

V-216 炭素繊維接着による床版補強の検討

首都高速道路公団 正会員 菊地 正剛
 首都高速道路公団 正会員 一桝 久允
 (株)オニセックコンサルタンツ 正会員 渡辺 英夫

1. まえがき

RC床版の補強は、一般的に縦桁増設工法や鋼板接着工法により行われているがこのような工法は狭い箱桁内部等の特殊箇所には適用できない。また、全面鋼板接着工法はコンクリート面を全て覆うため補強後のひびわれの状態がわからないという管理上の欠点がある。そこで、補強困難な狭い箇所やコンクリート面が見える補強工法の確立が必要となった。炭素繊維は格子状に接着が可能であり軽量で高強度しかも防錆の必要がない等多くの利点があるため補強材料として着目した。ここでは検討の第一段階として、炭素繊維をRC梁の下面に接着した場合の補強効果を載荷試験により確認したので結果を報告する。

2. 試験概要

標準的なRC床版に合わせて作成したRC梁供試体(寸法2500*330*180mm)の下面に各種の方法で炭素繊維を接着し、スパン中央の1点に荷重を漸増繰り返し載荷して一連の曲げ挙動を調べた。また合わせて炭素繊維接着時の施工性の確認も行った。表-1に供試体の種類を示す。

A供試体は各補強供試体と比較するための基準梁供試体とである

B供試体は炭素繊維補強と比較するための鋼板接着供試体でありRC梁供試体に鋼板(寸法2300*300*4.5mm)をエポキシ樹脂の注入により接着した。

Cシリーズ供試体はRC梁供試体に加熱硬化型クロスプリプレグ(炭素繊維を2方向に織ったクロスに加熱硬化型の樹脂を含浸させたもので、これを加熱すると樹脂が硬化する。)をパネルヒーターで150度30分加熱して接着したものである。補強層数と補強効果の関係を見るために補強層数は2層と4層の2ケースとした。Dシリーズ供試体はRC梁供試体にエポキシ樹脂によりクロス(炭素繊維を2方向に織った製品)を接着したものである。クロスの縦糸と横糸の重量比と補強効果の関係を調べるために2ケース(縦80%:横20%、縦50%:横50%)とし、Cシリーズ同様に補強層数は2層と4層の2ケースとした。

Eシリーズ供試体はRC梁供試体に硬化板(クロスプリプレグを補強層数分を工場で加熱圧着して張り合わせた成形板)をエポキシ樹脂の注入により接着したものである。また、端部の定着効果を見るためボルトによる機械定着を加えたケースを1体製作した。

表-1 試験供試体の種類

シリーズ	炭素繊維の種類・層厚	接着方法
A (RC) 基本	無	無
B 鋼板接着	鋼板(SS41) t=4.5mm	下地処理→埋めコン(配置間隔440*200)→注入法による接着
Cクロスプリプレグ	C-1 2層 クロスプリプレグ(縦80%:横20%)	下地処理→クロスプリプレグ加熱接着
	C-2 4層 クロスプリプレグ(縦80%:横20%)	同上
Dクロス	D-1-1 2層 クロス(縦80%:横20%)	下地処理→樹脂下塗→クロス接着→樹脂上塗
	D-1-2 4層 クロス(縦80%:横20%)	同上
	D-2-1 2層 クロス(縦50%:横50%)	同上
	D-2-2 4層 クロス(縦50%:横50%)	同上
E硬化板	E-1 硬化板 t=1.2mm	下地処理→注入法による接着
	E-2 定着 同上	下地処理→M16ボルト(端部定着4本)→注入法による接着

3. 試験結果と考察

(1) 炭素繊維の接着作業における施工性

加熱硬化型クロスプリプレグは既製パネルのヒーターを使用して加熱し圧着を行った。この加熱作業は煩雑な現場作業となる。これには、常温硬化型(樹脂のライフタイム等の問題がある。)があると良い。クロスへの樹脂の塗布、圧着、絞り出し等の繰り返し接着作業は、他の方法に比べて現場作業への依存度が高いため、品質の確保に注意が必要である。硬化板は重ね合わせの作業がないが鋼板接着のように注入接着する場合は、注入時のはらみやシール工に課題がある。

(2) 炭素繊維接着による補強効果

1) 曲げ耐力

炭素繊維補強供試体のひびわれ発生荷重、鉄筋降伏時の荷重及び最大荷重は無補強のRC供試体に比べてすべて増加(2層は約1.6倍、4層は約2倍)しており、その補強効果が認められ、表-2に試験結果の概要を示す。鋼板補強供試体と炭素繊維補強供試体の比較は炭素繊維と鋼板の引張耐力の比が65~78%程度とであることを考慮する必要がある。この点を考慮すると良く一致していることがわかる。

2) 使用状態における補強効果

無補強RC供試体の鉄筋応力度が1400kgf/cm²(活荷重作用時の許容応力度)となる載荷荷重時(P=1.5tf)における炭素繊維補強供試体の支間中央断面のたわみは、無補強RC供試体の37~62%となっており、ほぼ半減している。また、鉄筋応力度に対しても23~46%に減少しており、炭素繊維が鉄筋の負担を軽減していることがわかる。

