

論文 ビニロン短繊維によるコンクリートのプラスチック収縮ひび割れ抑制に関する実験的研究

浜田敏裕*¹・末森寿志*²・斉藤 忠*³・平居孝之*⁴

要旨： ビニロン短繊維混入によるコンクリート硬化初期のプラスチック収縮ひび割れ抑制効果について実験的に研究した結果、短繊維の混入によりひび割れが大幅に抑制できることが分かった。さらに、ひび割れ程度を表わすひび割れ面積とコンクリート単位体積中の繊維総表面積が相関関係にあることが分かった。その理由は短繊維がひび割れ部分で架橋となり、プラスチック状態のマトリックスからの短繊維の引抜き摩擦力がひび割れの拡大を防いでいるためと考えられる。

キーワード： プラスチック収縮ひび割れ, ビニロン短繊維, 繊維総表面積

1. はじめに

コンクリートにひび割れが発生する過程の一つとして、硬化初期に養生不良などが原因でプラスチック収縮ひび割れが発生し、これがコンクリート硬化後に発生するひび割れの原因になり得るケースが考えられる。^{1)~5)}

プラスチック収縮ひび割れを抑制するために、タンピング等が行われるが、短繊維を混入する方法も有効であるとされている。⁶⁾ 本研究では、繊維径とカット長の異なるポリビニルアルコール短繊維（以下ビニロン短繊維）によるコンクリートのプラスチック収縮ひび割れ抑制効果を実験的に調べ、そのメカニズムを考察することを目的とする。

2. コンクリート配合とビニロン短繊維

使用した材料と配合を表-1に示す。ひび割れを発生させ易くするために、一般に使用されるコンクリート配合と比較するとセメントと水を極端に多くし、骨材を少なくするという特殊な配合

を採用した。これにより短繊維無混入のコンクリートにひび割れが確実に発生し、試験体表面に発生するひび割れ状態が再現することを確認し、短繊維混入の試験を開始した。

ビニロン短繊維の製法は、湿式あるいは乾式紡糸し、乾燥・延伸・カットして得た。繊維断面形状は円形から楕円まで繊維種類によって異なる。繊維径の異なるA~Dの4種類のビニロンについて、カット長を変えて計7種類で試験した。短繊維の径・カット長・強度・伸度・ヤング率の値を表-2に示す。混練方法はオムニミキサー（容量5L）を使用して、20℃の環境下で、骨材、セメントを1分間混練、次いで水を添加し1分間混練、最後に短繊維を添加して4分間混練した。なお短繊維を混入しない場合は、水を添加した後5分間混練し、全混練時間を同一の6分間にした。

3. 試験方法

3.1 試験用型枠

ひび割れ試験用型枠を図-1に示す。コンクリ

*1 (株)クラレ 産資開発部部长 (正会員)

*2 (株)クラレ 産資開発部研究員

*3 (株)クラレ 産資開発部研究員 (正会員)

*4 大分大学教授 工学部福祉環境工学科 工博 (正会員)

ートの硬化が始まるまでの収縮を拘束するよう 間隔で溶接した。
 に型枠内部に8mm径の鋼棒を30mmピッチ

表-1 ひび割れ試験用コンクリートの配合組成

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				短繊維 vol%
		水	セメント	細骨材	粗骨材	
55	50	318	578	578	578	0.05~1.0

セメント：太平洋セメント株式会社製普通ポルトランドセメント（比重3.15）

細骨材：兵庫県飾磨郡家島町美弥2165産砕砂（表乾比重2.57、粗粒率2.98）

粗骨材：岡山県御津郡御津町大字矢原産砕石 Gmax15（表乾比重2.74、粗粒率6.25）

繊維：(株)クラレ製の各種ビニロン短繊維を使用した。詳細は表-2を参照

表-2 ビニロン短繊維の種類

繊維記号	A		B		C		D						
	直径(mm)	引張強度(MPa)	伸度(%)	引張ヤング率(GPa)	カット長(mm)	アスペクト比		混入率(vol%)					
直径(mm)	0.015	723	14.7	12.1	0.041	978	19.6	0.198	1023	7.2	21.9	0.670	
引張強度(MPa)	2		4		6		12		6		12		30
伸度(%)	133		267		146		293		30		61		45
引張ヤング率(GPa)	0.3		0.05~0.5		0.3		0.3		0.75		0.75		0.46~1.0
カット長(mm)	0.3		0.05~0.5		0.3		0.3		0.75		0.75		0.46~1.0
アスペクト比	0.3		0.05~0.5		0.3		0.3		0.75		0.75		0.46~1.0
混入率(vol%)	0.3		0.05~0.5		0.3		0.3		0.75		0.75		0.46~1.0

