

高炉スラグ微粉末を高含有した吹付けコンクリートの基礎物性に関する検討

デンカ株式会社 正会員 ○水野 博貴
デンカ株式会社 正会員 伊藤 慎也
デンカ株式会社 正会員 荒木 昭俊

1. 背景・目的

SDGs (Sustainable Development Goals) の項目の 1 つに「気候変動に具体的対策」が掲げられ、気候変動の原因とされている二酸化炭素の削減は世界的に取り組むべき課題とされている。我が国のセメント産業においても、製造時に多量の二酸化炭素を排出するポルトランドセメントの代替材料として高炉スラグ微粉末(GGBS)やフライアッシュ等の産業副産物の利用が行われてきている。特に GGBS は他の混和材と比較して置換率を高く設定できるため、二酸化炭素の削減効果が大きいと考えられる。トンネルの吹付においても、高炉セメントを用いた吹付けが提案¹⁾されている。本報告では、普通ポルトランドセメントに対して GGBS を多量に置換した吹付けコンクリートの水和反応を解析し、吹付け性状を確認した。

2. 実験概要

2. 1. 凝結試験

モルタルの配合を表-1 に示す。高炉セメントは GGBS を普通ポルトランドセメント (OPC) に対して 50% (B50), 70% (B70) 置換したものを試製した。試製した高炉セメントを用いてモルタルを作製し、30 分静置した。静置後に再びモルタルを練り返し、カルシウムアルミネート系急結剤 (CSA) を結合材に対して 10%添加し、JSCE-D 102-2018 に準拠した凝結試験を実施した。

2. 2. 水和試験

N, B50, B70 を用いたセメントペースト (水結合材比 50%) を作製し、結合材に対して 10%の CSA を添加した。急結剤添加前の試料と急結剤添加後 1分、6 時間、1 日の水和生成物を XRD で同定した。

2. 3. 吹付け試験

吹付けコンクリートの使用材料と計画配合を表-2, 表-3 に示し、吹付け試験の概要を図-1 に示す。

表-1 モルタル配合

配合種	W/B (OPC+GGB)	W	B		S	高性能減水剤	CSA
			OPC	GGBS			
N	50	400	800	—	2000	B × 1%	B × 10%
B50			400	400			
B70			240	560			

表-2 使用材料

記号	備考
W	上水道水
C	普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm ³
BB	高炉セメントB種 密度3.05g/cm ³
GGBS	高炉スラグ微粉末 ブレーン比表面積 4000cm ² /g 密度 2.89g/cm ³
S	新潟県糸魚川産姫川水系川砂 表乾密度 2.61g/cm ³
G	新潟県糸魚川産砕石 表乾密度 2.66g/cm ³
CSA	カルシウムサルホアルミネート系急結剤
SP	ポリエチレングリコール系 高性能減水剤

表-3 計画配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m3)							急結剤	
		W	B			S	G	SP		B × %
			OPC	BB	GGBS					
45	59	203	450	—	—	977	669	4.5	10	
40	67	192	—	480	—	1155	558	7.2	10	
45	60	188	—	210	210	1042	708	6.3	8	

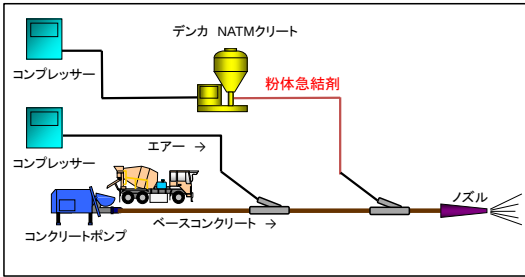


図-1 吹付け概要

実験は模擬トンネル内で実施した。配合は高炉セメント B 種 (GGBS 40%置換相当) と、高炉セメント B 種にさらに GGBS を置換し GGBS 置換率 70%相当のものを作製した。吹付けコンクリートの強度特性として、JSCE-G561 に準拠した引抜き試験により、3 時間、24 時間強度を測定した。また、コア箱にて吹付けコンクリートを採取し、コアリング (φ 50×h 100mm) したもので材齢 28 日の圧縮強度を測定した。

キーワード 吹付けコンクリート, 高炉スラグ, 急結剤, 水和反応

連絡先〒949-0393 新潟県糸魚川市大字青海 2209 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部 TEL 025-562-63

なお、吹付けコンクリートの強度比較として、吹付けを行う前のコンクリート（ベースコンクリート）を採取し、材齢 28 日で圧縮強度を測定した。

3. 実験結果

3. 1. 凝結試験

凝結試験の結果を図-2に示す。Nと比較してB50, B70は材齢1分までのごく初期における貫入抵抗値が大きくなる結果となった。一方、Nは材齢1分以降の貫入抵抗値が大きくなり、N, B50, B70の順で終結をむかえた。

