

両引き試験による炭素繊維シートの付着性状に関する研究

九州大学工学部 学生会員 徳永 雄司
九州大学大学院 フェロー 松下 博通
九州大学大学院 学生会員 佐川 康貴
ショーボンド建設(株) 正会員 岳尾 弘洋

1. はじめに

炭素繊維シート(以下、シート)を用いた補強工法は積層数を変化させることにより補強対象部材の保有性能および要求性能に応じた施工が可能であることから、適用事例が増加している。著者らは両引き試験によりシートの引張剛性(弾性係数と断面積との積)と剥離耐力は直線関係で表されとの結論を得た¹⁾が、引張剛性を变化させた場合のシートとコンクリート間の付着強度については十分な検討がなされていない。本研究では両引き試験を行い、引張剛性を变化させた場合の有効付着長、付着応力について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体の形状寸法を図-1に示す。供試体は断面10cm×10cm、長さ80cmのコンクリート棒部材に幅4cmのシートを供試体の向かい合う2面にエポキシ樹脂を用いて供試体全長に渡って接着したものである。コンクリートの配合を表-1に示す。試験時のつかみ部として供試体両端部には異形鉄筋を埋め込み、割裂破壊を防ぐためにらせん鉄筋を配置した。供試体は補強側と測定側とに区別し、測定側が破壊するように補強側には軸方向、軸直角方向の2方向に繊維が配列されるようシートを増し貼りした。ひび割れの発生を誘導するため、供試体にはあらかじめ深さ約2cmの切り込み(ノッチ)を入れた。本実験では表-2に示す2種類のシートを用い、表-3に示すように目付200, 1層, 2層, 3層, 4層の計5体の供試体を作製した。

2.2 実験方法

シートを接着し、一週間の養生を行った後に実験を行った。試験時のコンクリート強度は28.1N/mm²であった。シートには25mm間隔でひずみゲージ(検長5mm)を貼り付けた。供試体に埋め込んだ異形鉄筋にはつかみ部となる鎖を溶接しており、これと試験機の鎖とを連結させ、なるべく偏心を取り除いて実験を行った。载荷は変位制御(0.09mm/min.程度)で行った。

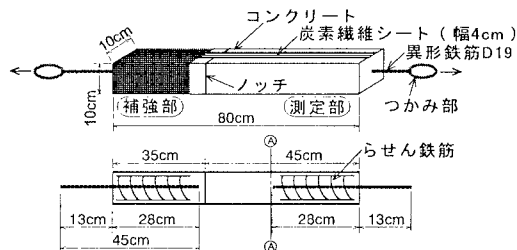


図-1 供試体形状寸法

表-1 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	Ad
49%	43.0%	163	333	755	1087	0.832

表-2 シートの物性

タイプ	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	設計厚さ (mm)	目付量 (g/m ²)	破断 伸び度
高強度タイプ	230	3480	0.167	300	1.5%
高強度タイプ	230	3480	0.111	200	1.5%

表-3 実験結果

3. 実験結果および考察

実験結果を表-3に示す。1層および目付200供試体はノッチ位置にひび割れが発生した後、接着端部に向かって剥離が進行し、剥離が接着端まで達した直後、測定部のコンクリートが引き抜けた。2層, 3層, 4

供試体	シート			最大荷重 P_{max} (kN)	破壊時* ひずみ ϵ_u ($\times 10^{-6}$)	付着** 応力 τ_{0max} (N/mm ²)	有効*** 付着長 l_e (mm)
	弾性係数 E_f (kN/mm ²)	厚さ t_f (mm)	引張剛性 $E_f \cdot t_f$ (kN/mm)				
目付200	230	0.111	25.5	21.6	10576	3.65	74
		0.167	38.4	26.6	8657	3.56	93
		0.334	76.8	47.8	7778	3.50	171
		0.501	115	51.3	5565	3.62	177
		0.668	154	61.1	4971	3.73	205

* (1)式による ** (2)式による *** (3)式による

層供試体はノッチ位置にひび割れが発生したものの、剥離は5cm程度しか進行せず、荷重が30kN程度に達すると供試体に埋め込んだ鉄筋の先端位置(図-1中、A-A断面)のコンクリートにひび割れが発生した。その後、剥離が接着端まで達した。

