

果実核の建材への有効利用に関する基礎的研究

Fundamental research on the effective use to the construction of a fruits core

川上勝弥・赤坂育子*・田中聡子*

Katsuya KAWAKAMI, Ikuko AKASAKA and Satoko TANAKA

1. はじめに

近年、産業廃棄物の最終処理場の確保が困難となり、産業廃棄物の処理が深刻な社会問題となっている。

また、産業廃棄物に対するリサイクルの実用化が提案され、一例として炭化物を骨材として用いたコンクリートに関する実験的研究も進められている。そこで本研究は、食品産業から産業廃棄物として排出される桃および梅の果実核を炭化し、そのコンクリート用骨材としての特性、および果実核炭化物を細骨材としたセメントモルタルの強度特性について考察するものである。

2. 研究目的

炭化した桃および梅の果実核の基本的な物性を把握するため、温度調整が可能な電気炉により果実核の炭化実験を行う。その結果を基に、立型試作炉でモルタル用骨材となる果実核の炭化物を作製する。立型試作炉により作製された炭化物の細骨材としての特性、炭化物を骨材としたモルタルの強度特性等に関する実験を行い、考察する。

3. 果実核炭化物について

3.1 果実核の試料

試料とした桃は福島県産大久保、梅は中国広東省産の青竹梅と白粉梅を約 3:1 の割合で混合したものを使用する。

3.2 果実核の炭化方法

1) 電気炉による炭化

試料は、破損がない果実核 50 個を選定し、 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ の高温乾燥炉内で 24 時間乾燥させた絶乾状態のものとする。試料は、通気のために穴を開けたアルミホイルで包み、常温から 1000°C まで温度調整が可能な電気炉を目標温度まで上げた状態で挿入する。試料の雰囲気温度の測定には、アルメルクロメル型熱電対を用いる。炉内温度が目標温度に達した時点で、直ちに窒素を注入して炉内の酸素を遮断し、炉内温度が 200°C に

低下したことを確認してから試料を取出し、十分に水分を含ませた布で試料を包み、常温になるまで冷却する。また、試料の炭化温度は 250、300、500、700 および 750°C の 5 種類の温度とする。

2) 立型試作炉による炭化

試料は、破損がない果実核約 11kg を採取し、大気中で乾燥させたものとする。試料は、容量約 40 リットルの立型試作炉内に充填し、空気の出入りの恐れがある箇所を窯業用粘土によって塞ぎ、炉の下部より着火・送風し、上向き通風により炭化する。炉内各部の温度を測定するため、アルメルクロメル型熱電対を高さ方向 3 箇所、炉中央部の半径方向 2 箇所の合計 5 箇所に設置する。電気炉による炭化実験の結果を参考にし、炉内の雰囲気温度が所要温度に達した時点で、炉内を窯業用粘土を用いて密封状態にし、2 時間程度蒸し焼きにする。炉内温度が 100°C 程度までに低下したら試料を取出し、湿砂で覆い冷却する。

4. 果実核炭化物の特性

4.1 実験方法

- ① 寸法測定は、破損していない果実核 900 粒を採取し、精度 $1/20\text{mm}$ のノギスを使用して長手方向、短手方向および厚さ方向寸法を測定する。ここに、果実核の 3 軸方向の定義は、図 1 に示す通りである。
- ② 見掛け密度試験は、JIS A 1202「土粒子の密度試験方法」による。
- ③ 真密度試験は、微粉碎した果実核実質部分の密度

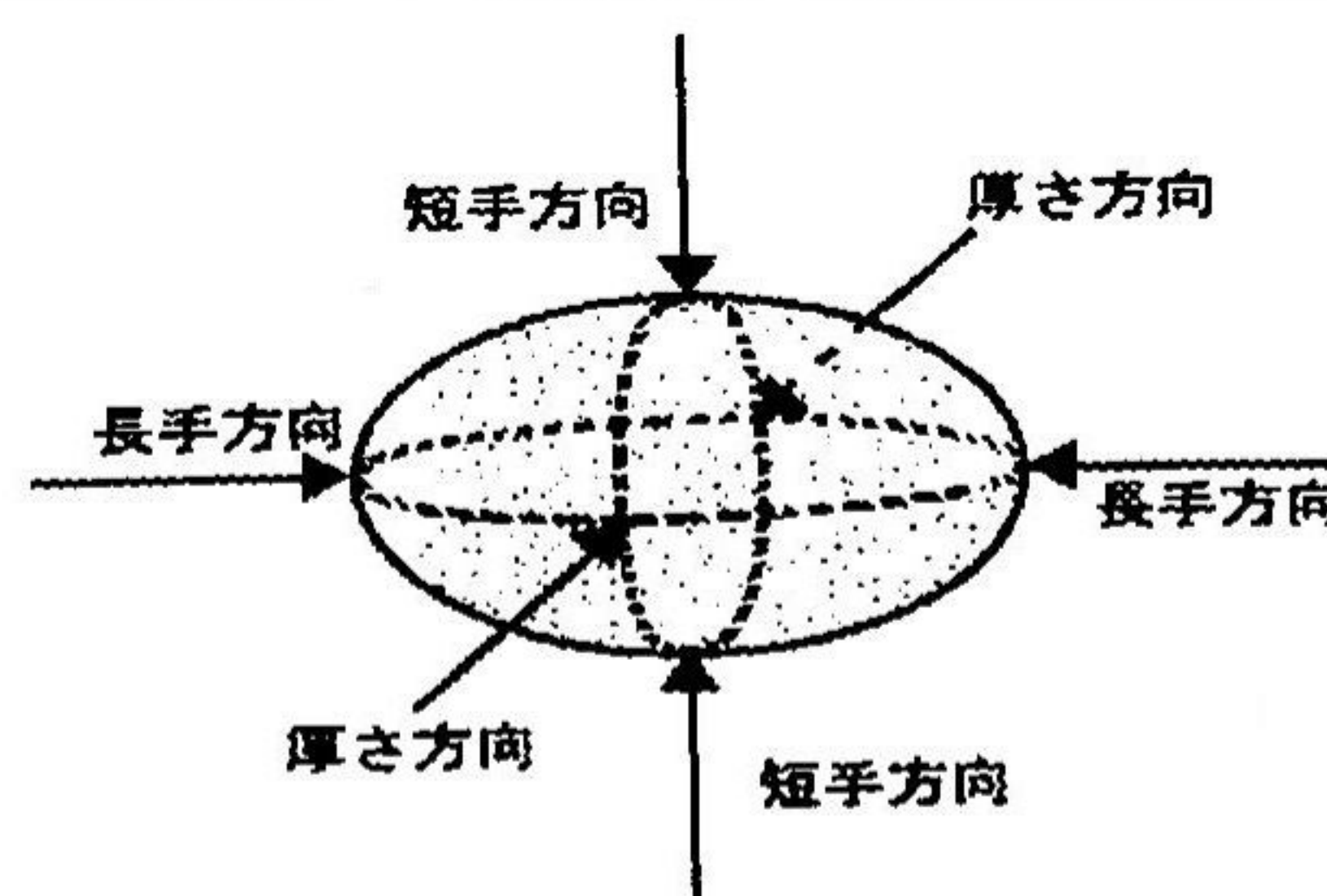


図 1 果実核の 3 軸方向

を測定するため、JIS A 5201「セメントの物理試験方法」による。

- ④ 細孔測定試験には、0~20.58kN/cm²まで加圧可能な水銀圧入式ポロシメーター(Micromeritics 社)を使用し、7.5~7500nmの細孔範囲における総細孔容積、細孔分布を求める。
- ⑤ 表乾密度試験、絶乾密度試験および吸水率試験は、JIS A 1110「粗骨材の密度及び吸水率試験」による。
- ⑥ 単位容積質量試験および実積率試験は、JIS A 1104「骨材の単位容積質量及び実積率試験方法」による。
- ⑦ 破碎強度試験は、BS 812「骨材破碎値試験方法」による。
- ⑧ 個体圧壊強度試験は、破損していない果実核30粒を採取し、高精度定速ひずみ方式万能試験機を用い、果実核の3軸方向それぞれの個体圧壊強度を測定する。
- ⑨ 果実核の元素分析は、エネルギー分散X線分析装置を用いて測定する。

4.2 果実核炭化物の特性試験結果

1) 元素組成、真密度、細孔分布および未炭化成分量

果実核炭化物の元素組成、真密度、細孔分布および未炭化成分量は表1に示す通りである。

2) 見掛け密度、吸水率、寸法、圧壊強度、単位容積質

量、実積率および破碎値測定結果

果実核炭化物の見掛け密度、吸水率、寸法、圧壊強度、単位容積質量、実積率および破碎値測定結果は表2に示す通りである。

4.3 考察

4.3.1 炭化物固有の性質

立型試作炉で炭化した桃および梅の果実核の寸法は、炭化前の約75%の大きさになる。電気炉で炭化した桃の果実核の見掛け密度は、炭化温度の上昇に伴ない小さくなる傾向を示すが、真密度は温度の上昇に伴ない大きくなる傾向を示す。電気炉700℃で焼成した桃の果実核の見掛け密度は、0.92g/cm³であり、真密度は1.46g/cm³であり、木の真密度1.50g/cm³に近い値を示す。

