

論文 廃発泡ポリスチレン溶液を用いたポリマーコンクリートの基礎的性質

森 裕克^{*1}・横山 裕^{*2}・大濱 嘉彦^{*3}

要旨：本研究では、廃発泡ポリスチレンの有効なリサイクル方法の開発を目的に、廃発泡ポリスチレンのメタクリル酸メチル溶液を結合材として用いたポリマーコンクリートを製造し、その基礎的性質について検討している。その結果、従来のポリエステルコンクリートと比較して、廃発泡ポリスチレン溶液を用いたポリマーコンクリートの曲げ及び圧縮強度は、同等であり、その長さ変化は、約 1/6～1/3 以下となる。又、その可使時間は、開始剤添加率及び促進剤添加率の調整によって任意に制御でき、本研究において作成した算定図を用いることで、所要の可使時間を得るための開始剤添加率及び促進剤添加率を決定できる。

キーワード：廃発泡ポリスチレン、ポリマーコンクリート、可使時間、長さ変化、強度

1. はじめに

2005年2月16日、ついに京都議定書が発効した。しかしながら、2003年の日本の温室効果ガスの総排出量13億3,900万t(CO₂換算値)は、京都議定書の基準年(1990年)と比較すると8.3%上回っており、日本の数値約束である6%削減との差は、14.3%に拡大している現状にある¹⁾。大量に排出されるプラスチック系廃棄物である発泡ポリスチレンの年間回収量175,000t(2004年)のうち、マテリアルリサイクルされるものは、41%にとどまっており、残りは、固形燃料として使用されるほか、埋立又は単純焼却されている²⁾。そのため、温室効果ガスの削減のためには、新しいリサイクル技術の開発によって、マテリアルリサイクル率を高める必要があると考えられる。

これまでに、大濱ら³⁾は、廃発泡ポリスチレンの建設材料としての有効利用を目的として、廃発泡ポリスチレンをメタクリル酸メチルに溶解した廃発泡ポリスチレン溶液をそのまま結合材として用いたポリマーモルタルの可使時間、発熱温度、長さ変化及び強さ性状に及ぼす開始剤

添加率及び促進剤添加率の影響について検討し、その実用性を確認している。しかしながら、廃発泡ポリスチレン溶液を結合材として用いたポリマーコンクリートに関する同様の研究は行われていない。

本研究では、廃発泡ポリスチレンにとって省エネルギー的で、且つ、大量に処理できるマテリアルリサイクル方法と考えられ、プレキャスト製品などに使用可能なポリマーコンクリートの開発を目的として、廃発泡ポリスチレン溶液を用いたポリマーコンクリートの基礎的性質である可使時間、発熱温度、長さ変化、並びに、曲げ及び圧縮強度に及ぼす開始剤添加率及び促進剤添加率の影響について検討している。

2. 使用材料

2.1 結合材用材料

廃発泡ポリスチレンとしては、その模擬品として、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3号」(以下、EPSと略称)を使用した。なお、EPSについては、60°Cで48h乾燥し、その含水率を0.1%

*1 東京工業大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 東京工業大学大学院 理工学研究科建築学専攻助教授 工博

*3 日本大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

以下にして使用した。減容剤兼結合材用モノマーとしては、工業用メタクリル酸メチル(以下、MMA と略称)を、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ル(以下、BPO と略称)を、又、促進剤としては、N,N-ジメチル-p-トルイジン(以下、DMT と略称)を使用した。カップリング剤としては、 γ -メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン(以下、silane と略称)を使用した。

2.2 充填材及び骨材

充填材としては、重質炭酸カルシウム(粒径、0.3-350 μ m)を、細骨材としては、JIS G 5901(鋳型用けい砂)に規定する48号及び100号けい砂のブレンド品(粒径、0.15-0.6mm)を、又、粗骨材としては、JIS A 5001(道路用砕石)に規定する、硬質砂岩の単粒度砕石 S-5(7号)を使用した。なお、充填材、細骨材及び粗骨材は、105°C で48h 乾燥し、それらの含水率を0.1%以下にして使用した。

3. 試験方法

3.1 供試結合材の調製

EPS : MMA=30 : 70(質量比)、すなわち、EPS濃度 30%になるように、20°C、60%(RH)の条件下で、EPS を MMA に溶解した。EPS 溶解後、溶解中に MMA が蒸発した量を算出して再添加し、1min かくはんしたものを液状レジン(以下、EPS/MMA 溶液と略称)とした。なお、EPS/MMA 溶液の EPS 濃度 30%は、EPS の MMA への溶解しやすさ及び溶液としての取扱いやすさから、予備実験によって決定した。次に、Table 1 に示す配合に従って、液状レジんに silane、BPO 及び DMT を添加し、1min かくはんして供試結合材を調製した。

3.2 供試ポリマーコンクリートの調製

JIS A 1181(レジンコンクリートの試験方法)に従って、Table 2 に示す調合の供試ポリマーコンクリートを調製した。

3.3 可使時間試験

JIS K 6833(接着剤の一般試験方法)の7.1(可使時間)及び JIS A 1181 の6.2(触感法)に従って、20°C、

Table 1 Formulations of Binders Using EPS/MMA-Based Solution.

