

論文 石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの基礎的性質

八木 将太郎*1・齋藤 俊克*2・出村 克宣*3

要旨: 本研究では、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの強さ性状及び耐硫酸塩性について検討している。その結果、ポリマーセメント比の増加に伴い石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの曲げ強さは改善されるものの、圧縮強さは若干低下する傾向にある。又、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの耐硫酸塩性は、ポリマーセメント比の増加に伴って改善される傾向にある。更に、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの強さ性状及び耐硫酸塩性は、標準砂を用いたものそれらと遜色がなく、石灰岩砕砂はポリマーセメントモルタル用細骨材として有用である。

キーワード: 石灰岩砕砂, ポリマーセメントモルタル, 曲げ強さ, 圧縮強さ, 耐硫酸塩性

1. はじめに

石灰岩は炭酸カルシウムを主成分とした堆積岩であり、セメント原料など様々な分野で幅広く利用されている。近年では、セメントコンクリート用骨材として、砕石に加工して用いられることが多くなり、コンクリート用骨材に占める石灰岩骨材の割合が増加している^{1), 2)}。このような背景には、良質な川砂利・川砂などが枯渇している現状に加え、シリカ分を含まない石灰岩は、他の岩石に比べて、セメントコンクリート用骨材として使用した際にアルカリシリカ反応を生じる懸念が少ないことや自己収縮や乾燥収縮が小さくできること^{3), 4), 5)}などの利点を持つことによると考えられる。

又、鉄筋コンクリート構造物の補修用モルタルに多く用いられているけい砂についても、資源の枯渇が叫ばれており、石灰岩砕砂がその代替材料として使用され始めている。一般に、補修用モルタルのほとんどはポリマーセメントモルタルであるが、それに石灰岩砕砂を用いた場合の強さ性状に関する研究はほとんど見当たらないのが現状である。一方、沿岸域における鉄筋コンクリート構造物の補修用モルタルとしての用途や、近年の大気環境を考慮すれば、その耐硫酸塩性もポリマーセメントモルタルの基礎的性質の一つの評価指標となると考えられる。

そこで、本研究では、2種類の石灰岩砕砂及び標準砂を用い、セメント混和用ポリマーエマルジョン並びに再乳化形粉末樹脂を用いたポリマーセメントモルタルの強さ性状及び耐硫酸塩性について検討している。

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントとしては、JIS R 5210(ポルトランドセメント)

に規定される普通ポルトランドセメントを使用した。その性質を **Table 1** に示す。

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Ordinary Portland Cement.

Density (g/cm ³)	Blaine Specific Surface (cm ² /g)	Setting Time (h-min)		Compressive Strength of Mortar (MPa)		
		Initial Set	Final Set	3d	7d	28d
3.16	3370	1-59	3-20	31.0	47.0	62.0
Chemical Compositions (%)						
MgO	SO ₃	ig. loss	Total Alkali	Chloride Ion		
1.78	2.17	1.82	0.54	0.021		

2.2 細骨材

細骨材としては、阿武隈山系石灰岩砕砂 (LS-A と略称する)、鈴鹿山系石灰岩砕砂 (LS-S と略称する) 及び ISO 標準砂 (SS と略称する) を用いた。なお、LS-A と LS-S の外観を **Photo 1** に示す。



LS-A

LS-S

Photo 1 Appearance of Limestone Crushed Sands.

2.3 練混ぜ水

練混ぜ水としては、水道水を使用した。

2.4 セメント混和用ポリマー

セメント混和用ポリマーとしては、スチレン/アクリル酸エステル共重合樹脂 (SA) 及びアクリル酸エステ

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 工学部建築学科助教 博士 (工学) (正会員)

*3 日本大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

ル・メタクリル酸エステル共重合樹脂 (AM) エマルジョン (それぞれ, SA-E 及び AM-E と略称する) 並びに, 酢酸ビニル・ベオバ・アクリル共重合樹脂 (VVA) 及びアクリル酸エステル・メタクリル酸エステル共重合樹脂 (AM) を主成分とする再乳化形粉末樹脂 (それぞれ, VVA-P 及び AM-P と略称する) を用いた。それらの性質を Table 2 に示す。

Table 2 Properties of Polymer Emulsions.

