

# 混合セメントガラス繊維混入モルタルの フロー及び強度に及ぼす効果 その1 実験計画及び配合の決定

豊福 俊英, 三好 芳憲\*

## Influences of Blended Cement on Flow and Strength of Glass Fiber Reinforced Mortar

### Part 1 Experimental Program and Control Specimens

by Toshihide TOYOFUKU and Yoshinori MIYOSHI\*

Glass fiber reinforced mortar (GFRM) is a cement based composite product which is reinforced with glass fibers.

It has been established that after prolonged exposure to wet climates, the strength of a GFRM composite may be reduced to nearly that of the unreinforced matrix. Improvements are being sought to increase the long-term strength and durability of GFRM. These included modifying the portland cement mortar with a polymer latex, modifying the portland cement matrix with pozzolanic additions, modifying glass composition, coating the glass fibers, and development of a lime-free cement. The utilization of Portland Blast-Furnace Slag Cement and Portland Fly Ash Cement is based on activation with alkalis released from the hydration of Portland Cement.

In the Present study, GFRM using ordinary portland cement (control specimens) are discussed. Test specimens were cast using ordinary portland cement, the water-cement ratio of 0.40 and 0.60, seven different volume content of glass fiber (0~3.0% : weight percent per cement and sand) and cured in air. Results of an experimental investigation to determine the flow and the flexural and compressive strength of GFRM at the age of 28 days reinforced are presented.

### 摘 要

ガラス繊維混入モルタル (以下 GFRM と略記する) とはガラス繊維によって補強されたセメント複合品である。水分の多い気候に暴露された後、GFRM 複合体の強度は繊維補強しないものと同程度まで低下することが指摘されている。長期強度及び耐久性を改善する方法が考えられ、セメントにポリマーのラテックスを混ぜたり、ポゾラン質のマトリクスをセメントにいれたり、ガラスの耐アルカリ性の品質改善を行ったり、アルカリの低いセメントなどがとりあげられてきた。したがって、高炉セメント及びフライアッシュセメントは低アルカリ型のセメントと

\*現在 香川県仲多度土地改良事務所

本研究の一部は、第40回農業土木学会中国四国支部講演会で報告した。

して GFRM に有効に利用できると考えられる。

本報告では、普通ポルトランドセメントを使用した基準モルタルについてのべる。試験体は普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比=0.40及び0.60、繊維混入量は0~3.0%の範囲で7種類について気中養生で作成した。実験よりフロー値及び28日強度の結果を得て、基本配合を求めた。

## 1. 序 論

### 1.1 概 論<sup>(1),(2),(3)</sup>

繊維を脆性材料の補強に用いようとする考え方はかなり古くからあり、例えばわが国においても壁土にわら・アサ・紙などの細片を混ぜてつなぎとした「すさ」などがあり、モルタルやコンクリートをガラス繊維によって補強し力学的性質を改善しようとする試みも決して新しいものではない。しかし、初期の試みは、セメントの水和反応の結果生じるアルカリ性のために、その当時利用できたいずれの品質のガラスでも劣化することが明らかとなり失敗に終わった。

分散したガラス繊維をセメントの補強材として用いる研究を最初に発展させたのは、ロシア人の Biryukovich 他<sup>(4)</sup>に負うところが多い。しかし、彼の研究は主に低アルカリあるいは高アルミナセメントの硬化物に関するものであり、セメントの硬化過程および硬化後の高アルカリ環境の中での長期物性の確認が充分行われず実用化には至らなかった。

その後、英国建築研究所の Majundar 及び Nurse と共同してピルキントン社 (Pilkington Brothers) は、ソーダけい酸ガラスにジルコニア (ZrO<sub>2</sub>) を加えることによって耐アルカリ性を付与し、これを繊維化することに成功し、Cem-FIL と総称される新しい耐アルカリガラス繊維を1968年に開発した。1973年初めピルキントン社は、この耐アルカリガラス繊維を用いた二次製品の基礎成形技術についてライセンス業務を開始し、現在、日本では二次製品製造権について、旭硝子社、日本板硝子社、小野田

表-1 耐アルカリガラス繊維の特許<sup>(5)</sup>

製 造 者	特 許 号
ピルキントンブラザーズ (英)	公告 40-40125
オーエンスコーニンググラスファイバー (米)	公開 49-63712
旭硝子	// 50-59528
日本アスベスト	// 49-17813
鐘紡	// 49-47624
日東紡績	// 49-53208
三陸ファイバーグラス	// 49-92328
セントラル硝子	// 51-55309

表-2 耐アルカリ性ガラス繊維の供給量と生産体制<sup>(6)</sup>

区 分	メーカ-	販 売 量 (トン)		生 産 体 制	
		55年度	56年度見込	生産能別(年)	生産工場
セムフィル系	旭硝子	250	4,300	300	旭ファイバーグラス湘南工場
	日本板硝子	200	240	—	輸入
	小野田セメント	—	—	—	—
国産技術	日本電気硝子	600	800	840	滋賀県・能登川工場
	日本バルカー工業	若干	※ 240	1,000	鹿児島県・志布志工場
	日東紡績	//	150	150	福島工場
	セントラル硝子	//	30	150	セントラルグラスファイバー松坂工場(三重県)
合 計		1,050	1,760	2,440	—

