軽量ポリエステルモルタルの調合要因の検討

INFLUENCES OF MIX PROPORTIONING FACTORS ON PROPERTIES
OF LIGHTWEIGHT POLYESTER MORTARS

李 侖洙*, 大濱嘉彦**, 出村克宣***, 井出一直****

Younsul LEE, Yoshihiko OHAMA, Katsunori DEMURA and Kazunao IDE

As a model investigation for the development of lightweight polyester concretes with high strength, lightweight polyester mortars using unsaturated polyester resin and lightweight aggregates are prepared with various mix proportions, and tested for slump, working life, apparent specific gravity, flexural and compressive strengths. As a result, their slump and working life can be controlled, and their flexural and compressive strengths are 9.7 to 22.0 MPa and 23.0 to 100.8 MPa respectively at apparent specific gravities of 0.86 to 1.73. Equations for predicting their compressive strength are proposed for different aggregates.

Keywords : polyester mortars, lightweight aggregates, apparent specific gravity, working life, strength, slump

ポリエステルモルタル, 軽量骨材, 見掛け比重, 可使時間, 強さ, スランプ

1. はじめに

建築分野では、セメントコンクリートは耐久的、経済的な構造材料として常用されているが、他の構造材料に比べると、強度のわりに質量が大きいために大きな欠点である。従って、建築物の巨大化、高層化の進む現代においては、軽量、且つ高強度、換言すれば、比強度の大きなコンクリートを開発する必要性が高まっている。

一方、液状レジン、その比重がセメントの比重の約1/3であり、しかも、その接着強さがセメント水和物よりも相当に高いので、この液状レジンを結合材とし、良質の軽量骨材を併用するならば、セメントコンクリートよりも比強度の大きいポリマーコンクリートの製造が可能であると考えられる¹⁾。セメントコンクリートと比較して、ポリマーコンクリートは、早期に高強度を発現するばかりでなく、水密性、耐薬品性、耐凍結融解性などに優れる。軽量ポリマーコンクリートにおいても、これらの利点を利用することができる。

本研究では、液状レジンとして比較的安価な不飽和ポリエステル樹脂を用いた軽量ポリエステルコンクリート

の開発にとって最も重要な調合設計法の確立を目的として、そのモデルとしての軽量ポリエステルモルタルを製造し、まだ固まらない時のスランプ及び可使時間と硬化した時の強度性状に及ぼす調合要因の影響について検討する。更に、圧縮強度性状の知見をもとに、軽量ポリエステルモルタルの圧縮強度算定式を提案する。

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)、促進剤としてオクテン酸コバルトの8% mineral turpentine溶液(CoOc)、触媒としてメチルエチルケトンパーオキサイド(MEKPO)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。

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)、中空ガラス微粉末(HG)及び中空フライアッシュ(HF)を、軽量骨材としては、膨張シェール(ES)、発泡ガラス(FG)、中

* 日本大学工学部建築学科 大学院生・工修

** 日本大学工学部建築学科 教授・工博

*** 日本大学工学部建築学科 助教授・工博

**** 日本大学工学部建築学科 大学院生

Graduate Student, Dept. of Architecture, College of Engineering, Nihon Univ., M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, College of Engineering, Nihon Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, College of Engineering, Nihon Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture, College of Engineering, Nihon Univ.

表1 液状レジンの性質

Specific Gravity (20℃)	Viscosity (20℃, mPa・s)	Styrene Content (%)	Acid Value
1.13	325	38.0	16.9

空溶融アルミナ(HFA)及び中空ムライト(HM)を使用した。充填材及び軽量骨材の性質を表2に示す。

表2 充填材及び軽量骨材の性質

Type of Filler and Aggregate		Size (mm)	Specific Gravity (20℃)	Water Content (%)	Organic Impurities
Filler	Ground Calcium Carbonate (CaCO ₃)	<2.5×10 ⁻³	2.70	<0.1	Nil
	Hollow Glass (HG)	10-120×10 ⁻³	0.45	<0.1	Nil
	Hollow Fly Ash (HF)	10-350×10 ⁻³	0.40	<0.1	Nil
Fine Aggregate	Expanded Shale (ES)	ES-1 2.5-5.0	1.35	<0.1	Nil
		ES-2 <2.5	1.62	<0.1	Nil
	Foamed Glass (FG)	FG-1 2.5-5.0	0.36	<0.1	Nil
		FG-2 1.2-2.5	0.42	<0.1	Nil
		FG-3 0.3-1.2	0.45	<0.1	Nil
	Hollow Fused Alumina (HFA)	0.1-5.0	0.70	<0.1	Nil
	Hollow Mullite (HM)	150-300×10 ⁻³	0.40	<0.1	Nil