Formulations (mass fraction)				
Liquid Resin(%)		Silane (phr*)	BPO (phr)	DMT (phr)
EPS	MMA			
				0.45
			1.00	0.65
				0.85
				0.45
30.0	70.0	0.50	1.50	0.65
				0.85
				0.45
			2.00	0.65
				0.85

Note, * :parts per hundred parts of resin (mass fraction).

Table 2 Mix Proportions of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

Mix Proportions (% , mass fraction)			
Binder	Filler	Fine Aggregate	Coarse Aggregate
13.0	19.3	19.3	48.3

60%(RH)の条件下において、供試結合材及び供試ポリマーコンクリートの可使時間を測定した。

3.4 長さ変化及び発熱温度試験

非接触型レーザー変位計を用いたポリマーコンクリートの長さ変化測定装置⁴⁾の型枠に、供試ポリマーコンクリートを詰めて、基長を 300mmとし、精度 0.01 μ mで、供試ポリマーコンクリートの硬化過程における長さ変化を測定した。同時に、供試ポリマーコンクリートの中央部に被覆熱電対 (Model, VT3)を埋め込み、供試ポリマーコンクリートの硬化反応に伴う発熱温度を測定した。なお、供試ポリマーコンクリートの長さ変化及び発熱温度は、乾燥[20°C、60%(RH)]養生下で、共に BPO 及び DMT の添加後、10min から 600min(10h)まで、5min間隔で測定した。

3.5 供試体の作製

JIS A 1181 に従って、供試ポリマーコンクリート

を寸法 60×60×240mm に成形した後、24h 乾燥[20℃, 60%(RH)]+15h 加熱(70℃)養生を行って供試体を作製した。

3.6 曲げ及び圧縮強度試験

JIS A 1181 に従って、供試体の曲げ及び圧縮強度試験を行った。

4. 試験結果及び考察

Fig.1 には、EPS/MMA 溶液を用いた結合材及びポリマーコンクリートの可使時間と DMT 添加率の関係を BPO 添加率別に示す。EPS/MMA 溶液を用いた結合材及びポリマーコンクリートの可使時間は、BPO 添加率及び DMT 添加率の増加に伴って短くなり、結合材では 11~27min、ポリマーコンクリートでは 36~58min の可使時間が確保される。

Fig.2 には、EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの可使時間と結合材の可使時間の関係を示す。EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの可使時間は、結合材のそれよりも約 2~3 倍長くなる傾向にある。これは、結合材の重合熱が、ポリマーコンクリートの充填材、細骨材及び粗骨材に奪われるためと考えられる⁵⁾。又、EPS/MMA 溶液を用いた結合材の可使時間とポリマーコンクリートの可使時間の間には、高い相関性が認められ、両者の関係は、次の実験式で表される。

$$W_c = 1.29W_b + 24.0 \quad (\gamma = 0.98)$$

ここに、 W_b : 結合材の可使時間 (min)

W_c : ポリマーコンクリートの
可使時間 (min)

γ : 相関係数

更に、**Fig.1** 中の結合材の可使時間と BPO 添加率及び DMT 添加率の関係、並びに、上式を用いて作成した、ポリマーコンクリートの所要の可使時間を得るための BPO 添加率及び DMT 添加率を決定する算定図を **Fig.3** に示す。**Fig.3** の中には、算定図の使い方の例として、所要の可使

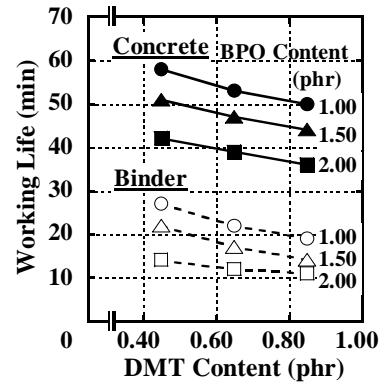


Fig.1 DMT Content vs. Working Life of Binders and Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Solution.

