

論文

[1166] 連続繊維補強材の形状が付着性状に及ぼす影響

鶴田浩章*1・阪本好史*2・牧角龍憲*3

1. はじめに

著者らは炭素繊維ネットによるコンクリートの有効な補強を目指し、その定着機構について様々な検討を行っている。ネット補強の場合、横線の定着により繊維を破断にいたらしめる補強効果が得られている[1][2]。その際ネット織り込み成形によって縦線が蛇行することも付着性状に影響することが考えられる。すなわち、引張方向に対してわずかではあるが波打つ補強材形状の場合には、その角度によってクサビ抵抗などの機械的抵抗が付加されることが想定される。

本研究では、繊維補強材の定着機構を明らかにするための一検討として、繊維成形材の形状に着目し連続繊維棒材をわずかな角度で波うたせ、その角度が付着性状にどのような影響を及ぼすかという点について両引き付着試験を行い、考察するものである。

2. 連続繊維棒材の作成方法

連続繊維棒材の作成においては、ピッチ系連続繊維を用いて直径10 μ mの素線30K(1Kは素線1000本)集束線3本を1本にまとめ使用した。木枠に張った炭素繊維をビスフェノール系エポキシ樹脂に浸した後、写真-1に示されるようにあらかじめ繊維角度に合わせてセットした滑車に沿わせてなめらかな曲線を描くように配置し、乾燥炉により80 $^{\circ}$ C、2時間で硬化させ作成した。繊維角度については0 $^{\circ}$ 、2.5 $^{\circ}$ 、5 $^{\circ}$ 、10 $^{\circ}$ の4種類とし、全

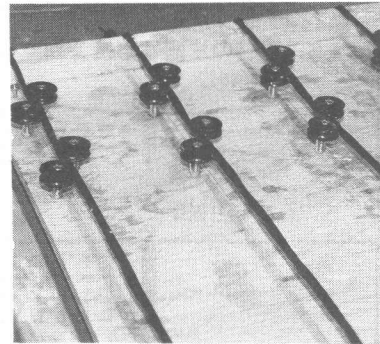


写真-1 連続繊維棒材の作成状況

て繊維長さは30cmとした。この長さは直線材においては付着滑りが生じる長さで、付着が十分でない場合の

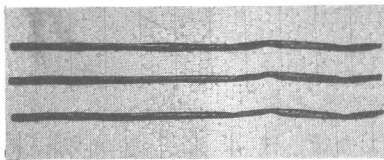


写真-2-(1) 棒材(2.5 $^{\circ}$)の外観

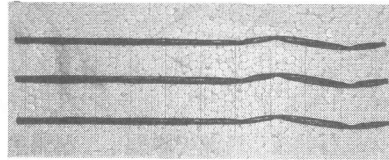


写真-2-(2) 棒材(5 $^{\circ}$)の外観

付着(定着)性状を調べるためにこの長さに決定した。折れ角を設ける部位は写真-2-(1)~(3)にみられるように片側のみとし端から長さ12cmの範囲内に2つの凸凹を設けた。棒材の反対側の直線部は供試体作成時に金網を付加し確実な定着が得られるようにした。なお、10 $^{\circ}$ については山部が1個と2個の2種類とした。

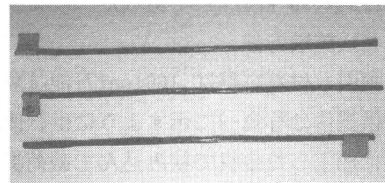


写真-2-(3) 棒材(0 $^{\circ}$)の外観

- *1 九州大学助手 工学部建設都市工学科、工修(正会員)
- *2 九州大学教授 工学部建設都市工学科、工博(正会員)
- *3 九州大学助教授 工学部建設都市工学科、工博(正会員)

表-1には各棒材の樹脂含浸率と棒材の実測直径を示している。

表-1 連続繊維棒材のエポキシ樹脂含浸率と実測直径

角度 No.	樹脂含浸率 (%)	平均直径 (mm)	角度 No.	樹脂含浸率 (%)	平均直径 (mm)	
0° - 1	47.5	5.70	5.0° - 1	47.5	4.84	
	2	46.0		2	44.4	5.05
	3	44.4		3	44.4	4.81
	4	47.5		4	57.0	5.68
	5	49.2		5	52.8	5.20
	6	50.0		6	56.0	6.03
2.5° - 1	50.3	5.13	10° - 1	51.5	5.07	
	2	46.0		2	48.9	4.53
	3	46.0		3	48.9	4.67
	4	53.9		4	55.0	5.13
	5	52.8		5	50.3	4.90
	6	53.9		5.23	6	50.3

