

論文 高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの性質

朱 明基*¹大濱 嘉彦*²出村 克宣*³

要旨： 本研究では、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの強さ、吸水率、中性化深さ及び塩化物イオン浸透深さに及ぼすポリマー結合材比及び高炉スラグ混入率の影響について検討している。その結果、ポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さは、ポリマー結合材比の増加に伴って増加し、又、高炉スラグ混入率40%で最大値を与える傾向にある。ポリマーセメントモルタルの防水性、中性化及び塩化物イオン浸透に対する抵抗性は、ポリマー結合材比及び高炉スラグ混入率の増加に伴って相当に改善される傾向にある。

キーワード：ポリマーセメントモルタル、高炉スラグ混入率、強さ、耐久性

1. はじめに

近年、高炉スラグ微粉末は、コンクリートの耐久性改善や水と熱の低減を目的とする混和材として需要が増加している¹⁾。又、高炉スラグ微粉末は、高強度コンクリート用混和材としての利用も検討されている。しかしながら、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルに関する報告は見当たらない。

本研究では、高炉スラグ微粉末とポリマーディスパージョンを混入したポリマーセメントモルタルを調製し、結合材組成、ポリマー結合材比及び高炉スラグ混入率がポリマーセメントモルタルの強さ、防水性、中性化及び塩化物イオン浸透に対する抵抗性に及ぼす影響について検討する。

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。

2.2 混和材

混和材としては、高炉スラグ微粉末を使用した。なお、高炉スラグ微粉末の物理的性質を Table 1 に示す。

Table 1 Physical Properties of Ground Granulated Blast Furnace Slag

Density (g/cm ³)	Blaine Specific Surface (cm ² /g)	Glass Content (%)
2.91	10070	98

2.3 細骨材

細骨材としては、旧JIS R 5201に規定される豊浦けい砂を使用した。

2.4 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、JIS A 6203 (セメント混和用ポリマーディスパージョン及び再乳化形粉末樹脂) に規定する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、ポリマーディスパージョンの全固形分に

Table 2 Properties of Polymer Dispersions

Type of Polymer Dispersion	Density (g/cm ³)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Total Solids (%)
SBR	1.02	9.4	64	44.7
EVA	1.07	5.2	1218	44.0
PAE	1.06	9.8	49	47.0

*1 日本大学大学院工学研究科 建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学工学部 建築学科 工博 (正会員)

*3 日本大学工学部 建築学科 工博 (正会員)

対して、シリコーンエマルジョン系消泡剤（有効シリコーン分、30%）を、その有効固形分として0.7%（質量百分率）添加した。ポリマーデイスパーションの性質をTable 2に示す。

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、結合材：細骨材=1:3（質量比）、ポリマー結合材比を0, 5, 10, 15及び20%とし、そのフロー値が 170 ± 5 一定となるように水結合材比を調整して、供試モルタルを練混ぜた後、寸法 $40 \times 40 \times 160$ mmに成形し、理想養生 { 2日湿空 [20°C, 80% (RH)] + 5日水中 (20°C) + 21日乾燥 [(20°C, 50% (RH))] } を行い、供試体を作製した。なお、セメントに対する高炉スラグ微粉末の代替率 [SL(%): 以下、高炉スラグ混入率という] を、質量比で0, 30, 40及び50%として混合したものを結合材とした。

3.2 細孔容積の測定

寸法 $40 \times 40 \times 160$ mmの供試体の内部から試料を採取した。試料を粒径約 3mmに破碎し、エタノールで洗浄した後、D-dry処理を行い、水銀圧入式ポロシメーターを用いて、細孔半径3.75~7500nmの範囲で細孔容積を測定し、更に全細孔容積を求めた。

3.3 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）に従って、供試体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

3.4 吸水試験

JIS A 6203に従って、水中浸漬時間48時間における供試体の質量を測定し、吸水率を算出した。

3.5 中性化試験

JIS A 6203に

従って、供試体を14日間促進中性化試験装置 [30°C, 60% (RH), CO₂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、赤色に変化しない部分を中性化域として、中性化深さを測定した。

3.6 塩化物イオン浸透試験

JIS A 6203に従って、供試体を7日間20°Cの2.5%塩化ナトリウム溶液中に浸漬した後、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水溶液及び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(Cl⁻)浸透域として、塩化物イオン浸透深さを測定した。