注 ※日本バルカー工業は上記販売量のほかに工業用資材の自家消費分が月間30トンある。

セメント社がピルキントン社とメジャーライセンス契約を結び、それぞれガラス繊維補強セメント(以下 GFRC という)製造技術の開発および商品開発販売を行っている。また、耐アルカリガラス繊維について旭硝子社はピルキントン社のライセンスを得て Cem-FIL (セミフィル) と同一品質の繊維を1981年より生産開始をし、"アルファイバー"の商品名で市販している。

一方、国内の自社技術による耐アルカリ性ガラス繊維の開発は表-1<sup>(5)</sup>に示すように三陸ファイバー社、鐘紡社、セントラルガラス社及び日本バルカー社などの特許があり、すでに製造販売を開始しているメーカーもある。わが国におけるガラス繊維の生産および販売の状況を表-2<sup>(6)</sup>に示す。

1.2 耐アルカリガラス繊維

本研究では不連続繊維のガラス繊維を対象としている。したがって、以下の報告では網・織布などのマットや線・棒などの形態についての検討は含んでいない。

1.2.1 組成<sup>(2)</sup>

耐アルカリガラス繊維の化学組成及び単繊維の性質を、Aガラス及びEガラスと比較して、それぞれ表-3<sup>(2)</sup>及び表-4<sup>(2)</sup>に示す。ガラス繊維のアルカリ抵抗性(劣化)の試験方法としてアルカリ中に浸漬後の直径の減少や引張強度の低下で測定することができ、その結果の一例を表-5<sup>(2)</sup>に示す。

表-3 繊維化が可能なガラスの化学組成<sup>(2)</sup> (重量%)

種 類	Eガラス	Aガラス	耐アルカリガラス
SiO <sub>2</sub>	52.4	72.2	71
K <sub>2</sub> O	0.8	13.0	11
Na <sub>2</sub> O			
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.4	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.4	1.8	1
MgO	5.2	3.5	—
CaO	16.6	9.5	—
ZrO <sub>2</sub>	—	—	16
Li <sub>2</sub> O	—	—	1

表-4 単繊維の性質<sup>(2)</sup>

種 類	Eガラス	Aガラス	耐アルカリガラス
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.46	2.78
引張強度 (MN/m <sup>2</sup> )	3,500	3,100	2,500
弾性係数 (GN/m <sup>2</sup> )	72.5	65.0	70.0
破断時の伸び (%)	4.8	4.7	3.6

表-5 ガラス繊維の耐アルカリ性<sup>(2)</sup>

種 類	項 目	100°Cにおける繊維直径の平均減少率%	
		N/1 NaOH 1.5時間	飽和 Ca(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4時間
パ イ レ ッ ク ス		22	2
E ガ ラ ス		59	9
A ガ ラ ス		15	10
耐 アル カ リ ガ ラ ス		5	1以下

1.2.2 形態

耐アルカリガラス繊維(不連続繊維)の形態として次のものが現在わが国で市販されている。

- 1) ロービング (ハードタイプ, スタンダードタイプ)
- 2) チョップドストランド (ウルトラハードタイプ, ハードタイプ, ソフトタイプ)

耐アルカリガラス繊維として用いられるものは、るつぼ法によって加熱された白金のるつぼの底にあげられた多数の小孔から熔融ガラスを連続的に引き出してフィラメントを形成する。このガラスフィラメントは直径10~20ミクロンでこのフィラメントを多数束にしたものをストランドといい、フィラメントを約200本を束にしてストランドとし、ストランドを約30本集めたものがロービングである。所定の長さに切断されたものがチョップドストランドである。

1.3 製造方法<sup>(1)</sup>

ガラス繊維補強コンクリート (以下 GFRC と略記する) の製造方法には、大きく分けてスプレー法及びプレミックス法がある。この製造方法の相違によってマトリックスにおける繊維の配向性、繊維混入量及びセメントマトリックスの空隙の程度などが変化するために、力学的特性が異なる。また、パイプ類などに用いられるワインディング法などもある。

1.3.1 スプレー法

スプレー法には、ダイレクトスプレー法とスプレーサクション法とがある。これらの製造方法の概要を図-1に示す。ダイレクトスプレー法は、あらかじめ練りまぜられたセメントモルタルを吹き付けると同時に、ガラスロービングを25~37mm程度の一定長さに切断して型枠に吹き付けて成形する方法である。スプレーサクション法は、型枠

