

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

Influence for Crack Spacing of Fiber Reinforced Concrete Structure Using Various Fiber

技術研究所 竹山 忠臣 TADAOMI TAKEYAMA
技術研究所 恩田 陽介 YOSUKE ONDA
技術研究所 佐々木 亘 WATARU SASAKI
技術研究所 篠崎 裕生 HIROO SHINOZAKI
技術研究所 三上 浩 HIROSHI MIKAMI

本報では、引張軟化特性が同程度の短繊維補強コンクリートを使用した鉄筋コンクリート試験体を用いて、短繊維の種類がひび割れ間隔に与える影響を検討した。その結果、短繊維の種類を変化させても、引張軟化特性が同程度であれば、断面を貫通するレベルのひび割れとその隣接する複数のひび割れを1本のひび割れにまとめて考慮することで、ほぼ同程度のひび割れ間隔になることが分かった。また、ひび割れ幅についても、従来の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算定できることが示された。

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

This paper describes the effect of fiber type on the crack spacing of reinforced concrete specimens using fiber reinforced concrete with similar tension softening property. The test result indicates that if tension softening property are comparable, the crack spacing is almost the same even if the types of short fibers are different, in considering a crack that penetrates a cross section and its adjacent cracks into one crack. Besides, it was shown that the crack width can be calculated by grasping the strain of reinforcing bar through the crack, as in the case of using conventional plain concrete.

Key Words: fiber reinforced concrete, bridging effect, crack spacing, tension softening property, reinforcing bar

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、SHCC¹⁾（ひずみ硬化型セメント系複合材料）を含む一部の材料を除いて、短繊維補強コンクリートは設計レベルの荷重が作用する使用状態での照査において、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²⁾。そのため、ひび割れ発生後の繊維の架橋効果を考慮することができれば、より合理的な部材設計ができるものと考えられ、ひび割れ面におけるひび割れ間隔とひび割れ

幅の関係を把握するのは重要であると考えられる。

既往の研究^{3),4)}では、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、ひび割れ間隔に与える影響を検討した。ひずみ軟化型の鋼繊維補強コンクリート²⁾（引張軟化曲線における引張強度が、マトリクスの引張強度以下で、ひび割れ発生後、引張応力が軟化する材料）に対しては、軟化域の引張応力を高くしても、部材の断面を貫通するレベルのひび割れと隣接する複数のひび割れ幅の小さいひび割れを1本にまとめて考慮すれば、ひび割れ間隔に与える影響は小さく、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た。

しかし、引張軟化特性は使用する繊維の種類によっても変化する³⁾ことから、引張軟化特性を考慮した部材設計を行なうためには、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であれば、部材性能も同程度になることを確認する必要がある。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した。

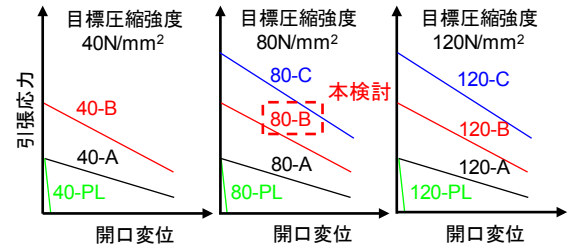


図-1 試験パラメータ

2. 実験概要

(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。既往の研究^{3),4)}では、両端にフック加工が施された鋼繊維を用いて、圧縮強度を 40, 80, 120N/mm² の 3 水準、引張軟化特性を PL (プレーン), A, B, C (A, B, C の順に繊維混入率が高く、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、短繊維補強コンクリートの圧縮強度の影響を極力小さくし、繊維の種類の影響を検討するため、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/mm²) と目標引張軟化特性 (フック加工が施された鋼繊維 0.75vol.%相当) 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。フレッシュ性状は、打込み時のスランプ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。

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 ³
	混和材	エジプト産シリカフューム,密度2.25g/cm ³
細骨材	砕砂,栃木県産石灰砕砂,密度2.73g/cm ³	
粗骨材	砕石1505,栃木県産硬質砂岩,密度2.64g/cm ³	
短繊維	鋼繊維 (SF48)	密度7.85g/cm ³ ,繊維径0.62mm,繊維長30mm,アスペクト比48,引張強度1100N/mm ² ,両端フック付
	鋼繊維 (SF110)	密度7.85g/cm ³ ,繊維径0.2mm,繊維長22mm,アスペクト比110,引張強度2000N/mm ² 以上
	PVA繊維 (PVA45)	密度1.30g/cm ³ ,繊維径0.66mm,繊維長30mm,アスペクト比45,引張強度900N/mm ²
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

