

V-36

一軸引張力を受ける炭素繊維シートの付着特性について

北海道大学工学部	学生員	浅野 靖幸
北海道大学工学部	正 員	佐藤 靖彦
清水建設(株)	正 員	小野 定
東燃(株)	正 員	小林 朗

1 はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の補修、補強に軽量で引張強度が高く、耐食性に優れた炭素繊維シート(以下、CFS《Carbon Fibre Sheet》と記す)が用いられるようになってきた。CFSで補強された構造物ではCFSとコンクリートの接着によりCFSに応力を負担させる。また、CFSで補強された構造物の破壊はCFSとコンクリートの付着が切れることによって起きることが多く、その付着特性を把握することが必要である。

本研究では、一軸引張力を受ける定着試験においてCFSの定着長を変化させ、CFSとコンクリートとの剥離のメカニズムについて検討した。

2 実験概要

図1に試験体の形状を示す。図のように角柱のコンクリート試験体の中央にD19の鉄筋を埋め込んだ。接着面をサンダーとプライマーで下地処理した後、CFSをエポキシ樹脂を用いて接着した。付着の境界を明確にするため、図のようにビニルテープを貼り非定着区間を設けた。また、試験区間において必ず破壊が起きるようにするため、右側部のコンクリートにはCFSを全周に貼り付け補強した。CFSの試験片の幅は50mmとし、定着長さは75mmと150mmの2種類とした。試験区間のシート上(両面)に引張方向に10mm間隔でひずみゲージを貼り付けひずみを測定した。载荷は万能試験機を用い、変位制御で行った。

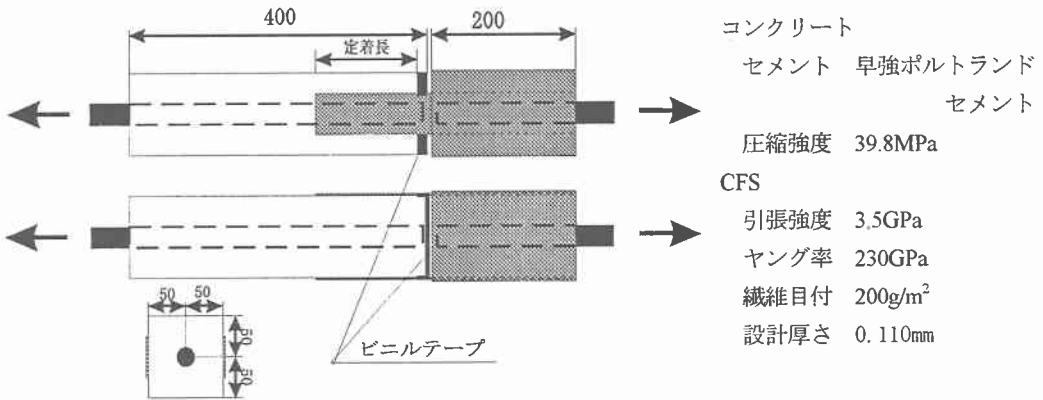


図1 試験体形状

3. 実験結果・考察

供試体A・Bの破壊荷重及び平均定着強度を表1に示す。平均定着強度は以下の式より求めた。

$$\bar{\tau}(\text{MPa}) = \frac{\text{破壊荷重(N)}}{\text{シートの面積(mm}^2\text{)}} \quad (1)$$

Bond Behavior of CarbonFibre Sheet under Uni-Axial Tension

by Yasuyuki ASANO, Yasuhiko SATO, Sadamu ONO and Akira KOBAYASI

なお、供試体Aを試験機にセットする際のスミスシートの一部がはがれてしまった(約3 cm²)ので計算においてはそれを考慮に入れた。図2に定着長と平均定着強度のグラフを示したが、既往の実験1)2)(繊維厚さが0.0165mmと0.0165mm×3層)との相関性も大変良いと考えられる。

表1 試験結果

試験体	定着長	試験体	平均定着強度
A	75mm	11.6 kN	0.16 MPa
B	150mm	18.4 kN	0.12 MPa

3・1 引張力の伝達と剥離

次に各供試体試験時の任意荷重におけるCFS表面のひずみとひずみ測定位置(CFSとコンクリートとの非接着部からの距離)との関係を図3・図4に示す。CFSは両面同時には剥離せず、片側のみ剥離したので、剥離に至った側の図を掲載した。これより読みとることができることは、荷重の増加に伴い、ひずみ測定位置0(非接着部)やその近傍ではひずみの値が大きく増加し非接着部より離れたところでは、ひずみの値が0や非常に小さ