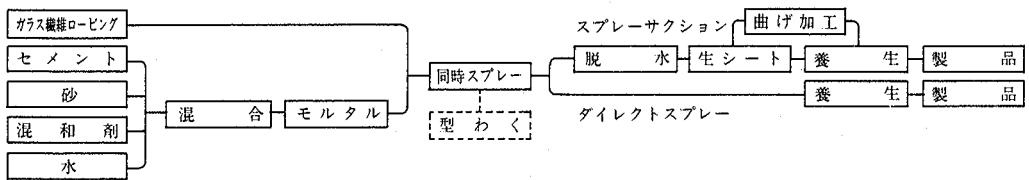


図-1 ダイレクトスプレー法およびスプレーサクション法の製造概要

を減圧できる装置としておき、吹き付けた GFRC の余剰水を脱水して高密度化する方法をいう。

スプレー法では繊維が2次元的に配向され、しかも成形時の繊維の解繊や切断が少なく高い補強効果が期待できるが、GFRC の力学的性能はガラス繊維の混入量と繊維長さによって影響を受ける<sup>(7)</sup>。繊維の混入量が多くなると組織が粗になること、繊維長が長くなると繊維が曲がって吹き付けられた補強効率が低下すること、また経済性などの面から、長さ25~38mmの繊維をモルタル重量の5%程度混入したものが一般に使用されている。

1.3.2 プレミックス法

プレミックス法は、あらかじめ適当な長さに切断されたチョップドストランドとセメントモルタルをミキサ内であらかじめ練りまぜ、普通のコンクリートと同様に型枠に成形するものである。打設成形には流込み法、押出し法、加圧成形法、射出成形法<sup>(8)</sup>などがある。プレミックス法の製造概要を図-2に示す。

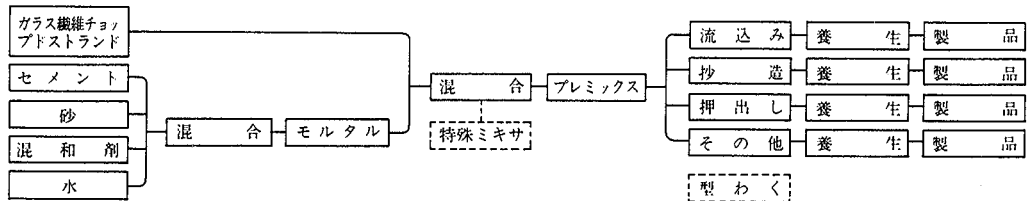


図-2 プレミックス法の製造概要

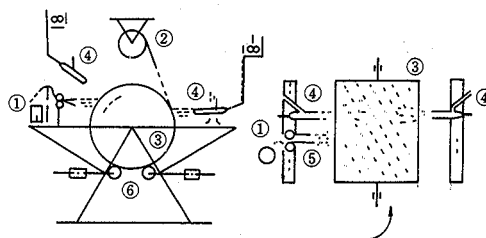
なお、スプレー法は吹き付けの広さが直径30cm程度であるので幅の狭い製品の製造には材料の損失が多く適当でないが、プレミックス法の場合には幅が狭く比較的厚肉の製品の製造に適している。そのため構造材の製造方法としてはこのプレミックス法が考えられる。

プレミックス法は、ガラス繊維の配向は三次元方向になるので、同一の繊維混入量の場合所要の補強に対する補強効率低下する。また、この方法による GFRC の製造は、ガラス繊維とセメントモルタルとの混合の良否が製品の性能に影響を与え、特に均一な混練の確保とガラス繊維の損傷あるいは解繊・切断しないようにすることが、プレミックス法による GFRC 製造の重要な点である。均等な混合を確保するには混入量が低下し、一般には繊維長さ13~25mmと短い長さのチョップドストランドをセメントモルタルの重量の3%程度の混入まで可能であると考えられている。

プレミックス法によるガラス繊維補強コンクリートの配合条件とフレッシュコンクリートの性状に関する仁枝<sup>(9)</sup>及び三瀬ら<sup>(10),(11)</sup>の研究によれば、骨材の最大寸法10~15mmで、細骨材率65~80%、水セメント比55~60%、単位セメント量約500kg/m<sup>3</sup>、繊維混入量0.6~0.8 vol %が良好な性状を示している。また、単位セメント量は500kg/m<sup>3</sup>程度に多くした方が、ワーカビリティが良くなり、繊維長さのワーカビリティに対する影響が小さくなることを明らかにしている<sup>(12)</sup>。

1.3.3 その他の方法

ワインディング法<sup>(13)</sup>による GFRC の製造は、高速回転するパイプに連続したガラス繊維フィラメントを巻き付けるとともに、チョップドストランドおよびセメントスラリーをスプレーして成形する方法である。この製造方法の概要を図-3に示す。



- ①ロービングあるいはストランドの糸巻き
- ②ロービングあるいはストランド
- ③巻取りシリンダー
- ④セメントペーストの吹付け機
- ⑤切断した繊維の吹き出し
- ⑥圧縮ローラー

図-3 ワインディング法の概要<sup>(9)</sup>

その他に加圧成形法、押出し成形法及び射出成形法なども検討されており、複雑な断面形状の製品に適する。

以上に述べた GFRC の製造方法によって、繊維の配向性、混入量および用いる繊維の適切な長さは種々に異なり、補強効率に差異があると考えられ、所要の形状の製品を最も経済的に得ることのできる製造方法が適切に選定される必要がある。表-6<sup>(14)</sup>は繊維の配向性と補強効率を検討した例である。