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、充填材及び骨材の組成を容積比によって、次のように定めた。

充填材組成 (1) CaCO₃:HG=1:2 (HG)
(2) CaCO₃:HF=1:2 (HF)
(3) CaCO₃ (CC)

骨材組成 (1) ES-1:ES-2=1:2 (ES)
(2) FG-1:FG-2:FG-3:HM=2:1:1:1 (FG)
(3) HFA:HM=4:1 (HFA)

次に、各骨材組成当たり3種類の充填材組成を用いて、骨材組成と充填材組成の組合せを9種類作り、各組合せごとに、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、結合材配合をUP:St:CoOc:MEKPO=100:12:0.5:0.5(質量比)とし、表3に示す調合の供試モルタルを練混ぜた。

表3 軽量ポリエステルモルタルの調合

Mix Proportions by Volume			Filler-Binder Ratio, Vf/Vb (by Volume)
Binder (Vb)	Filler (Vf)	Aggregate	
23.6	8.7	67.7	0.37
	10.9	65.5	0.46
	14.6	61.8	0.62
24.4	9.0	66.6	0.37
	11.2	64.4	0.46
	15.1	60.5	0.62
25.2	9.3	65.5	0.37
	11.6	63.2	0.46
	15.6	59.2	0.62

3.2 スランブ試験

JIS A 1173 (ポリマーセメントモルタルのスランブ試験方法)に準じて、供試モルタルのスランブ試験を行った。なお、スランブ試験に際して、スランブコーン引き上げ60秒後のスランブを測定した。

3.3 可使時間試験

JIS A 1186 (ポリエステルレジンコンクリートの可使時間測定方法)の触感法に準じて、10、20及び30℃の温度条件下で調製した供試モルタル(充填材にはCaCO₃のみを使用)の可使時間を測定した。なお、可使時間試験に際しては、表4に示す結合材配合を用いた。

表4 結合材の配合

Formulations by Mass			
UP	St	CoOc	MEKPO
100	12	0.25	0.25
			0.5
			0.75
		0.5	0.25
			0.5
			0.75
		0.75	0.25
			0.5
			0.75

3.4 供試体の作製

供試モルタルを寸法40×40×160mmに成形し、1日乾燥(20℃、50%R.H.)養生後、15時間加熱(80℃)養生を行い、供試体を作製した。なお、加熱養生後の供試体の質量をその容積(寸法40×40×160mmとして算出、256cm³)で除して、見掛け比重を求めた。

3.5 曲げ及び圧縮強さ試験

JIS A 1184(ポリエステルレジンコンクリートの曲げ

強度試験方法)及び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、供試体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。なお、曲げ及び圧縮強さを見掛け比重で除して、比強度を求めた。

3. 6 結合材と充填材から成るポリエステルペーストの圧縮強さ試験

JIS A 1181に準じて、3.1に示した組成を持つ充填材と結合材のみを、充填材－結合材比が0.37、0.46及び0.62となるように練混ぜて、ポリエステルペーストを調製した。ポリエステルペーストを寸法 $\phi 5 \times 10$ cmに成形し、1日乾燥(20℃、50%R. H.)養生後、15時間加熱(80℃)養生を行い、供試体を作製した。その後、JIS A 1183に準じて、供試体の圧縮強さ試験を行った。

4. 試験結果

図1には、軽量ポリエステルモルタルのスランプと結合材量の関係を示す。結合材量の増加に伴って、軽量ポリエステルモルタルのスランプは増大する傾向にある。しかしながら、軽量骨材の種類によって、その傾向は大きく異なり、ESを用いた軽量ポリエステルモルタルのスランプは小さく、FG及びHFAを用いた軽量ポリエステルモルタルのスランプは大きい傾向にある。これらのことから、軽量ポリエステルモルタルのスランプは、軽量骨材の種類や結合材量に大きく影響されるものと推察される。

