

# 混合セメントが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2 高炉セメントを使用した場合

豊福俊英, 三好芳憲\*

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

### Part 2 Effect of using Portland Blast-Furnace Slag Cement

by Toshihide TOYOFUKU and Yoshinori MIYOSHI

In the present study, GFRM using portland blast-furnace slag cement are discussed. The blast-furnace slag cement ranging 30, 45 and 70 percent by weight of portland cement were used. The performance of fresh concrete (flow) and the strength of hardened concrete are compared for mortar with glass fibers using normal- and portland blast-furnace slag cement. Test specimens were cast with the water-cement ratio of 0.40, four different volume content of glass fiber (0, 1.0, 2.0 and 3.0% : weight percent per cement and sand) and cured in air or water at 20°C, and the strength development 4, 8 and 12 weeks was determined.

### 摘 要

本報告では、高炉セメントを使用したガラス繊維混入モルタル(以下GFRMと略記する)について論ずる。高炉セメントの高炉スラグ混合率は30、45及び75%である。フレッシュモルタル(フロー)及び強度について普通ポルトランドセメントを使用したもの(基準モルタル)と高炉セメントを使用したものを比較した。試験体は、水セメント比=0.40、繊維混入量は0~3.0%の範囲で4種類について作成し、水中及び気中養生(20°Cの恒温室内)を行い4、8及び12週強度の結果について検討した。

### 1 研究目的

本報告は、前報<sup>(1)</sup>に続いて、高炉セメントを用いたGFRMの流動性及び硬化後のモルタル強度について実験的に検討するものである。

すなわち、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高炉セメントを使用し、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。セメントの種類、繊維混入量、養生方法、材令を要因として、曲げ及び圧縮強度試験を行った。

\*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。

2. 実験計画 (IIシリーズ)

2.1 概要

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高炉セメントを使用し、アルカリ度を低下させた場合のGFRMのフロー値及び強度特性に及ぼす効果について実験的に検討する。実験はセメントの種類、繊維混入量、養生方法、材令を要因として、曲げ及び圧縮強度試験を行った。

2.2 使用材料

2.2.1 セメント

IIシリーズでは大阪セメント社製の普通ポルトランドセメント、高炉セメントA種・B種・C種を使用した。使用したセメントの試験成績表を表-14に示す。

表-14 使用セメントの試験成績表

セメントの種類	比重	比面 面積	水量 (%)	始発 h-m	終結 h-m	安定性	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )				化学組成 (%)			備考	
							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		
高炉 セメント	A種	3.10	3480	28.2	3-00	4-40	良	---	140	224	413	2.4	2.3	0.6	
	B種	3.08	3890	28.5	3-20	5-00	良	---	115	192	411	3.1	2.3	0.7	
	C種	2.96	4000	28.7	4-10	5-50	良	---	83	175	392	4.3	2.4	0.5	

高炉セメントの高炉スラグ混合率 (重量%) : A種30%, B種45%, C種70%.

2.2.2 砂

砂は川砂と山砂の混合砂を使用した。混合砂の物理的性質を表-15に示す。

表-15 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を表-16に示す。

表-16 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
ガラス繊維の種類 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	

2.3 実験要因

セメントの種類, ガラス繊維混入量, 養生条件及び材令を主な要因とした。すなわち, セメントを前記の4種類, ガラス繊維混入量を0, 1, 2及び3%の4種とし, 材令4, 8及び12週で強度試験を行った。養生方法は恒温室

内で水中及び気中 (温度20°C, 湿度75%) とした。これらをまとめて, IIシリーズの実験計画を表-17に示す。

表-17 実験計画 (IIシリーズ)

試料番号	配合番号	繊維混入量 (%)	材令 (週)	養生方法	試料番号	配合番号	繊維混入量 (%)	材令 (週)	養生方法
1	A	0.0	4	気中	13	C	2.0	4	気中
2			4	水中	14			4	水中
3			8	気中	15			8	気中
4			8	水中	16			8	水中
5			12	気中	17			12	気中
6			12	水中	18			12	水中
7	B	1.0	4	気中	19	D	3.0	4	気中
8			4	水中	20			4	水中
9			8	気中	21			8	気中
10			8	水中	22			8	水中
11			12	気中	23			12	気中
12			12	水中	24			12	水中

養生は20°Cの恒温室内で行った。

## 2.4 配合

Iシリーズの結果より, IIシリーズのモルタルの配合は, 水セメント比40%, 砂セメント比0.70, 単位水量比40%とした。したがって, 表-18の配合表について, フロー試験をおこない, さらに材令4, 8及び12週において強度試験を行うための供試体を各々3体ずつ作成した。

表-18 モルタルの配合及びフロー値 (IIシリーズ: 配合は容積2400ml当り)

セメントの種類	配合番号	セメント C (g)	砂 S (g)	水 W (g)	繊維混入量		フロー値
					(%)	(g)	
普通ポルトランドセメント	A	2424	1697	970	0	0	219
	B	2409	1686	964	1.0	40.9	207
	C	2394	1676	958	2.0	81.4	195
	D	2379	1665	952	3.0	121	166
高炉セメントA種	A	2409	1686	964	0.0	0	206
	B	2394	1676	958	1.0	40.7	202
	C	2379	1665	952	2.0	80.9	193
	D	2365	1655	946	3.0	121	175
高炉セメントB種	A	2404	1683	962	0.0	0	194
	B	2389	1672	956	1.0	40.6	190
	C	2374	1662	950	2.0	80.7	174
	D	2360	1652	944	3.0	120	153
高炉セメントC種	A	1373	1661	949	0.0	0	209
	B	2358	1651	943	1.0	40.1	203
	C	2344	1641	938	2.0	79.7	188
	D	2330	1631	932	3.0	119	168

