

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3 フライアッシュセメントを使用した場合

豊福俊英, 三好芳憲*

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

Part 3 Effect of using Portland Fly Ash Cement

by Toshihide TOYOFUKU and Yoshinori MIYOSHI

In the present study, GFRM using portland fly ash cement are discussed. The portland fly ash cement ranging 10, 20 and 30 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 fly ash 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、フライアッシュ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。フライアッシュ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)とフライアッシュ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⁽¹⁾⁽²⁾に続いて、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

*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。

として、セメントの種類、繊維混入量、養生方法、材令を要因として、フロー試験、曲げ及び圧縮強度試験を行った。

2. 実験計画 (IIIシリーズ)

2.1 概要

IIIシリーズでは、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次の通り行った。すなわち、IIIシリーズではセメントの種類、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

III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、フライアッシュセメント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-19に示す。

表-19 使用セメントの試験成績表

セメントの種類	比重	比面積	水量 (%)	始発 h-m	終結 h-m	安定性	圧縮強度 (kgf/cm ²)				化学組成 (%)			備考	
							1日	3日	7日	28日	MgO	SO ₃	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		
フライアッシュセメント	A種	3.07	3250	27.2	3-20	4-55	良	---	132	219	365	1.1	2.0	0.8	
	B種	2.78	3340	28.0	3-40	5-40	良	---	123	210	350	1.3	2.0	1.3	
	C種	2.80	3420	28.4	4-20	6-00	良	---	102	153	285	1.4	2.0	1.3	

フライアッシュセメントのフライアッシュ混合率 (重量%) : A種10%, B種20%, C種30%。

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-20に示す。

表-20 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特性を表-21に示す。

表-21 耐アルカリガラス繊維の物性

物性	比重	引張強度 kgf/mm ²	ヤング率 kgf/mm ²	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 ⁻⁶	1.57	

2.3 実験要因

IIIシリーズでは、セメントの種類、ガラス繊維混入量及び養生条件を主な要因とした。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, 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IIIシリーズの実験要因を、表-22に示す。

表-22 実験計画 (III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、III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-23の配合表について、フロー試験及び材令4, 8および12週において強度試験を行うための供試体各々3体ずつ作成した。

表-23 モルタルの配合及びフロー値 (III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
フライアッシュセメントA種	A	2402	1681	961	0.0	0	211
	B	2387	1671	955	1.0	40.6	205
	C	2372	1660	949	2.0	80.6	192
	D	2357	1650	943	3.0	120	170
フライアッシュセメントB種	A	2323	1626	929	0.0	0	213
	B	2309	1616	924	1.0	39.2	205
	C	2295	1606	918	2.0	78.0	190
	D	2281	1597	912	3.0	119	170
フライアッシュセメントC種	A	2397	1630	932	0.0	0	216
	B	2315	1620	926	1.0	39.3	209
	C	2301	1611	920	2.0	78.2	197
	D	2287	1601	915	3.0	117	182

(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

IIIシリーズのフロー試験結果を表-23及び図-23に示す。

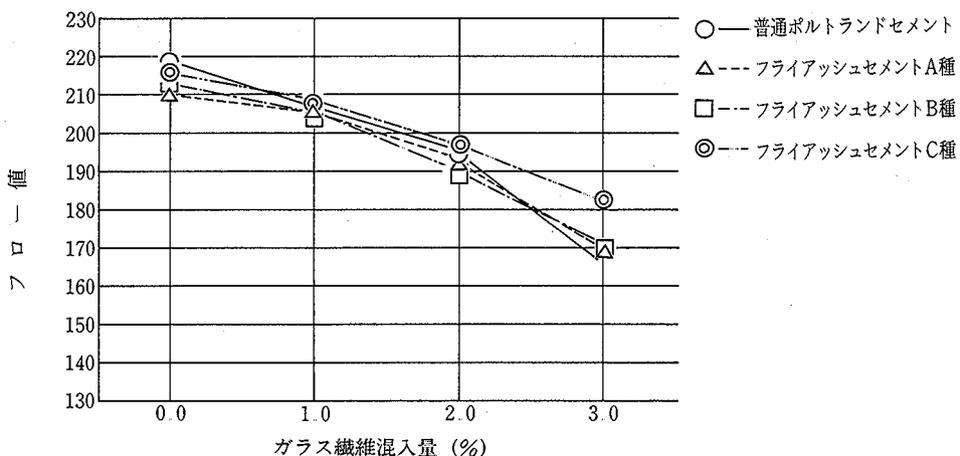


図-23 ガラス繊維混入量とフロー値との関係

Iシリーズ(I-5)とIII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、IIIシリーズの場合の方がすべての繊維混入率に対して、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、フライアッシュセメントではフロー値の低下の割合が少ない傾向を示した。また、繊維混入量3.0%のときのフロー値はフライアッシュセメントC種を用いたものが最も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)

