

論文 廃発泡ポリスチレンを用いたポリマーモルタルの基礎性状に及ぼす廃発泡ポリスチレン溶液濃度及び架橋剤添加率の影響

崔 洛運^{*1}・大濱 嘉彦^{*2}・出村 克宣^{*3}

要旨：本研究では、廃発泡ポリスチレン（廃EPS）をスチレンに溶解した溶液を結合材として用いたポリマーモルタルの結合材粘度、可使時間、曲げ及び圧縮強さに及ぼす廃EPS溶液濃度及び架橋剤添加率の影響を検討している。その結果、ポリマーモルタル用結合材として廃EPS溶液を用いる場合、適当なワーカビリティーに対する粘度の制約の上から選択した最高廃EPS濃度40%の廃EPS溶液に、TMPTMA添加率30%を適用することが推奨される。

キーワード：廃発泡ポリスチレン、スチレン、架橋剤、ポリマーモルタル、強さ、リサイクル

1. はじめに

これまで、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂及びメタクリル樹脂を結合材とするポリマーモルタル及びコンクリートに関する研究は多く、その実用化も進展している¹⁾。それらに比べて、スチレン系結合材を用いたポリマーモルタル及びコンクリートに関する研究報告は少なく、スチレンに多官能性モノマーであるトリメチロールプロパントリメタクリレートやグリセロールメタクリレートを添加した結合材を用いたポリマーモルタル及びコンクリートが、平野や大濱らによって開発されている^{2), 3)}。一方、発泡ポリスチレン成形品は、各種の産業分野で様々な用途に使用されているが、日本では、年間約18万t程度の発泡ポリスチレンが廃棄されており(1999年度、発泡スチロール再資源化協会の調査)，かさ張るごみとして社会問題化しているので、そのリサイクル対策は急務である。

本研究では、廃発泡ポリスチレンを新しいポリマーモルタル用結合材として利用することを目的とし、廃発泡ポリスチレンのスチレンによる減容特性を把握した後、廃発泡ポリスチレンをスチレンに溶解した溶液を用いたポリマーモルタルの結合材粘度、可使時間、曲げ及び圧縮強さに及

ぼす廃発泡ポリスチレン溶液濃度及び架橋剤添加率の影響を検討している。

2. 使用材料

2. 1 廃発泡ポリスチレン(EPS)

廃発泡ポリスチレン(EPS)としては、その模擬品として、大量廃棄が予想される、JIS A 9511(発泡プラスチック保温材)に規定するビーズ法発泡ポリスチレンの「保温板4号」(密度、17kg/m³)を使用した。

2. 2 減容用溶剤兼結合材用モノマー

減容用溶剤兼結合材用モノマーとしては、JIS K 6727(スチレン)に規定する工業用スチレンを使用した。スチレン(ST)の性質をTable 1に示す。

Table 1 Properties of Styrene

Molecular Weight	Density (g/cm ³) (20°C)	Viscosity (mPa·s) (20°C)	Boiling Point (°C)
104.14	0.91	0.75	145

2. 3 架橋剤

架橋剤としては、三官能性モノマーであるトリメチロールプロパントリメタクリレート(TMPTMA)を使用した。

*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 日本大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)

2.4 開始剤及び促進剤

開始剤としては、過酸化ベンゾイルを 50%含むフタル酸ジシクロヘキシリ（BPO）を、又、促進剤としては、N, N-ジメチル-p-トルイジン（DMT）を使用した。

2.5 充填材及び細骨材

充填材としては、重質炭酸カルシウムを、又、細骨材としては、6号けい砂を使用した。充填材及び細骨材の性質を Table 2 に示す。なお、充填材及び細骨材については、乾燥し、それらの含水率を 0.1%以下として使用した。

Table 2 Properties of Filler and Fine Aggregate

Type of Filler or Fine Aggregate	Size (mm)	Density (20°C) (g/cm³)	Water Content (%)	Organic Impurities
Ground Calcium Carbonate	<2.5×10⁻³	2.70	<0.1	Nil
Silica Sand	0.05—0.60	2.61	<0.1	Nil