(注) 水セメント比W/C=40.0%, 単位水量比40.0%, 砂セメント比S/C=0.70

## 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。引き続いて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ように手で投入後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、さじで10回かき混ぜる。

2.5.2 フロー誘験

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

IIシリーズのフロー試験結果を表-18及び図-10に示す。

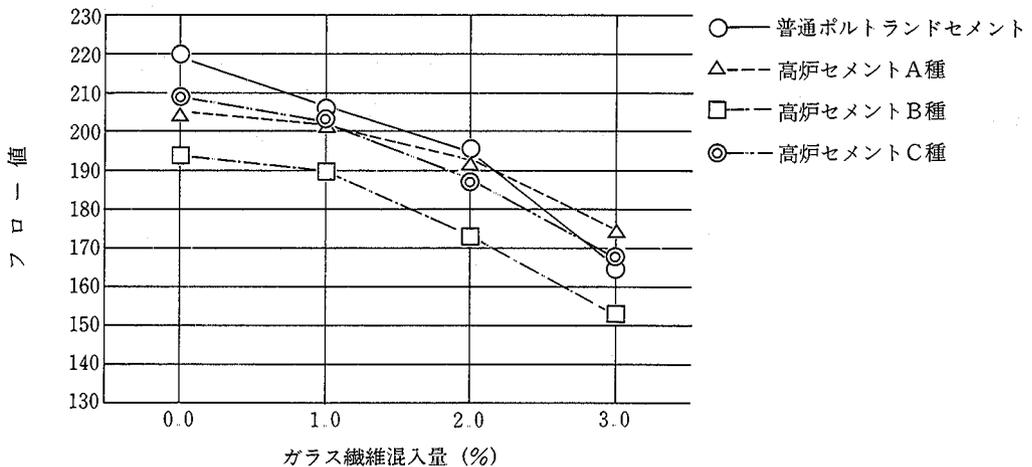


図-10 ガラス繊維混入量とフロー値との関係

Iシリーズ(I-5)とIIシリーズの普通ポルトランドセメントを使用したものは、同じ材料及び配合であるが、IIシリーズの場合の方がすべての繊維混入量に対して、フロー値は大きかった。これは実験を温度及び湿度を調節できない実験室でおこなったため、両者の実験時の温度及び湿度の違いによる影響と考えられる。

4種のセメントすべてにおいて、繊維混入量が増すにつれてフロー値は小さくなる傾向を示した。このフロー値の低下の割合は、普通ポルトランドセメントに比べて、高炉セメントはほぼ同程度の低下の割合だったが、高炉セ

メントA種を用いたものが大きなフロー値を示した。

3.2 強度試験結果 (圧縮及び曲げ)

IIシリーズの圧縮及び曲げ強度試験結果を図-11~22に示す。

3.2.1 圧縮強度試験結果

IIシリーズの圧縮強度試験結果を図-11~16に示す。

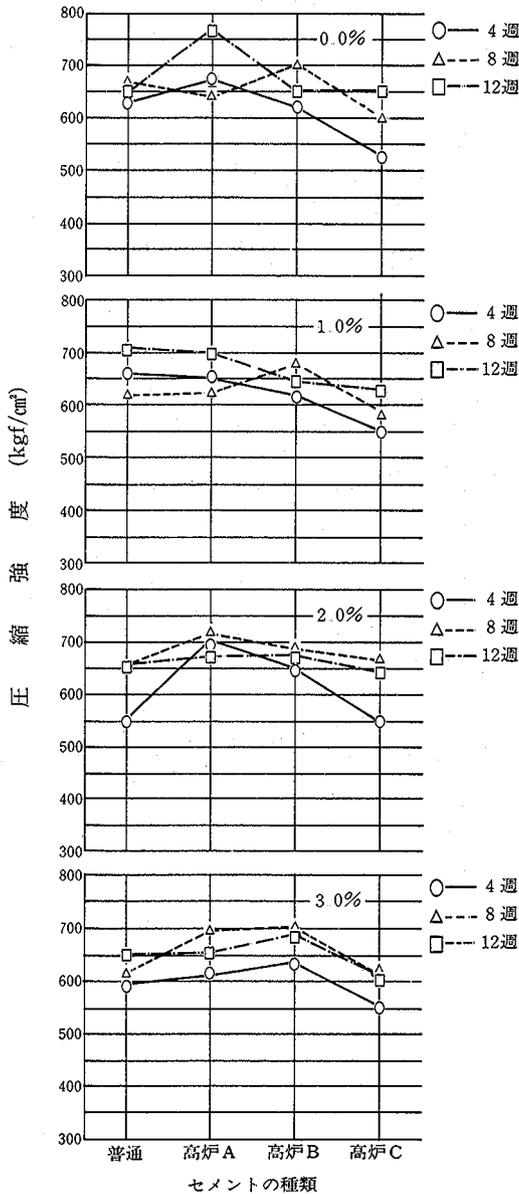


図-11(a) セメントの種類と圧縮強度との関係 (水中養生)

