

# 論文 各種短繊維が短繊維補強鉄筋コンクリート部材のひび割れ間隔に与える影響

竹山 忠臣\*1・磯部 岳\*2・佐々木 亘\*3・内田 裕市\*4

**要旨:** 本研究では、鉄筋と短繊維補強コンクリートを併用し、使用する繊維の種類を変化させて、引張軟化特性を同程度にした場合のひび割れ間隔を検討した。その結果、繊維の種類を変化させても、コンクリートの引張軟化特性が同程度であれば、ひび割れ間隔は同程度であり、従来のプレーンコンクリートを用いた RC 部材とほぼ同程度であった。また、鉄筋と短繊維補強コンクリートを併用する場合もプレーンコンクリートを用いた場合と同様、ひび割れ面における鉄筋ひずみを把握することで、ひび割れ幅の算定が可能であることが示された。

**キーワード:** 短繊維補強コンクリート、架橋効果、ひび割れ間隔、引張軟化特性、異形鉄筋

## 1. はじめに

短繊維補強コンクリートは古くから研究が実施されており、コンクリート中に短繊維を分散させることで、せん断耐力の向上、ひび割れ幅の抑制などの効果が期待できる。コンクリート中に混入した短繊維が効果を発揮するのは、主にひび割れ発生後である。しかし、SHCC<sup>1)</sup>を含む一部の材料を除いて、短繊維補強コンクリートは使用状態で照査においてひび割れ発生後の特性が合理的には考慮されていないのが現状である。

そこで、筆者ら<sup>2),3)</sup>は、鉄筋と短繊維補強コンクリートを併用した部材を対象とし、両引き試験により、ひび割れ間隔に関する検討を実施している。この中では、短繊維補強コンクリートの圧縮強度と引張軟化特性がひび割れ間隔に与える影響を検討している。ひずみ軟化型の短繊維補強コンクリート<sup>4)</sup>に対しては、引張軟化特性を高くしても、複数のひび割れを1本にまとめて考慮すれば、ひび割れ間隔に対して大きな影響を与えることはなく、プレーンコンクリートのひび割れ間隔とほぼ同程度であることを報告している。

筆者らの検討<sup>2),3)</sup>では、同一の繊維を用いて繊維混入量を調整することで引張軟化特性を変化させて、引張軟化特性がひび割れ間隔に及ぼす影響を検討した。しかし、引張軟化特性は繊維混入率だけでなく、使用する繊維の種類によっても変化する<sup>5)</sup>。そこで、本研究では、短繊維補強コンクリートに使用する繊維の種類と混入率を変化させて、引張軟化特性を同程度にした場合の両引き試験体のひび割れ性状について検討することとした。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験要因および使用繊維

本検討の実験要因は短繊維補強コンクリートの引張軟化特性であり、短繊維補強コンクリートに使用する繊維の種類が変わっても引張軟化特性が同程度になるように設定した。既往の検討では、圧縮強度を 40, 80, 120N/mm<sup>2</sup> の 3 水準、引張軟化特性を PL (プレーン), A, B, C (A, B, C の順に軟化域の応力が高い) の 4 水準に設定している (図-1)。本検討では、既報において圧縮強度と引張軟化特性が中間の水準となる 80-B と同程度になるように目標圧縮強度 (80N/mm<sup>2</sup>) と目標引張軟化特性を設定した。

表-1 に使用材料、表-2 にベースコンクリートの配合、写真-1 に使用した繊維を示す。本検討では、繊維径、繊維長と引張強度の異なる鋼繊維を 2 種類、合成繊維である PVA 繊維を 1 種類、計 3 種類の繊維を用いた。以下、繊維径 0.62mm, 繊維長 30mm, アスペクト比 48 の鋼繊維を SF48, 繊維径 0.2mm, 繊維長 22mm, アスペクト比 110 の鋼繊維を SF110, 繊維径 0.66mm, 繊維長 30mm, アスペクト比 45 の PVA 繊維を PVA45 とする。水結合材比を 40% とし、短繊維は外割で混入した。フレ

