

繊維補強された鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅低減メカニズム

コンクリート研究室 船戸 昭彦
指導教官 下村 匠

1. はじめに

高架橋などの構造物からのコンクリート片の剥落を防止するために、短繊維をコンクリートに混入する工法や、コンクリート打設の際にメッシュを型枠内側に貼付する工法の適用が試みられている。一方、コスト縮減の関連から、コンクリート構造物に適用するこの種の新材料には、コンクリート片剥落防止という単一の機能だけでなく、近年、多機能性が求められる傾向にある。この観点から、既往の研究において繊維補強による鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅低減効果について実験的検討を行い、効果があることを確認した。しかし、そのメカニズムの解明について課題を残していた。そこで本研究では、短繊維およびメッシュにより補強された鉄筋コンクリート供試体のひび割れ幅試験を新たに実施し、繊維による鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅低減効果を改めて確認するとともに、そのメカニズムを、ひび割れ間隔、鉄筋平均ひずみ、コンクリート平均ひずみの観点から、実験的に解明することを試みる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(a) 繊維の種類

本研究で使用した繊維は、アラミド製の繊維で、短繊維二種類、メッシュ種類である。使用した短繊維およびメッシュを写真 - 1 ~ 写真 - 3 に示す。T-321 凹凸は樹脂によって節が設けられているのが特徴である。メッシュは、コンクリート表面間とのかぶり厚確保およびコンクリートとの付着確保のため、片面に硅砂が樹脂によって接着してある。表 - 1 , 表 - 2 にそれぞれの物性値を示す。

(b) コンクリートの配合

表 - 3 にコンクリートの配合を示す。繊維混入率は短繊維の場合は体積比で 0.2~0.5%とした。同一のフレッシュ性状を確保するため、高性能 AE 減水剤により調整を行った。



写真 - 1 T-321 凹凸



写真 - 2 T-327



写真 - 3 砂付アラミド3軸メッシュ

表 - 1 アラミド短繊維の物性値

材質	アラミド	
	T-321凹凸	T-327
品番(記号)	T-321凹凸	T-327
糸径(mm)	0.6	0.56
長さ(mm)	30	9
密度(g/cm ³)	1.26	1.36
引張強度(MPa)	1225	2744
引張弾性率(GPa)	26	58
アスペクト比	50	16

表 - 2 アラミドメッシュの物性値

材質	アラミド
密度(g/cm ³)	1.39
引張強度(MPa)	3430
弾性係数(GPa)	72
バインダー樹脂	アクリル酸エステル樹脂
硅砂	JWWA規格3号硅砂

表 - 3 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランブ(cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
25	10±3	45	43	6.0	175	389	723	984

本研究で使用する繊維によって補強されたコンクリートは、いずれも一軸引張応力下において、初期ひび割れ発生後に、引張応力がひずみ軟化を伴いながら漸減していくタイプである。

2.2 鉄筋コンクリート一軸引張供試体

ひび割れ幅試験に用いた供試体は、図 - 1 に示すように、100×100×1000mmの角柱供試体で断面中央にD22の異型鉄筋(弾性係数 $1.94 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 降伏強度 377.9N/mm^2)を1本埋め込んだものである。メッシュを用いた供試体は、型枠の長軸方向両側面に軸方向繊維が3束含まれるようにメッシュを貼付した。表 - 4 に供試体概要を示す。

2.3 荷重試験

荷重は、供試体の自重による偏心の影響を排除するために、鉛直方向に行った。供試体中央部および中央部から168mm間隔で5本、両側面で10本、ひび割れを誘発するためにノッチ(幅2mm、深さ5mm)を設けた。ひび割れ幅を測定するために、ノッチを跨ぐようにしてクリップ型変位計および非接触変位計を設置した。コンクリート表面のひずみを測定するために、型変位計とひずみゲージ(検長30mm)を設置した。鉄筋の平均ひずみは、供試体端部の鉄筋に治具を介し変位計により変位を測定し、長さ変化を供試体長で除することによって求めた。荷重は単調荷重とした。図 - 2 に測定機器の設置図を示す。

3. 実験結果

3.1 鉄筋応力-平均ひび割れ幅関係

図 - 3 に各供試体の各応力レベル(100, 150, 200, 250, 300, 350N/mm^2)における平均ひび割れ幅を示す。使用繊維がメッシュの供試体はプレーン供試体に比べてひび割れ幅低減が確認された。しかし、短繊維を使用した供試体では、プレ

