

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560484

研究課題名（和文） 有機繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの開発

研究課題名（英文） Development of Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete using Synthetic Fiber

研究代表者

内田 裕市（UCHIDA YUICHI）

岐阜大学・総合情報メディアセンター・教授

研究者番号：20213449

研究成果の概要（和文）：

本研究では従来の鋼繊維の代わりに腐食の可能性のない有機繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を開発することを目的とした。研究の結果、鋼繊維を用いた場合に比べ70～80%程度の強度を有するアラミド繊維を用いた UFC を開発した。また、コスト低減のためにポリビニルアルコール繊維を用いた UFC についても検討し、圧縮強度が  $140\text{N/mm}^2$ 、曲げ圧縮強度が  $15\text{N/mm}^2$  の UFC を開発した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to develop the ultra high strength fiber reinforced concrete (UFC) using synthetic fiber as substitute for steel fiber which has possibility of corrosion. As a result of research, the UFC using aramid fiber was developed, whose strength was 70～80% of that of the UFC using steel fiber. The UFC using polyvinyl alcohol (PVA) fiber was also developed aiming to reduce material cost. The compressive strength and flexural strength of the UFC using PVA fiber were  $140\text{N/mm}^2$  and  $15\text{N/mm}^2$ , respectively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート・繊維補強コンクリート

## 1. 研究開始当初の背景

土木学会から発行された超高強度繊維補強コンクリート（UFC）の設計施工指針においては、鋼繊維の腐食の可能性を考慮し、使用状態ではひび割れを許容しないこととした。しかしながら、UFC は多量の結合材を低水結合材比で使用するために水和熱と自己収縮が大きく、そのため初期ひび割れに対する配慮が必要となっている。そこで、鋼繊維

の代わりに有機繊維を用いれば、繊維の腐食の問題を回避することができ、ひび割れに対する制限を大きく緩和できる可能性がある。さらに、将来、超高強度靱性化を目指す場合には、微細ひび割れの発生が前提となるため有機繊維の利用が必須となる。ところが、現状では、有機繊維を用いた UFC の力学性状は鋼繊維を用いたものに比べ大きく劣るという課題があった。

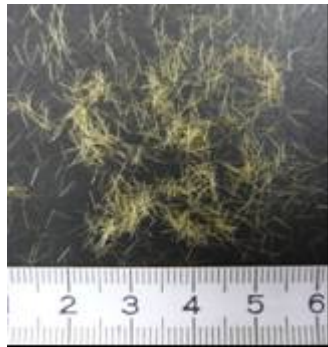
## 2. 研究の目的

セメント系複合材料のさらなる高性能化を目指し、従来の鋼繊維を用いたUFCと同等以上の力学性能を有する有機繊維を用いたUFCを開発することを目的として、その材料ならびに製造方法について検討する。ここでは、特に有機繊維を用いた場合に課題となっている高強度化をターゲットとして研究を進め、将来的には鋼材に匹敵する超高強度高靱性のセメント系複合材料の開発に展開する。

## 3. 研究の方法

### (1) アラミド繊維の最適化に関する検討

繊維として有機繊維のなかでも特に高強度でかつ高弾性率のアラミド繊維を対象として、形状寸法の異なるアラミド繊維(写真-1)を用いたUFCについて圧縮強度試験と切欠きはりの3点曲げ試験を行い、曲げ試験の結果から逆解析によって引張軟化曲線を算出し、繊維の最適化について検討した。



(b) モノフィラメントタイプ



(a) 収束タイプ

写真-1 アラミド繊維

### (2) 収束タイプのアラミド繊維を用いたUFCの特性に関する検討

上記(1)の結果、収束タイプのアラミド繊維がUFC用の繊維として優れていることが明らかになったため、収束タイプのアラミド繊維を用いたUFCの諸特性について検討した。

### (3) PVA 繊維を用いたUFCの特性に関する検討

アラミド繊維は高性能ではあるが広く普及させるうえでは、コストの問題があると考えられた。そこで、より廉価なポリビニル(PVA)繊維を対象として、UFCを製造するために適した繊維の形状寸法、混入率について検討した。

## 4. 研究成果

### (1) アラミド繊維の最適化に関する検討

形状寸法の異なるアラミド繊維を用いたUFCの特性について実験的に検討し、以下のような結果を得た。

- ① 同体積量の繊維を混入した場合、繊維径が12 $\mu\text{m}$ の繊維は、45 $\mu\text{m}$ の繊維に比べフロー値が小さくなり、混入が困難である。
- ② 繊維径を45 $\mu\text{m}$ とし、繊維長を3mmから12mmに変化させそれぞれ混入量を最大にした場合、UFCの力学特性に対しては3mm-混入量3%と6mm-混入量2%がもっとも有効である。
- ③ UFCの圧縮強度は温水養生と水中養生で差があるが、曲げおよび引張軟化特性においてはその影響は見られない。
- ④ 収束タイプの繊維は、ひび割れ発生後の剛性が低いが、架橋応力の最大値は繊維長3mmあるいは6mmの場合と同程度であり、鋼繊維の場合の75%程度である(図-1)。これより、アラミド繊維を用いることで、鋼繊維を用いた場合の強度および靱性に近い結果が得られる可能性が示された。

