

連続繊維棒材のコンクリートとの付着機構とその長期性状について

京都大学 学生員 川崎 浩司 正員 服部 篤史

大阪工業大学 正員 井上 晋 京都大学 正員 宮川 豊章 藤井 学

1. はじめに：本研究

究では、連続繊維棒材を対象として、種々の付着長条件下での片引試験に

より、コンクリートとの付着応力分布の定量的評価を試みるとともに、種々の付着長条件下で持続引拔荷重を与える付着クリープ試験を実施し、経時的な付着すべりの進行程度について、特に荷重端変位に着目して検討した。

2. 実験概要：片引および付着クリープ試験では、表1に示す2種類の連続繊維棒材を断面100×100mmのコンクリートブロック($f_{\alpha}=30\text{MPa}$)に埋め込んだ供試体を使用した。片引試験では、さらに比較用として異形鉄筋D6も用いた。付着長は、いずれの棒材も、片引試験では64、200、300および400mm、付着クリープ試験では200および300mmとした。なお割裂補強用にスパイラル筋を配置した。

・片引試験：静的な漸増引拔荷重を与え、500Nごとに荷重端変位および自由端変位の測定を行った。炭素より線およびアラミド異形棒は、破断荷重に達するか、または自由端変位がおよそ6mmになった時点、異形鉄筋は降伏荷重以上に達した時点で測定を終了した。

・付着クリープ試験：片引で引拔荷重を持続的に与えるものとした。引拔荷重はそれぞれの連続繊維棒材の破断強度の10、20%にあたる荷重とした。供試体は図1に示すようなダンベル型とし、荷重端および自由端変位を測定した。

3. 実験結果および考察

・片引試験：図2に引拔荷重と荷重端変位の関係を示す。

炭素より線はある引拔荷重に達すると、荷重端および自由端の変位量が急増するとともに引拔荷重が大きく減少したり、引拔荷重載荷中、回転しながら引抜け、より線と異形丸棒という棒材の表面加工の違いのため、引拔性状が他の棒材と大きく異なった。同一の引拔荷重での荷重端変位は、連続繊維棒材ではアラミド異形棒のほうが大きく、引拔荷重10kNで炭素より線の1.5~2倍となった。また、荷重端変位が生じる初期段階においては異形鉄筋のほうが連続繊維棒材より変位が小さく、わずかしかないうちに棒材が降伏に達した。一方、同一の棒材では、付着長が異なっても、荷重端変位が生じる初期段階あるいは自由端変位が生じるまでの引拔荷重-荷重端変位関係はほぼ等しかった。この荷重以下では、各棒材によってすべり性状は異なるものの、同一の棒材では、等しい引拔荷重に対しては、付着長によらず、付着応力分布やすべり分布が等しいことが推察される。両連続繊維棒材の自由端変位発生時の引拔荷重は、図3に示すように、両棒材とも付着長64mmのときを除き、ほぼ付着長に比例した。このことから、付着長64mmの場合はすべりの進展による付着応力上昇域の影響を強く受けたのに対し、付着長が200mm以上の場合は付着応力分布にお

表1 連続繊維棒材

棒材名	マトリックス	形状	公称周長(mm)	公称断面積(mm ²)
炭素より線	エポキシ樹脂	より線φ7.5	19.5	30.4
アラミド異形棒	ビニルエステル樹脂	異形丸棒φ6	18.8	28.3

