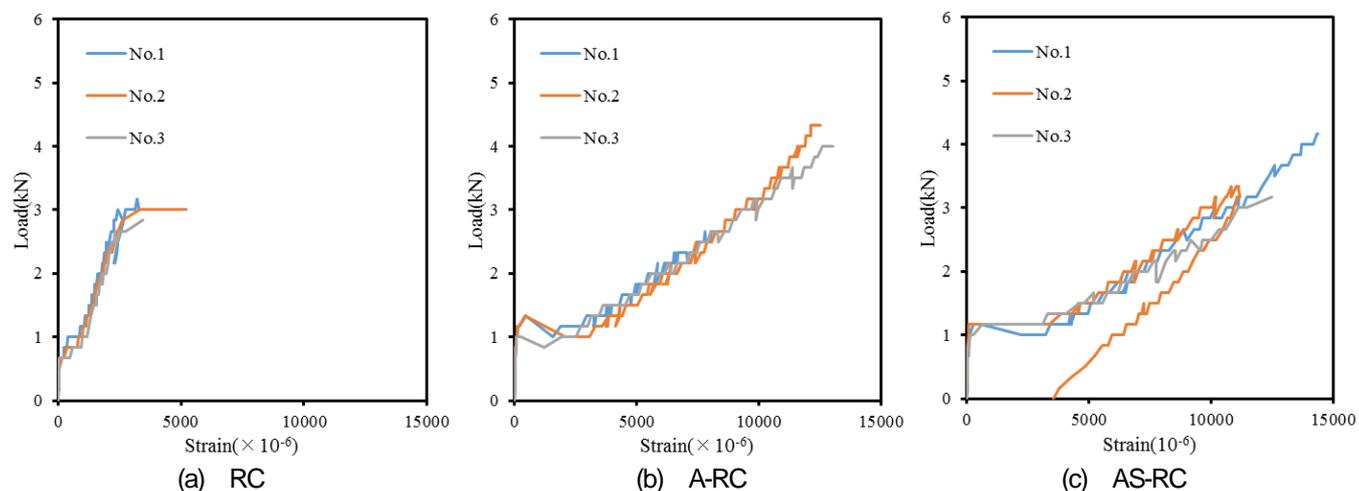


図-4 荷重-ひずみ関係

表-3 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 δ_{max} (mm)
RC	3.33	3.65	0.91	70.6
A-RC	4.50		0.81	112.4
AS-RC	5.16		0.93	112

AFRPロッド)を示しており、それぞれNo.1~No.3までの3体ずつで実験を実施した。

図-1に試験体の形状寸法と配筋を示す。等曲げ区間の長さは400mmで、せん断スパン比(a/d)は14.4である。使用したコンクリート、鉄筋及びAFRPロッドの物性値を表-2に示す。鉄筋はD6でありSD345で、AFRPロッドはφ5を使用した。

図-2に各材料の応力-ひずみ関係を示している⁴⁾。AFRPロッドは降伏点がなく、ひずみに対して線形的に応力が

増加する様子を表している(図-2(c)参照)。

300kN容量の荷重計を用いて梁中央で荷重を計測した。梁中央並びに載荷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。また主筋及びコンクリート表面にひずみゲージを貼り付けひずみを計測した。

載荷方法は、4点曲げ静的載荷を適用し繰り返し載荷を実施した(写真-2参照)。なお、本実験ではすべての試験体が梁上縁の曲げ圧縮破壊に至ったことにより、その時点で加力を中止し除荷している。

