

## 論文 炭素繊維集成板を埋込貼付した RC 床版張出し部の曲げ疲労実験

弓倉 啓右<sup>\*1</sup>・吉武 勇<sup>\*2</sup>・三村 陽一<sup>\*3</sup>・浜田 純夫<sup>\*4</sup>

要旨：本研究は、負曲げ荷重を受ける道路橋 RC 床版張出し部を対象に、炭素繊維集成板を埋込貼付する補強工法について実験的検討を試みたものである。本研究で実施した輪荷重走行実験では、疲労破壊に至らなかったため、その終局挙動や疲労強度を求めることができなかった。そこで、負曲げ荷重を想定した RC はりの定点曲げ疲労実験を実施し、その破壊特性を調べるとともに疲労強度を求めた。補強した RC はりは、炭素繊維集成板の剥離が進行することで疲労破壊に至ったが、その疲労強度は無補強の RC はりに比べ極めて高いものであった。

キーワード：炭素繊維集成板, RC 床版張出し部, 負曲げ補強, 疲労強度

## 1. はじめに

社会基盤構造物の維持管理がますます重要視される中、交通荷重による疲労損傷が顕著な道路橋鉄筋コンクリート(RC)床版には、数多くの補強工法が提案されている。これらの補強工法には、鋼材系補強材あるいは繊維系補強材がしばしば用いられている。さらに繊維系補強材では、炭素繊維やアラミド繊維といった材料の相違ばかりでなく、シート状あるいはプレート状など様々な補強材が開発されている。本研究では、卓越した引張強度を有する炭素繊維を工場にて樹脂含浸させ、プレート状に成型した炭素繊維集成板(Consolidated Carbon Fiber Plate: 以下、CCFP と略記)に着目し、負曲げ荷重を受ける RC 床版張出し部に適用することを検討した。

補強材の種類に拘わらず RC 床版の補強の多くは、正曲げ荷重を受ける RC 床版下面に用いられているが、RC 床版張出し部上面に用いられた事例は少ない。老朽化した RC 床版張出し部は、活荷重増加のみならず高遮音壁などの付属設備増設にともなう死荷重増加も付加されており、同箇所の補強が急務となっている。

RC 床版張出し部においては、橋面上からの作業となるため、早期交通開放の観点からも施工の迅速性が求められる。また、舗装打ち換えなどの維持管理においては、床版上面の平滑性の保持が求められる。これらの要求性能を満足できる補強工法のひとつとして、CCFP を RC 床版表層部に埋込貼付する工法を考案した<sup>1)</sup>。

本研究では、この補強工法の適用性を実験的に求めるため、CCFP を埋込貼付した RC 床版張出し部の輪荷重走行実験を行った<sup>2)</sup>。この結果をふまえ、CCFP を埋込貼付した RC 床版張出し部の終局疲労強度を調べるため、負曲げ荷重を想定した RC はりの定点曲げ疲労実験を実

施した。本論文では、これらの実験結果を報告するとともに、CCFP で補強された RC はりの疲労耐久性を示す。

## 2. CCFP と埋込貼付方法

## 2.1 CCFP(炭素繊維集成板)

本研究で用いた高強度型の CCFP(炭素繊維含有率 60%以上)の力学的特性を表 - 1 に示す。この CCFP は、プルルージョン法により断面寸法 50mm×1.2mm として作製されたものである。

また比較のため、汎用的な高強度型の炭素繊維シート(CF シート)の力学的特性も表 - 1 に併記している。本研究で用いた CCFP は、この高強度型の CF シートに比べて、引張強度および引張ヤング係数が、それぞれおよそ 78%、77%に相当するものである。

## 2.2 CCFP の埋込貼付方法

CCFP のコンクリートへの定着は、以下のような手順で実施した。本研究では、便宜上これらの定着方法を「埋込貼付」と表現する。

- i) 溝はつり機を用いて、コンクリート表面に必要な定着長に応じた溝はつり(幅 100mm、深さ 5mm 程度)を実施する。
- ii) 溝はつり部にパテ状エポキシ樹脂接着剤を塗布し、溝はつり部底面の不陸修正を行う。
- iii) ii)の直後に、パテ状エポキシ樹脂接着剤を塗布した CCFP を溝はつり部に接着する。
- iv) CCFP 接着部の空隙等を除去する。
- v) その後、CCFP の上からパテ状エポキシ樹脂接着剤を塗布してコンクリート表面を平滑に仕上げ、常温で 7 日以上養生する。

