

CFRP ロッドを用いた床版上面補強工法に関する研究報告

(株)ピーエス三菱 正会員 ○白水 祐一  
 三菱化学産資(株) 久部 修弘  
 山口大学工学部教授 浜田 純夫

1. はじめに

近年、車両の大型化・交通量の増大等による道路橋床版の損傷が課題となっており、既存道路橋の補強対策が数多く実施されている。床版張出し部や支点部の補強を行う場合、現在用いられている工法として RC 増圧工法、鋼板接着工法、繊維シート貼付接着工法等が挙げられるが、死荷重増による桁・下部工への負担増、補強材の腐食、舗装更新時の補強材損傷等の問題点が指摘されている。

筆者らは、これらの問題を解決する為に耐久性と補強効率に優れた CFRP ロッドを薄肉樹脂モルタル層中に埋設する工法を考案した。本工法では補強層が 20mm 程度でよい為、既存床版かぶり内に埋設可能となり死荷重増がほとんどない、補強材は埋設されている為舗装更新時の補強材損傷も防止できる、等々従来工法の問題点を解決できるものと考えられる。

本研究では、この CFRP ロッド埋設工法の補強効果を検証する為に、まず静的曲げ試験を実施し曲げ理論通りの効果が得られるか確認を行った。さらにその後、輪荷重走行試験を実施し本工法の疲労耐久性についても検討を行った。

2. 静的曲げ載荷試験

2-1. 試験方法

本実験に使用した CFRP ロッドの材料試験結果を表-1 に示す。CFRP ロッドは、高弾性型ロッド (HM ロッド) と、高強度型ロッド (GM ロッド) を用いた。

試験体の断面形状を図-1 に示す。試験体の断面は、T-20 相当の活荷重で設計された道路橋床版の張出し部分をほぼ 1/1 スケールで切り出したものを想定して作製した。CFRP ロッドの配置方法は溝切と全削の 2 種類とした。溝切埋設型は 20 mm×20 mm の溝を作成し、その中に樹脂モルタルと共に CFRP ロッドを配し、全削埋設型は 18 mm の樹脂モルタル層の中にロッドを配した。尚、試験体の圧縮縁から補強材の図心位置までの距離は全て等しくなる様に設定した。既存床版配筋及び荷重方法を図-2 に示す。

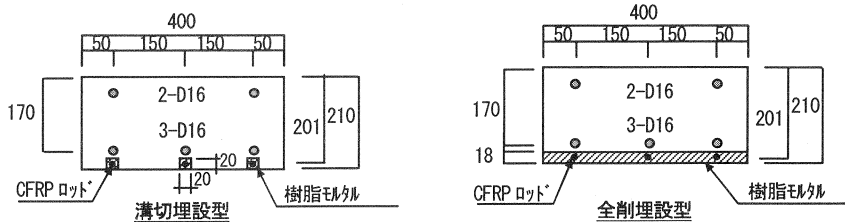


図-1 試験体断面形状

表-1 CFRP ロッドの材料試験結果

呼称	平均外径 (mm)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張弾性率 (kN/mm <sup>2</sup> )
GM ロッド	7.9	2550	147
HM ロッド	7.9	1817	437

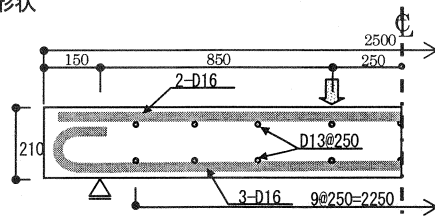


図-2 既存床版配筋及び荷重方法

表-2 試験体及び結果一覧

試験体番号	試験体名	補強タイプ	補強材料	ひび割れ発生荷重(kN)	鉄筋降伏荷重(kN)	破壊荷重(kN)	破壊性状
No.1	NS	—	—	22.5	83.1	103.5	コンクリート圧壊
No.2	GM-R3B	溝切埋設	GM	21.1	110.4	170.2	コンクリート圧壊
No.3	GM-R3A	全削埋設	ロッド	30.2	106.6	167.6	コンクリート圧壊
No.4	HM-R3B	溝切埋設	HM	23.5	131.0	147.0	CFRP ロッド 破断
No.5	HM-R3A	全削埋設	ロッド	35.0	150.6	161.1	CFRP ロッド 破断