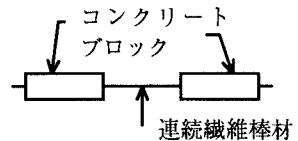


図1 ダンベル型供試体

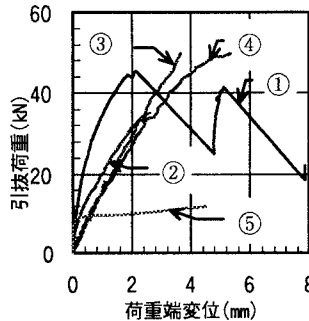


図2 引拔荷重-荷重端変位関係

ただし、炭素より線① 300mm、アラミド異形棒② 200mm ③ 300mm、④ 400mm、異形鉄筋⑤ 300mm

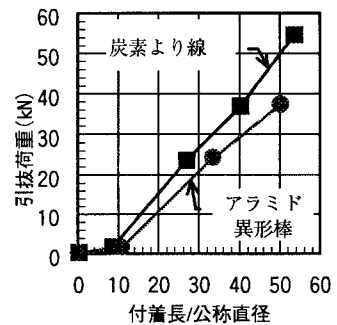


図3 自由端変位発生時の引拔荷重-付着長関係

いて一定値となる平坦な領域が多いことが考えられる。

両連続繊維棒材の付着応力分布を図4(a)のような最大付着応力以降、付着応力が一定となる台形型と仮定し、自由端変位発生時の引抜荷重を用いて、最大付着応力 $\tau_{\max}$ (N/mm²) とそれに達するときの付着長 x_c (mm) を求めることによって、付着応力分布を定式化した。自由端変位発生時の引抜荷重は付着応力の積分値に棒材の周長を乗じたものに等しいとした。まず、いずれの付着長でも応力一定区間がない三角形分布となると仮定し、自由端変位発生時の荷重端の付着応力と付着長の関係(図5)を表したところ、仮定より直線状となるところが、両棒材とも付着長が200mm(炭素より線で26.7D、アラミド異形棒で33.3D)で大きく折れ曲がった形となった。すなわち、 $x_c \leq 200$ または $200 \leq x_c \leq 300$ で最大付着応力が発生することがわかる。 $x_c \leq 200$ のとき図4(b)のような概略図となり、付着長200、300mmのときの自由端変位発生時の引抜荷重の差は、網かけ部分に棒材の周長を乗じた値に等しいことから、 $\tau_{\max}$ 、 x_c 、および $\tau_{\max}$ に達したときの引抜荷重 P_c を表2のように求めることができた。また、 $200 \leq x_c \leq 300$ のときは矛盾が生じた。

得られた付着応力分布から、異形鉄筋の付着の基礎方程式^[1]を両連続繊維棒材にも適用して、すべり分布が求められる。さらに、付着応力分布とすべり分布から $\tau-s$ 曲線が得られる。

・付着クリープ試験：測定期間中はどの供試体も自由端すべりは生じなかった。一方、荷重端においては図6に示すように、載荷後24時間で大きなすべりが生じ、その後は、いずれの供試体もわずかにすべりが増加し続け、いずれの棒材においても、持続引抜荷重が大きい場合で若干増加率が大きくなった。アラミド異形棒では持続引抜荷重にはほぼ比例した荷重端すべりの増加が現れたが、炭素より線ではその傾向は明確ではなかった。引抜荷重が一定であるため、付着応力の積分値も変化しないことを考えると、付着応力が自由端側に伝達している可能性が考えられる。その場合、ある期間経過後には自由端にもすべりが生じると考えられる。

参考文献：[1]六車 照ら：鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究、日本建築学会論文報告集、第131号、第132号、第134号、第139号、それぞれ1967.1、2、4、9、それぞれpp.1-8、1-6、1-8、1-10 [2]水谷 淳ら：AFRP異形ロッドの定着機構について、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、第5部IV-249、pp.552-553、1989.10

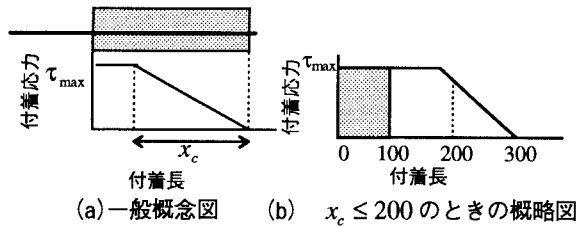


図4 付着応力分布モデル

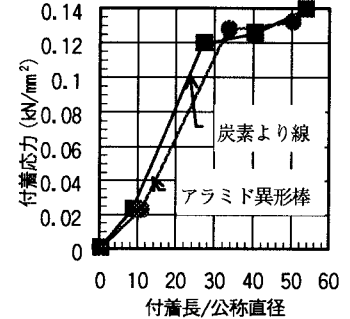


図5 自由端変位発生時の付着応力-付着長関係

表2 連続繊維棒材の $\tau_{\max}$ 、 x_c 、 P_c

	$\tau_{\max}$ (N/mm ²)	x_c (mm)	P_c (kN)
炭素より線	6.85	51.8	3.46
アラミド異形棒	7.00	35.0	2.30

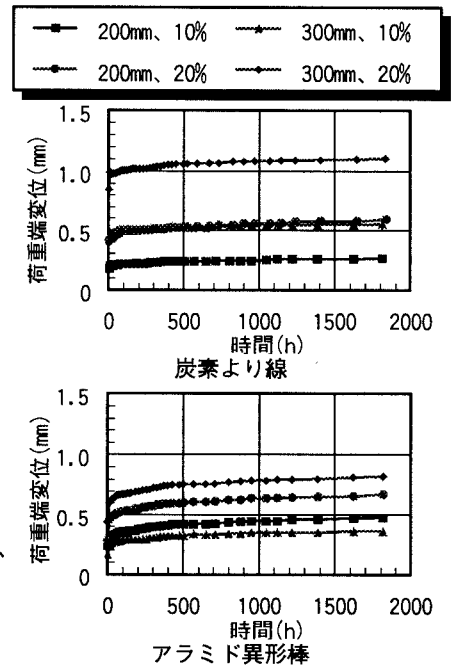


図6 時間-荷重端変位関係