3. 両引き付着試験方法

作成した連続繊維棒材の付着特性を検討するために両引き付着試験を行った。

(1) 両引き付着試験供試体

図-1のように10cm×10cm×40cmの角柱にくびれをつけ、切り欠きを設けた供試体を使用した。角度0°、2.5°、5°ともに表面無処理のものを3体、表面をシリコングリス処理したものを3体の計6体ずつ、10°については6体とも表面無処理で作成した。切り欠き部は厚さ9mmの板に直径6mmの穴をあけ棒材を通し写真-3のように型枠にセットした。なお、棒材の片側は溶接金網で補強した。

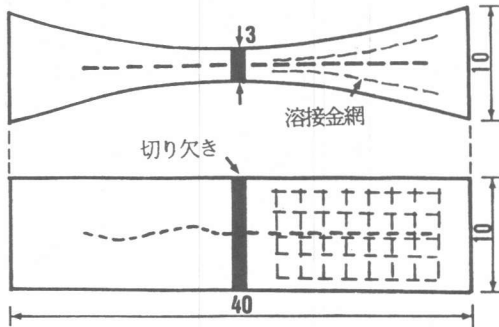


図-1 供試体の形状および寸法

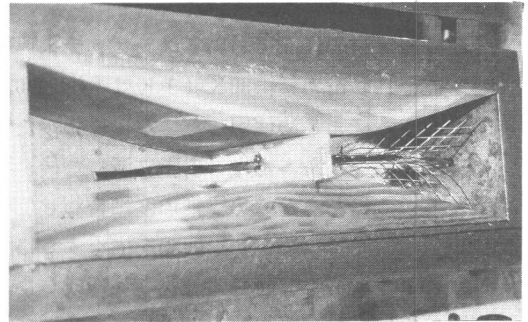


写真-3 連続繊維棒材の型枠へのセット状況

コンクリートは早強ポルトランドセメントを用い、G.max=10mm、W/C=40%、スランプは8cmである。供試体は打設後7時間で脱型し、湿潤養生した後、材齢3日で試験した。なお、本試験に用いたコンクリートの平均圧縮強度は373.4kgf/cm²、平均弾性係数は2.54×10⁵kgf/cm²であった。

(2) 試験方法

両引き付着試験は100tonf万能試験機を用いて行い供試体は写真-4に示すように供試体端部と同じ形状に加工した金具で挟み込んで載荷具に固定した。荷重はロードセル（容量5tonf）にて計測した。また、切り欠き部での滑り出し量を含む変位量を供試体の両側に測定長100mmでセットした変位計を用いて測定した。

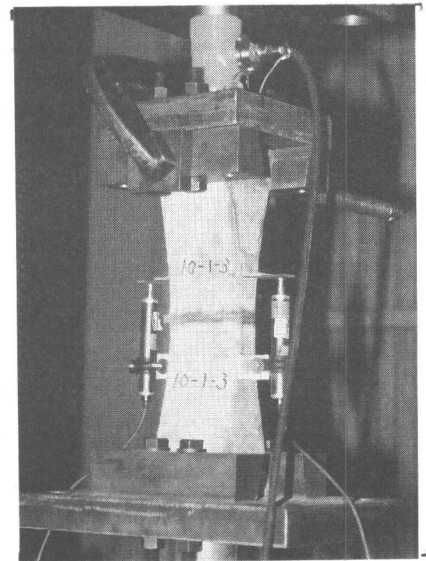


写真-4 両引き付着試験状況

4. 両引き付着試験の結果および考察

表-2に試験結果として最大引張荷重と破断状況を示す。試験に用いた炭素繊維棒材の0° プリプレグ積層板の引張強度(165kgf/mm²)から算定した破断荷重は1040kgfであり、弾性係数は18tf/mm²である。表中の“割裂破壊”は棒材周辺コンクリート部にひび割れが生じて、それにより荷重が増加しなかった状態を、“割裂破壊・繊維破断”は割裂ひび割れが生じた直後に繊維破断した状態を表している。埋め込み長さを短くして付着長が不十分な条件で試験を行っているため、直線材(0°)においては、いずれの場合もすり抜けが生じている。また、棒材の表面にシリコングリスを塗布して摩擦抵抗を減じた供試体(0°-No.4~No.6)ではさらに低い荷重ですり抜けが生じている。

