

[1095] ポリマーセメントモルタルの中性化に対する抵抗性

正会員 大濱 嘉彦 (日本大学工学部)

正会員 ○出村 克宣 (日本大学工学部)

1. はじめに

結合材としてセメントとポリマーを用いたポリマーセメントモルタルは、硬化後において、モルタル中に連続したポリマー皮膜が形成されるため、普通セメントモルタルに比べて乾燥収縮が小さく、伸び能力、接着性、防水性、気密性などに優れる。そのため、最近では、ポピュラーな左官用材料として用いられるばかりでなく、特に、鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上を目的とした補修材料として注目されている。そこで、本研究では、高濃度加圧型及び低濃度非加圧型中性化促進装置を用いて、促進中性化試験を行い、ポリマーセメントモルタルの中性化に対する抵抗性について検討すると共に、ポリマーセメントモルタルの中性化速度についても若干の考察を試みる。

2. 使用材料

(1) セメント及び骨材

セメント及び骨材としては、それぞれ、普通ポルトランドセメント、豊浦標準砂、阿武隈川産川砂（粒径、2.5mm以下）及び川砂利（粒径、5-20mm）を使用した。

(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) 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。なお、セメント混和用ポリマーディスパージョンには、その全固形分に対する消泡剤の有効固形分が 0.7% となるように、シリコーンエマルジョン系消泡剤を添加した。表-1には、セメント混和用ポリマーディスパージョンの性質を示す。

表-1 セメント混和用ポリマーディスパージョンの性質

Type of Polymer Dispersion	Specific Gravity (20°C)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, cP)	Total Solids (%)
S B R	1.024	8.9	180	45.6
E V A	1.074	5.1	1500	44.7
P A E	1.064	9.6	120	45.0

3. 試験方法

3.1 ポリマーセメントモルタル供試体の作製

セメント：砂=1:3（重量比）、ポリマーセメント比を0, 10及び20%とした調合の供試モルタルを、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、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）に従って練り混ぜ、調製した。表-2には、供試モルタルの調合を示す。調製したポリマーセメントモルタルを寸法 $10 \times 10 \times 10$ cmに成形し、2日湿空（20℃, 80% R.H.）、5日水中（20℃）及び21日乾燥（20℃, 50% R.H.）養生して、供試体とした。

表-2 ポリマーセメントモルタルの調合

Type of Mortar	Cement:Sand (By Weight)	Polymer- Cement Ratio, P/C (%)	Water- Cement Ratio (%)	Air Content (%)	Flow
Unmodified	1 : 3	0	74.8	6.6	174
SBR-Modified	1 : 3	10 20	66.0 54.6	7.0 6.9	172 170
EVA-Modified	1 : 3	10 20	61.8 56.0	8.8 12.0	167 166
PAE-Modified	1 : 3	10 20	51.2 47.4	22.0 19.5	166 174

3.2 普通セメントコンクリート供試体の作製

JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に準じて、表-3に示す調合の普通セメントコンクリートを練り混ぜ、寸法10x10x10cmに成形し、ポリマーセメントモルタルと同様の養生を行い、供試体とした。

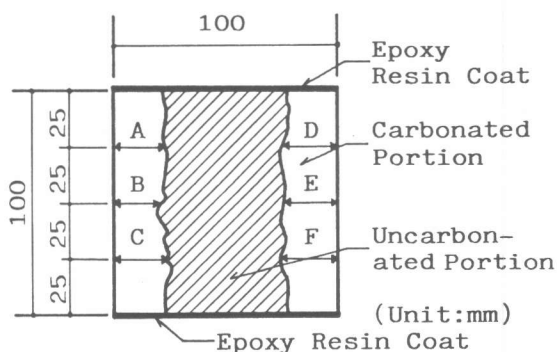
表-3 普通セメントコンクリートの調合

Water- Cement Ratio (%)	Sand- Aggregate Ratio (%)	Mix Proportion By Weight (kg/m ³)				Slump (cm)	Air Content (%)
		Cement	Water	Sand	Gravel		
60.0	46.3	313	188	841	969	8.0	3.6

3.3 促進中性化試験

3.3.1 高濃度加圧法

養生終了後の供試体両端部、打込み面及び底面をエポキシ樹脂塗料でシールした後、耐圧容器内に供試体を静置し、5 mmHg以下で10分間脱気した。その後、耐圧容器内に二酸化炭素を注入し、3kg/cmの圧力で、6, 24及び36時間加圧して、促進中性化試験を行った。試験後の供試体については、割裂によって二分割し、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て、赤変しない部分を中性化域とした。図-1に示す6箇所、供試体表面から赤変したところまでの深さをノギスを用いて0.1mmまで測定し、その平均値を中性化深さとした。なお、普通セメントコンクリート供試体については、加圧時間を24時間のみとした。



A,B,C,D,E,F: Measured for Carbonation Depth and Averaged.