2-2. 試験結果

各試験体の載荷試験結果及び破壊性状を表-2に、各試験体の荷重-中央変位関係を図-3に示す。GM ロッドを使用した試験体はコンクリート圧壊で、HM ロッドを使用した試験体は補強材の破断でそれぞれ最大耐力が決定した。図-4にHM ロッドを使用した試験体の荷重-鉄筋ひずみ関係を示す。図中の計算値1はコンクリートと樹脂モルタルの引張強度を無視した値で、計算値2はコンクリートの引張強度及び樹脂モルタルの引張強度を考慮した場合の値である。HM-R3A 試験体の場合、鉄筋ひずみが1000 $\mu$ 付近までは計算値2に沿って伸びていくが、それ以降は計算値1の線に移行した。これは、コンクリートにひび割れが発生した後も樹脂モルタルがある程度引張力を負担するが、樹脂モルタルにひび割れが発生すると引張力を負担しなくなる為と推察される。HM-R3B 試験体の場合は計算値1をやや下回る荷重で鉄筋が降伏した。

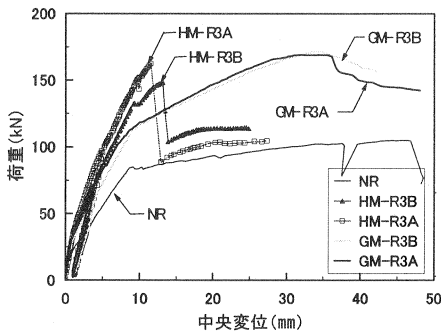


図-3 荷重-中央変位関係

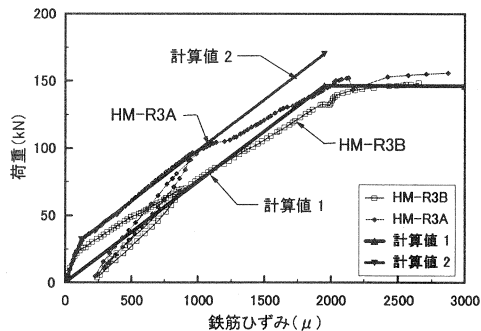


図-4 荷重-鉄筋ひずみ関係

2-3. 解析的検討

HM ロッドを使用した場合の埋設方法の差による影響を確認する為に、FEM による検討を行った。解析に使用したモデルを図-5に、樹脂モルタル層に発生する応力の解析結果を表-3に示す。表中ZX 面は試験体底面と平行な面の、YZ 面は試験体底面と垂直な面のせん断応力で、P=80kN 時の発生応力である。これによると、溝切埋設型のZX 面でのせん断応力が顕著であり、CFRP ロッド引抜試験から得られた付着強度と同程度の応力が発生している事が確認された。従って、溝切埋設型の試験体では鉄筋降伏以前に、CFRP-樹脂モルタル間で付着切れが発生したと推察される。

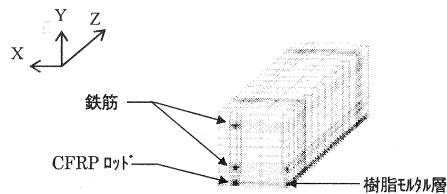


図-5 FEM 解析モデル (1/4 対称モデル)

表-3 樹脂モルタル層応力解析結果 (N/mm<sup>2</sup>)

