

溶銑予備処理スラグを活用した高炉スラグ微粉末モルタルの圧縮強度発現特性

正会員

○ 李 備暲^{*1}

同

金 圭庸^{*2}

同

濱 幸雄^{*3}

同

崔 景喆^{*1}

同

尹 敏浩^{*1}

同

金 來煥^{*1}

同

吉 培秀^{*4}

同

金 武漢^{*2}

溶銑予備処理スラグ

高炉スラグ微粉末

圧縮強度

養生温度

比表面積

置換率

1. はじめに

一般的に高炉スラグ微粉末を結合材として用いたコンクリートの場合、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性による圧縮強度の発現のためには、水酸化アルカリ、塩化物、硫酸塩及びエトリンガイト系の水和反応を促進させる刺激剤が必要となる¹⁾。

一方、製鉄工程で発生する副産物である溶銑予備処理スラグは、その化学成分が図-1 に示すように高炉スラグ微粉末の水和反応を促進させる刺激剤と類似する特徴がある。従って、高炉スラグ微粉末の刺激剤として溶銑予備処理スラグの活用可能性を検討する必要がある。

そこで、本研究では溶銑予備処理スラグの比表面積及び置換率、試験体の養生温度条件を考慮し、高炉スラグ微粉末モルタルの圧縮強度発現特性を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験計画及びモルタルの調合

表-1 に実験計画を示す。シリーズ I では溶銑予備処理スラグの比表面積及び置換率、試験体の養生温度を実験要因とした。また、シリーズ II では高炉スラグ微粉末モルタルの圧縮強度発現に及ぼす温度依存性を検討するために、図-2 に示すように養生条件によって材齢及び温度を実験要因と設定した。なお、表-2 にモルタルの調合を示す。水結合材比は 0.5、結合材と細骨材の 1:3 とした。

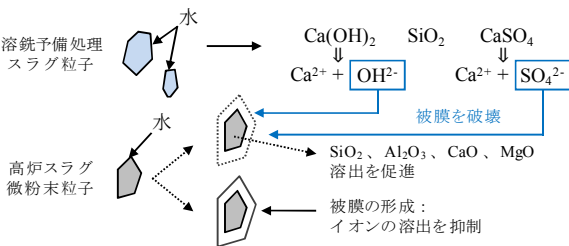


図-1 高炉スラグ微粉末の水和反応に与える溶銑予備処理スラグの影響

表-1 実験計画

シリーズ	実験変数	実験レベル
I	溶銑予備処理スラグの比表面積 (cm ² /g)	2000, 4000
	溶銑予備処理スラグの置換率 (%)	30, 20, 10
	養生温度 (°C)	20, 60
II	高温養生の期間 (日)	1, 3, 7, 28

2.2 使用材料及び試験方法

表-3 に使用材料の物理的性質と化学組成を示す。溶銑予備処理スラグは破碎、磁力線別、粉碎の過程を通じて微粉末化されたものを使用しており、セメントの化学組成と類似な特徴がある。

また、圧縮強度試験は寸法 40×40×160mm の試験体を用いて、ISO 679 の試験方法に準じて評価した。

シリーズ	記号	養生条件
I	S	1~28 (日)
	H1	1 2~28 (日)
II	S	1~28 (日)
	H1	1 2~28 (日)
	H3	1~3 4~28 (日)
	H7	1~7 8~28 (日)
	H28	1~28 (日)

60°C 20°C

図-2 シリーズ別養生温度条件

表-2 モルタルの調合

シリーズ	試験体種類	W/B	B:S	結合材 (wt. %)			
				C	BFS ¹⁾	DS ²⁾	CS ³⁾
I	OPC	0.5	1:3	100.0	-	-	-
	BFS70+DS30			-	66.5	28.5	5.0
	BFS80+DS20			-	76.0	19.0	5.0
	BFS90+DS10			-	85.5	9.5	5.0
	BFS100			-	95.0	-	5.0
II	BFS70+DS30	0.5	1:3	-	66.5	28.5	5.0

