

報告

[2139] CFCCの付着応力-すべり関係に関する実験的研究

正会員○本間雅人 (日本コンクリート工業)  
 正会員 丸山武彦 (日本コンクリート工業)  
 正会員 榎本 剛 (東京製綱 研究所)  
 正会員 島 弘 (徳島大学 建設工学科)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造の解析を行う際に、鉄筋とコンクリートの界面の付着応力-すべり関係(τ-S関係)は重要である。異形鉄筋に関しては、埋込み長さの非常に短い試験体から長い試験体まで、多くの研究が行われており[1],[2]、そのτ-S関係は簡単な式で表すことができる[3]。しかし、炭素繊維などを原料とするFRP棒材に関しては、埋込み長さの短い一方向引き抜き試験しか行われておらず[4]、実際の構造物におけるFRP棒材とコンクリートの付着性状を適切に表しているといえなかった。そこで本研究では、CFCC(Carbon Fiber Composite Cable)を用いた埋込み長さの異なる供試体を製作して、引き抜き試験を行い、CFCCの各位置のひずみからτ-S関係を実験的に求めた。

2. 実験方法

供試体は、図1に示すような、一辺が25cmの正方形断面を持つコンクリート塊の中心にCFCCを埋め込んだものである。定着長は10D, 20Dおよび40D(DはCFCCの直径)の3種類とし、非付着区間を設けることによって定着長を調整した。

コンクリートの強度がτ-S関係に及ぼす影響を調べるために、試験時のコンクリートの圧縮強度が400kgf/cm<sup>2</sup>および600kgf/cm<sup>2</sup>となるようにコンクリートの配合を決定した。供試体は打込み後、7日間の水中養生を行い、その後試験時まで恒温室に静置した。表

1に試験時の各供試体のコンクリート強度を示す。実験に用いたCFCCは、表面を有機繊維でコーティングしたCFRPの素線を7本よって作られたロープで、表2に示すような形状および性質を有している。

引き抜き試験は図2に示すような装置を用いて行った。CFCCの荷重端にはあらかじめネジ加工をした緊張用のスリーブをとりつけてあり、そこにカップラーを介してと

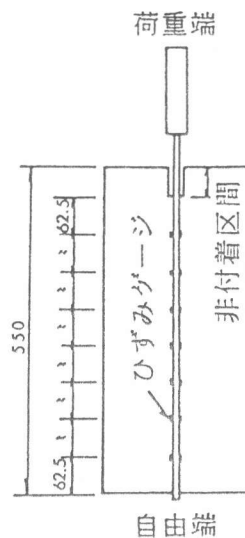


図-1 供試体形状

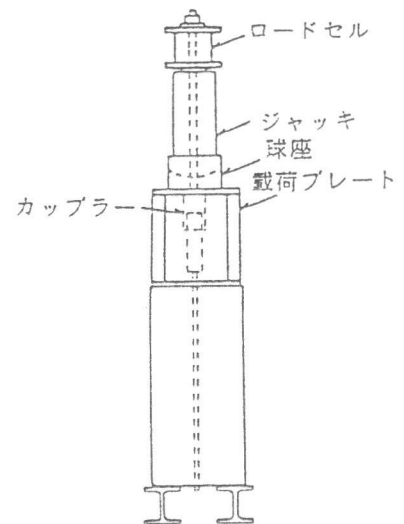


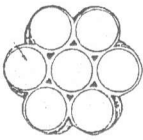
図-2 載荷装置

表-1 供試体一覧

供試体番号	直径D (mm)	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	定着長 (D)
1	12.5	439	10
2	12.5	434	20
3	12.5	398	40
4	12.5	641	10
5	12.5	662	20
6	12.5	657	40

りつけた緊張用ロッドを引いて載荷した。載荷方法は一方向繰り返し載荷で、非付着区間に貼付したひずみゲージの値によって荷重を制御し、1000, 2000, 4000および6000  $\mu$ までそれぞれ3サイクル載荷

表-2 CFCCの形状および性質

断面	形状		機械的性質	
		公称径 構成 よりピッチ 断面積 CF含有率	12.5mm 7本よりロープ 約65mm 76mm <sup>2</sup> 63.8%	引張強度 切断荷重 切断時伸び 弾性係数 曲げ剛性

