

正会員 ○石塚俊郎 三島清敬 武田隆一郎 (旭硝子(株)研究所)

## 1. 緒言

ガラス繊維補強セメント(以下GFRCと略す。)はセメント製品を耐アルカリガラス繊維で補強し、その弱点である、引張り、曲げ、衝撃強度等を向上させたものである。このGFRCの製法には種々の方法があるが、大別して、スプレィ法とプレミックスメソッドに分けられる。スプレィ法には最も一般的に行われている手吹きダイレクトスプレィ法のほか、機械的にスプレィされたシートを脱水することにより、さらに強度を高めるスプレィサクション法等がある。プレミックスメソッドには流し込み成形、押出し、プレス成形等の製法がある。これらの製法の違いにより、出来たGFRC製品の性能は異なることが予想される。この研究では、ダイレクトスプレィ、スプレィサクション、およびプレミックスメソッド流し込み成形において、その製法がGFRC製品の機械的特性に及ぼす影響を検討した。

## 2. 実験

## 2-1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(三菱鉱業セメント社製)を使用し、骨材は君津産川砂(中目砂)を2mm以下に篩ったものを使用した。この砂の粒度分布を表-1に示す。ガラス繊維は耐アルカリガラス繊維(商品名: CemFIL)のロービング、又は、25mmチョップドストランドを使用した。混和剤は減水剤としてマイティ150(花王石鹼製)を使用した。

表-1 骨材の粒度分布

砂の直径 (mm)	2.0~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15以下
Wt %	8.0	17.0	45.5	24.5	5.0

## 2-2 製造方法

ダイレクトスプレィでは、まずガラス繊維の長さが性能に及ぼす影響を検討した。セメント砂比を2/1、水セメント比を0.30、マイティ150添加量をセメントの1.5%にして混練したモルタルを用い、ガラス繊維(ロービング)の量を5wt%に固定し、繊維の

長さを10~105mmまで変化させて吹付を行った。つぎにガラス繊維量が性能に及ぼす影響を検討するため、同一調合のモルタルを用い、ガラス繊維長さを、37mmに固定し、繊維量を1.5~7.6wt%まで変化させて吹付を行った。なおモルタルの混練は100ℓ用ターボミキサー(太平洋金属製)を使用し、固形分を30秒間混合した後、水、減水剤を加えさらに3分間混練を行った。試料は600×1200の型枠上に肉厚8mmになるように吹付を行った後、縦横に2回ずつ脱泡ローラーがけを行い、さらにコテ仕上げを行うことにより作製された。

スプレィサクションでは、ガラス繊維量が性能に及ぼす影響を検討した。セメント砂比を2/1、水セメント比を0.48、マイティ150添加量をセメントの0.6%にして混練したモルタルを用い、ガラス繊維の長さを37mmに固定し、繊維量を3.7~5.8wt%まで変化させて吹付を行った。モルタルの混練手順はダイレクトスプレィの場合と同一である。試料はシ紙が敷かれた1200×3600の脱水ボックス上に所定の肉厚になるよう予じめ吹付を行った後、コテ仕上げを行い、さらに脱水を行うことにより作製された。脱水は、まず200mmHgで20秒間行い、さらに580mmHgで40秒間行った。脱水後の肉厚は8mmであり、水セメント比は0.20に低下した。

プレミックスメソッド流し込みでは、各種の型枠を用いて、ガラス繊維量が性能に及ぼす影響を検討した。セメント砂比を1/1、水セメント比を0.40に固定し、25mmのチョップドストランドを繊維量で2~5wt%まで変化させて混練を行った。混練は30ℓ用オムニミキサー(千代田技研工業製)を使用し、固形分および水を3分間混練した後、ガラス繊維を添加し、さらに30秒間混練した。型枠は図-1に示す横鑄込用(板厚20mm)、図-2に示す縦鑄込用(板厚20mm)の他、モルタル強度試験用に一般的に使用されている4×4×16cm型枠を使用した。オムニミキサーで混練されたプレミックスメソッドスラリーは、3000V.P.m.で垂直方向に振動する振動テーブル上で加振され

