

一軸引張下におけるビニロン短繊維補強コンクリートのひび割れ抵抗性状

前田 欣昌* 早川 健司** 大滝 健*

要約： 乾燥収縮や自己収縮あるいは活荷重等の外力によって引張応力下にあるコンクリート部材のひび割れ抵抗性を高める方法として、短繊維を混入しコンクリートを補強する研究が近年進められている。本研究では、ビニロン短繊維を使用し、ビニロン短繊維の混入による RC 部材のひび割れ抵抗性の向上効果に関する検討を行うことを目的に、短繊維混入率の異なる 5 種類のコンクリートを用いて一軸引張試験を行った。試験の結果、短繊維混入率の増加に伴って、ひび割れ発生後もビニロン繊維の架橋効果と考えられる RC 部材の引張剛性の増加傾向が見られた。また、短繊維混入率の増加に従って、同一荷重時における鉄筋コンクリートの平均引張ひずみが減少し、発生するひび割れの幅が小さくなる傾向が認められ、ビニロン繊維がひび割れの発生を抑制できることが明らかとなった。

キーワード： ビニロン短繊維、一軸引張試験、ひび割れ抵抗性、ひび割れ幅

目次： 1. はじめに 3. 試験結果
2. 試験概要 4. まとめ

1. はじめに

コンクリートにひび割れが発生する原因は、乾燥収縮、自己収縮あるいは水和発熱に伴う収縮など材料に起因する場合や活荷重等の外力による場合、またはこれらが複合的に関与する場合など多岐にわたっている。このように多様な要因で発生するひび割れに対し、昨今、耐久性の観点からコンクリートのひび割れを適切に制御する意識が高まっている。

コンクリートのひび割れを抑制する方法として、短繊維を混入することによりコンクリートを補強する方法が提案されている¹⁾²⁾³⁾。短繊維補強コンクリートは、繊維の材質や形状を適切に選定すれば、材料に起因するひび割れのみならず、外力に対してもひび割れ抵抗性を有しており、多様な要因で発生するひび割れの抑制に有効であると考えられる。具体的な適用構造物としては、材料および外力に起因するひび割れが発生し易いと考えられる新交通システムのコンクリート走行路などが挙げられる。

本研究では、このような構造物への適用を検討するにあたり、短繊維としてビニロン短繊維を選定し、ビニロン短繊維の混入による RC 部材のひび割れ抵抗性の向上効果の基礎データを収集することを目的に、繊維混入率の異なる 5 種類の鉄筋コンクリート試験体を用いて、一軸引張試験を行った。

2. 試験概要

2.1 試験方法

ビニロン短繊維混入による RC 部材のひび割れ抵抗性を検討するために、ビニロン短繊維混入率を試験パラメータとした一軸引張試験体を製作した。短繊維混入率は、体積比で 0.0、0.5、0.75、1.0、1.25%の 5 水準とした。また、試験体名を表 1 のようにした。

表 1 試験体名と試験体パラメータ

試験体名	ビニロン短繊維混入量
No. 0	なし
No. 1	0.50%Vol
No. 2	0.75%Vol
No. 3	1.00%Vol
No. 4	1.25%Vol

2.2 使用材料

2.2.1 短繊維

使用したビニロン短繊維の物性を表 2 に示す。

表 2 ビニロン短繊維の物性値

項目	単位	物性値
直径	mm	0.66
標準長	mm	30
アスペクト比		45.5
密度	g/cm ³	1.3
引張強度	N/mm ²	880
ヤング係数	N/mm ²	29400

2.1.2 コンクリート配合

試験体となるコンクリートには早強セメントを用い、短繊維添加前のベース配合を、呼び強度 36N/mm²、スランプ 20cm、粗骨材最大寸法 20mm、空気量 4.5%とした。示方配合を表3に示す。なお、本試験では膨張材 20kg/m³および高性能減水剤を添加している。

表3 コンクリート配合

呼び強度 (N/mm ²)	水セメント比 (%)	最大粗骨材寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
36	40.9	20	46.8	172	401	20	793	914	5.052