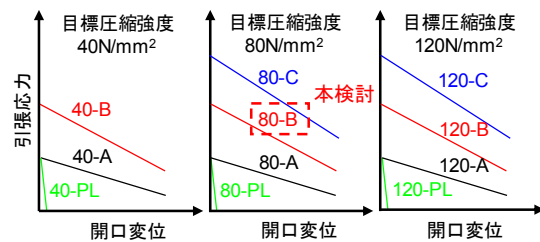


図-1 試験パラメータ

\*1 三井住友建設株式会社 技術本部 技術研究所 修(工) (正会員)

\*2 岐阜大学大学院 自然科学技術研究科 環境社会基盤工学専攻 (学生会員)

\*3 三井住友建設株式会社 技術本部 技術研究所 博(工) (正会員)

\*4 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 教授 博(工) (正会員)

表-2 配合表（ベース配合）

W/B (%)	s/a (%)	スランブ (cm) 目標値 ※繊維混入	空気量 (%) 目標値 ※繊維混入	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水 W	結合材 B		細骨材 (砕砂) S	粗骨材 G Gmax15mm
					セメント C	シリカフェューム SF		
40.0	69.0	8.0 以上	3.5	175	394	44	1215	528

フレッシュ性は、打込み時のスランブと空気量の目標値を8.0cm 以上、3.5%とし、高性能 AE 減水剤、消泡剤の使用量により調整した。

2.2 供試体および試験体の製作

コンクリートは容量 100 リットルの強制二軸ミキサにより練混ぜ、フレッシュ性状の確認後直ちに型枠内へ打込んだ。供試体および試験体は、早期の強度発現およびその後の強度変化の抑制を目的として蒸気養生を実施した。蒸気養生条件は、前置きが注水後 4 時間、昇温速度 15°C/hr、最高温度 50°C、保持時間を 56 時間、降温速度 7.5°C/hr であり、前述の目的から保持時間を長く設定した。蒸気養生終了後に脱枠を実施し、試験材齢まで実験室に静置した。

2.3 短繊維補強コンクリートの力学特性

強度試験は、蒸気養生終了後と試験時で実施し、圧縮強度試験、割裂引張強度試験、切欠きはりの 3 点曲げ試験を実施した。圧縮強度試験は JIS A 1108、割裂強度試験は JIS A 1113 に準拠して実施した。割裂引張強度試験では、供試体端面に荷重方向と垂直になるようにひずみゲージを設置し、計測値が不連続になったときの荷重からひび割れ発生強度<sup>6)</sup>を求めた。切欠きはりの 3 点曲げ試験は、JCI 試験方法<sup>7)</sup>に準じ、100×100×400mm の角柱供試体を用いた曲げ試験によって得られた 4 体の荷重-開口変位曲線の平均曲線を逆解析することで引張軟化曲線を算出した。

2.4 事前検討

試験体製作に先立ち、SF110 および PVA45 の短繊維混入率(V<sub>f</sub>)を決定するための予備試験練りを実施した。目標とする引張軟化特性は既報における 80-B であり、SF48 の短繊維混入率は 0.75vol.%である。SF110 と PVA45 について、それぞれ 2 水準の短繊維混入率でコンクリートを練混ぜ、2.2 に示した養生を行なった。養生終了後、圧縮強度試験と切欠きはりの 3 点曲げ試験を実施し、曲げ試験結果から引張軟化曲線を算出した。

表-3 に圧縮強度試験結果、図-2 に引張軟化曲線を示す。切欠きはりの 3 点曲げ試験における各繊維ごとの 4 本の荷重-開口変位曲線のばらつきについては大きな差がみられなかったため、平均曲線を用いて逆解析を行なった。それぞれ、既報の 80-B (SF48, V<sub>f</sub>=0.75vol.%)