表-2 最大荷重と破断・破壊状況

角度	No.	表面処理	最大荷重(kgf)	平均(kgf)	破壊・破断状況
0°	1	無し	600	730	繊維すり抜け 繊維すり抜け 繊維すり抜け
	2		730		
	3		860		
	4	有り	650	495	繊維すり抜け 繊維すり抜け 繊維すり抜け
	5		410		
	6		425		
2.5°	1	無し	690	720	割裂破壊 割裂破壊 割裂破壊
	2		670		
	3		800		
	4	有り	745	702	割裂破壊 繊維破断 繊維破断
	5		700		
	6		660		
5.0°	1	無し	600	573	割裂破壊 割裂破壊 割裂破壊
	2		530		
	3		590		
	4	有り	660	638	割裂破壊・繊維破断 割裂破壊・繊維破断 繊維破断
	5		700		
	6		555		
10°	1	無し	500	503	割裂破壊・繊維破断 割裂破壊・繊維破断 割裂破壊・繊維破断
	2		490		
	3		520		
	4	無し	430	475	割裂破壊・繊維破断 割裂破壊・繊維破断 割裂破壊・繊維破断
	5		510		
	6		485		

これに対して、波打させた棒材を埋め込んだ供試体においては、いずれの場合もすり抜けは生じずに棒材の引張破断あるいは棒材周辺コンクリートの割裂破壊が生じており、棒材線形のわずかな違いによって定着性状が異なることが認められる。また、シリコングリスを塗布して表面処理した場合においても直線材のみられるような最大荷重の低下は認められず、繊維破断に至るまで定着されていることが分かる。このとき角度2.5°の棒材を埋め込んだ供試体の最大荷重は直線材の約1.4倍になっており引張方向に対してわずかな角度が存在することによるくさび作用が生じて、その機械的抵抗が無視できない程度に大きいことが推察される。これらの繊維形状の違いによる引張性状の相違は荷重と滑り量の関係においても顕著に認められる。図-2~5に荷重-変位置量の測定結果の一例を示す。

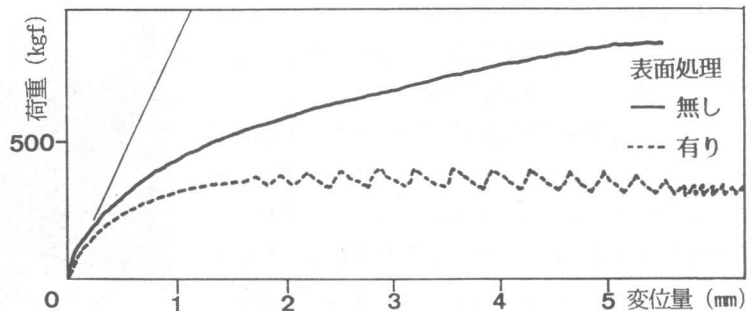


図-2 荷重-変位置曲線(0°)

図中の実線は表面処理無し（付着有り）、破線は表面処理有り（付着無し）を表し、細線は棒材の弾性伸びを表す。ただし、図-5については実線が山数1を、破線が山数2を示し、全て表面処理無しを表している。

図-2は直線材の場合であるが弾性伸びを表す細線と曲線が一致する範囲は狭く、低い荷重からすり抜けが生じていることが分かる。これに対して、図-3に示す角度 2.5° 、図-4に示す角度 5° の棒材の場合には荷重 300kgf までは弾性伸びにほぼ一致し、その後の滑り出しも極めて緩慢であり、少ない変位量で破断に至っている。さらに、図-5に示す角度 10° の場合変位量はさらに少なく、 $2.5^\circ \cdot 5^\circ$ よりもさらに低い荷重で破断している。

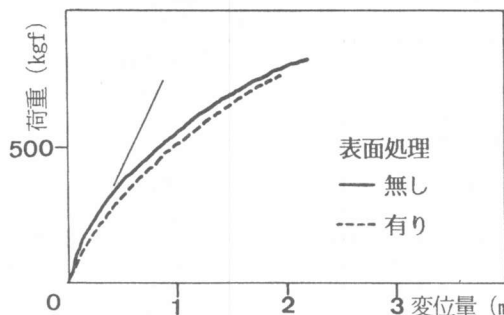


図-3 荷重-変位曲線 (2.5°)