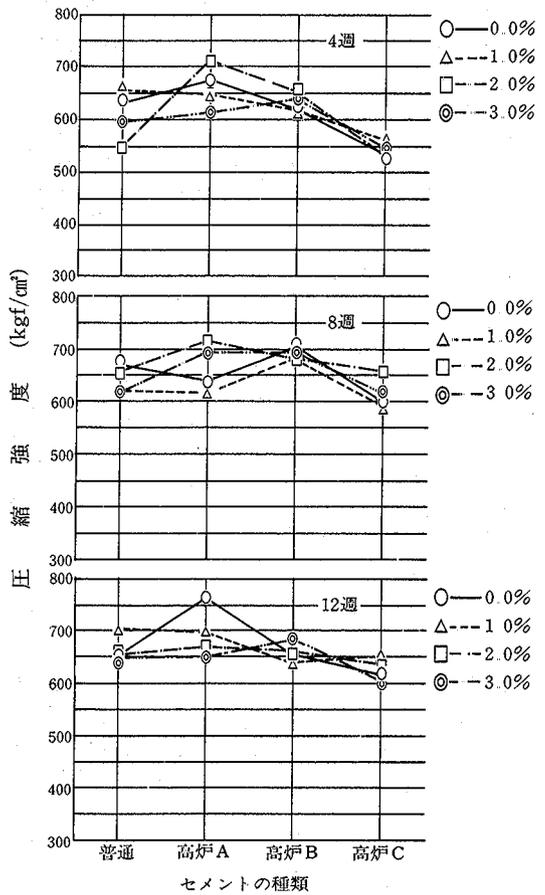


図-11(b) セメントの種類と圧縮強度との関係 (水中養生)

1) 高炉セメントの種類 (高炉スラグの混入率)

セメントの種類がモルタルの圧縮強度に及ぼす影響について、それぞれ繊維混入量及び材令に対して、水中養生の場合図-11(a)及び(b)に示した。繊維混入量の少ないものはA種が最も強度が強くB、C種とスラグの混入が多くなるにつれて強度は低下し、繊維混入量の多い3.0%の場合高炉セメントB種が大きな強度を示した。また、材令4週においては高炉セメントA種が最も強くB、C種とスラグの混入が多くなるにつれて強度は低下する傾向を示した。しかし、8週及び12週と材令がたつにつれて最大値を示すのはB種へと移行する傾向を示した。

同様に、セメントの種類がモルタルの圧縮強度に及ぼす影響について、それぞれ繊維混入量及び材令に対して、気中養生の場合を図-14(a)及び(b)に示した。繊維混入量の少ないものは水中養生の場合と傾向がやや異なり高炉セメ

