

# 論文 高炉スラグ微粉末を混入したオートクレーブ養生ポリマーセメントコンクリートの強度に影響を及ぼす要因の検討

朱 明基\*<sup>1</sup> 大濱 嘉彦\*<sup>2</sup> 出村 克宣\*<sup>3</sup>

**要旨:** 本研究では、高炉スラグ微粉末を混入したオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの強度に及ぼすポリマー結合材比及びオートクレーブ養生条件の影響について検討している。その結果、高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮及び引張強度は、ポリマー結合材比の増加に伴って増加し、最高温度保持時間が長いほど増加する傾向にある。しかし、高炉スラグ微粉末を混入したものの圧縮及び引張強度については、ポリマーセメント比が大きくなると、最高温度保持時間が 3h 以上では、最高温度保持時間による差異はほとんど認められない。

**キーワード:** オートクレーブ養生, ポリマーセメントコンクリート, 高炉スラグ混入率, 強度

## 1. はじめに

最近、高炉スラグ微粉末は、アルカリ骨材反応の抑制、水和熱の低減及び耐久性改善を目的とするコンクリート用混和材としての利用が試みられている。一方、プレキャストコンクリート製品の製造に当っては、早期強度の発現を目的として、オートクレーブ養生が採用されている。しかし、これまでに、ポリマーセメントモルタル及びコンクリートへのオートクレーブ養生の適用に関する研究は行われていない。オートクレーブ養生用シリカ質混和材としては、従来から高純度シリカがよく使用されてきた。本研究では、高炉スラグの有効利用の立場から、高純度シリカと同等の効果を期待して、シリカの純度が低いことを補うために、比表面積を大きくして、その反応性を高めた高炉スラグ微粉末をオートクレーブ養生用シリカ質混和材として試みている。

本研究では、高炉スラグ微粉末と SBR ラテックスを混入したポリマーセメントコンクリートを調製し、結合材組成、ポリマー結合材比及び最高温度保持時間がオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの強度に及ぼす影響に

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。なお、普通ポルトランドセメントの物理的性質及び化学成分を **Table 1** に示す。

### 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性質を **Table 2** に示す。

### 2.3 骨材

細骨材には、那珂川産の川砂 (2.5mm 以下)、粗骨材には、那珂川産の川砂利 (20mm 以下) を使用した。なお、骨材の物理的性質を **Table 3** に示す。

### 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対して、シリコーンエマルジョン系消泡剤 (有

\*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)

**Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Cement**

Density (20°C, g/cm <sup>3</sup> )	Blaine Specific Surface (cm <sup>2</sup> /g)	Setting Time (h-min)		Compressive Strength of Mortar (MPa)		
		Initial Set	Final Set	3d	7d	28d
3.16	3290	2-22	3-31	29.5	44.1	61.5

**Chemical Compositions (%)**

MgO	SO <sub>3</sub>	ig. loss
1.4	2.0	1.9

**Table 2 Properties of Ground Granulated Blast Furnace Slag**

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

**Chemical Compositions (%)**

MgO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ig. loss	Cl <sup>-</sup>
5.58	0.12	33.5	<0.05	0.003

**Table 3 Properties of Aggregates**

Type of Aggregate	Maximum Size (mm)	Fineness Modulus	Bulk Density (kg/l)	Density (20°C, g/cm <sup>3</sup> )	Water Absorption (%)
Nakagawa River Sand	2.5	2.60	1.60	2.54	2.29
Nakagawa River Gravel	20.0	6.68	1.62	2.53	1.95

**Table 4 Properties of Polymer Dispersion**

Type of Polymer Dispersion	Density (20°C, g/cm <sup>3</sup> )	PH (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Total Solids (%)
SBR	1.00	9.4	64	44.8

効シリコン分, 30%) を, その有効シリコン分として 0.7% (質量百分率) 添加した。なお, ポリマーディスパーションの性質を **Table 4** に示す。

### 3. 試験方法

#### 3.1 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) に従って, ポリマー結合材比を 0, 5, 10, 15 及び 20% 及び細骨材率を 40.0% とし, そのスランプ値が 10±1cm 一定となるように水結合材比を調整して, 供試コンクリートを練混ぜた後, 寸法 φ10×20cm に成形し, 2d 湿空 [20°C, 80%(RH)]