Type of Polymer	Volatile Content (%)	Viscosity (mPa · s)	Density (g/cm ³)	Minimum Temperature of Film Formation (°C)
SA-E	50	200	1.04	20
AM-E	45	300	1.05	0
VVA-P	99±1	-	0.53	0
AM-P	99±1	-	0.50	0

2.5 消泡剤

消泡剤としてはシリコン系粉末消泡剤を使用し, 再乳化形粉末樹脂に対して 0.5% 添加した。

2.6 試薬

試薬としては, 工業用硫酸ナトリウム (Na₂SO₄) を使用した。

3. 試験方法

3.1 骨材の試験

石灰岩砕砂 LS-A, LS-S 及び標準砂 SS について, JIS A 1102 (骨材のふるい分け試験方法), JIS A 1109 (細骨材の密度及び吸水率試験方法) 及び JIS A 1104 (骨材の単位容積質量及び実積率試験方法) に従って試験し, それらの粒度分布, 密度, 吸水率及び実積率を算出した。その結果を Fig.1 及び Table 3 に示す。

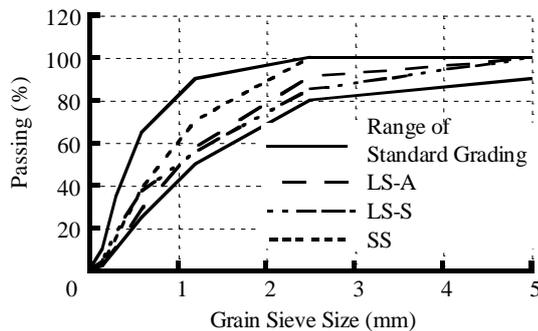


Fig.1 Particle Size Distribution of Various Fine Aggregates.

Table 3 Properties of Fine Aggregates.

Type of Fine Aggregate	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)	Solid Content (%)	Fineness Modulus
LS-A	2.60	0.79	57.0	3.09
LS-S	2.57	0.91	58.0	3.00
SS	2.64	0.42	67.0	3.26

3.2 供試体の作製

セメント: 細骨材=1:3 (質量比), ポリマーセメント比, 0, 5, 10 及び 20% とし, そのフロー値が 170±5 となるように水セメント比を調整した供試ポリマーセメントモルタルを, JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法) に従って, 練り混ぜ調製し, 空気量を測定した。その後, 調製したポリマーセメントモルタルを寸法 40×40×160mm に成形し, 2d 湿空 [20°C, 90% (RH)], 5d 水中 (20°C) 及び 21d 乾燥 [20°C, 60% (RH)] 養生を行って供試体とした。なお, 曲げ強さ試験で破断した試験片の一方を圧縮強さ試験に供し, もう一方の試験片については, コンクリートカッターを用いて寸法 40×40×40mm に切断し, 耐硫酸塩性試験用供試体とした。

3.3 曲げ及び圧縮強さ試験

養生後の供試体について, JIS A 1171 に従って, 供試体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

3.4 耐硫酸塩性試験

JCI-SPC16 [ポリマーセメントモルタルの耐薬品性試験方法 (案)] に従って, 供試体の耐硫酸塩性試験を行った。試験液としては, 蒸留水を用いて調整した濃度 10% の Na₂SO₄ 溶液を使用した。なお, 供試体の浸せき期間は 84 日とし, その経過中の質量変化率を算出すると共に, 浸せき終了時に外観変化を評価した。

4. 試験結果及び考察

Fig.2 には, 石灰岩砕砂及び標準砂を用いたポリマーセメントモルタルの水セメント比の関係を示す。なお, 横軸は標準砂, 縦軸は石灰岩砕砂を用いたものの水セメント比とし, 同一のセメント混和用ポリマーを使用したポリマーセメント比が同じポリマーセメントモルタルの水セメント比を一つのプロットとしている。

一般に, フロー値を一定とするポリマーセメントモルタルにおいては, ポリマーセメント比の増加に伴って水

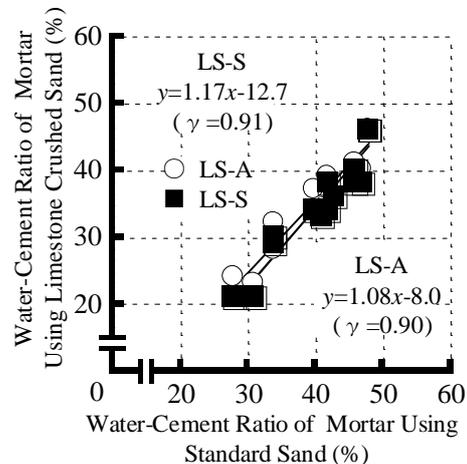


Fig.2 Comparison between Water-Cement Ratios of Polymer-Modified Mortars Using Standard Sand and Limestone Crushed Sand.