表 - 4 供試体概要

水準	繊維混入量 (Vol%)		高性能AE減水剤添加量	スラブ (cm)	鉄筋比 (%)	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm^2)
	T-321凹凸	T-321					
プレーン	-	-	-	12.0	3.87	28	45.9
T-321凹凸	0.5	-	C*0.2%	9.5			47.9
T-327	-	0.2	C*0.5%	10.0			43.5
MIX	0.2	0.1	C*0.3%	10.5			40.5
メッシュ	-	-	-	11.5			42.5

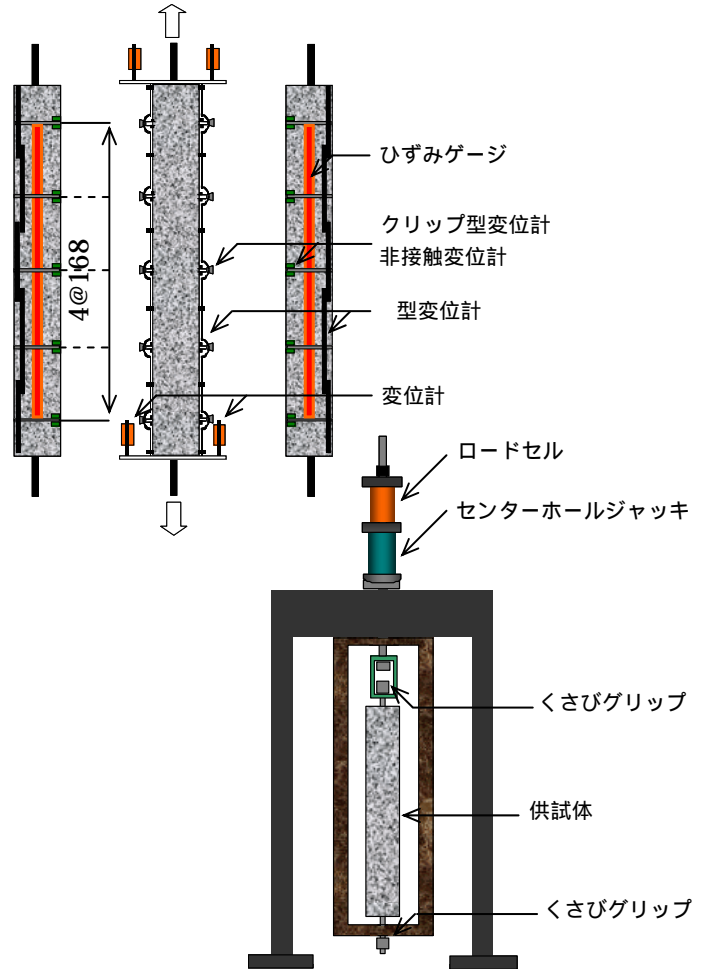


図 - 2 測定機器の設置図

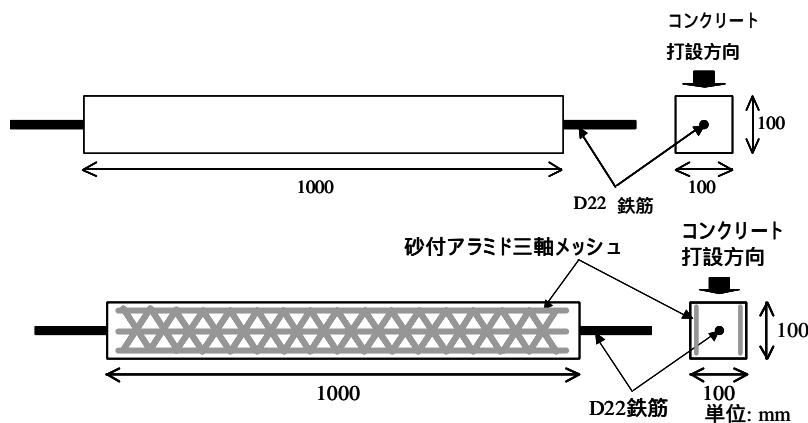


図 - 1 鉄筋コンクリート一軸引張供試体

ー供試体に比べてひび割れ幅低減効果は確認されなかった。

4. 繊維混入によるひび割れ幅抑制メカニズム

4.1 ひび割れに関する変形適合

ひび割れ幅 w は、鉄筋の平均ひずみを ε_{sa} 、コンクリートの平均ひずみ(ひび割れ部分以外)を ε_{ca} とすると、式(1)のように表される(図 - 4 参照)。

$$w = l \cdot (\varepsilon_{sa} - \varepsilon_{ca}) \quad (1)$$

ここに l はひび割れ間隔である。式(1)によれば、同一荷重下におけるひび割れ幅の低減効果は、ひび割れ間隔、鉄筋の平均ひずみ、ひび割れ部分以外のコンクリート平均ひずみの3因子によって整理される。繊維混入によって、ひび割れ幅が低減されるということは、繊維によってこの3因子のいずれかが変化するに他ならない。