3. 実験結果

(1) 曲げ試験結果

表-3に実験結果の一覧を示す。各試験体における代表値である。終局状態における破壊荷重はRCの場合、

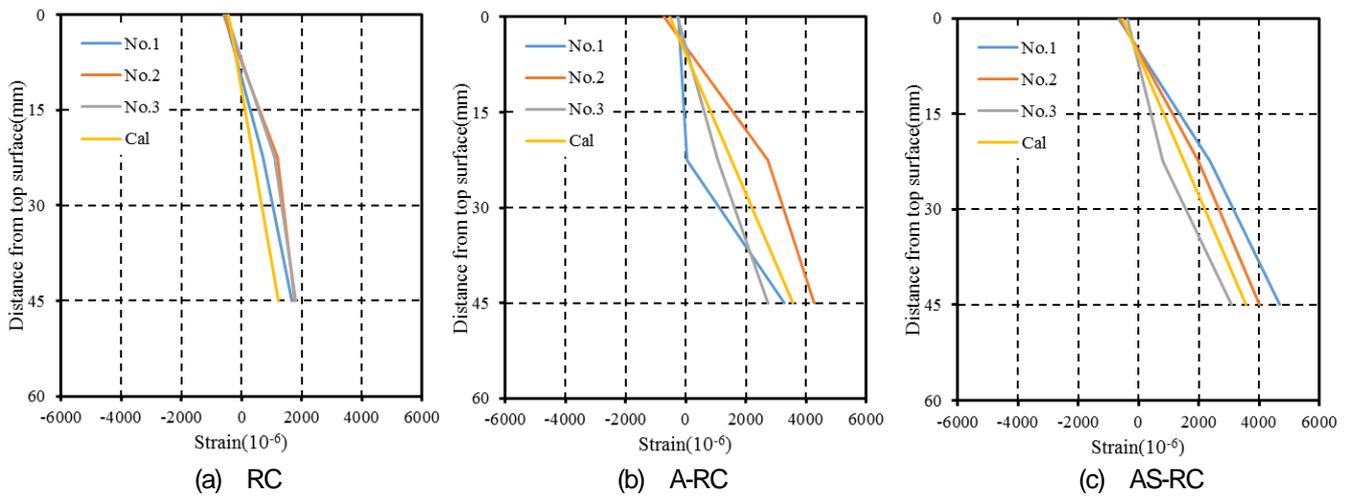


図5 断面内のひずみ分布

3.33kNであった。これに対してA-RC, AS-RCともに最大荷重の増加が見られ、その割合はA-RCで35.1%, AS-RCで55.0%に達する。RCの計算値と比べても、A-RCで23.3%, AS-RCで41.4%上回った。

破壊荷重と計算値との比では、A-RCよりAS-RCの方が計算値の再現性が高く、さらにAS-RCはRCと同等の再現率であった。

(2) 荷重—変位関係

図-3に、3種類の試験体の荷重—変位関係に関する実験および計算結果を各種類ごとに整理し示している。ただし、たわみ量は中央の変位計の測定値から両支端部の沈下量を差し引いた値である。計算結果は、鉄筋もしくはAFRPロッドとの完全付着を仮定し梁理論により算出したものである。なお、計算に用いられるAFRPロッドは、表-2に示されている弾性係数を有する線形弾性体と仮定している。

計算結果として、曲げひび割れ発生荷重は0.65kN, 降伏荷重は3.49kNである。曲げひび割れ荷重は、鉄筋を無視しコンクリートに依存するため、3種類ともほぼ同等の荷重を発生しているのがわかる。

変位量の算定は式(1)に示した換算断面2次モーメント I_e を用いた。ここで、算定時の断面形状は、中立軸がフランジ内にあることから矩形断面で算出した⁹⁾。

$$I_e = \frac{bx^2}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right) \quad (1)$$

$$x = \frac{nA}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{nA}} \right) \quad (2)$$

ここに、

- I_e :換算断面の中立軸に関する断面2次モーメント
- b:フランジ幅
- d:有効高さ
- n:ヤング係数比(=E/Ec)
- A:主筋の総断面積

最大変位量を比較してみると、RCではNo.3で70.6mmであるのに対して、A-RCではNo.3で112.4mm, AS-RCでは112.0mmであった。変形特性としては、A-RC, AS-RCがRCの約63%大きい。これはAFRPロッドが降伏しない特性により、また引張強度が鉄筋より大きい為(表-2参照)変位量が伸びたと考えられる。

(3) 荷重—ひずみ関係

図-4に荷重とひずみの関係を示す。ただし、梁中央部の主筋2か所のひずみの平均値である。

RCは載荷荷重が3kNを超えると降伏に至り、荷重が上がらずひずみが増加している。一方で、A-RCとAS-RCは線形的に増加している。荷重が曲げひび割れ発生荷重を超え、RC断面になると急激にひずみが増加しており、梁下縁の引張作用に対して応力を発生しているのがわかる。