セメント比が低下する傾向にある。これは、セメント混和用ポリマーの持つ界面活性効果やポリマー粒子のボールベアリング効果によるものである。この図によれば、標準砂を用いたものに比べて、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの方が小さな水セメント比となる傾向にある。本研究では、石灰岩砕砂を表面乾燥飽水状態として使用している。一方、標準砂は乾燥状態で使用すると規定されている。本研究でもそのような状態で使用しているが、これは、標準砂がけい砂であり、ほとんど含水しないことによるものである。しかしながら、標準砂の表面は乾燥しているため、ポリマーセメントモルタルの練混ぜ水はその表層部に吸着するものと推察される。又、本研究に使用した石灰岩砕砂に比べて、標準砂は微粒分が多いため、水分の吸着水量は多くなるものと考えられる。これらのことから、水セメント比の差異が生じているものと推察される。

Fig.3には、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの曲げ強さとポリマーセメント比の関係を示す。セメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、標準砂及びいずれの石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタル

の曲げ強さとも、ポリマーセメント比の増加に伴って増大する傾向にある。しかしながら、その増加の程度は、再乳化形粉末樹脂を用いたものに比べて、エマルジョンを用いたものの方が大きい。又、ポリマーセメント比の増加に伴う曲げ強さの改善効果は、石灰岩砕砂 LS-A を用いたものに比べて、石灰岩砕砂 LS-S を用いたポリマーセメントモルタルの方が優れる傾向にある。石灰岩砕砂 LS-A 及び LS-S とも、それらの粒度分布は JIS に規定される細骨材の標準粒度範囲にあるものの、LS-S の方が細粒から粗粒までほぼ均質に分布しており、粒度分布の違いが強さ発現に影響しているものと推察される。このことは、粒度分布が異なると骨材粒子の充てん状態が異なり、強さ試験時のひび割れの進展に影響を及ぼすことによるものと考えられる。

Fig.4には、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの圧縮強さとポリマーセメント比の関係を示す。曲げ強さの場合とは異なり、一部のものを除けば、セメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、標準砂及びいずれの石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの圧縮強さとも、ポリマーセメント比の増加に伴って若干

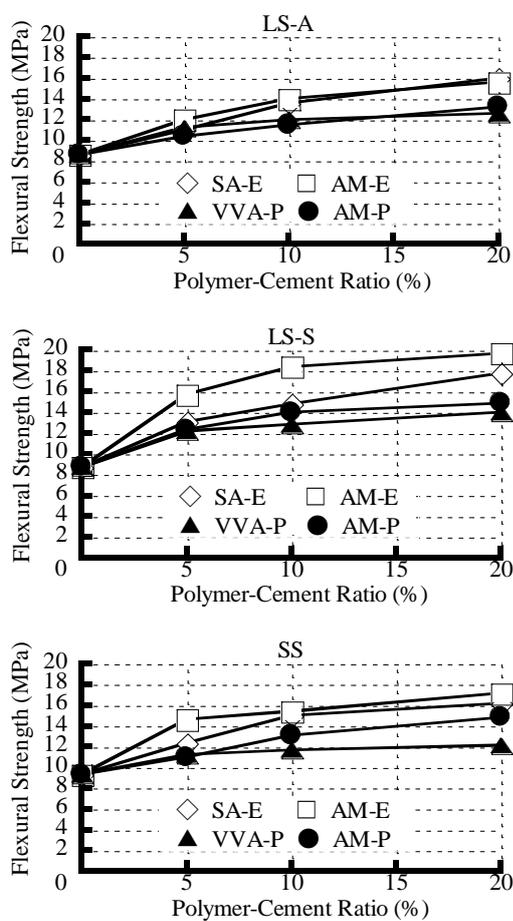


Fig.3 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars Using Limestone Crushed Sand.