立型試作炉で炭化した桃の個体の長手方向圧壊強度は、76.1Nであり、炭化前の約1/20の荷重で圧壊する。

電気炉で炭化した桃および梅の果実核炭化物の炭素含有率は、図2および図3に示す通りである。炭化温度の上昇と共に増大しており、炭化の進行が認められる。

電気炉で炭化した桃の果実核炭化物の細孔特性試験結果は、図4および図5に示す通りで、未処理桃と比較して細孔径が50~500nm区間において明確な変化が認められる。

表1 元素組成、真密度、細孔量および未炭化成分量

試料			元素組成(%)			真密度 (g/cm ³)	細孔量(×10 ⁻² cc/g)					未炭化 成分量 (%)	
種類	焼成 温度	記号	炭素	酸素	炭素/酸素		10nm 以下	10~ 100nm	100~ 1000nm	1000nm 以上	合計		
桃	未処理	—	MN	65.9	34.1	1.9	1.36	2.7	3.3	1.6	0.3	7.8	—
	電気炉	250	EM250	77.2	22.8	3.4	1.28	3.7	14.6	10.0	2.8	31.0	31.4
		300	EM300	75.6	24.4	3.1	1.36	11.8	12.1	5.7	0.9	30.4	41.4
		500	EM500	83.1	9.2	9.0	1.27	8.7	11.8	4.0	2.7	27.2	14.1
		700	EM700	80.5	8.7	11.9	1.46	7.5	7.9	10.9	1.1	27.0	8.3
		750	EM750	85.6	7.1	12.0	1.39	3.5	7.8	16.4	2.8	30.4	7.3
	立型試作炉	—	PM	—	—	—	1.36	6.0	8.7	4.8	2.9	22.5	12.1
梅	未処理	—	UN	62.2	37.8	1.6	1.39	0.9	4.3	3.3	0.6	9.0	—
	電気炉	250	EU250	86.3	9.0	9.6	—	—	—	—	—	—	—
		300	EU300	86.0	10.2	8.4	—	—	—	—	—	—	—
		500	EU500	85.5	4.6	18.6	—	—	—	—	—	—	—
		700	EU700	85.4	3.0	28.8	—	—	—	—	—	—	—
		750	EU750	79.5	5.9	13.5	—	—	—	—	—	—	—
	立型試作炉	—	PU	—	—	—	1.46	1.4	5.0	13.5	3.6	23.5	31.5

表2 密度、吸水率、寸法、圧壊強度、単位容積質量、実積率および破碎強度

試料		表乾 密度 (g/cm ³)	絶乾 密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	寸法(mm)			圧壊強度(N)			単位容 積質量 (kg/l)	実積 率(%)	破碎強度	
					長手 方向	短手 方向	厚さ 方向	長手 方向	短手 方向	厚さ 方向			10%破 碎荷重 (kN)	破碎値 (%)
桃	未炭化	1.08	0.84	28.2	34.1	25.5	17.3	1437	1202	1915	0.61	58.8	—	7.25
	炭化	0.90	0.63	42.9	25.9	19.3	13.4	76.1	91.5	37.2	0.46	51.6	16.2	—
梅	未炭化	0.90	0.78	33.6	19.5	15.4	11.5	727	602	501	0.67	64.2	—	7.18
	炭化	0.84	0.61	37.5	13.7	11.1	8.9	74.3	45.3	52.5	0.55	64.7	16.0	—
天然軽量骨材		1.41	0.90	56.5	31.9	22.7	16.7	252	350	475	—	—	55.1	—

4.3.2 モルタル用細骨材としての性質

果実核炭化物および未処理果実核の絶乾密度は、JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」の種類Lの規定である $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 未満を満たしており、コンクリート用軽量骨材として、利用の可能性があると思われる。また、果実核炭化物は、未処理の果実核と比較すると脆弱であるが、細孔が非常に多く、浄化・吸着作用が期待できることから、コンクリート用軽量骨材として、特に浄化・吸着作用を持った軽量骨材として可能性があると思われる。

5. 桃の果実核炭化物を用いたモルタルの特性

5. 1 実験計画

5.1.1 使用材料

使用した普通ポルトランドセメントの品質、桃の果実核炭化物細骨材の品質および粒度分布曲線は、表3および図6に示す通りである。

細骨材は、JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」に規定される粒度に調整した桃の粒度調整果実核炭化物(以下、粒調炭化細骨材と記す)と、表乾密度 $2.60\text{g}/\text{cm}^3$ の鬼怒川水系川砂とを混合したものを使用する。なお、ピクノメーターにより測定した粒調炭化細骨材の表乾密度は、 $1.17\text{g}/\text{cm}^3$ である。

5.1.2 モルタルの調合

本研究におけるモルタルの調合条件は、JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」に準じ、試し練りにより求めた水セメント比40%、スランプ値 $8\pm 1\text{cm}$ の

コンクリートのモルタル部分とする。細骨材量は、川砂をベースとし、容積の内割りの比率で粒調炭化細骨材を混合する。粒調炭化細骨材の混合割合は、0%(以下MCR0-100と記す)、25%(以下MCR25-75と記す)、50%(以下MCR50-50と記す)、75%(以下MCR75-25と記す)、および100%(以下MCR100-0と記す)の5種類とする。

モルタルの調合は、表4に示す通りである。なお、モルタル記号は、使用材料の組合せを示す。

5.1.3 実験方法

1) フレッシュモルタル試験

① スランプ試験は、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」による。

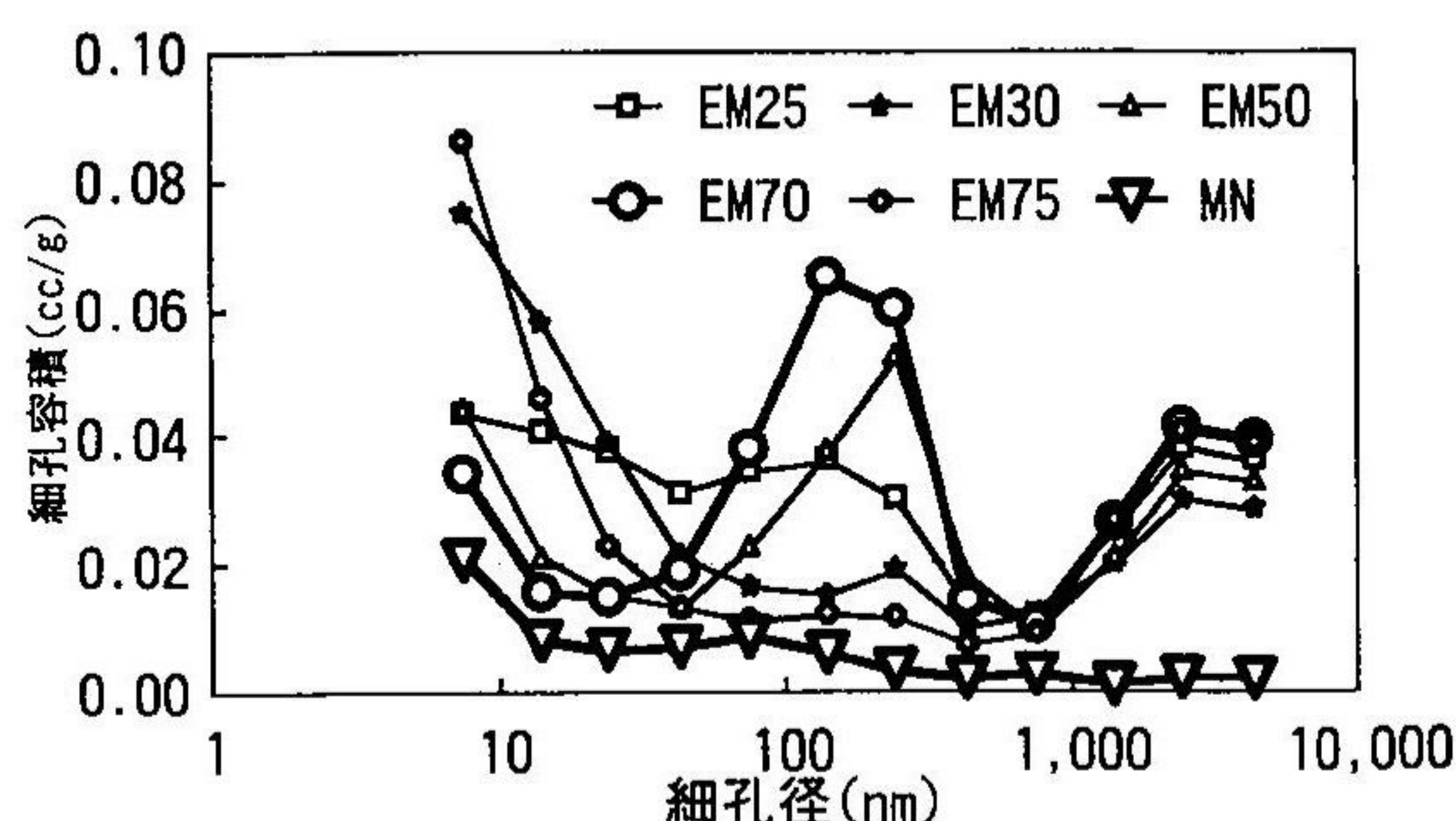


図4 細孔特性試験(電気炉)

