

# 短繊維および繊維メッシュ補強鉄筋コンクリートはり部材の曲げひび割れ幅

コンクリート研究室 鈴木 幸憲  
指導教員 下村 匠

## 1. はじめに

船戸らの研究<sup>1)</sup>において、コンクリート剥落防止効果がある短繊維および繊維メッシュ混入によるひび割れ幅低減効果の確認がなされた。この報告<sup>1)</sup>では、繊維混入によるひび割れ幅低減メカニズムが、コンクリート表面のひずみの増加と繊維混入による鉄筋周囲の付着改善による複合効果であると推察している。しかし、この検証は、ひび割れ間隔を固定した一軸引張試験という限られた条件下での検証であり、実構造物部材に近い曲げ条件下でのひび割れ幅低減効果およびそのメカニズムの実験的検証が課題として残った。

鉄筋コンクリートのひび割れ幅を決定する因子は、ひび割れ間隔、鉄筋コンクリート中の鉄筋ひずみとコンクリート表面ひずみの3要素である。要素1つを固定することが、他の2つの要素に影響を及ぼしている可能性もある。

本研究では、短繊維および繊維メッシュを混入した鉄筋コンクリートはり部材を作製し、ひび割れ間隔は可変とした曲げ条件で、曲げ載荷試験を行い、繊維混入によるひび割れ幅低減効果について実験的検証を行った。加えて、ひび割れ幅低減メカニズムを構成する鉄筋ひずみ、コンクリート表面ひずみ、ひび割れ間隔の3つについて検討し、実測したひび割れ幅とひび割れ幅適合条件式より算出したひび割れ幅の比較を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用繊維

本研究で使用したアラミド繊維 (T-321 凹凸, T-327), 鋼繊維および繊維メッシュを写真-1~写真-4に示す。

T-321 凹凸は、コンクリートとの付着を高めるために、樹脂によって繊維に節が設けられている。T-327 は、水溶性樹脂により集束されており、練混ぜに容易に解繊する。加えて、アスペクト比 ( $L/d$ :繊維直径  $d$ に対する繊維長  $L$ ) が  $L/d=16$  と、通常使用される短繊維のアスペクト比 ( $L/d=50$ ) に比べ小さい。鋼繊維は T-321 凹凸同様、コンクリートとの付着を高める目的で、繊維表面に凹凸の加工が施されている。繊維メッシュは、1 辺が



写真-1 T-321 凹凸



写真-2 T-327



写真-3 鋼繊維



写真-4 繊維メッシュ

表-1 各種繊維の物性値

繊維名 (名称)	T-321 凹凸	T-327	鋼繊維	繊維メッシュ
材質	アラミド		スチール	アラミド
形状	短繊維			繊維シート
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.26	1.36	7.85	1.39
引張強度 (MPa)	1225	2744	2352	3430
引張弾性率(GPa)	26	58	200	72
長さ (L) (mm)	30	9	30	—
糸径 (d) (mm)	0.6	0.56	0.6	—
アスペクト比(L/d)	50	16	50	—

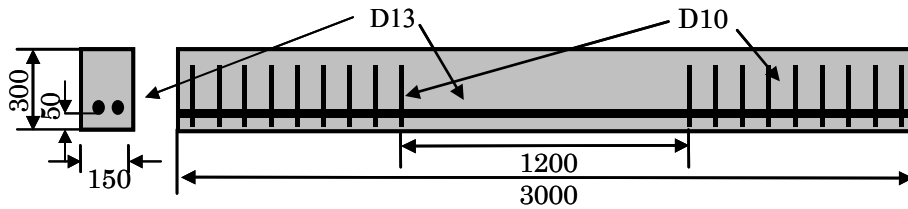
表-2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 air (%)	細骨材比 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	10±3	45	6	44	175	389	739	1002

40mm の正三角形になるように、繊維束を3方向に配列させたもので、繊維メッシュ片面には、粒径 2~3mm 珪砂が樹脂によって接着されている。表-1に、各種繊維の物性値を示す。