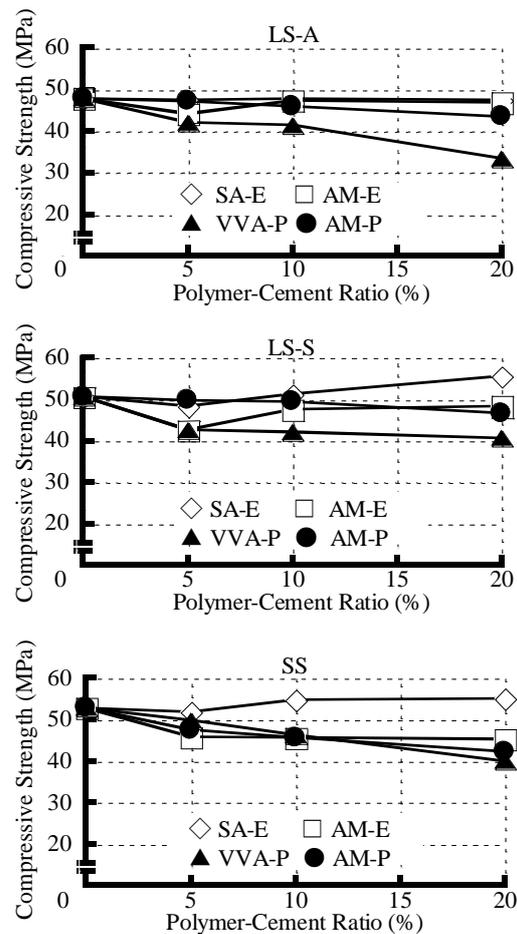


Fig.4 Polymer-Cement Ratio vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars Using Limestone Crushed Sand.

低下する傾向にある。これは、硬化後のポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマー相は弾性係数が小さいことから、ポリマーセメント比が増加しても圧縮強さの改善には寄与しないことによるものである。

Fig.5には、石灰岩砕砂及び標準砂を用いたポリマーセメントモルタルの曲げ強さの関係を示す。なお、横軸は標準砂、縦軸は石灰岩砕砂を用いたものの曲げ強さとし、同一のセメント混和用ポリマーを使用したポリマーセメント比が同じポリマーセメントモルタルの曲げ強さを一つのプロットとしている。

石灰岩砕砂 LS-A 及び LS-S を用いたものの曲げ強さと標準砂を用いたポリマーセメントモルタルの曲げ強さの間には高い相関性が認められる。しかしながら、石灰岩砕砂 LS-A を用いたポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、標準砂を用いたもののそれよりもわずかに小さい傾向にあり、石灰岩砕砂 LS-S を用いたもののそれは標準砂を用いたものに比べて大きい傾向にある。

Fig.6には、**Fig.5**と同様に作成した、石灰岩砕砂及び標準砂を用いたポリマーセメントモルタルの圧縮強さの関係を示す。曲げ強さの場合とは異なり、標準砂を用いたポリマーセメントモルタルの圧縮強さと石灰岩砕砂を用いたものの圧縮強さの間には相関性は見いだせない。これは、ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマー相が圧縮強さの改善には寄与しないことから、いずれの骨材を使用した場合でも、それらの圧縮強さを相対的に捕えることが困難であることを示唆するものと考えられる。

Fig.7には、各種細骨材及びセメント混和用ポリマーを用いたポリマーセメントモルタルの Na_2SO_4 溶液浸せき期間と質量変化率の関係を示す。細骨材及びセメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの Na_2SO_4 溶液浸せき期間の経過に伴う質量変化率は質量増を示し、その増加の程度はポリマーセメント比の大きいものほど小さい傾向にある。これはポリマーセメントモルタル内部に形成されるポリマーフィルム相が障壁となり、試験液の侵入に対する抵抗性が改善されたためと推察される。又、細骨材の種類にかかわらず、VVA-P を用いたポリマーセメントモルタルの質量変化率は、他の種類のもののそれらに比べて大きい傾向にある。これは、耐硫酸塩性試験供試体の外観変化を評価した **Table 4** に示してある通り、VVA-P を用いたポリマーセメントモルタルの空気量が他のポリマーを用いたものに比べて大きいこと、モルタル組織が粗となり、試験液の吸収が多いことに起因するものと考えられる。又、いずれのポリマーセメント比においても、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルは、標準砂を用いたものと同様の質量変化を示す。