\*1 inai conex (株) 博(工) (正会員)

\*2 山口大学大学院 理工学研究科准教授 博(工) (正会員)

\*3 呉工業高等専門学校 環境都市工学科助教 博(工) (正会員)

\*4 山口大学名誉教授 Ph.D (正会員)

### 3. 既往の輪荷重走行実験の概説

#### 3.1 輪荷重走行実験に用いた RC 床版供試体

本研究では、多くの損傷事例が報告されている供用期間40年を過ぎた既存RC床版を模擬した供試体を主対象に、輪荷重走行実験に供することとした。そのため、昭和39年道路橋示方書<sup>3)</sup>に基づいて、図-1に示すRC床版供試体を作製した。ここで、RC床版供試体に用いた材料諸元を表-2に示す。図-1に示すように、作製したRC床版供試体は、橋軸方向4500mm×橋軸直角方向2850mm(張出し部1150mm)×床版厚190mmの形状である。CCFPの埋込貼付量は、昭和39年道路橋示方書による設計基準から現行基準<sup>4)</sup>までの設計活荷重の変更にもなう曲げモーメントを考慮した上で決定した。

#### 3.2 実験方法

本研究における輪荷重走行実験の模式図を図-2に示す。本実験では、大型車両 T-20tf(196kN)の荷重を想定し、その後輪片側分に相当する輪荷重 8tf(78.4kN)を載荷荷重として、支持点から張出し部 700mm 位置に載荷した。これは、CCFPを埋込貼付した支点上においては、54.9kN・mの曲げモーメントに相当する。なお、載荷荷重は走行回数24~30万回において9tf(88.2kN:61.7kN・m)とし、走行回数30万回以降において10tf(98.0kN:68.6kN・m)とした。

本研究では、疲労劣化したRC床版張出し部を模擬するため、CCFPを貼付する前のRC床版に対し、輪荷重載荷時のコンクリートの最大ひび割れ幅が0.3mmとなるように(初期)損傷を与えた。その後、輪荷重の除荷を行った上で、図-2に示したようにCCFPを200mm間隔で埋込貼付した。

CCFP定着から7日後において、輪荷重走行実験を再開し、走行回数に伴うCCFP定着部の破損・剥離等の観察を行うとともに、コンクリートのひび割れ幅やRC床版張出し部のたわみ、CCFPのひずみ等を計測した。なお各計測は、輪荷重走行回数1, 10, 100, 1000, 5000, 1万回と、以降1万回ごとに試験終了まで実施した。

#### 3.3 実験結果の要約

走行回数6万回において、初期損傷として設定したコンクリートの最大ひび割れ幅0.3mmが生じた。その後、CCFPの埋込貼付による補強を行い、さらに輪荷重を18万回走行(計24万回)させたが、RC床版供試体に顕著な変状はみられなかった。そこで輪荷重を9tf(88.2kN:61.7kN・m)として6万回(計30万回)走行させ、さらに輪荷重10tf(98.0kN:68.6kN・m)として6万回(計36万回)走行させた。しかしながら、コンクリートのひび割れも発生・進展せず、さらにCCFP定着部においても剥離など生じなかった。

ここで、走行回数とCCFPのひずみ変化を図-3に示

表-1 CCFPおよびCFシートの力学的特性

| 項目                          | CCFP                 | CFシート                |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 炭素繊維タイプ                     | 高強度型                 | 高強度型                 |
| 断面寸法(mm)                    | 50×1.2               | 0.111厚               |
| 引張強度(N/mm <sup>2</sup> )    | 2664                 | 3400                 |
| 引張ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> ) | 1.88×10 <sup>5</sup> | 2.45×10 <sup>5</sup> |
| 線膨張係数(1/ )                  | 0.7×10 <sup>-6</sup> | 0.3×10 <sup>-8</sup> |
| 伸び率(%)                      | 1.42                 | 1.39                 |
| 炭素繊維含有率(%)                  | 60                   | 100                  |

