

## 軽量コンクリート（Ⅱ種）と炭素繊維シートの付着特性に関する 実験的研究および一考察

首都高速道路（株） 正会員○岸田 政彦  
 首都高速道路（株） 正会員 井田 達郎  
 パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 樋口 祐治  
 新日鉄住金マテリアルズ（株） 正会員 小森 篤也

### 1. はじめに

近年、FRP 材料を用いたコンクリート構造物の補強が多く実施され、FRP 材料の中でも炭素繊維シートの接着による補強は、その材料特性より、道路橋 RC 床版への疲労対策や RC 橋脚の耐震補強などの用途に広く用いられている。

炭素繊維シート接着補強法は、被着体であるコンクリートと炭素繊維シートとの接着界面での剥離破壊で終局を迎えることが既往の研究にて報告されている。一方で、既存構造物には人工軽量粗骨材・細骨材を用いたコンクリート構造物も多く存在するが、それらを用いたコンクリートと炭素繊維シートとの付着特性については研究されていない。

本研究では、軽量 RC 床版への疲労対策の基礎研究として、粗骨材・細骨材共に人工軽量骨材を用いた軽量骨材コンクリート（Ⅱ種）（以下、軽量コンクリートという）を用い、その圧縮強度・養生条件をパラメータとして、炭素繊維シートの付着特性について実験的研究を行う。

### 2. 供試体の諸元・作成方法および試験方法

#### 2. 1 コンクリートの配合

本研究に用いるコンクリートの供試体の一覧および配合条件を表-1 に示す。炭素繊維シートの付着特性は、コンクリートの強度、コンクリートの養生条件の影響を受けると考えたため実験パラメータとして設定した。各供試体の設計基準強度は、既設の軽量 RC 床版で実績の多い 35N/mm<sup>2</sup>、普通 RC 床版で実績の多い 27N/mm<sup>2</sup>、高強度な普通 RC 床版で使用される 40N/mm<sup>2</sup> を選定した。

#### 2. 2 供試体の作成

本研究では、土木学会が定める JSCE-E 543-20134)「連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法（案）」に準拠し、普通コンクリートと軽量コンクリートにそれぞれ炭素繊維シートを接着し、コンクリートブロック供試体を作成した。

#### 2. 3 養生条件

コンクリート打設後、湿潤養生条件では 7 日間の湿潤養生、気中条件では 1 日間のみの湿潤養生を行ない、その後 28 日まで恒温恒湿室に静置養生した。

#### 2. 4 炭素繊維シートの付着試験方法

付着試験は、最大荷重 250kN の万能試験機を用いて、試験体両端のネジ部を試験機に固定し、その

表-1 供試体および配合条件一覧

供試体名称	コンクリート種別	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	養生条件	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )※						AE 減水剤	空気量調整剤 (C×%)			
								W	C	S	G	軽量S	軽量G 吸水率 28%			軽量G 吸水率 10%		
普27-MM-湿潤	普通	27	湿潤	8.0±2.5	4.5±1.5	56	47.4	160	286	286	981	---	250ml/ C=100kg	0.0015				
普35-MM-湿潤		35	気中			46	46		348	348								
普35-MM-気中		40	湿潤			41	45		390	390								
普40-MM-湿潤						56	48		153	273					563 (641)	233 (298)	233 (255)	
軽27-MM-湿潤	軽量	27	湿潤	5.0±1.5	4.5±1.5	42	48	148	352	---	492 (560)	229 (293)	231 (253)	0.0015				
軽35-MM-湿潤		35	気中			42	48	148							352	548 (624)	226 (288)	227 (248)
軽35-MM-気中		40	湿潤			36	45	153							425	492 (560)	229 (293)	231 (253)
軽40-MM-湿潤						40	湿潤	36							45	153	425	492 (560)

※ 軽量骨材の単位量は絶乾状態、普通骨材の単位量は表乾状態とする。なお、軽量骨材の( )内の数値は使用時密度を用いた単位量とする。

キーワード 軽量コンクリート、炭素繊維シート、界面剥離破壊エネルギー

連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 首都高速道路(株) TEL 03-3539-9449