IIIシリーズの圧縮及び曲げ強度試験結果を図-24~35に示す。

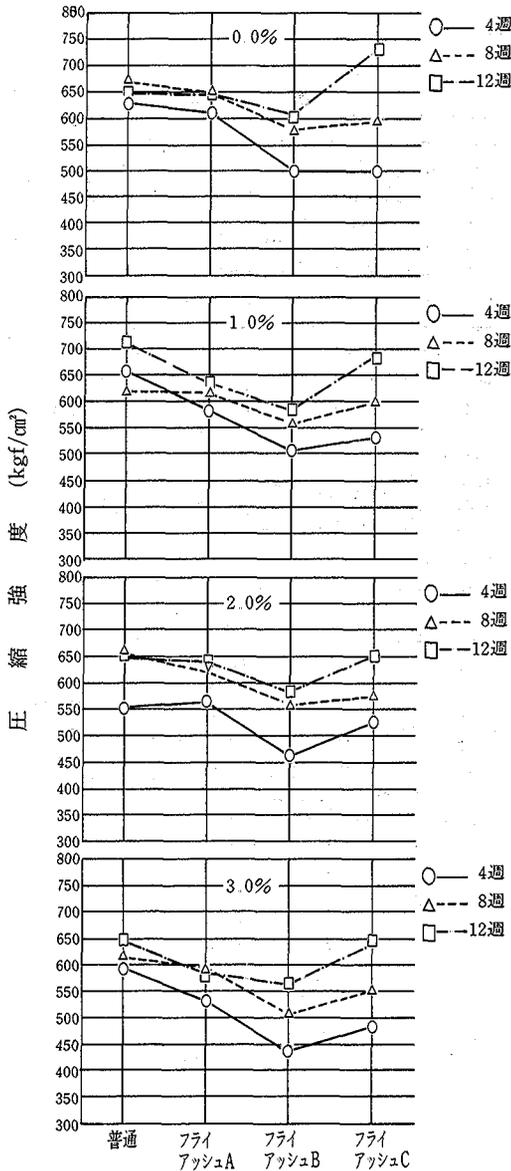


図-24(a) セメント種類と圧縮強度との関係 (水中養生)

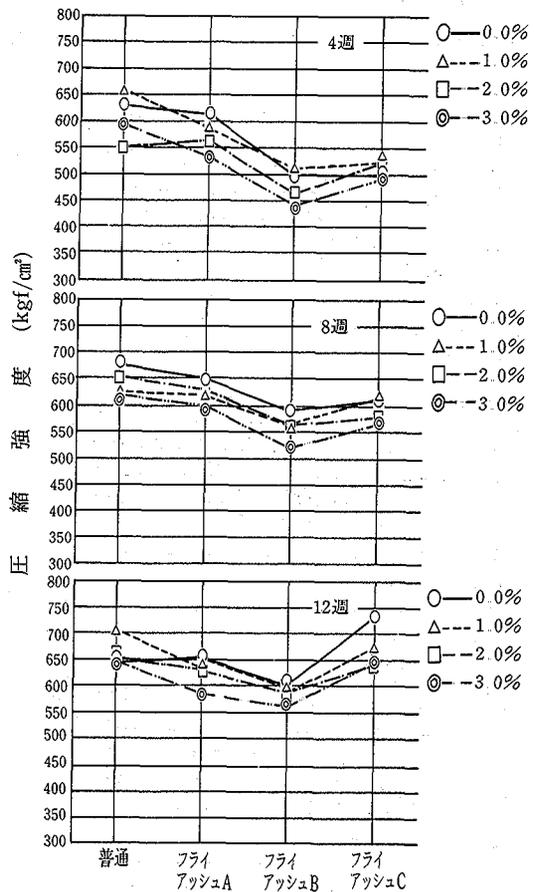


図-24(b) セメント種類と圧縮強度との関係 (水中養生)

3.2.1 圧縮強度試験結果

IIIシリーズの圧縮強度試験結果を図-24~29に示す。

1) セメントの種類 (フライアッシュの混合率)

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および材令に対して、水中養生の場合図-24(a)及び(b)に示した。フライアッシュB種まではフライアッシュの混合率の増加につれて圧縮強度は低下する傾向を示したが、C種はいずれもB種より高い強度を示した。4週材令ではフライアッシュセメントを用いたものはいずれも普通セメントを用いたものより低い強度を示したが、材令12週でフライアッシュC種を用いたものが普通セメントを用いたものと同程度の強度を示した。

