

論文

[1038] ポリマーディスパージョンとエポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタルの性質

趙榮國*1・大濱嘉彦*2・出村克宣*3

1. はじめに

現在、ポリマーディスパージョンを使用したポリマーセメントモルタルは、その性質が普通セメントモルタルに比べて優れるため、鉄筋コンクリート構造物の仕上及び補修材料として、建築・土木分野で、広範囲に使用されている。又、建設技術の著しい発展と構造物の複合的な劣化に伴って、ポリマーセメントモルタルに要求される性質も多様化の傾向にあり、ポリマーディスパージョンの改良も盛んに行われている。一方、エポキシ樹脂は、ディスパージョンとして用いられるポリマーと比較して、力学的性質、接着性、耐薬品性などに優れるため、その性質を生かすことによって、より優れた性能を有するポリマーセメントモルタルを製造することが可能であると考えられる。そこで、本研究では、ポリマーセメントモルタルの性能改善を目的として、ポリマーディスパージョンとエポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタルの性質を明らかにし、エポキシ樹脂の添加による改質効果について検討している。なお、エポキシ樹脂は、セメントモルタル中で硬化するため [1]、本研究では、エポキシ樹脂用硬化剤を用いていない。

2. 使用材料

2.1 セメント及び骨材

セメントとしては、JIS R 5210 (ポルトランドセメント) に規定する普通ポルトランドセメントを、骨材としては、豊浦標準砂を使用した。

2.2 セメント混和用ポリマーディスパージョン

セメント混和用ポリマーディスパージョンとしては、スチレンブタジエンゴム (SBR) ラテックス、エチレン酢酸ビニル (EVA) エマルジョン及びポリアクリル酸エステル (PAE) エマルジョンを使用した。ポリマーディスパージョンの性質を表-1 示す。なお、ポリマーディスパージョンには、その全固形分に対して、シリコーンエマルジョン系消泡剤をその有効固形分として、0.7%添加した。

表-1 ポリマーディスパージョンの性質

Type of Polymer	Specific Gravity (20°C)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, cP)	Total Solids (%)
SBR	1.020	9.70	64	44.6
EVA	1.060	5.70	1588	44.2
PAE	1.072	9.90	80	44.8

2.3 セメント混和用エポキシ樹脂

セメント混和用エポキシ樹脂としては、ビスフェノールA型エポキシ樹脂 (diglycidyl ether of bisphenol A, 略称:DGEBA) を使用した。エポキシ樹脂の性質を表-2 に、化学構造を図-1 に示す。

*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 日本大学講師 工学部建築学科、工博 (正会員)

3. 試験方法

3.1 供試体の作製

JIS A 1171

(試験室におけるポリマーセメントモルタルの作り方)に従って、セメント:

砂=1:3 (重量比), ポリマーセメント比を0.5, 10, 15及び20%, エポキシ樹脂添加率を0.1, 1.3及び5% (セメントに対する重量百分率)

とし、フロー値 170 ± 5 とな

るように水セメント比を調整したポリマーセメントモルタルを練り混ぜ、寸法 $40 \times 40 \times 160$ mm及び $40 \times 40 \times 80$ mmに成形し、2日湿空 (20°C, 80%R.H.), 5日水中 (20°C), 21日乾燥 (20°C, 50%R.H.) 養生を行って供試体とした。なお、引張接着強さ試験用供試体については、セメント:砂=1:2 (重量比), 水セメント比65%とした下地モルタルに対して、練混ぜたポリマーセメントモルタルを塗り継ぎ、図-2に示す寸法に成形して作製した。

3.2 曲げ及び圧縮強さ試験

JIS A 1172 (ポリマーセメントモルタルの強さ試験方法) に準じて、寸法 $40 \times 40 \times 160$ mmの供試体について、曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

3.3 引張接着強さ試験

JIS A 6915 (厚付け仕上塗材) に準じて、供試体に鋼製ジグを接着した後、インストロン万能試験機を用いて、クロスヘッド速度 $1\text{mm}/\text{min}$ で引張接着強さ試験を行った。

3.4 吸水試験

JIS A 6203 (セメント混和用ポリマーディスパージョン) に準じて、寸法 $40 \times 40 \times 160$ mmの供試体の吸水試験を行い、水中浸せき48時間における吸水率を測定した。

3.5 塩化物イオン浸透試験

JCI (日本コンクリート工学協会) のポリマーセメントモルタル試験方法規準 (案) のポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さ試験方法 (案) に準じて、

