

論文 軽量ポリエステルモルタルの強さに影響を及ぼす要因の検討

井出一直*1・大濱嘉彦*2・出村克宣*3・李 侖洙*4

要旨: 不飽和ポリエステル樹脂を結合材とし、人工軽量骨材を使用して製造する軽量ポリエステルモルタルの強さに及ぼす触媒及び促進剤添加率、養生温度及び材齢の影響について検討する。その結果、軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さは、触媒及び促進剤添加率の増加、養生温度の上昇及び材齢の経過に伴って増大することを明らかにしている。更に、各養生温度及び材齢別に軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さ算定式を提案している。

キーワード: 軽量ポリエステルモルタル, 触媒, 促進剤, 養生温度, 材齢, 強さ算定式

1. はじめに

一般に、軽量コンクリートは、圧縮強度18-25MPaの範囲において広く使用されているが、建築物の巨大化、高層化の進む現代においては、高強度軽量コンクリートの必要性から、高強度軽量骨材を用いることによって、60-70MPaの圧縮強度を有する高強度軽量コンクリートの開発も進んでいる[1]。一方、セメントを使用せずに不飽和ポリエステル樹脂のみを結合材とするポリエステルコンクリートは、その結合材の高強度に起因して、普通セメントコンクリートに比べて強度が著しく高い。従って、軽量コンクリートにおいても結合材としてセメントの代わりに不飽和ポリエステル樹脂を用いることによって、高強度化が可能であると考えられる。又、ポリエステルコンクリートは、触媒及び促進剤添加率を変化させることによって、使用用途に応じて、その可使時間や強度を制御することができることも大きな利点の一つである。しかしながら、一般に、触媒及び促進剤添加率が変化すると、結合材の強度発現性が変化するため、特に、ポリエステルコンクリートの初期材齢における強度に影響を及ぼすことになる。本研究では、10-40℃の温度範囲において養生される軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さに及ぼす触媒及び促進剤添加率の影響について検討する。その結果から、触媒及び促進剤添加率を調合因子とした時の軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さ算定式を提案する。

2. 使用材料

2. 1 結合材用材料

結合材としては、液状レジンである不飽和ポリエステル樹脂(UP)に、希釈剤としてスチレンモノマー(St)、触媒としてメチルエチルケトンパーオキサイド(MEKPO)、促進剤としてオクテン酸コバルトの8% mineral turpentine溶液(CoOc)を添加したものを使用した。液状レジンの性質を表-1に示す。

表-1 液状レジンの性質

Specific Gravity (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Styrene Content (%)	Acid Value
1.13	325	38.0	16.9

* 1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)
 * 2 日本大学教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)
 * 3 日本大学助教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)
 * 4 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻, 工修 (正会員)

2. 2 充填材及び軽量骨材

充填材としては、重質炭酸カルシウム(CaCO₃)、骨材としては、人工軽量骨材である膨張シェール(ES)を使用した。充填材及び軽量骨材の性質を表-2に示す。なお、充填材及び軽量骨材については乾燥させ、それらの含水率を0.1%以下として使用した。

表-2 充填材及び軽量骨材の性質

Type of Filler and Aggregate		Size (mm)	Apparent Specific Gravity (20°C)	Water Content (%)	Organic Impurities
Filler	Ground Calcium Carbonate (CaCO ₃)	<2.5x10 ⁻³	2.70	<0.1	Nil
Fine Aggregate	Expanded Shale (ES)	ES-1	2.5-5.0	1.35	<0.1
		ES-2	<2.5	1.62	<0.1

3. 試験方法

3. 1 供試モルタルの調製

供試モルタルの調合に先立って、結合材量できるだけ少なくすることを目的とし、骨材ESを主成分として、最密充填状態になるように、骨材の組成を定めた。次いで、10,20,30及び40°Cの条件下で、JIS A 1181(ポリエステルレジンコンクリートの強度試験用供試体の作り方)に準じて、表-3に示す結合材配合及び表-4に示す調合の供試モルタルを練混ぜた。なお、使用材料及び型枠については、各養生温度下に1日間静置して用いた。