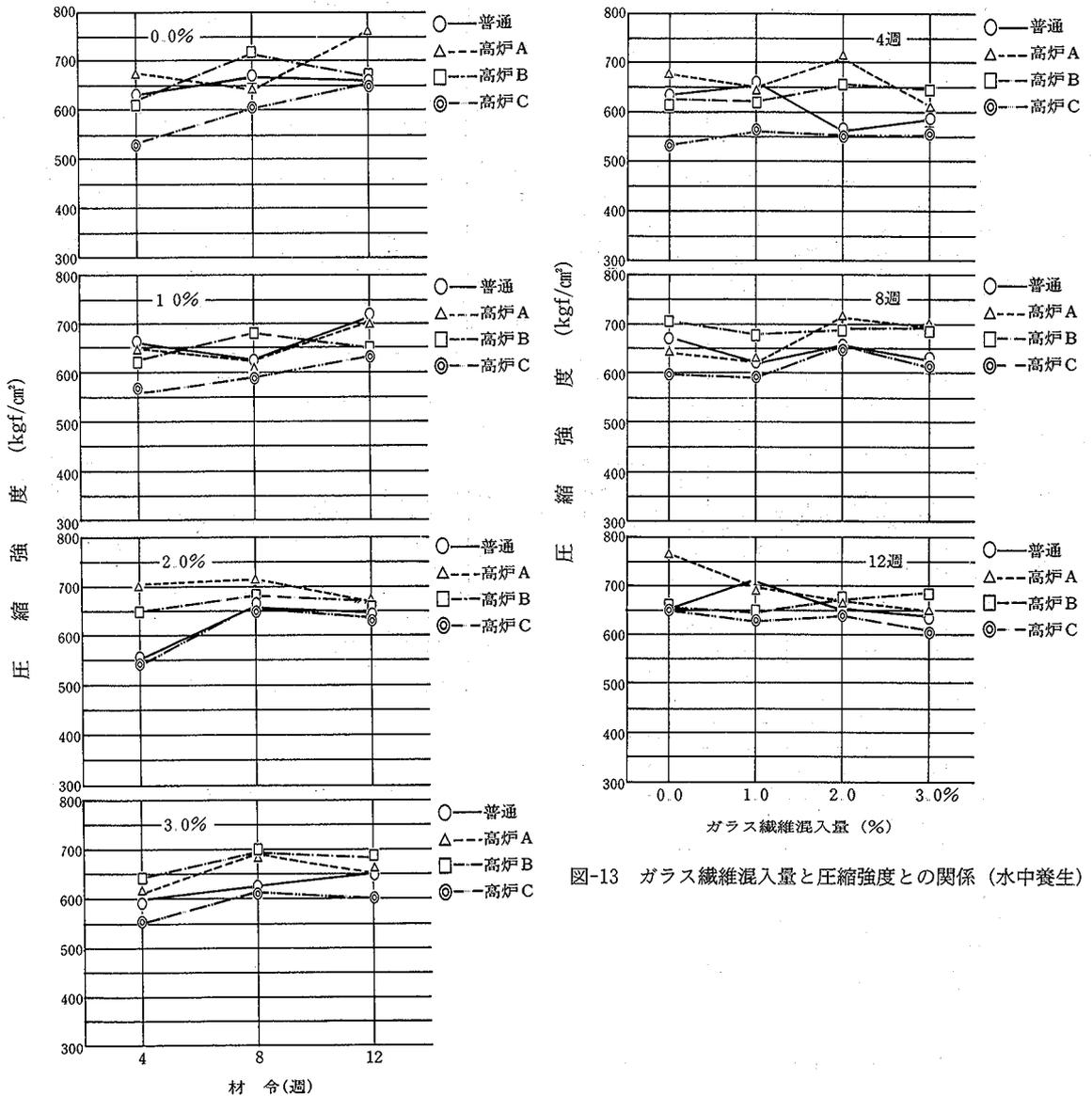


図-12 材令と圧縮強度との関係 (水中養生)

図-13 ガラス繊維混入量と圧縮強度との関係 (水中養生)

トB種が最も強度が強く、繊維混入量の多い3.0%の場合高炉セメントA種が大きな強度を示した。また、材令4週においては高炉セメントA、B種が強くC種と普通セメントの強度は低い傾向を示した。しかし、8週及び12週と材令がたつにつれて最大値を示すのはB種へと移行する傾向を示した。

2) 材令

図-12及び15に、それぞれ水中及び気中養生に対して、材令による圧縮強度の変化を示した。材令とともに圧縮強度は増加する傾向を示しているが、セメントの種類及び繊維混入量の違いによる明確な傾向はつかめなかった。

3) ガラス繊維混入量

ガラス繊維混入量の違いがモルタルの圧縮強度に及ぼす影響について、水中及び気中養生に対して、それぞれ図

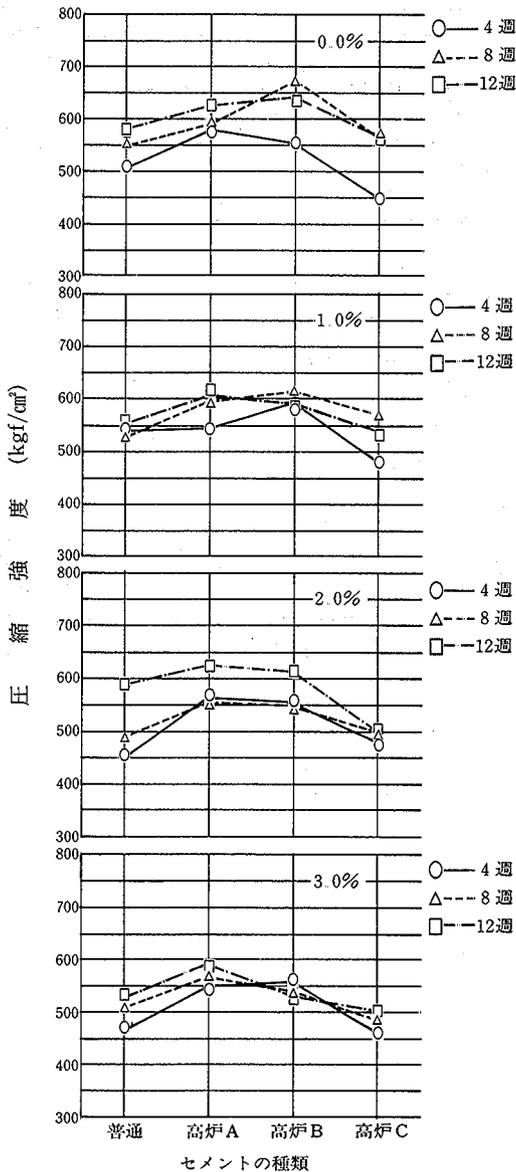


図-14(a) セメントの種類と圧縮強度との関係 (気中養生)

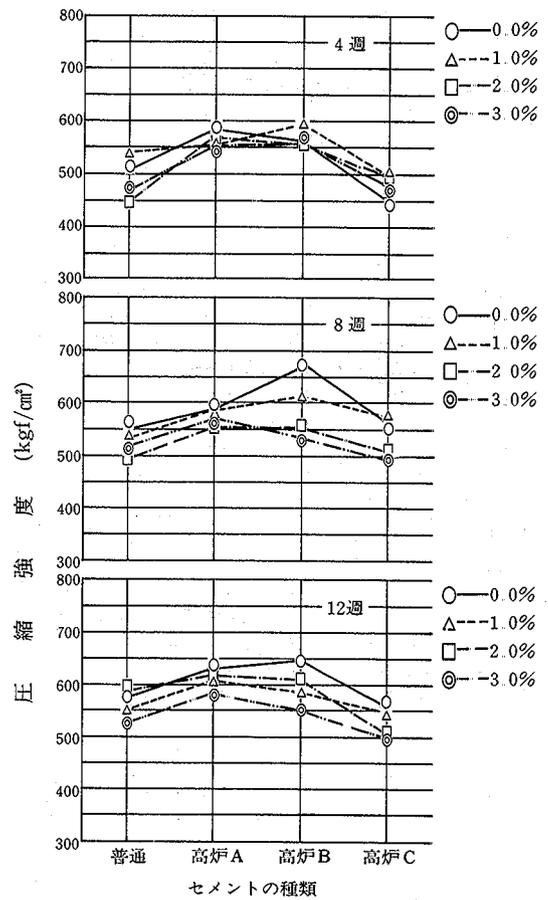


図-14(b) セメントの種類と圧縮強度との関係 (気中養生)