寸法 $40 \times 40 \times 80$ mmの供試体を、7日間20°Cの2.5%塩化ナトリウム溶液中に浸せきした後、供試体を二分割し、その断面に0.1%フルオレセインナトリウム溶液及び0.1N硝酸銀溶液を噴霧し、蛍光を発する部分を塩化物イオン浸透域として、図-3に示す6箇所塩化物イオン浸透深さを測定した。

3.6 促進中性化試験

寸法 $40 \times 40 \times 80$ mmの供試体を、14日間促進中性化試験装置 (30°C, 60%R.H., CO_2 濃度5.0%) 内に静置した後、供試体を二分割し、その断面にフェノールフタレインの1%アルコール溶液を噴霧し、

表-2 エポキシ樹脂の性質

Epoxide Equivalent	Molecular Weight	Hue (Gardner)	Specific Gravity (20°C)	Viscosity (cP, 20°C)	Flash Point (°C)
184~194	380	≤ 0.6	1.17	45000	> 150

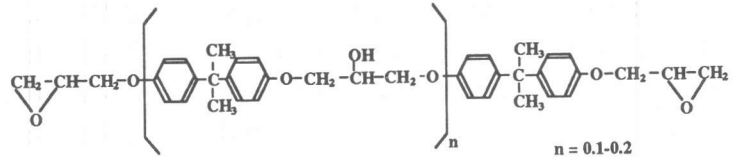


図-1 エポキシ樹脂の化学構造

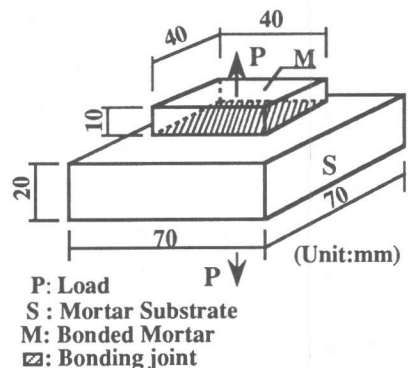


図-2 引張接着強さ試験用供試体

赤色に変化しない部分を中性化域として、図-3に示す6箇所の中性化深さを測定した。

3.7 乾燥収縮試験

寸法40x40x160mmの供試体を2日湿空，5日水中養生した直後，その基長を測定し，以後，乾燥養生を行い，JIS A 1129（モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法）に準じて，乾燥収縮を測定した。

4. 試験結果及び考察

図-4及び図-5には，エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さを示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは，いずれのポリマーセメント比及びエポキシ樹脂添加率においても，普通セメントモルタルのそれよりも大きく，ポリマーセメント比の増加に伴って，増加する傾向にある。しかし，エポキシ樹脂添加率の増加に伴って，SBR及びEVAモルタルの曲げ強さは若干改善されるが，PAEモルタルのその改善は認められない。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの圧縮強さについても，曲げ強さとはほぼ同様の傾向が認められるが，PAEモルタルの圧縮強さは，エポキシ樹脂の添加によって著しく低下する。

図-6には，エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの引張接着強さを示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの引張接着強さは，普通セメントモルタルのそれよりも大きく，ポリマーセメント比の増加に伴って，増大し，ポリマー

