

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

三井住友建設(株) 正会員 工修 ○竹山 忠臣
 岐阜大学大学院 磯部 岳
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 佐々木 亘
 岐阜大学 正会員 博(工) 内田 裕司

キーワード：短繊維補強コンクリート，異形鉄筋，ひび割れ，引張軟化特性

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得られる。国内で実用化されている短繊維補強コンクリートの代表的な例として、圧縮強度が 150N/mm^2 以上、鋼繊維を2vol.%程度混入した超高強度繊維補強コンクリート¹⁾ (以下、UFCと略記) が挙げられる。

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、ひび割れ発生後である。しかし、設計では短繊維補強コンクリートは一部の材料以外、使用状態でひび割れ発生後の繊維の架橋効果を考慮されていないのが現状である。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る。

筆者らは、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、圧縮強度と引張軟化特性をパラメータとした鉄筋と短繊維補強コンクリートの両引き試験を行うことで、圧縮強度と引張軟化特性がひび割れ性状に与える影響を検討している²⁾。その結果、圧縮強度が $80\sim 90\text{N/mm}^2$ 程度までの短繊維補強コンクリートでは、引張軟化特性を高くしても、ひび割れ間隔に与える影響は小さく、ひび割れ間隔は普通コンクリートとほぼ同程度になることを報告している。

本報では短繊維補強コンクリートの圧縮強度を 120N/mm^2 とし、引張軟化特性を変化させた場合のひび割れ性状を検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

図-1 に試験体を示す。寸法は $120\times 120\times 1500\text{mm}$ 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の両端にはD25のネジ節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抑える目的で、鉄筋のひずみ計測位置は試験体中央の

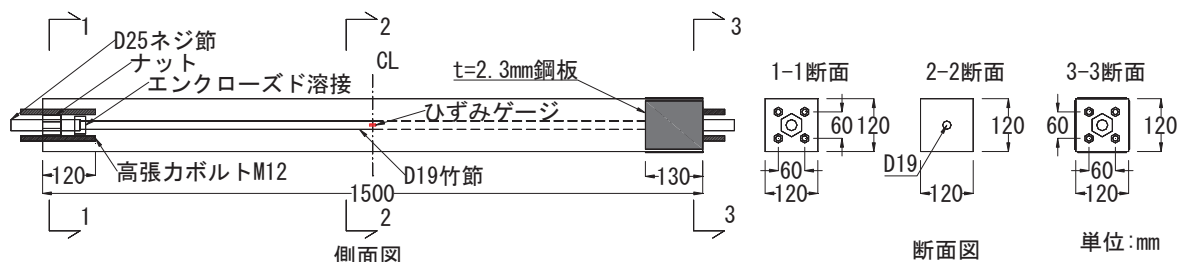


図-1 試験体

一箇所のみとした。ひずみゲージの設置に際しては、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、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。また、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。さらに本検討では、試験体の側面（型枠面：図-1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。

2.2 実験要因およびコンクリートの配合

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、プレーンを含めて4水準とした。図-2に示すように、既報との比較のため、圧縮強度が異なっても同程度の引張軟化特性となるように、繊維混入量を決定した。表-1に使用材料、表-2にコンクリートの配合を示す。本検討では圧縮強度の目標値を120N/mm²とし、水結合材比は22%とした。なお、短繊維は外割で混入した。

2.3 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ーにより練混ぜ、フレッシュ性状の確認後直ちに型枠内へ打込んだ。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行った。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である。蒸気養生終了後に脱枠を行い、試験材齢まで実験室に静置した。

2.4 強度試験

強度試験は、圧縮強度試験、割裂引張強度試験、切欠きはりの3点曲げ試験を行った。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¹⁾を求めた。切欠きはりの3点曲げ試験は、JCI試験方法³⁾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荷重-開口変位曲線を逆解析することで引張軟化曲線を算出した。