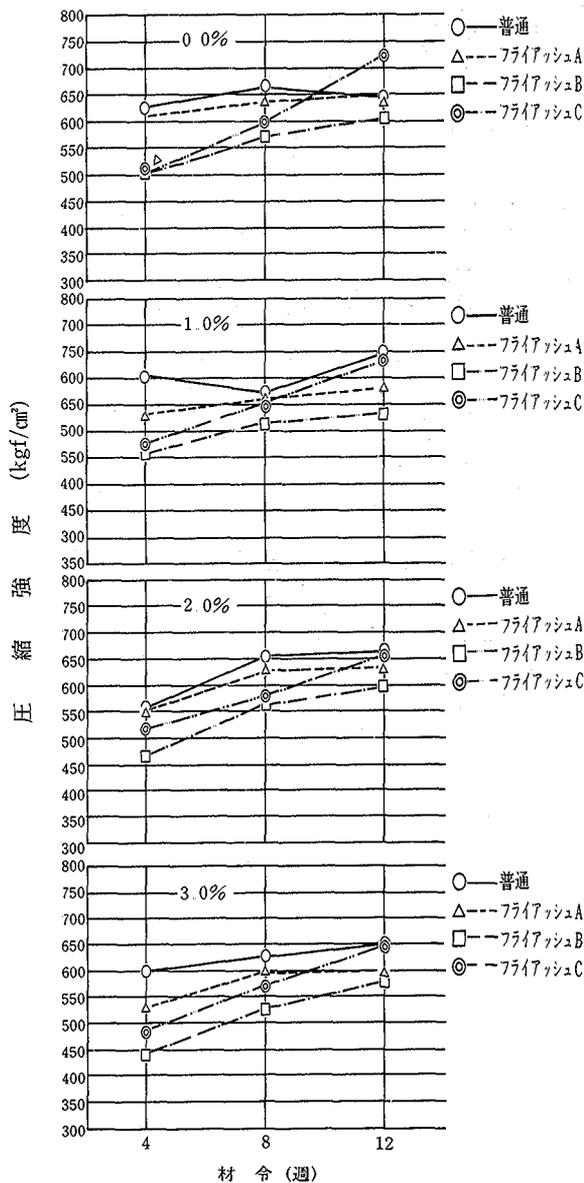


図-25 材令と圧縮強度との関係 (水中養生)

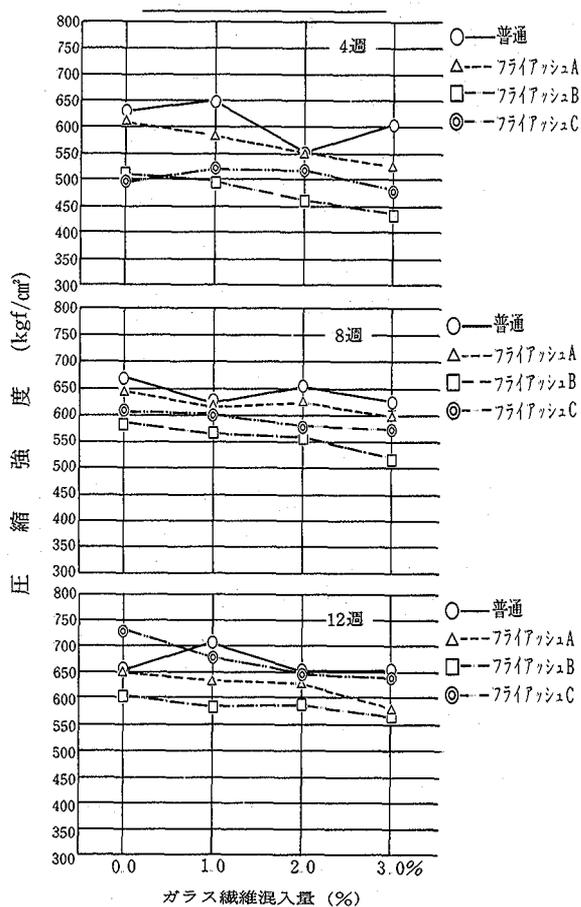


図-26 ガラス繊維混入量と圧縮強度との関係 (水中養生)

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および材令に対して, 気中養生の場合図-27(a)及び(b)に示した. いずれの繊維混入量においてもフライアッシュの混合率が多くなるにつれて圧縮強度は低下する傾向を示した.

2) 材 令

図-25及び28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. フライアッシュセメントを使用した場合, 水中養生したものの方が気中養生したものより, 材令に伴う強度の増加割合が大きい傾向を示した.