3. 試験方法

3.1 EPS 溶液の調製

作業の簡便性を考慮し、熱線（ニクロム線）を用いて適當な大きさに切断した EPS を、その濃度が 0, 10, 20, 30 及び 40%になるように、減容用溶剤兼結合材用モノマーとしてのスチレンに溶解させた。この際、EPS が溶解しやすいように、スチレンを容器ごと 70°C の恒温水槽に浸漬して加温し、ガラス棒でかくはんしながら EPS を溶解させた。この場合、加温によって蒸発したスチレンを補充し、所定濃度の EPS 溶液を調製した。スチレンに EPS を溶解した後、EPS 溶液の容積を測定し、次式によって EPS の減容率を算出した。

$$\text{EPS の減容率} = \left[1 - \frac{\text{溶解後の全体積}}{\text{溶解前の全体積}} \right] \times 100$$

ここに、全体積：(EPS+スチレン)の体積

3.2 供試結合材及びポリマーモルタルの調製

Table 3 に示す配合に従って、EPS 溶液に架橋剤、開始剤及び促進剤を添加し、よくかくはんして、供試結合材を調製した。JIS A 1181 (ポリエスチ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、供試結合材を用いて Table 3 に示す調合の供試ポリマーモルタルを練混ぜた。なお、供試ポリマーモルタルの結合材率は、予備実験の結果に基づいて、そのワーカビリティーを考慮し、18.0%とした。

Table 3 Formulations of Binders for Polymer Mortars

Mix No.	Concentration of EPS Solution* (%)	TMPTMA /ST (by mass)	Formulations			
			EPS Solution (%)	TMPTMA (%)	BPO (phr **)	DMT (phr)
1	0	0	0.11	90	10	2.0 0.5
2			0.25	80	20	
3			0.43	70	30	
4			0.67	60	40	
5			1.00	50	50	
6		20	0.14	90	10	
7			0.31	80	20	
8			0.54	70	30	
9			0.83	60	40	
10			1.25	50	50	
11		30	0.16	90	10	
12			0.36	80	20	
13			0.61	70	30	
14			0.95	60	40	
15			1.43	50	50	
16		40	0.19	90	10	
17			0.42	80	20	
18			0.71	70	30	
19			1.11	60	40	
20			1.67	50	50	

Notes,*: [EPS/(EPS+ST)] × 100

**: parts per hundred parts of resin

Table 4 Mix Proportions of Polymer Mortars

Binder*	Mix Proportions (%)	
	Ground Calcium Carbonate	Silica Sand
18.0	20.5	61.5

Note,*: EPS+ST+TMPTMA+BPO+DMT

3.3 供試結合材の粘度測定

JIS K 6901(液状不飽和ポリエスチル樹脂試験方法)のブルックフィールド形粘度計法に従って、20°C, 50%(RH) の条件下で、供試結合材の粘度を測定した。なお、粘度の測定は、供試結合材に開始剤及び促進剤を添加せずに実験を行った。

3.4 供試結合材及びポリマーモルタルの可使用時間の測定

JIS K 6833(接着剤の一般試験方法)に準じて、供試結合材の可使用時間を、又、JIS A 1186(ポリエステルレジンコンクリートの可使用時間測定方法)の触感法に従って、供試ポリマーモルタルの可使用時間を測定した。なお、可使用時間の測定は、20°C, 50% (RH)の条件下で行った。

3.5 供試体の作製

供試ポリマーモルタルを、寸法 40×40×160mm に成形した後、次の 2 種類の養生を行い、供試体を作製した。

- (1) 72h 乾燥 {20°C, 50% (RH)} 養生
- (2) 24h 乾燥 {20°C, 50% (RH)} 養生 + 15h 加熱 (70°C) 養生