4. 試験結果及び考察

4.1 細孔径分布

Fig. 1には、高炉スラグ混入率40%で、ポリマー結合材比を0及び20%としたポリマーセメントモルタルの細孔径分布を示す。ポリマー結合材比 0及び20%のポリマーセメントモルタルの細孔径分布のピークは、高炉スラグの混入によって、細孔半径14nm以下に移行する傾向にある。この傾向はPAE混入ポリマーセメントモルタルにおいて著しい。このように、小さい半径の細孔が多くなることは、強さ、防水性、塩化物イオン浸透及び中性化に対する抵抗性を改善する一つの要因であるといえる。

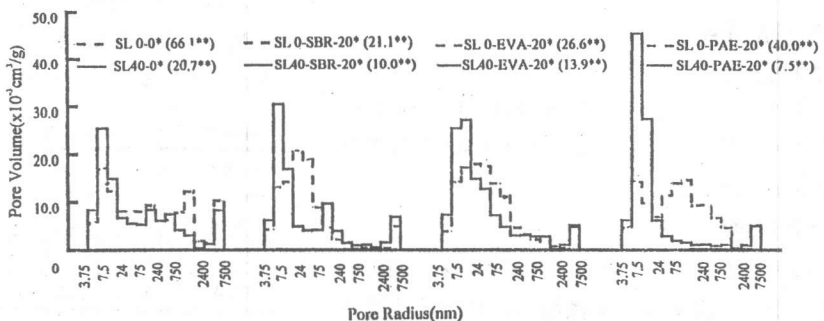


Fig. 1 Pore Size Distribution of Polymer-Modified Mortars with Polymer-Binder Ratios of 0 and 20% , and Slag Contents of 0 and 40%

Notes, * : Polymer-Binder Ratio (%), ** : Total Pore Volume (× 10³cm³/g)

4.2 曲げ及び圧縮強さ

Fig. 2 及び Fig. 3 には、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さとポリマー結合材比の関係を、又、Fig. 4 及び Fig. 5 には、その曲げ及び圧縮強さと高炉スラグ混入率の関係を示す。高炉スラグ混入率にかかわらず、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さは、一部の例外を除き、ポリマー結合材比の増加に伴って増加する傾向にある。この傾向は PAE 混入ポリマーセメントモルタルにおいて著しい。ポリマーの種類にかかわらず、一部の例外を除き、高炉スラグを混入したポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さは、高炉スラグ混入率40%において最大値に達する。このような高い曲げ及び圧縮強さ発現は、ポリマーセメントモルタルに粉末度の高い高炉スラグ微粉

末を混入した場合、内部に形成されるポリマーフィルムのシール効果による保水性の向上に伴い、セメントの水和反応と高炉スラグのポゾラン反応が十分に進行して、ち密な組織が形成されるためと考えられる²⁾。このことは、Fig. 1 に示したように、最も高い強さを与える、高炉スラグ混入率40%で、ポリマー結合材比20%のポリマーセメントモルタルの細孔径分布のピークが、細孔半径の大きい方から14nm以下の極端に小さい方に移行することからも理解できる。

Photo 1 には、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタル中に形成されたポリマーフィルムの走査型電子顕微鏡写真（酸でエッチング後の観察による）を示す。高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタル中においては、ポリマーの種類にかかわらず、連続したポリマーフィルムが形成されることが分かる。

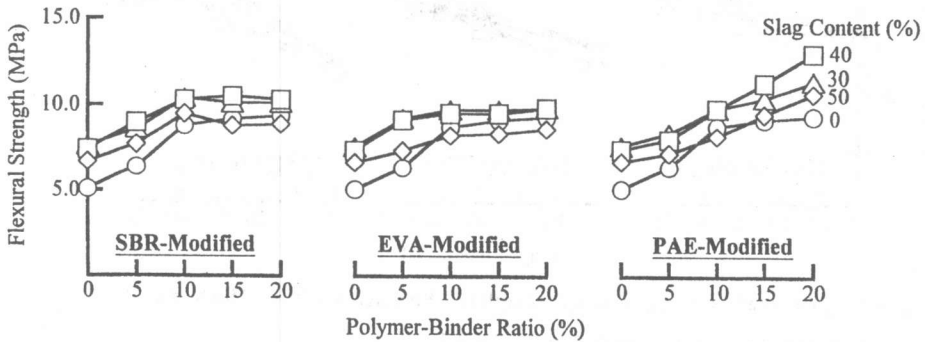


Fig. 2 Polymer-Binder Ratio vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with Slag Contents of 0, 30, 40 and 50%

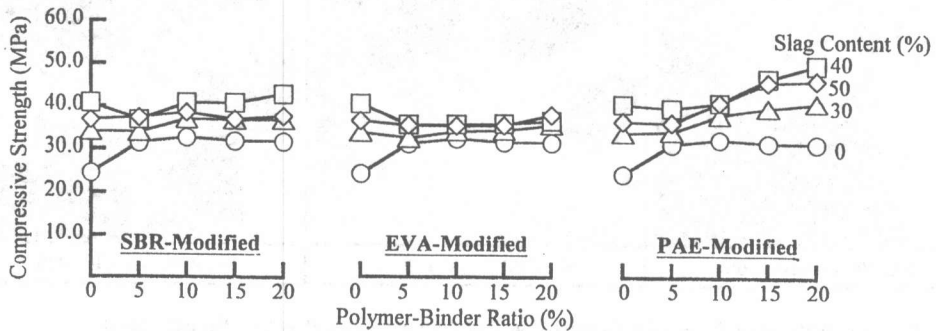


Fig. 3 Polymer-Binder Ratio vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars with Slag Contents of 0, 30, 40 and 50%

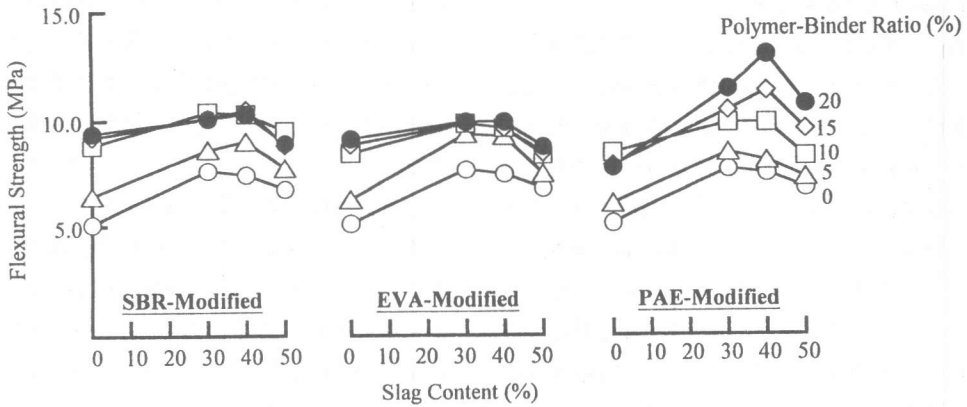


Fig. 4 Slag Content vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

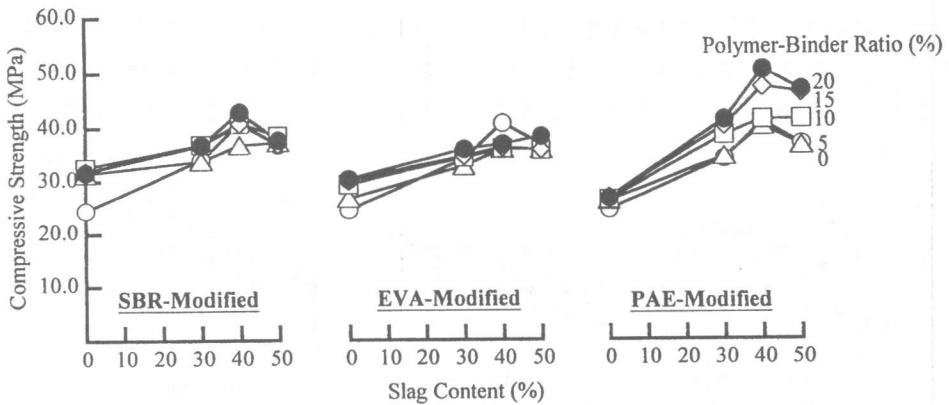


Fig. 5 Slag Content vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars with Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

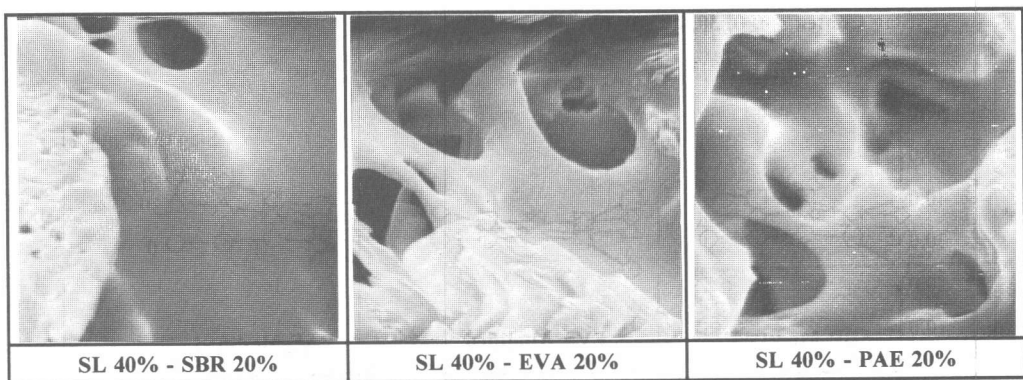


Photo 1 Microstructures of Polymer-Modified Mortars with Polymer-Binder Ratio of 20% and Slag Content of 40 %

4.3 吸水率

Fig. 6には、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの水中浸漬48時間における吸水率とポリマー結合材比の関係を示す。高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの吸水率は、ポリマー結合材比及び高

炉スラグ混入率の増加に伴って減少する傾向にある。これは、Fig. 1に示したように、ポリマーと高炉スラグの混入によって、その吸水率に大きな影響を及ぼす大きな細孔が減少したためと考えられる。

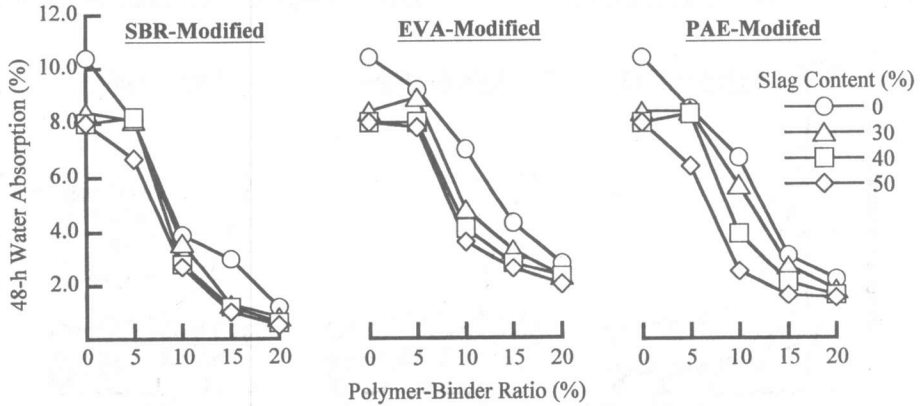


Fig. 6 Polymer-Binder Ratio vs. 48-hour Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with Slag Contents of 0, 30, 40 and 50%

4.4 中性化深さ

Fig. 7には、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの中性化深さとポリマー結合材比の関係を示す。高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの中性化深さは、高炉スラグ混入率及びポリマーの種類にかかわらず、ポリマー結合材比の増加に伴って

減少する傾向にある。いずれのポリマー結合材比においても、高炉スラグ混入率30%以上では、その中性化深さは、相当に小さくなるが、高炉スラグ混入率の差異によってほとんど影響されない。これは、Fig. 1に示したように、大きな細孔が減少し、相当にち密な組織が形成されるためと推察される³⁾。