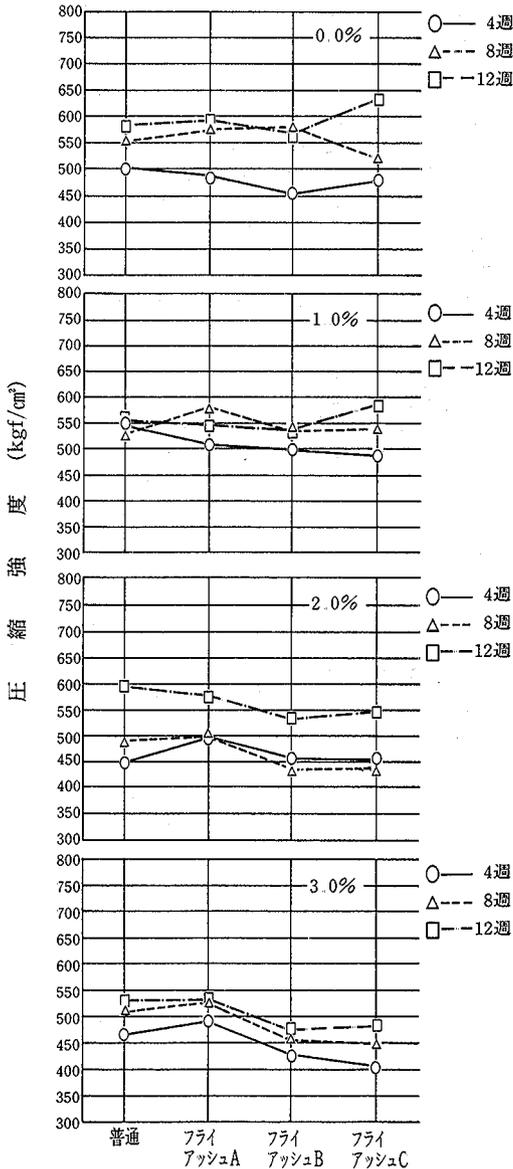


図-27(a) セメントの種類と圧縮強度との関係 (気中養生)

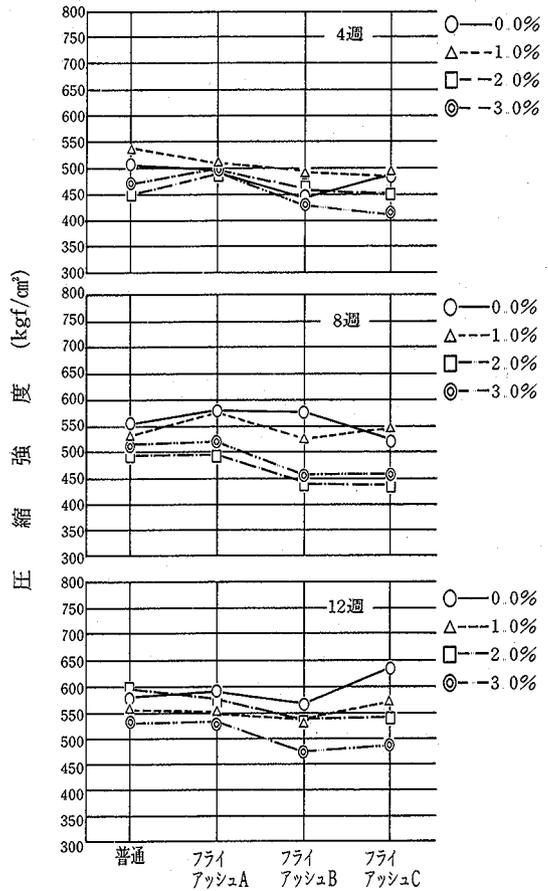


図-27(b) セメントの種類と圧縮強度との関係 (気中養生)

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-26及び29に示した。いずれのセメントにおいても繊維混入量が増すにつれて同程度か幾分低い圧縮強度を示した。

4) 養生方法

養生条件が異なり、他の条件が同一の、水中養生の図-24~26と気中養生の図-27~29を比較する。養生条件のみ異なり他の条件が同一のものを比較すると、全体的に水中養生のほうが気中養生のものより高強度を示した。

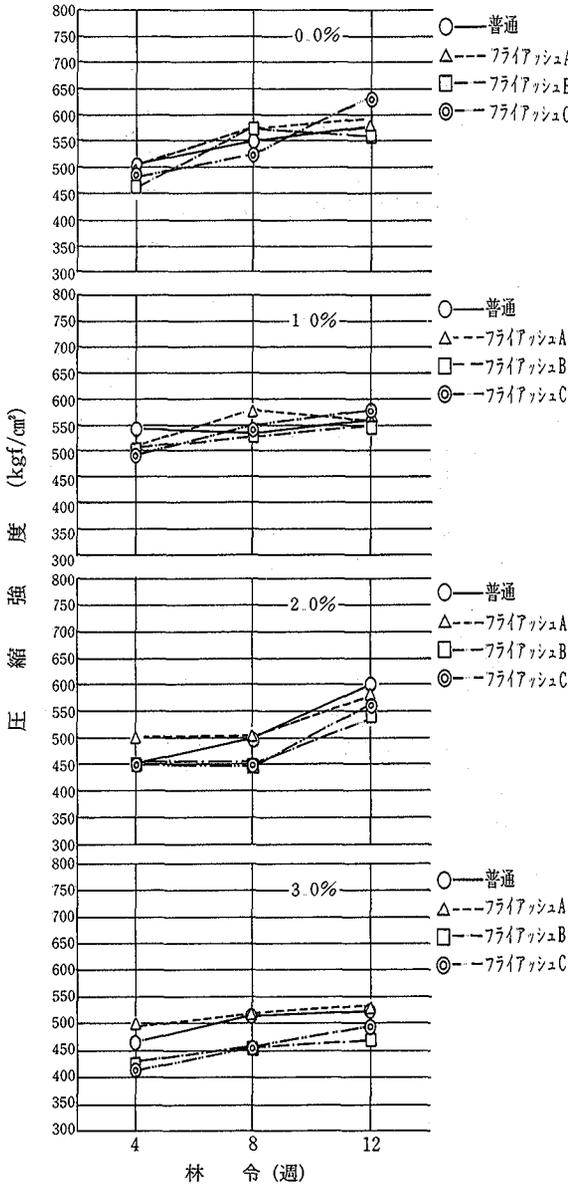


図-28 材令と圧縮強度との関係 (気中養生)

