

## 含浸接着剤の物性が炭素繊維シートとコンクリートの付着性状に及ぼす影響

九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 九州大学大学院 フェロー 松下 博通  
 ショーボンド建設(株) 柳川 悟 ショーボンド建設(株) 正会員 岳尾 弘洋

## 1. はじめに

接着理論においては、接着部における強度は被着材および接着剤の物性に依存するとされている。炭素繊維シートをコンクリートに接着し、積層数を増加させた場合、最大付着応力は変化しないが、有効付着長が大きくなり、付着応力集中が緩和され、付着強度が大きくなること既往の研究において確認されている。本研究では、炭素繊維シートの剥離メカニズムを明らかにすることを目的とし、含浸接着剤の物性が炭素繊維シートとコンクリートの付着性状に及ぼす影響について検討を行った。

## 2. 実験概要

供試体は図 - 1 に示す 10cm × 10cm × 90cm の炭素繊維シート補強コンクリート棒部材である。コンクリートの配合を表 - 1 に示す。炭素繊維シートは打設面と直交する 2 面に、繊維方向と供試体軸方向が一致するように幅 4cm で 1 層接着した。供試体は試験部と補強部とから成り、試験部のみ剥離するように、補強部には炭素繊維シートを重ね貼りした。供試体にはつかみ部として D19 の異形鉄筋を埋め込み、コンクリートの割裂破壊を防ぐため、らせん鉄筋を配置した。また、ひびわれの発生を誘導するため、深さ約 2cm の切り欠き部（ノッチ）を設けた。

本研究では、圧縮弾性率に着目し、表 - 2 に示す 5 種類の含浸接着剤を使用した。樹脂 A は、エポキシ樹脂にビスフェノール A 型エポキシ樹脂、硬化剤に変性脂肪族アミンを用い、反応性希釈剤、揺変剤等により性状を調整した。これに、エポキシ樹脂の分子構造中に柔軟な構造をもった変性エポキシ樹脂を配合し、その配合量により弾性率の異なる樹脂 B ~ 樹脂 E を調製した。なお、実際の施工で一般的に用いられる樹脂の物性は、樹脂 C とほぼ同じである。

供試体はコンクリート打設後 1 週間湿潤養生、その後気中養生を行い、材齢 3 週間でコンクリート表面の下地処理、プライマー塗布、炭素繊維シート接着を行い、材齢 28 日で試験を行った。試験時のコンクリートの圧縮強度は 32.1N/mm<sup>2</sup> であった。試験部の炭素繊維シート表面に 25mm 間隔で、ひずみゲージを貼付し、供試体軸方向に変位制御（0.03mm/min.）で引張力を与えた。

## 3. 実験結果および考察

いずれの供試体も、ノッチ位置にひび割れが発生した後、ノッチ位置から接着端部に向かって剥離進行し、剥離区間が接着端部に達した直後、試験部のコンクリートが引き抜け、終局に至った。試験終了後の炭素繊維

キーワード：炭素繊維シート、付着、剥離、含浸接着剤、圧縮弾性率

連絡先：〒 812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL & FAX 092-642-3271

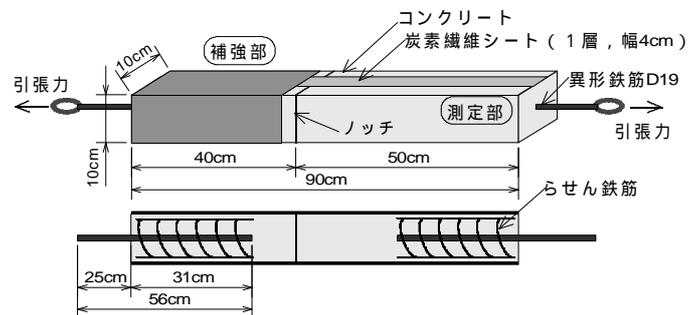


図 - 1 供試体形状寸法

表 - 1 コンクリートの配合

最大寸法 (mm)	水セメント 比 (W/C)	細骨材率 s/a	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
20	65%	45%	175	269	812	1120	1.346

表 - 2 含浸接着剤の物性

樹脂	圧縮降伏 強さ <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 弾性率 <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 強さ <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	引張 強さ <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	伸び率 <sup>3</sup> (%)	引張 せん断 接着強さ <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
樹脂A	110	3410	78.0	41.7	2.1	18
樹脂B	87.5	2770	81.7	50.9	4.0	26
樹脂C	78.0	2390	69.1	46.2	5.2	25
樹脂D	56.8	1920	50.4	34.9	6.3	26
樹脂E	42.3	1420	31.8	25.2	31	23

<sup>1</sup> JIS K 7208, <sup>2</sup> JIS K 7203, <sup>3</sup> JIS K 7113, <sup>4</sup> JIS K 6850

維シートの接着面にはコンクリート表層部のモルタルが付着しており、凝集破壊であることが観察された。

図 - 2 に圧縮弾性率と最大荷重との関係を示す。圧縮弾性率が大きいほど最大荷重が小さくなることから分かる。樹脂 C を用いた供試体の最大荷重が低くなっているのは、試験時に偏心荷重が作用したためである。