-13及び図-16に示す。両図より水中及び気中養生とも、初期の4週材令においては繊維混入量モルタルの圧縮強度にほとんど影響しないと考えられるが、材令が8週、12週と長期になるにつれて繊維混入量の多いもの程幾分圧縮強度が低下する傾向が認められた。

4) 養生方法

養生条件が異なり他の条件は同一の、水中養生の図-11~13と、気中養生の図-14~16を比較すると、水中養生のものが気中養生のものより大きな圧縮強度を示した。

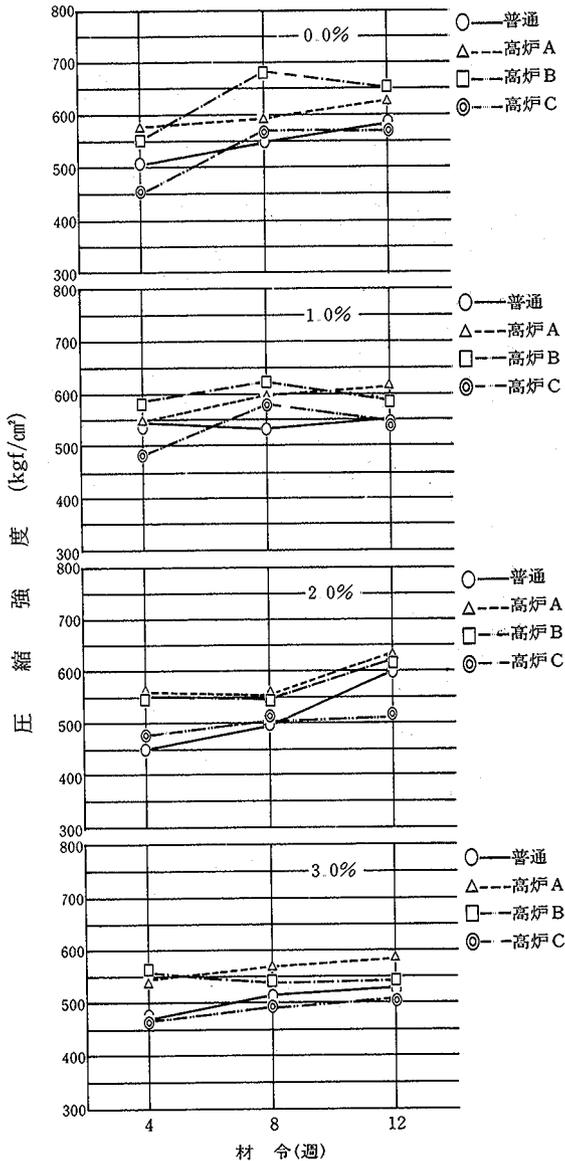


図-15 材令と圧縮強度との関係 (気中養生)

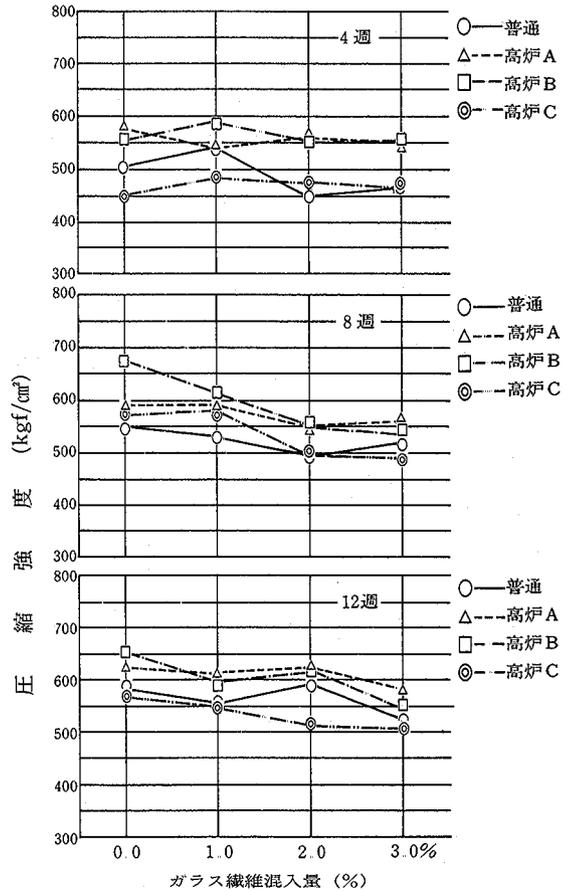


図-16 ガラス繊維混入量と圧縮強度との関係 (気中養生)

3.2.2 曲げ強度試験結果

IIシリーズの曲げ強度試験結果を図-17~22に示す。

1) 高炉セメントの種類 (高炉スラグの混入率)

セメントの種類がモルタルの曲げ強度に及ぼす影響について、それぞれ繊維混入量及び材令に対して、水中養生の場合図-17(a)及び(b)に示した。繊維混入量が0~3.0%で材令4~12週に対して、セメントの種類により曲げ強度には余り影響しない傾向を示した。