2.5 両引き試験

本検討では、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

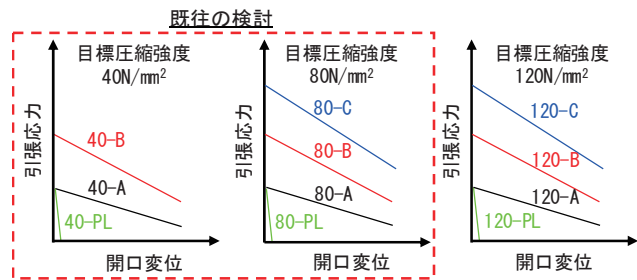


図-2 試験パラメータ

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3.23g/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,密度7.85g/cm ³ ,繊維径0.62mm,繊維長30mm,引張強度1100N/mm ² ,両端フック付	
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

表-2 配合表

種類	W/B (%)	s/a (%)	スランブ (cm) ※実測値	空気量 (%)		繊維混入量 Vf (vol.%)	単位量(kg/m ³)				
				目標値	実測値		水 W	結合材B		粗骨材 G Gmax 15mm	短繊維 Fb
								セメント C	シリカフューム SF		
120-PL	22.0	62.0	24.0	3.5	2.9	175	715	80	890	528	-
120-A			24.0		3.1						27.5
120-B			24.0		3.1						58.9
120-C			22.0		2.3						117.8

置した位置に、試験前に割裂引張力を与えひび割れを導入²⁾してから、両引き試験を実施した。

荷重はφ23mmのPC鋼棒とセンターホールジャッキにより行った。計測位置図を図-3に示す。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。荷重の検出には容量300kNのロードセルを用いた。変位計は試験体端部より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の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。

3. 実験結果

表-2に強度試験結果、図-4に引張軟化曲線を示す。圧縮強度は、120-PLよりも繊維を混入した試験体は10N/mm²程度高くなったが、ほぼ目標値の範囲内の結果であった。ひび割れ発生強度は、いずれも若干のバラつきがあるが、5.00~6.00N/mm²程度であった。引張軟化特性は、同一開口変位(0.3~0.5mm程度)の時、引張応力は120-Bは120-Aの2倍程度、120-Cは120-Aの3倍程度になっている。ここで、既往の結果²⁾と比較すると、120-AはA水準とほぼ同程度である。120-Bと120-Cの引張応力のピークはB水準とC水準よりも1N/mm²程度高くなっているが、目標圧縮強度が80N/mm²の試験体の開口変位が4mmまでの曲げタフネスを比較すると、ほぼ同程度となっており、圧縮強度が異なっても引張軟化特性は同程度になっていると言える。

図-5に両引き試験から得られた荷重-変位関係、図-6に両引き試験体2体の内の1体の試験終了後の試験体側面のひび割れ図を示している。なお、比較として既往の結果²⁾の中でひび割れが複数分散した試験体のひび割れ図を一例として示す。実験は、パイ型変位計で計測された開口幅が2.0mm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行った。120-Bと120-Cの2体の内の1体は、試験体端部に接着した鋼板と試験体の境界近傍に発生したひび割れのみが拡大したため、開口幅が2.0mmを超える前に荷重を中断した。図-6では、試験終了後、試験体を観察し、1.5mm以上に拡大しているひび割れを赤色で示してある。荷重開始後、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、新たなひび割れが発生した後は、中央のひび割

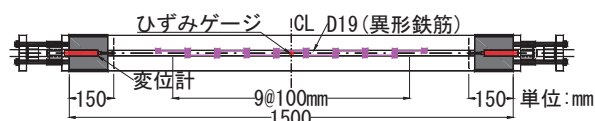


図-3 計測位置図

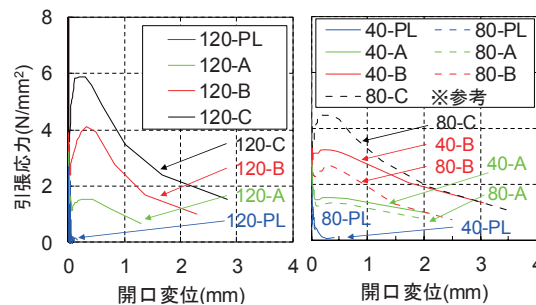


図-4 引張軟化曲線

表-2 強度試験結果

試験体	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)	曲げタフネス T _{cm0d4}		
						本検討 (N・mm)	※比較 既報 ²⁾ (N・mm)	
120-PL	127.5	44.5	5.55	5.19	7.73	-	80-PL	-
120-A	140.5	44.6	-	4.79	7.93	1.87	80-A	1.63
120-B	143.9	44.8	-	5.69	9.73	2.84	80-B	2.66
120-C	136.4	45.2	-	5.87	16.43	4.68	80-C	4.69