養生後, オートクレーブ養生 (180°C, 1.01MPa, 3, 5, 7 及び 9h 保持) を行った。なお, セメントに対する高炉スラグ微粉末 (SL) の置換率 (以下, 高炉スラグ置換率という) を, 質量比で 0 及び 40% として, セメントと高炉スラグ微粉末を混合したものを結合材とした。オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの調合を **Table 5** に示す。

#### 3.2 細孔容積の測定

寸法 φ10×20cm の供試体の内部から採取したコンクリート塊を, 粒径約 3mm に破砕して試料とした。試料をエタノールで洗浄した後, D-dry

Table 5 Mix Proportions of Autoclaved SBR-Modified Concretes

Slag Content* (%)	Slump (cm)	Polymer-Binder Ratio (%)	Water-Binder Ratio (%)	Unit Water Content (kg/m <sup>3</sup> )	Air Content (%)	Mix Proportions (kg/m <sup>3</sup> )				
						Cement	Slag	Polymer	Sand	Gravel
0	10.0	0	60.0	180	3.0	300	0	0	706	1055
	9.5	5	53.0	159	2.8			15	714	1067
	9.5	10	49.0	147	2.3			30	716	1070
	10.0	15	42.0	126	2.0			45	726	1084
	10.5	20	38.0	114	1.9			60	723	1081
40	10.0	0	57.0	171	2.9	180	120	0	713	1065
	10.5	5	52.0	156	2.5			15	717	1071
	10.0	10	48.0	144	2.0			30	719	1074
	10.5	15	41.0	123	1.8			45	727	1086
	10.5	20	37.0	111	1.8			60	724	1082

Note, \* : mass% of binder (cement+slag).

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 圧縮強度試験

JIS A 1108 (コンクリートの強度試験方法)に従って、供試体の圧縮強度試験を行い、同時に、供試体表面にワイヤーストレインゲージを張り、縦ひずみを測定した。

### 3. 4 割裂引張強度試験

JIS A 1113 (コンクリートの割裂引張強度試験方法)に従って、供試体の割裂引張強度試験を行った。

## 4. 試験結果及び考察

### 4. 1 細孔径分布

Fig.1 から Fig.4 には、高炉スラグ置換率 0 及び 40%で、ポリマー結合材比を 0 及び 20%とした高炉スラグ微粉末を混入したオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの細孔径分布を、又、Fig.5 には、それらの全細孔容積と最高温度保持時間の関係を示す。いずれの最高温度保持時間においても、高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、オートクレーブ養生普通セメントコンクリートへのポリマーの混入によって、そ

の全細孔容積は減少するが、その細孔径分布に及ぼすポリマー混入の影響はほとんど認められない。高炉スラグ微粉末未混入のオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリート及び普通セメントコンクリートの細孔径分布は、高炉スラグ微粉末を 40%混入することによって、細孔半径の小さい方に移行する傾向にある。高炉スラグ微粉末及びポリマー未混入のオートクレーブ養生普通セメントコンクリートの全細孔容積は、最高温度保持時間が長くなると減少する傾向にある。高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、ポリマー結合材比が 20%のオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの全細孔容積は、最高温度保持時間による差異が小さくなる。

### 4. 2 圧縮強度

Fig. 6 には、オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮強度とポリマー結合材比の関係を、又、Fig. 7 には、その圧縮強度と最高温度保持時間の関係を示す。最高温度保持時間及び高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリート圧縮強度は、ポリマー結合材比の増加に伴って増加し、ポリマー結合材比 15%で

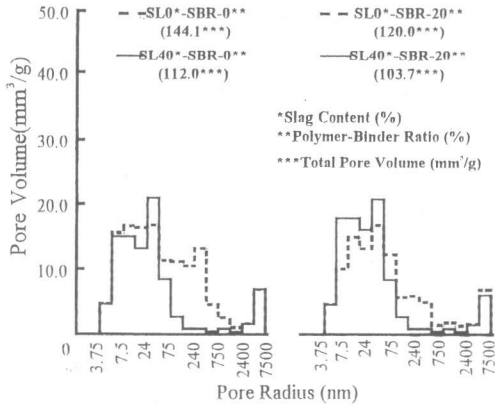


Fig. 1 Pore Size Distribution of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Polymer-Binder Ratios of 0 and 20%, and Slag Contents of 0 and 40% at Maximum Temperature of 180°C for 3h