図-1 中性化試験後の供試体断面

図-1に示す6箇所、供試体表面から赤変したところまでの深さをノギスを用いて0.1mmまで測定し、その平均値を中性化深さとした。なお、普通セメントコンクリート供試体については、加圧時間を24時間のみとした。

3.3.2 低濃度非加圧法

高濃度加圧法による場合と同様にエポキシ樹脂塗料でシールした供試体を、温度30℃、相対湿度60%及び二酸化炭素濃度5%に保たれた低濃度非加圧型中性化促進装置内に28, 91及び182日間静

置して、促進中性化試験を行った。試験終了後の供試体については、高濃度加圧法による場合と同様に、中性化深さを測定した。

3.4 屋外暴露試験

普通セメントモルタル、SBR及びEVA混入モルタルについては、促進中性化試験方法と同様にエポキシ樹脂塗料でシールした供試体を、福島県郡山市の日本大学工学部研究棟屋上に1年間暴露した後、中性化深さを測定した。

4. 試験結果及び考察

図-2及び図-3には、高濃度加圧法及び低濃度非加圧法によるポリマーセメントモルタルの中性化深さを示す。試験方法及び暴露期間にかかわらず、PAE混入モルタルを除けば、ポリマーセメントモルタルの中性化に対する抵抗性は、普通セメントモルタル及びコンクリートのそれに比べて

相当に優れており、ポリマーセメント比の増加に伴って、中性化深さは減少する傾向にある。これは、ポリマーセメントモルタル中に形成されているポリマー皮膜が、極めて不透気性のものであるためと考えられる。一方、いずれの試験においても、SBR及びEVA混入モルタルに比べて、PAE混入モルタルの中性化深さはかなり大きい。これは、他のモルタルに比べて、PAE混入モルタルの空気量が著しく大きいことに起因するものと推察される。いずれの試験においても、暴露期間の経過に伴って、ポリマーセメントモルタルの中性化深さは増

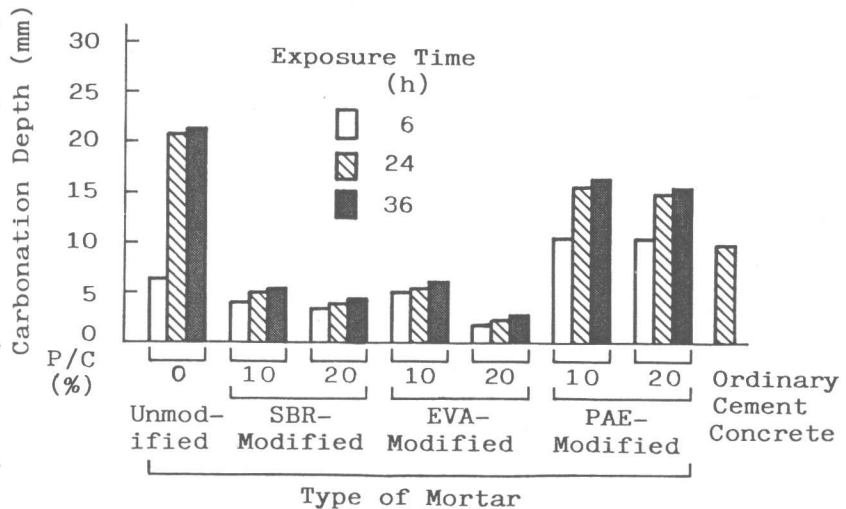


図-2 高濃度加圧法によるポリマーセメントモルタルの中性化深さ (CO₂ガスの圧力、3kg/cm²)