以後7種類の短繊維の表示を次のようにする。例えばA×4 0.3%は繊維種Aの4mmカットで混入率0.3%を示す。

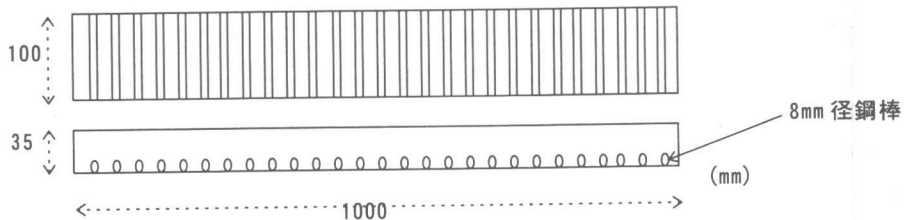


図-1 試験用型枠

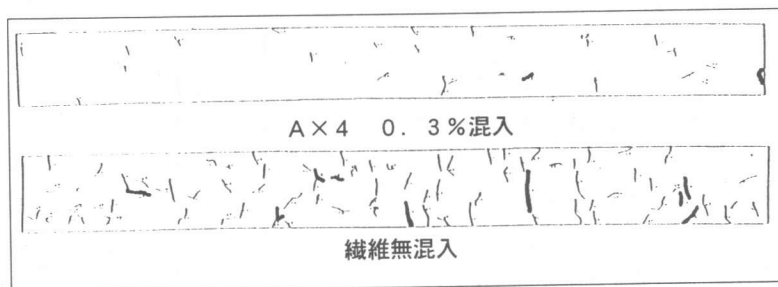


図-2 ひび割れ発生状態

3. 2 プラスチック収縮ひび割れ試験方法

養生不良を想定し、温度 50 ± 5 ℃、湿度 30 ± 10 %の室内にあらかじめ静置した型枠中に、ビニロン短繊維を混入したコンクリートを流し込み、長さ方向に5往復の鍍仕上げを施し、直ちに風速 $5 \sim 6$ m/秒の風を扇風機で当て水分の蒸発を促進する。鍍仕上げはあまり過度に行うと、ひび割れが発生しにくくなるので同一にする。この環境で24時間放置した試験体を取り出し、表面のひび割れ状態を観察する。個々のひび割れの平均的な値をひび割れ幅とし、ひび割れ状態の観察には最小目盛り 0.1 mmのゲージ付き拡大鏡を用い、ひび割れ幅を 0.1 mm単位で分類した。すなわち、 0.05 mm未満はカウントせず $0.$

0.5 mm以上 0.15 mm未満を 0.1 mmとした。観察したひび割れの幅と長さをシート上に書き移す。試験回数は比較対照のための短繊維無混入コンクリートについては4回(4バッチ)、短繊維を混入したコンクリートでは各2回(2バッチ)実施した。ひび割れ発生状態の一例は図-2のごとくであった。

4. 結果と考察

すべての試験体のひび割れ発生結果をひび割れ幅別の総ひび割れ長さとして図-3に示す。図中の棒グラフの模様分けはバッチ別を表わしている。総ひび割れ長さは試験体表面積(10^5 mm²)当りの長さである。