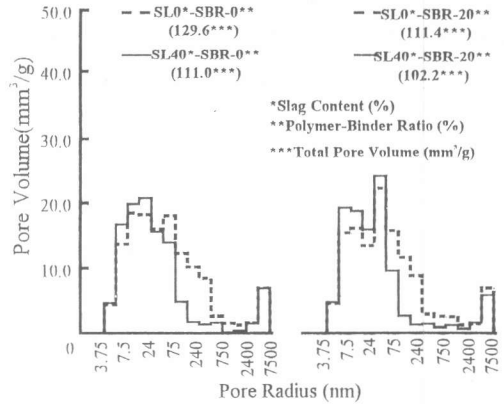


Fig. 2 Pore Size Distribution of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Polymer-Binder Ratios of 0 and 20%, and Slag Contents of 0 and 40% at Maximum Temperature of 180°C for 5h

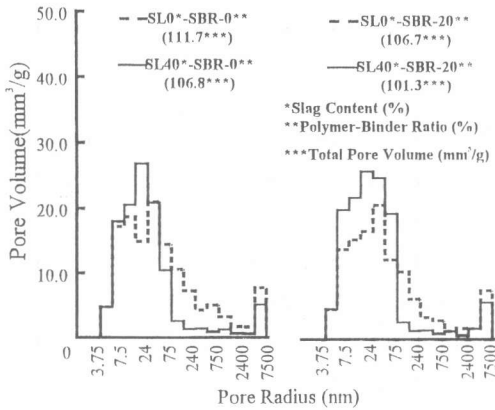


Fig. 3 Pore Size Distribution of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Polymer-Binder Ratios of 0 and 20%, and Slag Contents of 0 and 40% at Maximum Temperature of 180°C for 7h

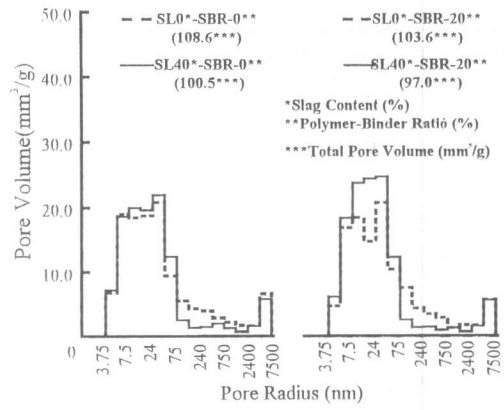


Fig. 4 Pore Size Distribution of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Polymer-Binder Ratios of 0 and 20%, and Slag Contents of 0 and 40% at Maximum Temperature of 180°C for 9h

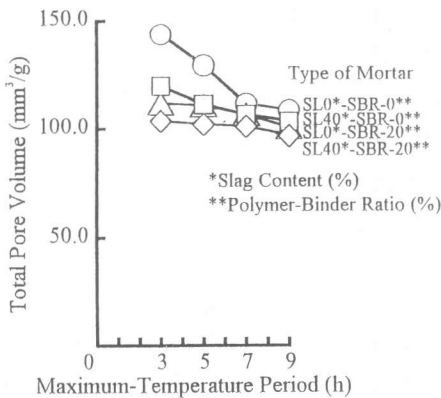


Fig. 5 Maximum-Temperature Period vs. Total Pore Volume of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Slag Contents of 0 and 40%, and Polymer-Binder Ratios of 0 and 20%

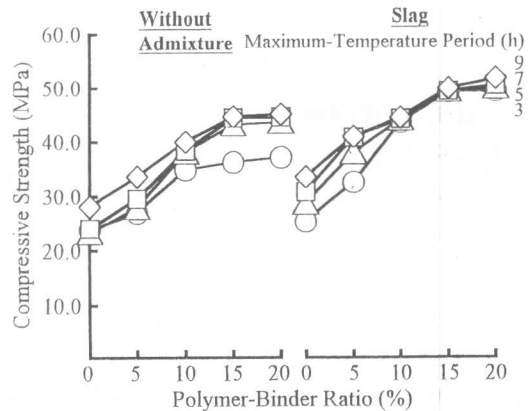


Fig. 6 Polymer-Binder Ratio vs. Compressive Strength of Autoclaved SBR-Modified Concretes at Maximum Temperature of 180°C for 3, 5, 7 and 9h