4.2 ひび割れ間隔

既往の研究には、繊維混入により、ひび割れ間隔はあまり変わらないとする報告と、ひび割れ間隔が低減されるとする報告がある。既往の研究によれば、本研究で用いた繊維はひび割れ間隔にほとんど影響しないことが確かめられている。本研究で行った実験では、既往の実験結果のひび割れ間隔の平均値を目安として、ノッチを設けてひび割れ位置を誘発している。このことにより、本研究における検討では、ひび割れ間隔は検討因子から除外される。

4.3 同一荷重時における鉄筋ひずみ

同一荷重下における部材平均ひずみが小さければ、ひび割れ幅も小さくなる。図 - 5 に荷重 - 鉄筋ひずみの関係を示す。プレーン供試体と繊維補強された供試体の **Tension Stiffening** に多少の違いは見られたが、ほぼ同様の傾向を示す結果となった。従って、メッシュによるひび割れ幅低減効果は、同一荷重下における鉄筋平均ひずみが減少するためではないと考えられる。

4.4 コンクリートのひずみ

ひび割れ幅以外の部分のコンクリート平均ひずみが大きい場合には、ひび割れ幅は小さくなる。

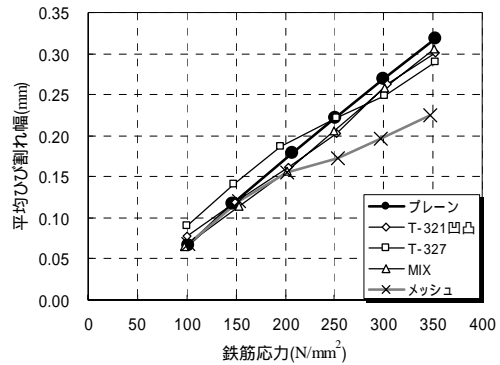


図 - 3 鉄筋応力-平均ひび割れ幅関係

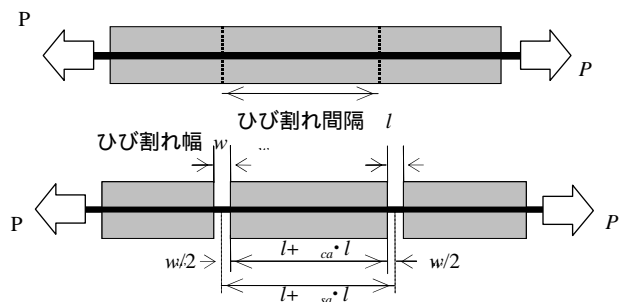


図 - 4 鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅

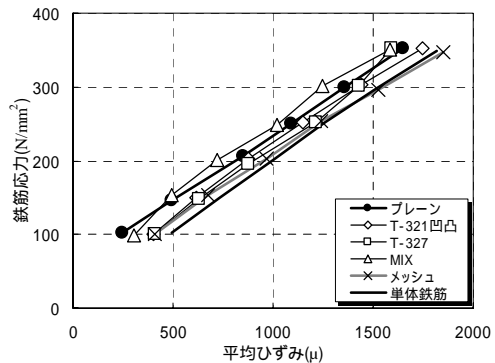


図 - 5 鉄筋応力-鉄筋ひずみ関係

ひび割れ部分以外のコンクリートの表面の平均ひずみと鉄筋応力との関係を図 - 6 に示す。図 - 6 から繊維を使用した場合には、基準試験体に比べて、繊維の種類によらず、コンクリートの平均ひずみがほぼ同程度、伸張側に大きくなるのが分かる。この分だけ、平均ひび割れ幅が小さくなると考えられる。この伸び変形の要因を特定するために、コンクリートのひずみに着目すると、ノッチ間のコンクリートに数箇所のひび割れが発生している(図 - 7 参照)ことが確認された。このひび割れは極微小なため、試験中、試験後の目視によるひび割れ観察時には確認されなかった。この微小なひび割れ部分を除いたコンクリート表面の平均ひずみを図 - 8 に示す。ひび割れの無い