セメント：太平洋セメント社製 早強ホルトランドセメント
 膨張材：住友大阪セメント社製
 細骨材：茨城県鹿島郡神栖町産
 粗骨材：栃木県鹿沼郡西沢町産
 混和剤：ポゾリス物産社製 ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

2.3 試験体

試験体は、図1に示すように断面形状 120mm×150mm、長さ 1.5mとし、断面中心に鉄筋 D22 を 1 本配置した。

2.4 載荷方法および測定方法

載荷は、図2に示す方法での一軸引張試験とした。試験体と載荷フレームは平坦な床に平置きし、一端をフレームに固定し、他端にセンターホールジャッキによって引張力を加えた。荷重はセンターホール型のロードセルで測定し、軸方向鉄筋が降伏する直前まで単調載荷した。また、コンクリートの平均ひずみを計測するために、コンクリートの両端に変位計を設置した。

3. 試験結果

3.1 フレッシュ性状

練混ぜは傾動式ミキサー (60ℓ) を用いて、ベースコンクリートを練り混ぜた後、ピニロン短繊維を毎秒 40g のペースで投入し、投入完了後 30~60 秒の追練りを行った。

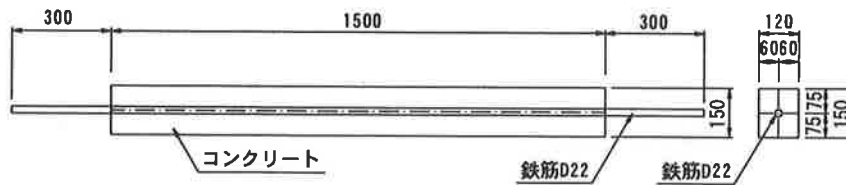
フレッシュ性状の確認項目は、①スランプ、②空気量、③温度、④スランプフロー、の4項目とした。フレッシュ性状試験結果を表4に示す。なお、ベースコンクリートの配合は、表3に示すとおりである。

スランプは、ピニロン短繊維の混入率が高くなるほど、ベースコンクリートに対する低下量が大きくなった。一方、空気量は短繊維を混入する試験体に空気連行助剤を追加したが、短繊維の混入により空気量が低下する傾向が確認された。

表4 フレッシュ性状試験結果

試験体 (短繊維混入率)	スランプ (スランプ) (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	フロー (cmXcm)	AE剤 空気連行助剤 (セメント比)
No. 0 (0.0%vol)	21	5.5	25.0	35.5X35.0	—
No. 1 (0.5%vol)	17.5 (3.5)	3.4	25.0	27.0X26.5	#101 CX0.0035
No. 2 (0.75%vol)	15.5 (5.5)	2.4	23.0	24.5X26.0	#101 CX0.0055
No. 3 (1.0%vol)	13.5 (7.5)	2.5	25.5	23.0X22.0	#101 CX0.008
No. 4 (1.25%vol)	12 (9.0)	3.4	24.0	22.0X21.5	#202 CX0.009

AE剤：ポゾリス物産社製 マイクロエア#101、マイクロエア#202



$A_c = 18000 \text{ mm}^2$
 $A_s = 387.1 \text{ mm}^2$
 鉄筋比 $r = 2.15\%$

図1 試験体図 (No. 0~No. 5)