引張強度/ヤング係数より推定

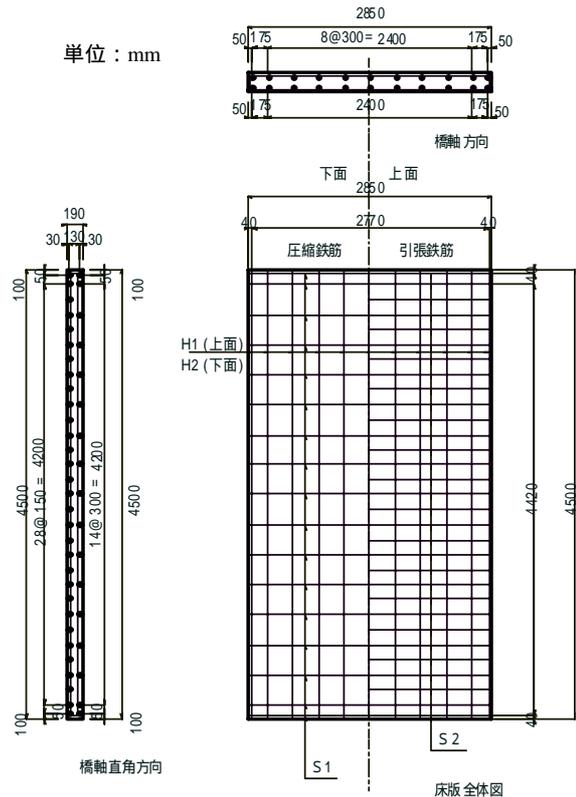


図-1 RC床版供試体の形状・寸法および配筋図

表-2 RC床版供試体の材料諸元

| 鉄筋(SD295A)               |                            |                           |                          |    |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----|
| 主鉄筋                      | 鉄筋間隔(mm)                   |                           | かぶり(mm)                  |    |
|                          | 上側                         | 下側                        | 上側                       | 下側 |
|                          | D16@150                    | D16@300                   | 30                       | 30 |
|                          | 降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )   |                           | 破断強度(N/mm <sup>2</sup> ) |    |
| 355                      |                            | 515                       |                          |    |
| 配力筋                      | 鉄筋間隔(mm)                   |                           | かぶり(mm)                  |    |
|                          | 上側                         | 下側                        | 上側                       | 下側 |
|                          | D13@300                    | D13@300                   | 44                       | 44 |
| コンクリート                   |                            |                           |                          |    |
| 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> ) |                          |    |
| 25.6                     | 1.85                       | 3.3×10 <sup>4</sup>       |                          |    |

す。なお、この図に示すCCFPのひずみは、載荷・除荷時のひずみ差を基に算定したものであり、輪荷重にとも

なう CCFP の弾性ひずみを表している。

この結果より、走行回数が増加しても、輪荷重に応じて生じる CCFP のひずみは、ほぼ一定であることがわかる。これは走行回数が増加しても CCFP 着着部に剥離などの損傷がほとんど生じていないことを表している。本研究で行った輪荷重走行実験における載荷履歴は、マイナー則<sup>5)</sup>により初期の輪荷重 8tf (78.4kN) の走行回数に換算すると、およそ 148 万回に相当するものであった<sup>2)</sup>。このような載荷履歴においても、CCFP を埋込貼付した RC 床版供試体は、疲労破壊に至らなかった。本研究における輪荷重走行実験では、RC 床版の疲労破壊まで載荷できなかったことから、CCFP を埋込貼付した RC 部材の疲労耐久性(曲げ疲労強度)を調べるため、次章に示す RC はりの定点曲げ疲労実験を実施することとした。

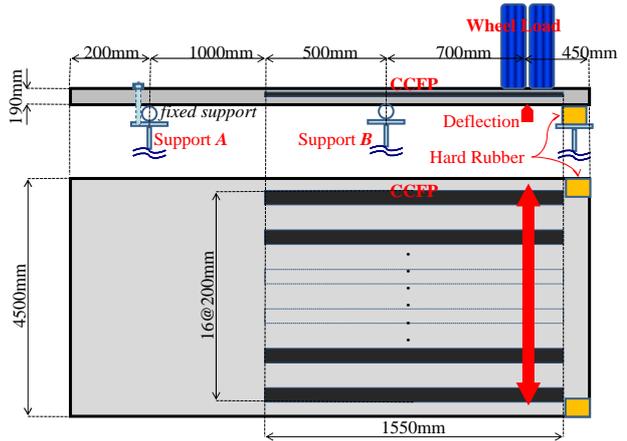


図 - 2 輪荷重走行実験の模式図

#### 4. 定点曲げ疲労実験

##### 4.1 実験目的と概要

前章の輪荷重走行実験より、CCFP を埋込貼付することで RC 床版張出し部の疲労耐久性を向上できることが推察された。しかしながら、同実験では RC 床版供試体が疲労破壊に至らなかったことから、その曲げ疲労強度は不明のままである。そこで本章では、CCFP を埋込貼付した RC はりの定点曲げ疲労実験を通じて、曲げ疲労強度を調べるとともに、CCFP による補強効果について検討することとした。

