

床版補強用の炭素繊維シートの曲げ強さ評価に関する一検討

炭素繊維補修・補強工法技術研究会 正会員 ○久部 修弘, 松井 孝洋, 立石 晶洋
(国研) 土木研究所 正会員 村越 潤, 田中 良樹

1. はじめに

昭和 39 年改定の道路橋示方書で設計された道路橋鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）において、輪荷重による疲労劣化の問題が顕在化している。それらの床版は、床版下面もしくは上面を補強することにより疲労寿命が増加することが明らかとなっている。補強工法の一つである炭素繊維シート接着工法においてもその補強効果が輪荷重走行試験により評価され、床版の疲労劣化対策として適用されてきた。輪荷重走行試験における RC 床版の破壊進展過程では、主鉄筋方向のひび割れが上下貫通したはり状化後、輪荷重により隣り合うはりブロックがひび割れを境にして上下方向にずれる挙動を示す。この場合、炭素繊維シートにはせん断変形、曲げ変形が発生し、炭素繊維シートの破断が観察された検討例²⁾もあった。

炭素繊維強化ポリマー（以下、CFRP）は、古くから航空宇宙、産業分野において広く用いられ、さまざまな試験方法が日本工業規格で制定されている。一般に航空宇宙、産業分野に用いる CFRP は、プリプレグと呼ばれる炭素繊維に未硬化の樹脂を含浸させたシートを多数積層し、加圧と加温により硬化させるオートクレーブ成形を用いるため、樹脂量が最適化され、均一な厚さで高品質である。また、CFRP 単体で強度を保持することを求められることが多い。一方、床版補強等に用いられる炭素繊維シートは樹脂をコンクリート表面に塗布し、脱泡ローラでシートに樹脂を含浸させるハンドレイアップ成形であるため、樹脂量が均一ではなく、炭素繊維シートの上下に樹脂のみの層が形成されていると考えられる。また、炭素繊維シートは RC 構造物の断面力によって発生する引張力を負担するように設計され、単体での曲げ強度を求められることは無い。

本検討では、床版の輪荷重走行試験により、ひび割れを境にした上下方向のズレによる CFRP の曲げ変形に着目し、床版補強と同様のハンドレイアップ成形した CFRP 単体の曲げ強さおよび曲げ弾性率を確認することとした。

2. 試験概要

試験は、JIS K 7074-1988「炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法」に準じ、A 法の 3 点曲げ試験とした。使用材料は、高弾性型の炭素繊維シートと含浸樹脂にエポキシ樹脂を用いた。表 1 に使用した炭素繊維シートの物性値を示す。曲げ試験体は、並行して実施したコンクリート供試体の補強実験を実施するたびに同一の条件で採取した。作製は写真 1 に示すようにプラスチック板上で、寸法 300×250mm の範囲に、床版補強と同様に含浸樹脂下塗り/炭素繊維シート含浸脱泡/含浸樹脂上塗りの手順で行い、硬化させ、上塗り後は補強実験同様に表面を平滑にするためのフィルム等をかぶせなかった。複数層の場合は繊維方向をすべて同一とした。曲げ試験体は、硬化後にダイヤモンドカッターにより所定の幅 15mm に切断して採取し、載荷点となる箇所表面の凹凸はサンドペーパーで研磨して除去した。

試験は万能試験機で行い、各ケース 5 体、載荷速度 2mm/分とした。試験体の載荷スパンは規格に準じ試験体の厚さの (40±8) 倍とし、表 2 に示す。試験では荷重とクロスヘッド変位を測定し、曲げ強さと最大荷重の 10~30%間の曲げ弾性率を算出した。また、スパン中央の上下面にひずみゲージを貼付け CFRP のひずみを測定した。

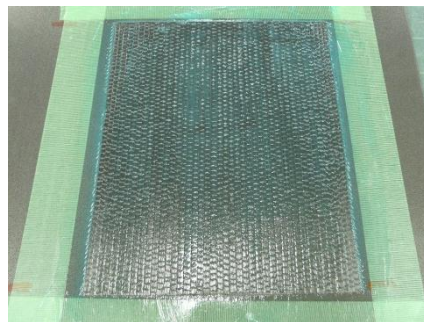


写真 1 試験体状況

3. 試験結果

破壊状況は、同じケースで破断した試験体と破断せず荷重が緩やかに低下した試験体が混在した。表 2 に曲げ試験結果、公称厚さから算出した繊維含有率 V_f 、引張弾性率 E_{cf} に V_f を乗じ

表 1 炭素繊維シート物性

種類	公称厚さ t_{cf} (mm)	保証引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 E_{cf} (N/mm ²)
高弾性型	0.143	1,900	640,000

キーワード 炭素繊維シート, CFRP, 曲げ試験, 床版補強

連絡先 〒103-0021 日本橋本石町 1-2-2 三菱樹脂インフラテック (株) TEL 03-3279-3074

表2 曲げ試験結果 (N=5 平均値)