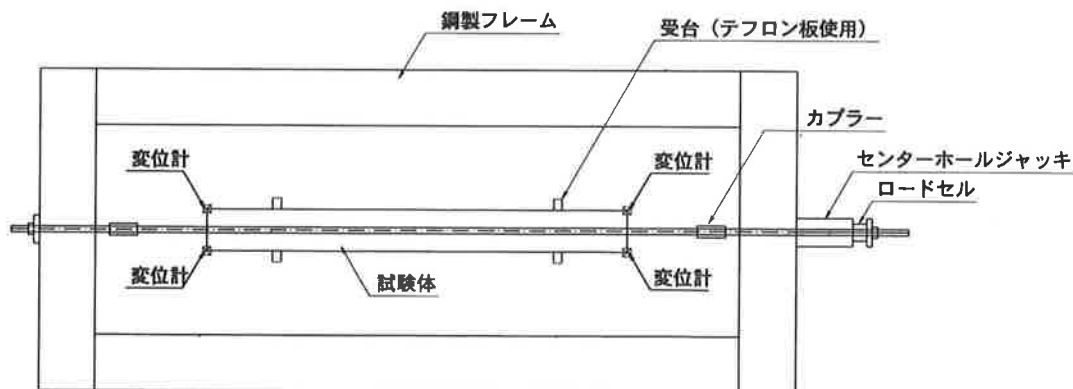


図2 試験体載荷および測定方法 (No. 0~No. 5)

3.2 材料試験結果

No.0~5 各試験体の圧縮試験および割裂引張試験の結果を表5に示す。ビニロン短繊維を混入したNo.1~4試験体が、ビニロン短繊維無混入のNo.0試験体よりも圧縮強度が大きくなっているが、これは先に述べた短繊維混入による空気量の減少が原因と考えられる。割裂引張強度に対する短繊維混入の影響はほとんど見られず、ほぼ一定の強度であった。

また、鉄筋の引張試験結果を表6に示す。

表5 コンクリート強度試験結果

試験体名	ビニロン短繊維 (%Vol)	圧縮強度 f_c' (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	割裂引張強度 f_t (N/mm ²)
No.0	0.00	50.0	32.4	3.5
No.1	0.50	57.1	34.1	3.4
No.2	0.75	59.3	35.3	3.6
No.3	1.00	55.2	34.5	3.4
No.4	1.25	54.0	31.5	3.6

表6 鉄筋引張試験結果

	断面積 A_s (mm ²)	降伏強度 f_y (N/mm ²)	引張強度 f_u (N/mm ²)	ヤング係数 E_s (N/mm ²)
鉄筋D22	387.1	402	528	192000

3.3 鉄筋応力-コンクリート平均ひずみ

鉄筋応力とコンクリートの平均ひずみの関係を図3に示す。鉄筋応力はロードセル値を鉄筋断面積で除した値であり、コンクリートの平均ひずみは試験体の両端に設置した変位計から得られた相対変位量を基に算出した。また、図中には鉄筋の引張試験結果を併記した。

実験結果から、ひび割れ発生荷重は、割裂引張強度と同様に各試験体に明確な差は見られなかった。

また、No.1とNo.2、およびNo.3とNo.4に大きな差は認められないが、短繊維混入率が高いほど、同一荷重時にコンクリートに発生するひずみが小さくなる傾向が認められる。すなわち、短繊維混入率が高いほど、ひび割れ発生後のひび割れの進行を抑制する効果が高いものと考えられる。これは、ひび割れ発生後もビニロン短繊維の架橋効果により、引張応力が伝達されるためと考えられる。

3.4 ひび割れ発生状況

各試験体の載荷終了時におけるひび割れの発生状況を図4および写真1に、鉄筋応力とひび割れ本数の関係を図5に示す。

図5の載荷終了時に着目すると、ひび割れ本数が最も少ない試験体はNo.4(1.25%Vol)であり、一方、ひび割れ本数が最も多いのは、No.3(1.0%Vol)試験体であった。すなわち、今回の試験範囲内である短繊維混入量1.25%Vol程度以下においては、短繊維混入量とひび割