部分のコンクリートひずみは試験体によらず、ほぼ等しいことから、繊維使用によるコンクリートの伸び変形は、微細ひび割れの発生によって喚起されると考えられる。

4.5 鉄筋平均ひずみと部材平均ひずみ

式(1)に従えば、短繊維においてもひび割れ幅は低減されるが図-3よりひび割れ幅低減されなかった。式(1)が成立する前提として付着が等しいという条件が必要である。つまり部材端部での抜け出しがないことが必要である。そこで、抜け出しが原因ではないかと考え検討を行った。実験結果(図-9参照)からプレーンのみ抜け出しが確認された。短繊維が内部ひび割れに跨ぐようにして存在すれば、繊維の架橋効果によって、内部ひび割れの進展が抑制されるので、鉄筋コンクリートの付着劣化が生じにくい。プレーン供試体より良好な付着が確保されることによって部材端部においても鉄筋とコンクリートが一体となり変形する。このことは、ひび割れ幅を増大させる方向にはたらくと考えられる。

5. まとめ

繊維補強された鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅低減メカニズムについて実験的に検討した結果以下のことが確認された。

メッシュ供試体にはひび割れ幅低減効果が確認されたが短繊維供試体には確認されなかった。

メッシュ供試体に確認されたひび割れ幅低減効果は、同一荷重時の鉄筋ひずみが減少するためではなく、コンクリート表面に微細ひび割れ発生により、ひずみが増大するためである。

短繊維にひび割れ幅低減効果が確認されなかったのは、繊維の架橋効果による内部ひび割れの減少により、良好な付着が得られ鉄筋とコンクリートが一体となって変形することによるひび割れ幅増大と、架橋効果によるコンクリート表面に微細ひび割れ発生によりひずみが増大することによるひび割れ幅減少とがキャンセルすることによって、プレーン供試体とひび割れ幅が変わらない結果となった。

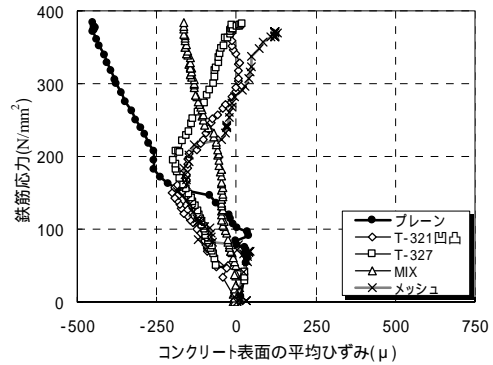


図-6 コンクリート表面のひずみと鉄筋応力の関係(型変位計による)

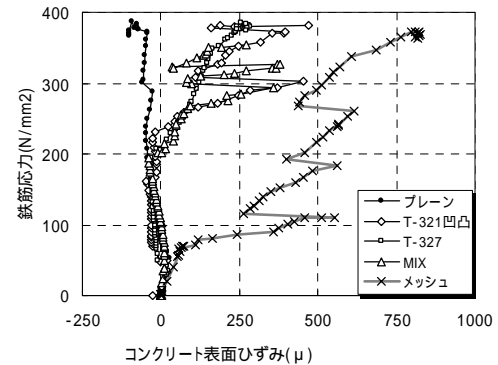


図-7 コンクリート表面のひずみと鉄筋応力の関係(微細ひび割れ含む)

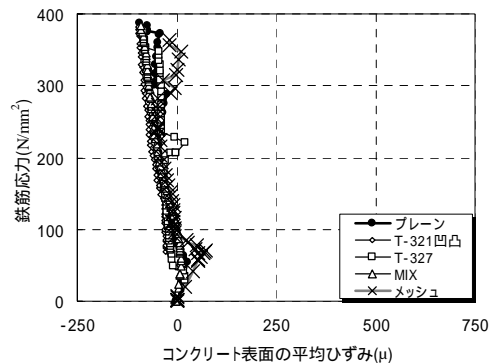


図-8 コンクリート表面のひずみと鉄筋応力の関係(微細ひび割れ除く)

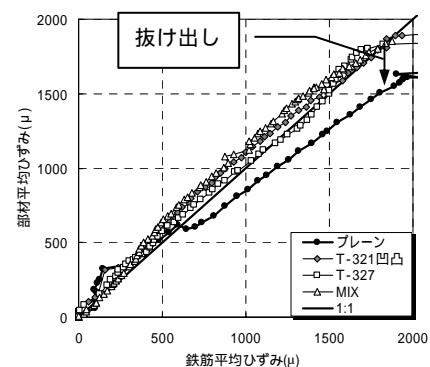


図-9 鉄筋平均ひずみと部材平均ひずみの関係