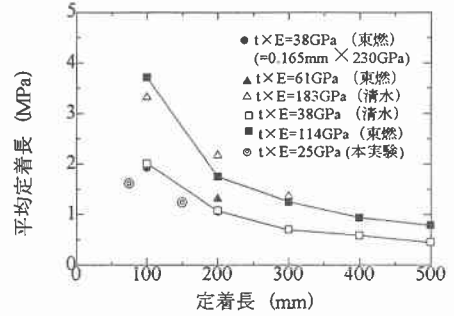


図2 定着長と平均定着長のグラフ

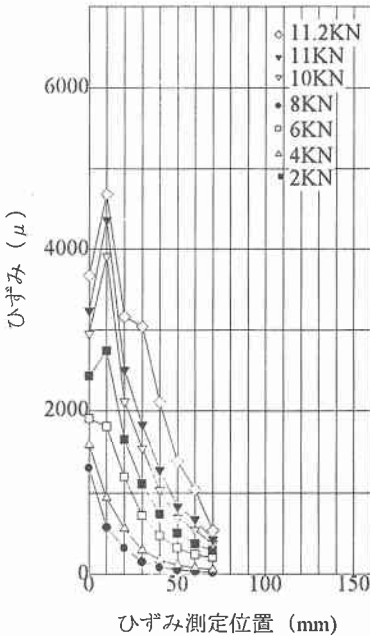


図3 供試体Aのひずみ分布

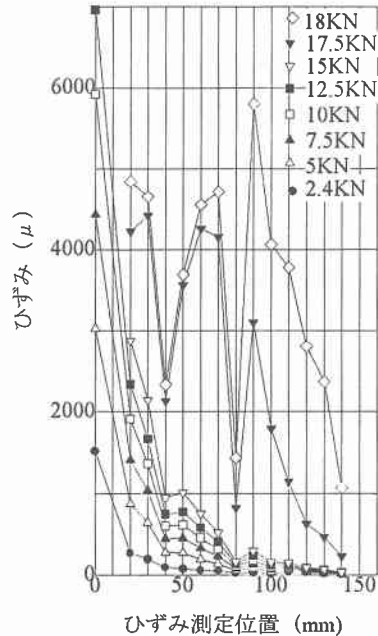


図4 供試体Bのひずみ分布

な値を示している。これより、非接着部近傍でしか応力が伝達されていないものと考えられる。また、その応力の分布は、ひずみの値が0のところより二次関数的に大きくなっていることが分かる。このことは既往の実験ではひずみゲージを貼り付ける間隔が広すぎたため分からなかったが、今回の実験では確認することができた。

次に定着長が75mmと短い供試体A(図3)に注目してみる。荷重が増加すると前述の二次曲線が徐々に上方にシフトしていき、非接着部より遠いところへも応力が伝達されてゆき、剥離直前には直線状にひずみ分布を示し急激に剥離することが分かった。一方定着長が150mmの供試体B(図4)でも、荷重の小さなうちは供試体Aと同じような曲線を示している。ところが、荷重17.5KNのとき、ひずみ測定位置20, 30, 70, 80mmでのひずみの値があまり変わらない。これは0mmから80mmの区間ではCFSがすでに剥離していることを示していると考えられる。この現象は既往の研究でも定着長の長いもの(定着長200mm以上)では見られ、非接着部から遠いところへ徐々に応力が伝達され、この応力がCFSとコンクリートとの付着の応力限界を超えると非接着部に近いところからCFSの一部が剥離し、再び応力が長手方向に伝達される。新しく付着力を受け持つことになった範囲では先程と同じように荷重の増加に伴い応力を伝達してゆく。このサイクルを繰り返すことによって最終的な破壊に至ることが分かる。そして図4から分かるように、最終的な破壊に至る直前にも供試体Aで見られたのと同様にひずみ分布は直線状になっている。以上の考えをまとめたのが図5である。次項ではこの考え方を基にして計算を行う。

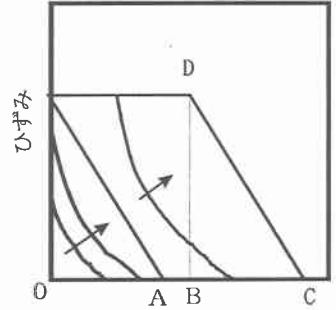


図5 ひずみ分布のイメージ

3・2 すべり量と平均定着強度の関係

次に破壊時のすべり量と平均定着強度との関係を見ていくが、すべり量は次の式で求める。

$$\text{すべり量 } S = \frac{1}{2} \epsilon_{\max} L \quad (2)$$

$$\epsilon_{\max} = \frac{\text{破壊荷重}}{\text{CFSの厚さ} \times \text{幅} \times \text{ヤング率}} \quad (3)$$