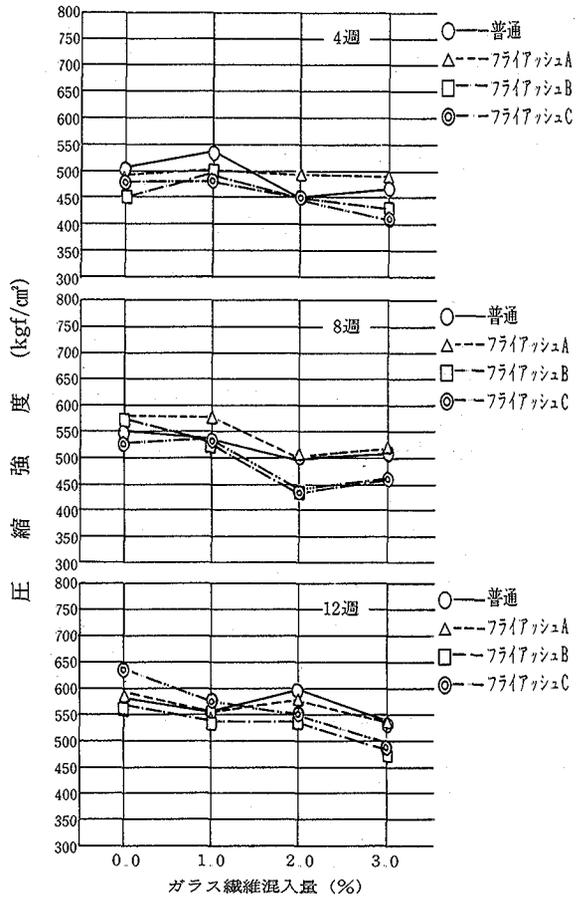


図-29 ガラス繊維混入量と圧縮強度との関係 (気中養生)

3.2.2 曲げ強度試験結果

IIIシリーズの曲げ強度試験結果を図-30~35に示す。

1) セメントの種類 (フライアッシュの混合率)

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および材令に対して、水中養生の場合図30(a)及び(b)に示した。繊維混入量が少ない場合フライアッシュセメントのいずれをもちいても普通セメ

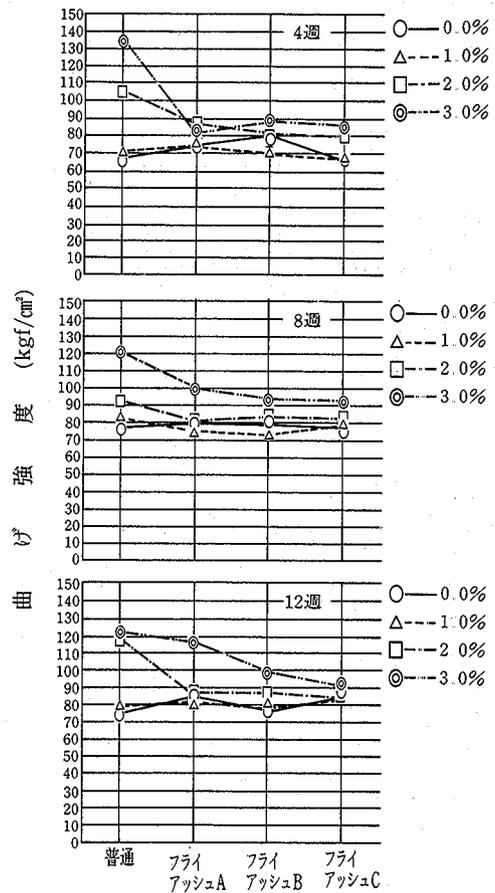
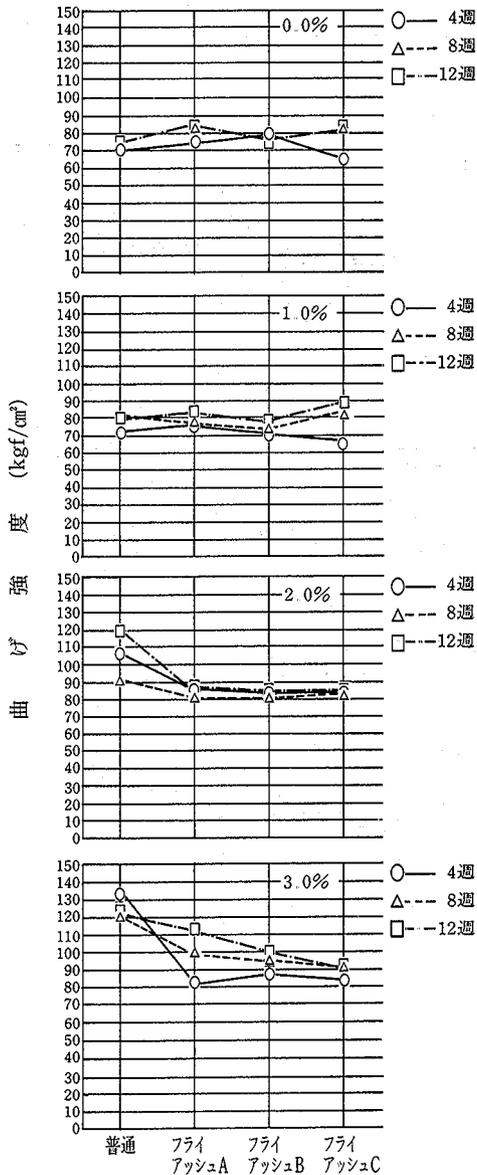