3.6 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。

4. 試験結果及び考察

Fig.1 には、EPS 濃度と ST への溶解による EPS

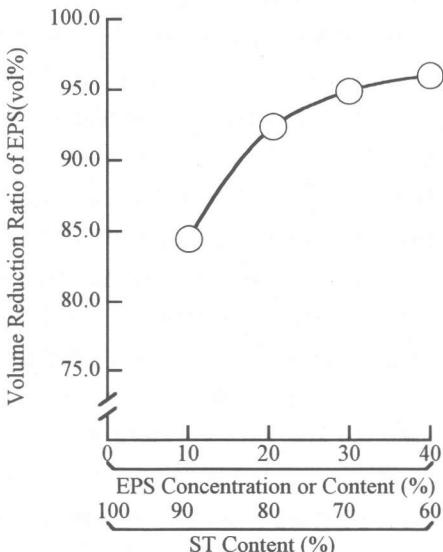


Fig.1 EPS Concentration vs. Volume Reduction Ratio of EPS by Dissolution in Styrene.

の減容率の関係を示す。EPS の減容率は、EPS 濃度の増加に伴って大きくなる。このことは、ST への溶解によって、EPS の 90%以上を占有している空気が、各セルから完全に排除されるためと考えられる。本研究においては、ポリマーモルタルのワーカビリティーと ST に溶解可能な EPS 量を考慮して、最高 EPS 濃度を 40%とした。最高 EPS 濃度 40%の EPS 溶液では、EPS の減容率は 96%に達するので、EPS の減容には、ST への溶解が極めて有効であるといえる。EPS 濃度 10%のものは、減容率が 90%未満であったので、供試結合材を調製しなかった。

Fig.2 には、異なる EPS 濃度を持つ EPS 溶液を用いた結合材の粘度と TMPTMA 添加率の関係を示す。TMPTMA の粘度がスチレンのそれよりも大きいことに起因して、EPS 溶液濃度 0% の結合材の粘度は、TMPTMA 添加率の増加に伴って増大するが、EPS 溶液濃度 20%以上の結合材の粘度は、TMPTMA 添加率の増加に伴って低下する傾向にある。結合材の粘度は、EPS 溶液濃度の増加に伴って著しく増加する。

Fig.3 には、異なる EPS 濃度を持つ EPS 溶液を用いた結合材及びポリマーモルタルの可使用時間に及ぼす TMPTMA 添加率及びトリメチロールプロ

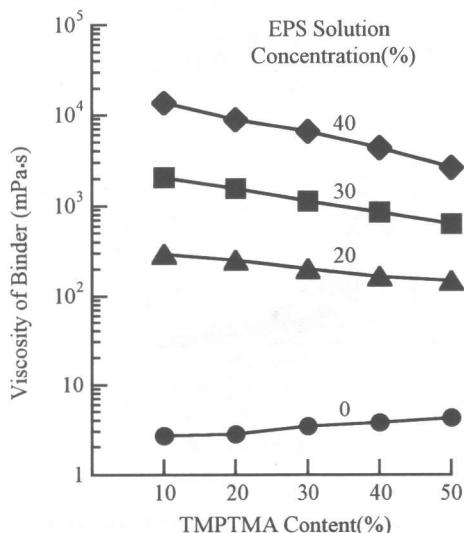


Fig.2 TMPTMA Content vs. Viscosity of Binders Using EPS Solutions with EPS Concentrations of 0, 20, 30 and 40%.

パントリメタクリレートースチレン比 (TMPTMA/ST) の影響を示す。EPS 溶液を用いた結合材及びポリマーモルタルの可使時間は、EPS 溶液濃度及び TMPTMA 添加率の増加に伴って短くなる。EPS 溶液を用いた結合材は、EPS 溶液と TMPTMA の混合物に開始剤及び促進剤を添加して調製され、結