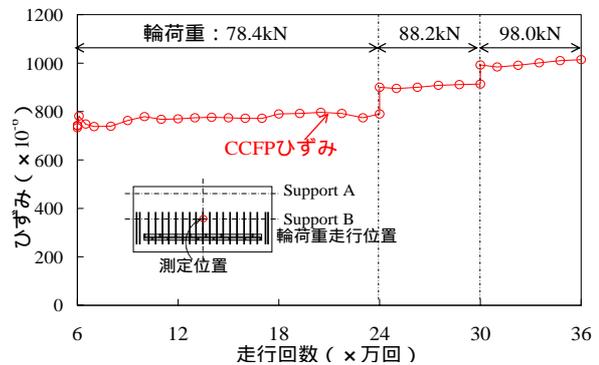


図 - 3 走行回数 - CCFP のひずみ変化(CCFP 補強後)

##### 4.2 実験供試体

本研究では、表 - 3 に示す材料を用いて、静的負曲げ強度実験ならびに定点曲げ疲労実験に用いる RC はり供試体を作製した。ここで作製した RC はり供試体は、図 - 4 に示すように幅 700mm × 長さ 1950mm × 厚さ 190mm であり、前章の輪荷重走行実験同様に、昭和 39 年道路橋示方書<sup>3)</sup>に準じて設計・作製したものである。

本研究では、異なる CCFP の効果を調べるため、輪荷重走行実験と同種の高強度型 CCFP に加え、静的負曲げ強度実験のみ高弾性型 CCFP(引張ヤング係数:  $3.92 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ )を採用した。これは、高弾性型 CCFP を埋込貼付することにより、少ない貼付量で高い補強効果を期待したものである。両タイプの CCFP による補強効果の比較を容易にするため、ここで作製した RC はり供試体は、前章の実験における CCFP の埋込貼付間隔と異なっている。なお本研究では、CCFP を埋込貼付しない RC はり供試体を比較の基準値とした。

表 - 3 供試体の材料諸元

| 鉄筋(SD295A)               |                            |                           |                          |    |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----|
| 主鉄筋                      | 鉄筋間隔(mm)                   |                           | かぶり(mm)                  |    |
|                          | 上側                         | 下側                        | 上側                       | 下側 |
|                          | D16@150                    | D16@300                   | 30                       | 30 |
|                          | 降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )   |                           | 破断強度(N/mm <sup>2</sup> ) |    |
| 355                      |                            | 515                       |                          |    |
| 配力筋                      | 鉄筋間隔(mm)                   |                           | かぶり(mm)                  |    |
|                          | 上側                         | 下側                        | 上側                       | 下側 |
|                          | D13@300                    | D13@300                   | 44                       | 44 |
| コンクリート                   |                            |                           |                          |    |
| 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> ) |                          |    |
| 34.6                     | 3.23                       | $3.7 \times 10^4$         |                          |    |