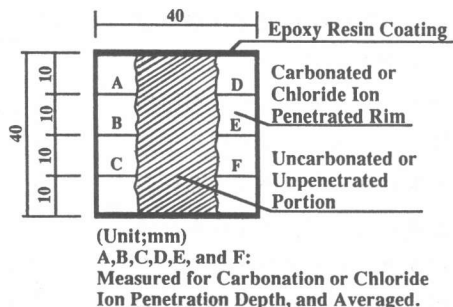


図-3 供試体の塩化物イオン浸透及び中性化深さ測定箇所

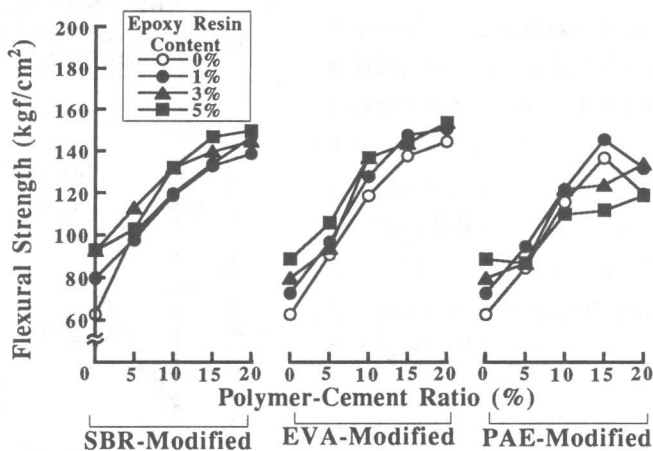


図-4 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの曲げ強さ

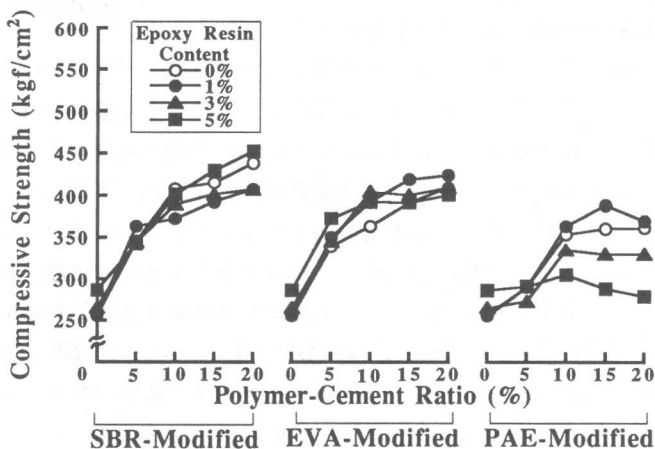


図-5 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの圧縮強さ

セメント比10~15%ではほぼ一定値に達する。又、いずれのポリマーセメントモルタルの引張接着強さも、エポキシ樹脂添加率の増加に伴って、増大する傾向にある。ここで、エポキシ樹脂とポリマーディスパージョンを併用したモルタル（エポキシ樹脂添加率1,3及び5%としたモルタル）については、エポキシ樹脂とポリマーディスパージョンの全固形分の総量からポリマーセメント比を求めて、その引張接着強さとポリマーセメント比の関係を図-7に示す。EVAモルタルについては、その引張接着強さに及ぼすエポキシ樹脂の添加効果はほとんど認められないが、SBR及びPAEモルタルにおいては、ポリマーセメント比10%以上において、ポリマーディスパージョン量の増加によるポリマーセメント比の増大よりも、エポキシ樹脂との併用によるポリマーセメント比の増大による引張接着強さの改善が著しい。換言すれば、SBR及びPAEモルタルの引張接着強さは、エポキシ樹脂との併用によって著しく改善される。このように、ポリマーディスパージョンを使用したポリマーセメントモルタルにエポキシ樹脂を添加することで接着強さが改善されるのは、エポキシ樹脂が被着体と強力な水素結合を形成して高い接着強さを発現するためと考えられる〔2〕。なお、この引張接着強さ試験における供試体は、ほとんど、下地モルタルの凝集破壊を示した。

図-6には、エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの水中浸せき48時間における吸水率を示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの吸水率は、普通セメントモルタルのそれよりも小さく、ポリマーセメント比及びエポキシ樹脂添加率の増加に伴って、相当に減少する傾向にある。特に、PAEモルタルにおいては、エポキシ樹脂添加率の増加に伴う吸水率の減少が著しい。又、いずれのポリマーセメントモルタルにおいても、ポリマーセメント比よりもエポキシ樹脂添加率の増加による吸水率の低減効果が顕著である。

図-9には、エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さを示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さは、ポリマーディスパージョン