同様に、セメントの種類がモルタルの曲げ強度に及ぼす影響について、それぞれ繊維混入量及び材令に対して、

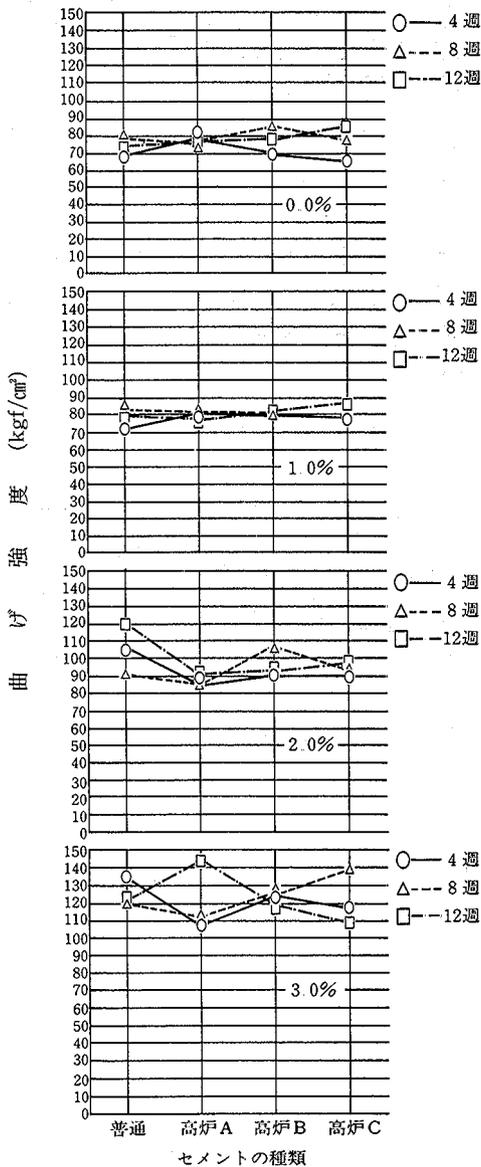


図-17(a) セメント種類と曲げ強度との関係 (水中養生)

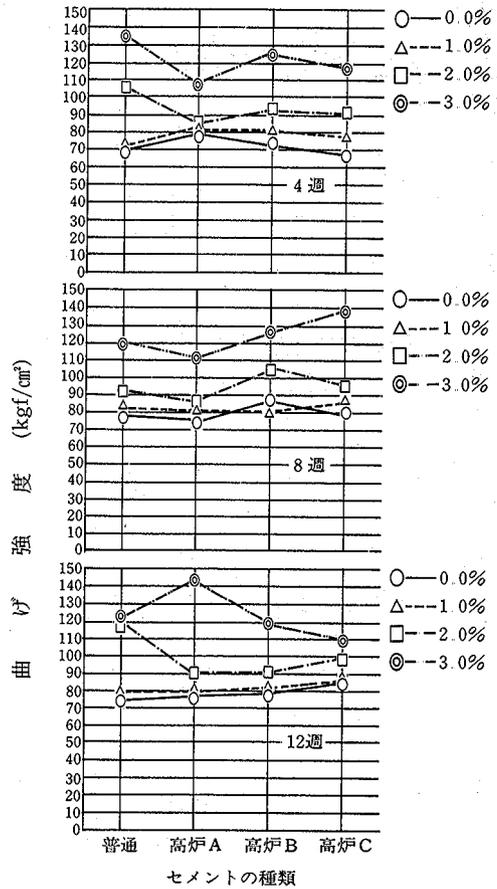


図-17(b) セメント種類と曲げ強度との関係 (水中養生)

水中養生の場合図-20(a)及び(b)に対して、この場合も水中養生と同様に、繊維混入量が0~3.0%で材令4~12週に対して、セメントの種類により曲げ強度には余り影響しない傾向を示した。

2) 材 令

図-18及び21に、それぞれ水中及び水中養生に対して、材令による曲げ強度の変化を示した。繊維混入量の少ないものは材令とともに曲げ強度はわずかではあるが増加する傾向を示しているが、繊維混入量が3.0%に対しては材令と共にわずかではあるが曲げ強度が低下するものもあった。

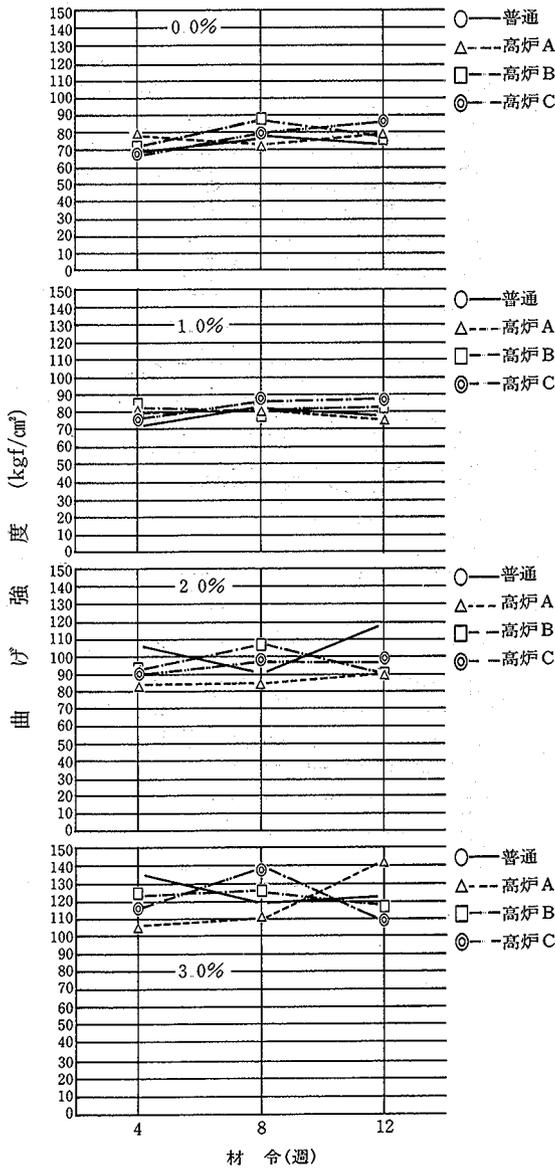


図-18 材令と曲げ強度との関係 (水中養生)