後、荷重速度を 0.5mm/min の変位制御として炭素繊維シートが剥離するまで荷重した。

3. 試験結果

試験結果は、界面剥離破壊エネルギー( $G_f$ )、付着強度( $\tau_u$ )、有効付着長を考慮した付着強度( $\tau_y$ )および有効付着長( $L_e$ )により評価した。

3. 1 界面剥離破壊エネルギー( $G_f$ )による評価

すべての供試体において界面剥離破壊エネルギーは基準<sup>1)</sup>とされる 0.5N/mm を上回ることが確認された。しかし、普通・軽量コンクリート双方の供試体を比較すると普通コンクリートを用いた供試体は平均 0.95~1.27N/mm の範囲となったが、軽量コンクリートを用いた供試体は、0.51~0.71N/mm となり最大値でも普通コンクリートの界面破壊剥離エネルギーを上回ることにはなかった。

3. 2 付着強度 ( $\tau_u$ ) ( $\tau_y$ ) による評価

付着強度  $\tau_u$  において、すべての供試体で基準<sup>1)</sup>となる 0.44N/mm<sup>2</sup> を上回った。普通・軽量コンクリート共に、既往の設計法<sup>1)</sup>が適応可能なことが確認されたが、普通コンクリートと軽量コンクリートの付着強度  $\tau_u$  を比較すると、軽量コンクリートのほうが小さくなる傾向となった。

付着強度  $\tau_y$  は、付着強度  $\tau_u$  よりも通常、接着面積の考え方から値が上昇する。いずれの供試体も十分な付着強度を有しており、普通コンクリートを用いた供試体は 3.71~4.48N/mm<sup>2</sup> の範囲に、軽量コンクリートを用いた供試体は 3.63~4.88 N/mm<sup>2</sup> の範囲に分布しており、ほぼ同等のせん断付着強度を得られていることが確認された。

3. 3 有効付着長( $L_e$ )による評価

吉澤ら<sup>2)</sup>の研究により中弾性型炭素繊維シートを用いた場合の普通コンクリートでの有効付着長( $L_e$ )は 80~150mm 程度とされている。本研究においても普通コンクリートを用いた場合、106.7mm ~123.6mm の範囲となり妥当性が確認されたが、

表-2 供試体の破壊状況

供試体	界面剥離破壊エネルギー ( $G_f$ ) (N/mm)	付着強度 ( $\tau_u$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	付着強度 ( $\tau_y$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	有効付着長 ( $L_e$ ) (mm)
普27-MM-湿潤	1.27	1.83	3.91	106.7
普35-MM-湿潤	0.92	1.55	3.71	123.6
普40-MM-湿潤	0.95	1.58	4.48	110.8
普35-MM-気中	1.15	1.74	3.71	123.6
軽27-MM-湿潤	0.58	1.24	4.88	69.3
軽35-MM-湿潤	0.82	1.47	3.63	109.0
軽40-MM-湿潤	0.56	1.21	4.32	76.9
軽35-MM-気中	0.71	1.37	4.11	90.6

軽量コンクリートを用いた場合では 69.3mm~109.0mm の範囲となり普通コンクリートよりもおおむね低下する結果となった。

3. 4 破壊状況

供試体の剥離破壊状況を写真-1 に示す。すべての供試体は、炭素繊維シートの付着面近傍のコンクリートが炭素繊維シート側に接着したまま剥離破壊する結果となった。ただし、普通コンクリートを用いた供試体はコンクリート中のモルタル部分を引き剥がす形状で剥離破壊しているが、軽量コンクリートを用いた供試体は、骨材の強度が小さいことからセメントペースト部に加えて、人工軽量骨材の破断を伴いながら剥離破壊する結果となった。

4. まとめ

- (1) 付着強度  $\tau_u$  は、すべての供試体で設計基準に示される 0.44N/mm<sup>2</sup> を上回った。
- (2) 付着強度  $\tau_y$  は、軽量・普通コンクリートともに、ほぼ同等のせん断付着強度となることを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，コンクリートライブラリー第 101 号，2000
- 2) 吉澤ら：連続繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する検討，土木学会論文集 No. 662/V-49, pp.105-119, 2000



(1) 普通コンクリートの剥離破壊状況 (2) 軽量コンクリートの剥離破壊状況  
写真-1 供試体の破壊状況