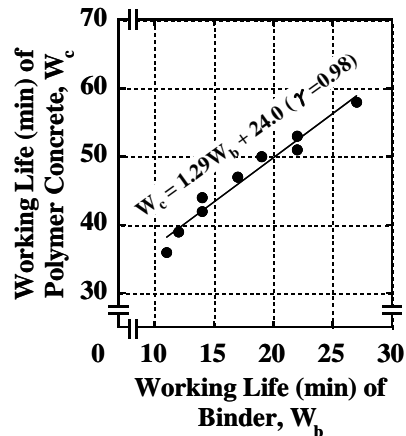


Fig.2 Working Life of Binders vs. Working Life of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Solution.

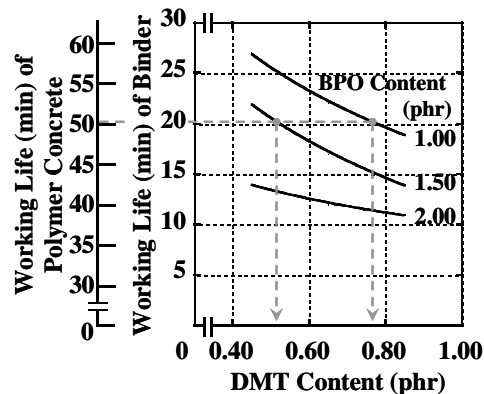


Fig.3 Nomogram for Determining BPO Content and DMT Content for the Desired Working Life of Polymer Concretes.

Note, \rightarrow : process for determining the desired BPO and DMT contents for polymer concretes with a working life of 50 min.

時間が 50min のポリマーコンクリートを製造するための BPO 添加率及び DMT 添加率を決定する手順を示す。

Fig.4 には、EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの乾燥養生中における発熱温度の変化を示す。EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの発熱温度は、一部の例外を除いて、打込み直後から上昇し始め、30~40min 後からは急激な上昇を示し、最高値に達した後、乾燥養生材齢約 4h 以降は、ほぼ一定になる傾向を与える。又、最高発熱温度に達する乾燥養生材齢は、BPO 添加率にかかわらず、DMT 添加率の増加に伴って短くなる傾向にある。

Fig.5 には、EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの最高発熱温度と DMT 添加率の関係を BPO 添加率別に示す。EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの最高発熱温度は、BPO 添加率及び DMT 添加率の増加に伴って上昇する傾向にある。

Fig.6 には、EPS/MMA 溶液を用いたポリマー

コンクリートの乾燥養生材齢中における長さ変化を示す。EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの長さ変化は、打込み後、BPO 添加率及び DMT 添加率にかかわらず、その最高発熱温度に達する材齢付近まで膨張となり、その後は急激な収縮を与えた後、乾燥養生材齢 3h 以降は、ほぼ一定となる。

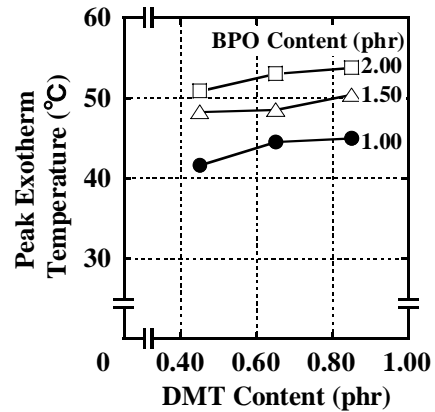


Fig.5 DMT Content vs. Peak Exotherm Temperature of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

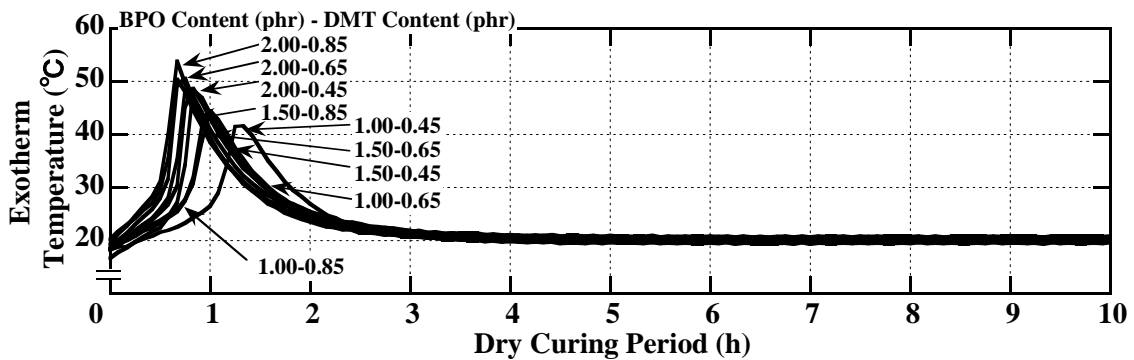


Fig.4 Exotherm Curves during Dry Curing for Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

