

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

北海道開発土木研究所 正会員 ○吉田 行 正会員 田口 史雄
北海道開発局小樽開発建設部 山中 重泰 佐藤 秀人

1. はじめに

火山周辺の土壌などは強硫酸酸性となり、コンクリートは激しい浸食作用を受ける恐れがある。このため、このような箇所における NATM トンネル工事では、特に、地山と密着して施工される吹付けコンクリートの耐硫酸性の確保が求められる。一方、高炉セメントは、一般に耐硫酸性が高いことから、硫酸酸性土壌における NATM 吹付けコンクリートにおいても有効と考えられる。さらに、高炉セメントはグリーン購入法の特定期目にも指定されており、実用化が可能となれば環境対策にも繋がる。しかしながら、高炉セメントを用いた場合、初期強度発現が遅い（特に低温時）などの特性があり、初期強度の確保が必要な NATM ではこれまで使用されていない状況にある。

本研究では、高炉セメントを用いた吹付けコンクリートの実用化を目的として、強度発現特性および耐硫酸性について、養生温度、単位セメント量および急結剤の種類を変えて検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

表－1、2に使用材料および配合を示す。NATM で標準となっている普通ポルトランドセメント(以下 N)のケースを基本として、高炉B種セメント(以下BB)の単位セメント量を3水準および急結剤2種類を考慮した。なお、本試験では、北海道開発局小樽開発建設部で施工中の草内トンネル工事で試験吹付けを行い検討したため、吹付けシステムを考慮して、スランプは実施工と同じ $10 \pm 2.5 \text{ cm}$ で配合を決定した。

2. 2 供試体の作製

吹付けコンクリート供試体の作製は、JSCE-F561 に準拠した木製型枠に吹付けた。養生は、材齢5日までは、型枠のまま吹付けを行ったトンネル内で気中養生し、試験室へ移動後、 $\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ にコア抜き成形し、各試験材齢まで 20°C および 5°C の環境でトンネル内の湿潤環境を考慮して封緘養生を行った。なお、本研究では、強度発現の温度依存特性を検討するため、施工時温度 20°C 程度における吹付けは8～10月に、 5°C 程度の低温時施工を考慮した吹付けは12月および1月に現地で吹付けを行った。

2. 3 試験項目および試験方法

表－3に試験項目を示す。施工試験として、リバウンドおよび粉塵濃度測定を行った。なお、施工試験は、標準吹付けの N360CA と草内トンネルで試験施工が行われた B380CA について行い、施工時には粉塵低減剤（セルロース系）を使用した（ $C \times 0.1\%$ ）。

硬化コンクリート試験として初期および長期の強度試験および耐硫酸試験として硫酸浸せき試験を行った。なお、

キーワード 高炉セメント、吹付けコンクリート、耐硫酸性、圧縮強度、養生温度

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 北海道開発土木研究所 材料研究室 TEL：011-841-1719

表－1 使用材料

セメント	高炉B種セメント、密度 3.06 g/cm^3
	普通ポルトランドセメント、密度 3.16 g/cm^3
細骨材	幌延町浜里産 密度 2.68 g/cm^3 、吸水率 1.14% 、FM 2.61
粗骨材	稲倉山産砕石 密度 2.51 g/cm^3 、吸水率 2.89% 、 $G_{\text{max}} 15 \text{ mm}$
高性能減水剤	PEG系高分子化合物
急結剤	カルシウムアルミネート系（CA） $C \times 7\%$ 添加
	カルシウムサルフォアルミネート系（CSA） $C \times 10\%$ 添加

表－2 配合

配 合 記 号	セメント の種類 ※1	スラン プ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	急結剤 の種類 ※2	急結剤 添加率 (C*%)	単位量(kg/m ³)			
							C	W	S	G
N360CA	N	10.5 ± 2.5	54	60%	CA	7.0	360	195	1063	693
B360CA	BB				CSA	10.0			1056	688
B360CSA			CA		7.0	380	1045		681	
B380CA			CSA		10.0					
B380CSA			CA		7.0	400	1035		674	
B400CA			CSA		10.0					
B400CSA										

※1 セメントの種類 N:普通ポルトランドセメント、BB:高炉B種セメント

※2 急結剤の種類 CA:カルシウムアルミネート系、CSA:カルシウムサルフォアルミネート系

表－3 試験項目

試験項目	試験方法
リバウンド測定	鉄道総合技術研究所: NATM設計施工指針に準拠
粉塵濃度測定	H14改訂ずい道等建設工事における換気技術指針に準拠
初期強度	JSCE-G561（材齢3、24時間）プルアウト強度
圧縮強度（長期）	JIS A1107（材齢7、28日）コア強度
耐硫酸試験	JIS 原案「コンクリートの溶液浸せきによる試験方法（案）」 質量変化、中性化深さ測定（硫酸濃度 0.1 、 5% ）

硫酸の濃度は、草内トンネル地山で観測された最大濃度の 0.1%（ $\approx \text{pH}2$ ）と、促進試験の観点から 5%（ $\approx \text{pH}0.4$ ）濃度の 2 水準で試験を行った。耐硫酸試験は、材齢 28 日から開始した。