注 1) 高炉スラグ微粉末, 2) 溶銑予備処理スラグ, 3) 無水石膏

表-3 使用材料の物理的性質と化学組成

使用材料		セメント	高炉スラグ微粉末	溶銑予備処理スラグ	無水石膏
基本物性	密度 (g/cm ³)	3.12	2.91	2.83	2.91
	比表面積 (cm ² /g)	3500	4500	2000	4000
化学組成 (%)	SiO ₂	20.70	32.75	15.35	0.73
	Al ₂ O ₃	6.20	15.61	1.21	0.17
	Fe ₂ O ₃	3.10	0.50	2.40	0.16
	CaO	62.20	43.51	69.71	41.57
	MgO	2.80	4.41	1.52	-
	Na ₂ O	0.10	4.41	0.10	0.02
	K ₂ O	0.84	0.49	-	0.03
	SO ₃	2.10	0.04	4.20	55.50
LOI		1.96	2.44	5.51	1.82

Compressive strength properties of GGBFS mortar activated by pig iron preliminary treatment slag

LEE Bo-Kyeong, KIM Gyu-Yong, HAMA Yukio,
CHOE Gyeong-Cheol, YOON Min-Ho, KIM Rae-Hwan,
KHIL Bae-Su, KIM Moo-Han

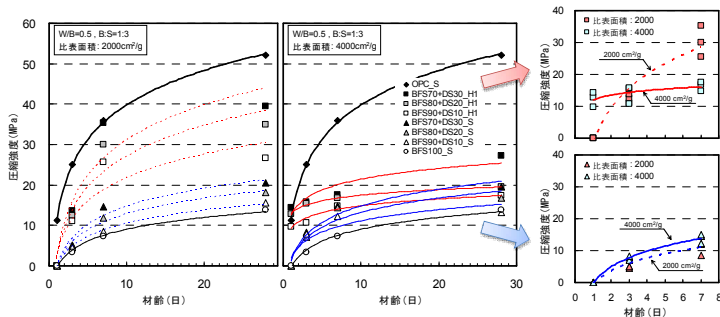


図-3 圧縮強度発現特性(シリーズ I)

3. 実験結果及び考察

3.1 比表面積と置換率、養生温度(シリーズ I)

図-3 に溶銑予備処理スラグの比表面積及び置換率、試験体の養生温度による圧縮強度発現特性を示す。材齢 28 日まで養生温度 20℃の条件の場合、初期材齢 3 日での圧縮強度は溶銑予備処理スラグの比表面積 4000cm²/g の方がやや大きい、材齢 7, 28 日の圧縮強度はほぼ同等になることが分かった。また、材齢 1 日まで 60℃で養生した後、材齢 28 日まで養生温度 20℃の条件の場合は、比表面積 4000cm²/g の溶銑予備処理スラグを使用した試験体は材齢 1 日での圧縮強度が最大 14.35MPa まで発現されたが、材齢 3 日以後の圧縮強度はほとんど発現していない。しかし、溶銑予備処理スラグの比表面積 2000cm²/g を使用した試験体は材齢 1 日での圧縮強度が発現しないが、材齢 3 日以後から急激に圧縮強度が増加している。一方、溶銑予備処理スラグの置換率が増加するほど養生温度条件に関わらず圧縮強度が向上した。

図-4 に BFS70+DS30 試験体の圧縮強度及び OPC 試験体の圧縮強度に対する発現比率を示す。比表面積 4000cm²/g の溶銑予備処理スラグを用いた試験体の場合は、材齢による OPC 試験体の圧縮強度に対する発現比率が低くなる傾向が見られたが、溶銑予備処理スラグの比表面積 2000cm²/g を使用した試験体の場合、OPC 試験体に対する初期材齢での圧縮強度の発現率は約 55%以下であったが、材齢 7 日では約 98%，材齢 28 日では約 76%の圧縮強度発現率が認められた。これは、溶銑予備処理スラグの比表面積の増加にともない水と接触することができる溶銑予備処理スラグの粒子の比表面積も増加して、初期材齢で急激な水和反応が起きて、粒子表面からの急激な硬化が、粒子内部までの水和反応を抑制させるためであると考えられる。しかし、溶銑予備処理スラグの温度依存性を考慮するためには、材齢 28 日までの高温養生による圧縮強度の発現特性を検討する必要がある。

3.2 高温養生の期間(シリーズ II)