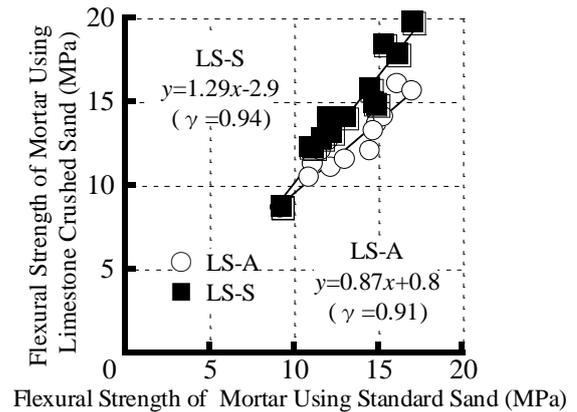


Fig.5 Comparison between Flexural Strengths of Polymer-Modified Mortars Using Standard Sand and Limestone Crushed Sand.

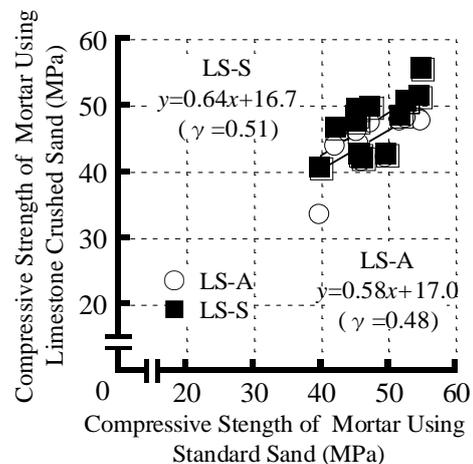


Fig.6 Comparison between Compressive Strengths of Polymer-Modified Mortars Using Standard Sand and Limestone Crushed Sand.

Fig.8には、各種細骨材及びセメント混和用ポリマーを用いたポリマーセメントモルタルの浸せき期間 84d 終了時の質量変化率とポリマーセメント比の関係を示す。ポリマー未混入 (P/C : 0%) の標準砂を用いたセメントモルタルに比べて、石灰岩砕砂 LS-A を用いたセメントモルタルの質量変化率は同程度であるが、LS-S を用いたもののそれは 1%程度大きい傾向にある。しかしながら、細骨材及びセメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、ポリマーセメント比の増加に伴って、質量変化率は小さくなる傾向にあり、石灰岩砕砂 LS-S の場合でも、エマルジョンを用いたものの質量変化率は、標準砂を用いたポリマーセメントモルタルと同程度となる。なお、細骨材の種類にかかわらず、エマルジョンを用いたポリマーセメントモルタルの質量変化率に比べて、再乳化形粉末樹脂を用いたものの方が大きい傾向にある。