3. 実験結果および考察

表－4に施工試験結果を示す。リバウンドおよび粉塵濃度ともに BB の方が N よりも小さく良好な結果となった。これは BB の方が N よりもセメント量が多かったことが影響したものと考えられる。なお、圧送性については、若干脈動がみられたものの実施工上特に問題はなかった。図－1に吹付けコンクリートの強度試験結果を示す。なお、12 月吹付け時の材齢 5 日までの養生温度が 16℃程度と高いが、これは、切り羽先端の温度が施工機械の稼働等によりこの程度に保たれていたためである。この影響を考慮し、1 月吹付け時は、切り羽先端で吹付け後、トンネル坑口付近まで供試体を移動し、吹付け直後より低温状況に曝した。図から、低温養生で強度は低下するものの、単位セメント量の増加により強度は増加する傾向にあり、単位セメント量を増加することにより、低温養生条件下を含めて、全ての材齢で 2002 年制定土木学会コンクリート標準示方書施工編に示されている圧縮強度の標準値を満足する結果となった。また、高強度型の CSA 系急結剤を用いた場合、本試験の範囲内では、CA 系よりも強度が小さく、その効果が確認できなかった。これは、実際の吹付けシステムの関係から急結剤添加量が設定よりも少なかった（実添加 C×7%程度）ことが影響したものと考えられる。図－2に浸せき後 13 週までの耐硫酸試験結果を示す。高濃度（5%）硫酸の場合、質量変化率は BB の方が N よりも小さく、さらに、単位セメント量が少なく、CA 系の急結剤を用いたものほど小さくなる傾向がみられた。また、低濃度（0.1%）硫酸についても、高濃度に比べると差は小さいものの、BB の方が N よりも質量減少は小さくなる傾向がみられた。中性化深さは、単位セメント量の違いによる有意な差は見られないが、BB の方が N よりも小さくなる傾向がみられた。

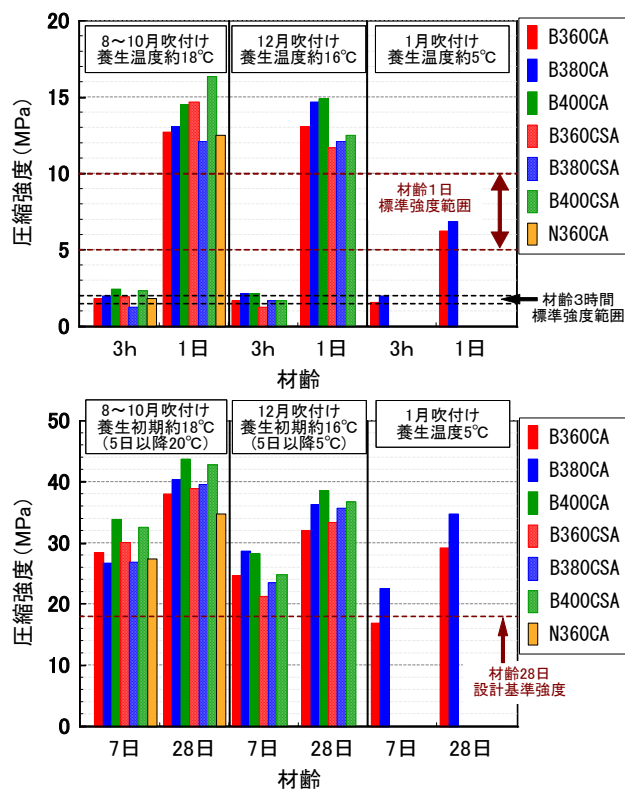
4. まとめ

本試験により、高炉 B 種セメントを用いた場合でも、セメント量の増加等により、初期強度の確保が可能であること、および高炉 B 種セメントを用いた吹付けコンクリートは、耐硫酸性に優れていることが確認された。なお、急結剤の種類の影響や低温時の強度特性については、さらなる長期的データの蓄積が必要と思われる。

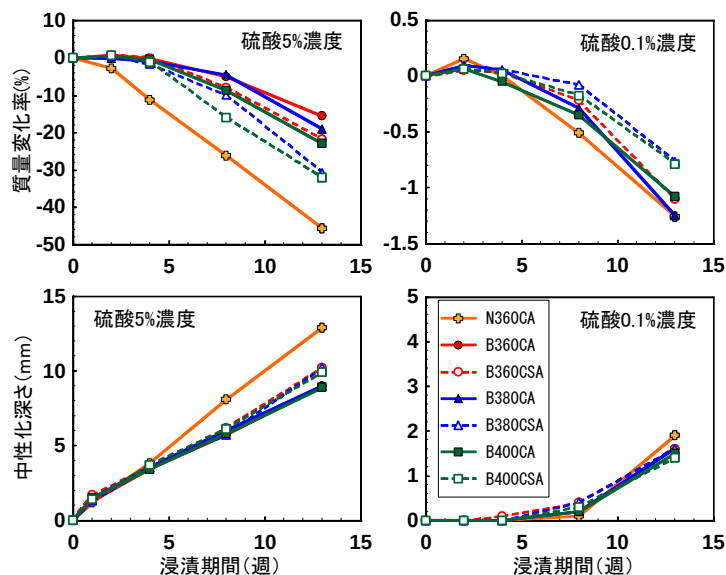
謝辞 本試験における供試体制作および強度試験の実施に当たり、草内トンネル飛島・田中特定建設工事共同企業体および飛友建設株式会社の協力を、また、太平洋マテリアル株式会社および電気化学工業株式会社には材料および技術提供をいただきました。ここに、記して深謝いたします。

表－4 施工試験結果

試験項目	目標レベル	試験結果	
		B380CA	N360CA
リバウンド(%)	—	19.3	21.3
粉塵(mg/m ³)	3.0 以下	1.8	2.5



図－1 強度試験結果



図－2 耐硫酸試験結果