表-1 使用材料

材料	種類,物性など	
水	上水道水	
結合材	セメント	早強ポルトランドセメント,密度3.13g/cm <sup>3</sup>
	混和材	エジプト産シリカフェューム,密度2.25g/cm <sup>3</sup>
細骨材	砕砂,栃木県産石灰砕砂,密度2.73g/cm <sup>3</sup>	
粗骨材	砕石1505,栃木県産硬質砂岩,密度2.64g/cm <sup>3</sup>	
短繊維	鋼繊維 (SF48)	密度7.85g/cm <sup>3</sup> ,繊維径0.62mm,繊維長30mm,アスペクト比48,引張強度1100N/mm <sup>2</sup> ,両端フック付
	鋼繊維 (SF110)	密度7.85g/cm <sup>3</sup> ,繊維径0.2mm,繊維長22mm,アスペクト比110,引張強度2000N/mm <sup>2</sup> 以上
	PVA繊維 (PVA45)	密度1.30g/cm <sup>3</sup> ,繊維径0.66mm,繊維長30mm,アスペクト比45,引張強度900N/mm <sup>2</sup>
化学混和剤	高性能 AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系
	消泡剤	ポリアルキレングリコール誘導体

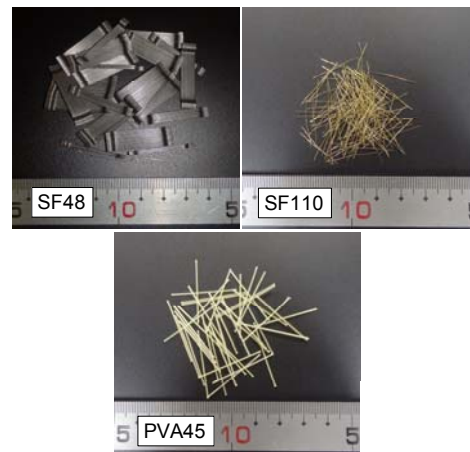


写真-1 使用繊維

表-3 短繊維混入率と強度試験結果

名称	短繊維混入率 V <sub>f</sub> (vol.%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げタフネス T <sub>cm0d4</sub> (N・mm)	備考
SF48-0.75	0.75	94.0	2.66	既報の結果
SF110-0.3	0.3	92.5	2.65	SF110 φ0.2×22mm鋼繊維
SF110-0.75	0.75	93.8	5.50	
PVA45-0.75	0.75	93.4	1.19	PVA45 φ0.66×30mmPVA繊維
PVA45-1.5	1.5	90.6	2.07	

も併せて示してある。圧縮強度は 90.6~94.0N/mm<sup>2</sup> であり、短繊維の種類や混入率の影響は見られなかった。引張軟化曲線は、PVA45 を使用した場合、短繊維混入率を 0.75vol.%から 1.5vol.%にすると、引張応力のピークは 2