図-30(b) セメントと曲げ強度との関係 (水中養生)

図-30(a) セメントの種類と曲げ強度との関係 (水中養生)

ントと同程度の曲げ強度が得られたが、繊維混入量が3.0%になるとフライアッシュの混合率の大きいものほど曲げ強度が低下する傾向を示した。この傾向は材令4～12週のいずれの場合にもあてはまる結果を示した。

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および材令に対して、気中養生の場合図-33(a)及び(b)に示した。気中養生の場合も水中養生でのべたことと同様の傾向を示した。

2) 材 令

図-31及び34に、それぞれ水中及び気中養生に対して、材令による曲げ強度の変化を示した。水中及び気中養生共繊維混入量の少ない場合は、曲げ強度は材令と共に僅かに増加するか同程度を示した。繊維混入量が3.0%の場合、普通セメントを使用したものは材令と共に曲げ強度は幾分低下したが、フライアッシュセメントを用いたものは材令と共に僅かながら増加する傾向を示した。

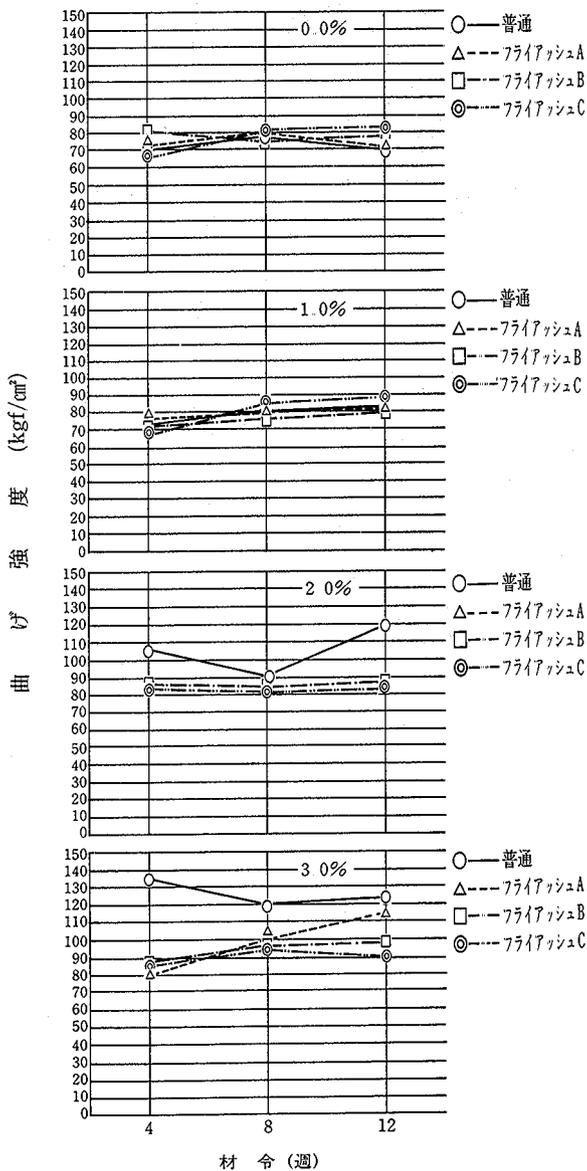


図-31 材令と曲げ強度との関係 (水中養生)