表-6 繊維の配向と補強効率<sup>(10)</sup>

配 向 性	繊維長(mm)	後藤らの実験	Mc. Curich らの実験	Krenchel の実験
一 軸 配 向 	∞	100%		
	38	88~91	100	
	25	83~84		
二 軸 配 向 	∞	42	40~50	3/8
	50	42~47		
二 次 元 ラ ン ダ ム 	38	38~42		
	25	36~37	30~37	1/5
	13	26~27		
	9	22		
	三 次 元 ラ ン ダ ム			0~20

1.4 既往の研究<sup>(1)</sup>

石塚, 三嶋, 武田<sup>(4)</sup>による曲げ試験結果は図-4に示すように, ダイレクトスプレー法の場合, 繊維量を5wt%に固定し繊維長さを10~105mmに変化させると, 繊維長さ37mmまでは強さが増大するが, それ以上では一定値を示し, ダイレクトスプレー法及びスプレーサクシオン法ともに繊維量の増大とともに終局曲げ強度(MOR), 終局引張強度(UTS)及び衝撃強度は大きく増大するが, 曲げ弾性限界強度(LOP)及び引張弾性限界強度(BOP)の増大はわずかである結果を得ている。

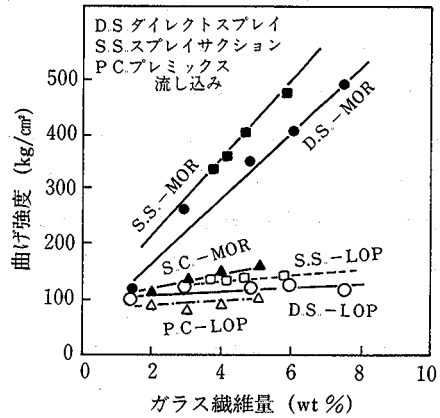


図-4 ガラス繊維量と曲げ強度の関係<sup>(4)</sup>

また, 耐アルカリガラス繊維を用いたGFRCの長期強度は繊維の安定性及び使用条件に影響

表-7 各材令における曲げ実測強度の平均値<sup>(15)</sup>  
スプレー脱水, OPC/GRC, ガラス繊維5%wt.

	28日空気中および水中, 全圍	1 年			2 年			3 年		
		空気中	水中	自然暴露	空気中	水中	自然暴露	空気中	水中	自然暴露
MOR (MN/m <sup>2</sup> )	35-50	35-40	22-25	30-36	30-35	21-25	21-23	31-39	17-18	15-19
LOP (MN/m <sup>2</sup> )	14-17	9-13	16-19	14-17	10-12	16-19	15-18	14-16	16-17	13-16

を受けて変化するようであり, GFRCを実用に供するうえで解しなければならない重要な点である。英国建築研究所の研究によれば, 表-7<sup>(15)</sup>に示すように, 3種類の環境, すなわち20°C, 40%RHの空气中, 20°C水中及び自然暴露(英国)における10年間の曲げ強度の変化を検討した。その結果, 乾燥した空气中にあるGFRCの曲げ強度は初期の優れた特性が長期間維持されているのに対し, 水中または自然条件では時間の経過に伴って終局曲げ強度(MOR)の低下が認められ, 材令10年では曲げ弾性限界強度(LOP)とMORは極めて近似した値を得た。さらに, これらの結果から材令20年における予測を行ない表-8<sup>(15)</sup>に示した。すなわち, 材令20年の自然暴露では材令28日の約1/3の終局曲げ強度になると推定している<sup>(1)</sup>。

表-8 20年後における平均曲げ強度の修正予測値<sup>(15)</sup>  
スプレー脱水, OPC/GRC, ガラス繊維5%wt.

性質	空気中	水中	自然暴露
MOR (MN/m <sup>2</sup> )	26-34	15-20	13-17
LOP (MN/m <sup>2</sup> )	14-16	15-18	13-16

一方, 耐久性に関して, わが国では和泉<sup>(16)</sup>, 横山ら<sup>(17)</sup>及び大東ら<sup>(18)</sup>の報告がある。

1.5 研究目的

本研究は普通ポルトランドセメント, 高炉セメント及びフライアッシュセメントを用いたGFRMの流動性及び

硬化後のコンクリート強度について実験的に検討するものである。モルタルの製造方法はプレミックス法による。

モルタルの繊維混入による流動性（フロー）を配合方法によって改善すること及びチョップドタイプのガラス繊維のセメント水和時の強アルカリによる劣化を防ぐ対策としてを高炉セメント及びフライアッシュセメントを使用し、アルカリ度を低下させた場合の GFRM の強度特性に及ぼす効果について検討する。実験要因および試験項目として、セメントの種類、水セメント比、単位水量、砂セメント比及び繊維混入量を要因としてモルタルの流動性（フロー）を、さらに養生方法及び材令を要因に追加して強度試験を行った。