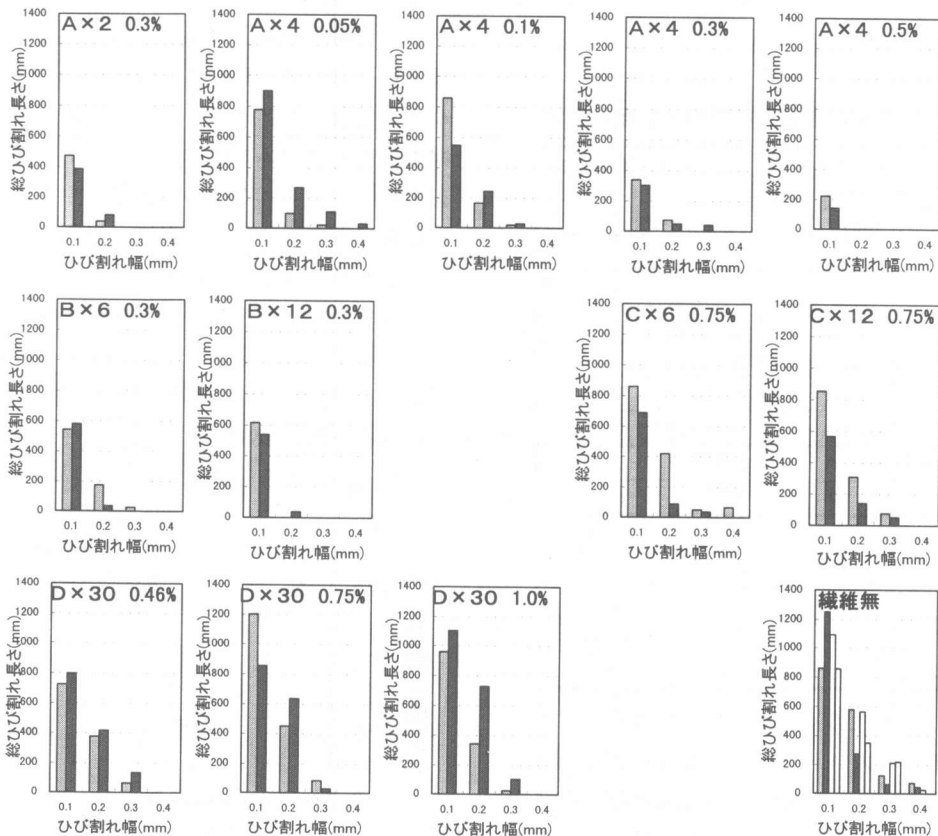


図-3 各種試験体のひび割れ幅別の総ひび割れ長さ

図-3の結果を比較すると、まず繊維無混入では0.3mm幅、0.4mm幅の大きいひび割れが目立つのに対して、短繊維を混入することで比較的大きなひび割れが減少していることが分かる。短繊維混入はひび割れ抑制に効果があるが、短繊維のカット長はひび割れ抑制にあまり影響を与えていない。繊維径が大きくなるとひび割れ抑制効果が低下している。

そこでビニロン短繊維混入による効果を詳細に確認するために、各試験体のひび割れ幅と総ひび割れ長さを積算合計したひび割れ面積を算出した結果を表-3に示し、短繊維混入率とひび割れ面積との関係を図-4に示す。繊維A、B、Cでは混入率を大きくするとひび割れ面積が減少し、特に繊維A、Bではひび割れ面積の減少が大きいことが分かる。しかし繊維Dでは、混入率を増してもひび割れ面積が減少しない。

表-3 短繊維混入率別のひび割れ面積

試験体			ひび割れ面積 (mm ² /10 ⁵ mm ²)
繊維	カット長 (mm)	短繊維混入率 (vol%)	
繊維無	—	0.00	251.7
A	×2	0.30	55.1
		0.05	146.1
	×4	0.10	118.6
		0.30	49.9
		0.50	18.3
B	×6	0.30	81.4
	×12	0.30	61.4
C	×6	0.75	153.3
	×12	0.75	133.8
D	×30	0.46	185.8
		0.75	227.8
		1.00	229.4

次に短繊維の形状因子について考察する。短繊維とセメントマトリックスの付着が短繊維の補強効果に影響するが、繊維断面積に対して付着面積が小さい、すなわちアスペクト比(カット長/繊維径)が小さいと短繊維補強の効果が出ない。繊維断面積に応じて必要

な付着面積になるクリティカルアスペクト比以上のアスペクト比の短繊維であれば、良好な補強効果が得られると考えられる。

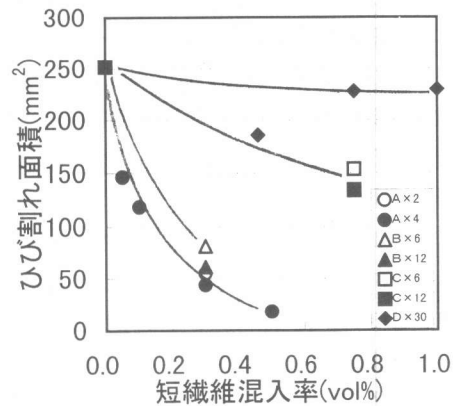


図-4 短繊維混入率とひび割れ面積の関係

図-5は、ひび割れ面積と短繊維のアスペクト比(繊維を真円と仮定)との関係であり、短繊維補強効果が良好にでていいるのは、100を十分超えたアスペクト比の短繊維である。図中繊維Cについては混入率0.75%の値を用いたが、0.3%の場合には図中でより上方にシフトするため上記考察に影響はないと考えられる。なお、短繊維のアスペクト比が大きくなるにつれてひび割れ面積は減少するが、クリティカルアスペクト比以上では短繊維混入率が同じであれば短繊維補強の効果はアスペクト比が増加してもそれほど大きくなりえないという従来知見に合っている。