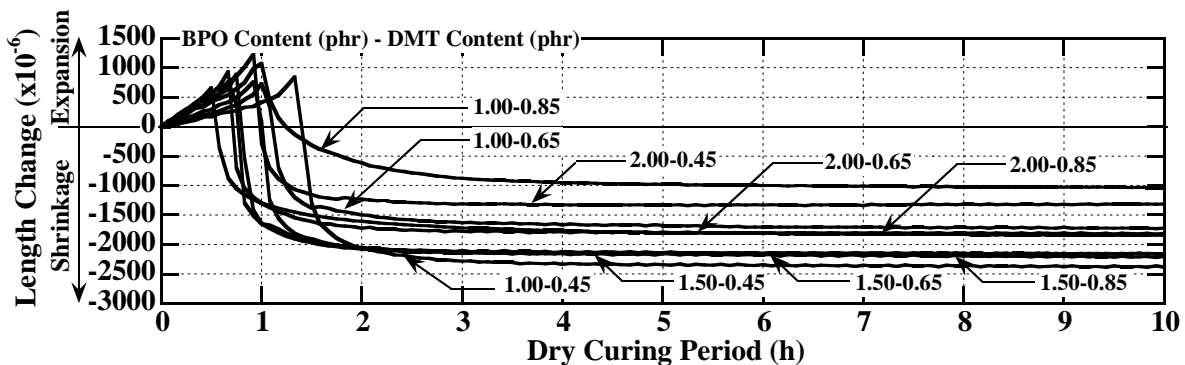


Fig.6 Length Change during Dry Curing of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

Fig.7 には、EPS/MMA溶液を用いたポリマーコンクリートの乾燥養生材齢 10hにおける長さ変化とDMT添加率の関係をBPO添加率別に示す。EPS/MMA溶液を用いたポリマーコンクリートの乾燥養生材齢 10hにおける長さ変化は、BPO添加率及びDMT添加率にかかわらず、収縮となる。又、その収縮は、BPO添加率 1.00phrでは、DMT添加率の増加に伴って小さくなり、BPO添加率 1.50 及び 2.00phrでは、DMT添加率の増加に伴って大きくなる傾向にある。しかしながら、その最小収縮は、BPO添加率 1.00phr及びDMT添加率 0.85phrにおいて達成され、その値は約 1000×10^{-6} である。

Fig.8 には、EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの曲げ強度と DMT 添加率の関係を BPO 添加率別に示す。EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの曲げ強度は、BPO 添加率の影響をほとんど受けず、DMT 添加率の増加に伴って若干減少する傾向にあるが、22.3～23.8MPa の範囲でほぼ一定値を与えるため、その曲げ強度に及ぼす BPO 添加率及び DMT 添加率の影響は、小さいといえる。

Fig.9 には、EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの圧縮強度と DMT 添加率の関係を BPO 添加率別に示す。EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの圧縮強度は、BPO 添加率にほとんど影響されず、DMT 添加率の増加に伴って若干減少し、DMT 添加率 0.65phr においてほぼ一定となる傾向にあるが、122～128MPa の範囲にある。

5. 結論

(1) EPS 濃度 30%のEPS/MMA 溶液を用いた結合材及びポリマーコンクリートの可使用時間は、BPO 添加率及びDMT 添加率の増加に伴って短くなる。EPS/MMA 溶液を用いた結合材の可使用時間とポリマーコンクリートの可使用時間の間には、高い相関性が認められ、両者の関係は、次の実験式で表される。

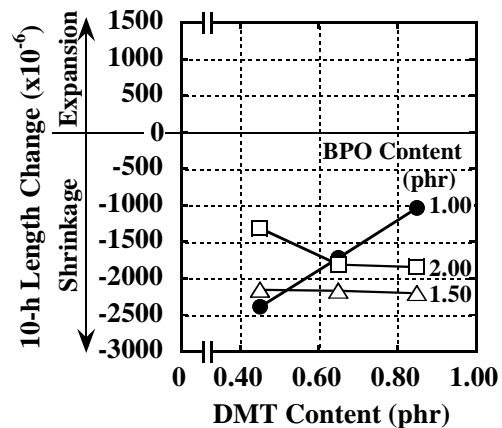


Fig.7 DMT Content vs. 10-h Length Change of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