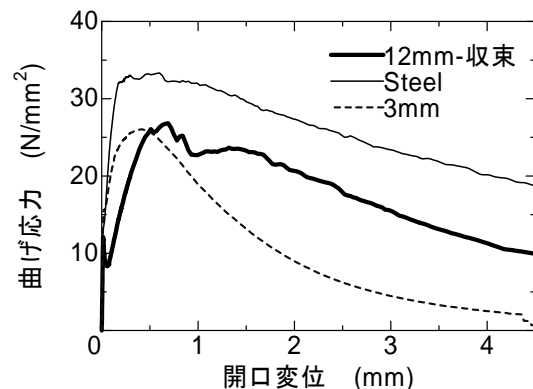


図-1 鋼繊維と収束タイプのアラミド繊維を用いたUFCの切欠き梁の3点曲げ試験結果

### (2) 収束タイプのアラミド繊維を用いたUFCの特性に関する検討

集束タイプのアラミド繊維を用いたUFCの力学特性について実験的に検討し、以下のような結果を得た。

- ① 15, 20, 25mmの3種類の繊維長について比較した結果、フレッシュ時のフローは繊維長が長くなるにつれて小さくなった。圧縮強度は繊維長にかかわらずほぼ一定で170N/mm<sup>2</sup>であった。引張軟化特性は、20mmと25mmでは差はなく、15mmは劣

る結果となった(図-2)。以上のことから、本研究では繊維長 20mm が最適であると判断された。

- ② 繊維長 20mm の場合、自己収縮は 1300 $\mu$ 程度生じた(図-3)。ヤング率は 42.4kN/mm<sup>2</sup>であり、引張軟化曲線の応力は、同一のモルタルマトリックスで鋼繊維を用いた UFC の 80%程度であった(図-4)。
- ③ アラミド繊維を用いた鉄筋コンクリートはりのせん断耐力は、土木学会指針案式によって安全側に評価でき、本実験のせん断耐力は同一のモルタルマトリックスで鋼繊維を用いたとして計算されるせん断耐力の 90%程度であった(表-1, 図-5, 6)。