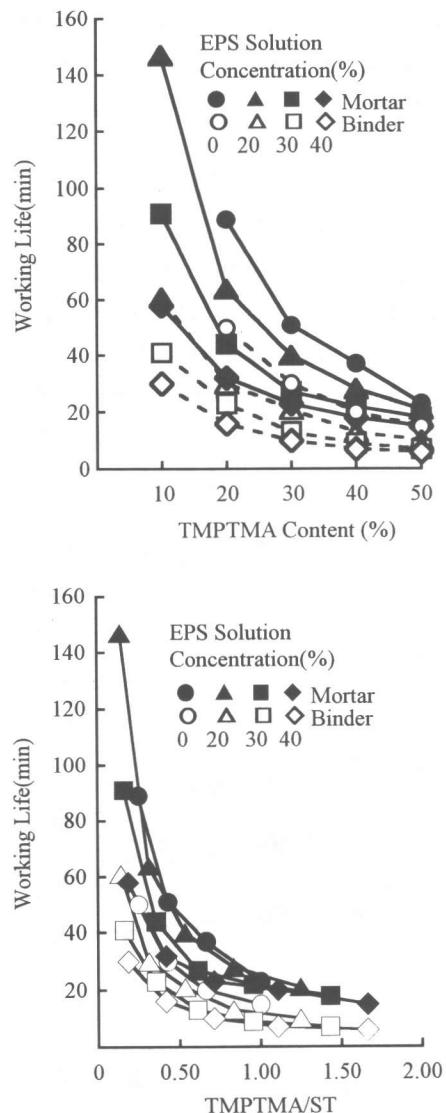


Fig.3 TMPTMA Content and TMPTMA/ST vs. Working Life of Binder and Polymer Mortars Using EPS Solutions with EPS Concentrations of 0, 20, 30, and 40%.

合材の硬化は、主に、ST と架橋剤である TMPTMA の共重合反応による網状構造の形成に基づくものと考えられる。従って、TMPTMA 添加率の増加によって、その硬化が促進されて、結合材及びポリマーモルタルの可使時間が短くなるものと推察される。更に、本研究においては、開始剤及び促進剤の添加率を EPS 溶液量と TMPTMA 量の総量(EPS+ST+TMPTMA)に対して一定量(それぞれ 2.0 及び 0.5wt%)としている。従って、EPS 溶液濃度が増加すると、ST と TMPTMA の総量に対する開始剤及び促進剤添加率も大きくなって、結合材及びポリマーモルタルの可使時間が短くなるものと考えられる。又、結合材と比較して、ポリマーモルタルの可使時間は遅延する。これは、結合材の硬化時に発生する重合熱が充填材及び細骨材に奪われるためと推察される⁴⁾。

Fig.4 には、乾燥養生及び加熱養生を行った、異なる EPS 濃度を持つ EPS 溶液を用いたポリマーモルタルの曲げ強さに及ぼす TMPTMA 添加率及び TMPTMA/ST の影響を示す。いずれの養生法においても、EPS 溶液濃度 0% のポリマーモルタルの曲げ強さは、TMPTMA 添加率の増加に伴って増大する。これは、TMPTMA 添加率の増加に伴って、その結合材の架橋密度が大きくなることに起因するものと考える。一方、養生法にかかわらず、EPS 溶液濃度 20%以上のポリマーモルタルの曲げ強さは、TMPTMA、ST 及び EPS による複合的な影響を受け、EPS 溶液濃度及び TMPTMA 添加率の増加に伴って大きくなる。これは、EPS 溶液濃度及び TMPTMA 添加率が増加すると、TMPTMA/ST が大きくなっているため、その結合材の架橋密度が大きくなるためと考えられる。更に、高分子である EPS は、ST と TMPTMA の共重合の進行に伴い、その重合熱によってある程度膨張し、ST と TMPTMA との共重合体と一体化して、高密度の硬化体を形成するため、EPS 溶液を用いたポリマーモルタルの曲げ強さを増進させるものと推察される。養生法にかかわらず、EPS 溶液を用いたポリマーモルタルの最高曲げ強さは、EPS 溶液濃度 40%で TMPTMA 添加率 30%，すなわち、