し、自由端がすべり始めた場合は除荷しないで荷重を増加した。コンクリート中に埋め込まれたCFCCのひずみは、5Dの間隔で貼付した表裏2枚一組の2mmひずみゲージによって測定した。ひずみゲージはCFCCのコーティング層を最小限はがした素線の一本に貼付し、再びエポキシ樹脂でコーティングして滑らかに整形した。自由端のCFCCのすべり量は供試体にとりつけたガイドにセットした変位計で測定し、荷重端のすべり量はコンクリートから約1cmの位置のCFCCに取り付けたプレートに変位計をセットして測定した。

### 3. 解析方法

本研究では、局部付着応力とすべり量をCFCCのひずみから計算している。まず、測定されたひずみの隣り合わせた3点を通る2次曲線を求め、CFCCのひずみ分布を求めた。つぎに、自由端から任意の点までのひずみを積分したものに自由端すべりを加えて任意の点におけるすべり量を求めた。また、2次曲線の傾きを用いて任意の点における局部付着応力を求めた[2]。以上の方法で計算した荷重端のすべり量と変位計で測定したすべり量を比較したものを図3に示す。この図より、小さなひずみゲージを用いてもCFCC全体のひずみ分布が測定できることがわかる。

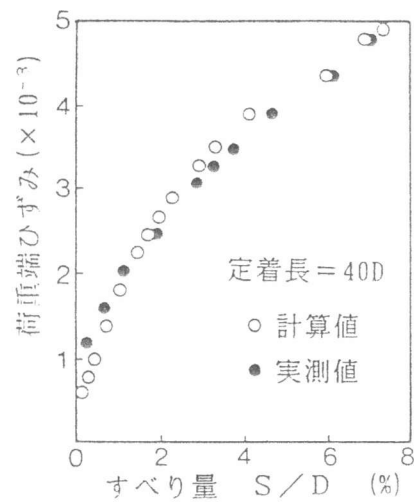


図-3 すべり量の計算値と実測値の比較

### 4. 実験結果

#### 4. 1 自由端のすべり量およびCFCCのひずみ分布

図4は、それぞれの供試体における自由端すべり量を示している。定着長が10Dおよび20Dの場合は自由端においてすべりが生じたが、40Dの場合は自由端においてすべりはほとんど生じていない。同一のすべり量に対して、引張応力(ひずみ)が大きいとき、付着応力は小さくなるから、定着長が短い場合には、長い場合と比較して同一のすべり量に対する付着応力が大きいと考

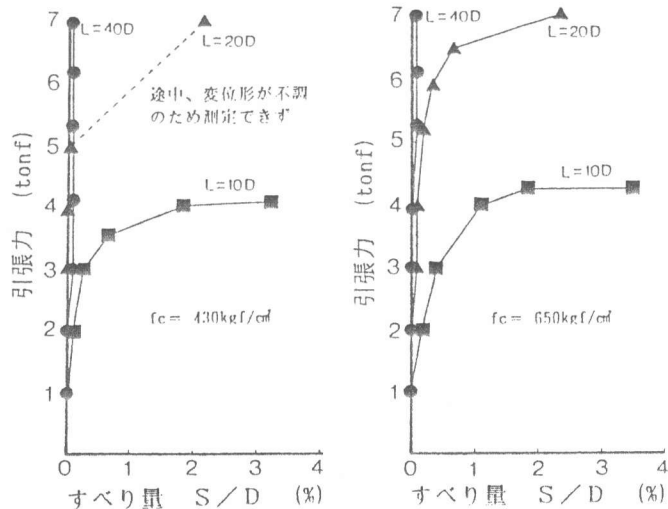


図-4 荷重端の引張力と自由端すべり量の関係

えられる。CFCCのひずみ分布を図5に示す。定着長が短いと、自由端側のひずみ分布の勾配が急になっている。このことから、自由端すべりのある場合とない場合とでは、 $\tau$ - $S$ 関係の異なることが予想される。また、定着長が40Dの場合、それぞれのひずみレベルに対応したひずみ分布は、CFCCの位置に関わらずほぼ一定の形になっている。こ