図-2はシートの引張剛性と最大荷重および(1)式によって求めた破壊時のひずみ ε_u との関係を示したものである。

$$\varepsilon_u = P_{\max} / (2 \cdot E_f \cdot b_f \cdot t_f) \quad (1)$$

ここで、 b_f はシートの接着幅(=40mm)である。図-2より、最大荷重は引張剛性と共に直線的に増加していることが分かる。一方、破壊時のひずみは減少している。なお、引張剛性は弾性係数と厚さとの積(単位接着幅当たりの引張剛性)で表した。

1層、2層、3層供試体のひずみ分布を図-3に示す。2層、3層供試体については、ノッチ、ひび割れ間を省略してある。いずれの供試体もひずみが大きく変化する区間が接着端部(右方向)へと移動し、剥離が進行している様子が伺える。ひずみが大きく変化する区間は付着力が作用している区間(有効付着域)であり、引張剛性が増加するにつれて有効付着域の長さは大きくなっている。

付着応力 τ_0 はひずみ分布の傾き($\Delta \varepsilon / \Delta l$)を用いて(2)式で求められる。

$$\tau_0 = \frac{\Delta \varepsilon \cdot E_f \cdot t_f}{\Delta l} \quad (2)$$

表-3には(2)式によって求めた τ_0 のうち、最大値 $\tau_{0\max}$ を各供試体について示してあるが、引張剛性が変化しても $\tau_{0\max}$ はほぼ一定の値を取ることが分かる。

さらに、(3)式を用いて有効付着長 l_e を求めると図-4のようになる。

$$l_e = P_{\max} / (2 \cdot \tau_0 \cdot b_f) \quad (3)$$

引張剛性が増加するに伴い l_e は増加している。本実験による1層($E_f \cdot t_f = 38.4 \text{ kN/mm}$)、2層($E_f \cdot t_f = 76.8 \text{ kN/mm}$)に対する l_e はそれぞれ93mm、171mmとなる。これは既往の実験結果(1層:10cm程度、2層:15cm程度)²⁾とほぼ一致する。

4. 結論

以上のことより、引張剛性を大きくした場合、シートとコンクリート間の付着応力は変化しないものの、付着力が作用する区間、すなわち有効付着域が長くなり、付着応力集中が緩和され、結果的に耐力が増加する。

参考文献

- 1) 岳尾ら: CFRP接着工法における炭素繊維シートの付着特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.1599-1604, 1997.
- 2) 岳尾ら: CFRP接着工法における炭素繊維シート付着耐力向上実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.431-436, 1998.

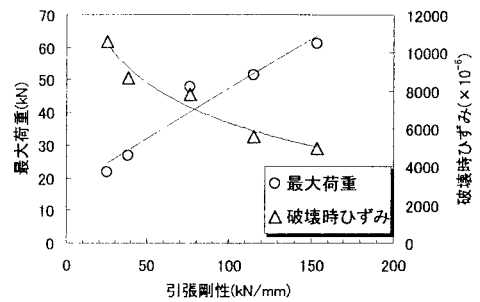
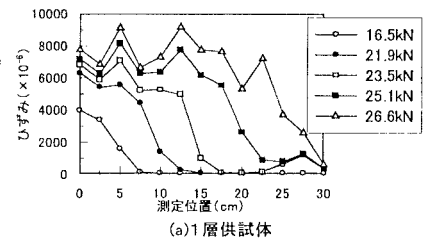
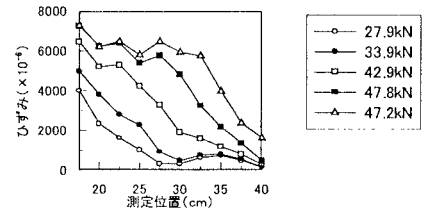


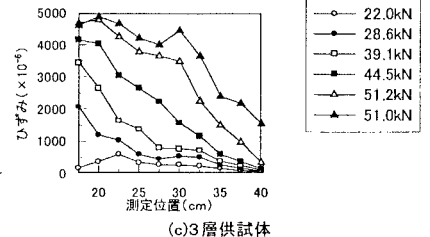
図-2 引張剛性と最大荷重、終局ひずみの関係



(a)1層供試体



(b)2層供試体



(c)3層供試体

図-3 ひずみ分布

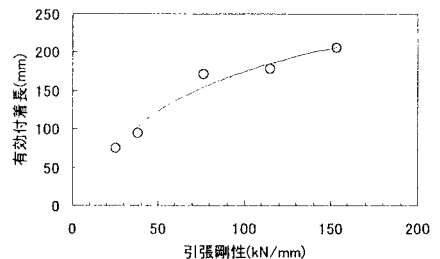


図-4 引張剛性と有効付着長(計算値)との関係