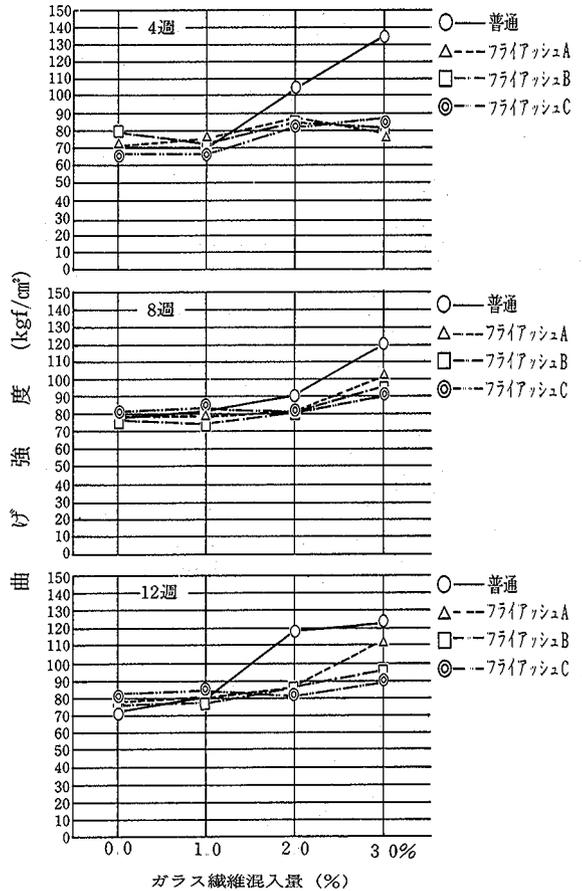


図-32 ガラス繊維混入量と曲げ強度との関係 (水中養生)

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-32及び図-35に示した。普通セメントを用いた場合と比較して、フライアッシュセメントを用いたものは、4~12週において、水中養生においては繊維混入量が増したにも関わらず曲げ強度の増加が極めてわずかであったが、気中養生においては曲げ強度は普通セメントと同程度の増加傾向を示した。

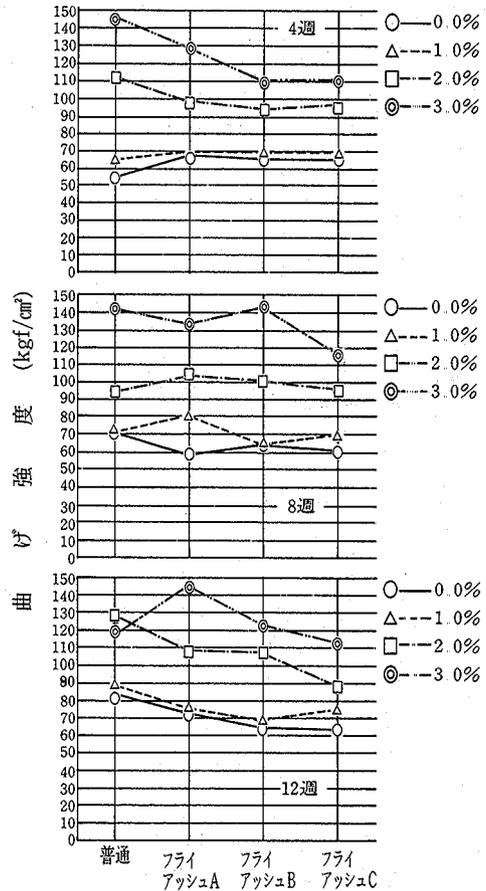
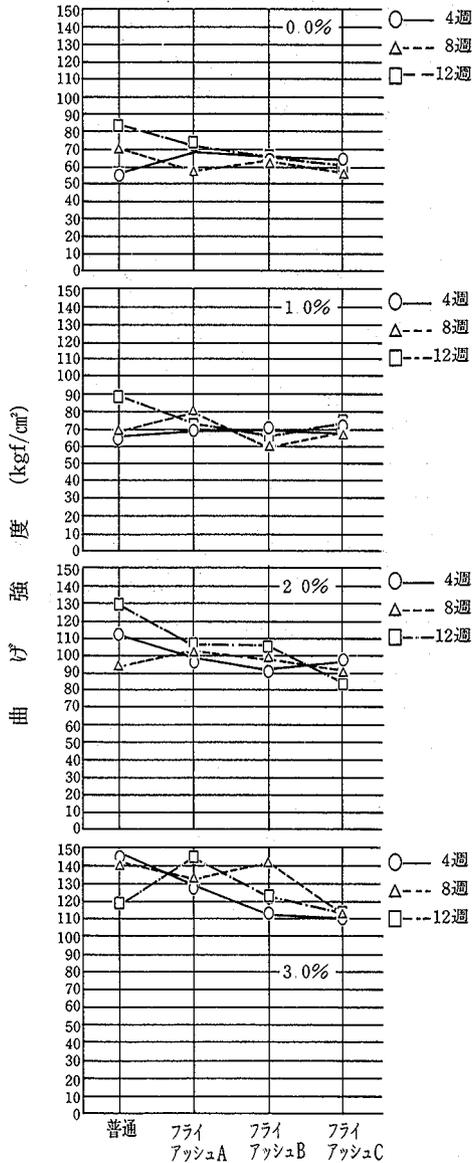


図-33(b) セメントの種類と曲げ強度との関係 (気中養生)

図-33(a) セメントの種類と曲げ強度との関係 (水中養生)

4) 養生方法

養生条件が異なり、他の条件が同一の、水中養生の図-30~32と気中養生の図-33~35を比較する。繊維混入量が0~1.0%の範囲では水中養生のほうが気中養生したものより曲げ強度は高いが、繊維混入量が2.0%以上になると気中養生したもののほうが水中養生したものより曲げ強度は高い傾向を示した。