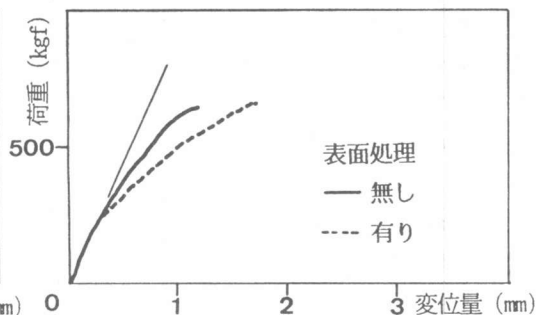


図-4 荷重-変位曲線 (5°)

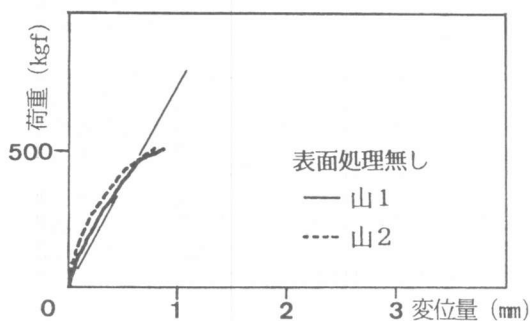


図-5 荷重-変位曲線 (10°)

また、表面処理無しで波打たせた棒材の場合には棒材周辺のコンクリートにひび割れが生じ、異形鉄筋の場合にみられる付着破壊と似たような現象がみられた。その状況を写真-5に示す。これらのことから引張方向にわずかな角度が存在することは繊維とコンクリートの定着力に大きく影響するといえる。

一方、試験に用いた炭素繊維棒材の 0° プリアプレグ積層板の引張強度 ($165\text{kgf}/\text{mm}^2$) から算定した破断荷重 1040kgf と比較すると波打たせた棒材の破断荷重はかなり低下している。また、角度が 5° の棒材の引張荷重は角度 2.5° のそれより10%低下している。すなわち引張強さに関して言えば引張方向に対してわずかな角度が存在することは負の要因になること

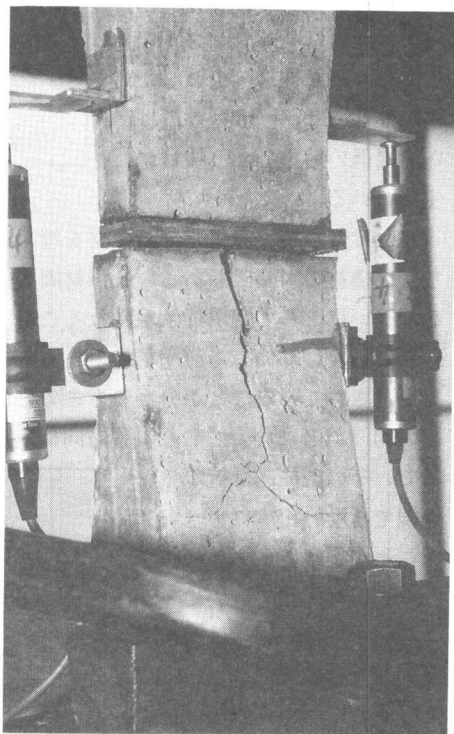


写真-5 割裂ひび割れの発生状況

が分かる。これは角度がつくことにより折れ角部に曲げが生じて引張応力が付加されるためと考えられる。

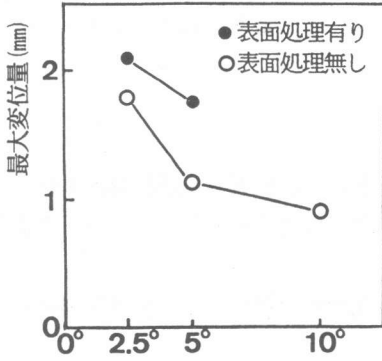


図-6 角度-最大変位量関係

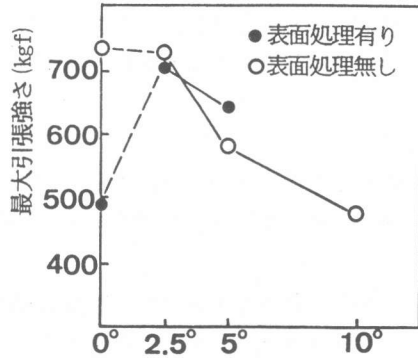


図-7 角度-最大引張強さ関係

以上の結果をまとめて、定着程度の影響を示すと考えられる最大変位量を図-6に、曲げの影響を受けると考えられる最大引張強さを図-7に示す。図-7中の2.5°、5°、10°のプロットは繊維が破断しているが、0°のプロットは付着長が十分でない場合であり繊維が破断しておらず、すり抜けているので他のプロットとは点線で結んでいる。