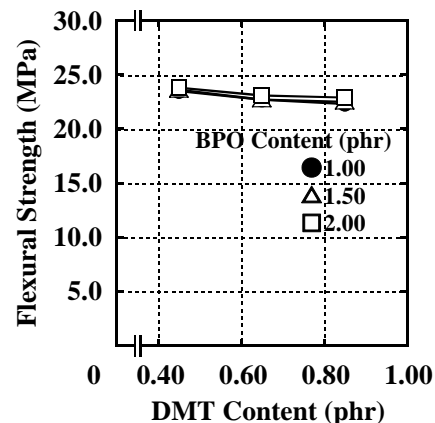


Fig.8 DMT Content vs. Flexural Strength of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

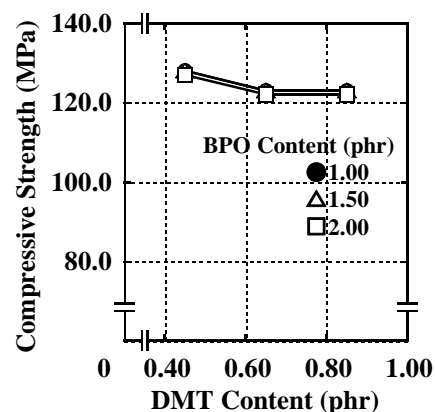


Fig.9 DMT Content vs. Compressive Strength of Polymer Concretes Using EPS/MMA-Based Binders.

$$W_c = 1.29W_b + 24.0$$

ここに、 W_b : 結合材の可使時間 (min)

W_c : ポリマーコンクリートの可使時間 (min)

作成した算定図(Fig.3)を用いることで、所要の可使時間を得るための BPO 添加率及び DMT 添加率を決定できる。

- (2) EPS 濃度 30%の EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの最高発熱温度は、BPO 添加率及び DMT 添加率の増加に伴って上昇する傾向にある。
- (3) EPS 濃度 30%の EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの乾燥養生材齢 10h における長さ変化は、BPO 添加率及び DMT 添加率にかかわらず、収縮を示す。収縮の最小値は、BPO 添加率 1.00phr 及び DMT 添加率 0.85phr において、約 1000×10^{-6} を与え、従来から、プレキャスト製品に多用されているポリエステルコンクリートの収縮⁵⁾と比較して、約 1/6 ~ 1/3 以下となる。
- (4) EPS 濃度 30%の EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートの曲げ及び圧縮強度に及ぼす BPO 添加率及び DMT 添加率の影響は小さい。

以上のことから、EPS 濃度 30%の EPS/MMA 溶液を用いたポリマーコンクリートは、開始剤添加率及び促進剤添加率の調整によって、その可使時間を制御でき、且つ、Table 3 に示すよう

Table 3 Quality Levels of EPS/MMA-Based Polymer Concretes.

Physical Property	EPS/MMA-Based Polymer Concrete	Polyester Concrete ⁶⁾
Flexural Strength (MPa)	22.3~23.8	14.3~35.7
Compressive Strength (MPa)	122~128	82~163
Setting Shrinkage ($\times 10^{-6}$)	1000~2400	3000~6000

に、従来のポリエステルコンクリートとほぼ同等の強度を発現し、更に、その長さ変化は、収縮低減剤を使用しなくても、十分に小さくなる事が分かる。従って、このポリマーコンクリートは、廃発泡ポリスチレンのリサイクル手法の一つとして、極めて有効であると考えられる。

謝辞

本研究は、経済産業省平成 17 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業である「廃発泡ポリスチレン溶液を結合材とした高耐久性複合建材の開発」の一部として実施したものである。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 環境省編：平成 17 年度版 環境白書、ぎょうせい、p.4, 2005.6
- 2) 発泡スチロール再資源化協会編：JEPSRA INFORMATION 2005, 発泡スチロール再資源化協会、p.10, 2005
- 3) 大濱嘉彦, 諸岡淳史：廃発泡ポリスチレン溶液系結合材を用いたポリマーモルタルの初期性状、コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1477-1482, 2005.6
- 4) Moriyoshi, A., Omata, F., Kawakami, M., Tokushige, H. and Ohama, Y., "Stresses and Stains of Resin Mortar during Setting", Proceedings of the Second East Asia Symposium on Polymers in Concrete, College of Engineering, Nihon University, Koriyama, Japan, pp.353-362, May 1997
- 5) McNerey, M.T. : Research in Progress: Rapid All-Weather Pavement Repair with Polymer Concrete, Applications of Polymer Concrete, SP-69, American Concrete Institute, pp.93-105, 1981
- 6) 大濱嘉彦, 出村克宣：ポリマーセメントコンクリート/ポリマーコンクリート, シーエムシー出版, pp.76-79, 2002.9