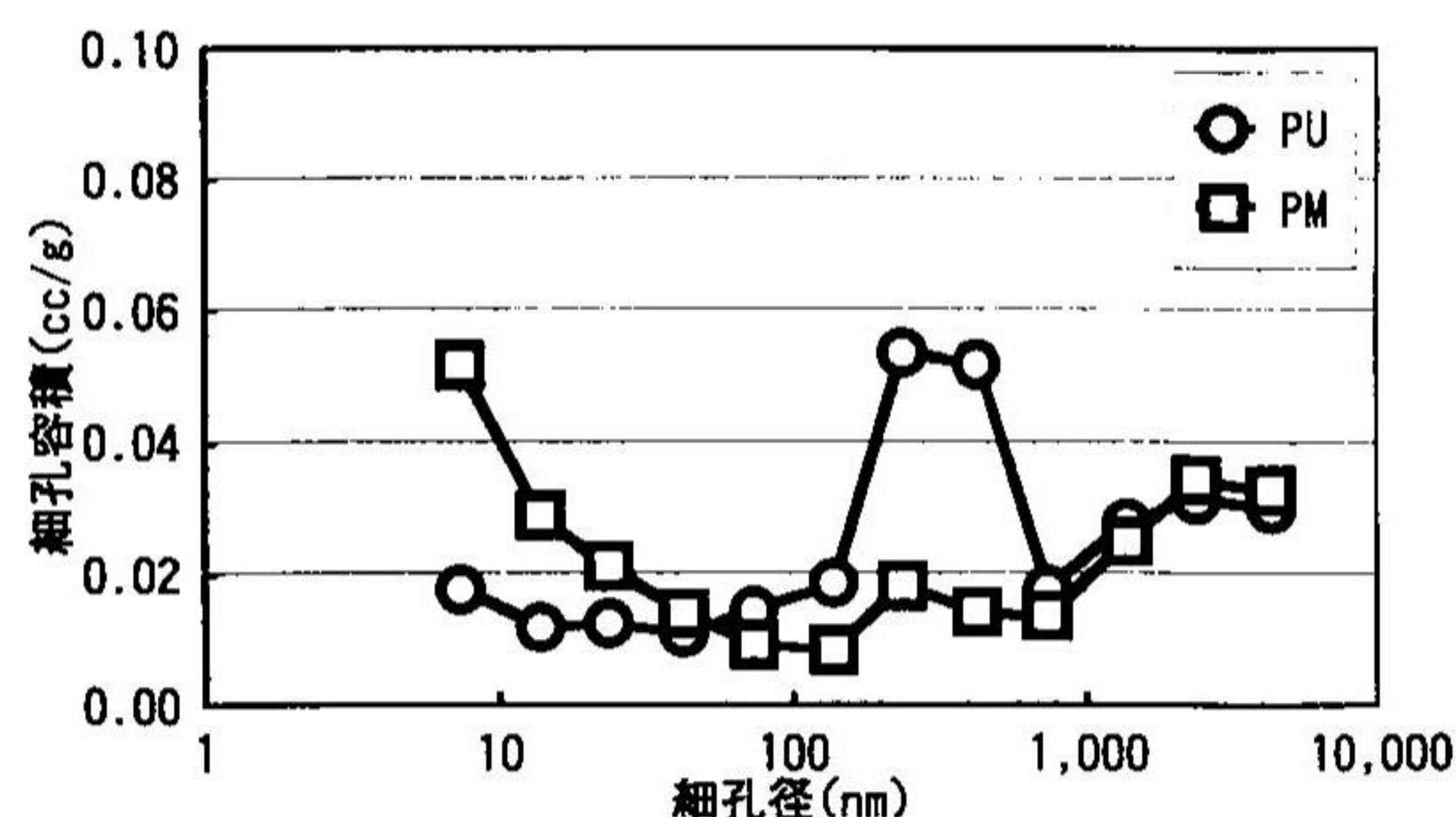


図5 細孔特性試験(立型試作炉)

表3 使用したセメントの品質

材齢	圧縮強度(N/mm ²)
3日	34.09
7日	45.70
28日	60.18

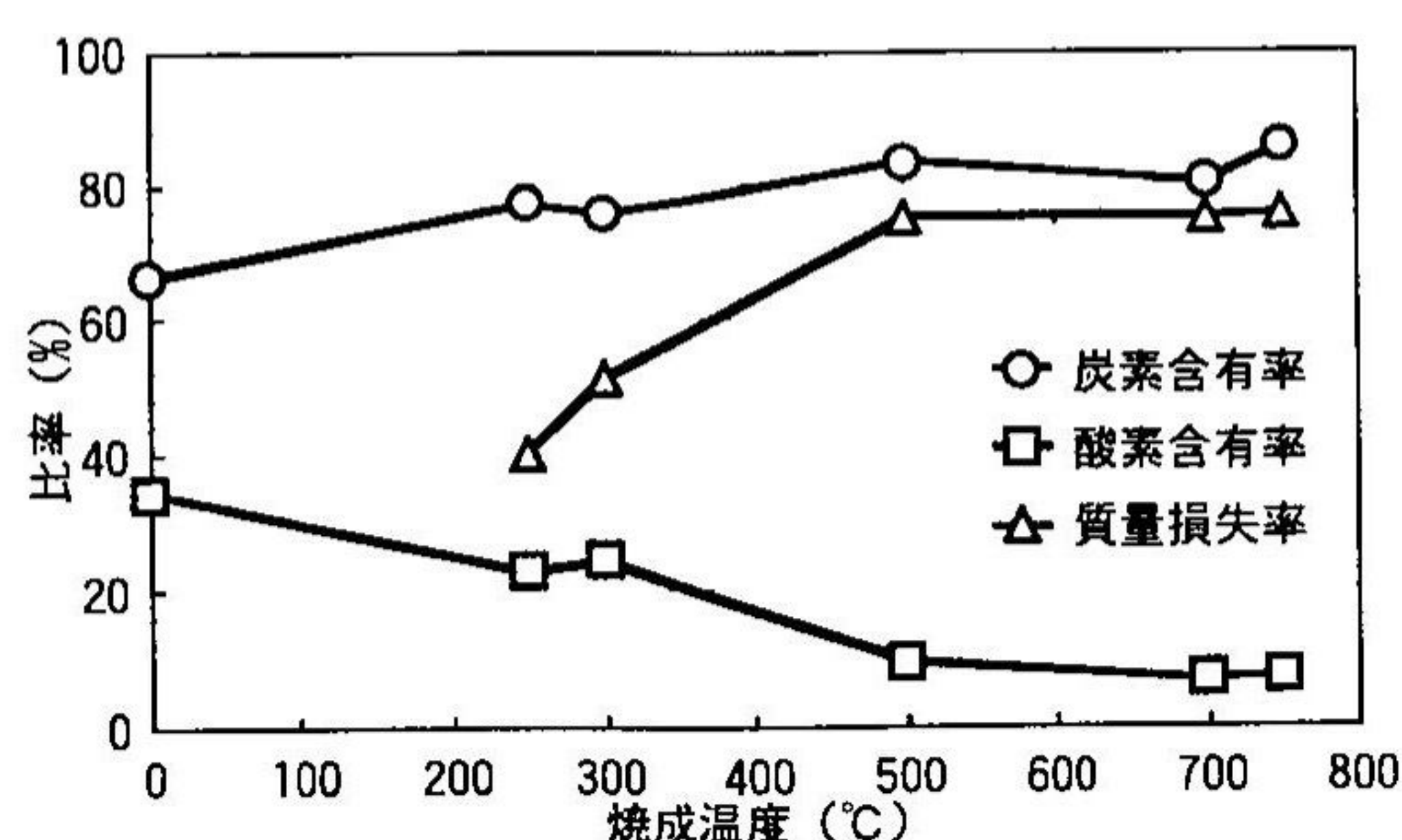


図2 元素分析結果(桃)