3. 2 供試体の作製及び圧縮強さ試験

供試モルタルを寸法40x40x160mmに成形し、養生温度10,20,30及び40°Cで、6,12,24,72,120及び168時間養生を行い、供試体を作製した。なお、結合材の触媒及び促進剤添加率が極めて小さいため、これらの値が変化しても、供試体の見掛け比重は変化せず、1.73であった。養生後の供試体については、JIS A 1183(はりの折片によるポリエステルレジンコンクリートの圧縮強度試験方法)に準じて、圧縮強さ試験を行った。

4. 試験結果及び考察

図-1には養生温度10,20,30及び40°Cにおける軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと材齢の関係を示す。養生温度にかかわらず、軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは養生材齢の経過に伴って増大する。しかしながら、養生温度10°C、触媒及び促進剤添加率をそれぞれ0.25phrとした

表-3 結合材配合

Formulations by Mass			
UP	St	MEKPO (phr*)	CoOc (phr*)
100	12	0.25	0.25
			0.50
			0.75
		0.50	0.25
			0.50
			0.75
		0.75	0.25
			0.50
			0.75

Note, *phr : Parts per hundred parts of resin.

表-4 軽量ポリエステルモルタルの調合

Mix Proportions (vol%)				Filler-Binder Ratio
Binder	Filler	ES-1	ES-2	
25.2	15.6	19.7	39.5	0.62

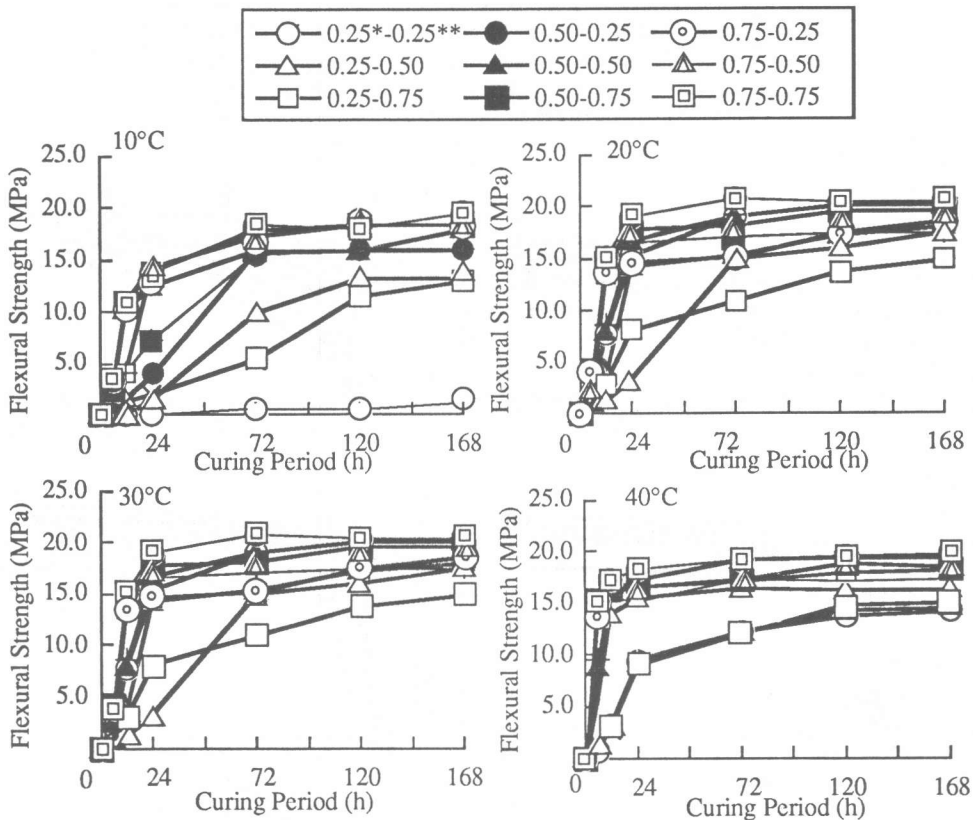


図-1 軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと材齢の関係
Notes, * : MEKPO Content (phr), ** : CoOc Content (phr)

軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは材齢が経過しても増大しない。しかし、触媒及び促進剤添加率がそれぞれ0.25phrの軽量ポリエステルモルタルであっても、養生温度20°C以上では、養生材齢168時間において、20MPa程度の曲げ強さを与える。これらのことから、10°Cで養生する場合には、触媒又は促進剤添加率を0.50phr以上とする必要があるものと推察される。触媒及び促進剤添加率がそれぞれ0.25phrのものを除けば、軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは、養生温度が高いほど、又、触媒及び促進剤添加率の大きいものほど早期に発現し、養生材齢120から168時間においてほぼ一定値に達し、その値は、12-20MPaを与える。一方、養生温度及び材齢にかかわらず、軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは、促進剤添加率よりも触媒添加率に支配される傾向にある。促進剤添加率にかかわらず、触媒添加率を0.50phr以上とした軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは、材齢の経過に伴って増加し、養生温度10°Cにおいては72時間、養生温度20°C以上では24時間でほぼ一定値に達する。促進剤添加率0.50phr以上で、触媒添加率を0.25phrとした軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは、いずれの養生温度においても、材齢の経過に伴って増加し、120時間以降において一定値に達する。なお、触媒添加率0.50phr以上の軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さは、養生温度にかかわらず、促進剤添加率の増加に伴って増大する傾向にあるが、触媒添加率0.25phrの場合のそれは、養生温度10-30°Cにおいて、促進剤添加率0.75phrのものが促進剤添加率0.50phrのものよりも小さい。これは、養生温度が低い場合には、触媒添加率に比べて、促進剤添加率が著しく大きい配合の結合材においては、曲げ強さ発現

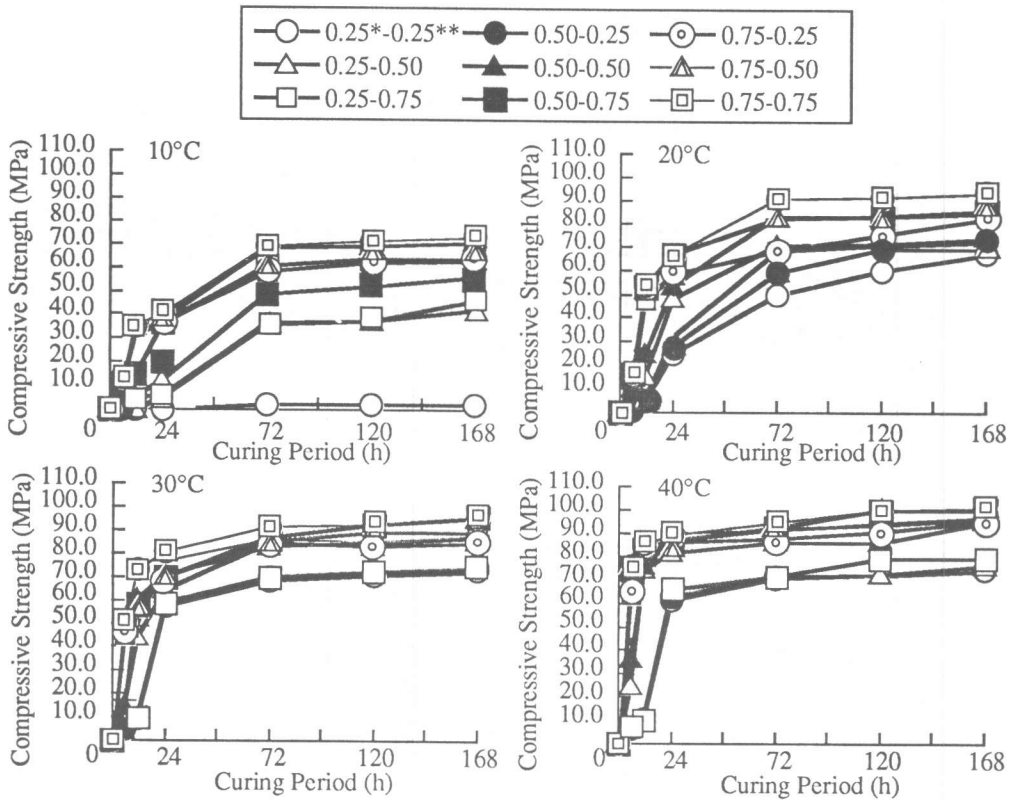


図-2 軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと材齢の関係
Notes, * : MEKPO Content (phr), ** : CoOc Content(phr)