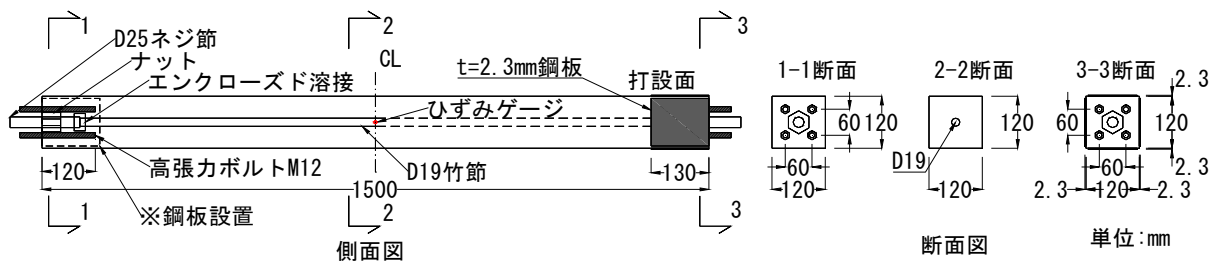


図-3 試験体

倍になった。また、PVA45-1.5 の引張軟化曲線は開口変位が 1mm 程度までは SF48-0.75 と概ね一致していることが分かる。SF110 を使用した場合は、SF48-0.75 と同一の短繊維混入率とすると、引張応力のピークは SF48-0.75 の 2 倍程度になった。短繊維混入率を 0.3vol.% とすると、引張応力のピークは SF48-0.75 よりも 1N/mm<sup>2</sup> 程度低いが、SF110-0.3 と SF48-0.75 の開口変位が約 2.0mm までの破壊エネルギーを比較すると、ほぼ同程度であることが分かる。使用する繊維の種類を変えた場合、繊維の引張強度やヤング係数が異なるため、引張軟化曲線を一致させることは難しいが、本検討では、SF48-0.75、SF110-0.3 および PVA45-1.5 の引張軟化特性が同一であると見なすこととし、両引き試験体の短繊維混入率を SF48 は 0.75vol.%、SF110 は 0.3vol.%、PVA45 は 1.5vol.% とした。

## 2.5 試験体

図-3に試験体の概要を示す。寸法は 120×120×1500mm とし、断面中央に D19 の異形鉄筋（竹節）を配置した。鉄筋のかぶりは 50mm である。D19 鉄筋の両端に D25 のネジ節鉄筋をエンクロズド溶接で接合して端部鋼板にナット定着した。鉄筋の材質はいずれも SD345 とした。鉄筋応力を測定するために、鉄筋に 2 軸型のひずみゲージ（ゲージ長さ 2mm）を設置した。本検討では、ひずみゲージの設置による鉄筋とコンクリートの付着性能に与える影響を最小限に抑える目的で、鉄筋の計測位置は試験体中央の一箇所のみとした。ひずみゲージ設置に際しては、貼付け位置の異形鉄筋の節を鉄筋の断面欠損が生じない程度に削り、ひずみゲージを設置した。ひずみゲージ表面には、2 液混合型のエポキシ樹脂を異形鉄筋の節とコンクリートの付着を阻害しないように塗付した。リード線は縦リブに沿わせて試験体端部の打設面から引き出した。なお、鉄筋は試験体の側面（図-3 の断面図中、左右）に異形鉄筋の節が向くように配置した。

試験体端部には、M12 の全ネジボルトを 4 本埋込み、試験体端部の割裂破壊を防止する目的で、厚さ 2.3mm の鋼板を試験体の 4 面にエポキシ樹脂を用いて接着した。試験体数は 1 水準あたり 2 体とした。