表2 実験データの詳細

シート	定着長 (mm)	剛性 (GPamm)	破壊荷重 (KN)	ϵ_{\max}	L (mm)	滑り量 (mm)	定着強度 (MPa)
FTS-C1-20 (本実験)	75	25	11.6	4579	75	0.17	1.61
	150		18.4	7263	80	0.29	2.31
FTS-C1-30(東燃)	200	38	21.0	5553	101	0.28	2.09
FTS-C1-30 (清水建設)	100		20.1	5283	96	0.25	2.09
	200		21.6	5694	104	0.29	2.08
	300		21.1	5552	101	0.28	2.09
	400		23.6	6218	113	0.35	2.09
	500		22.8	5993	109	0.33	2.09
FTS-C5-30(東燃)	200	61	26.2	4270	78	0.17	3.36
FTS-C1-30 3層 (清水建設)	100	114	22.8	3252	59	0.10	6.28
	200		34.5	3047	55	0.08	6.31
	300		37.8	3317	60	0.10	6.30
	400		37.6	3300	60	0.10	6.27
	500		39.6	3472	63	0.11	6.28
FTS-C5-30 3層	200	183	43.2	2346	43	0.05	10.06

まだ全く剥離の起きていない時(図5において左側の三角形の様なひずみ分布を示し破壊する時)はLはひずみが0となる時のひずみ測定距離0Aで表される。一部が剥離している時(図5においてある区間の値が一定でその後直線分布を示し破壊する時)はLは付着応力を負担している部分の長さBCで表される。

表2に本実験と既往の実験より求めた ϵ_{\max} , L, すべり量, 定着強度などを $t \times E$ (t =CFSの厚さ E =CFSのヤング率)で表される剛性の小さなものから並べた。この表より剛性の大きさとLとの間には関係があるように見てと

れる。ところでここでLの値を決定する際、本実験データはひずみ測定間隔が密であるので、図5のB点に相当する場所を見つけることができたが、既往の実験ではB点に相当するところを見つけるのが困難であった。しかし、図5のイメージを大胆に当てはめることによってLの値を決定した。すなわち、まずひずみ分布図において、剥離する直前のグラフが直線的になる部分の傾きはシートの種類・厚さによらず等しいと仮定し、本実験より求められた傾きと式(3)より求めた ϵ_{\max} を用いて点Dを決定する。その結果得られ

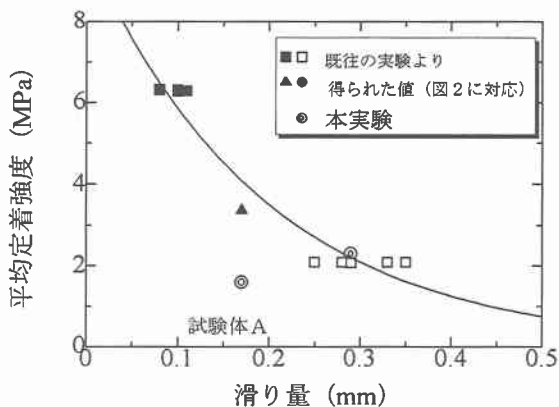


図6 滑り量と平均定着強度のグラフ

たすべり量と平均定着強度との関係を図6に示した。図2のグラフでは同じ厚さどうしのCFSの剥離時の平均定着強度の間には一義的な関係が認められたが、図6ではCFSの厚さによらず、すべり量が小さいものほど平均定着強度が大きくなる傾向が認められる。図6を見て分かるように本実験の試験体Aのデータは図中の曲線から大きくはずれているが、これは前述したミスの影響がかなり大きかったためと思われる。

4 まとめ

- (1) CFSの付着では付着力はシート全体で受け持つのではなく、荷重の小さいときには引張力を受ける非接着部の近傍で付着力を受け持っている。荷重が大きくなるとやがてシートの一部が剥離し、付着力は非接着部より遠いところで負担されるようになる。
- (2) 定着長の短いCFSの定着試験におけるひずみ分布は2次曲線を示す。しかし剥離直前では直線分布を示す。定着長の長いCFSではすでに剥離しているところでは、ひずみは一定値となり、剥離していない部分では定着長の短いものと同じ様な分布を示す。剥離直前の直線の傾きは、一部剥離時も最終破壊時も同じになると考えられる。
- (3) 剥離してひずみの値が一定の部分を見捨てたひずみ分布より得たすべり量が小さいほど平均定着強度は大きくなる傾向がある。

参考文献

- (1) 清水建設(株) 技術研究所 グリーンヒルパーク住宅団地 PCボックスカルバート補強材/炭素繊維シートの付着強度試験
- (2) 東燃(株) 炭素繊維シートとコンクリートの定着強度試験