に劣る結合材組織が形成されるためと推察される。

図-2には、養生温度10,20,30及び40℃における軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと材齢の関係を示す。曲げ強さと同様に、軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さは、材齢の経過、触媒及び促進剤添加率の増加及び養生温度の上昇に伴って増大する傾向にある。材齢6時間、養生温度を40℃とし、触媒添加率を0.75phrとした軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さは約64.0から76.0MPaで、触媒添加率0.25phrとしたその約10倍であり、触媒添加率の大きいものほど初期強さ発現が著しい。以上のように、不飽和ポリエステル樹脂の重合反応が逐次反応であること及びその硬化に伴って三次元網状構造が形成されて、ポリマーラジカルの反応が抑制されるため、軽量ポリエステルモルタルの強さ発現は、養生温度及び時間並びに、触媒及び促進剤添加率に大きく影響されるものと考えられる。そこで、軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さがほぼ一定値を示すようになる養生材齢24時間以降の各材齢における曲げ強さと触媒及び促進剤添加率の関係及び圧縮強さと触媒及び促進剤添加率の関係を整理してを示せば、図-3及び図-4のようになる。軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さと触媒及び促進剤添加率の間には相関性が認められ、その関係は次式のような一般式で表すことができ、実験定数a,b,c及びdは、養生温度及び材齢別に、それぞれ表-5のように表すことができる。

$$Fs = a(\text{CoOc} + 4 \sqrt{\text{MEKPO}}) + b \quad (1)$$

$$Cs = c(\text{CoOc} + 4 \sqrt{\text{MEKPO}}) + d \quad (2)$$

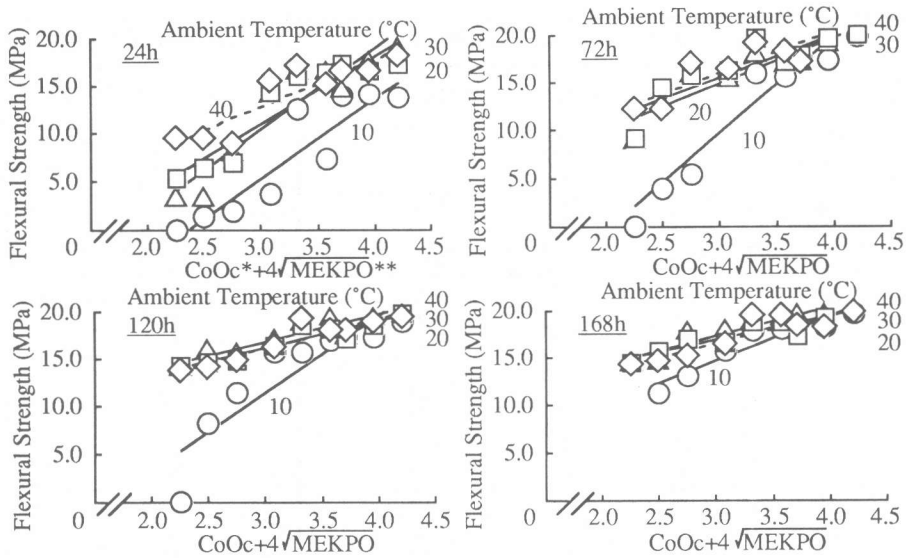


図-3 軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと触媒及び促進剤添加率の関係

Notes, * : CoOc Content (phr), ** : MEKPO Content (phr)

