

ビニロン繊維補強高強度コンクリートの強度およびタフネスについて

Strength and Toughness of High Strength Concrete reinforced with Vinyon Short Fiber

北海道大学工学部

北海道大学大学院工学研究科

北海道大学大学院工学研究科

北海道大学大学院工学研究科

○学生員

フェロー

正会員

学生員

田村和也(Kazuya Tamura)

大沼博志(Hiroshi Ohnuma)

出雲健司(Kenji Izumo)

勝俣 真(Shin Katsumata)

1. はじめに

コンクリート材料はその優れた圧縮強度により、土木・建築構造物において幅広く利用されている。しかしながら、コンクリートは引張強度が弱く、脆性的な破壊を生じるという弱点も持ち合わせている。そこで、コンクリートを高韌性化させるための方法の一つとして、繊維補強が考えられた。繊維補強コンクリートは普通のコンクリートに比べて引張強度や曲げ強度が高いという特徴を持ち、また、靱性が大きくひび割れ発生後も大きな耐荷力を有すると言われている。さらに、ひび割れを拘束する性能があり、発生したひび割れが成長しにくいという特徴が挙げられる。

本研究は、ビニロン繊維補強高強度コンクリートの特性および補強効果を把握することを目的として、繊維混入率と G_{max} （粗骨材の最大寸法）がビニロン繊維補強高強度コンクリートの強度およびタフネスに及ぼす影響について検討したものである。

2. ビニロン繊維の特徴

ビニロン繊維（VF）はセメントマトリックスとの接着性や防錆性、耐アルカリ性、長期耐候性に優れており工業用、産業用の用途として広く用いられている。実験に使用したビニロン繊維の性質を表-1に示す。

3. 実験の概要

3.1 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は鶴川産の海砂を使用し、その粗粒率、比重及び吸水率はそれぞれ2.87、2.70および1.43%であった。粗骨材は最大寸法10mmおよび20mmの玉砂利を使用し、その比重はそれぞれ2.65および2.77であり、表面乾燥状態とした。混和剤はポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用した。コンクリートの水セメント比は30%とし、繊維混入率は0.5%刻みで1.5%までとした。スランブは 10 ± 1.0 cmを目標とした。プレーンコンクリートの配合を表-2に示す。ビニロン繊維補強高強度コンクリートの配合はプレーンコンクリートと同一であり、スランブを調整するために高性能AE減水剤の量を増加させた。また、骨材最大寸法10mmおよび20mmのプレーンコンクリート（繊維無混入のコンクリート）の材齢28日における力学的性質を表-3に示す。

表-1 ビニロン繊維の性質

比重	寸法 (mm)	アスペクト比	引張強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)
1.3	$\phi 0.4 \times 24$	60	900	29.0

3.2 供試体の作製方法

供試体の作製は「鋼繊維補強コンクリートの強度およびタフネス試験用供試体の作り方(JSCE-F552)」に準拠して行った。コンクリートの練り混ぜには、強制ミキサーを使用した。曲げ試験用供試体は10cm×10cm×40cmの角柱供試体とし、鋼製型枠に2層に分けて打設した。供試体は各配合につき3本ずつ作製した。打設1日後に供試体を脱型し、試験直前まで標準水中養生した。曲げ破壊時の材齢は28日とした。

また、同時にそれぞれの配合での圧縮強度を測定するため、 $\phi 10$ cm×20cmの円柱供試体を各配合につき3本ずつ作製した。

3.3 試験方法

圧縮強度は「コンクリートの圧縮強度試験方法(JIS A 1108)」に準拠して行なった。また、曲げ強度試験、曲げタフネス試験は「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法(JSCE-G 552)」に準拠して行った。供試体への荷重の載荷方法は、スパンを30cmとし、3等分点2点載荷によって供試体の打設方向に対し直角に載荷を行った。曲げ試験は変位制御とし、変位速度を0.1mm/minとした。変位は中央点と両支点の計3点で測定し、中央点変位と支点変位の平均値の差を荷重作用点の変位とした。また、曲げ試験は供試体が破断するまで行った。曲げタフネスは、曲げ荷重-変位曲線から、たわみが2mmまでの面積とした。