た型枠内に流し込まれた。養生はすべて20°C、85% R.H.の湿空气中で28日間行われた。これ等の試料の製造条件をまとめて表-2に示す。

### 2-3 試験方法

#### (1) 曲げ強度及びヤング率

曲げ強度は、試料寸法を $t \times 50 \times 150$  mmとし、スパン135 mmの3等分4点荷重で測定した。試験装置はテンシロン(東洋ボールドウィン製)を用い、クロスヘッド速度を2 mm/分で載荷した。測定後チャートよりLOP(曲げ弾性限界強度)及びMOR(終局曲げ強度)を算出した。又、ヤング率は式(1)により算出した。

$$E = \frac{5l^3}{54} \cdot \frac{W}{6\delta \cdot I} \quad \text{----- (1)}$$

ここで $\delta$ はたわみ、 $I$ は断面2次モーメント、 $l$ はスパン(13.5 cm)、 $W$ は荷重を表わす。

#### (2) 引張り強度

引張り強度は、試料寸法を $8 \times 40 \times 200$  mmとして測定した。試験装置は曲げ試験と同様にテンシロンを用い、クロスヘッド速度2 mm/分で引張った。測定後チャートよりBOP(引張り弾性限界強度)及びUTS(終局引張り強度)を算出した。

#### (3) 衝撃強度

衝撃強度は、試料寸法を $8 \sim 20 \times 50 \times 100$  mmとし、アイゾット型衝撃試験機を用いて測定した。ハンマーの重量は5.46 kgであり、その位置エネルギーは126 kg·cmである。

#### (4) 嵩比重及び吸水率

嵩比重及び吸水率はJIS R 2205の規格により測定した。試料寸法は $8 \sim 20 \times 50 \times 100$  mmである。

### 3. 結果

ダイレクトスプレィ、スプレィサフション、プレミックス流し込みの実験結果を表-3に示す。ダイレクトスプレィでガラス繊維の長さを変化させた場合は、MOR、UTS、衝撃強度共、繊維長さが37 mmまでは増加するが、それ以上では、ほとんど変わらない値を示す。LOP及びBOPはほとんど変化しない。ダイレクトスプレィでガラス繊維量を変化させた場合は、繊維量が増加するにしたがい、MOR、UTS、衝撃強度は大きく増加するが、LOP、BOPの増加分は

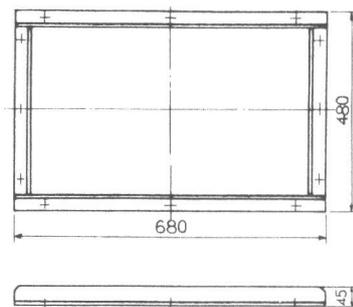


図-1 横鑄込型枠

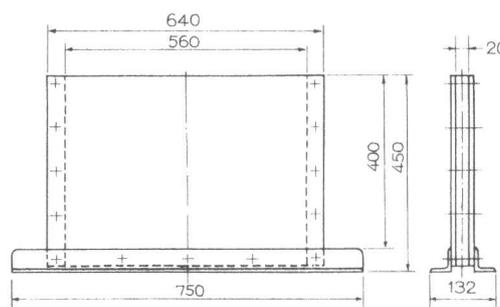


図-2 縦鑄込型枠

表-2 試料の製造条件

製法	検査項目	NO.	調 合				備考		
			c/s	w/c	減水剤量 (%)	ガラス繊維量 (wt%) 長さ(mm)			
ダイレクト スプレィ	ガラス繊維量	1	2/1	0.3	1.5	1.5	37	板厚 8mm	
		2	2/1	0.3	1.5	3.0	37		
		3	2/1	0.3	1.5	4.6	37		
		4	2/1	0.3	1.5	6.0	37		
		5	2/1	0.3	1.5	7.6	37		
	スプレィ	ガラス繊維長さ	6	2/1	0.3	1.5	4.3		10
			7	2/1	0.3	1.5	4.7		18
			8	2/1	0.3	1.5	4.5		37
			9	2/1	0.3	1.5	4.9		55
			10	2/1	0.3	1.5	4.5		105
スプレィ サフション		11	2/1	0.3	0.6	3.7	37	板厚 8mm	
		12	2/1	0.3	0.6	4.1	37		
		13	2/1	0.3	0.6	4.6	37		
		14	2/1	0.3	0.6	5.8	37		
プレミックス 流し込み	横鑄込	15	1/1	0.4	—	2	25	板厚 20mm 振動数 3000rpm	
		16	1/1	0.4	—	3	25		
		17	1/1	0.4	—	4	25		
		18	1/1	0.4	—	5	25		
	縦鑄込	流し込み	19	1/1	0.4	—	2	25	板厚 20mm 振動数 3000rpm
			20	1/1	0.4	—	3	25	
			21	1/1	0.4	—	4	25	
			22	1/1	0.4	—	5	25	
	4 x 4 x 16 cm		23	1/1	0.4	—	0	25	板厚 40mm 振動数 3000rpm
			24	1/1	0.4	—	1	25	
			25	1/1	0.4	—	2	25	
			26	1/1	0.4	—	3	25	
			27	1/1	0.4	—	4	25	
			28	1/1	0.4	—	5	25	