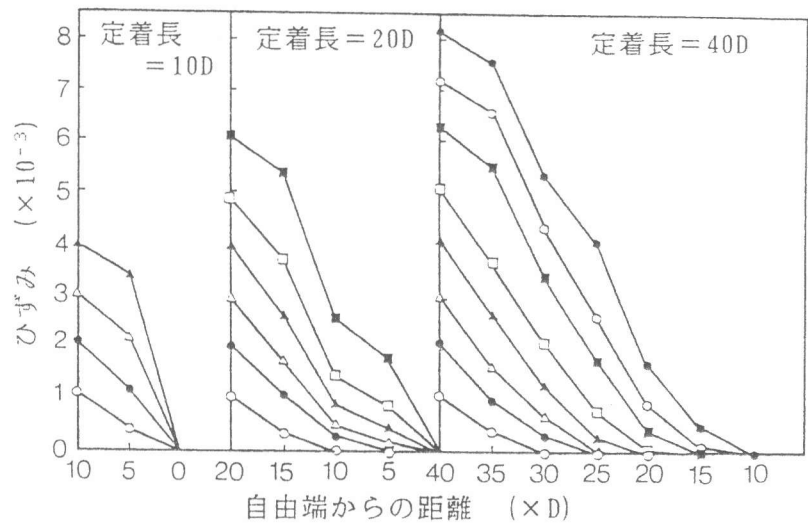


図-5 CFCCのひずみ分布

のことは、あるひずみ量に対応するすべり量が等しいことを意味している。

#### 4. 2 コンクリート強度が $\tau$ - $S$ 関係に与える影響

コンクリート強度 $f_c$ が $\tau$ - $S$ 関係に影響を与えるかを検討するために、定着長が等しくコンクリート強度の異なる供試体において、定着長40Dでは荷重端から5Dの位置、定着長10Dおよび20Dでは自由端から5Dの位置における $\tau_{max}$ を比較した。図6にその値を示す。 $f_c$ にかかわらず $\tau_{max}$ はほぼ等しく、異形鉄筋とは異なり、CFCCの $\tau_{max}$ は $f_c$ の影響を受けにくいものと考えられる。この理由として、今回の実験に用いたコンクリートの強度が高いこと、CFCCのひずみが鉄筋に比べて同一引張応力に対して大きいことなどが考えられる。

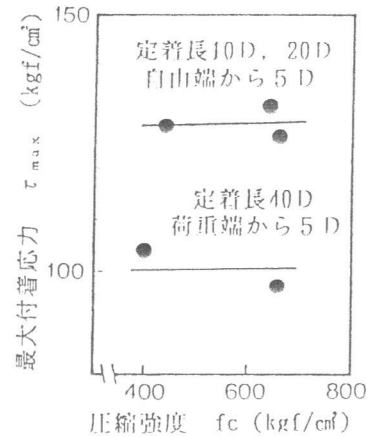


図-6 コンクリート強度と最大付着応力の関係

#### 4. 3 定着長が $\tau$ - $S$ 関係に与える影響

定着長が比較的短く自由端にすべりを生じる場合は、鉄筋の位置によって $\tau$ - $S$ 関係が異なり、定着長が十分に長く自由端にすべりを生じない場合は、鉄筋の位置に関わりなく一定の $\tau$ - $S$ 関係が成立することは、異形鉄筋の引き抜き実験からすでに指摘されている[2],[3]。CFCCにおいても、4.1節で述べたように、同様のことが予測される。図7に供試体No.4から6の荷重端から5Dにおける $\tau$ - $S$ 関係を示す。図にみられるように、 $\tau$ - $S$ 関係は定着長によって異なっており、 $S/D$ が2.5%のときの定着長10Dの付着応力を1とすると、定着長20Dのとき0.80、定着長40Dのとき0.65となる。同様の現象は異形鉄筋においても見られるが[2]、異形鉄筋に比べると

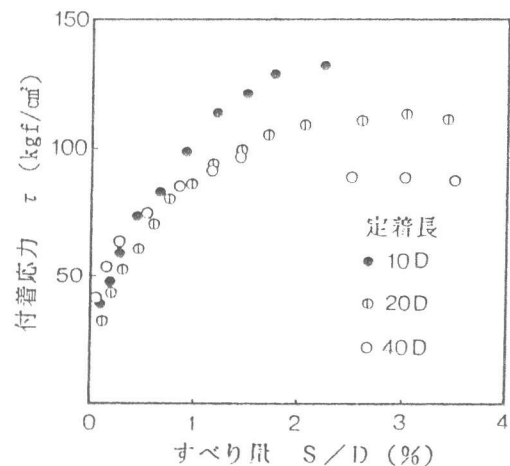


図-7 定着長が異なる供試体の $\tau$ - $S$ 関係

定着長の違いによる付着応力の差は小さく、 $S/D$ が1.0%以下では明確な違いはみられない。

CFCCに沿った各位置における $\tau$ - $S$ 関係を図8~10に示す。図8は供試体No.4と5、図9はNo.3、図10はNo.6から得たものである。荷重端から5Dの位置の $\tau$ - $S$ 関係は供試体端部の影響を受けているものと考えられ、これを除けば、位置による $\tau$ - $S$ 関係の違いはあまりみられない。すなわち、定着長が長く自由端にすべりを生じない場合だけでなく、定着長が短く自由端にすべりを生じる場合においても、CFCCの位置に関わらず、同一の $\tau$ - $S$ 関係が成り立つということになる。これは異形鉄筋の場合と一致しない。この理由として、同一引張応力に対するひずみが異形鉄筋より大きいこと、より線のため付着抵抗機構が異なること、付着応力はわずかなひずみの違いによっても異なることなどが考えられる。