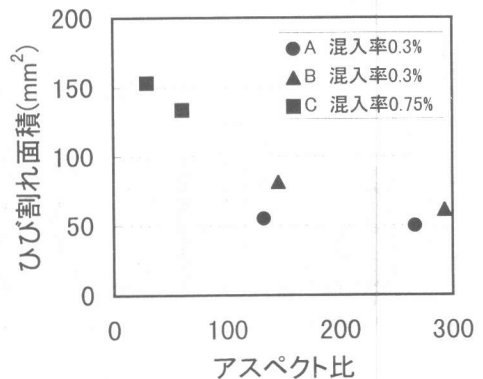


図-5 アスペクト比とひび割れ面積の関係

次にアスペクト比と関係する繊維径に着目してひび割れ面積との関係を調べた。図-6にひび割れ面積を繊維径との関係で表示する(繊維CについてはA、Bと同一混入率では図中、より上方にシフトする)。繊維径が小さいほどプラスチック収縮ひび割れ抑制の効果がより大きいことが分かる。

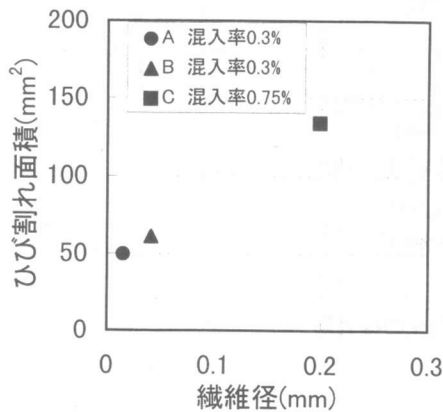


図-6 繊維径とひび割れ面積の関係

次に繊維径、短繊維混入率の要因を包括するパラメーターとして、コンクリート単位体積中の繊維総表面積すなわちコンクリート単位体積中に存在する繊維の表面積で、繊維の断面を真円と仮定し計算された値(単位: mm²/cm³)を提案し、ひび割れ面積との関係を図-7に示す。

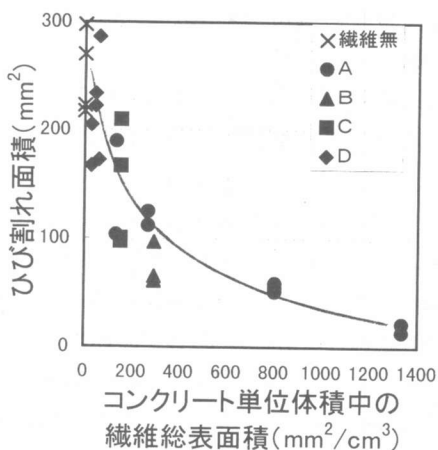


図-7 繊維総表面積とひび割れ面積との関係

コンクリート単位体積中の繊維総表面積が大きくなると、ひび割れ面積は小さくなる。すなわち同じ短繊維であれば混入率が多くなるほど、また繊維径が小さいほど繊維総表面積が大きくなることから、図-4および図-6の現象も繊維総表面積で説明される。図-7の関係は短繊維の混入率増加によってもコンクリート単位体積中の繊維総表面積が大きくなるが、少ない混入率で大きな効果を得るには小さな繊維径が有効となる。

図-7は短繊維の効果についてマスターカーブ的な関係を示し、このカーブから目標とするひび割れ抑制効果を得るためのビニロン短繊維の必要混入率が求められる。図-2に示すように、繊維総表面積が 800mm²/cm³ 程度のA×4 0.3%であれば十分な効果が認められ、コンクリート配合によっては繊維総表面積が 300mm²/cm³ 程度のA×4 0.1%でも効果があると考えられる。