極くわずかである。一方、嵩比重は繊維量が増加するにしたがい低下し、吸水率は増加する。このことから、繊維量が増加するにしたがい、組織が次第に粗になることがわかる。スプレイサクションでガラス繊維量を変化させた場合も、ほぼダイレクトスプレイと同様な現象を示す。ただし、LOP、MOR共、ダイレクトスプレイよりは高い値を示す。プレミックス流し込みでガラス繊維量を変化させた場合も、ほぼ同様な現象を示すが、縦鑄込の場合のみ、MORは繊維量4%で最大となり、繊維量5%では若干低下する。また縦鑄込の場合は、板の水平方向と垂直方向とは大きな強度差があり、MOR、衝撃強度共、水平方向は垂直方向のほぼ2倍の値となる。4×4×16 cm型枠を使用して作製した試料のMORは、横鑄込平板のMORよりかなり高い値となる。

#### 4. 考察

ダイレクトスプレイでガラス繊維長を変化させた場合、MOR、UTS、衝撃強度共、繊維長が37 mmまでは増加するが、それ以上では、ほとんど変わらない値を示す。これは繊維の長さが或る程度以上長くなると、GFRC中の繊維が直線状では入らず、曲って入るため、繊維の補強効果が長さ分だけ出ないことに起因すると思われる。このことからスプレイ法ではガラス繊維の長さは37 mm程度が適当と判断される。つぎに表-3に示した試験結果のうち、ダイレクトスプレイ、スプレイサクション及びプレミックス横鑄込において、ガラス繊維量を変化させた場合の曲げ強度試験結果をまとめて図-3に示す。図-3によれば、各製法共、繊維量の増加にしたがい、LOP、MOR共、増加するが、LOPの増加分は極くわずかである。これはLOP及びBOPがほとんどセメントマトリックスの強度に依存し、繊維の補強効果には、ほとんど依存しないことを示している。又、製法ごとのLOPの値には際立った差は無いが、スプレイサクションが最も高く、ダイレクトスプレイがそれに次ぎ、プレミックス横鑄込が最も低い値を示す。スプレイサクションのLOPが最も高い理由は、その低い水セメント比に起因する。すなわち、ダイレクトスプレイでは吹付時の水セメント比が0.30であるのに対し、スプレイサクションでは脱水後の水セメント比は0.20である。又、プレミックス横鑄込のLOPが最も低いのは、流

表-3 実験結果

製法	NO.	方向	曲げ強度(kg/cm <sup>2</sup> )		引張り強度(kg/cm <sup>2</sup> )		衝撃強度(kg/cm <sup>2</sup> )	単位体積重量(kg/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	
			LOP	MOR	BOP	UTS				
ダイレクトスプレイ	1		100	118	53	60	4.6	22.7	2.04	10.3
	2		126	259	42	74	8.7	24.0	2.04	10.4
	3		119	353	73	119	18.0	24.4	2.04	10.8
	4		128	412	79	150	18.4	25.0	2.03	11.5
	5		118	498	88	182	24.8	26.3	2.01	12.2
	6		110	203	60	70	6.7	24.1		
	7		100	237	50	80	9.7	22.7		
	8		98	317	58	108	12.2	21.5		
	9		106	291	57	91	10.4	24.4		
	10		99	292	50	82	9.8	20.2		
スプレイサクション	11		136	332	73	110	11.0	33.0	2.04	8.0
	12		131	350	79	126	12.5	33.2	2.03	8.6
	13		131	405	86	133	15.6	34.8	2.02	8.6
	14		148	480	90	158	17.6	36.3	2.02	9.0
プレミックス流し込み	15		89	113			5.8		1.99	
	16		86	128			7.2		1.98	9.5
	17		91	146			8.8		1.98	10.0
	18		101	167			9.7		1.97	
	19	X	99	181			7.0		1.96	12.6
		Y	83	85			3.6			
	20	X	114	204			10.5		1.94	11.8
		Y	85	91			7.8			
	21	X	133	269			10.9		1.92	11.7
		Y	87	96			3.5			
	22	X	122	190			15.0		1.92	11.5
		Y	76	83			4.8			
	23		85	85						
	24		86	99						
25		88	181							
26		87	166							
27		90	182							
28		100	223							