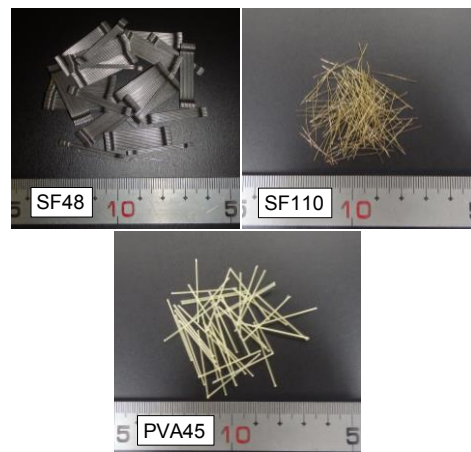


写真-1 使用繊維

表-2 配合表 (ベース配合)

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

(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。強度試験に用いる供試体と両引き試験に用いる試験体は、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。蒸気養生後に脱枠を実施し、試験材齢まで実験室に静置した。

(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、割裂引張強度試験は 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⁶⁾を求めた。切欠きはりの 3 点曲げ試験は、JCI 試験方法⁷⁾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。

(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_f)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、先述した蒸気養生(最高温度 50°C 保持時間 56 時間)を行なった。表-3 に予備試験練りを実施した繊維混入率の水準を示す。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。それぞれ、既報の 80-B (SF48, V_f 0.75vol.%) も併せて示してある。圧縮強度は 90.6~94.0N/mm² 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 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、開口変位 1.5mm 程度までの引張軟化曲線の軟化勾配が同程度であることが分かる。SF110 を使用した場合は、SF48-0.75 と同一の短繊維混入率 (0.75vol.%) とすると、

表-3 短繊維混入率と強度試験結果

名称	短繊維混入率 V_f (vol.%)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げタフネス T _{mod4} (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	

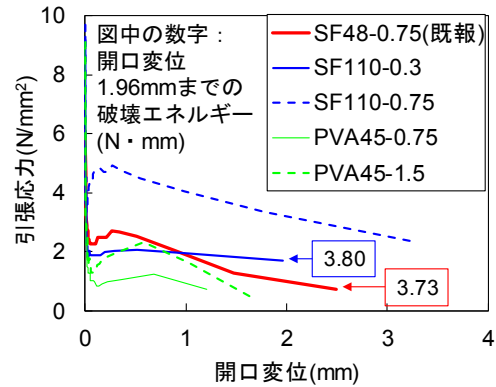


図-2 引張軟化曲線

引張軟化曲線の引張応力のピークは SF48-0.75 の 2 倍程度になった。SF110 の短繊維混入率を 0.3vol.% とすると、引張軟化曲線の引張応力のピークは SF48-0.75 よりも 1N/mm² 程度低いが、SF110-0.3 の逆解析より算出した引張軟化曲線の開口変位が最大となる約 2.0mm までの破壊エネルギー、すなわち、引張軟化曲線の面積を比較すると、SF110-0.3 と SF48-0.75 の破壊エネルギーはほぼ同程度であることが分かる。短繊維補強コンクリートに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、引張軟化曲線を完全に一致させることは難しい。

本検討では、引張軟化曲線の開口変位が 1.0mm 程度までは引張応力の応力差を ±1.0N/mm² 以内、開口変位が 1mm 以降は引張軟化曲線の軟化勾配、もしくは引張軟化曲線の破壊エネルギーを同程度にすることで、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。

(5) 試験体

図-3 に試験体を示す。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。鉄筋のかぶり厚は 50mm である。D19 鉄筋の両端に D25 のネジ節