図 - 3, 図 - 4 に樹脂 A, 樹脂 E を使用した供試体 (以下, それぞれ「A 供試体」, 「E 供試体」と記す。) における炭素繊維シート引張ひずみ分布をそれぞれ示す。ひずみが大きく変化し、付着応力が発生している区間、すなわち有効付着域が接着端部へと移動し、剥離が進行している様子が伺える。有効付着域の長さはいずれの供試体も約 10cm であり、既往の研究とほぼ一致するが、樹脂の物性の違いによる差は明確には見受けられない。剥離後、A 供試体ではひずみ分布が水平になり、ひずみが約  $4,500 \times 10^{-6}$  で一定となるが、E 供試体は有効付着域が通過した後も緩やかにひずみが変化する部分が存在し、付着応力が発生している。以上のことより、含浸接着剤の弾性率が小さい場合、付着応力が発生する区間が長いから、最大荷重が大きくなるものと考えられる。

図 - 5 に A 供試体および E 供試体のひずみ分布から求めた付着応力と相対変位との関係を示す。付着応力の最大値  $\max$  は含浸接着剤の物性に依らず  $3 \sim 5\text{N/mm}^2$  の値となった。同一供試体において、測定位置によって  $\max$  にばらつきがあるため、図 - 5 の縦軸は  $\max$  を各測定位置における  $\max$  で除した比  $\text{付着応力} / \max$  で示している。

付着応力と相対変位の関係はいずれの供試体も弾性域および軟化域から成っており、同様の形状を示しているが、勾配や最大付着応力時の相対変位等が異なる。弾性域における勾配は A 供試体に比べて E 供試体の方が大きい。また、最大付着応力時の相対変位は A 供試体では  $0.06\text{mm}$  程度であるのに対し、E 供試体では  $0.08\text{mm}$  程度である。さらに、軟化域においては、E 供試体の方が勾配が小さく、同一相対変位で比較した付着応力は E 供試体の方が大きい。

4. 結論

本実験において得られた知見を以下に示す。

- (1) 含浸接着剤の弾性率が小さい方が炭素繊維シート剥離時の耐力は大きくなる。
- (2) 有効付着長および最大付着応力は含浸接着剤の物性に依らず、ほぼ一定である。
- (3) 炭素繊維シート - コンクリート間の付着応力 - 相対変位関係は、含浸接着剤の弾性率が小さいほど、最大付着応力時の相対変位が大きくなり、それ以降の軟化域における勾配が小さくなる。

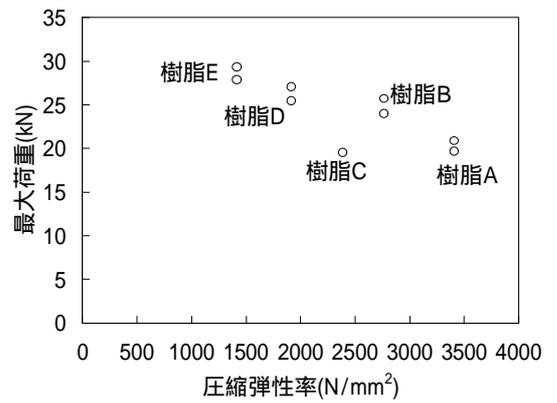


図 - 2 圧縮弾性率と最大荷重の関係

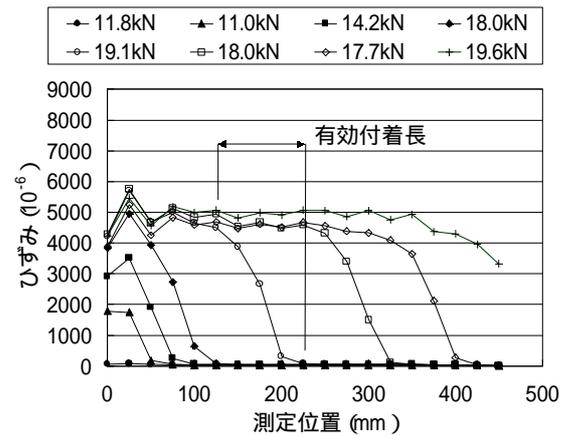


図 - 3 炭素繊維シートひずみ分布 (A供試体)

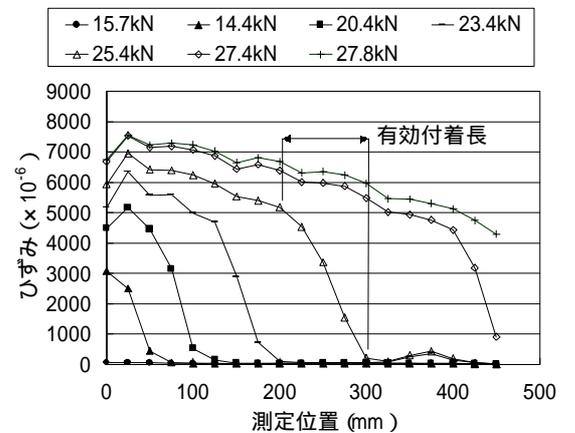


図 - 4 炭素繊維シートひずみ分布 (E供試体)

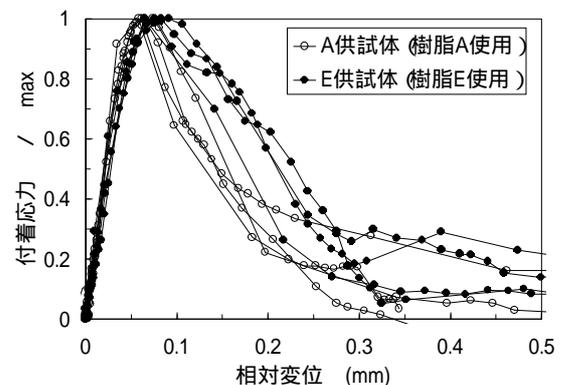


図 - 5 付着応力 - 相対変位関係