No.	層数	厚さ t(mm)	載荷スパン (mm)	最大荷重 (N)	曲げ強さ (N/mm ²)	曲げ弾性率 E _e (N/mm ²)	繊維含有率 V _f (=t _{cf} /t)	計算引張弾性率 E _c (N/mm ²)	E _e /E _c
B1	1層	0.650	28	30.1	200	41,700	0.220	141,000	0.30
B2	1層	0.666	28	42.6	267	45,800	0.215	137,000	0.33
B3	1層	0.694	28	46.1	269	51,600	0.206	132,000	0.39
B4-1	1層	0.822	32	43.3	205	48,400	0.174	111,000	0.44
B4-2	2層	1.61	64	95.6	234	100,000	0.178	114,000	0.88
B4-3	3層	2.54	100	146	226	93,800	0.169	108,000	0.87
B5	1層	1.15	46	46.5	160	20,700	0.124	79,600	0.26

た計算引張弾性率 E_c, 実測曲げ弾性率 E_e と E_c の比 E_e/E_c を示す. 通常, コンクリート構造物の



写真2 上塗り樹脂が厚いケース

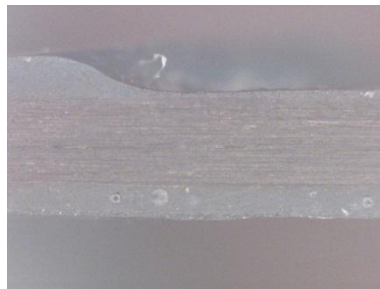


写真3 下塗り樹脂が厚いケース

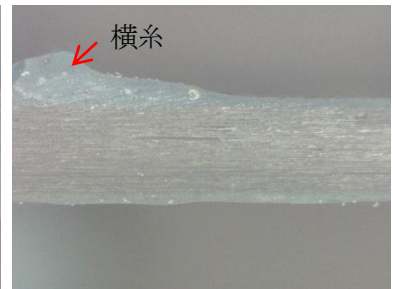


写真4 保形糸の樹脂が厚いケース

補強に用いる炭素繊維シートの物性は, 樹脂を無視した繊維重量から算出される公称断面積を用いて算出するが, 曲げ試験では全体の厚さを無視できないため, FRP としての断面積を用いて算出した. B1~4 の結果から 1 層の場合で平均曲げ強さが 235N/mm², 平均曲げ弾性率は 46,900N/mm² であった. B5 では樹脂が多く厚さが厚く, 見かけ上曲げ強さ, 曲げ弾性率が小さくなった. E_e/E_c も小さい結果であった. 写真 2~4 に 1 層の試験体の断面写真を示す. 上塗り樹脂が厚くなっているケース, 下塗り樹脂が厚くなっているケース, シート状に保形するための横糸近くでも部分的に樹脂が厚くなるケースがあり, 曲げ強さ, 曲げ弾性率を見かけ上小さく見せる可能性があると考えられる. 2 層の B4-2, 3 層の B4-3 では 1 層と比較して, 曲げ強さは変わらないものの, 曲げ弾性率が大きくなった. 中立軸から離れた位置に炭素繊維が配置されたことによると考えられる. また, E_e/E_c が 1 に近くなったことから繊維の配置が分散したと言える. 最大荷重時に破断しなかった試験体は, 圧縮側の樹脂が厚く, 樹脂が軟化挙動を示したため破断しなかったと推測する.

図 1 にひずみゲージによる上下面のひずみの測定結果例を示す. 本測定方法により, 引張側・圧縮側共に線形領域から非線形領域に移行する点を確認された.

4. まとめ

ハンドレイアップ成形された炭素繊維シートを曲げ試験した場合, 断面外側の樹脂が多くなる場合は見かけ上の曲げ強さ, 曲げ弾性率が小さくなる場合がある. このことから, 連続繊維シートの曲げ特性を評価する場合には, 樹脂の機械的特性および体積比に加え連続繊維の断面内での分布や配置なども考慮する必要がある.

参考文献

- 1) 建設省土木研究所, 炭素繊維補修・補強工法技術研究会: コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書 (Ⅲ), 1999.12.
- 2) 村越ら: 格子状に炭素繊維シート接着補強された RC 床版の輪荷重走行下における破壊性状, 第 70 回年次学術講演会概要集, I-213, 2015

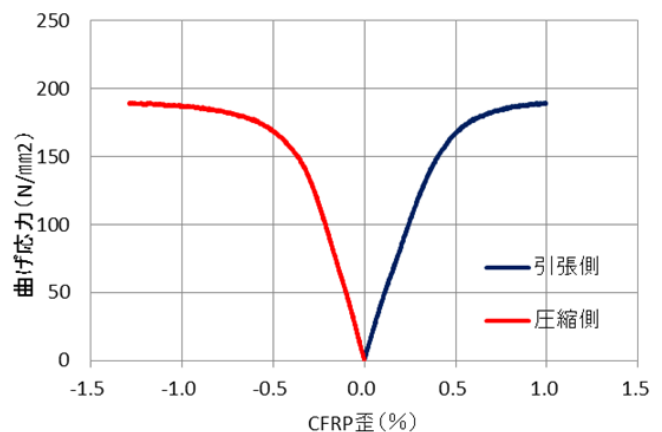


図1 応力-ひずみ関係 (B1_No.3)