表-2 試験結果

供試体	ひびわれ発生荷重		鉄筋許容 応力荷重 (1400kgf/cm ² (tf))	鉄筋降伏 荷重 (3850kgf/cm ² (tf))	コンクリート 3500μ発生 荷重 (tf)	補強材 降伏荷重 (tf)	補強材 破断荷重 (tf)	最大荷重 (破壊形式) (tf)	最大荷重 時のたわみ (mm)	破壊状況
	初期0.01tf (tf)	補強材端 部(ttf)								
A	0.75	—	1.5	4.5	4.75	—	—	4.9 (コンクリート圧壊)	30.6	4.5tfで鉄筋が降伏した後、変形が進み、4.5tf載荷点上縁コンクリートが圧壊。
B	2.5-5.5	10.0	10.6	14.0	鉄筋降伏後に急増	11.0 (3620kgf)	—	14.6 (コンクリート圧壊)	19.7	補強鋼板が11.0tfで降伏し、14tf鉄筋が降伏。14.6tfで載荷点上縁コンクリートが圧壊。
C-1	1.0-1.5	—	2.4	6.0	—	—	—	8.2 (ナガシ割離)	28.5	6.0tfで鉄筋が降伏。斜めひびわれの位置より補強材が割離した。
C-2	1.5	—	3.0	7.0	—	—	—	10.0 (ナガシ割離)	24.7	7.0tfで鉄筋が降伏。荷重10.0tfで中央より17cmの斜めひびわれ位置から端部にかけて補強材が割離した。
D-1-1	1.0-1.5	—	2.6	6.0	—	—	7.7	7.7 (ナガシの破断)	36.7	6.0tfで鉄筋が降伏。荷重7.7tfで中央より17cmの斜めひびわれ発生位置でバーンという音とともにクロスが破断した。
D-1-2	1.0-1.5	—	3.1	7.5	—	—	9.9	9.9 (ナガシの破断)	23.1	7.5tfで鉄筋が降伏。荷重9.9tfで中央より12cmのところでクロスが破断した。
D-2-1	1.0	—	2.7	6.5	—	—	7.7	7.7 (ナガシの破断)	30.6	6.5tfで鉄筋が降伏。荷重7.7tfで中央より22cmのところでクロスが破断した。
D-2-2	1.0-1.5	—	3.1	7.5	—	—	10.2	10.2 (ナガシの破断)	23.2	7.5tfで鉄筋が降伏。荷重10.2tfで中央より14cmの斜めひびわれ位置でクロスが破断した。
E-1	1.0-1.5	—	3.0	8.0	—	—	—	10.2 (硬化板割離)	23.1	8.0tfで鉄筋が降伏。荷重10.2tfで中央より端部まで硬化板が割離した。上縁に圧壊によるひびわれが見られた。樹脂厚さは3~8mm。
E-2	1.0-1.5	—	3.4	8.5	—	—	—	10.0(定着部硬化板破断) 10.0 (硬化板割離、破断)	20.1 (23.5mm/9.3tf)	8.5tfで鉄筋が降伏。荷重10.0tfで硬化板が割離して定着ボルト穴のところで破断した。割離は樹脂-コンクリート間で生じた。

4. 設計方法に関する考察

炭素繊維による補強供試体の使用時の応力度と曲げ耐力について、コンポジットの材料特性を用いてRCの理論による計算値と試験値を比較(表-3)した。その結果、コンポジット(エポキシ樹脂を含浸した炭素繊維)の強度を適切に設定すれば良く適合することがわかった。

表-3 計算値と試験結果の比較

供試体	載荷試験体に接着した炭素繊維補強材の試験結果						使用状態における補強材の応力度(kgf/cm ²)						曲げ破壊荷重(t) =測定値/計算値
	総厚 (mm)	引張強度 (kgf/mm ²)	引張弾性 率(kgf/cm ²)	炭素繊維の含有体積率			コンクリート強度 (ヤング係数)	載荷荷重 (t)	鉄筋ヤング 係数比	炭素ヤング 係数比	鉄筋応力度 =測定値/計算値	炭素繊維応力度 =測定値/計算値	
				縦	横	計							
C-1	1.395	39.5	4980	19.4	4.9	24.3	381(3*10 ⁴)	3.01	7	1.6	1940/2014=0.96	970/670 =1.45	8.2/8.8 =0.93
C-2	2.650	32.1	同上	20.5	5.1	25.6	同上	3.01	同上	1.6	1516/1649=0.92	566/556 =1.02	10.0/10.7=0.93
D-1-1	0.847	69.9	7670	32.1	8.0	40.1	同上	3.04	同上	2.6	1841/2049=0.90	979/1107 =0.88	7.7/9.0 =0.86
D-1-2	1.987	64.1	6640	27.3	6.9	34.2	同上	3.01	同上	2.2	1430/1649=0.87	805/765 =1.05	9.9/11.3 =0.88
D-2-1	1.472	21.7	4080	18.4	18.4	36.8	同上	3.01	同上	1.4	1720/2026=0.85	753/572 =1.32	7.7/7.1 =1.08
D-2-2	2.291	21.8	4720	23.6	23.6	47.2	同上	3.02	同上	1.6	1405/1731=0.81	514/571 =0.90	10.2/8.4 =1.21
E-1	1.492	108	9720	36.4	9.1	45.5	同上	3.01	同上	3.2	1426/1628=0.88	1306/1098=1.19	10.2/11.6=0.88
E-2	1.492	108	9720	36.4	9.1	45.5	同上	3.00	同上	3.2	1247/1628=0.77	1032/1098=0.94	10.0/11.6=0.86
5. おわりに	平均値										0.87	1.09	0.95

今回の基礎試験により、炭素繊維をRC部材の表面に接着した場合の曲げ挙動に関する基礎的な補強効果を調べた結果、補強材料としてその耐用性が高いことが確認できた。

今後は炭素繊維を用いた補強工法の実用化へ向けて、さらに試験要因を広げた追加試験、施工性面や設計方法に関する各種の検討を継続していく予定である。