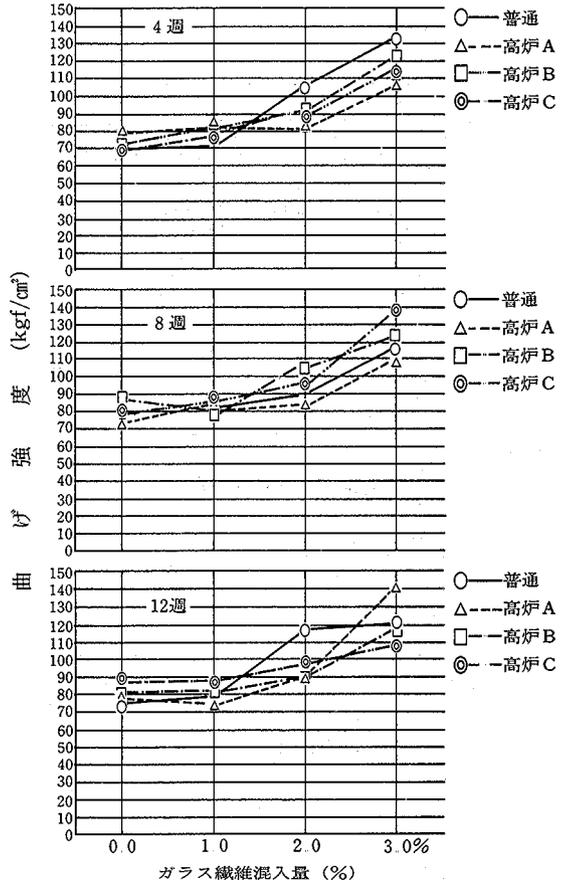


図-19 ガラス繊維混入量と曲げ強度との関係 (水中養生)

3) ガラス繊維混入量

ガラス繊維混入量の違いがモルタルの曲げ強度に及ぼす影響について、水中及び気中養生に対して、それぞれ図-19及び図-22に示す。両図より水中及び気中養生とも、繊維混入量が増すにつれてモルタルの曲げ強度も強くなり、繊維混入量が0~1.0%の増加割合より繊維混入量2.0~3.0%の区間の増加割合が大きい傾向を示した。

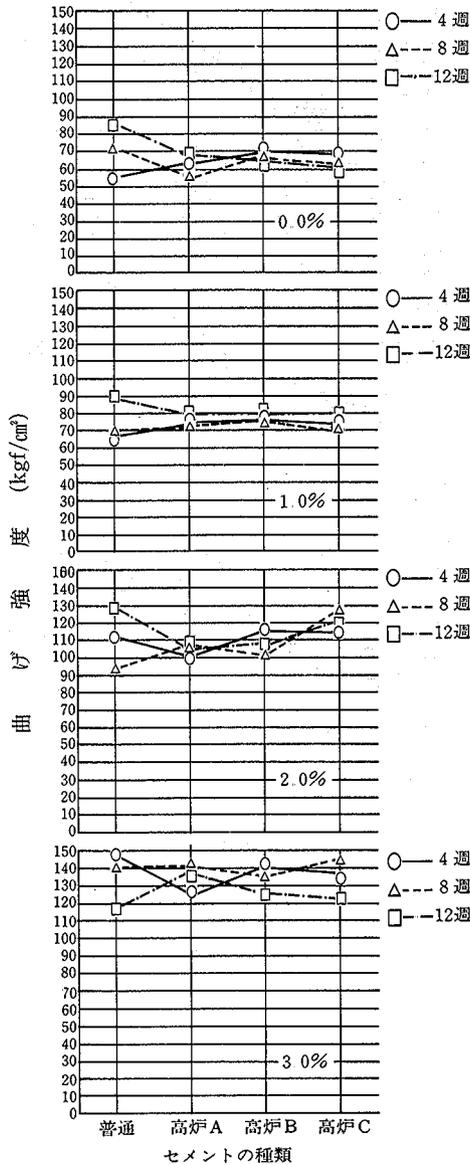


図-20(a) セメント種類と曲げ強度との関係 (気中養生)

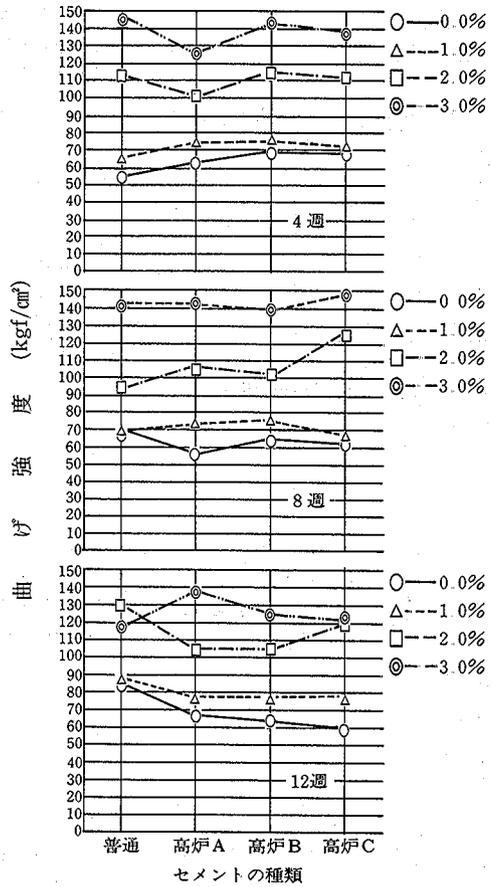


図-20(b) セメント種類と曲げ強度との関係 (気中養生)