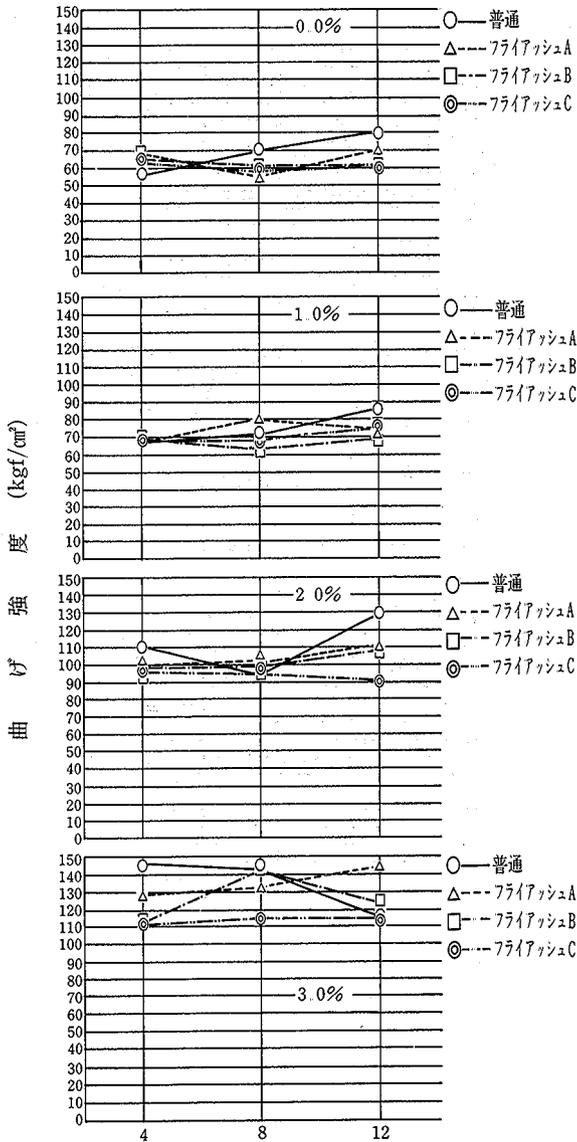


図-34 材令と曲げ強度との関係 (気中養生)

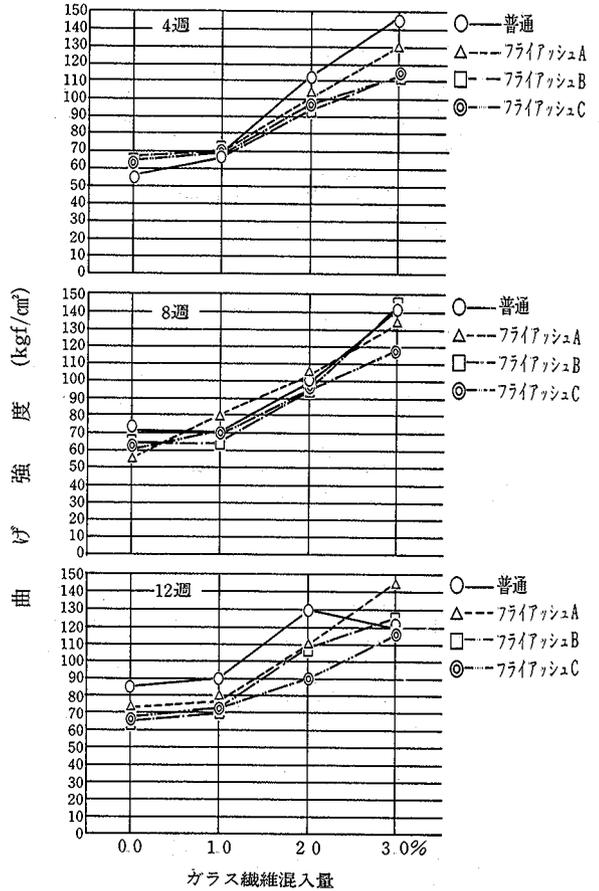


図-35 ガラス繊維混入量と曲げ強度との関係 (気中養生)

4. 結 論

以上の結果をまとめると次のとおりである。

- 1) 繊維混入量が多くなった場合、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して、フライアッシュセメントを使用するとより大きなフロー値がえられた。
- 2) 繊維混入量が0～3.0%の範囲では、いずれの混入量においても4週材令で、フライアッシュセメントを用いたものが普通ポルトランドセメントを用いたものより低い圧縮強度を示したが、材令12週においてはフライアッシュセメントC種を用いたものが普通ポルトランドセメントを用いたものと同程度または大きな圧縮強度を示した。
- 3) 繊維混入量が少ない場合、いずれの種類のフライアッシュ種セメントを用いても普通ポルトランドセメントを用いた場合と同程度の曲げ強度が得られたが、繊維混入量が3.0%になるとフライアッシュの混合率の大きいものほど曲げ強度が低下する傾向を示した。

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行っており、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).
- (2) 豊福, 三好: 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, 香川大学農学部学術報告, **42**, 1, pp. 45-57, (1989).

(1989年10月31日受理)