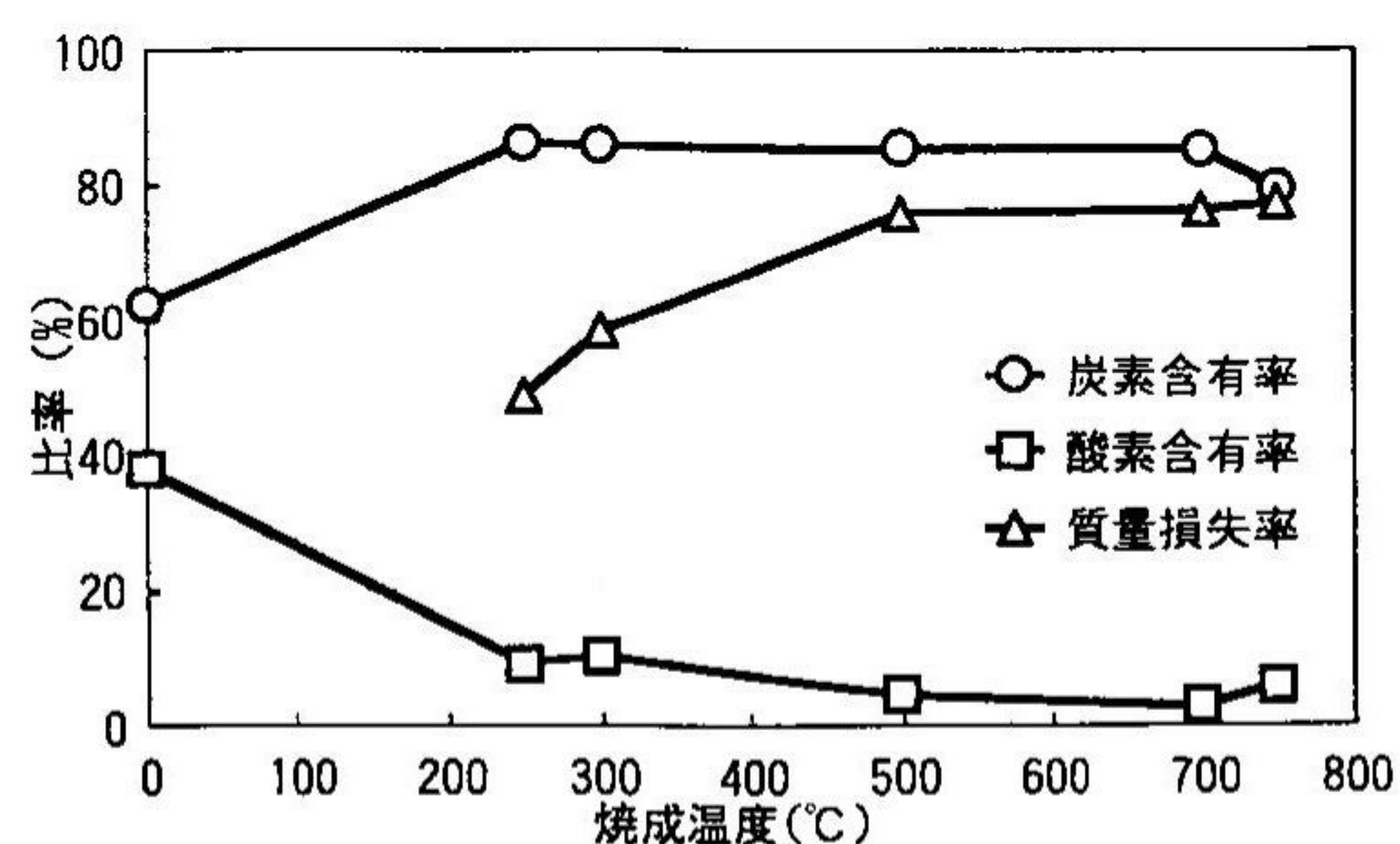


図3 元素分析結果(梅)

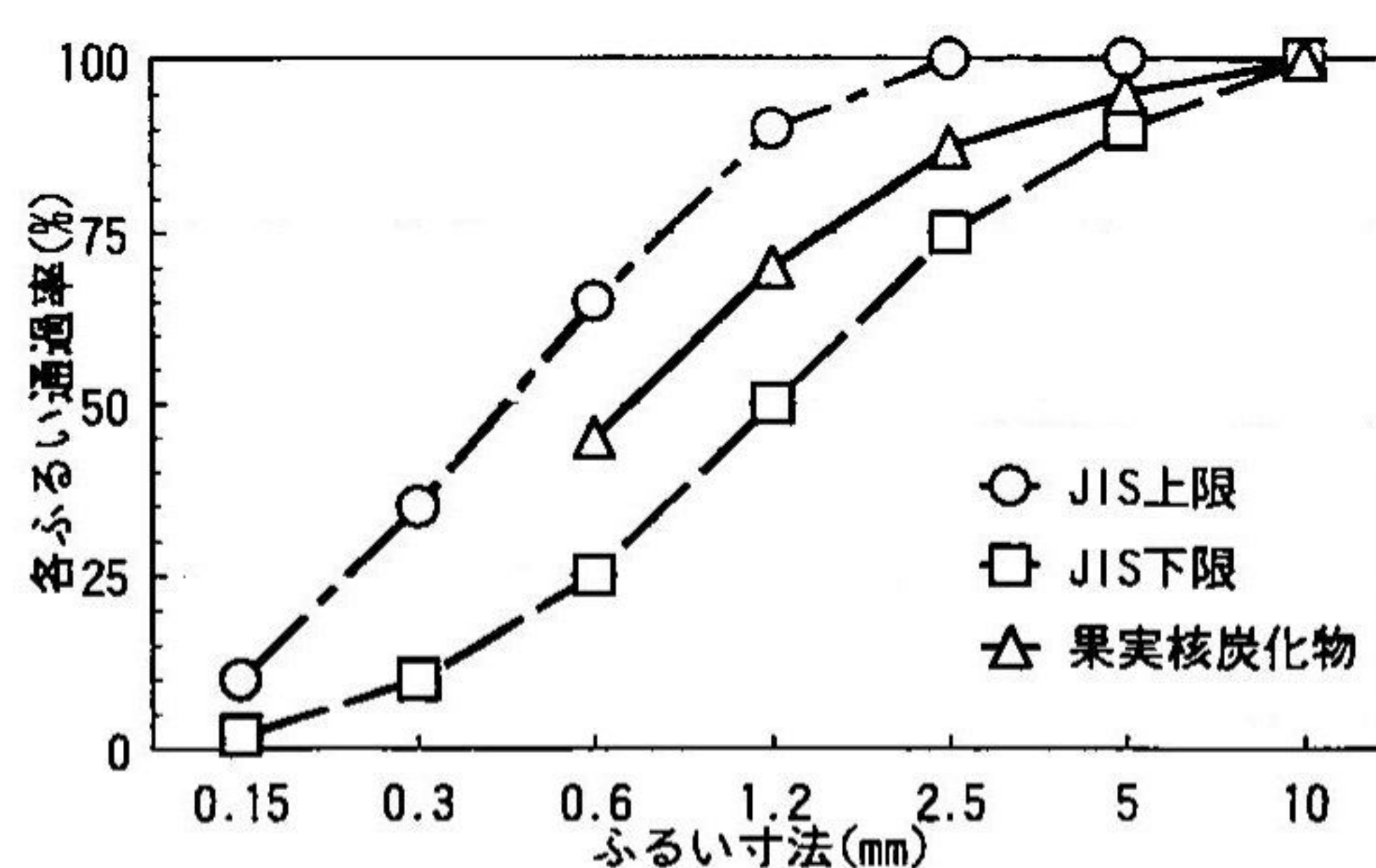


図6 細骨材の粒度分布

- ② 単位容積質量試験は、JIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験および空気量の質量による試験方法」による。
- ③ モルタルの空気量試験は、JIS A 1118「フレッシュコンクリートの空気量の容積による試験方法（容積方法）」による。

2) 硬化モルタル試験

モルタルの強度試験用試験体寸法はφ50×100mmとし、所要の材齢まで標準養生を行う。

- ① 圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」による。
- ② 静弾性係数試験は、JSTM C 7103「コンクリートの静弾性係数試験方法」による。
- ③ 乾燥率試験

乾燥率測定は、試験体脱型後 RH(相対湿度)60%の恒温槽内に静置後の質量を測定し、次の式により試験体の乾燥率を求める。

$$D = (W - W_i) / W \times 100 \quad (\%)$$

ここに、 D : 乾燥率(%)

W : 脱型時の質量(g)

W_i : 材齢 i 日の質量(g)

6. 結果と考察

6.1 フレッシュモルタルの特性

フレッシュモルタル試験の結果は、表5に示す通りである。

粒調炭化細骨材と川砂の混合骨材を細骨材として用いたモルタルのスランプおよびフローは、図7に示す通りである。

スランプおよびフローは、粒調炭化細骨材の混合割合の増加に伴い小さくなる傾向を示し、作業性は概ね良好である。また、単位容積質量は、粒調炭化細骨材の混合割合の増加に伴い減少し、粒調炭化細骨材の混合率 100%(MCR100-0)を用いたモルタルの単位容積質量は、1.640kg/l となり、JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」の規定を満足するので、軽量モルタルとして利用することが可能であると推察される。

6.2 硬化モルタルの特性

モルタルの表乾密度試験、乾燥率試験、圧縮強度

表 4 モルタルの調査

モルタル種類	単位質量(kg/m ³)			
	水	セメント	細骨材	
			川砂	果実核炭化物
MCR0-100	326	811	1031	0
MCR25-75			774	117
MCR50-50			516	223
MCR75-25			258	349
MCR100-0			0	446

表 5 フレッシュモルタルの試験結果

モルタル種類	スランプ(mm)	フロー(mm)	単位容積質量(kg/m ³)	空気量(%)
MCR0-100	95	232	2210	0.78
MCR25-75	95	233	2065	0.82
MCR50-50	92	218	1921	0.77
MCR75-25	57	203	1777	0.78
MCR100-0	50	193	1633	0.79