### 5. 結論

本研究の範囲内において次のような結論が得られた。

- (1) 今回の実験では、CFCCの局部付着応力にコンクリート強度の影響は見られなかった。
- (2) 定着長の違いはCFCCの付着応力-すべり関係に影響を与えるが、異形鉄筋に比べるとその差は小さい。
- (3) 自由端すべりが生じる場合でも、CFCCの位置に関わらず同一の付着応力-すべり関係が成立した。しかし、試験数の少ないこともあり、今後検討を要すると思われる。

### 参考文献

- 1) 森田司郎、角徹三：繰り返し荷重下における鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する研究、建築学会論文報告集、第229号、pp.15-24、1975.3
- 2) 山尾芳秀、周礼良、二羽淳一郎：付着応力-すべり関係に関する実験的研究、土木学会論文報告集、第343号、pp.219-228、1984.3
- 3) 島弘、周礼良、岡村甫：マツパなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係、土木学会論文集、第378号、pp.165-174、1987.2
- 4) 丸山武彦、伊東幸雄、西山啓伸：各種FRPロッドの付着特性、土木学会第43回年次学術講演会、pp.672-673、1988.10

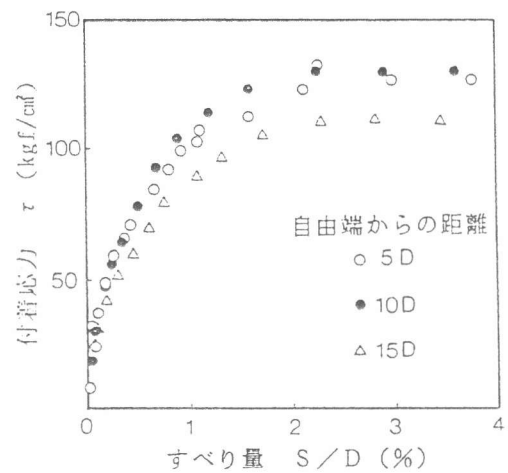


図-8 各位置における $\tau$ - $S$ 関係 (定着長=10D,20D)

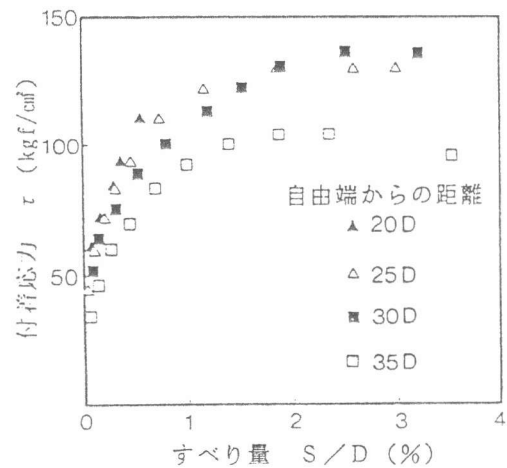


図-9 各位置における $\tau$ - $S$ 関係 (定着長=40D)

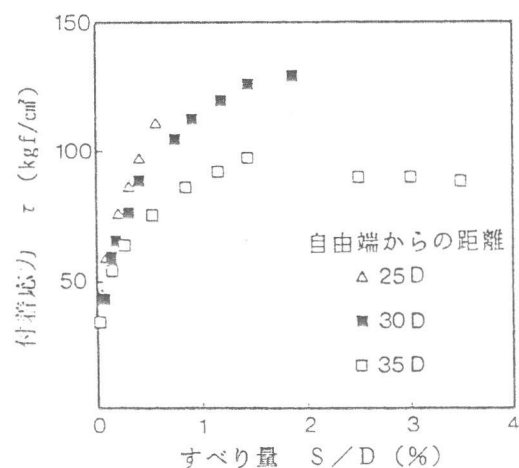


図-10 各位置における $\tau$ - $S$ 関係 (定着長=40D)