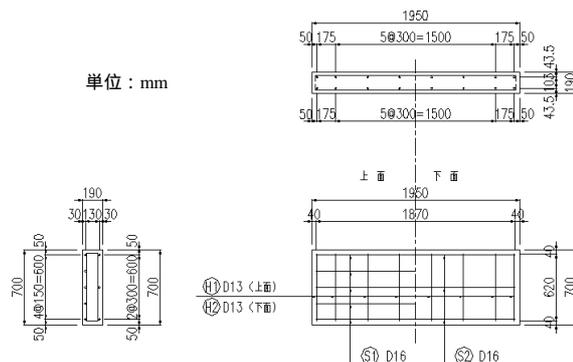


図 - 4 RC はり供試体の形状・寸法および配筋図

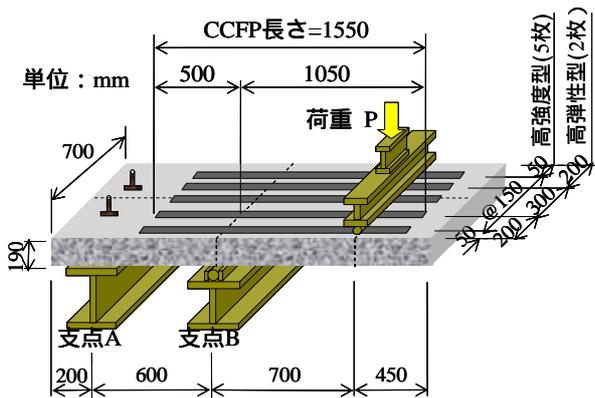


図 - 5 静的負曲げ強度実験の模式図

#### 4.3 静的負曲げ強度実験

本研究では、定点曲げ疲労実験を行うに先立ち、同形状の RC はりを用いて静的負曲げ強度実験を実施した。静的負曲げ強度実験における载荷方法を図 - 5 に示す。本静的負曲げ強度実験で用いた RC はり供試体は、比較の基準として作製した CCFP なしの供試体 (Case S1) と高強度型 CCFP (Case S2) および高弾性型 CCFP (Case S3) をそれぞれ埋込貼付した 3 体である。CCFP 貼付による補強剛性をほぼ同等にするため、Case S2 に用いた RC はり供試体は、高強度型 CCFP を 150mm 間隔で 5 枚埋込貼付したものであり、Case S3 に用いた RC はり供試体は、高弾性型 CCFP を 300mm 間隔で 2 枚埋込貼付したものである。なお、本静的負曲げ強度実験では、単調载荷荷重 5kN を目安として、たわみ、鉄筋のひずみおよび CCFP のひずみの計測を行った。

#### 4.4 静的曲げ強度と破壊状況

支点 B 上の引張側鉄筋のひずみ、および CCFP のひずみを図 - 6 に示す。この結果に示すように、Case S2 と Case S3 の各ひずみは破壊時までほぼ同様の挙動を示している。これは、引張ヤング係数の異なる CCFP をそれぞれ 5 枚・2 枚埋込貼付した場合においても、両者における曲げ剛性がほぼ同等であったこと示している。

ここで、Case S1、Case S2 および Case S3 の最大曲げモーメント (破壊荷重) は、それぞれ 66.8kN・m (95.5kN)、112.5kN・m (160.7kN)、87.1kN・m (124.5kN) であった。これは Case S1 に比して Case S2 および Case S3 は、それぞれ約 1.7 倍、約 1.3 倍に相当する。最大曲げモーメントまでのたわみ挙動を図 - 7 に示す。この結果より Case S2 と Case S3 のたわみ挙動は、Case S3 の破壊荷重近傍の 82.0kN・m (117kN) までほぼ同等であったが、以降の荷重増に対しても、Case S2 では、脆性的な破壊に至らず比較的高い曲げ靱性性能を示した。

Case S1 の供試体の破壊状況を観察したところ、供試体下面側のコンクリートが圧縮破壊していた。一方、Case S2 では、一部の CCFP がコンクリートから剥離し、その後、コンクリートの圧縮破壊が生じていた。なお、パテ

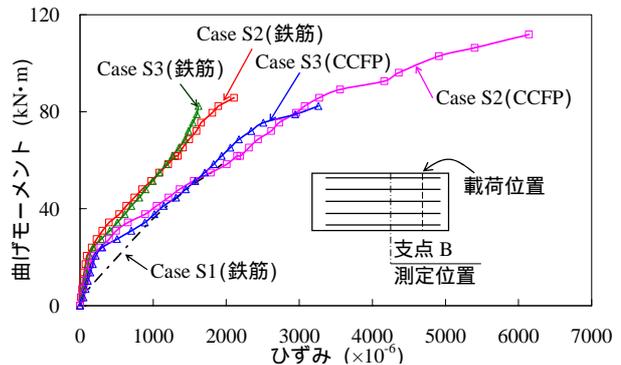


図 - 6 引張鉄筋および CCFP のひずみ

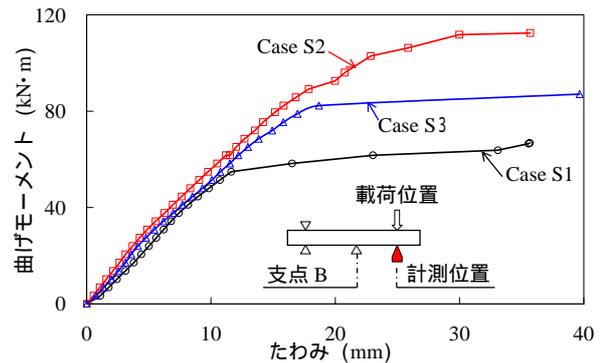


図 - 7 曲げモーメント - たわみ

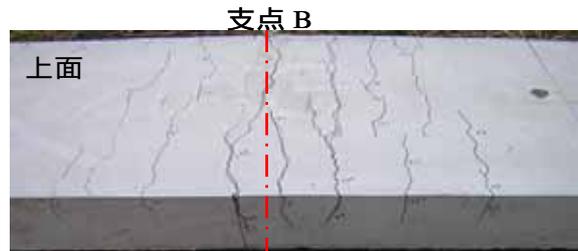


写真 - 1 ひび割れ発生状況 (Case S1)