表 6 表乾密度・乾燥率・圧縮強度および静弾性係数

3 日 試 験 結 果					
モルタル種類	MCR0-100	MCR25-75	MCR50-50	MCR75-25	MCR100-0
表乾密度 (g/cm ³)	2.238	2.094	1.976	1.838	1.723
乾燥率 (%)	3.66	3.56	4.27	5.14	6.24
圧縮強度 (N/mm ²)	33.54	33.10	31.81	30.14	32.22
静弾性係数 (kN/mm ²)	-	-	-	-	-
7 日 試 験 結 果					
モルタル種類	MCR0-100	MCR25-75	MCR50-50	MCR75-25	MCR100-0
表乾密度 (g/cm ³)	2.251	2.134	2.012	1.863	1.745
乾燥率 (%)	4.41	4.45	5.34	6.47	7.75
圧縮強度 (N/mm ²)	52.42	45.11	42.26	40.66	36.08
静弾性係数 (kN/mm ²)	-	-	-	-	-
28 日 試 験 結 果					
モルタル種類	MCR0-100	MCR25-75	MCR50-50	MCR75-25	MCR100-0
表乾密度 (g/cm ³)	2.272	2.142	2.015	1.881	1.767
乾燥率 (%)	5.12	5.39	6.45	7.87	9.33
圧縮強度 (N/mm ²)	74.39	68.58	59.71	55.33	51.57
静弾性係数 (kN/mm ²)	26.30	20.82	15.89	13.65	11.32
91 日 試 験 結 果					
モルタル種類	MCR0-100	MCR25-75	MCR50-50	MCR75-25	MCR100-0
表乾密度 (g/cm ³)	2.266	2.127	2.010	1.864	1.694
乾燥率 (%)	5.27	5.61	6.82	8.16	9.60
圧縮強度 (N/mm ²)	85.68	72.80	62.18	57.96	53.57
静弾性係数 (kN/mm ²)	25.59	21.25	16.11	14.14	10.82

試験および静弾性係数試験の結果は、表6に示す通りである。

6.2.1 強度特性

粒調炭化細骨材と川砂との混合骨材を細骨材として用いたモルタルの材齢と圧縮強度との関係は、図8に示す通りである。粒調炭化細骨材の混合率50%(MCR50-50)のモルタルの28日圧縮強度は 59.71N/mm^2 であり、川砂モルタル(MCR0-100)の圧縮強度の約80%である。また、粒調炭化細骨材を混合したモルタルの圧縮強度は、材齢の経過に伴い増加する傾向を示すが、材齢28日以降の圧縮強度の増加は、ごくわずかである。粒調炭化細骨材の混合率の差異によるモルタルの強度特性は、図9に示す通りである。モルタルの圧縮強度は、粒調炭化細骨材の混合率の増加により材齢の経過に伴う強度発現が鈍化する傾向を示す。

6.2.2 静弾性係数

粒調炭化細骨材と川砂の混合骨材を細骨材として用いたモルタルの材齢と静弾性係数との関係は、図10に示す通りである。また、圧縮強度と静弾性係数との関係は、図11に示す通りである。

材齢28日における静弾性係数は、川砂モルタル(MCR0-100)の 26.3kN/mm^2 に対し、粒調炭化細骨材の混合率50%(MCR50-50)では 15.7kN/mm^2 を示し川砂モルタルの約60%である。