## 2. 実験計画 (I シリーズ)

### 2.1 概要

本報告は混合セメント（高炉セメント及びフライアッシュセメント）の使用に先立ち、普通ポルトランドセメントを使用して、モルタルの繊維混入による流動性（フロー）を配合方法によって改善することを実験的に検討したものである。これは混合セメントを使用した場合と比較する場合の基準となるモルタルの配合となる。

水セメント比、単位水量、砂セメント比及び繊維混入量を要因として、モルタルの流動性（フロー）及び強度試験を行った。

### 2.2 使用材料

#### 2.2.1 セメント

大阪セメント社製の普通ポルトランドセメントを使用した。使用したセメントの試験成績表を、表-9 に示す。

表-9 使用セメントの試験成績表

	比重	比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	水量 (%)	始発 h - m	終結 h - m	安定性	圧縮強度 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )				化学組成 (%)		
							1 日	3 日	7 日	28 日	MgO	SO <sub>3</sub>	ig loss
普通ポルトランドセメント	3.16	3200	28.0	2-40	3-50	良	—	147	245	421	1.7	2.0	0.7

#### 2.2.2 砂

砂は川砂と山砂の混合したものを使用した。混合砂の物理的性質を表-10に示す。

表-10 砂の物理的性質

比重	吸水率 (%)	各ふるいに残る重量百分率 (%)								粗粒率 FM
		10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	受皿	
2.56	2.0	0	0	4	19	47	80	97	100	2.47

#### 2.2.3 水

水は水道水を使用した。

#### 2.2.4 ガラス繊維

耐アルカリガラス繊維は、セントラルガラス社製（商品名パルファイバー：PAL Fiber）でチョップドストランドタイプの繊維長さ13mm、比重2.7のものを使用した。耐アルカリガラス繊維の物性および化学組成をそれぞれ表-11および12に示す。

表-11 耐アルカリガラス繊維の物性

物 性	比 重	引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	ヤング率 kgf/mm <sup>2</sup>	最大伸び 率 (%)	軟化温度 (°C)	線膨張率 (1/°C)	屈折率	備 考
耐アルカリガラス繊維	2.58	90~250	6,000	2.2~3.8	790	8×10 <sup>-6</sup>	1.57	

(注) セントラルガラス社の技術資料より引用した。

表-12 耐アルカリガラス繊維の化学組成 (%)

化 学 組 織	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub>
耐アルカリガラス繊維	58.5	21.4	1.5	0.4	14.1	2.5	0.5	0.24

(注) セントラルガラス社の技術資料より引用した。

### 2.3 実験要因

水セメント比とガラス繊維混入量を主な要因とした。水セメント比を40~60%のとし、ガラス繊維混入量を0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5及び3.0%混入した。養生方法は気中(実験室内に放置)とし、材令28日に強度試験を行った。なお、ここで繊維混入量とは、セメントと砂の合計重量に対するガラス繊維の重量百分率とした。これらをまとめて実験要因を、表-13に示す。

### 2.4 配 合

本シリーズは、次の5つに分類される。

- I-1: 繊維を混入しないブレンモルタルにおいて、水セメント比40% (一定) で、単位水量比を変化させ、フロー値が210mmとなる配合を求めるための試験。
- I-2: 繊維を混入しないブレンモルタルにおいて、I-1で求めたフロー値が210mmとなる単位水量比40% (一定) として、水セメント比を35, 40, 45, 50, 55及び60%と変化させてフロー値及び強度に及ぼす影響について行った試験。
- I-3: 繊維を混入しないブレンモルタルにおいて、水セメント比40% (一定) で、単位水量比を30, 33, 35及び40%に変化させてフロー値及び強度に及ぼす影響について行った試験。
- I-4: 水セメント比40%で、I-1で求めたフロー値が210mmとなる単位水量比40%を用いてガラス繊維混入量を0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5及び3.0%としてガラス繊維混入量がフロー値及び強度に及ぼす影響について行った試験。
- I-5: 水セメント比60%で、I-3で求めたフロー値が210mmとなる単位水量(35%)を用いてガラス繊維混入量を0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0及び2.5%としてガラス繊維混入量がフロー値及び強度に及ぼす影響について行った試験。

### 2.5 試験方法

#### 2.5.1 練り混ぜ

練り混ぜは、「JIS R 5201 セメントの物理試験方法 9.4.3(1)機械練りによる方法」に規定された方法に準じて行った。

すなわち、まず固く絞った湿布で練りはちとパドルを拭き、湿気が乾かないうちに所定量の水を練り混ぜ機に入れ、練り混ぜ機を始動させ、パドルを回転させながら30秒間に所定量のセメントを入れる。練り混ぜを続けながら次の30秒間で所定量の砂を入れる。引き続き60秒間練り混ぜた後20秒間休止する。休止の間にさじで練りはち及びパドルに付着したモルタルをかき落とす。更に、練りはちの底のモルタルをかき上げるように2, 3回かき混ぜる。休止が終わったら、ガラス繊維を混入しない場合は再び始動させ120秒間練り混ぜる。またガラス繊維を混入する