一定値に達する傾向にある。ポリマー結合材比にかかわらず、高炉スラグ微粉末未混入のオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮強度は、最高温度保持時間が長いほど増加する。高炉スラグ微粉末を混入したオートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮強度は、最高温度保持時間が長いほど増加する傾向にあるが、ポリマー結合材比が大きくなると最高温度保持時間が 3h 以上では、最高温度保持時間による差異はほとんど認められなくなる。オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートに粉末度の高い高炉スラグ微粉末を混入した場合の高強度の発現は、内部に形成されるポリマーフィルムのシール効果に基づく保水性の向上により、セメントの水和反応と高炉スラグのポズラン反応が促進されて、ち密な組織が形成されるためと考えられる<sup>1)</sup>。又、高炉スラグ微粉末の混入が、オートクレーブ養生における高強度発現に寄与する 11 Å tobermorite の生成にも関与しているものと推察される<sup>2)</sup>。これらのことは、高炉スラグ置換率 40% 及びポリマー結合材比 20% の高炉スラグ微粉末混入オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの細孔径分布が、細孔半径の大きい方から小さい方に移行することからも明らかである。

Fig. 8 には、オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの弾性係数とポリマー結合材比の関係を示す。最高温度保持時間及び高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、オートクレーブ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの弾性係数は、ポリマー結合材比の増加に伴って増加し、ポリマー結合材比 15% で最大値に達する。混入した SBR ラテックスがコンクリート中で形成するポリマーフィルムの弾性係数は、セメント水和物相よりも小さいものと推察されるにもかかわらず、その弾性係数がポリマー結合材比 15% まで増大するのは、SBR ラテックス混入による減水効果及び保水性の改善に起因した高炉スラグ微粉末のポズラン反応の促進によって、コンクリートの組織がち密になるためと考えられる。

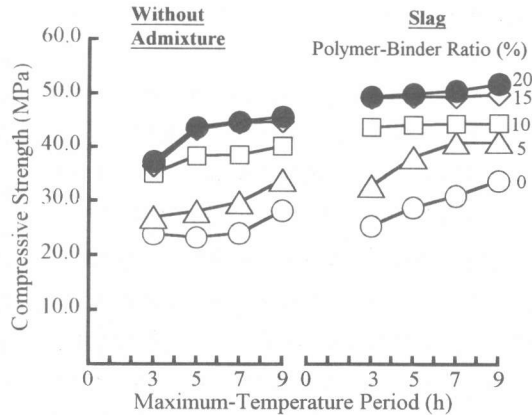


Fig. 7 Maximum-Temperature Period vs. Compressive Strength of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

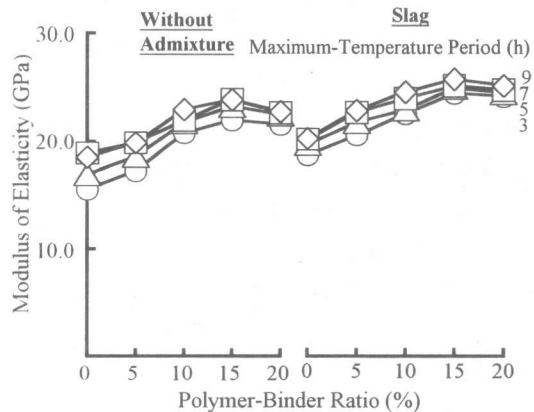


Fig. 8 Polymer-Binder Ratio vs. Modulus of Elasticity of Autoclaved SBR-Modified Concretes at Maximum Temperature of 180°C for 3, 5, 7 and 9h