Photo 2には、耐硫酸塩性試験後の供試体外観変化の評価指標を示す。評価の基準としては、表面の外観変化がほとんどないものを評価 A、外周の一部に劣化がみら

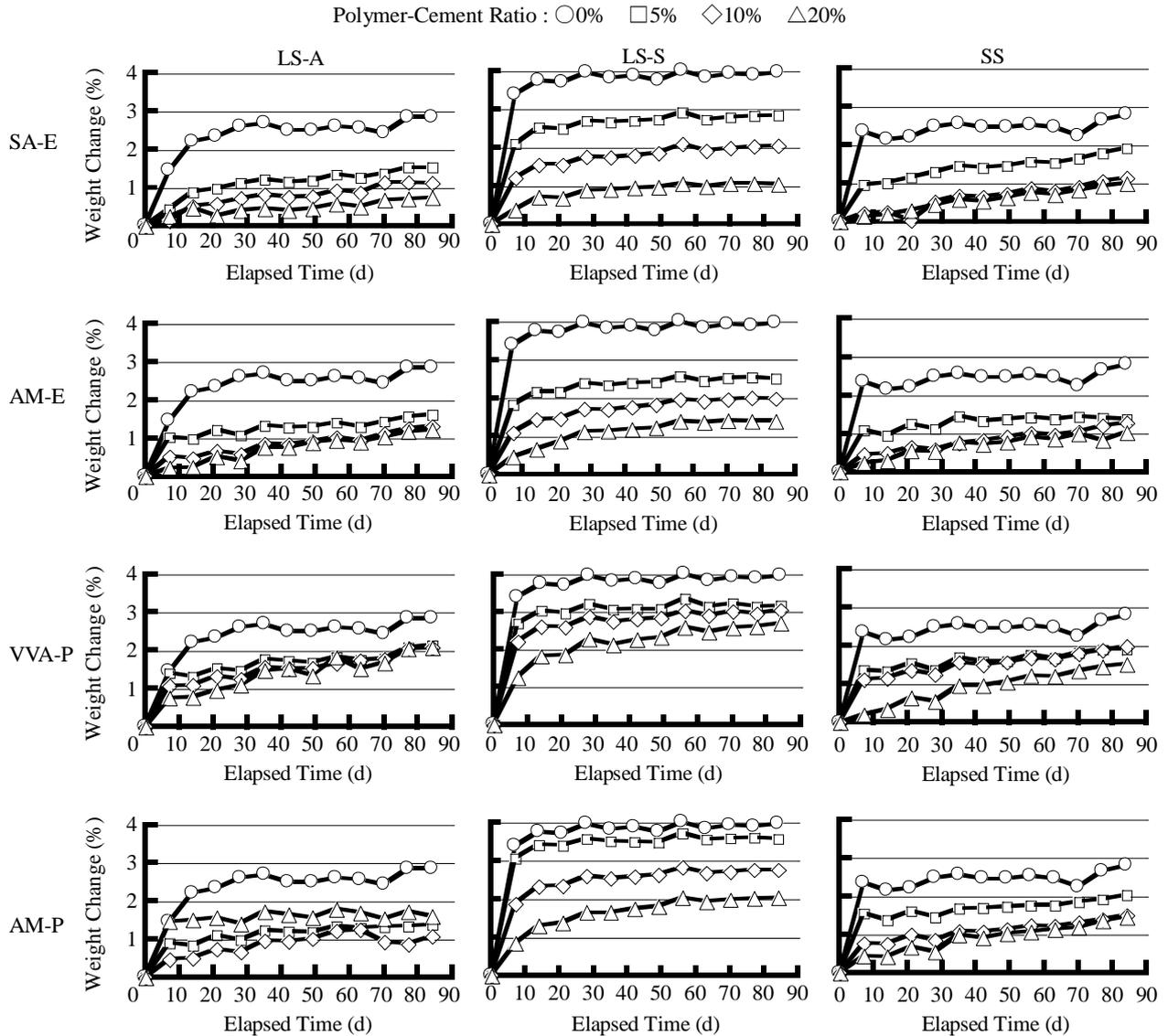


Fig.7 Elapsed Time vs. Weight Change of Polymer-Modified Mortars Using Limestone Crushed Sand.

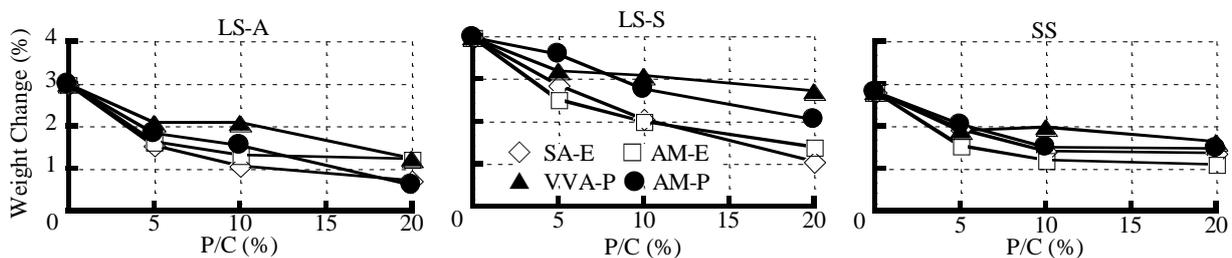


Fig.8 Polymer-Cement Ratio vs. Weight Change of Polymer-Modified Mortars Using Limestone Crushed Sand.

