

耐久性向上対策として高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの工場製品への適用性

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○吉田 行 正会員 田口 史雄
北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和 豊春
日鐵セメント株式会社 正会員 渡辺 宏

1. はじめに

積雪寒冷地のコンクリート構造物は、厳しい気象環境や使用環境により凍害や塩害等を複合的に受ける。このため、ライフサイクルコスト縮減の観点からもコンクリートの高耐久化が求められており、その対策の一つとして混和材利用の有効性が確認されている¹⁾。本研究では、混和材として比表面積 6000cm²/g クラスの高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの実用化の一つとして、コンクリート工場製品への適用性の検討を目的に室内試験による物性および耐久性の評価を行った。

2. 使用材料、配合および製造

本研究では、具体的な製品として、北海道の国道で著しい劣化がみられていた皿形側溝を対象とした。表-1 に使用材料を示す。結合材には、型枠転用や製品の早期出荷の観点から工場製品での使用が多い早強ポルトランドセメント（以下 HP と略記）と JIS 規格値を満足する比表面積 6000cm²/g クラスの高炉スラグ微粉末（以下 S6 と略記）を用いた。また、汎用性と経済性を考慮し、普通ポルトランドセメント（以下 NP と略記）と S6 を組み合わせた場合について

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント(HP) 4770※, 密度 3.15 g/cm ³
	普通ポルトランドセメント(NP) 3350※, 密度 3.16 g/cm ³
混和材	高炉スラグ微粉末(S6) 6020※, 密度 2.89 g/cm ³
細骨材	人舞産陸砂 表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 2.39%
粗骨材	人舞産砂利 表乾密度 2.67g/cm ³ , 吸水率 1.40%
高性能減水剤	カルボキシル基含有ポリエーテル系(工場製品用)
AE剤	天然樹脂酸系

※比表面積 (cm²/g)

表-2 配合

記号	セメント 種類	S6 置換率 (%)	W/B (%)	空気量 (%)	SP※1 添加量 (B×%)	s/a (%)	コンクリート単位量 (kg/m ³)						AE剤 添加量 (B×%)	
							W	B※2		S	G※3			SP
								C	S6		(5-15)	(15-25)		
NPS6(60)	NP	60	35	4.5	0.65	41	147	420	712	1052		2.74	0.02	
					168		252		684	368				
HPS6(60)	HP				0.65		167	477	671	990	3.10	0.02		
							191	286		643			347	

(※1 SP:高性能減水剤、※2 B:結合材、※3 G:括弧書きは骨材寸法)

でも検討した。高性能減水剤はコンクリート製品用を、併せて空気量を調節するため AE 剤を用いた。

表-2 に配合を示す。配合は、既往の室内試験結果のうち特にスケーリング等の耐久性を考慮し、スラグ置換率はセメント内割で 60%，水結合材比 (W/B) は 35%とした。また、S6 の使用によりフレッシュコンクリートの粘性が高まるため、高性能減水剤によりスランプフローを調整した中流動とし、目標スランプフローおよび空気量は、45±5cm および 4.5±1%とした。室内試験用供試体の作製は、実際の製品と同時にコンクリート製品工場の設備を用いて行った。養生は蒸気養生を行い、その条件は既往の研究²⁾を参考に、①前置きを 3 時間行い、②昇温速度を 10℃/hr とし、20℃から 55℃まで温度を上げ、③55℃を 6 時間保持し、④その後、自然冷却により 20℃まで下げた。蒸気養生後は、室内試験用供試体は温度 20℃、湿度 60%の室内で各試験材齢まで気中養生を行った。

3. 実験概要

物性については、圧縮強度試験 (JIS A 1108 に準拠し 3, 7, 14, 28, 91 日の 5 材齢) と乾燥収縮試験 (JIS A 1129-3 に準拠) を行った。乾燥収縮は蒸気養生の翌日に試験室へ移動して基長を測定し、温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室に静置し測定した。耐久性については、塩分浸透抵抗性 (JSCE-G571 に準拠し実効拡散係数で評価) と、ASTM C672 および RILEM CDF 試験に準拠したスケーリング試験 (型枠面を試験面、3%NaCl 溶液使用) を行った。

4. 圧縮強度および乾燥収縮

図-1 に圧縮強度と材齢の関係を示す。なお、参考として 20℃水中で標準養生を行った結果も併記している。配合の違いでは、初期材齢より HPS6(60)の方が NPS6(60)よりも強度は高く、材齢が経過してもその差は殆ど変わらなかった。養生の違いでは、蒸気養生を行った場合、標準養生よりも材齢初期の強度発現が大きかったが、長期的には強度の増加は殆どみられず標準養生と強度が逆転した。いずれにしても、蒸気養生の強度は材齢 7 日で