(4) 断面内のひずみ分布

図-4に梁断面内のひずみ分布に関する実験および計算値を示している。梁中央のたわみが10mmに達した時のコンクリート並びに鉄筋のひずみを整理しまとめている。

ひずみの算定は、曲げ応力度の算定(式(3), (4))および応力—ひずみ関係により算出した⁹⁾。



(a) RC

(b) A-RC

(c) AS-RC

写真-3 ひび割れ性状(中央変位 20mm)



(a) RC

(b) A-RC

(c) AS-RC

写真-4 ひび割れ性状(載荷終了後)

$$\sigma'_c = \frac{2M}{bx\left(d-\frac{x}{3}\right)} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{M}{A\left(d-\frac{x}{3}\right)} \quad (4)$$

ここに、

σ'_c : 上縁コンクリートの圧縮応力

σ : 主筋の引張応力

M: 断面の重心位置に関するモーメント

b: フランジ幅

d: 有効高さ

A: 主筋の総断面積

また、中立軸は式(2)により算出した。

それぞれの試験体の種類において、梁上縁や主筋、中立軸の位置などで実験値と計算値の挙動が類似していた。

(5) ひび割れ性状

写真-3及び写真-4に曲げひび割れ性状の様子を示す。

写真-3は試験体の中央変位が20mm時点での等曲げ区間のひび割れ進展の様子である。RCに関しては、ひび割れ間隔がほぼ一定であり、付着がなされているのが確認

できる。

一方、A-RCとAS-RCではRCと比べてひび割れ間隔が広いのがわかる。既往の研究でも言われているとおり、付着性が低くスパン内での十分な付着がなされていないと考えられる。

写真-4は、載荷試験終了後のひび割れの様子を示す。載荷中ではひび割れ幅に顕著な違いが見られたが、最終的には同等のひび割れであるのが確認できる。たわみが増加していく過程で付着切れが発生している区間でもひび割れが分散されたものと考えられる。本研究での一本成形のAFRPロッドのため、端部のフックがコンクリートとの一体性を可能にしていると考えられる。

4. まとめ

本試験を実施し、以下のような知見を得た。

- 一本成形のAFRPロッドを適用することで、曲げ破壊まで載荷可能となった。しかし、コンクリートとの一体性を大きく担っているのはロッド端部のフック部分である。
- 曲げ耐力はRCの35%～55%の増加が見込め、変形性能でも、60%近く大きな値を示した。
- A-RCとAS-RCでは、AS-RCの方が大きな曲げ耐力

を発現した。珪砂の表面処理によって付着性の向上が図られた可能性があるが、実験値が一定ではないため一概に効果が発揮されているとは言えない。今後、付着に関する検討を進めるべきだと考える。

参考文献

- 1) 吉川弘道：第2版 鉄筋コンクリートの解析と設計-限界状態設計法と性能設計法-, 丸善, 2004
- 2) 株式会社 竹入製作所
<http://www.takeiri-seisakusyo.jp/tafrod/about/entry-152.html>
- 3) 渡部洋平：AFRP材を適用したRC梁の静的強度, 岩手大学, 2015
- 4) コンクリート標準示方書[2012年制定]設計編, 土木学会
- 5) 藤原忠司, 張英華：基礎から学ぶ鉄筋コンクリート, 技報堂, 2003.10
- 6) 町田篤彦：大学土木鉄筋コンクリート工学改訂3版, オーム社, 2016.2

STUDY OF THE BENDING STRENGTH DUE TO STATIC LOADING OF π -SHAPED CROSS-SECTION RC BEAMS OF APPLYING THE AFRP ROD

Yohei WATABE, Hiroshi ONISHI, Hideaki DETO, Norihiro AMANO, and Sumiyuki MATSUBARA

RC members made of concrete mainly are used for structures constituting the social infrastructures. RC structures are generally accepted that they are economical and durable, but in recent years it has been reported that there are many damage caused by salt or freezing damage. Especially salt damage in RC structures gives damage to rebar and concrete in the area of rebar. It is serious problem. So we try to use AFRP rods in place of rebar to solve the problem of rust of rebar fundamentally. This study was performed static loading tests to confirm the strength and fracture pattern of concrete beam put in AFRP rod.