また、粒調炭化細骨材の混合割合が増加するに伴い静弾性係数および圧縮強度は減少する傾向を示す。

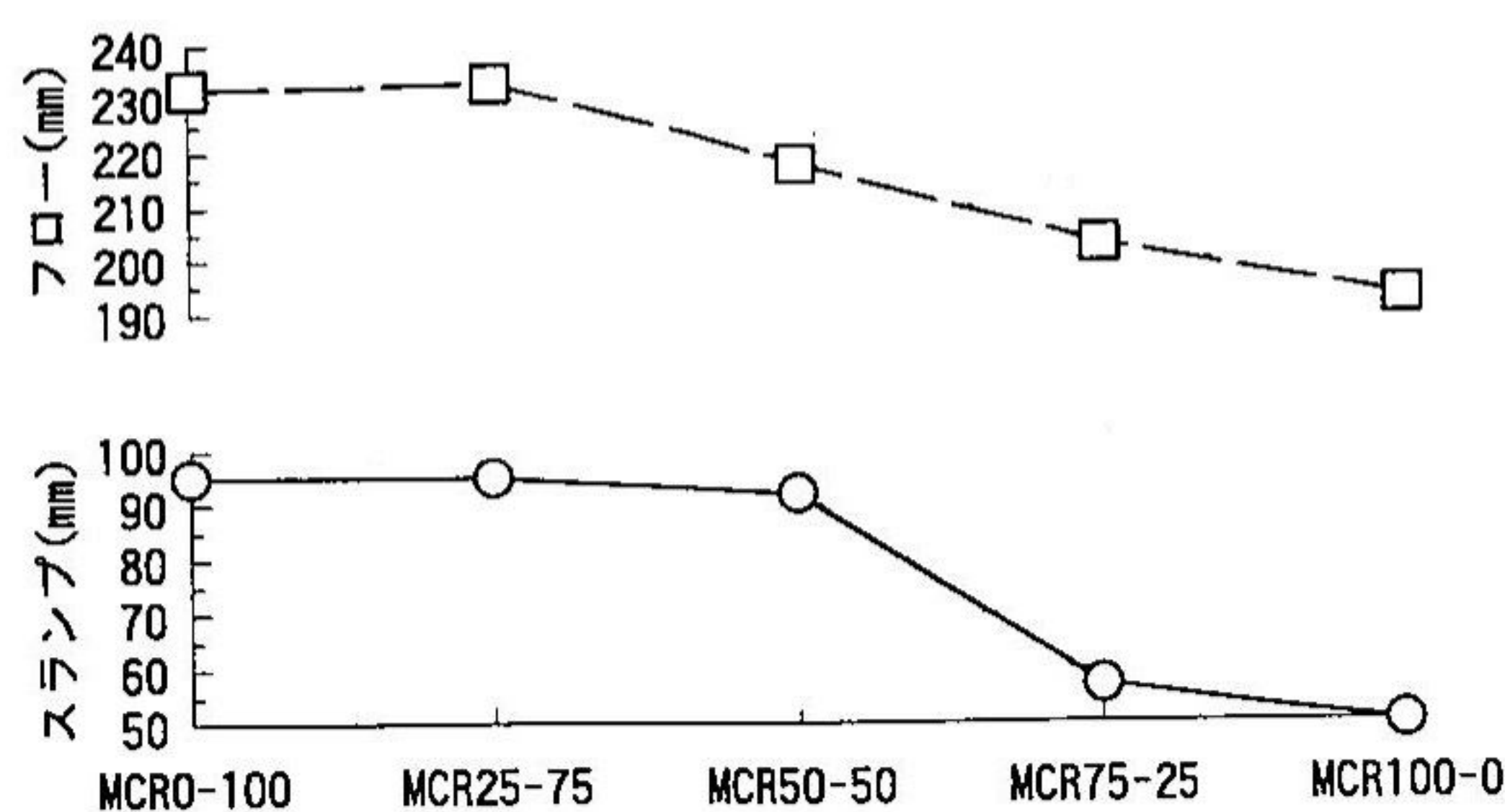


図7 モルタルのスランプおよびフロー

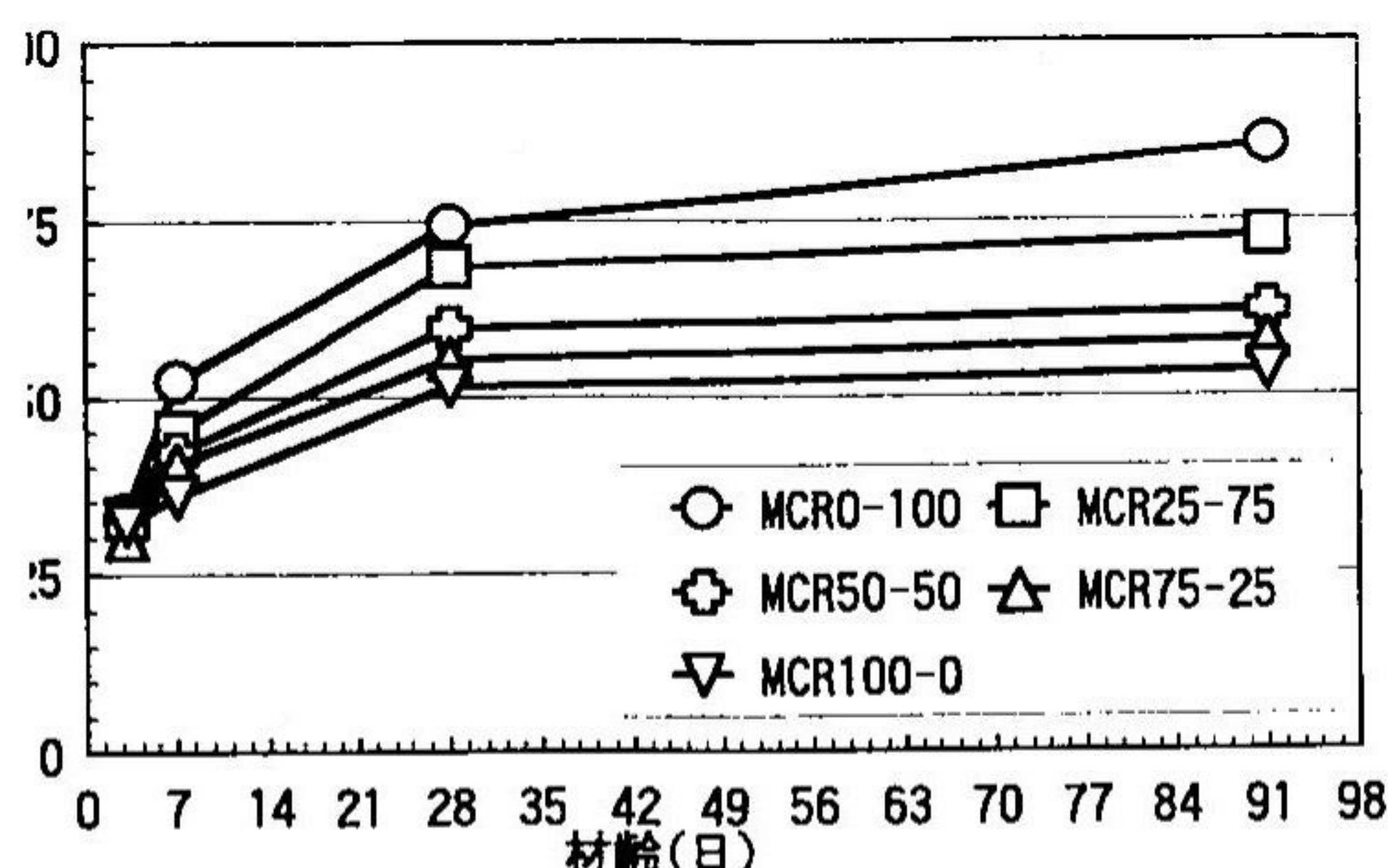


図8 モルタルの材齢と圧縮強度との関係

6.2.3 表乾密度と圧縮強度との関係

粒調炭化細骨材と川砂との混合骨材を細骨材として用いたモルタルの表乾密度と圧縮強度との関係は、図12に示す通りである。粒調炭化細骨材の混合割合が増加するに伴いモルタルの表乾密度および圧縮強度は減少する。粒調炭化細骨材を用いたモルタルの表乾密度を川砂モルタル(MCR0-100)と比較すると、粒調炭化細骨材の混合率50%(MCR50-50)では約90%を示す。

6.2.4 乾燥率

粒調炭化細骨材と川砂の混合骨材を細骨材として用いたモルタルの材齢と乾燥率との関係は、図13に示す通りである。各調合において材齢28日までは、時間の経過と共に乾燥率も増大する。しかし、材齢が28日以降になると時間の経過に伴う乾燥率の増加はごくわずかである。粒調炭化細骨材を混合したモルタルの乾燥率は、粒調炭化細骨材の混合率の増加に