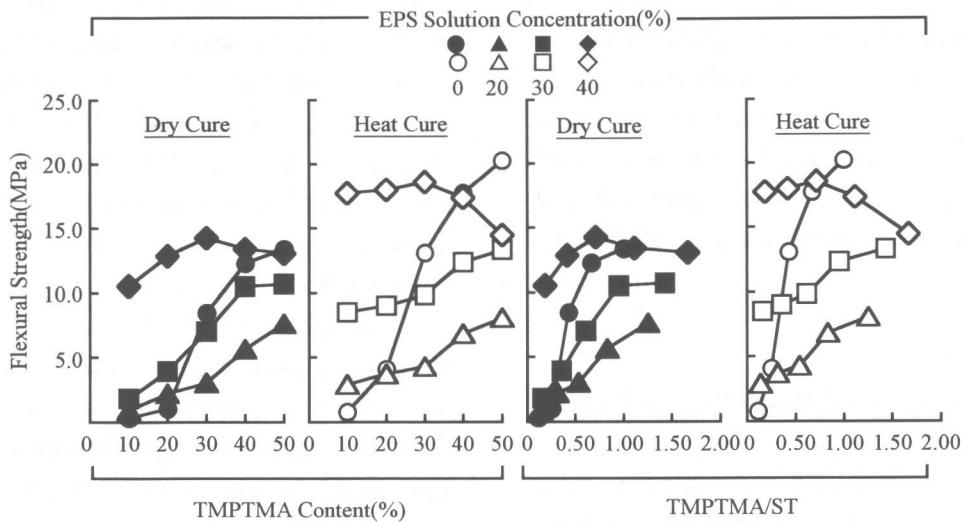


Fig.4 TMPTMA Content and TMPTMA/ST vs. Flexural Strength of Dry-Cured and Heat-Cured Polymer Mortars Using EPS Solutions with EPS Concentrations of 0, 20, 30 and 40%.

TMPTMA/ST 0.71において得られる。しかしながら、EPS 溶液濃度 40%で、TMPTMA 添加率が 30% を越えると、その架橋密度が高くなり過ぎて、ポリマー・モルタルの曲げ強さは低下する傾向にある。いずれの TMPTMA 添加率、TMPTMA/ST 及び EPS 溶液濃度においても、EPS 溶液を用いたポリマー・モルタルの加熱養生による曲げ強さは、乾燥養生によるそれよりも相当に高く、その曲げ強さの発現に

及ぼす加熱養生の効果は、TMPTMA 添加率が小さい程顕著であるといえる。

Fig.5 には、乾燥養生及び加熱養生を行った、異なる EPS 濃度を持つ EPS 溶液を用いたポリマー・モルタルの圧縮強さに及ぼす TMPTMA 添加率及び TMPTMA/ST の影響を示す。養生法にかかわらず、EPS 溶液を用いたポリマー・モルタルの圧縮強さに及ぼす TMPTMA 添加率、TMPTMA/ST 及び EPS

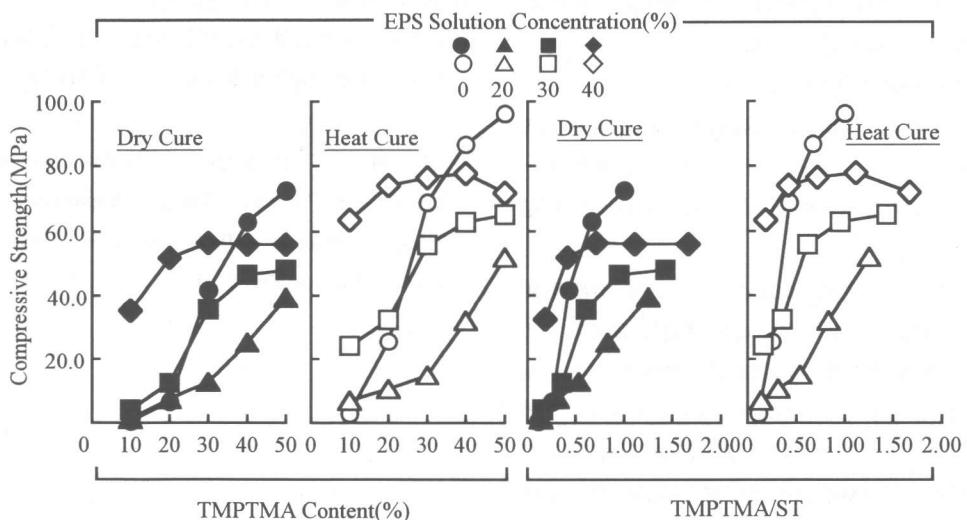


Fig.5 TMPTMA Content and TMPTMA/ST vs. Compressive Strength of Dry-Cured and Heat-Cured Polymer Mortars Using EPS Solutions with EPS Concentrations of 0, 20, 30 and 40%.