X: 水平方向、Y: 垂直方向

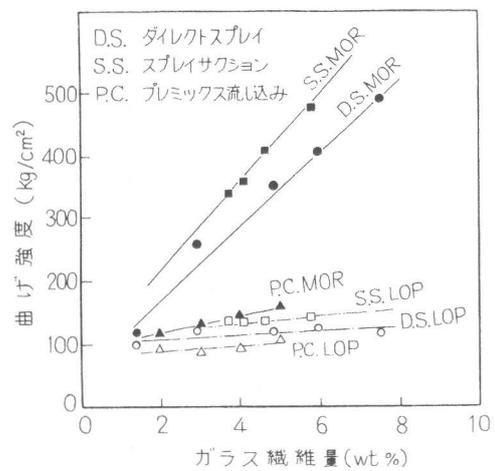


図-3 ガラス繊維量と曲げ強度の関係

し込みの作業性を向上させるため、水セメント比を0.40と高めたためである。図-3のMORはガラス繊維量を増加すると大きく増加するが、これはMORがガラス繊維の補強効果に大きく依存することを示している。UTS、衝撃強度についても同様のことが言える。又、製法ごとのMORの値は、スプレイサクシオンが最も高く、ダイレクトスプレイがそれに次ぎ、プレミックス横鑄込では圧倒的に低い。スプレイサクシオンのMORがダイレクトスプレイのそれより高い理由は以下の通りと考えられる。スプレイサクシオンでは吹付時のモルタルの水量を多くすることができるため、セメントマトリックスと繊維の接着が極めて良好となる。しかも脱水により水セメント比をダイレクトスプレイ以下に下げることができるため、セメントマトリックス自体の強度も高くなり、繊維の補強効果が十分に発揮されるからであろう。スプレイサクシオンにおいてセメントマトリックスと繊維の接着が良好であることは、スプレイサクシオンの衝撃強度がダイレクトスプレイのそれより若干低いことから推測できる。すなわち、スプレイサクシオンのようにセメントマトリックスの繊維に対する保持力が極めて強い場合には、GFRCが衝撃力を受け破壊する際に、多くのガラス繊維は引き抜かれずに破断する。そのため衝撃強度はダイレクトスプレイの場合に比較して若干低下する。プレミックス横鑄込のMORが際立って低い理由は以下の通りであると推察される。まず第1には繊維が3次元的に配向しやすいためである。そのため、MORの絶対値が低ければだけでなく、繊維の増加分に対するMORの増加分も、スプレイ法のように繊維が2次元的に配向される場合に比較して、かなり低い値を示す。この要因が支配的であるがその他にも、繊維が混練中、解繊等の損傷を受けること、成形作業上必然的に水セメント比が高くなること、及び、セメント砂比が1/1と小さく、繊維の接着剤であるセメント分が少ない等が挙げられる。当然のことながら衝撃強度も繊維の3次元配向及び損傷のために低くなる。プレミックス縦鑄込の場合は、MOR、衝撃強度共、水平方向と垂直方向とは大きな強度差があるが、これは繊維の配向の方向差による。すなわち、縦鑄込では型枠上部からプレミックススラリーを連続的に流し込むため、スラリーの流動性が比較的良好であれば、

新たに流れ込むスラリー中の繊維は、すでに型枠内に存在するスラリーの自由液面に平行に配向しやすくなる。そのため繊維の配向確率は水平方向のほうが垂直方向より高くなり、強度も必然的に水平方向のほうが垂直方向より高くなる。プレミックス流し込みにおいて、 $4 \times 4 \times 16$  cm型枠で作製した供試体と、横鑄込で作製した板から切り出した供試体の曲げ強度を比較すると、LOPはほぼ同一であるのに対し、MORは $4 \times 4 \times 16$  cm供試体のほうが、かなり高い値が出ているがこれは以下の理由による。板から切り出した供試体では、切断面で繊維も同時に切断される。一方、 $4 \times 4 \times 16$  cm供試体の場合は、型枠側面近傍に存在する繊維は側面に沿って並ぶ傾向がある。そのため曲げ試験においては、側面近傍の繊維の補強効果が極めて有効に働き、側面部分が一種のリブ構造を構成し、MORが高く出る。このことからプレミックス流し込み成形品の強度を測定する場合に、成形品の強度を直接測定すること無しに、 $4 \times 4 \times 16$  cm供試体で成形品の強度を代表させることは極めて危険であることが判明した。

#### 5. 結言

GFRCの製法のうち、ダイレクトスプレイ、スプレイサクシオン、プレミックス流し込みにおいて、その製法がGFRCの機械的特性に及ぼす影響について検討した。その結果を要約すれば以下の通りである。

- (1) スプレイ法ではガラス繊維の長さは37 mm程度が適当である。
- (2) ガラス繊維量が増加するとMOR、UTS、衝撃強度は大きく増加するが、LOP、BOPの増加分は極くわずかである。
- (3) スプレイ法とプレミックス流し込み成形では、GFRCの性能に大きな差があるが、これは主にガラス繊維の配向の違いによる。
- (4) スプレイ法の中では、スプレイサクシオン法のほうがダイレクトスプレイ法より水セメント比が低くなり、成形品の機械的性能が高い。
- (5) プレミックス鑄込成形では、成形品の形状により、機械的性能が大きく異なる。