### 2.2 コンクリートの配合

表-2に、コンクリートの配合を示す。アラミド繊維および鋼繊維の繊維混入率は、体積比で0.2~0.5(Vol.%)とした。全供試体を同一フレッシュ性状とするため、高性能 AE 減水剤を用いて調整を行った。



単位：mm

図－１ 鉄筋コンクリートはり供試体

### 2.3 供試体

図－１に示すように、供試体断面は 300×150mm とした。主鉄筋には D13 異形鉄筋を 2 本配置し、鉄筋表面までのかぶりを 50mm とした<sup>2)</sup>。表－３に、主鉄筋の材料試験結果を示す。

等曲げモーメント区間を 1200mm とし、せん断スパンと定着部にせん断補強筋 D10 を 100mm 間隔で配置した。表－４に、試験体一覧を示す。繊維メッシュ供試体は、供試体底面において長軸方向に繊維束が 4 束配置されるように貼付した。MIX 試験体には、T-321 凹凸と T-327 を 2:1 の割合で混合した繊維を使用した。

### 2.4 荷重試験

荷重方法は、荷重スパン 2700mm の対称 2 点集中荷重とした。本試験は、供試体底面でのひび割れ幅を対象としている。

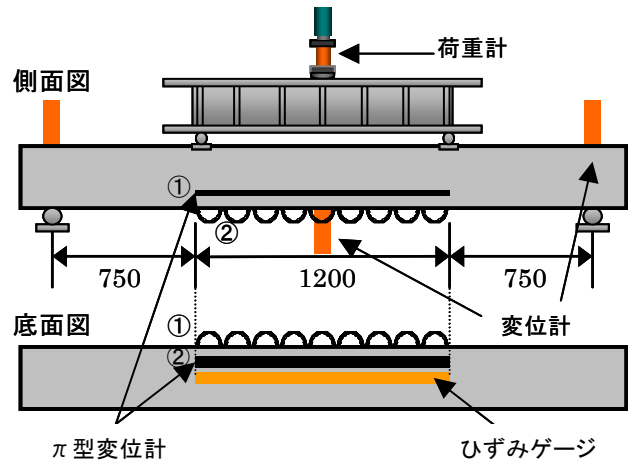
図－２に、測定機器設置図を示す。ひび割れ幅は、クリップ型変位計により測定した。クリップ型変位計は、予備試験より得られたひび割れ発生荷重 (26kN) まで荷重を行った後に、一旦除荷し、確認されたひび割れを跨ぐように設置した。コンクリート表面ひずみは、ひずみゲージ (検長 30mm を 15mm 間隔で 2 列貼付) により測定した。

鉄筋ひずみ (鉄筋位置における平均ひずみ) および底面における平均ひずみは、 $\pi$ 型変位計を連続して設置し、変形量の和を測定区間長 (1200mm) で除することで求めた。ひび割れ幅、コンクリート表面ひずみおよび底面における平均ひずみは、供試体底面で測定した。この他に、等曲げモーメント区間中央、支点位置にて中央変位および支点変位を測定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 荷重－変位

図－３に示す荷重－変位関係より、繊維の材質や形状に関わらず、繊維混入により、供試体の部材の曲げ剛性は同じか少し低くなった。本研究の範囲では、コンクリート中の繊維が引張応力を受け持つことによる Tension Stiffening 効果の増進



図－２ 測定機器設置図

表－３ 鉄筋の材料試験結果

種別	呼び径	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )
SD345	D13	376.4	182.4
	D10	364.5	180.9

表－４ 試験体一覧

供試体名	繊維混入率 (Vol. %)			圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
	T-321 凹凸	T-327	鋼繊維	
T-321 凹凸	0.5	—	—	46.4
T-327	—	0.2	—	46.8
繊維メッシュ	—	—	—	44.5
鋼繊維	—	—	0.5	46.5
MIX	0.2	0.1	—	51.4
基準試験体	—	—	—	45.6

は認められない。

### 3.2 荷重－平均ひび割れ幅

図－４より、同一荷重時の平均ひび割れ幅は、基準試験体に比べて、繊維入り供試体ではいずれも小さい。すなわち、繊維混入により平均ひび割れ幅が小さくなると判断される。

本研究の範囲では、複数の繊維を混入することによるひび割れ幅低減効果の増大は認められなかった。また、繊維メッシュは短繊維 (T-321 凹凸, T-327, 鋼繊維, MIX) と同等のひび割れ幅低減効果があることが確かめられた。