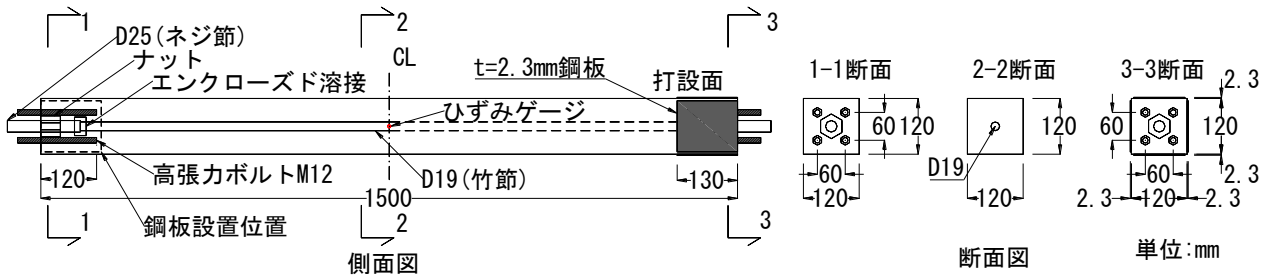


図-3 試験体

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 ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	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

鉄筋をエンクロー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する目的で、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。

(6) 両引き試験

本検討では、既往の検討^{2),3)}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ー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

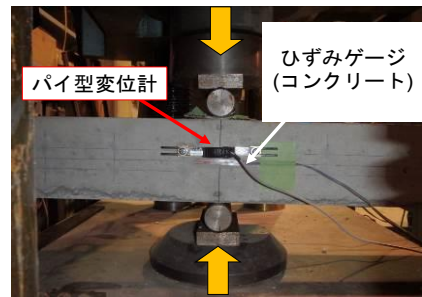


写真-2 事前ひび割れ導入状況

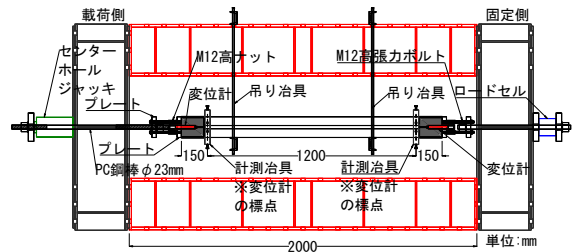


図-4 試験装置

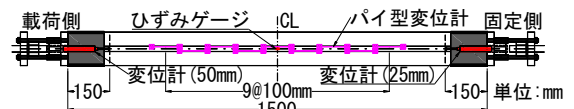


図-5 計測位置図

た。なお、ひび割れ導入前から初期値測定までで、残留した鉄筋ひずみは 100~400μ 程度、残留した開口幅は 0.005~0.1mm（両面のパイ型変位計の平均で 0.05mm 以下）程度であった。

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、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载荷した。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（ひび割れ幅）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。载荷側は容量50mm、固定側は容量25mmの高感度変位計を用いた。開口幅（ひび割れ幅）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。

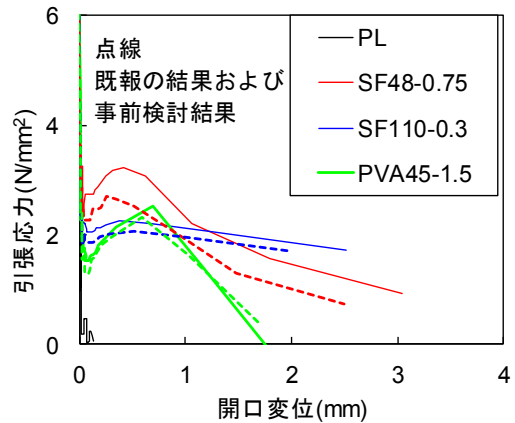


図-6 引張軟化曲線

表-5 鉄筋の引張試験結果

試験体名	D19 異形鉄筋		
	降伏点 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	ヤング係数 (kN/mm²)
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	384.6	579.2	196.5

3. 実験結果

(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概ね 90N/mm² 程度に収まっており、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/mm² で概ね±1.00N/mm² 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/mm² 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（ひずみ軟化型の短繊維補強コンクリートの引張軟化曲線であれば、概ね軟化域に相当し、繊維の架橋効果を評価するには十分なレベル）までの引張応力の応力差を比較すると、±1.0N/mm² 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ていると判断できる。

(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/mm²、引張強度 575.4N/mm²、ヤング係数 192.7kN/mm² 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 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 の試験体に用いた鉄筋単体の引張試験結果を示している。加力は、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。载荷開始後、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