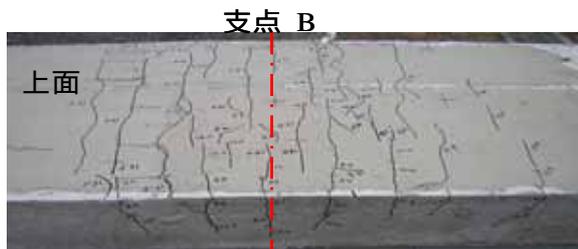


写真 - 2 ひび割れ発生状況 (Case S2)

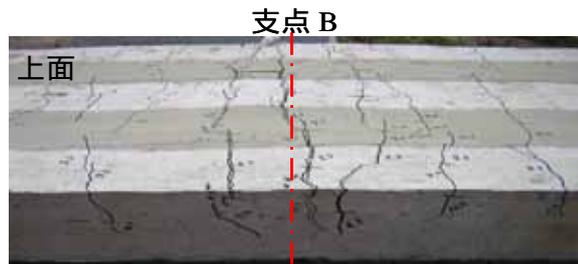


写真 - 3 ひび割れ発生状況 (Case S3)

状エポキシ樹脂接着剤をはつり取り、CCFP を観察したところ、破断などの損傷は生じていなかった。また、Case S3 では、CCFP が破断した後、コンクリートの圧縮破壊が生じていた。

ここで各供試体における最初のひび割れが生じた曲げモーメント(荷重)は、Case S1 では約  $20.6\text{kN}\cdot\text{m}$ (約  $29.4\text{kN}$ )、Case S2 では約  $41.2\text{kN}\cdot\text{m}$ (約  $58.8\text{kN}$ )、Case S3 では約  $30.9\text{kN}\cdot\text{m}$ (約  $44.1\text{kN}$ )であった。その後破壊に至るまでに、支点 B 近傍を中心に多くのひび割れが発生・進展した。ここで、Case S1・Case S2・Case S3 のひび割れ状況を写真 - 1 ~ 写真 - 3 に示す。これらの写真に示すように、Case S1 や Case S3 に比べて、Case S2 ではひび割れの分散性が優れるものであった。

これらの結果を踏まえ、高強度型 CCFP を密に埋込貼付する方が、脆性的な破壊を防ぎ、高い負曲げ補強効果が得られるものと判断し、次節に示すように高強度型 CCFP 埋込貼付の有無による RC はりの定点曲げ疲労実験を実施することとした。

#### 4.5 負曲げ荷重を想定した定点曲げ疲労実験

破壊時における実験の安全性に配慮するため、定点曲げ疲労実験では、RC はり供試体を上下面反転した両端支持の載荷条件とした。載荷方法を図 - 8 に示す。この定点曲げ疲労実験では、載荷点直下の曲げモーメントが、先述の静的負曲げ強度実験における支点 B 上の曲げモーメントに相当する。本曲げ疲労実験においても、静的負曲げ強度実験と同様に、比較用として CCFP なしの供試体(Case F1)および高強度型 CCFP を埋込貼付した供試体(Case F2)を作製し、疲労実験に供した。これらの供試体は、先述の静的負曲げ強度実験と同条件で作製した。

本研究で実施した定点曲げ疲労実験における上限・下限曲げモーメントの初期値は、先述の Case S1 の最大曲げモーメントの 55% に相当する  $37.9\text{kN}\cdot\text{m}$  および同 10% 相当の  $6.69\text{kN}\cdot\text{m}$  とした。この上限荷重は、Case F1 において設計上鉄筋(SD295A)が降伏するレベルとして設定したものであり、下限荷重は試験機制約から設定したものである。なお、後述するように、この初期曲げモーメントでは、Case F2 において顕著な損傷がみられなかったため、載荷回数 55 万回以降疲労破壊に至るまで、上限曲げモーメントを同 80% 相当の  $53.2\text{kN}\cdot\text{m}$  とした。なお、たわみおよびひずみの計測箇所は先述の静的負曲げ強度実験と同じであり、載荷回数 1, 10, 100, 1000, 1 万, 5 万, 以降 5 万回ごとに疲労破壊に至るまで計測を実施した。