## 4. ひび割れ幅低減メカニズムの検証

### 4.1 ひび割れ幅低減メカニズム

ひび割れ幅( $w_a$ )は、コンクリート表面ひずみ( $\varepsilon_{ca}$ )(ひび割れ幅除く)、鉄筋ひずみ( $\varepsilon_{sa}$ )、ひび割れ間隔( $l$ )より、式(1)で表せる。

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

同一荷重時のひび割れ幅低減効果は、これら3つの因子によって整理できる。本研究では、ひび割れ幅の測定を底面位置で行っているため、各供試体底面での測定値を対象として、検討を行った。

### 4.2 底面における平均ひずみ ( $\varepsilon_{sa}$ )

図-5より、底面における平均ひずみ( $\varepsilon_{sa}$ )は、基準供試体に比べ同じか大きくなった。また、鉄筋ひずみ(鉄筋位置における平均ひずみ)についても、同様な傾向が確認された。鉄筋ひずみおよび底面における平均ひずみの増加の要因として、繊維混入により鉄筋とコンクリートの付着が低下したことが推察される。

### 4.3 コンクリート表面平均ひずみ ( $\varepsilon_{ca}$ )

図-6より、全供試体で、荷重増加に伴いコンクリート表面平均ひずみ( $\varepsilon_{ca}$ )は全体的に伸張側(+側)から収縮側(-側)に移行している。鉄筋降伏時にはコンクリート表面平均ひずみの値は100 $\mu$ 程度の収縮ひずみとなった。この結果より、コンクリート表面ひずみが繊維混入によるひび割れ幅の低減効果に及ぼす寄与は、鉄筋降伏段階では消失していると考えられる。

### 4.3 平均ひび割れ間隔 ( $l$ )

繊維混入によるひび割れ幅低減効果に及ぼすコンクリート表面ひずみの寄与が、鉄筋降伏段階で消失していることから、式(1)に従えば、主としてひび割れ間隔の減少によって説明されると考えられる。ここで、平均ひび割れ間隔( $l$ )はひび割れ本数より求めた。

図-7より、ひび割れ幅分散性の向上によるひび割れ間隔の漸減が、繊維混入によるひび割れ幅低減効果に寄与すると推察される。

### 4.4 ひび割れ幅の実測値とひび割れ幅変形適合式による計算値の比較

図-8には測定より得られた平均ひび割れ幅と、コンクリート表面ひずみ及び底面における平均ひずみの測定値を式(1)に代入して算出される平均ひび割れ幅との比較を示した。