試験体名	補強タイプ	ZX 面	YZ 面
HM-R3B	溝切埋設型	17.48	8.04
HM-R3A	全削埋設型	5.00	6.36

3. 輪荷重走行試験

3. 輪荷重走行試験

3-1. 試験体及び試験方法

静的載荷試験によって曲げ補強効果が確認されたので、次に本工法の疲労耐久性について検証を行う事とした。実験に使用した試験体の断面形状を図-6に示す。試験体の断面は、TL-20で設計された張出し床版付根部と同等厚さとし、各試験体は1m幅の一方向版とした。配筋量及び補強量は、T荷重=100kNが載荷された場合、部材の発生応力が一般に補強後の目標とされる発生応力(引張鉄筋応力で140N/mm<sup>2</sup>程度)となる様に設定した。

CFRP ロッドは、直径8φ、引張弾性率437kN/mm<sup>2</sup>のものを使用し、配置方法は溝切埋設型と全削埋設型の2種類とした。溝切埋設型は20mm×20mmの溝を作成し、その中に樹脂モルタルと共にCFRP ロッドを配し、全削埋設型は路面切削機を用いて試験体表面を所定の厚さ切削し、20mmの樹脂モルタル層の中にCFRP ロッドを配した。これらの試験体(No.2、No.3試験体)は、補強層に引張力が作用するものであるが、補強層に圧縮力が作用した場合の剥離の有無を確認する為の試験体(No.4試験体)も製作した。試験体種類を表-4に示す。

試験方法を図-7に示す。載荷は、試験体4体を横に並べ支間中央に輪荷重を載荷させる事で4体の疲労試験が一度に行える様にした。載荷回数は、100kNの輪荷重で15万回とし、その後さらに150kNで5万回の載荷を行った。

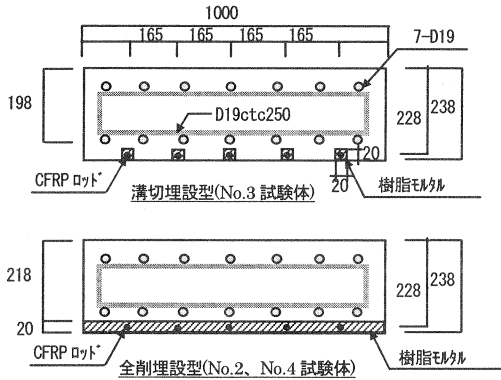


図-6 試験体断面形状

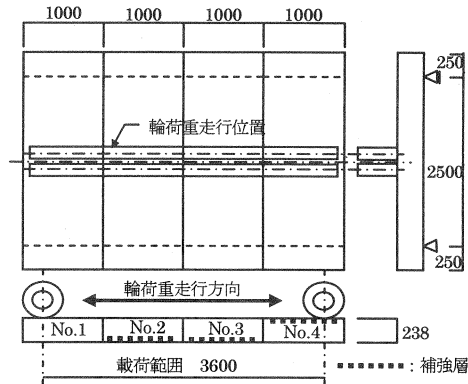


図-7 輪荷重試験方法

3-2. 輪荷重走行試験結果

各試験体の床版中央活荷重たわみ及び走行回数を図-8に示す。いずれの試験体も疲労破壊まで至らなかったが、補強試験体のたわみ量は無補強試験体と同様、走行回数全域にわたって安定した挙動を示した。輪荷重走行試験後の打音検査では、引張側及び圧縮側の樹脂モルタル層の剥離は見られなかった。

表-4 試験体種類

番号	補強材配置	埋設方法	補強量
No. 1	なし	—	—
No. 2	引張側	全削埋設	8φ×5本
No. 3		溝切埋設	8φ×5本
No. 4	圧縮側	全削埋設	8φ×3本