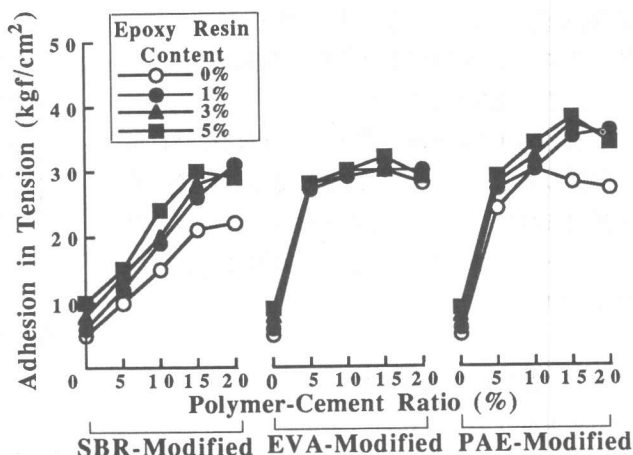


図-6 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの引張接着強さ

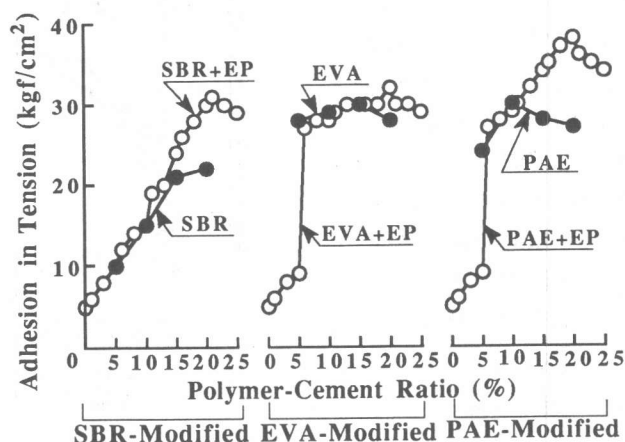


図-7 エポキシ樹脂及びポリマーディスパージョンの全固形分から算出したポリマーセメント比とエポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの引張接着強さの関係

図-8には、エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの水中浸せき48時間における吸水率を示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの吸水率は、普通セメントモルタルのそれよりも小さく、ポリマーセメント比及びエポキシ樹脂添加率の増加に伴って、相当に減少する傾向にある。特に、PAEモルタルにおいては、エポキシ樹脂添加率の増加に伴う吸水率の減少が著しい。又、いずれのポリマーセメントモルタルにおいても、ポリマーセメント比よりもエポキシ樹脂添加率の増加による吸水率の低減効果が顕著である。

図-9には、エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さを示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さは、ポリマーディスパージョン

ン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小さくなる。又、エポキシ樹脂添加率が増加すると、その塩化物イオン浸透深さは更に減少する。このような傾向は吸水率の減少と関連しており、ポリマーディスペーションとエポキシ樹脂を併用することによって、セメントモルタルに優れた防水性及び遮塩性を付与できることが明らかである。

図-10には、エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの中性化深さを示す。いずれのポリマーセメントモルタルにおいても、ポリマーセメント比の増加に伴って、中性化深さは小さくなり、エポキシ樹脂添加率が増加すると、中性化深さは更に小さくなる。

図-11には、エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの乾燥材令28日における乾燥収縮を示す。エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、SBRモルタルの場合には、ポリマーセメント比及びエポキシ樹脂添加率の増加に伴って減少する。しかし、PAEモルタルの場合には、ポリマーセメント比の増加に伴って、乾燥収縮は減少する反面、エポキシ樹脂の添加効果はほとんど認められない。又、EVAモルタルの場合には、ポリマーセメント比が増大すると乾燥収縮は増大するが、エポキシ樹脂の添加によって、乾燥収縮は低減される傾向にある。