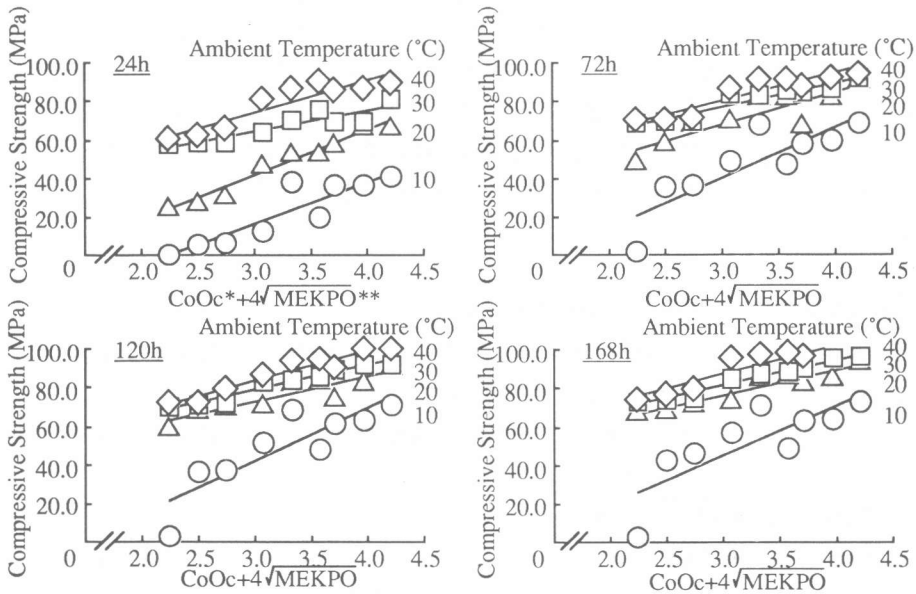


図-4 軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと触媒及び促進剤添加率の関係

Notes, * : CoOc Content (phr), ** : MEKPO Content (phr)

ここに、 F_s : 軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さ(MPa),

C_s : 軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さ(MPa), $CoOc$: 促進剤添加率(phr),

MEKPO : 触媒添加率(phr), a, b, c, d : 実験定数

一方、著者らは、触媒及び促進剤添加率を変化させることによって、軽量ポリエステルモルタルの可使時間が制御できることを明らかにすると共に、その可使時間算定式を得ている[2]。一

表-5 式(1)及び(2)における実験定数a,b,c及びd

Curing Period (h)	Ambient Temperature (°C)	Fs=a(CoOc+4√MEKPO)+b			Cs=c(CoOc+4√MEKPO)+d		
		Constant a	Constant b	Coefficient of Correlation	Constant c	Constant d	Coefficient of Correlation
24	10	8.17	-19.0	0.92	21.9	-49.7	0.91
	20	8.46	-15.0	0.93	23.6	-29.1	0.98
	30	7.01	-10.2	0.92	11.0	31.5	0.91
	40	5.02	-2.24	0.90	16.6	24.7	0.92
72	10	10.0	-20.4	0.93	26.7	-39.7	0.86
	20	4.77	0.54	0.92	17.2	16.4	0.88
	30	4.41	2.25	0.87	12.3	40.5	0.94
	40	4.35	2.85	0.91	13.7	39.3	0.92
120	10	8.13	-13.0	0.89	27.8	-41.6	0.86
	20	2.91	8.14	0.93	13.1	33.8	0.91
	30	2.81	7.79	0.94	12.6	41.0	0.97
	40	3.13	6.75	0.93	15.6	36.7	0.96
168	10	4.70	0.60	0.95	25.9	-32.4	0.81
	20	3.09	8.06	0.94	12.8	37.8	0.95
	30	2.56	9.22	0.93	12.9	42.9	0.98
	40	3.00	7.55	0.91	15.2	41.6	0.93

般に、ポリマーコンクリートは、所要の可使時間を得るための触媒及び促進剤添加率を定めた上で、製造される。従って、軽量ポリエステルモルタルを製造する場合、所定の可使時間が得られる触媒及び促進剤添加率を選択した上で、式(1)及び式(2)を用いることによって、製造される軽量ポリエステルモルタルの各養生条件における曲げ及び圧縮強さを容易に算出できる。換言すれば、決定した触媒及び促進剤添加率において所要の曲げ及び圧縮強さを有する軽量ポリエステルモルタルを製造するための養生条件を決定することが可能である。

5. 結論

以上の試験結果を結論づければ、次の通りである。

- (1) 軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さは、材齢の経過、触媒及び促進剤添加率の増加及び養生温度の上昇に伴って増大する傾向にある。
- (2) 軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さ算定式として、次式が提案できる。

$$F_s = a(\text{CoOc} + 4\sqrt{\text{MEKPO}}) + b$$

$$C_s = c(\text{CoOc} + 4\sqrt{\text{MEKPO}}) + d$$

ここに、Fs：軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さ(MPa),

Cs：軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さ(MPa), CoOc：促進剤添加率(phr),

MEKPO：触媒添加率(phr), a,b,c,d：養生温度及び時間によって定まる実験定数

参考文献

- [1] 伊藤祐二：高強度軽量コンクリートの材料特性に関する最近の研究，コンクリート工学，Vol.32, No.5, pp.57-61, 1994.5
- [2] 李 命洙，大濱嘉彦，出村克宣：軽量ポリエステルモルタルの可使時間の制御，日本建築学会東北支部研究報告集，No.59, pp.341-344, 1996.6