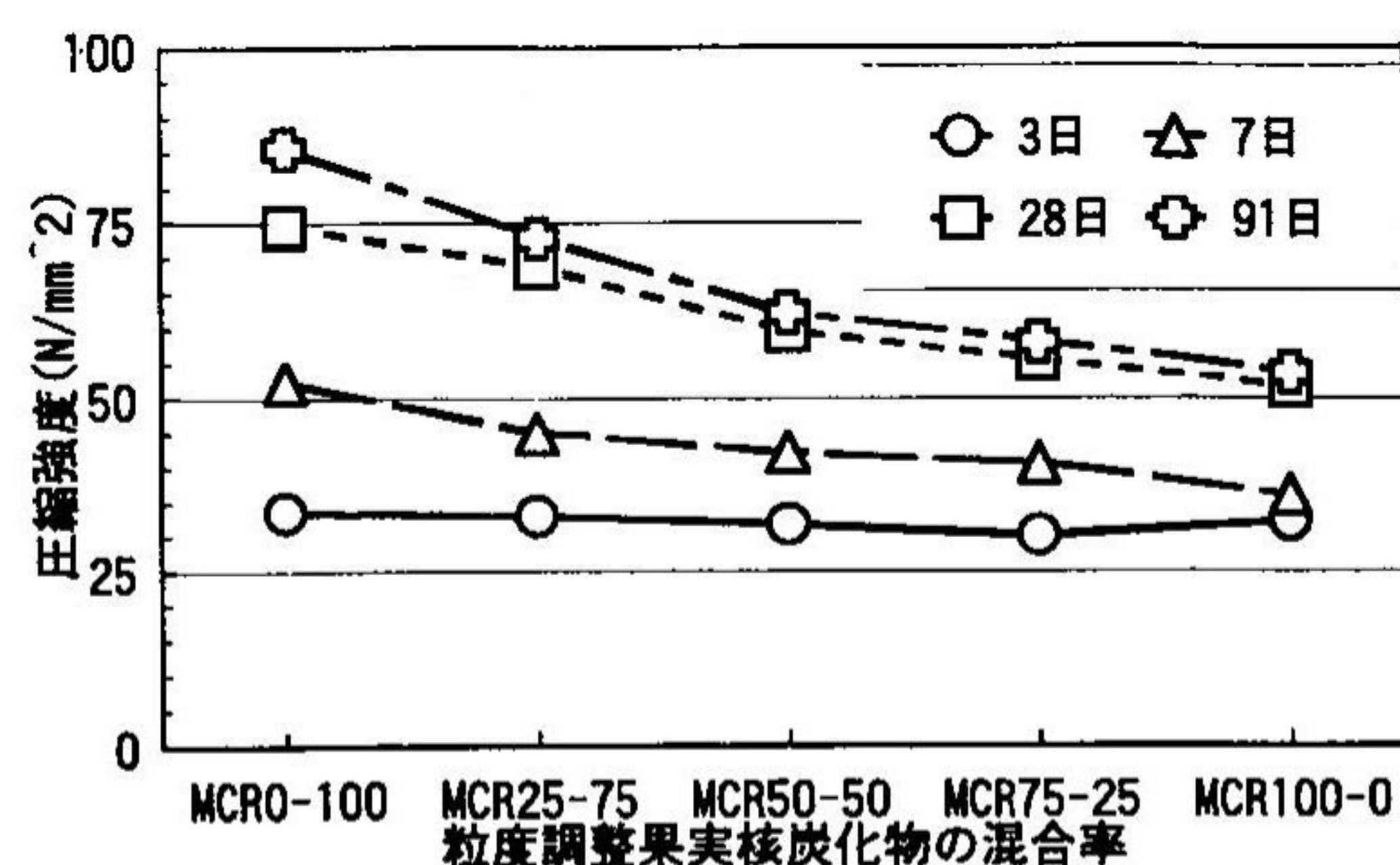


図9 粒度調整果実核炭化物の混合率と圧縮強度との関係

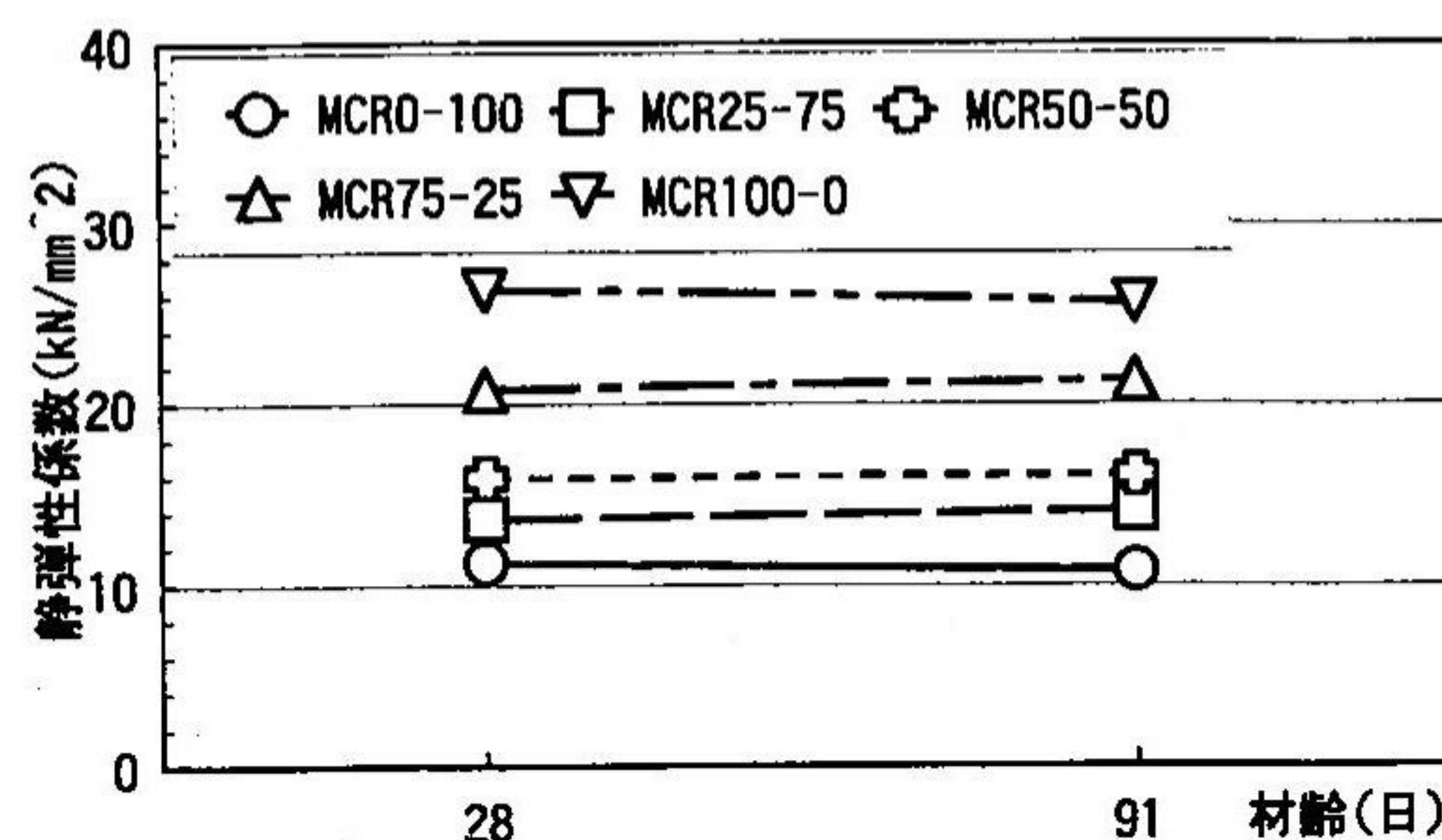


図10 モルタルの材齢と静弾性係数との関係

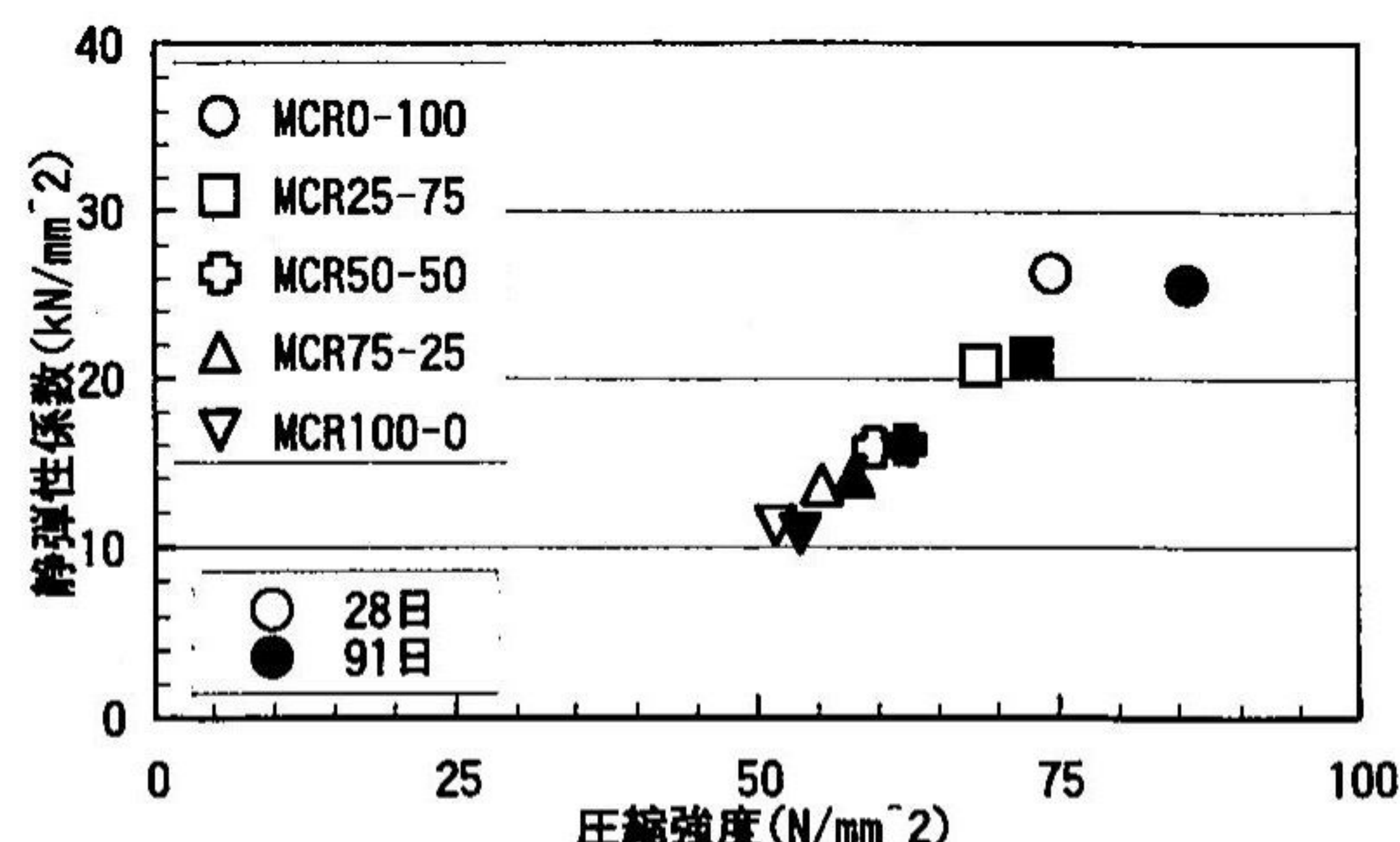


図11 モルタルの圧縮強度と静弾性係数との関係

に伴い増大する傾向を示す。モルタルの表乾密度と乾燥率との関係は、図14に示す通りである。モルタルの表乾密度が増加するに伴い乾燥率は減少する。また、各材齢においてモルタルの表乾密度と乾燥率との間には、相関関係が認められる。

7. まとめ

粒調炭化細骨材を用いたモルタルの強度特性等について実験を行い考察した。その結果をまとめると、次のように示される。

- 1) 粒調炭化細骨材の混合比率が大きいモルタルほど、スランプおよびフローは低下するが、作業性は概ね良好である。
- 2) 粒調炭化細骨材の混合率の増加に伴いモルタルの圧縮強度は低下するが、細骨材のすべてを粒調炭化細骨材で置換した場合でも、川砂モルタルの70%程度の圧縮強度が確保される。