4. 実験結果および考察

4.1 ビニロン繊維補強高強度コンクリートの圧縮試験の結果

圧縮強度と繊維混入率および G_{max} （骨材最大寸法）の関係を図-1に示す。図から明らかなように、ビニロン繊維補

表-2 プレーンコンクリートの配合

骨材の 最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位容積質量 (kg/m ³)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 SP
10	30	50	160	533	837	822	3.733
20	30	50	160	533	837	859	3.733

表-3 プレーンコンクリートの力学的性質
(材齢 28 日)

骨材の 最大寸法 (mm)	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)
10	74.6	7.6	38.1
20	73.4	8.4	36.9

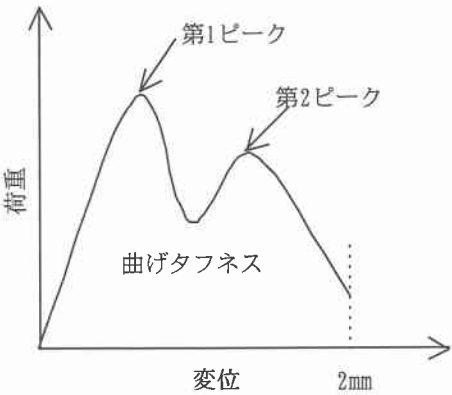


図-2 荷重-変位曲線の概念図

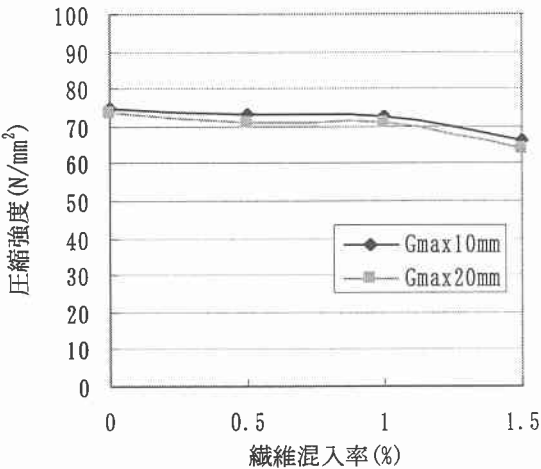


図-1 圧縮強度と繊維混入率および
骨材最大寸法の関係

強高強度コンクリートの圧縮強度は繊維混入率が増加してもほとんど変化せず、逆にやや低下する傾向にあるという結果が得られた。したがって、圧縮強度は繊維混入率に依存せず、ピニロン繊維の混入による補強効果はほとんど得られないということがわかった。また、ピニロン繊維の混入によってヤング係数はほとんど変化しないということが明らかにされた。さらに、骨材最大寸法の違いによる圧縮強度の違いはほとんど見られなかった。

4.2 ピニロン繊維補強高強度コンクリートの曲げ試験結果

(1) 荷重-変位曲線

図-2 に本研究で扱ったピニロン繊維補強高強度コンクリートの荷重-変位曲線の概念図を示す。ピニロン繊維補強コンクリートは2つのピークをもつという特徴を有する。それぞれを第1ピークおよび第2ピークと呼ぶことにする。全ての供試体において第1ピーク荷重が最大荷重となったので、第1ピークの荷重値から曲げ強度を算定した。

図-3 に骨材最大寸法 10mm の荷重-変位曲線を示す。図から明らかなように、ピニロン繊維補強高強度コンクリートはプレーンコンクリートと比較すると最大荷重までは顕著な補強効果は得られないが、最大荷重を過ぎた後に大幅に挙動が変わることがわかる。プレーンコンクリートは曲線が即座に下降し破断するのに対して、ピニロン繊維補強コンクリートは荷重の下降が途中で食い止められ、繊維混入率を増加させたものは再び上昇する挙動を示した。

図-4 は第2ピーク荷重と繊維混入率および骨材最大寸法の関係を示したものである。繊維混入率 0.5% の第2ピーク荷重は下降している曲線の傾きが変化した時の荷重とした。プレーンコンクリートは第1ピーク荷重直後に破断するので第2ピーク荷重は 0 とした。図から繊維混入率を増加させると第2ピーク荷重も増え、繊維補強による効果を確認することができた。また、粗骨材最大寸法が 10mm と 20mm とでは