#### 4.6 曲げ疲労強度と破壊性状

比較用として実施した Case F1 では、初期値として与えた曲げモーメント荷重の載荷回数約 14 万回において、鉄筋の破断を伴う曲げ疲労破壊が生じた。破壊状況を写

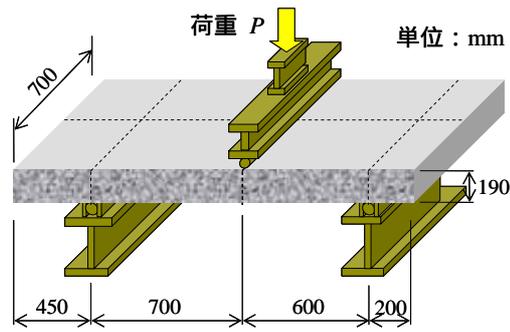


図 - 8 定点疲労曲げ実験の模式図

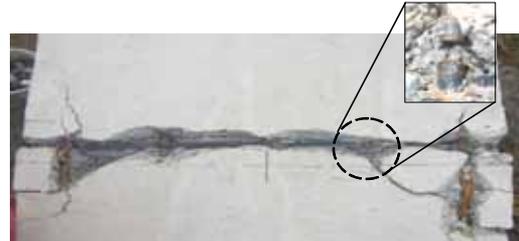


写真 - 4 破壊状況(Case F1)



写真 - 5 破壊状況(Case F2)

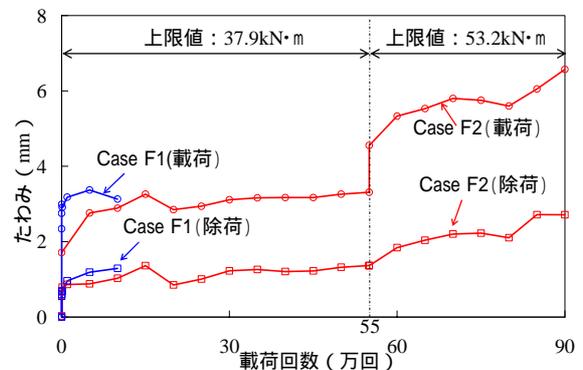


図 - 9 たわみ - 載荷回数(載荷時・除荷時)

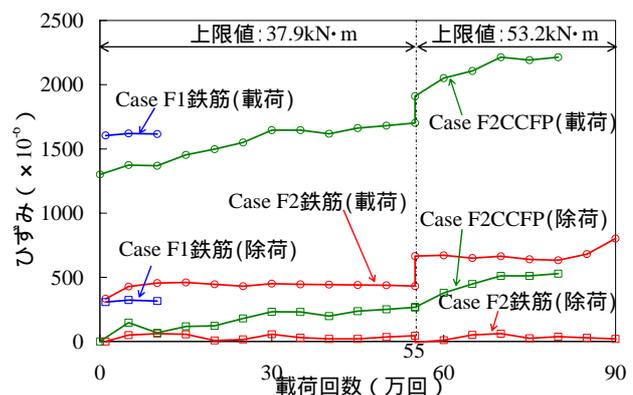


図 - 10 載荷回数 - ひずみ変化

真 - 4 に示す。

一方, Case F2 では, 同荷重(37.9kN・m)を 55 万回載荷しても顕著な損傷は確認されなかった。そこで, 曲げモーメントを 53.2kN・m として載荷を継続したところ, 荷重増加後 35 万回(合計 90 万回)時において, CCFP が剥離し疲労破壊に至った。破壊状況を写真 - 5 に示す。なおマイナー則に基づき, 初期の曲げモーメント荷重による疲労破壊回数に換算すると, 約 2671 万回に相当する。

#### 4.7 変形挙動

載荷時のたわみ・除荷時の残留たわみと載荷回数との関係を図 - 9 に示す。Case F1 の載荷時のたわみは, 載荷回数 1 万回において約 3mm であり, その後疲労破壊に至るまでほとんどたわみは増加せず, 載荷回数約 14 万回において鉄筋が破断し疲労破壊に至った。

一方, Case F2 の載荷時のたわみは, 載荷回数 1 万回において Case F1 の載荷時のたわみより若干小さい約 2.5mm であった。その後, 載荷回数 55 万回まで, 載荷時のたわみおよび除荷時の残留たわみはほとんど増加しなかった。載荷荷重を増加させた後の載荷回数 55 万回~80 万回までは, 緩やかにたわみが増加し, 載荷回数 80 万回以降において, たわみが急増する傾向がみられた。