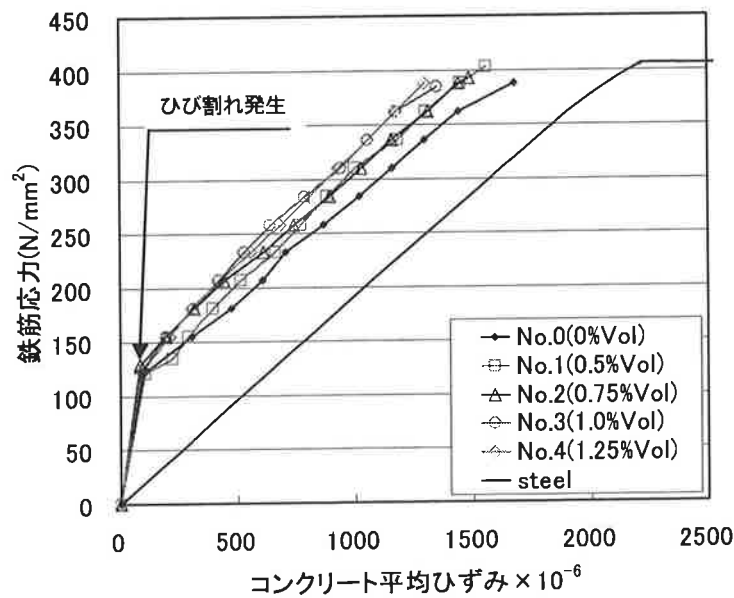


図3 鉄筋応力-コンクリート平均ひずみ

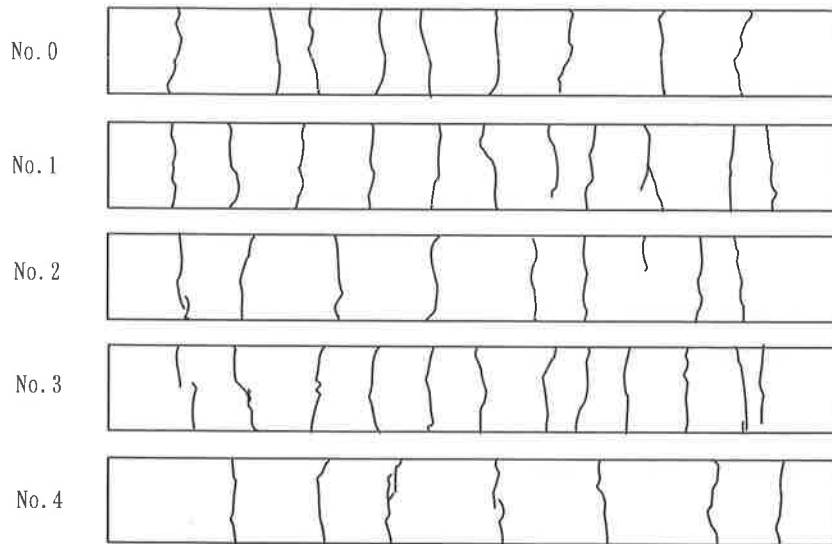


図4 ひび割れ発生状況図

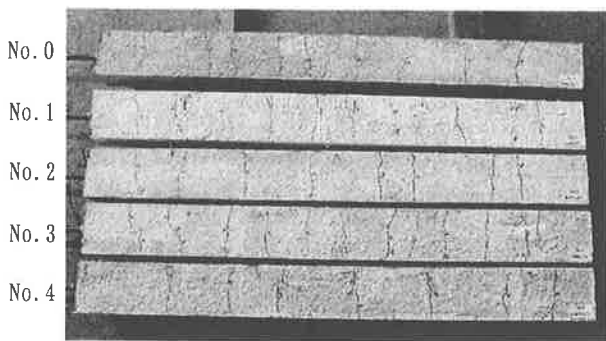


写真1 ひび割れ発生状況写真

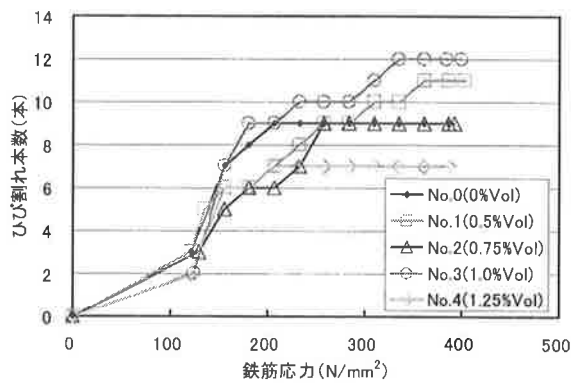


図5 ひび割れ本数－鉄筋応力

れ本数の増加量に明確な比例関係はなく、短繊維混入率の増加によるひび割れ分散性（ひび割れ本数の増加）は確認されなかった。

3.5 鉄筋応力－ひび割れ幅

各試験体の鉄筋応力とひび割れ幅およびひび割れ本数の関係を図 6.1～図 6.5 に示す。図中のひび割れ幅は一般的な鉄筋コンクリート構造物の補修要否判断の基準となる 0.2mm 以上とそれ未満で整理した。なお、ひび割れ幅の測定は、各ひび割れにおいて幅が最大となった箇所にはクラックスケールを当てて行った。