れ、もしくはその他のひび割れが拡大した。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プレーンコンクリートよりもひび割れの発生間隔は若干小さくなっているように見えるが、既往の結果²⁾と比較すると、本検討で実施した試験体全てのひび割れの発生間隔が小さくなっていることが分かる。これは、コンクリートの圧縮強度を高くしたことで、鉄筋とコンクリートの付着が良くなったためであると思われる。

図-7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。なお、図-6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、本検討における開口幅(ひび割れ幅)は、検長100mm区間の変位であり、1本ないし複数本のひび割れを含んだ値である。図より、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いる。図中には、ひび割れ間隔をかぶりの4, 3倍とした計算値を示しているが、引張軟化特性が異なってもひび割れ間隔は、かぶりの4~3倍の間になっていることが分かる。これより、鉄筋と本検討の範囲の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は、かぶりの4倍として考慮できると思われる²⁾。

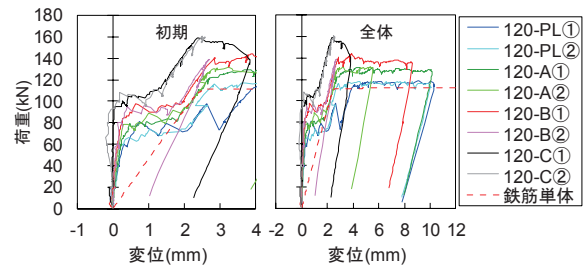


図-5 荷重-変位関係

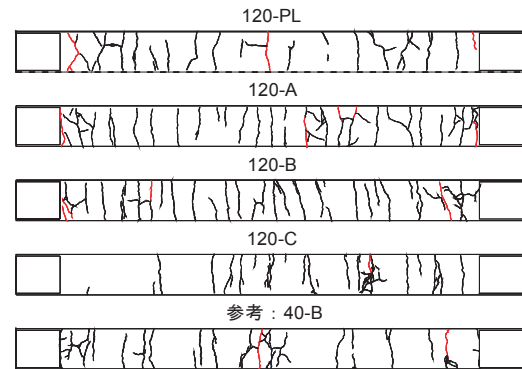


図-6 ひび割れ図(試験終了後)

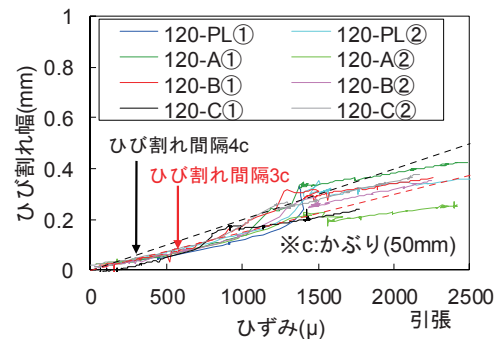


図-7 鉄筋ひずみとひび割れ幅の関係

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、引張軟化特性を変化させた場合に、鉄筋とコンクリートのひび割れ性状を両引き試験により検討した。その結果、引張軟化特性がひび割れ間隔に与える影響は小さく、普通コンクリートと同程度と考えられ、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、ひび割れ幅の算定は可能であると思われる。

また、本検討では、圧縮強度を120N/mm²としてひび割れ性状を検討したが、既往の結果よりもひび割れ間隔は小さくなっており、ひび割れ間隔に対しては、引張軟化特性よりも圧縮強度の影響が大きい可能性が考えられるが、今後、鉄筋比などの影響を含め、十分な検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 竹山忠臣，佐々木亘，篠崎裕生，内田裕市：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) JCI基準：切欠きはりをを用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