表-4 曲げ試験結果の一覧表

骨材の最大寸法 (mm)	繊維混入率 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kN・mm)	第2ピーク荷重 (kN)
10	0	7.6	0.6	0
	0.5	7.8	10.6	10.1
	1.0	7.2	15.5	16.0
	1.5	7.1	18.2	17.1

骨材の最大寸法 (mm)	繊維混入率 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (kN・mm)	第2ピーク荷重 (kN)
20	0	8.4	0.8	0
	0.5	8.2	9.1	9.5
	1.0	8.1	16.9	16.9
	1.5	7.4	18.3	17.5

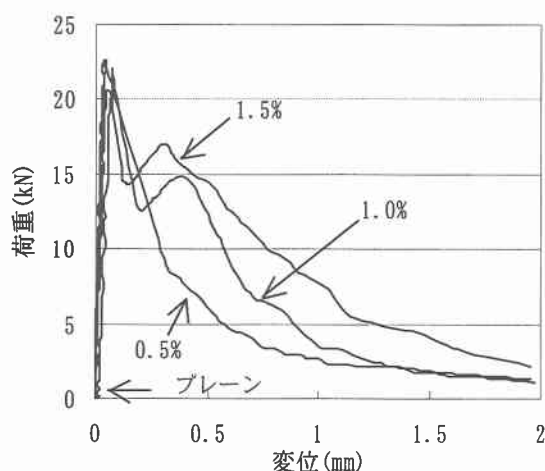


図-3 繊維混入率が異なるコンクリートの荷重-変位曲線(骨材最大寸法10mm)

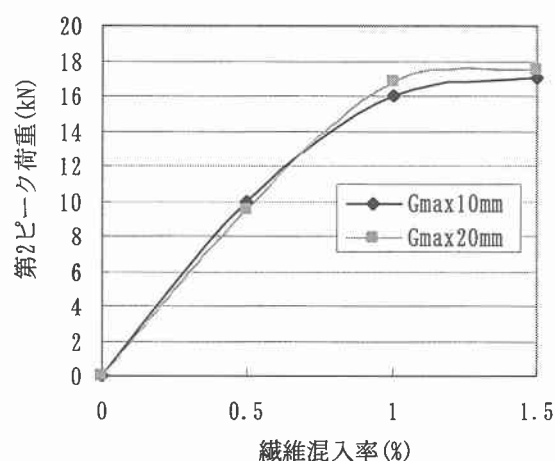


図-4 第2ピーク荷重と繊維混入率および骨材最大寸法の関係

ほとんど同様の値を示すことから、第2ピーク荷重は繊維混入率に依存し、骨材最大寸法には依存しないことが示された。

(2) 曲げ強度

図-5は曲げ強度と繊維の混入率および骨材最大寸法の関係を示したものである。この図から曲げ強度は繊維混入率を増加させてもほとんど変わらないということが明らかにされた。これは、第1のピーク荷重までは繊維による補強効果は得られないということを示している。すなわち、ピニロン繊維補強高強度コンクリートの曲げ強度はマトリクス自体の強度に依存するということが示された。また粗骨材の最大寸法が20mmの方が10mmよりも曲げ強度がやや大きかった。

(3) 曲げタフネス

図-6は曲げタフネスと繊維混入率および骨材最大寸法の関係を示したものである。曲げタフネスは変位が2mmまでの荷重-変位曲線の面積であり、破壊に至るまでの吸収エネルギーの評価指標とすることができる。ちなみに、曲げ試験は供試体が破断するまで行ったが変位2mm以降では荷重が0に近く、面積もそれ以前に比べて微小な値のため、コンクリート標準示方書に示されている通り、2mmまでの変位でタフネスを評価することとした。また、プレーンコンクリートは最大荷重直後に急激に荷重が減少したために、変位が測定できなかったため、最大荷重までの面積を曲げタフネスとした。この図から、ピニロン繊維補強高強度コンクリートのタフネスは繊維混入率が増加すると大きくなることが明らかに