表-13 実験計画, フロー値及び強度試験結果 (Iシリーズ)

	番号	水セメント比 W/C	単位水量比 W	砂セメント比 S/C	繊維混入量 (%)	フロー値	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	曲げ強度 kgf/cm <sup>2</sup>
I-1	1	0.40	0.27	2.0	0.0	105	480	73
	2	0.40	0.29	1.7	0.0	124	522	85
	3	0.40	0.31	1.5	0.0	145	536	90
	4	0.40	0.34	1.2	0.0	171	556	89
	5	0.40	0.36	1.0	0.0	185	564	84
	6	0.40	0.40	0.7	0.0	209	481	77
	7	0.40	0.44	0.5	0.0	212	436	69
	8	0.40	0.48	0.3	0.0	235	451	58
I-2	9	0.35	0.40	0.5	0.0	190	460	87
	10	0.40	0.40	0.7	0.0	209	481	77
	11	0.45	0.40	0.9	0.0	222	453	99
	12	0.50	0.40	1.1	0.0	233	349	82
	13	0.55	0.40	1.3	0.0	249	376	81
	14	0.60	0.40	1.5	0.0	252	310	73
I-3	15	0.60	0.40	1.5	0.0	252	310	73
	16	0.60	0.35	2.0	0.0	213	384	73
	17	0.60	0.33	2.3	0.0	193	376	72
	18	0.60	0.30	2.8	0.0	142	305	70
I-4	19				0.0	209	481	65
	20				0.5	200	533	74
	21				1.0	194	568	71
	22	0.40	0.40	0.7	1.5	185	560	80
	23				2.0	166	525	95
	24				2.5	155	571	97
	25				3.0	144	520	82
I-5	26				0.0	213	384	73
	27				0.5	209	349	75
	28				1.0	201	391	87
	29	0.60	0.35	2.0	1.5	191	337	76
	30				2.0	170	353	103
	31				2.5	151	334	74

圧縮及び曲げ強度は、材令28日で、養生は実験室 (20~25°C) 内放置の試験結果

場合は休止後60秒間練り混ぜて、ミキサーを止めガラス繊維をなるべく分散するのに手で投入後60秒間練り混ぜた。練り混ぜが終わったら練りはちを練り混ぜ機からとり外して、さじで10回かき混ぜる。

#### 2.5.2 フロー試験

フロー試験は、「JIS R 5201 セメントの物理試験方法 9.7 フロー試験」によって行った。

#### 2.5.3 供試体の作成・成形

供試体の成形は、「JIS R 5201 セメントの物理試験方法 9.4.4成形」によって行った。

#### 2.5.4 強度試験の測定

モルタルの強度試験は、「JIS R 5201 セメントの物理試験方法 9.5測定」によって行った。

### 3 実験結果及び考察

#### 3.1 フロー試験結果及び考察

フロー試験結果を表-13及び図-5～7に示す。

I-1において、水セメント比40% (一定)でのプレーンモルタルのフロー値と単位水量との関係を図-5に示す。図より単位水量が増加するにつれてフロー値は増加している。目標フロー値210になるときの単位水量比は約0.40であり、そのときの砂セメント比は約0.7である。

I-2において、単位水量比0.40 (一定)のときのプレーンモルタルのフロー値を図-6に示す。図より、目標水セメント比0.60のときフロー値は約255であった。

I-3において、I-2のときのフロー値が目標値より大きかったので、単位水量を減じてフロー値と単位水量の関係を図-5に得た。I-1と比較して、単位水量の増加に伴うフロー値の増加割合は高くなっている。図より、この水セメント比での目標フロー値210を与える単位水量比は約0.35であり、そのときの砂セメント比は約2.0であった。

I-4において、GFRMのフロー値と繊維混入量の関係を図-7に示す。図より、繊維混入量が増加するにつれてフロー値は減少し、繊維混入量が多いほどフロー値の減少割合は大きくなる傾向を示した。

I-5において、GFRMのフロー値と繊維混入量の関係をI-4と共に図-7に示す。図より、繊維混入量が増加するにつれてフロー値は減少し、繊維混入量が多いほどフロー値の減少割合は大きくなる傾向を示した。しかし、I-4と比較して、繊維混入量の増加に伴うフロー値の減少割合は高くなっている。

以上の結果、繊維混入量の増加に伴いフロー値は小さくなり、水セメント比及び砂セメント比が高い場合では繊維混入量の増加に伴うフローの低下割合は大きくなる傾向を示した。