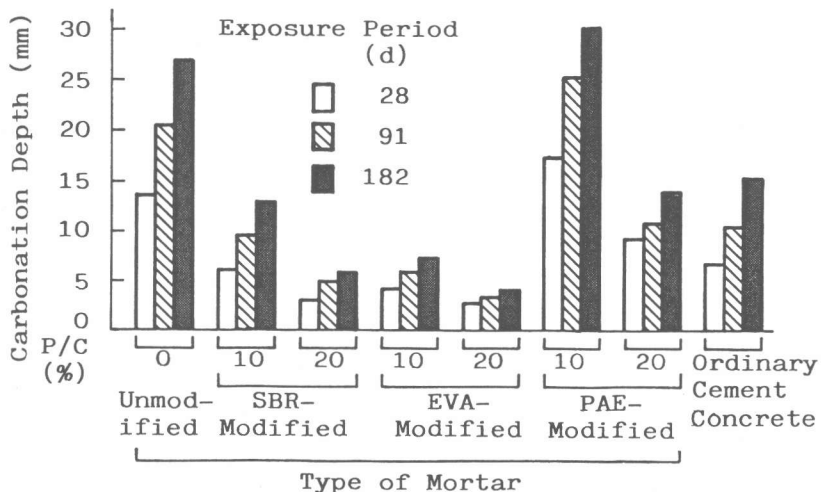


図-3 低濃度非加圧法によるポリマーセメントモルタルの中性化深さ (温度:20℃, 相対湿度:60%, CO₂濃度:5%)

大する傾向にあり、低濃度非加圧法において、その傾向が顕著である。

図-4及び図-5には、高濃度加圧法及び低濃度非加圧法によるポリマーセメントモルタルの普通セメントモルタルに対する相対中性化深さを示す。なお、相対中性化深さは次式を用いて算出した。

$$RC = (C_i/C_o) \times 100$$

ここに、RC：ポリマーセメントモルタルの普通セメントモルタルに対する相対中性化深さ(%), C_i :ポリマーセメントモルタルの中性化深さ(mm), C_o :普通セメントモルタルの中性化深さ(mm)

高濃度加圧法による場合、いずれのポリマーセメントモルタルにおいても、加圧6時間後における相対中性化深さと比較して、加圧24及び36時間後における相対中性化深さは1/2程度である。又、各調合のポリマーセメントモルタル

において、加圧24及び36時間後における相対中性化深さはほぼ同様の値であることから、加圧24時間から36時間までは、普通セメントモルタル及びポリマーセメントモルタルの中性化速度は比較的類似しているものと考えられる。一方、低濃度非加圧法による場合には、一部のものを除けば、暴露期間の経過に伴って、ポリマーセメントモルタルの相対中性化深さは減少する傾向にあり、普通セメントモルタルに比べて、ポリマーセメントモルタルの中性化速度は遅いものと推察される。

一般に、セメントコンクリートの中性化深さ(C)と暴露期間(t)の関係は、 $C=A\sqrt{t}$ で表され、本研究のように、普通ポルトランドセメント、川砂及び川砂利を使用し、AE剤を混入しないセメントコンクリートにおいて、水セメント比60%の場合には、その関係は次のように表される[1]。

$$t = 0.072C^2 \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 t ：暴露期間(年)， C ：中性化深さ(mm)

図-3において、低濃度非加圧法によって得られた普通セメントコンクリートの中性化深さは、暴露期間28、91及び182日後において、それぞれ、6.7、10.5及び15.4mmである。このコンクリートを屋外に暴露した場合に、このような中性化深さが得られるものと仮定すれば、(1)式より、