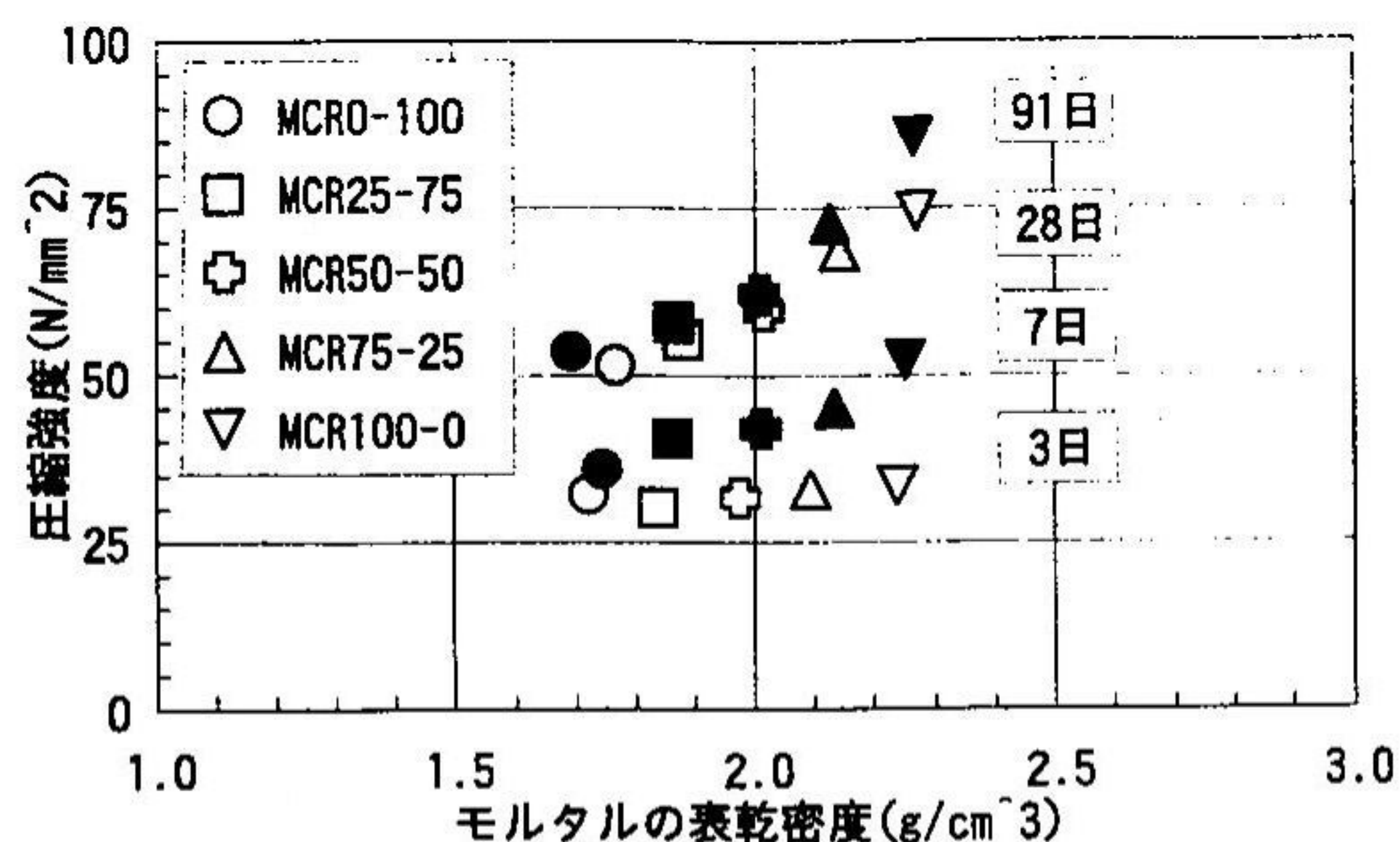


図12 表乾密度と圧縮強度との関係

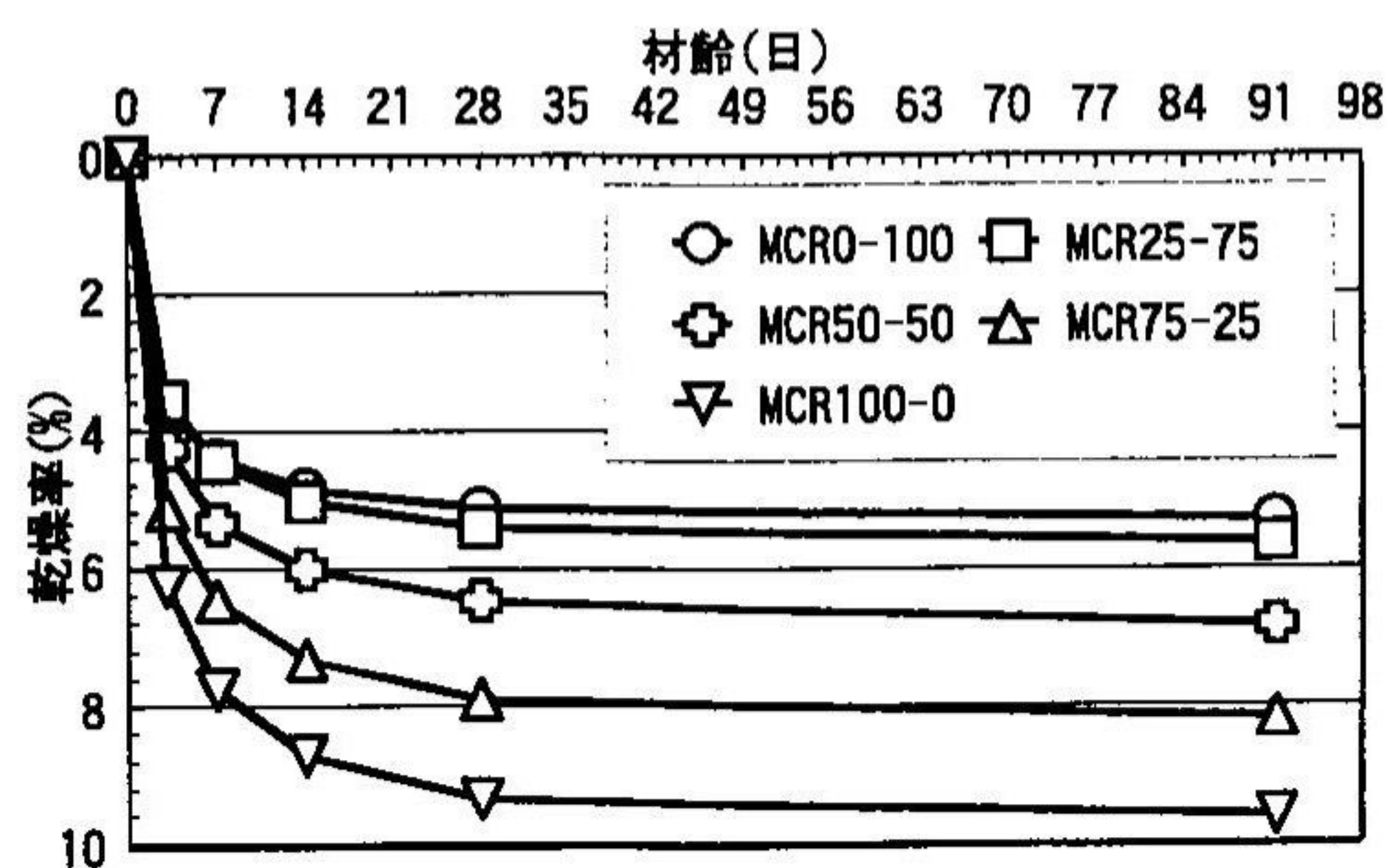


図13 モルタルの材齢と乾燥率との関係

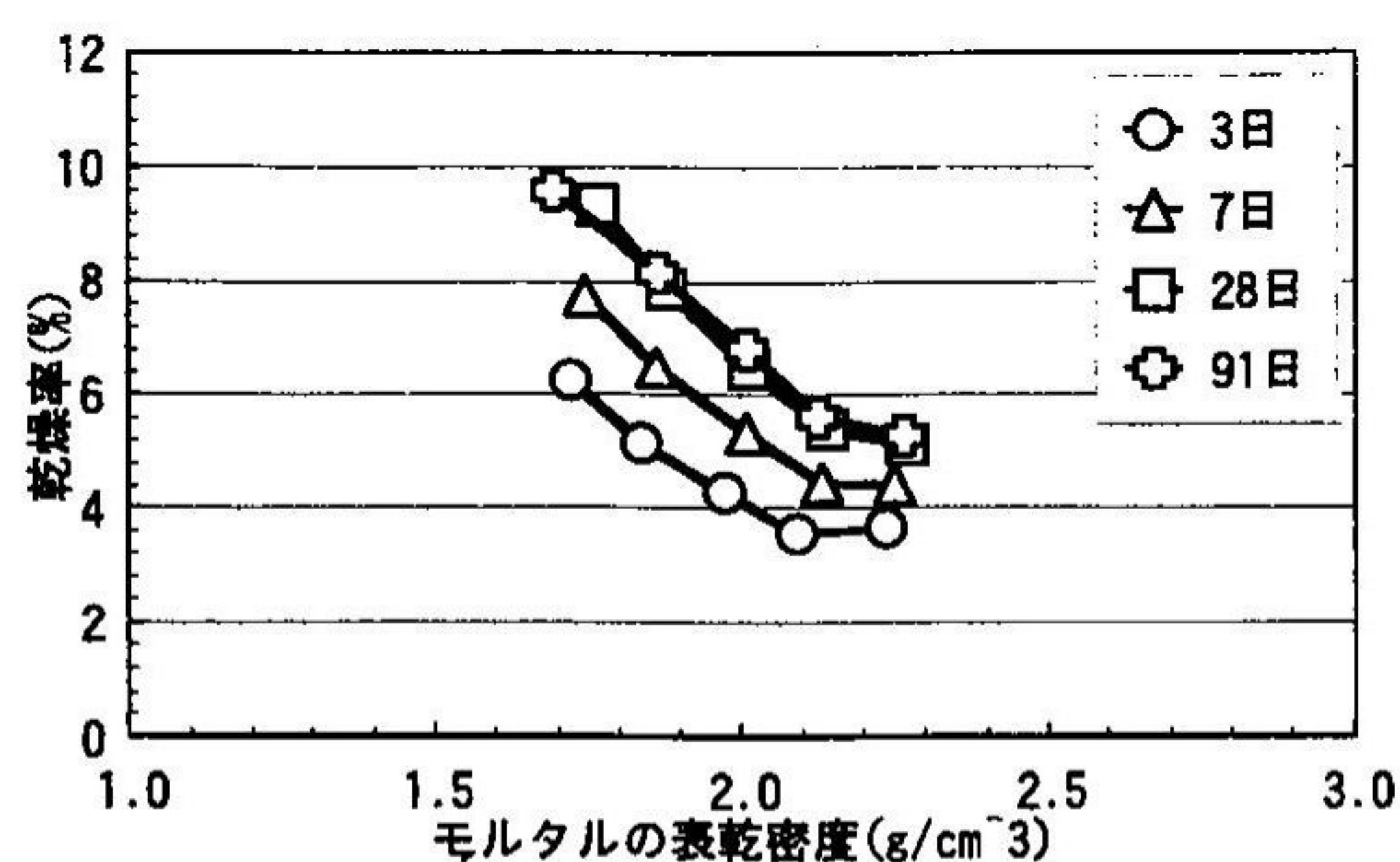


図14 モルタルの表乾密度と乾燥率との関係

- 3) モルタルの圧縮強度と静弾性係数との間には、相関関係が認められる。

- 4) 粒調炭化細骨材の混合率の増加に伴いモルタルの表乾密度および圧縮強度が低下し、表乾密度と圧縮強度との関係には、比例関係が認められる。

8. 謝辞

本研究は、早稲田大学理工学部建築学科・興石研究室との共同で実施しました。ご協力に対し感謝申し上げます。また、本研究を進めるにあたりご助言いただいた株式会社ワイエスエンジニアリング代表取締役横山晶寛様、並びに試料を提供していただいたハウス食品株式会社およびサンヨー缶詰株式会社に厚くお礼申し上げます。

9. 参考文献

本研究を進めるにあたり、以下の文献を参考にしました。

- 1) 真田雄三・藤本薫・鈴木基之編；新版活性炭，(1992.3)，講談社。
- 2) 柳井弘・石崎信男著；活性炭読本，(1976.4)，日刊工業新聞社。
- 3) 本多淳祐・山田優著；建設副産物・廃棄物のリサイクル，(1994.8)，財団法人 省エネルギーセンター。
- 4) 富士総合研究所；産業リサイクルのしくみ，(2001.4)，東洋経済。
- 5) 炭やきの会編；炭と木酢液，(1991.10)，家の光協会。
- 6) 有限会社炭文化研究所；炭の力，創森社，1-6(2001.6)，52～53。

〔受理年月日 2002年9月30日〕