さらに図-8は、今回のように十分な付着長が得られない場合の棒材の波打ち角度と引張抵抗力との関係を表したものである。

A図の TOTALは角度と定着力の関係であり、十分な定着が得られる場合を1として、定着力を繊維の周面付着抵抗と角度による支圧抵抗、クサビ作用によって表している。点線は付着長の増減による周面付着抵抗の変化で定着力が増減することを示している。

B図の TOTALは角度と引張強さの関係を示している。引張強さは繊維断面積による破断荷重の計算値との比であり角度による曲げの作用により低下してしまい、さらに曲線部での応力集中により低下することを示している。

C図は角度と引張抵抗の関係を示すもので、引張抵抗は定着が十分で破断できる時

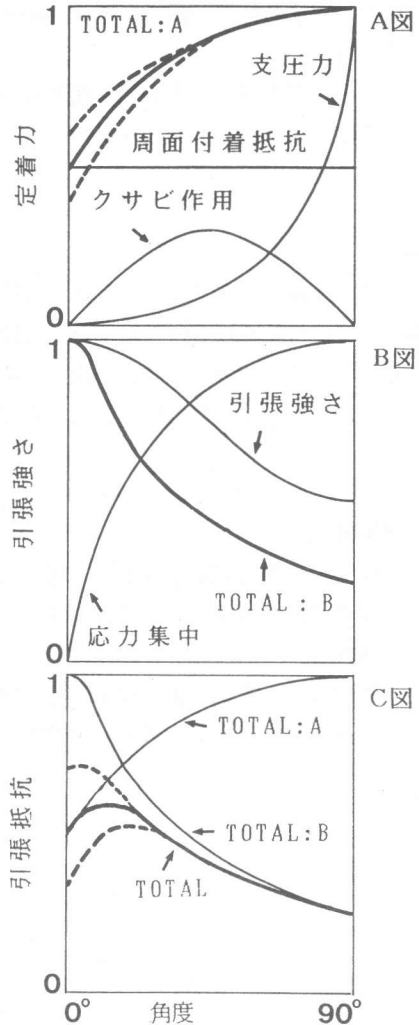


図-8 十分な付着長が得られない場合の棒材の波打ち角度と引張抵抗力の関係図

を1としており、A図の定着力とB図の応力集中を考慮した引張強さにより引張抵抗が変化している状況を表している。引張抵抗は破断しない場合も含み、点線は付着長の増減による定着力と引張強さの相関により引張抵抗が上下することを示しており、このような概念で棒材の形状が付着性状に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

5. まとめ

繊維補強材の定着機構を明らかにするために、繊維成形材の形状に着目し連続繊維棒材をわずかな角度で波打たせ、両引き付着試験を行った結果明らかになった点をまとめると以下のようになる。

- (1) 繊維補強材の軸線と引張力の作用方向とのわずかな角度の存在により、繊維補強材とコンクリートとの定着性状が大きく変化する。
- (2) 補強材周面の摩擦抵抗が小さい場合でも波打たせた棒材においてはクサビ作用によって引張力に対する抵抗が増し、直線材がすり抜ける付着長であっても、破断に至る定着効果が得られる。
- (3) 一方、引張強さに関しては補強材の軸線と引張方向とのわずかな角度の存在により曲げの影響が付加されて引張強さが大きく低下する。

謝辞

本研究で使用した炭素繊維は大阪ガス株式会社 開発研究所より提供していただき、供試体の作製ならびに付着試験を行うにあたっては九州大学卒論生の丸目一弘君と森脇徹君の多大な協力を得ました。また、大日本インキ化学工業株式会社 ポリマ関連事業本部からは棒材作製方法についての助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 南英明、牧角龍憲、岡田慎一郎：もしゃ織り成形のピッチ系炭素繊維ネットで補強したモルタルの引張特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.2、pp.1037-1042、1990.6
- 2) 鶴田浩章、阪本好史、牧角龍憲、岡田慎一郎：太径粗メッシュ炭素繊維ネットの試作検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.2、pp.607-612、1992.6