図 6.1～6.5 より、ひび割れ幅が 0.2mm 以上となる時の鉄筋応力は試験体によって異なり、0.2mm 以上のひび割れが発生する時の鉄筋応力は、短繊維混入率が高く

なるほど大きくなる傾向にあることが分かる。

また、ひび割れ幅の制御目標値を 0.2mm 未満とした場合に、短繊維混入率と許容できる鉄筋応力の関係を図 7 に示す。図 7 から、ビニロン短繊維の混入率を高めるほど、より大きな応力が鉄筋に生じてひび割れ幅を抑制できることが分かる。これは、3.3 で述べた短繊維混入率が高いほど同一荷重時のコンクリートひずみが小さくなる傾向と一致している。すなわち、本実験の範囲内ではあるが、同一荷重条件においては、短繊維量を多く混入するほど、発生するひび割れ幅を小さく制御できることが明らかとなった。

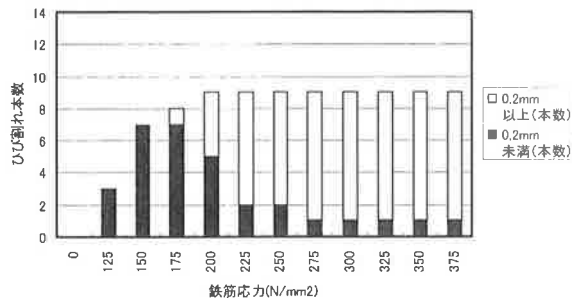


図 6.1 No. 0 (0% Vol) 鉄筋応力-ひび割れ幅・本数

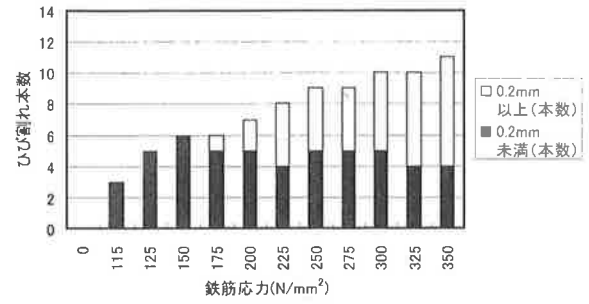


図 6.2 No. 1 (0.5% Vol) 鉄筋応力-ひび割れ幅・本数

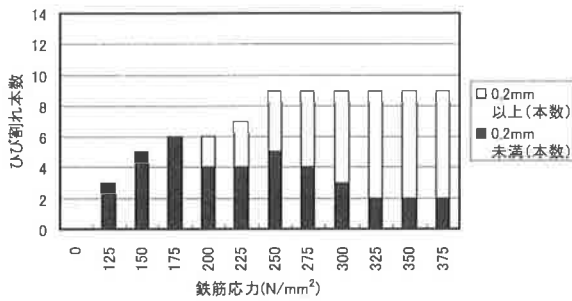


図 6.3 No. 2 (0.75% Vol) 鉄筋応力-ひび割れ幅・本数

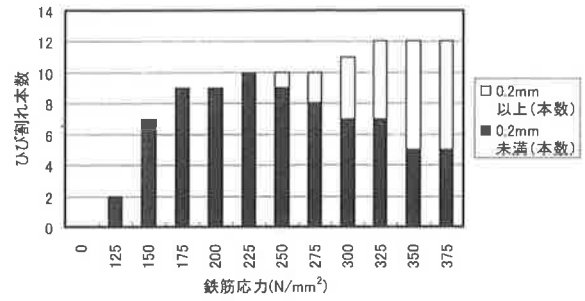


図 6.4 No. 3 (1.0% Vol) 鉄筋応力-ひび割れ幅・本数

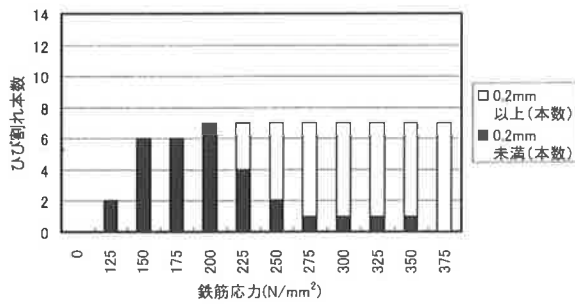


図 6.5 No. 4 (1.25% Vol) 鉄筋応力-ひび割れ幅・本数

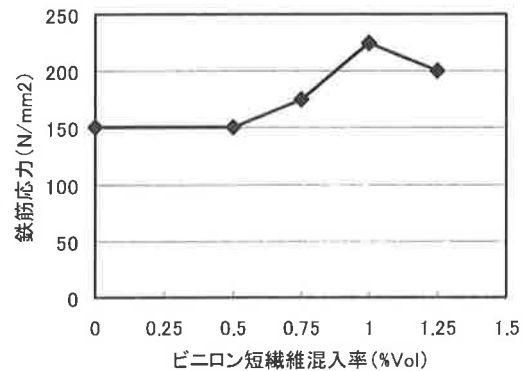


図 7 ひび割れ制御目標を 0.2mm 未満とした場合のビニロン短繊維混入率と鉄筋応力の関係

5. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) ビニロン短繊維を混入することにより、RC 部材のひび割れ発生後の剛性が大きくなった。これは、ひび割れ発生後もビニロン短繊維の架橋効果により、引張応力が伝達されるためと考えられる。
- (2) 同一荷重条件においては、ビニロン短繊維の混入率を高くするほど、コンクリートの平均ひずみが小さくなり、また、発生するひび割れ幅を小さく制御できることを確認した。
- (3) ビニロン短繊維を混入した鉄筋コンクリート部材

は、短繊維混入率の違いによるひび割れ発生荷重への影響は見られず、また、ひび割れ本数の増加によるひび割れ分散性状は認められなかった。