短繊維混入による効果のメカニズムを考察すると、プラスチック収縮ひび割れ抑制におよぼす短繊維の作用は、繊維表面とマトリックスとの引抜き摩擦力と関係していると考えられる。プラスチック状態のマトリックスが自由収縮するとき、マトリックス自体の収縮量は、短繊維の混入に関係なく同じであると考えられる。しかし短繊維が混入されることで、ひび割れがマイクロなひび割れに分散し、目に見えるひび割れが減少すると考えられる。図-8に模式図を示すが、収縮により最初のひび割れが入った時、ひび割れに複数の短繊維が架橋として存在すると、ひび割れが広がろうとするときに短繊維に引抜き摩擦力が発生する。その引抜き摩擦力が小さいとひび割れが広がるが、その引抜き摩擦力が大きく、プラスチック状態のマトリックスの強さより大きくなると、ひび割れ幅が大きくなり、最初のひび割れの付近に新たなひび割れが発生する。このような現象が次々と生じ、ひび割れは大きく成長せず目に見えない幅のひび割れが多数生成すると考えられる。すなわち短繊維の引抜き摩擦力がプラスチック状態のマトリックスの引張強度を上回ったときにマイクロひび割れとなり、ひび割れ抑制効果が発

揮されると考えられる。短繊維の表面積が大きいほど、短繊維の引抜き摩擦力が大きくなり、ひび

割れ面積が減少する。

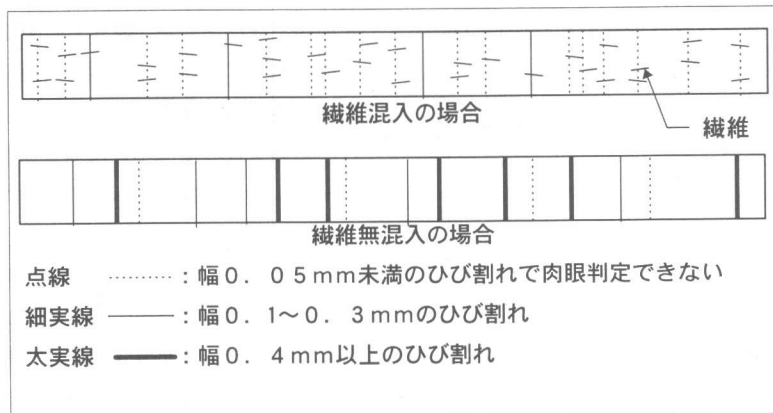


図-8 ひび割れ発生の様式図

5. まとめ

ビニロン短繊維によるコンクリートのプラスチック収縮ひび割れ抑制効果に関して研究した結果、次のようなことが分かった。

(1)短繊維混入率が多いほど、また繊維径が小さいほどひび割れ抑制効果が大きい。すなわちコンクリート単位体積中に存在するビニロン短繊維の総表面積が大きいほど、ひび割れ面積が小さくなる。

(2)短繊維混入によるひび割れ抑制の作用は、ひび割れ部分の短繊維の架橋の存在で説明され、単位断面積当りの短繊維の引抜き摩擦力がプラスチック状態のマトリックスの引張強度を上回ったときに目にみえないマイクロひび割れとなり、ひび割れ抑制効果が発揮されると考えられる。

参考文献

- 1)田澤栄一, 宮澤伸吾: セメント系材料の自己収縮に及ぼす結合材及び配合の影響, 土木学会論文集, No. 502, V-25, pp. 43-52, 1994
- 2)大野俊夫, 魚本健人: 乾燥収縮ひび割れ発

生時の引張伸び能力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No.1, pp. 733-738, 1997.6

- 3)森永繁: ひび割れ制御技術の現状-対策と効果-コンクリート工学, Vol. 34, No. 8, pp. 13-20, 1996.8
- 4)安田正雪, 阿部道彦, 笹原厚, 桃谷智樹: 各種高流動コンクリートの収縮性状とひび割れに関する一実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 1, pp. 147-152, 1996
- 5)仕入豊和, 青柳征夫, 川瀬清孝: コンクリートのひび割れ試験方法(案), コンクリート工学, Vol. 23, No.3, 1985
- 6)A. E. Naaman, Z. Xia, J. Hikasa and T. Saito : CONTROL OF PLASTIC SHRINKAGE CRACKING OF CONCRETE WITH PVA FIBERS, Paper presented at the Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Conference, Sheffield, UK, July, 1999