4) 養生方法

養生条件が異なり他の条件は同一の、水中養生の図-17~19と、気中養生の図20~22を比較すると、曲げ強度は水中養生のものと気中養生のものは殆ど同程度、あるいは気中養生のものが強いものもあった。

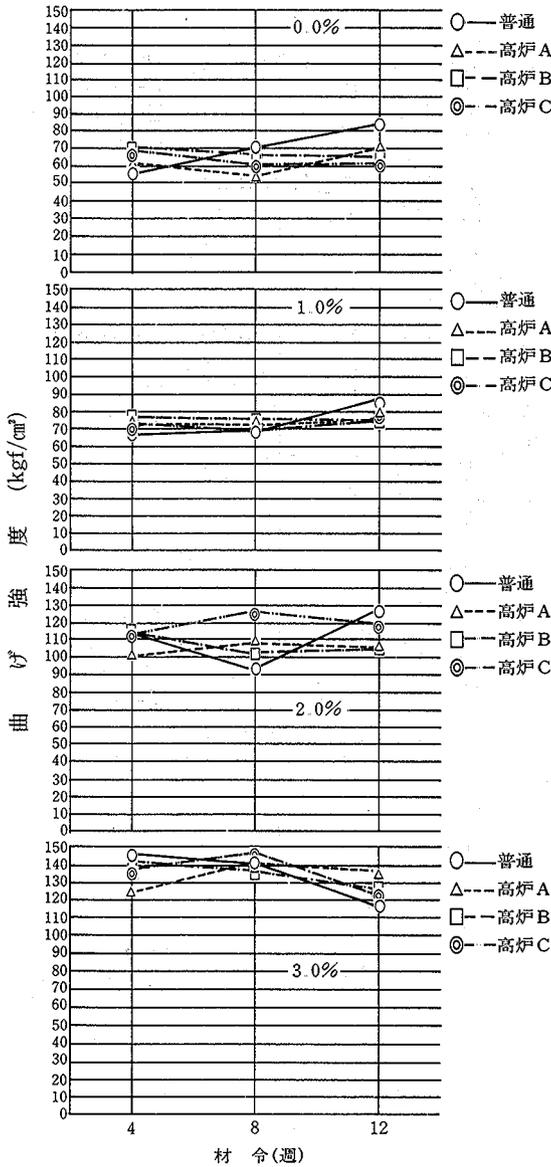


図-21 材令と曲げ強度との関係 (気中養生)

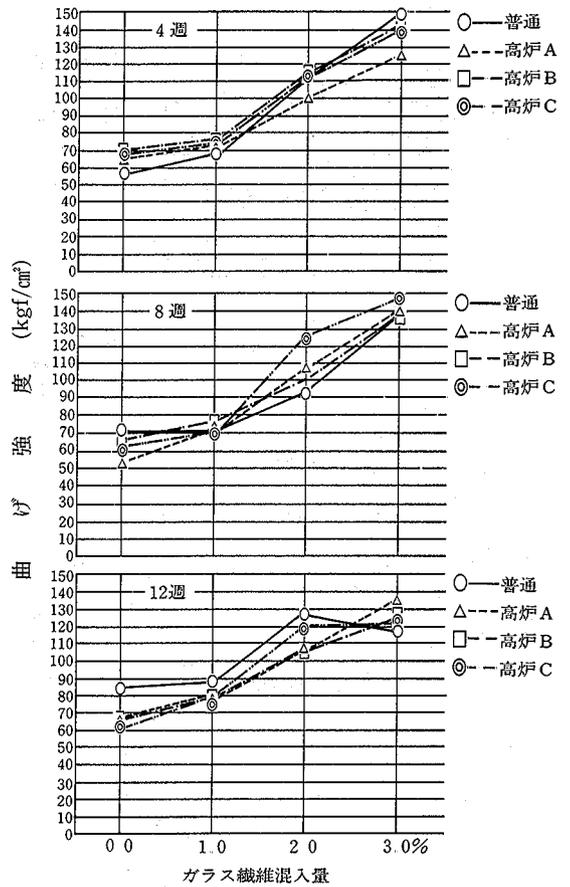


図-22 ガラス繊維混入量と曲げ強度との関係 (気中養生)

#### 4. 結 論

以上の結果をまとめると次のとおりである。

- 1) 繊維混入量3.0%及び材令12週までの範囲において、高炉セメントを用いることによって曲げ及び圧縮強度を強くする高炉スラグの混入率を明確にすることはできなかった。
- 2) 繊維混入量が30%程度と多い場合、高炉セメントC種を用いても、普通ポルトランドセメントと同程度の圧縮及び曲げ強度が期待できるものと考えられる。
- 3) 曲げ強度は、どの種類の高炉セメントを用いた場合でも、繊維混入量の増加によって大きく改善される。

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) 豊福, 三好: 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, 香川大学農学部学術報告, 42, 1, pp. 33-44, (1989).

(1989年10月31日受理)