溶液濃度の影響は、前述したその曲げ強さの場合とほぼ同様の傾向を与える。TMPTMA 添加率、TMPTMA/ST 及び EPS 溶液濃度にかかわらず、EPS 溶液を用いたポリマーモルタルの加熱養生による圧縮強さは、乾燥養生によるそれよりも相当に高く、その圧縮強さの発現に及ぼす加熱養生の効果は、TMPTMA 添加率が小さい程著しいといえる。

4. 結論

以上の試験結果を結論づければ、次のとおりである。

- (1) ST への溶解による EPS の減溶率は、得られる EPS 溶液の EPS 濃度の増加に伴って増加する。ポリマーモルタル用結合材としての用途における適當なワーカビリティーに対する粘度の制約の上から選択した、最高 EPS 濃度 40% の EPS 溶液における EPS の減溶率は 96% に達し、EPS の減溶には ST への溶解が極めて有効であるといえる。
- (2) EPS 溶液濃度 0% の結合材の粘度は、TMPTMA 添加率の増加に伴って増加するが、EPS 溶液濃度 20% 以上の結合材の粘度は、TMPTMA 添加率の増加に伴って減少する傾向にある。結合材の粘度は、EPS 溶液濃度の増加に伴って著しく増加する。
- (3) EPS 溶液を用いた結合材及びポリマーモルタルの可使時間は、EPS 溶液濃度及び TMPTMA 添加率の増加に伴って短くなる。又、ポリマーモルタルの可使時間は、結合材のそれよりも遅延する。
- (4) いずれの養生法においても、EPS 溶液濃度 0% のポリマーモルタルの曲げ及び圧縮強さは、TMPTMA 添加率の増加に伴って増大する。養生法にかかわらず、EPS 溶液濃度 20% 以上のポリマーモルタルの曲げ及び圧縮強さは、EPS 溶液濃度及び TMPTMA 添加率の増加に伴って増大する。いずれの養生法においても、EPS 溶液を用いたポリマーモルタルの最高曲げ及び圧縮強さは、EPS 溶液濃度 40% で TMPTMA 添加

率 30%，すなわち、TMPTMA/ST 0.71 において得られる。TMPTMA 添加率、TMPTMA/ST 及び EPS 溶液濃度にかかわらず、EPS 溶液を用いたポリマーモルタルの加熱養生による曲げ及び圧縮強さは、乾燥養生によるそれよりも相当に高く、その曲げ及び圧縮強さの発現に及ぼす加熱養生の効果は、TMPTMA 添加率が小さい程顕著であるといえる。

- (5) 以上の試験結果によれば、ポリマーモルタル用結合材として EPS 溶液を用いる場合、適當なワーカビリティーが得られる粘度の制約の上から選択した最高 EPS 濃度 40% の EPS 溶液に、TMPTMA 添加率 30% を適用することが推奨される。

参考文献

- 1) Ohama, Y. : Advances and Applications of Concrete-Polymer Composites in Japan , Proceedings of the 24th Conference on Our World in Concrete & Structures, CI-Premier, Singapore, pp.48-49, Aug. 1999
- 2) 平野 徹: アクリル系ポリマーコンクリートの特性と応用, ポリマーダイジェスト, Vol.35, No.5, pp.25-43, 1983.5
- 3) 大濱 嘉彦: スチレンを結合材としたレジンコンクリートの製造法及びその性状, 昭和52年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp.287-288, 1977.10
- 4) McNerney, M. T. : Rapid All-Weather Pavement Repair with Polymer Concrete, Applications of Polymer Concrete, SP-69, American Concrete Institute, Detroit, p.96, 1981