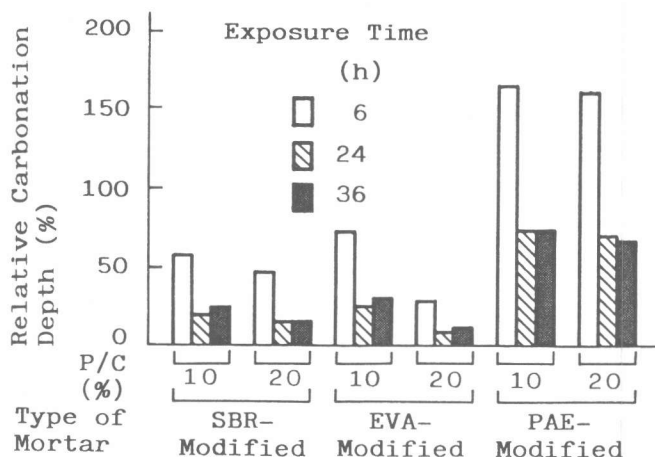


図-4 高濃度加圧法によるポリマーセメントモルタルの普通セメントモルタルに対する相対中性化深さ

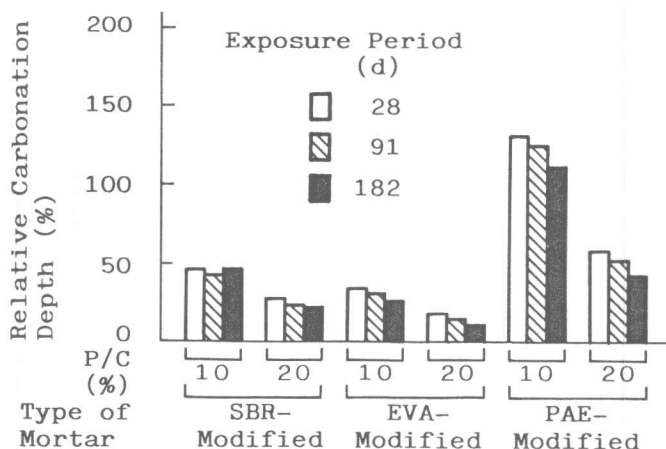


図-5 低濃度加圧法によるポリマーセメントモルタルの普通セメントモルタルに対する相対中性化深さ

低濃度非加圧型中性化促進装置への暴露期間28,91及び182日は、それぞれ、屋外暴露期間3.23, 7.94及び17.08年に相当することになり、それらの関係は次式のごとく表すことができる。

$$t = 0.0907t_0 + 0.319 \quad (r=0.99) \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 t : 屋外暴露相当年数 (年)

t_0 : 低濃度非加圧型中性化促進装置への暴露期間 (日)

r : 相関係数

普通セメントコンクリートの中性化深さと暴露期間の関係は、(1)式で表されるが、長期間の暴露においては、 $C=A\sqrt{t}+B$ という関係式によって近似する方がよい場合もあるとされている[2]。

低濃度非加圧型中性化促進装置への暴露期間を先に求めた屋外暴露相当年数に置換して、普通セメントモルタル及びポリマーセメントモルタルの中性化深さと屋外暴露相当年数の平方根の関係を求めると、図-6のごとくであり、ポリマーセメント比別に次のような実験式が得られる。

普通セメントモルタル: $P/C=0\%$ $C=5.80\sqrt{t}+3.47$ ($r=0.99$) --- (3)

SBR混入モルタル : $P/C=10\%$ $C=2.79\sqrt{t}+1.44$ ($r=0.99$) --- (4)

$P/C=20\%$ $C=1.06\sqrt{t}+1.87$ ($r=0.99$) --- (5)

EVA混入モルタル : $P/C=10\%$ $C=1.36\sqrt{t}+1.91$ ($r=0.98$) --- (6)

$P/C=20\%$ $C=0.256\sqrt{t}+2.15$ ($r=0.99$) --- (7)

PAE混入モルタル : $P/C=10\%$ $C=5.89\sqrt{t}+7.46$ ($r=0.98$) --- (8)

$P/C=20\%$ $C=2.12\sqrt{t}+4.57$ ($r=0.97$) --- (9)

ここに、 C : 中性化深さ (mm)

t : 屋外暴露相当年数 (年)

これらの実験式は、 $C=a\sqrt{t}+b$ という一般式で表すことができ、定数 a は中性化速度係数に相当し、これによって、ポリマーセメントモルタルの中性化速度が決定される。ポリマーセメント比10%のPAE混入モルタルを除けば、ポリマーセメント比10%以上においては、ポリマーセメントモルタルの中性化速度係数は普通セメントモルタルのその1/2以下であり、又、ポリマーの種