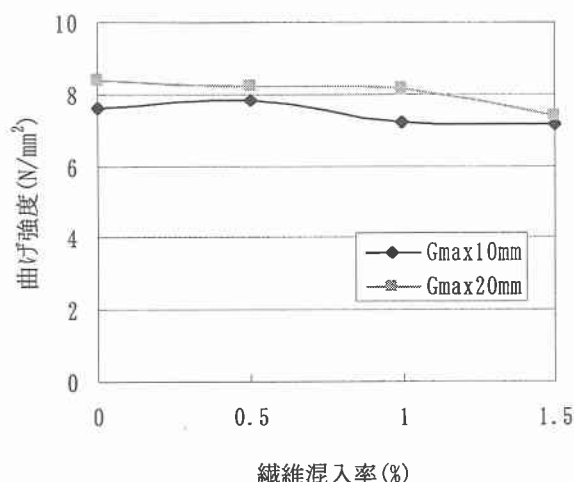


図-5 曲げ強度と繊維混入率および骨材最大寸法の関係

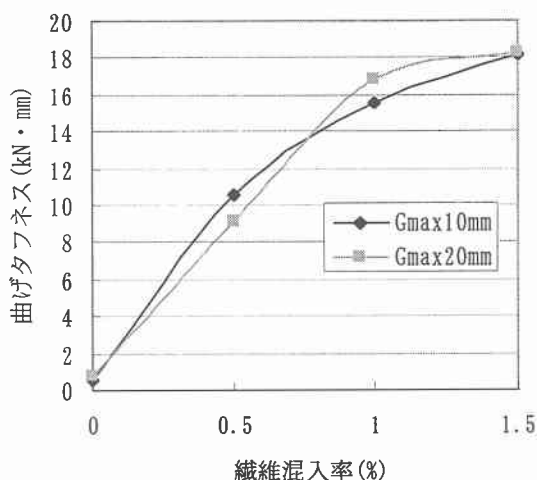


図-6 曲げタフネスと繊維混入率および骨材最大寸法の関係

された。しかしながら、その増加割合は繊維混入率に比例せず、繊維混入率が大きい場合にはあまり増加しないことが示された。

図-6 から明らかなように、骨材最大寸法が異なる場合にもほとんど同一の曲げタフネスと繊維混入率の関係が得られた。したがって、骨材最大寸法は曲げタフネスにあまり影響を及ぼさないことが明らかにされた。

5. ビニロン繊維の補強メカニズム

ビニロン繊維補強高強度コンクリートは第1ピーク荷重がプレーンコンクリートと大きな差はないことから、補強効果が顕著になるのは第1ピーク荷重後であると言える。第1ピーク荷重後にひび割れが発生し曲線が急激に下降するが、途中で下降は食い止められ、再び上昇する。第1ピーク荷重時に補強効果が得られず、やや変位してから補強効果が現れるのは、ビニロン繊維のヤング率がマトリックスに比べて小さいことに起因していると考えられる。すなわち、変位が増加し、ひび割れ幅が広がることでひび割れ面を架橋していたビニロン繊維が伸び、そこで初めて補強効果が現れるというメカニズムが推測される。

6. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) ビニロン繊維補強高強度コンクリートの圧縮強度は繊維混入率を大きくしてもほとんど増加しなかった。また、圧縮強度は骨材の最大寸法にほとんど影響しなかった。
- 2) 荷重-変位曲線において、第1ピーク荷重は繊維混入率に依存せず、ほぼ一定であった。したがって、繊維補強効果が得られるのは第1ピーク荷重以降であり、また第2ピーク荷重は繊維混入率を増加させると上昇した。
- 3) 曲げ強度は骨材最大寸法が20mmの方が10mmよりもやや大きかったが、骨材最大寸法の違いは曲げ強度に著しい影響を与えなかった。
- 4) ビニロン繊維補強高強度コンクリートの曲げタフネスは繊維を混入しないプレーンコンクリートよりも著しく増加した。曲げタフネスの増加割合は繊維混入率に比例せず、繊維混入率が大きい場合には小さかった。

参考文献

- 1) 例えば、朴 成武、伊藤 利治：超高強度繊維補強コンクリートに関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、vol22、No2、pp331-336、2000
- 2) D.Darwin：Fracture Energy of High-Strength Concrete ACI Materials Journal/September-October 2001、Title no.98-M45