本研究は、ビニロン短繊維の混入による RC 部材のひび割れ抵抗性の向上効果を、一軸引張試験による力学的見地から確認した。一方で、短繊維を混入することにより、乾燥収縮等による収縮量を低減させる効果や、クリープ係数の増大によるひび割れ低減効果など材料の見地からのひび割れ抵抗効果が付与される可能性がある。今後は、これらの材料的基礎データを収集し、材料と力学

の両データを融合させることにより、より正確なひび割れ制御方針が確立できるものとする。

謝 辞

本実験にあたり、ご協力を頂きました(株)クラレおよび住友大阪セメント(株)にこの場をお借りして心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 住学・竹内博幸・中出睦・谷垣正治：ビニロン繊維補強コンクリートに関する基礎的研究，コンクリート工学科年次論文集 Vol. 25, No. 1, p. 257-262, 2003
- 2) 松尾庄二・柳博文：繊維補強コンクリートのひび割れ分散性状に関する基礎的研究，土木学会第 56 回年次学術講演会 V-560, p. 1120-1121, 2001
- 3) 瀬野康弘，玉井真一，前田強司，増田芳久：新交通システム走行路のひび割れ対策に関する実験的検討 土木学会第 49 回年次学術講演会 V-501, p. 1000-1003, 1994

CRACK RESISTANCE OF SHORT VINYLON FIBER REINFORCED CONCRETE UNDER UNIAXIAL TENSION

Y.Maeda, K.Hayakawa and T.Ohtaki

In this study, uniaxial tension test was carried out using 5 concrete beams with different mix rate of short vinylon fiber, in order to investigate the effect of the fiber content on crack resistance.

As a result, as the mix rate of vinylon fiber increases, average tensile strains of the concrete beams at the equivalent load decreased, and the crack width tended to decrease. Thus, it became clear that the vinylon fiber is effective to control crack propagation.