#### 3.2 強度試験結果及び考察

圧縮及び曲げ強度試験結果を表-13及び図-8～9に示す。

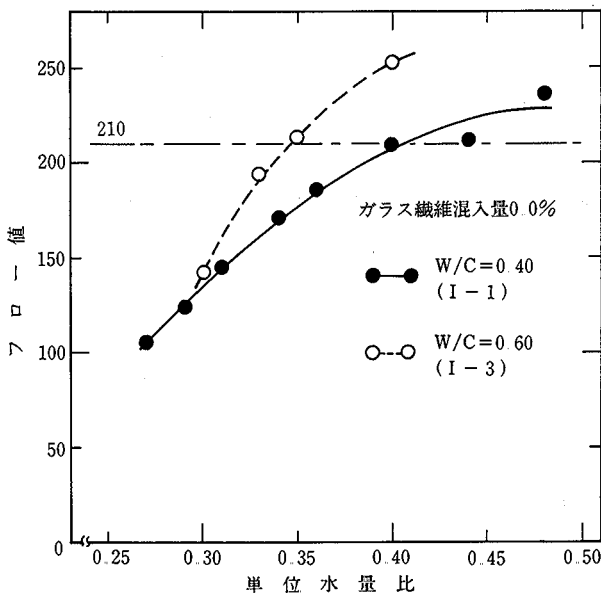


図-5 単位水量比とフロー値との関係 (Iシリーズ)

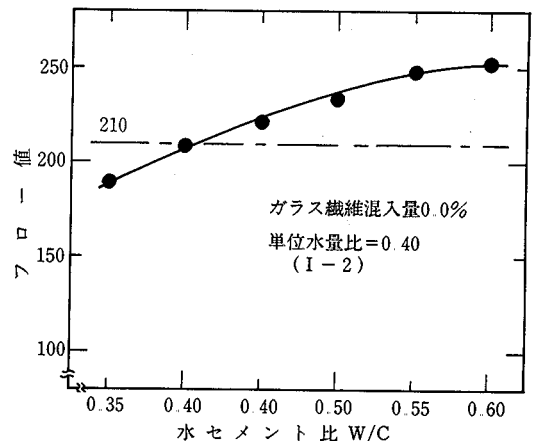


図-6 水セメント比とフロー値との関係 (Iシリーズ)

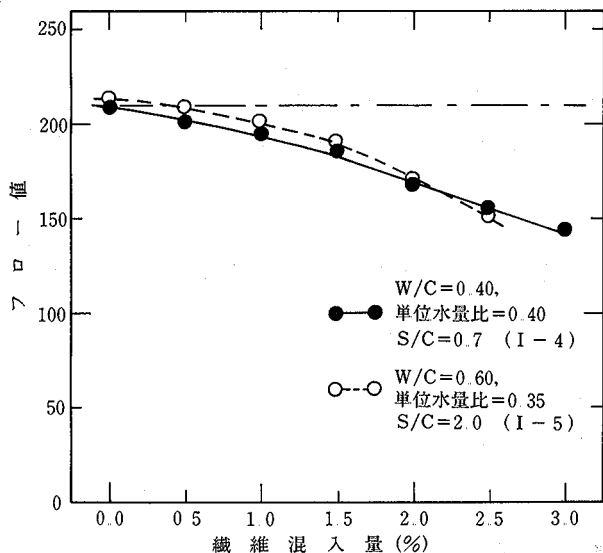


図-7 繊維混入量とフロー値との関係 (Iシリーズ)

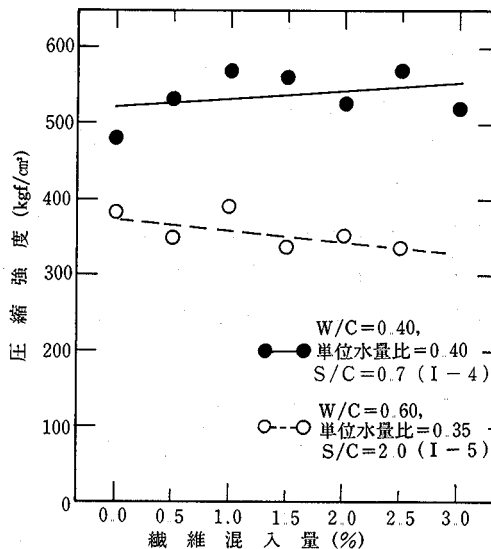


図-8 繊維混入量と圧縮強度との関係 (Iシリーズ)

3.2.1 圧縮強度試験結果及び考察

圧縮強度試験結果を表-14及び図-8に示す。

ここでは繊維混入量を変化させたI-4及びI-5について考察する。I-4及びI-5において、繊維混入量の変化による圧縮強度への影響は少ないと考えられる。すなわち、繊維混入量0.0~2.5%あるいは3.0%の範囲で、圧縮強度は繊維を混入しないものと比較して、I-4では繊維混入量2.5%において最大で19%程度の強度増加を示し、逆にI-5では混入量2.5%において13%程度低い強度を示した。また、水セメント比の小さいI-4(水セメント比=0.40)のほうがI-5(同=0.60)よりも高い圧縮強度を示した。

3.2.2 曲げ強度試験結果及び考察

曲げ強度試験結果を表-14及び図-9に示す。

ここでは繊維混入量を変化させたI-4及びI-5について考察する。I-4及びI-5において、曲げ強度は繊維混入量が増えるにつれて、ある範囲迄は、ほぼ直線的に増加する傾向を示した。ここでいうある範囲とは、締め固めが充分に行え、モルタルの成形が完全に密な状態にできる範囲であろうと思われる。