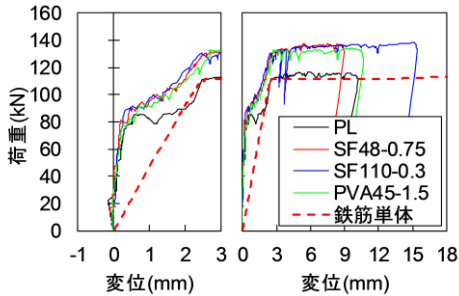


図-7 荷重-変位関係

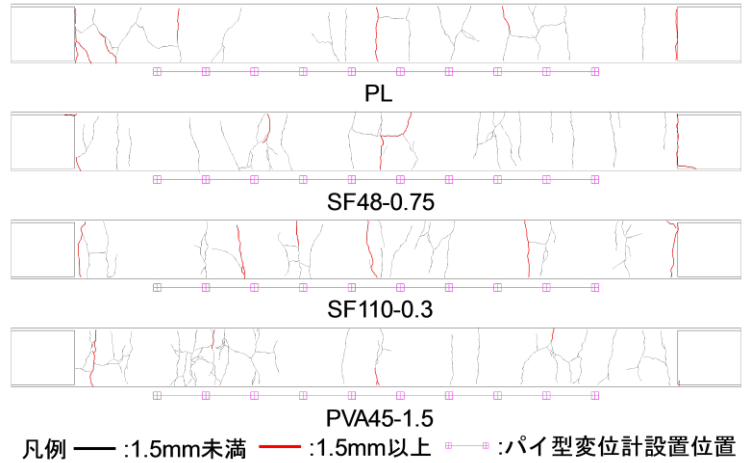


図-8 ひび割れ図 (試験終了後)

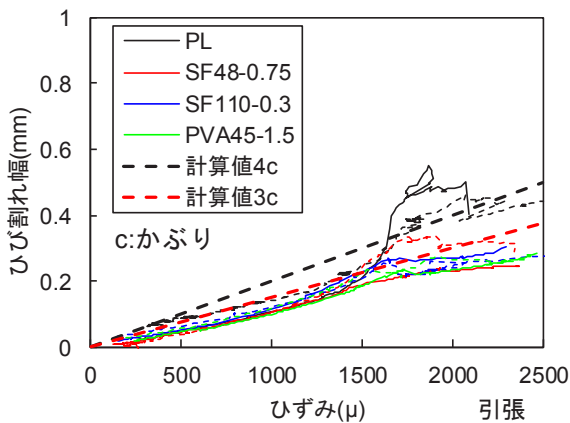


図-9 鉄筋ひずみとひび割れ幅の関係

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⁸⁾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ない。このため、荷重-変位関係の新たなひび割れが発生する(荷重 80kN 程度)までの剛性は、事前にひび割れを導入しない一般的な両引き試験の結果と若干異なると考えられる。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、テンションステイ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も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)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^{3),4)}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⁹⁾は、式(1)より求めることができる。

$$w = l(\epsilon_s - \epsilon_c) \quad (1)$$

ここに、 w : ひび割れ幅(mm), l : ひび割れ間隔(mm), ϵ_s : ひび割れ間における鉄筋の平均ひずみ, ϵ_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 3, 4 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⁹⁾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 3~4 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^{3),4)}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²⁾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 3~4 倍として考慮しても問題ないと考えられる。

4. まとめ

本報では、鉄筋と短繊維補強コンクリートを併用した構造を対象として、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。本報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、繊維の種類を変えても、断面を貫通するレベルのひび割れと近傍のひび割れ幅の小さい複数のひび割れを 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、断面を貫通するレベルのひび割れと近傍のひび割れ幅の小さい複数のひび割れを 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。

本報では、鉄筋と短繊維補強コンクリートを併用した場合のひび割れ間隔に関する検討を行なった。しかし、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検討が残されており、今後さらなる検討を行なう予定である。

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) 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
- 3) 竹山忠臣, 恩田陽介, 佐々木亘, 篠崎裕生, 三上浩：短繊維補強コンクリートのひび割れ間隔に関する基礎的検討, 三井住友建設(株)技術研究開発報告, No.16, 2018
- 4) 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
- 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：切欠きはりを有し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) 例えば, 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