図1 軽量ポリエステルモルタルのスランプと結合材量の関係

図2から図4には、各試験温度下における各種軽量骨材を用いた軽量ポリエステルモルタルの可使時間と促進剤及び触媒添加率の関係を示す。当然のことながら、温度の上昇と促進剤及び触媒の添加率の増加に伴って、軽量ポリエステルモルタルの可使時間は短くなる。又、触媒添加率よりも、促進剤添加率による可使時間の変化が顕著であることから、触媒よりも促進剤の方が、軽量ポリエステルモルタルの可使時間に及ぼす影響は大きい。いずれにしても、10、20及び30℃において、軽量ポリエステルモルタルの可使時間を、触媒と促進剤の添加率を

変化させて、十分に制御できることが分かる。

図2 ESを用いた軽量ポリエステルモルタルの可使時間とCoOc及びMEKPO添加率の関係
* phr : Parts per hundred parts of resin

図3 FGを用いた軽量ポリエステルモルタルの可使時間とCoOc及びMEKPO添加率の関係
* phr : Parts per hundred parts of resin

図4 HFAを用いた軽量ポリエステルモルタルの可使時間とCoOc及びMEKPO添加率の関係
* phr : Parts per hundred parts of resin

図5から図7には、軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと結合材量の関係を、図8から図10には、軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと結合材量の関係を示す。充填材及び軽量骨材の種類にかかわらず、軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さは、一部を除いて、結合材量及び充填材—結合材比の増加に伴い増大する傾向にある。これは、結合材量の増加に伴い、流動性が向

上し、より密実な組織が得られたこと、又、軽量骨材よりも高い強さを持つ結合材の増加に起因するものと推察される。軽量骨材の種類にかかわらず、軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さは、充填材として CaCO_3 を用いた時に最も高く、次いで、HG、HFの順となる。このことは、後述するポリエステルペーストの圧縮強さと充填材の種類の関係に一致する。

図5 ESを用いた軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと結合材量の関係

図6 FGを用いた軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと結合材量の関係

図7 HFAを用いた軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと結合材量の関係

図8 ESを用いた軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと結合材量の関係

図9 FGを用いた軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと結合材量の関係

図10 HFAを用いた軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと結合材量の関係

図1 1及び図1 2には、軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さと見掛け比重の関係を示す。軽量ポリエステルモルタルは、見掛け比重が0.86-1.73の範囲で、9.7-22.0MPaの曲げ強さ(比強度：9.2-16.5MPa)及び23.0-100.8MPaの圧縮強さ(比強度：27.6-63.0MPa)を発現する。一般に、軽量ポリエステルモルタルの強さは、軽量骨材の種類に大きく影響される。軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さは、一部を除けば、軽量骨材として、ESを用いた時が最も高く、次いでHFA、FGの順となる。本研究で用いた軽量骨材の比重は、ES>HFA>FGの順に小さく、比重の小さいもの程、強さが低いと考えられる。一般的に、軽量コンクリートの強度は、骨材の強度に支配され、高強度を発現する軽量コンクリートを得るには、高強度の骨材を用いる必要があると考えられているが、軽量ポリエステルモルタルにおいても同様のことがいえる。

図1 1 軽量ポリエステルモルタルの曲げ強さと見掛け比重の関係

図1 2 軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さと見掛け比重の関係

図1 3には、結合材と充填材からなるポリエステルペーストの圧縮強さと充填材-結合材比の関係を示す。ポリエステルペーストの圧縮強さは、充填材-結合材比の増加に伴って若干増大する傾向にある。又、ポリエステルペーストの圧縮強さは充填材としてCaCO₃を用いたものが最も大きく、この圧縮強さに比べて、HG及びCBを用いたポリエステルペーストの圧縮強さは相当に小さい。これは、充填材の強さに起因するものと考えられる。