## 2.6 両引き試験

本検討では、既往の検討<sup>2),3)</sup>と同様、ひび割れ面における鉄筋応力を測定するため、試験体中央のひずみゲ

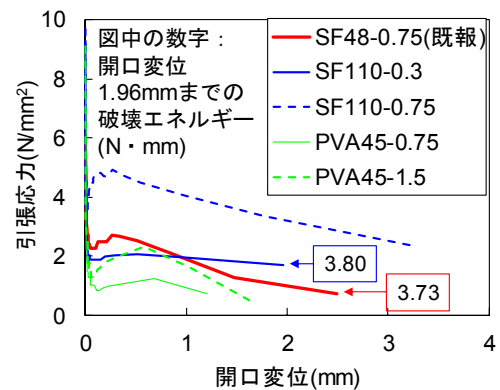


図-2 引張軟化曲線

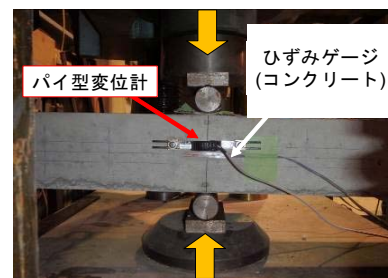


写真-2 事前ひび割れ導入状況

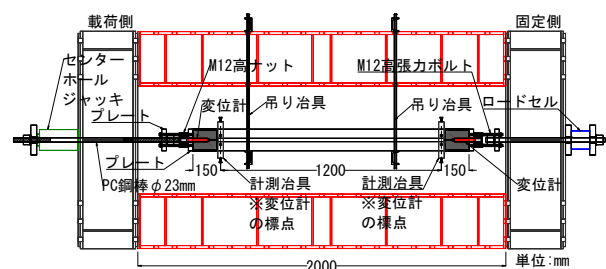


図-4 試験装置

ジを設置した位置に、事前に割裂引張力を与えひび割れを導入してから両引き試験を実施した（写真-2）。事前のひび割れ導入には、容量 1000kN の万能試験機を用いた。測定項目は、荷重、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみ、開口幅（ひび割れ幅）とし、ひび割れ導入後の鉄筋ひずみと開口幅の測定値を両引き試験時にオフセットした。

両引き試験に使用した試験装置を図-4 に示す。試験体端部に埋め込んだ全ネジボルトを高ナットで延長し、

表-4 強度試験結果

試験体名	圧縮強度試験結果		割裂強度試験結果		曲げ試験結果		
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ひび割れ 発生強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	Tcmod4 (N・mm)	事前検討結果 Tcmod4 (N・mm)
PL	96.2	40.5	4.52	3.67	5.69	-	-
SF48-0.75	97.9	41.0	-	4.26	9.09	3.36	2.66
SF110-0.3	89.6	35.1	-	4.66	7.48	2.93	2.65
PVA45-1.5	86.7	30.8	-	4.73	8.19	2.23	2.07

プレートを介し、φ23mmのPC鋼棒とセンターホールジャッキを用い荷重した。吊り治具と試験体の接する面にはテフロンシートを2重で設置し、摩擦の影響を除外した。計測項目は、荷重、変位、鉄筋ひずみ、パイ型変位計による開口幅とした(図-5)。荷重の検出には容量300kNのロードセルを用いた。変位は、試験体端部より150mmの位置に変位計を設置して測定し、試験区間は1200mmとした。荷重側は容量50mm、固定側は容量25mmの高感度変位計を用いた。開口幅は、検長100mm、容量5mmのパイ型変位計を試験体側面の試験体軸方向に沿って千鳥に片面9台ずつ、計18箇所測定した。

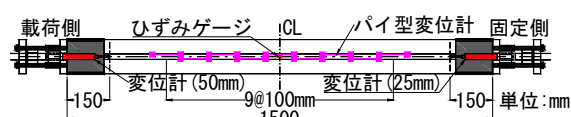


図-5 計測位置図

### 3. 実験結果

#### 3.1 強度試験結果

表-4に強度試験結果、図-6に引張軟化曲線を示す。圧縮強度は、PVA45-1.5が若干低い結果となったが、全ての試験体間で圧縮強度は±10N/mm<sup>2</sup>以内になっており、いずれも目標値の範囲内であった。ひび割れ発生強度は、3.67~4.73N/mm<sup>2</sup>で±1.00N/mm<sup>2</sup>の範囲内の結果であった。引張軟化特性は、SF110-0.3とPVA45-1.5の引張軟化曲線を比較すると、事前検討結果とほぼ同程度の結果が得られた。SF48-0.75は、既報の結果よりも引張応力の応力差が0.5N/mm<sup>2</sup>程度高くなった。しかし、SF48-0.75、SF110-0.3、PVA45-1.5の引張軟化曲線の開口変位が1mm程度までの引張応力の応力差を比較すると、±1.0N/mm<sup>2</sup>程度になっており、使用する繊維が異なっても同程度の引張軟化特性が得られた。