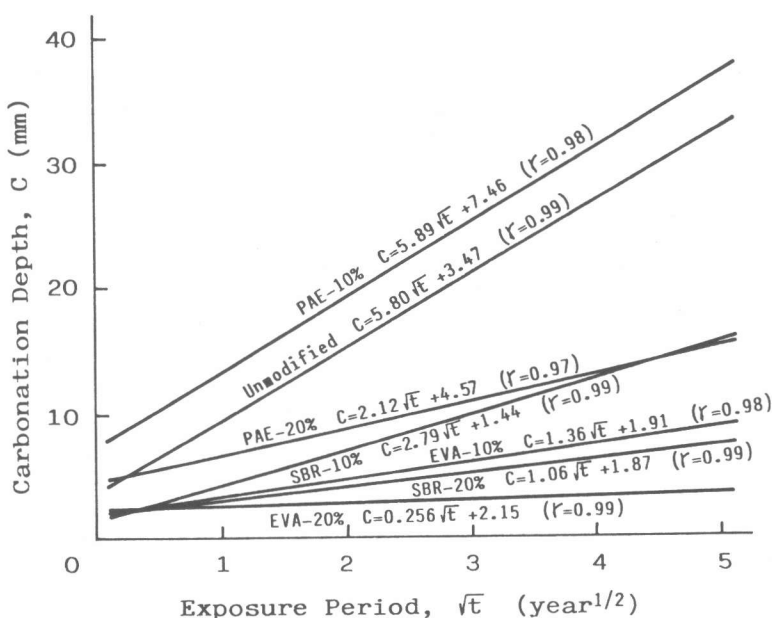


図-6 ポリマーセメントモルタルの中性化深さと屋外暴露相当年数の関係

類にかかわらず、ポリマーセメント比20%のポリマーセメントモルタルの中性化速度係数は、ポリマーセメント比10%の場合の1/2以下となる。

表-4には、屋外暴露1年後のポリマーセメントモルタルの中性化深さと、(3)式から(9)式より

算出した中性化深さの推定値を示す。屋外暴露による測定値と推定値は比較的近似した値を与えていることから、ポリマーセメントモルタルの中性化深さの推定式として、(3)式から(9)式を用いることが可能であると考えられる。又、これらの実験式を用いることによって、鉄筋コンクリート構造物の補修などに用いられるポリマーセメントモルタルの塗り厚さを、中性化に対する抵抗性を考慮した上で合理的に決定できるものとする。高濃度加圧法によって、普通セメントコンクリートの促進中性化試験を行った結果では、図-2に示すように、加圧24時間後における中性化深さは10.0mmであり、屋外暴露相当年数は、7.2年と推定できる。そこで、低濃度非加圧法によって得られた(3)式から(9)式

表-4 屋外暴露1年後のSBR及びEVA混入モルタルの中性化深さ及びその推定値

Type of Mortar	Polymer-Cement Ratio, P/C (%)	Carbonation Depth (mm)	
		Measured	Predicted
Unmodified	0	6.3	9.3
SBR-Modified	10 20	4.0 2.8	4.2 2.9
EVA-Modified	10 20	2.6 1.5	3.3 2.4

表-5 高濃度加圧法による暴露相当年数7.2年後のポリマーセメントモルタルの中性化深さ及びその推定値

Type of Mortar	Polymer-Cement Ratio, P/C (%)	Carbonation Depth (mm)	
		Measured	Predicted
Unmodified	0	21.4	19.0
SBR-Modified	10 20	4.8 3.5	8.9 4.7
EVA-Modified	10 20	5.8 2.3	5.6 2.8
PAE-Modified	10 20	16.0 15.0	23.2 10.3

より、屋外暴露相当年数7.2年におけるポリマーセメントモルタルの中性化深さを推定し、高濃度加圧法による測定値と比較すると、表-5のようである。ポリマーセメントモルタルの中性化深さの測定値と推定値は、比較的近似しており、高濃度加圧法における加圧24時間は、屋外暴露期間の7年前後に相当するものと推定される。

5. 総括

以上の試験結果を総括すれば、次のごとくである。

(1) 普通セメントモルタルに比較して、ポリマーセメントモルタルの中性化に対する抵抗性は相当に優れており、その中性化速度係数はポリマーセメント比10%では、普通セメントモルタルのその1/2以下、ポリマーセメント比20%では1/4以下である。

(2) ポリマーセメントモルタルを屋外暴露した場合の中性化深さは、次式のごとく表せる。

$$C = a\sqrt{t} + b \quad \text{ここに、 } C: \text{ポリマーセメントモルタルの中性化深さ (mm),}$$

t : 暴露期間 (年), a : 中性化速度係数, b : 実験定数

参考文献

- [1] 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性、鹿島建設技術研究所出版部、p.p.145-151、1963.
- [2] 福士勲、福島敏夫：仕上塗材によるコンクリートの中性化および鉄筋腐食の抑制、セメントコンクリート、p.p.74-81、1985.