3. 2. 水和生成物

XRDの同定結果を図-3に示す。B50, B70は材齢1分でエトリングライト(Ett)の生成が確認された。材齢1分までの貫入抵抗値がNよりB50, B70が大きくなった要因として、材齢ごく初期におけるEttの生成が考えられる。また、GGBSの置換率に伴い Ca(OH)_2 が減少する結果となった。

3. 3. 吹付け試験

材齢3時間, 24時間の初期強度の結果を図-4に示す。材齢3時間はいずれの配合も $2\sim 3\text{N/mm}^2$ 程度であったが、材齢24時間ではGGBSの置換率に伴って圧縮強度が低下する結果となった。材齢28日の圧縮強度の結果を図-5に示す。NとB50は同程度の圧縮強度となった。一方、B70はN, B50と比較して圧縮強度が低くなる傾向を得た。要因としてベースコンクリートの圧縮強度が他の2配合と比較して低いためだと考えられる。

4. まとめ

高炉スラグ微粉末を高含有した吹付けコンクリートについて、凝結試験、水和試験、吹付け試験により基礎物性を評価した。以下に結果をまとめる。

- 1) 普通セメントと比較して高炉スラグ微粉末を置換した配合は急結剤の添加により、材齢1分までにエトリングライトの生成が多くなり、材齢ごく初期の急結性が高くなる結果となった。
- 2) 吹付けコンクリートの圧縮強度は材齢24時間では置換率に伴い減少した。一方、28日強度ではNとB50は同程度となったが、B70は他の2配合と比較して低くなる結果となった。これはベースコンクリートの圧縮強度が低いためだと考えられる。

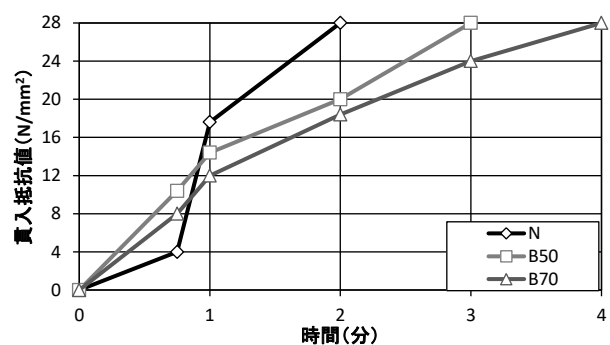


図-2 凝結試験結果

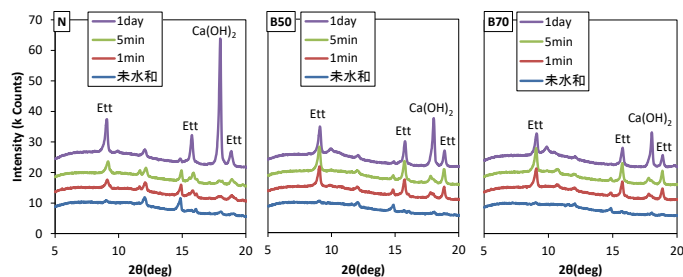


図-3 水和生成物結果

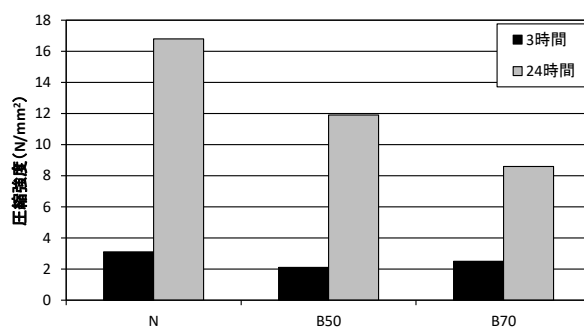


図-4 初期強度

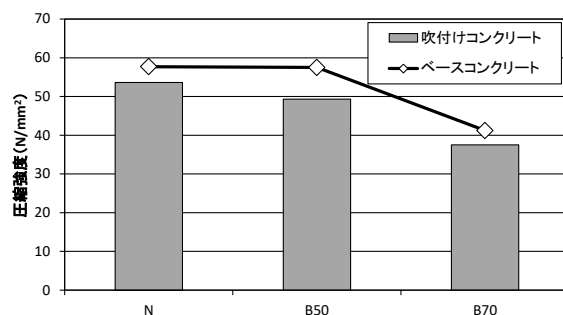


図-5 材齢28日圧縮強度

参考文献

- 1) 吉田行, 田口忠雄, 山中重泰, 佐藤秀人: 高炉セメントを用いた吹付けコンクリートの強度発現と耐硫酸性, 土木学会第59回年次学術講演会, P73-74, 平成16年9月