#### 3.2 両引き試験結果

本検討で使用したD19異形鉄筋(試験区間の鉄筋)の引張試験結果を表-5に示す。試験体端部のD25ネジ節鉄筋は全て共通で、降伏点388.6N/mm<sup>2</sup>、引張強度575.4N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数192.7kN/mm<sup>2</sup>であった。

図-7に両引き試験で得られた荷重-変位関係、図-8に試験終了後の試験体側面のひび割れ図を示す。いずれも両引き試験体1条件2体の間で、荷重-変位関係とひび割れ状況に大きな差がなかったため、両引き試験体2

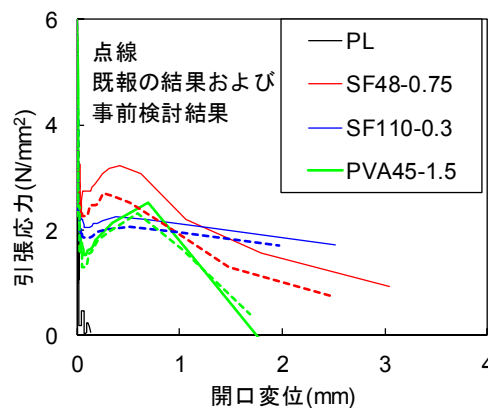


図-6 引張軟化曲線

表-5 鉄筋の引張試験結果

試験体名	D19 異形鉄筋		
	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
PL	384.6	579.2	196.5
SF48-0.75	389.4	573.6	184.6
SF110-0.3	384.6	579.2	196.5
PVA45-1.5			

体の内の1体の結果を示している。図-7中には、鉄筋単体の引張試験結果より得られた荷重-ひずみ関係の平均曲線から試験区間1200mmの変位として表わした結果を示す。図中、左側には荷重-変位関係の鉄筋降伏までの部分を拡大した結果を示している。なお、PL、SF110-0.3、PVA45-1.5の3体とSF48-0.75の1体で試験区間のD19異形鉄筋の力学特性が異なるが、鉄筋の降伏点が大きく異なることから、図中には、PL、SF110-0.3、PVA45-1.5

の鉄筋の引張試験より得られた結果を示している。実験は、パイ型変位計で計測された開口幅が2mmを超える、もしくは新たなひび割れが発生しなくなり定常状態になったと判断されるまで実施した。図-8では、試験終了後、試験体を観察し、1.5mm以上に拡幅しているひび割れを赤色で示してある。載荷開始後、いずれも事前に導入した試験体中央のひび割れが拡大した。新たなひび割れが発生した後は、事前に導入したひび割れを含む全てのひび割れがほぼ均等に拡大した。PLは、鉄筋降伏後も複数のひび割れが均等に拡大したのに対して、短繊維補強コンクリートの試験体は、鉄筋降伏後、鉄筋降伏前に発生したひび割れの一本ないし数本が拡大する傾向が見られた。PLの赤色に着色したひび割れと短繊維補強コンクリートの試験体のひび割れの発生状況を比較すると、短繊維補強コンクリートの試験体はPLの赤色のひび割れとほぼ同じ位置にひび割れが発生し、そのごく近傍に複数のひび割れが発生している。PLはパイ型変位計1箇所の検長区間につき1本ないし2本のひび割れが発生している。短繊維補強コンクリートの試験体はパイ型変位計1箇所の検長区間につき複数本のひび割れが発生している。これより、パイ型変位計1箇所に発生した複数本のひび割れを大きく1本のひび割れとしてまとめると、試験体の断面を貫通するレベルのひび割れ幅の大きいひび割れの発生位置に大きな差がないことが分かる。