以上のことから推察すれば、

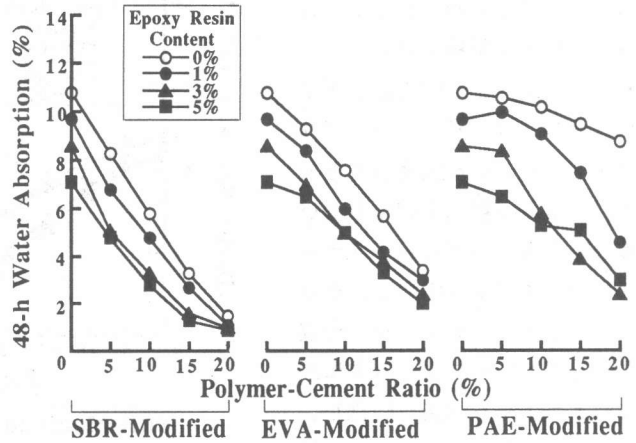


図-8 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの吸水率

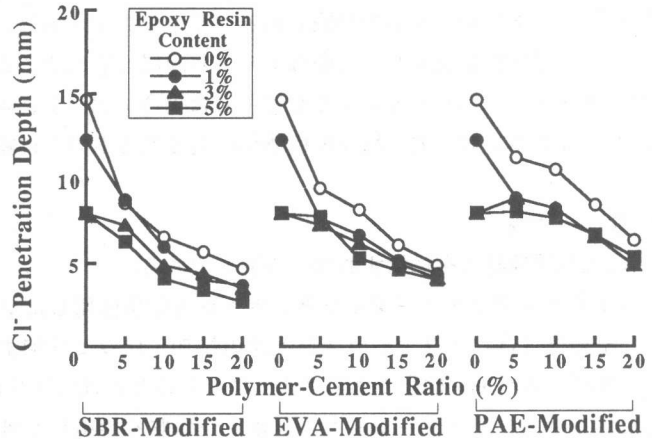


図-9 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの塩化イオン浸透深さ

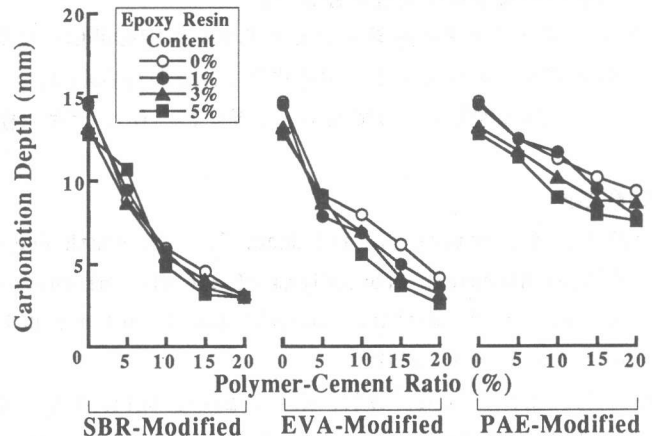
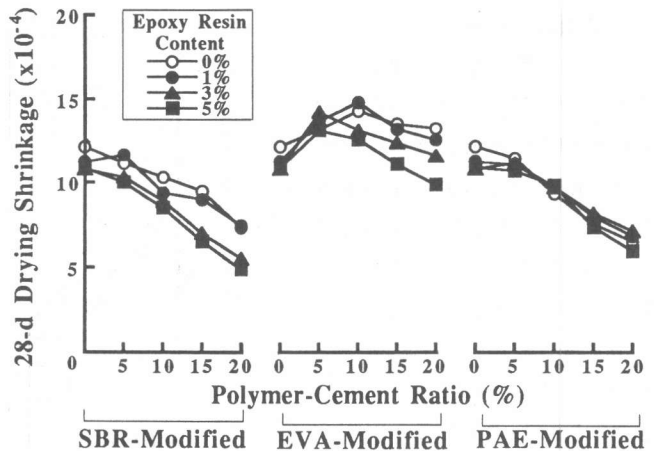


図-10 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの中性化深さ

ポリマーディスパージョンとエポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタル中では、ポリマーディスパージョンからポリマーフィルムが形成されると共に、エポキシ樹脂も硬化しているといえる。つまり、ポリマーセメントモルタル中では、ポリマーディスパージョンから形成されるポリマーフィルム中に混在するエポキシ樹脂が硬化し、セメントマトリックス及び骨材に対する接着性が強化される。



図一 11 エポキシ樹脂添加ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮

従って、ポリマーディスパージョンのみを使用した場合に比べて、エポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタル中で形成されるポリマーフィルムは、セメントマトリックス及び骨材に対して強い接着性を発現し、緻密なモルタル組織を形成することになる。このことが原因となって、ポリマーディスパージョンのみを使用した場合に比べて、エポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタルにおいて、種々の性能が改善されるものと推察される。

5. 結論

以上の試験結果を総括すれば次の通りである。

- (1) ポリマーディスパージョンとエポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さは、ポリマーセメント比の増加に伴って増加する傾向にあり、一部のモルタルを除けば、エポキシ樹脂の添加によって、その強さは若干改善される。
- (2) ポリマーディスパージョンとエポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタルの引張接着強さは、ポリマーセメント比及びエポキシ樹脂添加率の増加に伴って増大する。特に、SBR及びPAEモルタルについては、ポリマーセメント比10%以上において、エポキシ樹脂の添加による引張接着強さの改善が著しい。
- (3) ポリマーディスパージョンとエポキシ樹脂を併用したポリマーセメントモルタルの吸水率、塩化物イオン浸透深さ、中性化深さ及び乾燥収縮は、一部のモルタルを除いて、ポリマーセメント比の増加に伴って減少する傾向にあり、エポキシ樹脂の添加によって、更に改善される。

参考文献

- 1) Ohama, Y., Demura, K. and Endo, T. : Strength Properties of Epoxy-Modified Mortars without Hardener, Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement, Vol.V, National Council for Cement and Building Materials(NCB), New Delhi, pp.512-516, Nov. 1992
- 2) Butt, Yu. M., Topil'skii, G.V., Mikul'skii, V.G., Kozlov, V.V., and Gorban', A.K. : Issledovanie Vzaimodeistviya Epoksidnogo Polimera s Portlandtsementami (in Russian), Izvestiya Vuzov Stroitel'stvo i Arkhitektura, Vol.14, No.1, pp.75-80, 1971