I-4では曲げ強度が繊維混入量が増えるにつれて高くなり、繊維を混入しないものと比較して、繊維混入量2.0%において46%の強度増加、最も強度が高かったのは繊維混入量2.5%のときで49%の強度増加が認められたのに対し、さらに繊維量の多い繊維混入量3.0%において26%の強度増加であった。I-5において、繊維混入量1.5%のものを除いて、曲げ強度は繊維混入量が増えるにつれて高くなり、最も強度が高かったのは繊維混入量2.0%のときで、繊維を混入しないものと比較し

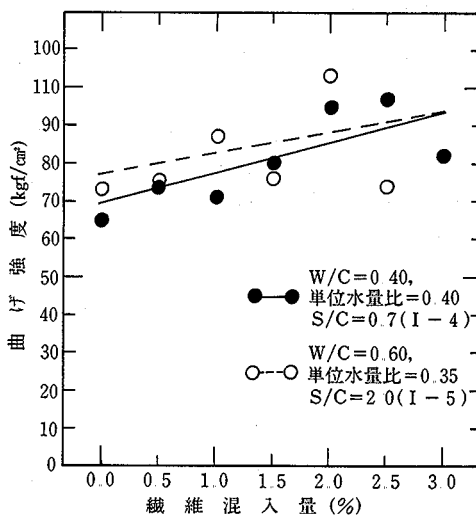


図-9 繊維混入量と曲げ強度との関係 (Iシリーズ)

て、41%の強度の増加が認められた。これに対し繊維混入量2.5%のとき繊維混入しないものと同程度の強度であった。

これらはいずれも成形方法として、突き棒による締め固めで行ったため、繊維混入量の増加に伴うフロー値の低下の関係で、今回の場合フロー値が150付近以下になると締め固めが不十分となり、そのために曲げ強度が低下したのではないかと考えられる。

### 3.3 プレーンモルタルの配合の決定

3.1及び3.2の結果及び考察を参考にして、水セメント比  $W/C = 0.40$ 、単位水量比  $= 0.40$  及び砂セメント比  $S/C = 0.7$  の配合のモルタルを基準モルタルの配合とする。

終わりに、本報告は1985年に行った実験についてまとめたものである。筆者らは耐アルカリガラス繊維をはじめ新素材のコンクリートへの有効利用の検討をおこなっており、その一環としてここに報告するものである。

## 参 考 文 献

- (1) 繊維補強セメントコンクリートに関する技術の現状, セメント協会, p. 65, (1983)
- (2) MAJUNDER, A. J. and NURSE, R. W.: Glass Fiber Reinforced Cement, BRE Current Paper CP79/74, Aug., (1974)
- (3) 高田, 和久井: ガラス繊維強化セメント (GRC) と建築への応用, 建築技術, 337, 131-142, (1979)
- (4) 石塚, 三嶋, 武田: ガラス繊維強化セメントの製法がその特性に及ぼす影響, 第1回コンクリート工学年次講演会講演論文集, (1979)
- (5) 産業経済研究センター: 1982年版, 新・日本の建材産業 上・下巻, (1982)
- (6) 建材レポート, 1981年10月号
- (7) 三嶋: ガラス繊維強化薄板の吹付け成形技術, コンクリート工学, 21(5), 58-61, (1983)
- (8) HILLS, D. L.: Premixed Glass Fiber Reinforced Cement, Prestressed Concrete, 6(5), 251-254, (1975)
- (9) 仁枝, 鶴飼, 児玉: ガラス繊維混入補強コンクリートに関する2, 3の実験, 第32回土木学会年次学術講演会概要集第V部, 138-139, (1977)
- (10) 三瀬, 真嶋, 出口: ガラス繊維補強コンクリートの各種要因下における流動特性および力学的性質に関する研究, 第36回土木学会年次学術講演会概要集第V部, (1981)
- (11) 三瀬, 真嶋, 出口: ガラス繊維補強コンクリートの流動性に及ぼす各種要因の影響について, セメント技術年報, 35, 506-509, (1981)
- (12) 出口, 三瀬, 真嶋: グラスファイバーコンクリートの力学的性質に関する実験的研究, 第35回土木学会年次学術講演会概要集第V部, (1980)
- (13) MAJUNDER, A. J.: Fiber Cement and Concrete-A Review-, Composites, Jan., (1975)
- (14) 三嶋: 耐アルカリガラス繊維並びにガラス繊維補強セメントの製造, コンクリート工学, 15(3), 22-25, (1977)
- (15) Properties of GFRC: ten year results, BRE Information Paper IP 36/79, (1979)
- (16) 和泉: 耐アルカリ性ガラス繊維補強セメントに関する研究, 日本建築学会昭和52年度大会
- (17) 横山: GRC用ガラス繊維の耐久性評価試験方法に関する研究, 日本建築学会昭和57年度大会
- (18) 大東, 三嶋, 田原: ガラス繊維強化セメントの凍結融解抵抗性, 第1回コンクリート工学年次講演会講演論文集, (1979)

(1989年10月31日受理)