ここで、ひび割れ間隔 $l$ は、新たなひび割れが

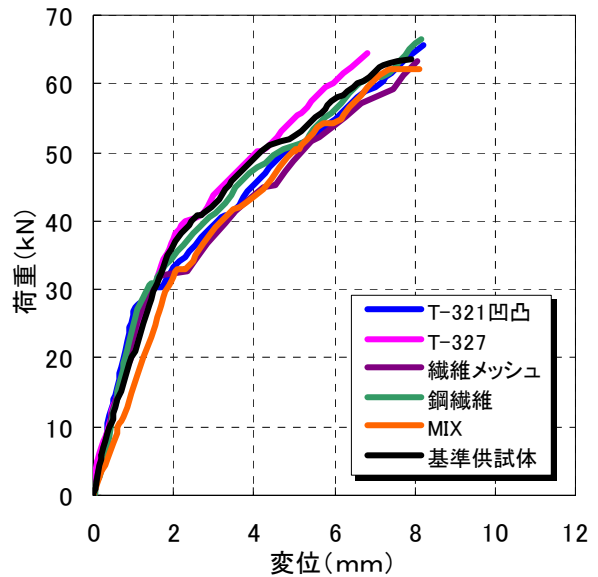


図-3 荷重-変位

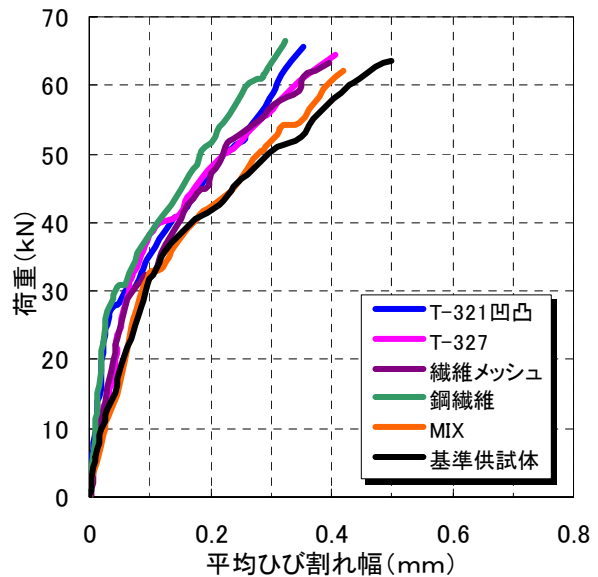


図-4 荷重-平均ひび割れ幅

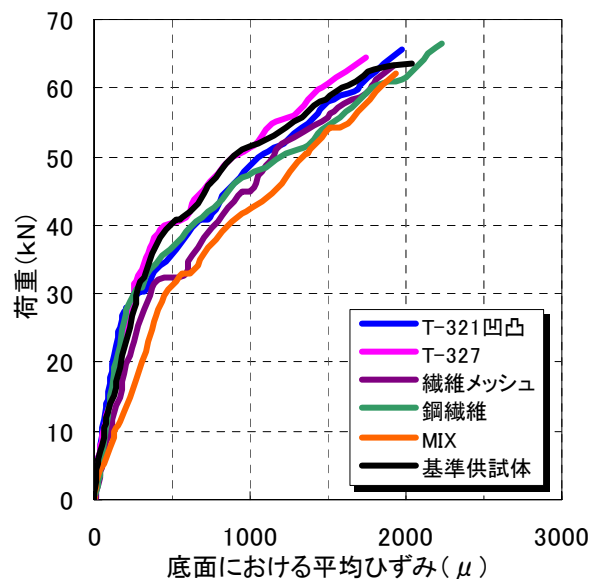


図-5 荷重-底面における平均ひずみ

発生するごとに対応する値を適宜設定している。

図-8に示すように、平均ひび割れ幅の計算値は実測値をおおむね再現した。このことから、ひび割れ幅分散性の向上によるひび割れ間隔の漸減が、繊維混入によるひび割れ幅低減効果に寄与すると判断される。

### 5. ひび割れ間隔の低減機構

ひび割れ間隔を強制的に固定した場合と、可変とした場合では、ひび割れ幅低減機構に寄与する因子が異なった。ひび割れ間隔が固定された条件下では、付着の増進によって、コンクリートひずみが大きくなり、コンクリートひずみの寄与が大きくなると考えられる<sup>1)</sup>。本研究のように、ひび割れ間隔が可変である場合、鉄筋とコンクリートの付着の増進により、ひび割れ幅分散性が向上することから、ひび割れ幅分散性の向上によるひび割れ間隔の漸減が寄与すると推察される。

### 6. 結論

以下に、本研究で得られた知見を示す。

- ・ 繊維混入によりひび割れ幅は小さくなる。複数の繊維を混入することによるひび割れ幅低減効果の増大は認められなかった。また、繊維メッシュは短繊維と同等のひび割れ幅低減効果がある。
- ・ コンクリート表面ひずみが繊維混入によるひび割れ幅の低減効果に及ぼす寄与は、鉄筋降伏段階では消失している。
- ・ ひび割れ間隔を可変とした場合、ひび割れ幅分散性の向上によるひび割れ間隔の漸減が、繊維混入によるひび割れ幅低減効果に寄与すると推察される。
- ・ ひび割れ間隔を強制的に固定した場合と、可変とした場合では、ひび割れ幅低減メカニズムに寄与する因子が異なると判断される。