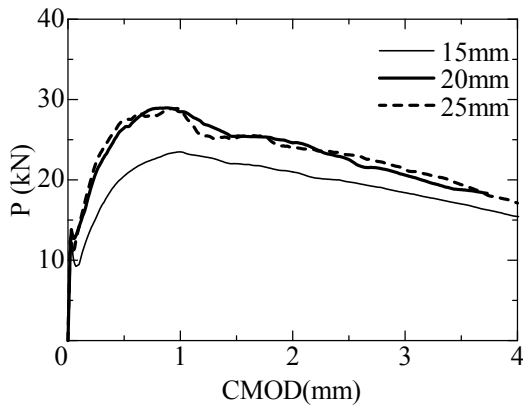


図-2 長さの異なる収束繊維を用いた UFC の切欠き梁の 3 点曲げ試験結果

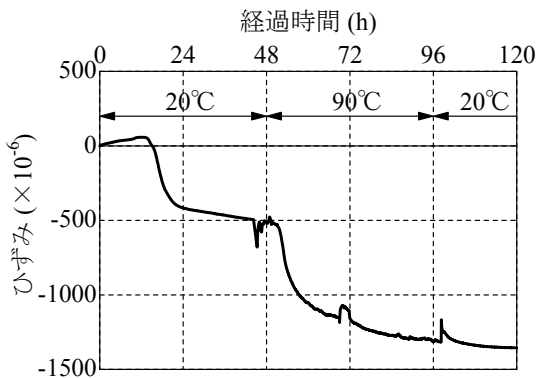


図-3 収束繊維を用いた UFC の自己収縮

表-3 せん断試験の結果

試験体	せん断耐力 (kN)		
	実験	計算	
		アラミド	鋼繊維
No.1	107.8	92.1	124.0
No.2	120.0		

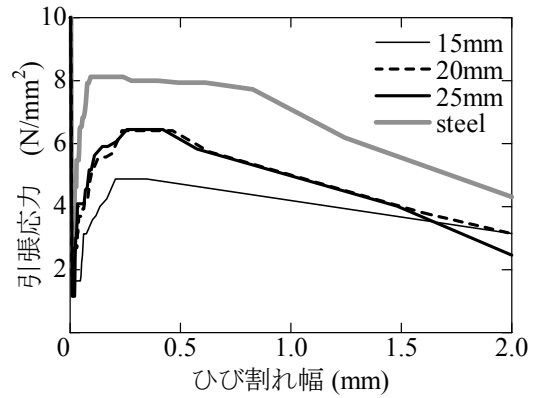


図-4 長さの異なる収束繊維を用いた UFC の引張軟化曲線

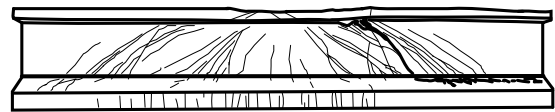


図-5 RC 梁のせん断破壊状況

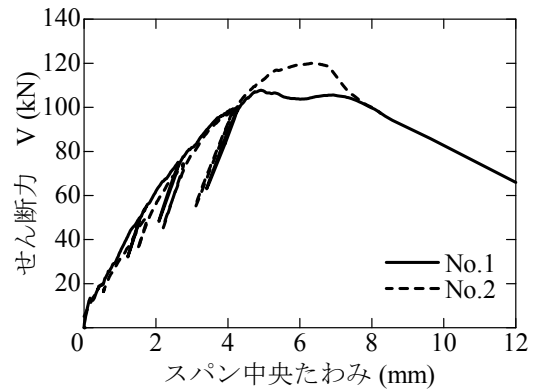


図-6 RC 梁のせん断力-たわみ曲線

### (3)PVA 繊維を用いた UFC の特性に関する検討

現在市販されている寸法、強度が異なる 6 種類の PVA 繊維を対象として、練混ぜ試験、フロー試験、圧縮および曲げ試験を行い、以下のことが明らかになった。

- ① 径が細い繊維 ( $\phi=0.04\text{mm}$ ) では混入率を高くすると流動性が低下するため、混入率を高くすることができず、その結果、高強度を得ることが困難である。
- ② 径が太い繊維 ( $\phi=0.66\text{mm}$ ) では水セメント比を 18%として混入率を 3%まで高くすることで高強度を得ることが可能であるが、フレッシュ時に繊維とモルタルの分離が生じる(写真-2)。
- ③  $\phi 0.66 \times 30\text{mm}$  と  $\phi 0.1 \times 12\text{mm}$  の繊維を 1:2 の割合で混合して用いると材料分離を抑制でき、140N/mm<sup>2</sup> の圧縮強度と 15N/mm<sup>2</sup> 以上の曲げ強度が得られた(図-7)。

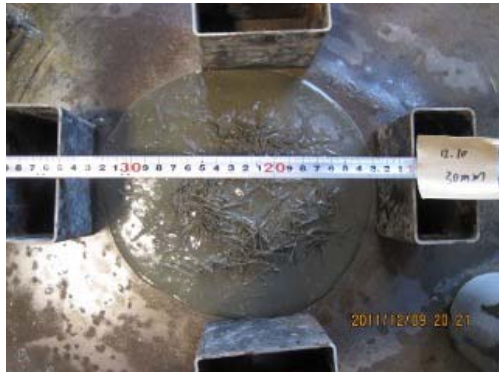


写真-2 材料分離の状況

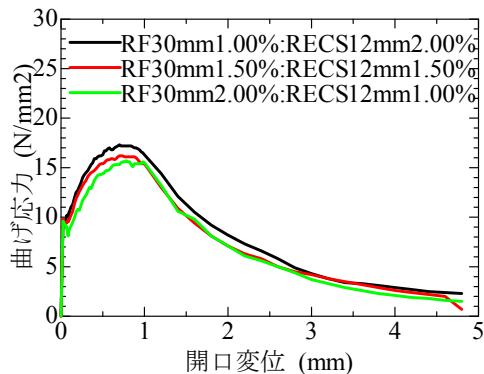


図-7 繊維を混合したUFCの切欠き梁の3点曲げ試験結果

- ④ 上記の混合繊維を用いた超高強度コンクリートについてコンクリート製品工場の実機ミキサで練混ぜ試験を行い、製造が可能であることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① ゲンカン チイ, 周波, 大森慎也, 内田裕市, アラミド繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの力学特性, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.33, No.1, 2011, pp.233-238
- ② Yuichi Uchida and Nguyen Khanh Thy, Mechanical Properties of Ultra High Strength Fiber Reinforced Cementitious Composite using aramid fiber, 9th International Symposium on High Performance Concrete - Design, Verification & Utilization, 査読有, Vol.1, 2011, pp.331-338
- ③ 竹山忠臣, 大森慎也, 出井丈也, 内田裕市, アラミド繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの力学特性, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.32, No.1, 2010, pp.1253-1258
- ④ Yuichi Uchida, Tadaomi Takeyama and

Takeya Dei, Ultra high strength fiber reinforced concrete using aramid fiber, 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, 査読有, CD-ROM, 2010

- ⑤ 竹山忠臣, 小川義宏, 出井丈也, 内田裕市, アラミド繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.31, No.1, 2009, pp.313-318

[学会発表] (計1件)

- ① 周波, Ha Duy Nhi, 内田裕市, 稲熊唯史, PVA 繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの特性, 第66回土木学会年次学術講演会概要集, 査読無, 2012(掲載決定)
- ② 竹山忠臣, 大森慎也, 出井丈也, 内田裕市, アラミド繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの寸法効果, 第65回土木学会年次学術講演会概要集, V-528, 2010, pp.1055-1056

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 裕市 (UCHIDA YUICHI)

岐阜大学・総合情報メディアセンター・教授

研究者番号: 20213449

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし