

論文 オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの強さ 性状に及ぼす高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤混和の影響

大濱 嘉彦*¹・出村 克宣*²・朱 明基*³

要旨：本研究では、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの強さ性状に及ぼす高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤混和の影響について検討している。その結果、高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さは、高炉スラグ微粉末混和の有無と高性能減水剤混和の有無及びその種類にかかわらず、高性能減水剤添加率及びポリマーセメント比の増加に伴って増大し、高性能減水剤添加率 2.0%で最大値に達する傾向にある。従って、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルにおいても、高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤の混和による強さ性状の改善が可能である。

キーワード：オートクレープ養生、ポリマーセメントモルタル、高炉スラグ微粉末、高性能減水剤、強さ

1. はじめに

高炉スラグ微粉末は、コンクリートの長期強度、水密性及び化学抵抗性の改善に優れ、アルカリ骨材反応及び水和熱の抑制にも効果があり、混和材として大量に使用されている。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートでは、初期強度発現が遅いため、これを改善するための方法として、高性能減水剤の混和が研究されている。一方、短期間に高強度コンクリートを工業的に製造する方法として、高性能減水剤を用いてオートクレープ養生する方法が、現在、主流となっている。又、ポリマーセメントモルタル及びコンクリートについても、プレキャスト製品への利用が期待され、著者らは、ポリマーセメントモルタルへのオートクレープ養生の適用を試みた。その結果、エステル結合を含むポリマーがけん化されて劣化する EVA 及び PAE 混入ポリマーセメントモルタルと比べて、その恐れがない SBR 混入ポリマーセメントモルタルの性質が優れることを明らかにしている¹⁾。これまで、高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加オー

トクレープ養生ポリマーセメントモルタルに関する研究は全く行われていない。

本研究では、高炉スラグ微粉末と高性能減水剤を併用したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルを調製し、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの強さ性状に及ぼす高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤混和の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) に規定する普通ポルトランドセメントを使用した。

2. 2 シリカ質混和材

シリカ質混和材としては、高炉スラグ微粉末を使用した。高炉スラグ微粉末の性質を Table 1 に示す。

2. 3 細骨材

細骨材としては、旧 JIS R 5201-1992 (セメントの物理試験方法) に規定する豊浦標準砂を使

*1 日本大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*2 日本大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

用した。

2. 4 セメント混和用ポリマーディスペーション

セメント混和用ポリマーディスペーションとしては、JIS A 6203 (セメント混和用ポリマーディスペーシ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) ラテックスを使用した。なお、SBR ラテックスの全固形分に対して、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、その有効シリコーン分として 0.7% (質量百分率) 添加した。SBR ラテックスの性質を Table 2 に示す。

2. 5 高性能減水剤

高性能減水剤としては、ナフタレンスルホン酸塩系高性能減水剤 (ナフタレンスルホン酸塩ホルマリン高縮合物、以下、WRA-1 と略称) 及びメラミンスルホン酸塩系高性能減水剤 (高縮合トリアジン系化合物一般には、メラミンスルホン酸塩ホルマリン縮合物と呼ぶ、以下、WRA-2 と略称) を使用した。

3. 試験方法

3. 1 供試体の作製

JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験

方法) に従って、結合材: 細骨材 = 1:3 (質量比)、高性能減水剤添加率を 0, 1.0, 2.0 及び 3.0%, ポリマー結合材比 (P/B) 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 (W/B) を調整して、供試モルタルを練混ぜた。供試モルタルを寸法 $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ に成形し、オートクレープ養生 {2d 湿空 [20°C, 80% (RH)] + オートクレープ (180°C, 1.01 MPa, 7h 保持) 養生} を行って、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置換率 [%] : 以下、SL と略称 を、質量比で 0 及び 30% としたものを結合材とした。

3. 2 細孔容積の測定

寸法 $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ の供試体の内部から採取したモルタル塊を、粒径約 3mm に破碎して、試料とした。試料を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 1171 に従って、供試体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Ground Granulated Blast-Furnace Slag

Density (g/cm ³)	Blaine Specific Surface (cm ² /g)	Percent Flow (%)	Activity Index (%)		
			7d	28d	91d
2.91	10070	87	128	115	106

Chemical Compositions (%)				
MgO	SO ₃	SiO ₂	ig. loss	Cl ⁻
5.58	0.12	33.5	<0.05	0.003

Table 2 Properties of SBR Latex

Type of Polymer Dispersion	Density (20°C, g/cm ³)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Total Solids (%)
SBR	1.00	9.3	75	44.9

4. 試験結果及び考察

4. 1 高性能減水剤添加率と水結合材比の関係

Fig. 1 及び Fig. 2 には、フロー値 170 ± 5 一定に調整した高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加 SBR 混入ポリマーセメントモルタルのフレッシュ状態の水結合材比と高性能減水剤添加率の関係を示す。高性能減水剤添加率及びポリマー結合材比の大きい SBR 混入ポリマーセ

メントモルタルほど、水結合材比は小さい傾向にあるが、いずれのポリマー結合材比においても、高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤の混和によって、SBR 混入ポリマーセメントモルタルの水結合材比は減少する。従って、高炉スラグ微粉末を含む SBR 混入ポリマーセメントモルタルにおいても、高性能減水剤の減水効果が発揮されることが明らかである。

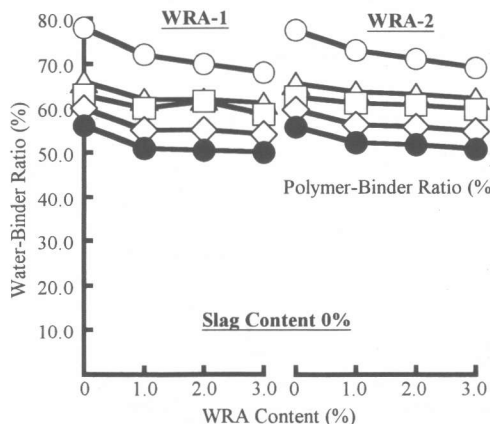


Fig. 1 WRA Content vs. Water-Binder Ratio of Fresh SBR-Modified Mortars with Slag Content of 0%, and Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

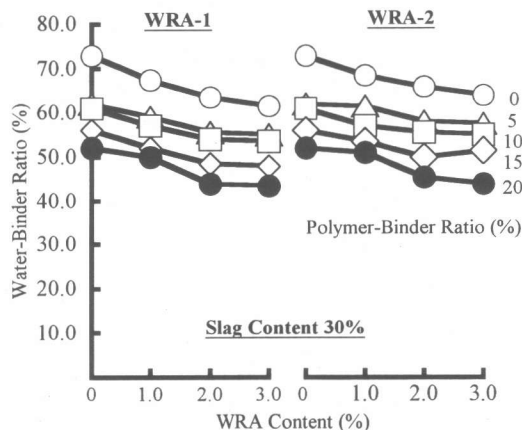


Fig. 2 WRA Content vs. Water-Binder Ratio of Fresh SBR-Modified Mortars with Slag Content of 30%, and Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

4. 2 細孔径分布

Fig. 3 から Fig. 6 には、ポリマー結合材比を 0 及び 20% とし、高性能減水剤添加率を 0, 1.0, 2.0 及び 3.0 % とした高炉スラグ微粉末を含むオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの細孔径分布の関係を示す。高性能減水剤の種類にかかわらず、オートクレープ養生普通セメントモルタルの細孔径分布のピークは、

高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤の混和によって、細孔半径の大きい方から小さい方に移行する傾向にある。更に、これらの混和材料の混和によって、その全細孔容積も減少する。又、高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加オートクレープ養生普通セメントモルタルの細孔径分布のピークは、SBR ラテックスの混入によって、細孔半径の大きい方から小さい方に移行

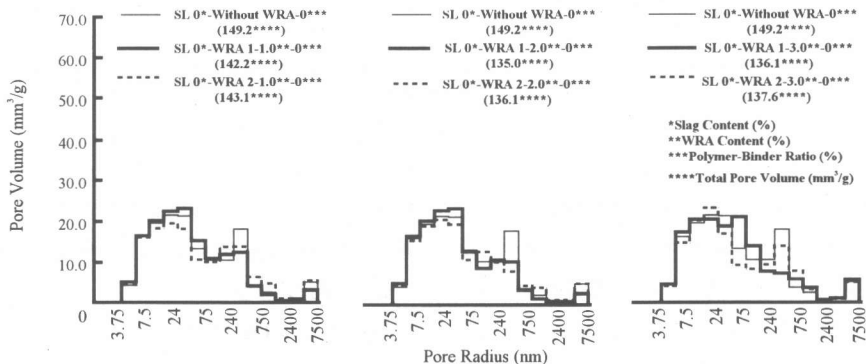


Fig. 3 Pore Size Distribution of Autoclaved Unmodified Mortars with Slag Content of 0%, and WRA Contents of 0, 1.0, 2.0 and 3.0%

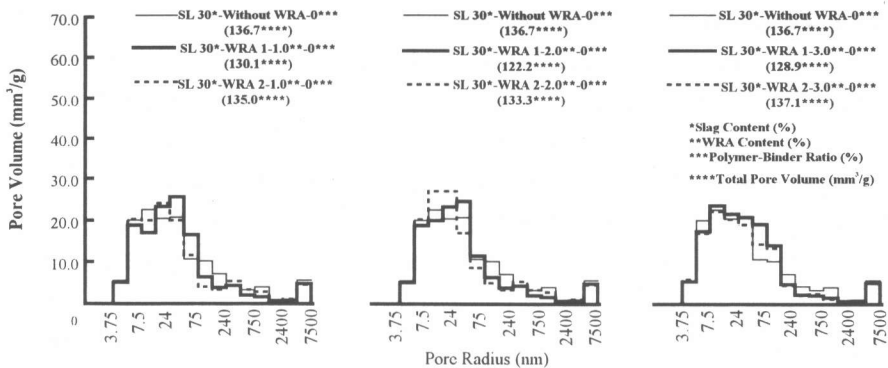


Fig. 4 Pore Size Distribution of Autoclaved Unmodified Mortars with Slag Content of 30%, and WRA Contents of 0, 1.0, 2.0 and 3.0%

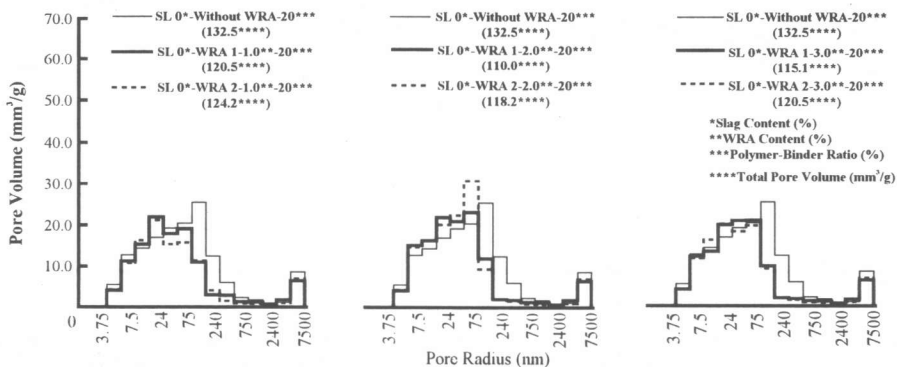


Fig. 5 Pore Size Distribution of Autoclaved SBR-Modified Mortars with Slag Content of 0%, WRA Contents of 0, 1.0, 2.0 and 3.0%, and Polymer-Binder Ratio of 20%

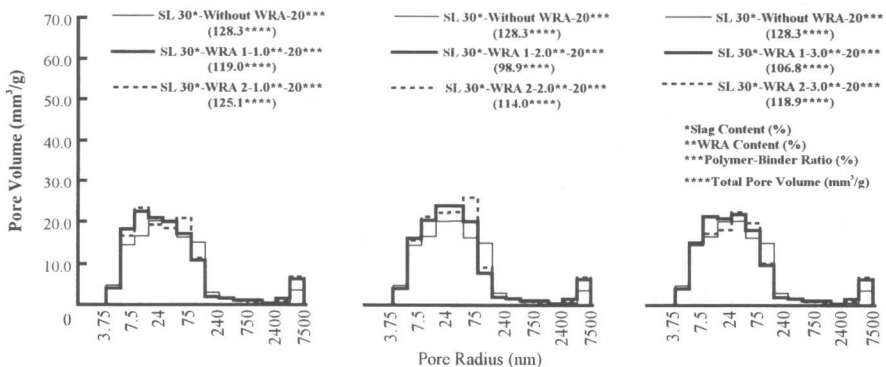


Fig. 6 Pore Size Distribution of Autoclaved SBR-Modified Mortars with Slag Content of 30%, WRA Contents of 0, 1.0, 2.0 and 3.0%, and Polymer-Binder Ratio of 20%

する傾向にある。更に、SBR 混入によって、小さい細孔半径の細孔容積も多くなる傾向にある。更に、SBR ラテックス及び高性能減水剤の添加の有無にかかわらず、高炉スラグ微粉末の混和によって、全細孔容積は1割程度減少する。このことから、高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加 SBR 混入ポリマーセメントモルタル

をオートクレーブ養生しても、マトリックス相を形成しているポリマー相が劣化することなく、密集な組織構造が形成されることが明らかである。

4. 3 曲げ強さ

Fig. 7 及び Fig. 8 には、高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さと高

性能減水剤添加率の関係を示す。高炉スラグ微粉末混和の有無及び高性能減水剤の種類にかかわらず、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、高性能減水剤添加率の増加に伴って増大し、高性能減水剤添加率 2.0% で最大値に達する傾向にある。高炉スラグ微粉末混和の有無と高性能減水剤の種類及びその添加率にかかわらず、その曲げ強さは、ポリマー結合材比の増加に伴って増大する。特に、高性能減水剤添加率 2.0% 及びポリマー結合材比 20% の高炉スラグ微粉末を含むオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルは、ポリマー結合材比 0% (すなわち、ポリマー未混入) の場合の 2 倍以上の極めて高い曲げ強さを与える。

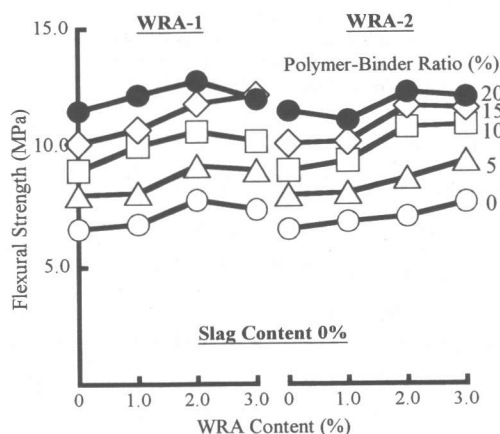


Fig. 7 WRA Content vs. Flexural Strength of Autoclaved SBR-Modified Mortars with Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

4. 4 圧縮強さ

Fig. 9 及び Fig. 10 には、高炉スラグ微粉末を含む高性能減水剤添加オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さと高性能減水剤添加率の関係を示す。高炉スラグ微粉末混和の有無及び高性能減水剤の種類にかかわらず、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、高性能減水剤添加率の増加に伴って増加し、高性能減水剤添加率 2.0% で最大値に達する傾向にある。高炉スラグ微粉末混和の有無と高性能減水剤種類及びその添加率にかかわらず、その圧縮強さは、ポリマー結合材比の増加に伴って増大し、ポ

このような高い曲げ強さの発現は、SBR 混入ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマーフィルムの高い引張強さとセメント水和物と細骨材間の接着性の改善並びに SBR ラテックス及び高性能減水剤の混和による水結合材比の減少に起因するものと考えられる。又、高炉スラグ微粉末を含まないものよりも、高炉スラグ微粉末を含むオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの方が高い曲げ強さを与える。このことは、高性能減水剤の作用による単位水量の低下に基づく水結合材比の低減²⁾とオートクレープ養生によるセメントの水和反応と高炉スラグ微粉末のポゾラン反応の促進によるち密な組織が形成されるためと考えられる。

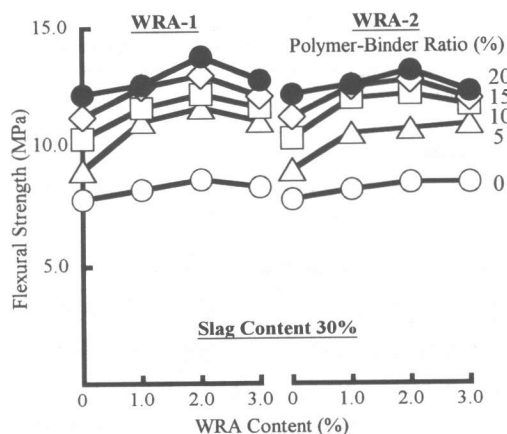


Fig. 8 WRA Content vs. Flexural Strength of Autoclaved SBR-Modified Mortars with Slag Content of 30%, and Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

リマー結合材比 10% で最大値に達する傾向にある。この傾向は、高炉スラグ微粉末を含む SBR 混入ポリマーセメントモルタルにおいて著しい。このような高い圧縮強さの発現は、SBR ラテックスの混入及び高性能減水剤の添加による著しい減水効果に基づいて水結合材比が減少し、オートクレープ養生によるセメントの水和と高炉スラグ微粉末のポゾラン反応が促進されることに起因するものと推察される³⁾。又、その曲げ強さの場合と同様に、高炉スラグ微粉末を含まないものよりも、高炉スラグ微粉末を含む SBR 混入ポリマーセメントモルタルの方が高い圧縮強さ

を与える。このことから、Fig. 3 及び Fig. 4 に示したように、小さい細孔半径の細孔容積が多くなると、その圧縮強さが大きくなる傾向が認められる。

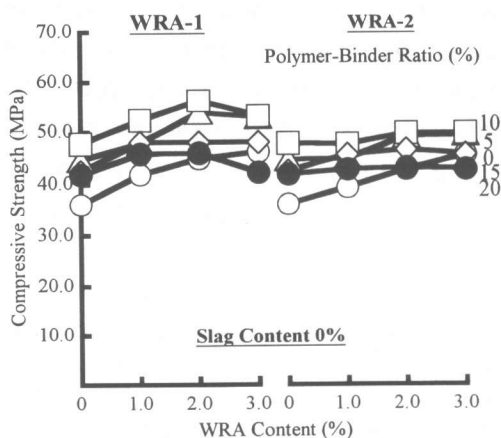


Fig. 9 WRA Content vs. Compressive Strength of Autoclaved SBR-Modified Mortars with Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

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) オートクレープ養生普通セメントモルタル及び SBR 混入ポリマーセメントモルタルの全細孔容積は、高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤の混和によって減少する傾向にある。
- (2) 高炉スラグ微粉末混和の有無及び高性能減水剤の種類にかかわらず、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、高性能減水剤添加率及びポリマー結合材比の増加に伴って増大し、高性能減水剤添加率 2.0% で最大値に達する傾向にある。特に、高性能減水剤添加率 2.0% 及びポリマー結合材比 20% の高炉スラグ微粉末を含む SBR 混入ポリマーセメントモルタルは、ポリマー未混入の場合の 2 倍以上の極めて高い曲げ強さを与える。
- (3) 高炉スラグ微粉末混和の有無及び高性能減水剤の種類にかかわらず、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、高性能減水剤添加率及びポリマー結合材比の増加に伴って増大し、高性能

以上の結果から、高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤の混和によって、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの強さは、更に改善される。

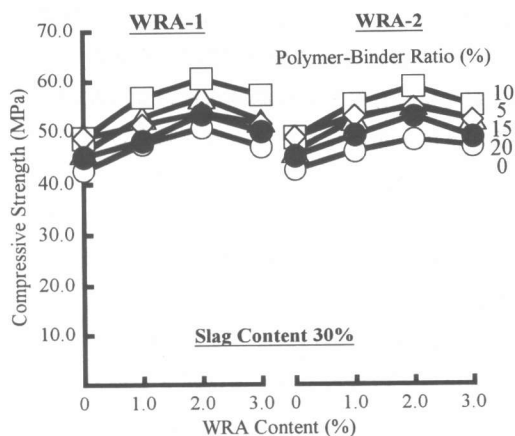


Fig. 10 WRA Content vs. Compressive Strength of Autoclaved SBR-Modified Mortars with Slag Content of 30%, and Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

減水剤添加率 2.0% 及びポリマー結合材比 10% で最大値に達する傾向にある。この傾向は、高炉スラグ微粉末を含むオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルにおいて著しい。

- (4) 以上のことから、高炉スラグ微粉末及び高性能減水剤の混和は、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントモルタルの強さ改善に有効であるといえる。

参考文献

- 1) 朱 明基, 大濱嘉彦, 出村克宣: オートクレープ養生ポリマーセメントモルタルの性質に及ぼす高炉スラグ微粉末及び高純度シリカの影響, セメント・コンクリート論文集, No.53, pp.717-724, 1999. 12
- 2) 加賀谷 誠, 徳田 弘, 川上 学: 高炉スラグ微粉末と高性能 AE 減水剤を併用したコンクリートの配合および圧縮強度, セメント・コンクリート論文集, No. 48, pp. 352-357, 1994. 12
- 3) 大濱嘉彦, 出村克宣, 林 志翔: 超高強度モルタルの強度性状に及ぼす調合要因及び養生条件の影響, セメント・コンクリート論文集, No. 44, pp.582-587, 1990. 12