### 参考文献

- 1) 船戸昭彦, 下村 匠, 田中 泰司, 中井 裕司: 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, コンクリート工学年次論文集, pp.1321-1326, Vol.27, No.2, 2005
- 2) 趙 唯堅, 丸山 久一: 多段配筋を有する鉄筋コンクリートはりの曲げひび割れ性状に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.490, V-23, pp.137-145, 1994.5

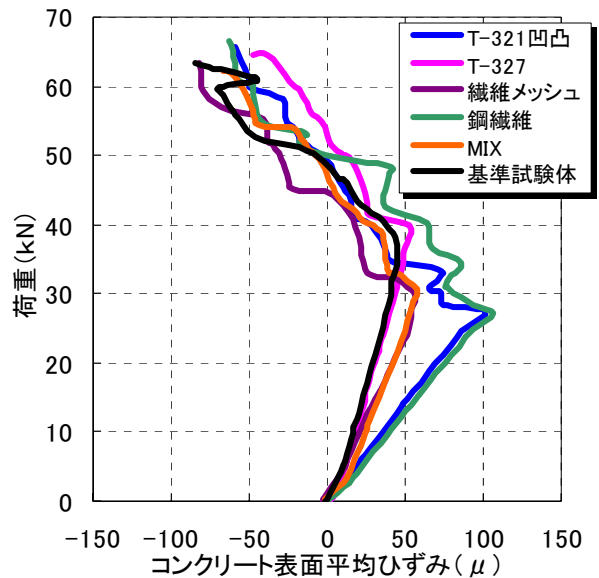


図-6 荷重-コンクリート表面平均ひずみ

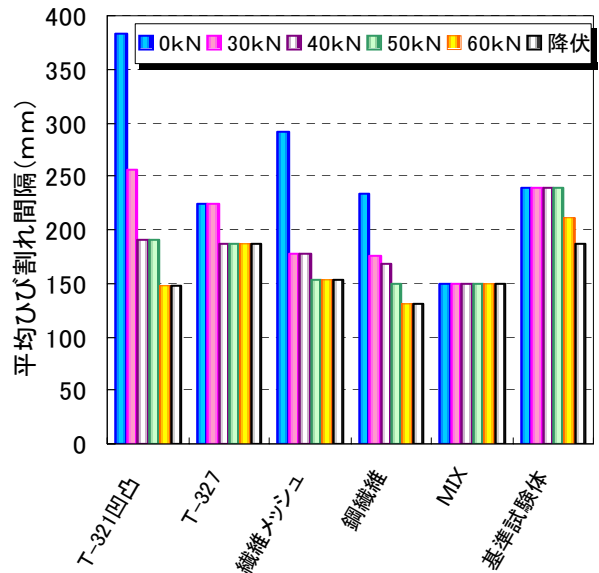


図-7 各供試体の平均ひび割れ幅の推移

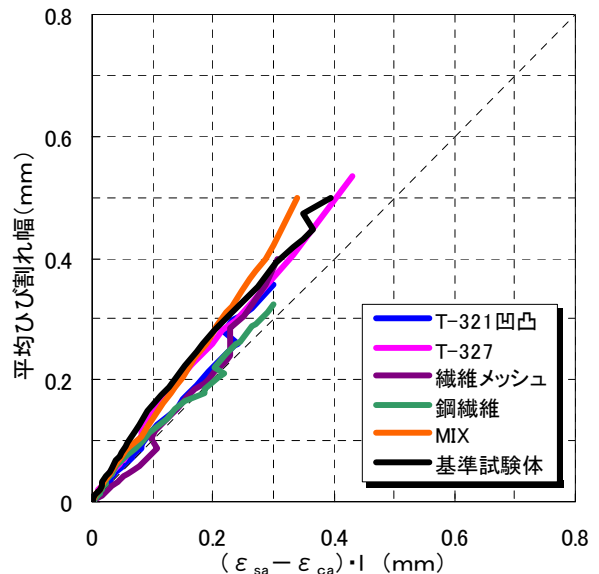


図-8 平均ひび割れ幅 -  $(\epsilon_{sa} - \epsilon_{ca}) \cdot l$