比表面積 4000cm²/g の溶銑予備処理スラグを刺激剤とし

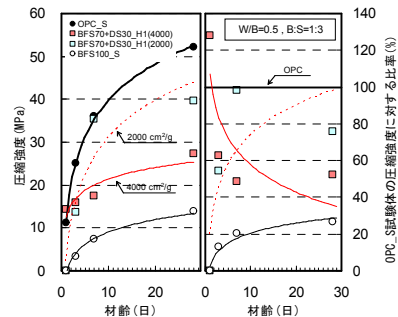


図-4 BFS70+DS30 試験体の圧縮強度及び OPC 圧縮強度に対する比率

て使用した BFS70+DS30 試験体は、初期材齢での圧縮強度発現率が最も大きいことから、長期材齢での圧縮強度発現率の可能性を検討するために、材齢 28 日まで高温養生を行った。図-5 に BFS70+DS30 試験体の高温養生の期間ごとの圧縮強度を示す。高温養生の期間が増加するほど材齢 28 日の圧縮強度は少し向上したが、高温養生期間の影響は小さかった。そして、高温養生の期間ごとの材齢 28 日の圧縮強度に対する各材齢での発現率は、材齢 1 日で最も大きいことを確かめた。そこで、比表面積 4000cm²/g の溶銑予備処理スラグを高炉スラグ微粉末モルタルの刺激剤と考える場合は、初期材齢の圧縮強度発現のために使うことができると考えられる。

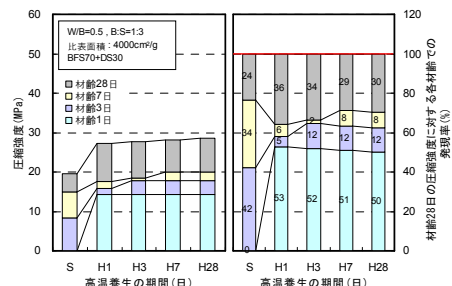


図-5 圧縮強度発現特性(シリーズ II)

て使用した BFS70+DS30 試験体は、初期材齢での圧縮強度発現率が最も大きいことから、長期材齢での圧縮強度発現率の可能性を検討するために、材齢 28 日まで高温養生を行った。図-5 に BFS70+DS30 試験体の高温養生の期間ごとの圧縮強度を示す。高温養生の期間が増加するほど材齢 28 日の圧縮強度は少し向上したが、高温養生期間の影響は小さかった。そして、高温養生の期間ごとの材齢 28 日の圧縮強度に対する各材齢での発現率は、材齢 1 日で最も大きいことを確かめた。そこで、比表面積 4000cm²/g の溶銑予備処理スラグを高炉スラグ微粉末モルタルの刺激剤と考える場合は、初期材齢の圧縮強度発現のために使うことができると考えられる。

4. まとめ

- 1) 水和刺激剤とし溶銑予備処理スラグを使った高炉スラグ微粉末モルタルの圧縮強度の発現は、溶銑予備処理スラグの比表面積によらず置換率が増加するほど向上された。そこで、高炉スラグ微粉末に対し溶銑予備処理スラグは水和刺激剤として活用可能性を確認した。
- 2) 溶銑予備処理スラグの比表面積が大きい方が初期材齢の圧縮強度の発現に有効するが、高温養生の期間を増加しても以降の材齢で圧縮強度の発現は殆ど留まった。

謝辞

本研究は教育科学技術部と韓国研究財団の地域革新人力養成事業(2012H1B8A2025606)の支援を受けて遂行された研究である。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) F. Bellmann, J. Stark, Activation of blast furnace slag by a new method, Cement and Concrete Research, 2009(39), pp 644-650

*1 大韓民国 忠南大学校 建築工学科 大学院生
 *2 大韓民国 忠南大学校 建築工学科 教授・工博
 *3 室蘭工業大学 大学院 工学研究科 教授・工博
 *4 大韓民国 トライポッド 代表・工博

*1 Graduate Student, Dept. of Arch. Eng., Chungnam National Univ., Korea
 *2 Prof., Dept. of Arch. Eng., Chungnam National Univ., Korea
 *3 Prof., Graduate School of Eng., Muroran Institute of Technology, Japan
 *4 President, Tripod Company, Incorporated, Korea