ここで, 図 - 10 に示す Case F2 における引張側鉄筋のひずみに着目する。CCFP を埋込貼付した Case F2 においては, 載荷回数 1 万回の引張側鉄筋のひずみは約  $330 \times 10^{-6}$  程度まで抑制されていた。載荷回数 5 万回~55 万回までは, 鉄筋ひずみが  $450 \times 10^{-6}$  程度でほとんど増加せず, さらに載荷荷重増加後も, 載荷回数 80 万回までは, ほぼ一定の  $660 \times 10^{-6}$  程度であった。しかしながら, 載荷回数が 80 万回超において, 載荷時の鉄筋のひずみは増加傾向に転じ, CCFP 剥離破壊時の鉄筋ひずみは  $800 \times 10^{-6}$  程度に達した。なお, Case F2 においては, 載荷回数が増加しても除荷時の残留ひずみはほとんどみられなかった。

図 - 10 には CCFP のひずみも併記している。CCFP のひずみは  $1300 \times 10^{-6}$  程度(載荷回数 1 回)から  $1700 \times 10^{-6}$  程度(載荷回数 55 万回)と載荷回数に応じて徐々に増加する傾向がみられた。載荷荷重を増加させた載荷回数 55 万回以降においては, その増加割合がより顕著となったが, 載荷回数 70~80 万回ではほぼ一定となった。載荷回数 80 万回以降において, CCFP のひずみが急増したことをデータロガー表示値で目視確認した後, 計測不能となった。このような CCFP のひずみの急増は, CCFP の接着に用いたパテ状エポキシ樹脂接着剤の局所的な破壊に起因するものと考えられる。そして, 載荷回数に応じて, パテ状エポキシ樹脂接着剤の局所的な破壊が徐々に広域までおよび, 載荷回数 90 万回時において, 目視で確認できる CCFP の剥離破壊に至った。

本研究で実施した実験を通じて, CCFP 埋込貼付により鉄筋に生じるひずみを低減でき, 疲労耐久性も著しく向上できることがわかった。CCFP を埋込貼付する補強工法は, 脆性的な破壊をもたらす鉄筋の疲労破断を抑制し, CCFP の剥離破壊により疲労耐久性が決定されることがわかった。

#### 5. まとめ

本研究では, RC 床版張出し部上面において CCFP を埋込貼付した補強工法について検討した。特に, この補強工法の実用性を調べるため輪荷重走行実験を行うとともに, RC はりの定点曲げ疲労実験を通じて疲労耐久性を調べた。本研究の範囲内で得られた結論を以下に要約する。

- (1) CCFP を埋込貼付した RC 床版張出し部の輪荷重走行実験では, 疲労破壊に至らなかったことから, 大型車両を想定した輪荷重に対する疲労耐久性が確認されたが, CCFP 補強による疲労強度が得られなかった。
- (2) 高弾性型 CCFP を埋込貼付した静的負曲げ強度実験では, CCFP の破断を伴い, その最大曲げモーメントは 87.1kN・m となった。これに対して, 高強度型 CCFP を埋込貼付した場合, CCFP の剥離破壊が進行したものの, その最大曲げモーメントは 112.5kN・m に達したことから, 脆性的な破壊を防ぎ, 高い負曲げ補強効果が得られるものと判断された。
- (3) 載荷回数約 14 万回において, 鉄筋の破断を伴う曲げ疲労破壊が生じた RC はりと比べ, 高強度型 CCFP を埋込貼付した RC はりでは, 鉄筋の破断を伴わず, CCFP の剥離が進行する延性的な疲労破壊に至り, 疲労耐久性を著しく向上できた。

#### 参考文献

- 1) 弓倉啓右, 吉武 勇, 浜田純夫: 負曲げ荷重を受ける RC 部材の補強に用いる炭素繊維集成板の定着方法, 土木学会論文集 A, Vol.64 No.4, pp.948-958, 2008.11.
- 2) 弓倉啓右, 竹村振一, 橋爪啓樹, 浜田純夫: 炭素繊維集成板により補強された RC 床版張出し部の疲労性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, pp.1591-1596, 2007.
- 3) 建設省都市局長: 鋼道路橋設計示方書, 1964.3.
- 4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2002.3.
- 5) 野田恭平, 杉原伸泰, 大西弘志, 松井繁之: RC 床版片持部の押し抜きせん断耐荷力と最小床版厚に関する検討, 第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.167-172, 2004.