図1 3 ポリエステルペーストの圧縮強さと充填材-結合材比の関係

一般に、複合材料の性質を把握する場合、その性質を構成成分それぞれの容積比で表す複合則の考え方が適用できる²⁾。ポリエステルコンクリートにおいても、使用する骨材の圧縮強度と調合から、製造されるポリエステルコンクリートの圧縮強度を算定できるとされている³⁾。しかしながら、軽量ポリエステルモルタルにおいては、使用する軽量骨材の強さの実測が困難である。そこで、変数に軽量骨材の強さを含まず、充填材をマトリックスの成分と考え、ポリエステルペースト(結合材+充填材)の圧縮強さ及び容積分率を変数として、図1 4のように、複合則に基づいて、軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さの算定を試みる。図中に示すように、軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さは、軽量骨材別に次の実験式で表される。

人工軽量骨材 : ES

$$\sigma = 1.01 \sigma_p V_p + 75.8(1-V_p) \quad (1)$$

人工軽量骨材 : FG

$$\sigma = 0.563 \sigma_p V_p + 18.3(1-V_p) \quad (2)$$

人工軽量骨材 : HFA

$$\sigma = 1.08 \sigma_p V_p + 22.8(1-V_p) \quad (3)$$

ここに、 σ : 軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さ (MPa)

σ_p : ポリエステルペースト (結合材+充填材) の圧縮強さ (MPa)

V_p : ポリエステルペースト (結合材+充填材) の容積分率

図1-4 軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さの算定図

従って、ここで得られた圧縮強さ算定式を適用すると、本研究で用いた調合の軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さを算定することができる。

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) 結合材量の増加に伴って、軽量ポリエステルモルタルのスランプは増大する傾向にある。
- (2) 10, 20及び30℃において、軽量ポリエステルモルタルの可使時間は、触媒と促進剤の添加率を変化させて制御できる。
- (3) 本研究で開発した軽量ポリエステルモルタルは、見掛け比重が0.86-1.73の範囲で、9.7-22.0MPaの曲げ強さ(比強度：9.2-16.5MPa)及び23.0-100.8MPaの圧縮強さ(比強度：27.6-63.0MPa)を発現する。
- (4) 軽量ポリエステルモルタルの曲げ及び圧縮強さは、結合材量並びに充填材-結合材比の増加に伴い増大する傾向にある。
- (5) 本研究で用いた調合の軽量ポリエステルモルタルについては、複合則を適用して提案した次の実用強さ算定式を用いて、その圧縮強さを算定できる。

$$\sigma = A\sigma_p V_p + B(1-V_p)$$

ここに、 σ ：軽量ポリエステルモルタルの圧縮強さ (MPa)

σ_p ：ポリエステルペースト(結合材+充填材)

V_p ：ポリエステルペースト(結合材+充填材)の容積分率

A, B：軽量骨材の種類によって定まる実験定数

以上述べた軽量ポリエステルモルタルにおいて得られた結論をもとに、軽量ポリエステルコンクリートの調合

要因を検討し、その調合設計法の確立を目指すことにする。

本研究で開発した軽量ポリエステルモルタルは、それ自体、鉄筋コンクリート構造物において、特に、天井や壁など、施工時に補修材料が自重で落下する恐れのある部位に有効に使えるものと考えられる。

一般に、ポリマーコンクリートは耐火性に乏しいことが一大欠点である。この改善については、軽量ポリエステルコンクリートの開発が完了した時点で、その難燃化及び耐火被覆について検討する予定である。

参考文献

- 1) Kawakami, M., Tokuda, H. and Kagaya, M. : Some Physical Properties of Light Weight Polymer Concrete, Plastics in Material and Structural Engineering, ICP/RILEM/IBK International Symposium, Part 1, Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Czechoslovak Academy of Science, pp.311-315, 1981.6
- 2) 藤井太一, 座古 勝：複合材料の破壊と力学, 実教出版, p.13, 1992.4
- 3) Ohama, Y. and Demura, K. : Effect of Coarse Aggregate on Compressive Strength of Polyester Resin Concrete, The International Journal of Cement Composites, Vol. 1, No. 3, pp.111-115, 1979.11

(1996年4月8日原稿受理, 1996年7月25日採用決定)