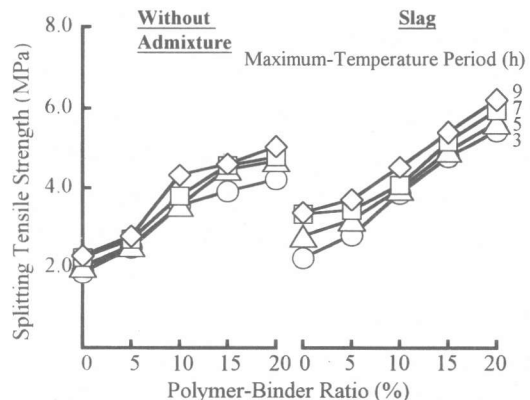


Fig. 9 Polymer-Binder Ratio vs. Splitting Tensile Strength of Autoclaved SBR-Modified Concretes at Maximum Temperature of 180°C for 3, 5, 7 and 9h

### 4. 3 割裂引張強度

Fig. 9 には、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの割裂引張強度とポリマー結合材比の関係を、又、Fig. 10 には、その割裂引張強度と最高温度保持時間の関係を示す。高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの割裂引張強度は、ポリマー結合材比の増加に伴って増大する。ポリマー結合材比及び高炉スラグ微粉末混入の有無にかかわらず、一部の例外を除き、オートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの割裂引張強度は、最高温度保持時間が長いほど増加する傾向にある。圧縮強度の場合と同様に、高炉スラグ微粉末混入のものよりも、高炉スラグ微粉末を混入したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの方が高い割裂引張強度を与える。

本研究の限りでは、オートクレープ養生時の最高温度保持時間及びポリマー結合材比の増大によって、高炉スラグ微粉末を混入したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮及び割裂引張強度が改善されるが、このような傾向は、その割裂引張強度において顕著である。

### 5. 結論

以上の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コンクリートへの高炉スラグ微粉末及び SBR ラテックスの混入によって、その全細孔容積は減少する。
- (2) 高炉スラグ微粉末を混入したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの全細孔容積は、オートクレープ養生の最高温度保持が長くなると減少するが、ポリマー結合材比が大きくなると、最高温度保持時間による差異は小さくなる。
- (3) 高炉スラグ微粉末を混入したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮及び割裂引張強度とも、オートクレープ養生の最高温度保持時間及びポリマー結合材比の増加によって増大する傾向にあり、このような傾向は、

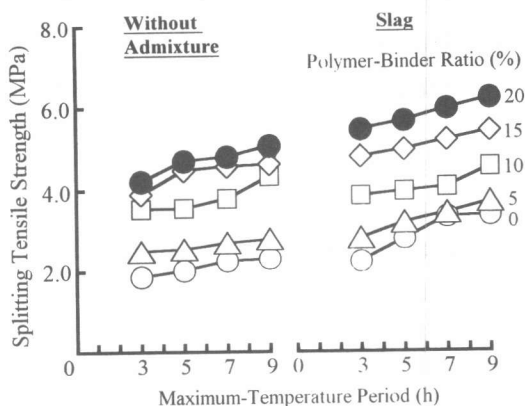


Fig. 10 Maximum-Temperature Period vs. Splitting Tensile Strength of Autoclaved SBR-Modified Concretes with Polymer-Binder Ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%

その割裂引張強度において顕著である。しかし、高炉スラグ微粉末を混入したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの圧縮強度は、ポリマー結合材比が大きき場合には、最高温度保持時間 3h 以上ではほぼ一定になる。

- (4) 高炉スラグ微粉末を混入したオートクレープ養生 SBR 混入ポリマーセメントコンクリートの弾性係数は、ポリマー結合材比の増加に伴って増加し、ポリマー結合材比 15% で最大値に達する。
- (5) 以上の結果から、SBR 混入ポリマーセメントコンクリートは、オートクレープ養生によって高い圧縮及び割裂引張強度を発現し、高炉スラグ微粉末の混入によって、その強度は更に改善される。

### 参考文献

- 1) 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, セメント・コンクリート研究討論会研究報告集, No.17, pp.51-56, 1990.11
- 2) 大濱嘉彦, 出村克宣, 林 志翔: 超高強度モルタルの強度に及ぼす調合要因及び養生条件の影響, セメント技術大会講演集, No.44, pp. 674-679, 1990.5