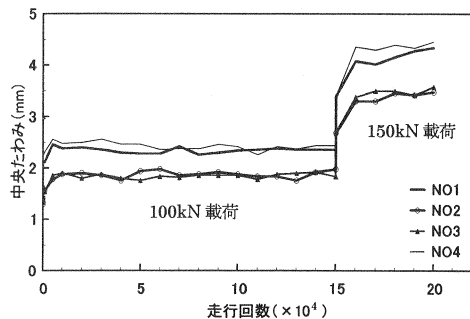


図-8 活荷重たわみ—走行回数関係

輪荷重走行試験中の1万回以降の試験体断面活荷重ひずみ分布を図-9に示す。ひび割れ発生後の補強試験体の断面ひずみ分布は試験前後とも直線上の分布を示し、中立軸の移動もほとんど見られなかった。従って、この結果からも輪荷重走行実験後に、既存床版と補強層が一体性を保持している事が確認された。

次に、100kN一定載荷を行った場合の補強部分の疲労耐久性を試算する。本試験は一方向版を使用したもので、コンクリートの曲げ引張の疲労強度を算出する次式<sup>1)</sup>を用いる。

$$f_{rd} = k_{1f} f_d (1 - \log N / K) \dots (1)$$

ここに、 $f_d = 150\text{kN}$  (15万回以降荷重)、 $k_{1f} = 1.0$  (引張及び曲げ引張の場合)

$N = 50000$ ,  $K = 10$  (湿潤状態の場合)

これにより、150kNの荷重による50000回の時点で付着破壊する静的破壊荷重は $f_d = 283\text{kN}$ となるので、この $f_d$ を用いて100kN時の破壊回数を算出すると、 $N = 2 \times 10^6$ 程度となる。従って、100kNの輪荷重が作用する場合、本補強工法は十分な疲労耐久性を有していると推察される。

### 3-3. 輪荷重走行試験後の静的載荷結果

輪荷重走行試験後に実施した静的曲げ試験結果を図-10に示す。載荷は4点曲げ(3等分点)とした。引張側を補強した試験体(No.2, No.3)はどちらもCFRPロッドの破断で最大耐力が決定したが、溝切埋設工法の方がやや曲げ剛性の小さい結果となった。

圧縮側に補強層を設けたNO.4試験体は、引張側鉄筋が降伏するまでCFRPロッドの圧縮ひずみは弾性域にあり、樹脂モルタルの浮き等も見られなかった。従って、補強層を圧縮域まで伸長した場合でも補強層の損傷等はないと考えられる。

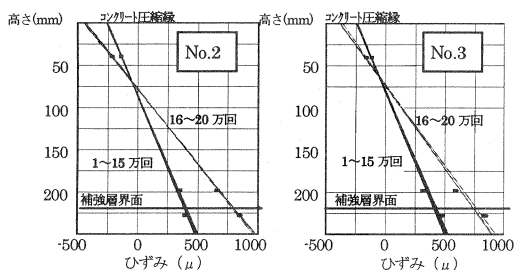


図-9 試験体断面活荷重ひずみ

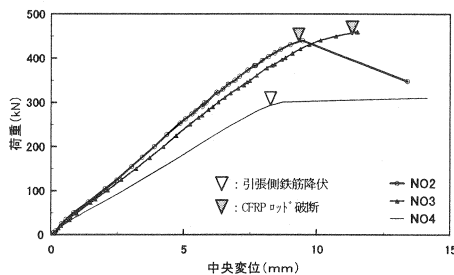


図-10 輪荷重走行試験後の静的載荷試験

## 4. まとめ

静的載荷試験及び輪荷重走行試験によって確認された内容を以下に示す。

### 4-1. 静的載荷試験

- (1) 樹脂モルタルを用いた全削埋設工法は、溝切埋設工法に比べてひび割れ抑制効果が高い。
- (2) CFRPロッド周辺の付着応力度は、全削埋設工法の方が溝切埋設工法に比べて小さくなる傾向にある。

### 4-2. 輪荷重走行試験

- (1) 走行試験中の活荷重たわみ及び活荷重ひずみ分布は安定した挙動を示しており、既存床版と補強層は一体性を保持していたと思われる。
- (2) CFRPロッドと樹脂モルタルで構成される全削埋設補強工法は、100kN程度の輪荷重に対して十分な疲労耐久性を有していると推察される。

## 5. 参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，丸善，2002.3