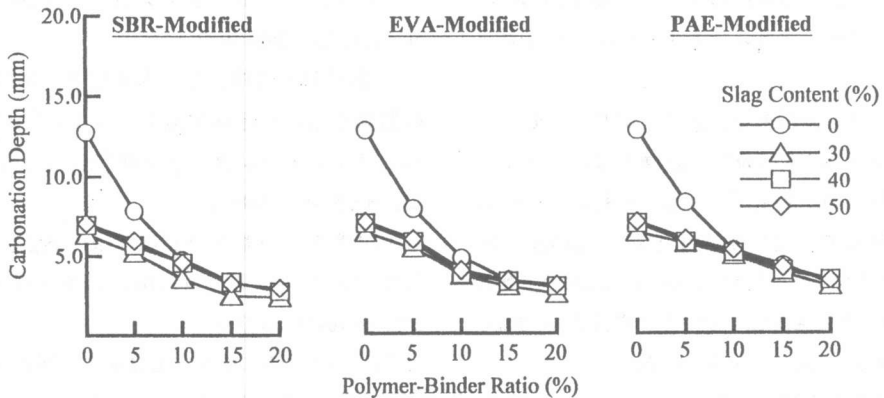


Fig. 7 Polymer-Binder Ratio vs. Carbonation Depth of Polymer-Modified Mortars with Slag Contents of 0, 30, 40 and 50%

4.5 塩化物イオン浸透深さ

Fig. 8には、高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さとポリマー結合材比の関係を示す。高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの塩化物イオン浸透深さは、ポリマーの種類にかかわらず、ポリマー結合材比及び高炉スラグ

混入率の増加に伴って減少する傾向にある。

Fig. 1から分かるように、半径100nm以上の細孔容積が少なくなると、塩化物イオン浸透深さは減少する。このことから、セメントの高炉スラグによる代替によって、塩化物イオン浸透に対する抵抗性が改善される理由の一つは、その組織がち密化することにあると考えられる⁹⁾。

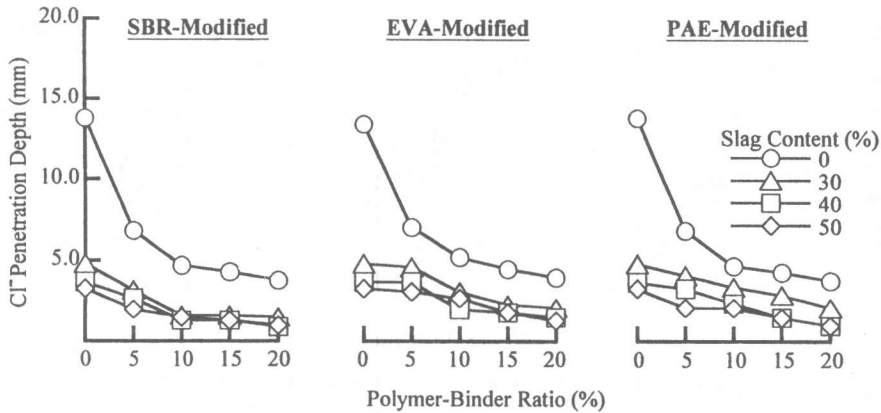


Fig. 8 Polymer-Binder Ratio vs. Chloride Ion Penetration Depth of Polymer-Modified Mortars with Slag Contents of 0, 30, 40 and 50%

5. 結論

以上の試験結果を結論づければ、次の通りである。

- (1) 高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの細孔径分布のピークは、高炉スラグの混入によって、細孔半径が相当に小さい方に移行する傾向にある。この傾向はPAE混入ポリマーセメントモルタルにおいて著しい。
- (2) 高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さは、ポリマーの種類にかかわらず、ポリマー結合材比の増加に伴って相当に増大するが、この傾向はPAE混入ポリマーセメントモルタルにおいて著しい。又、その強さは、高炉スラグ混入率40%で最大値を与える傾向にある。
- (3) 高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの防水性、中性化及び塩化物イオン浸透に対する抵抗性は、ポリマー結合材比

及び高炉スラグ混入率の増加に伴って相当に改善される傾向にある。

参考文献

1. 近田孝夫・檀 康弘・堀 健治・長尾之彦：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐海水性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No. 1，pp.263-268，1992. 5
2. 大濱嘉彦・出村克宣・木村正尚：高炉スラグ微粉末を用いた超高強度モルタルの製造，第17回セメント・コンクリート研究討論会研究報告集，pp. 51-56，1990. 11
3. 依田彰彦：高炉スラグ微粉末の高強度・高耐久性コンクリートへの利用，石膏と石灰，No. 243，pp.16-21，1993. 3
4. 福留和人・谷口裕史・喜多達夫：高炉スラグ微粉末を混入した水中不分散性コンクリートの塩分浸透性について，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 第5部，pp. 640-641，1991. 9