既往の研究<sup>8)</sup>で、鉄筋とコンクリートの両引き試験を行う場合、コンクリートの収縮による初期応力の影響が大きいことが知られている。本報では、事前に試験体にひび割れを導入していることから、初期応力が部材性能に与える影響を考慮できていない。載荷開始後、新たなひび割れが発生するまでは、全ての試験体の荷重-変位関係は一致している。PLは新たなひび割れの発生後、荷重-変位関係が鉄筋単体に漸近し、鉄筋降伏相当の変位が3mm以降、荷重は鉄筋単体とほぼ同程度になっている。短繊維補強コンクリートの試験体は、テンションスティフニングと繊維の架橋効果により、PLよりも同一変位における荷重-変位関係の荷重が高くなっていることが分かる。また、短繊維補強コンクリートの試験体であるSF48-0.75、SF110-0.3、PVA45-1.5の3体の結果を比較すると、全ての試験体の荷重-変位関係は一致していることが分かる。これより、短繊維補強コンクリートに使用する繊維の種類を変えて、引張軟化特性を同程度に設定すると、荷重-変位関係とひび割れの発生状況に大きな差がないことから、本検討範囲での短繊維補強鉄筋コンクリート部材の引張性能は、コンクリートの引張軟化特性に依存すると考えられる。

図-9に試験体中央で測定されたひび割れ幅と鉄筋ひずみの関係を示す。本報における開口幅（ひび割れ幅）

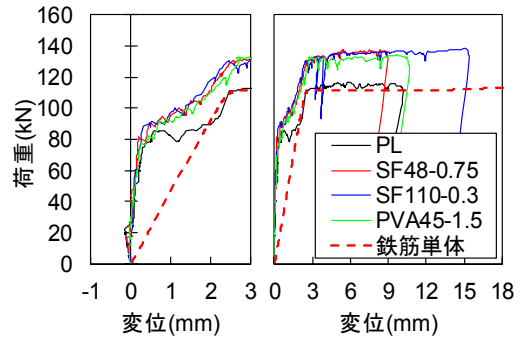


図-7 荷重-変位関係

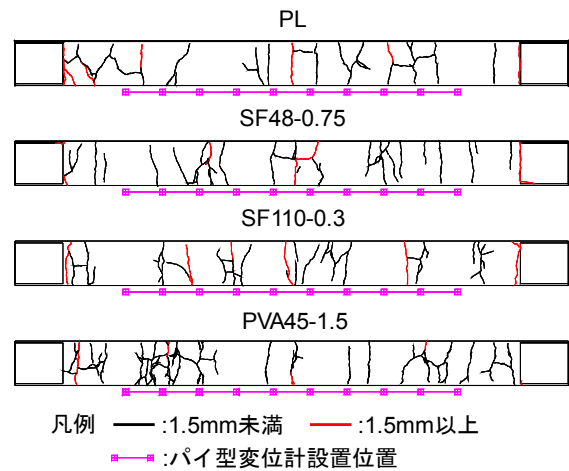


図-8 ひび割れ図（試験終了後）

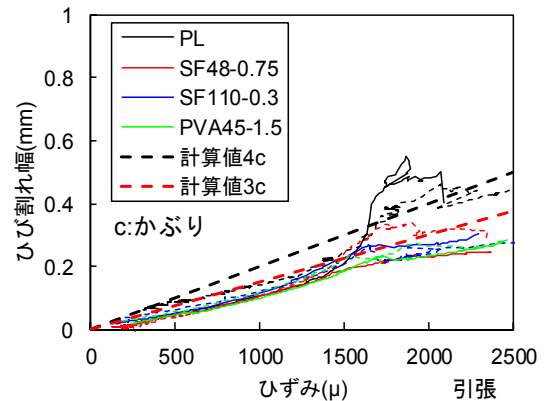


図-9 鉄筋ひずみとひび割れ幅の関係

は検長100mm区間の変位である。図-8に示したように、事前に導入した試験体中央のひび割れの近傍に新たなひび割れが発生している試験体もあるため、開口幅（ひび割れ幅）は1本ないし複数本のひび割れを含んだ値である。図-9より、既報の結果<sup>2)</sup>と同様、鉄筋ひずみとひび割れ幅の関係には線形的な関係があり、鉄筋ひずみに比例してひび割れ幅が増加しており、繊維の種類が異なっても同様の傾向が見られる。