キーワード 混和材, 工場製品, 耐久性, スケーリング

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

40N/mm² 以上と高いことが確認された。

図-2 に乾燥収縮ひずみと乾燥期間、質量減少率の関係を示す。乾燥収縮ひずみは、HPS6(60)の方が NPS6(60)よりも特

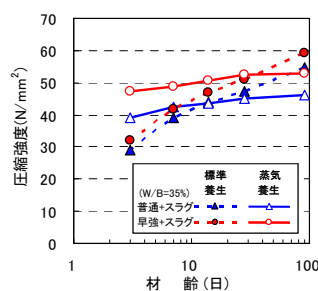


図-1 圧縮強度と材齢の関係

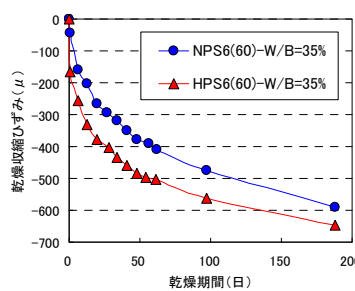
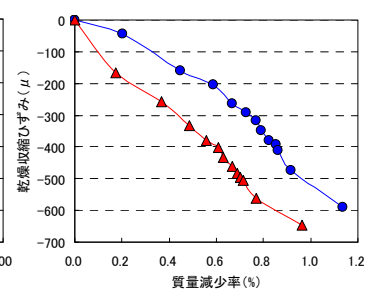


図-2 収縮ひずみと乾燥期間、質量減少率の関係



に乾燥初期の増加が大きく、乾燥6ヶ月後のひずみは650μ程度であった。乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係をみると、いずれも質量減少が大きくなるほどひずみは増大しており、HPS6(60)は同一質量減少率あたりのひずみが大きかった。毛細管張力説では、乾燥により細孔内の水が逸散する際に生じる毛細管張力は細孔径が小さいほど大きくなるとされており、HPS6(60)の方が NPS6(60)よりも圧縮強度が大きく、細孔組織が緻密なことが収縮を増大させた要因と考えられる。

5. 塩分浸透抵抗性およびスケーリング抵抗性

図-3 に塩化物イオンの実効拡散係数を示す。なお、図には参考として、W/B=30%における HP 単味の実効拡散係数を示している ($C=494\text{kg/m}^3$, 同条件で蒸気養生)。W/B が小さい HP 単味と比較しても、いずれも実効拡散係数は極めて小さく、S6 による塩分浸透抑制効果が確認された。

図-4 に ASTM 法によるスケーリングと凍結融解サイクルの関係を示す。図には配合選定時に参考とした既往の試験結果である HP 参と HPS6(60)参を併記している。これらは、7日間湿布養生後、材齢28日まで温度20℃、湿度60%の環境下で気中養生したものであり養生条件が異なっているほか、スケーリング試験面が打設面となっている。蒸気養生では NPS6(60)の方が HPS6(60)よりも若干スケーリングが多いものの、その差は小さかった。一方、HP 参と比べると、蒸気養生の方が初期のスケーリング量が多いものの今後逆転の傾向がみられ、HPS6(60)参と比べると蒸気養生の方がスケーリングは多い傾向がみられた。これらは、養生や試験面の違いが影響していると考えられ、さらに長期的なスケーリングの把握が必要である。図-5 に CDF 試験によるスケーリング量と凍結融解サイクル数の関係を示す。CDF 試験でも ASTM 法と同様の傾向がみられ、NPS6(60)のスケーリング量が若干多かった。しかし、CDF 試験によるスケーリング限界量は凍結融解28サイクルで1500g/m²とされており³⁾、いずれの配合もスケーリング量は極めて少なかった。

6. まとめ

以上、初期性能としては、圧縮強度、耐久性ともに高い水準が確認され、工場製品への適用性が示された。今後は現地に試験施工した製品について経年調査を継続し、実環境下における性能の検証を行う。

参考文献

- 1) 吉田行, 名和豊春, 田口史雄, 渡辺宏: 各種混和材を用いたコンクリートのPC構造物への適用性と耐久性向上効果について, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.123-128, 2008.7.
- 2) 酒井秀昭, 横山博司, 高野茂晴, 前田悦孝: 高炉スラグ微粉末 (6000cm²/g) を用いた鋼橋のPCプレキャスト床版の検討, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.5, pp.50-57, 2001.9.
- 3) Jochen Stark, Bernd Wichit (訳: 太田利隆, 下林清一, 佐伯昇): コンクリートの耐久性第2版, 社団法人セメント協会, pp.200-202, 2003.8.

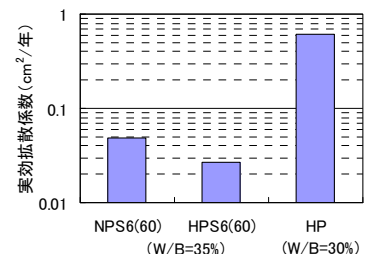


図-3 塩分の実効拡散係数

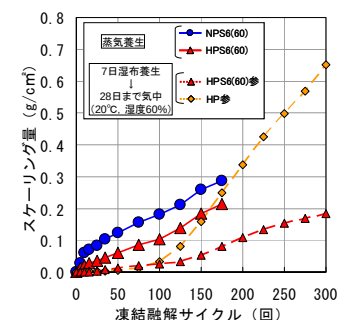


図-4 スケーリング量 (ASTM 法)

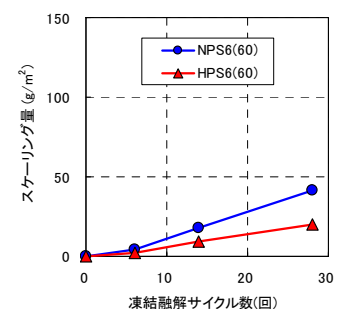


図-5 スケーリング量 (CDF 試験)