れるものを評価 B, 外周が大きく劣化しているものを評価 C とした。

Table 4 には、各種細骨材及びセメント混和用ポリマーを用いたポリマーセメントモルタルの外観評価結果を示す。細骨材及びセメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの外観評価結果は、ポリマーセメント比の大きいものほど優れる傾向にある。これは、セメントの水和及びポリマーフィルム形成に

よって、ち密な無機-有機ハイブリッド結合材相が得られ、耐硫酸塩性が向上したためと推察される。しかしながら、細骨材の種類にかかわらず、再乳化形粉末樹脂系である VVA-P を用いたポリマーセメントモルタルの外観評価結果は、他の種類のものそれらに比べて劣る傾向にある。これは、VVA-P を用いたポリマーセメントモルタルの空気量が他のポリマーを用いたものに比べて大きいことから、モルタル内部の空隙に試験溶液が浸入し

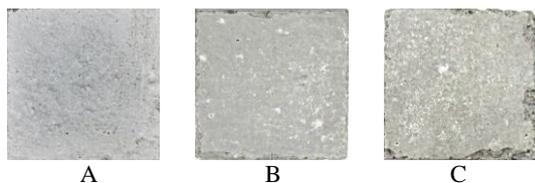


Photo 2 Appearance Evaluation Index.

Table 4 Appearance Evaluation of Various Fine Aggregates.

Type of Fine Aggregate	Type of Polymer	P/C (%)	Air Content (%)	Appearance Evaluation
LS-A	Plain	0	6.0	B
		5	7.0	B
	SA-E	10	6.5	A
		20	8.0	A
	AM-E	5	7.0	B
		10	6.5	B
		20	8.5	A
	VVA-P	5	11.0	C
		10	14.0	B
		20	18.0	A
	AM-P	5	8.0	B
		10	6.5	A
20		6.5	A	
LS-S	Plain	0	6.5	B
		5	7.0	B
	SA-E	10	7.5	B
		20	8.5	A
	AM-E	5	8.0	A
		10	6.5	A
		20	6.5	A
	VVA-P	5	14.0	C
		10	17.0	B
		20	18.0	B
	AM-P	5	6.0	B
		10	5.5	A
20		5.5	A	
SS	Plain	0	6.5	B
		5	7.0	B
	SA-E	10	7.5	B
		20	8.5	A
	AM-E	5	7.5	C
		10	7.0	B
		20	7.0	A
	VVA-P	5	9.0	C
		10	9.0	B
		20	10.5	B
	AM-P	5	5.0	B
		10	5.5	B
20		7.5	A	

劣化を進行させたためと推察される。なお、ポリマーセメントモルタルの外観評価における使用した細骨材の種類の差異は、ほとんど認められない。

以上のことから、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの強さ性状は、標準砂を用いたポリマーセメントモルタルと遜色がないといえる。一方、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの耐硫酸塩性は、石灰岩砕砂の種類によって異なるものの、使用するセメン

ト混和用ポリマーを選べば、標準砂を用いたポリマーセメントモルタルと遜色のない性能が得られる。従って、本研究の限りでは、石灰岩砕砂はポリマーセメントモルタル用細骨材として有用であるといえる。

5. 結論

本研究で得られた試験結果を総括すれば、以下の通りである。

- (1) 細骨材の種類及びセメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、ポリマーセメント比の増加に伴って、ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは改善されるが、圧縮強さの改善には寄与しない傾向にある。
- (2) 細骨材の種類及びセメント混和用ポリマーの種類にかかわらず、ポリマーセメント比の増加に伴って、浸せき期間に対するポリマーセメントモルタルの質量変化率は小さくなり、劣化の指標となる外観評価も優れる傾向にある。
- (3) 使用する骨材の種類にかかわらず、セメント混和用再乳化形粉末樹脂 VVA-P を用いた場合、ポリマーセメントモルタルの空気量が大きい傾向にあり、その強さ性状及び耐硫酸塩性は他のポリマーセメントモルタルに比べて劣る傾向にある。
- (4) 本研究の限りでは、石灰岩砕砂を用いたポリマーセメントモルタルの強さ性状及び耐硫酸塩性は、標準砂を用いたものそれらと遜色がなく、石灰岩砕砂はポリマーセメントモルタル用細骨材として有用である。

参考文献

- 1) 石灰石工業協会編：石灰石骨材とコンクリート，増補・改訂版，p.7，2005
- 2) 経済産業省：平成 24 年度砕石等統計年報，p.167，2011
- 3) 坂井悦郎，大門正機：コンクリート用材料，コンクリート工学，Vol.40，No.5，pp.39-46，2002
- 4) 小山田哲也，小田島悠弥，越谷信ほか：コンクリートの乾燥収縮に対する石灰石骨材の有効性，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.359-364，2010
- 5) 小島明，鶴田昌宏，中村秀三：石灰石砕砂を用いたコンクリートの強度特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.93-98，2004