一般的に、鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅<sup>9)</sup>は、式(1)より求めることができる。

$$w = l(\varepsilon_s - \varepsilon_c) \quad (1)$$

ここに、 $w$ ：ひび割れ幅(mm)、 $l$ ：ひび割れ間隔(mm)、 $\varepsilon_s$ ：ひび割れ間における鉄筋の平均ひずみ、 $\varepsilon_c$ ：ひび割れ間のコンクリート表面における平均ひずみ

図-9中には、ひび割れ間隔 $l$ をかぶり $c$ の4、3倍として、コンクリートのひずみを無視した場合の計算値<sup>10)</sup>を併せて示す。パイ型変位計の検長区間に複数発生したひび割れを1本にまとめることで実験値と計算はほぼ一致しており、かぶりの4~3倍程度になっていることが分かる。これより、短繊維補強コンクリートの引張軟化特性を同程度にして、短繊維補強コンクリートに使用する繊維の種類を変えても既報の結果<sup>2)</sup>と同様の結果となっていることが分かる。本検討では、ひずみ軟化型の短繊維補強コンクリート<sup>4)</sup>を検討したが、鉄筋とひずみ軟化型の短繊維補強コンクリートを併用した場合、引張軟化特性が、ひび割れ間隔に与える影響は小さいと考えられる。これより、本検討の範囲の短繊維補強コンクリートは、複数のひび割れを1本にまとめて考慮することで、ひび割れ間隔は、普通コンクリートと同様にかぶりの4倍として考慮しても問題ないと考えられる。

#### 4. まとめ

本検討では、鉄筋と短繊維補強コンクリートの併用構造を対象として、圧縮強度と引張軟化特性を同程度にして、短繊維補強コンクリートに使用する繊維の種類を変化させた場合に、ひび割れ間隔に与える影響を両引き試験により検討した。本検討で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鉄筋とひずみ軟化型の短繊維補強コンクリートを併用した場合、引張軟化特性が同程度であれば、繊維の種類を変えても、複数のひび割れを1本にまとめて考慮した場合のひび割れ間隔は普通コンクリートと同程度である。
- (2) 鉄筋と短繊維補強コンクリートを併用した場合も普通コンクリートと同様、ひび割れ面における鉄筋ひずみを把握することができれば、複数のひび割れ

幅を1本のひび割れにまとめた場合のひび割れ幅の算定は可能となると考えられる。

本検討では、鉄筋と短繊維補強コンクリートのひび割れ間隔に関する検討を実施したが、コンクリートの収縮による初期応力、鉄筋径やかぶりを変化させた場合の付着特性の検討が不十分であるため、今後十分な検討を行なっていく必要があると考えている。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー、No.127、2007
- 2) 竹山忠臣、佐々木亘、篠崎裕生、内田裕市：鉄筋と短繊維補強コンクリートのひび割れ特性に関する基礎的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.20、pp.1207-1212、2018
- 3) 竹山忠臣、磯部岳、佐々木亘、内田裕市：鉄筋と短繊維補強コンクリートのひび割れ間隔に関する検討、第27回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム集、pp.461-464、2018
- 4) 土木学会：コンクリート技術シリーズ119、繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会(第2期)成果報告書、2018.9
- 5) 例えば、森香奈子、川口哲生、河野克哉、田中敏嗣：収縮低減剤を使用した超高強度繊維補強コンクリートの収縮特性と破壊力学特性、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.257-262、2011
- 6) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー、No.113、2004
- 7) JCI 基準：切欠きはりを有いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法 JCI-S-002-2003
- 8) 塩永亮介、佐藤靖彦、Walraven,J.C.：高性能繊維補強モルタルを適用したRC部材の一軸引張挙動に関する研究、土木学会論文集E、Vol.66、No.4、pp.366-379、2010
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]、2017