

寒中環境での高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの施工性に関する一考察

戸田建設株式会社

○正会員

新谷 岳

正会員

土師 康一

戸田建設株式会社

正会員

澤村 淳美

正会員

田中 徹

西松建設株式会社

正会員

椎名 貴快

フェロー

佐藤 幸三

株式会社フローリック

正会員

小池 晶子

1. はじめに

近年、環境負荷低減や未利用資源の有効利用の観点から、セメントの代替材料として CO₂ 排出原単位の小さい副産物を積極的に用いた低炭素型のコンクリートが注目されている。著者らはセメント質量の 70～90%を高炉スラグ微粉末 4000（無水せっこう：SO₃換算 2.0%内添）に置換したコンクリートを開発した^{1) 2) 3) 4)}。本稿では、冬期に現場適用した例を基に、寒中環境における低炭素型のコンクリートの施工性について報告する。

2. 現場条件

今回、低炭素型のコンクリートを適用したのは、建屋屋上のパラペット（設計基準強度 27N/mm²）であり、施工は冬期にコンクリートポンプ車を用いて打込みを行った。既往の研究より今回適用する低炭素型のコンクリートは通常のコンクリートと比較して、養生期間中の環境温度が低いほど発現強度が低くなる傾向がある¹⁾。また、含まれる高炉スラグ微粉末の反応は温度依存性が高いことより凝結の終結時間が遅くなる傾向があることがわかっていた¹⁾。凝結の終結が遅くなることは、打込み後の初期凍害発生リスクに繋がる⁵⁾。そこで今回、寒中環境下において所要の圧縮強度を確保するため、また打込み時のフレッシュ性状を確認するため、配合試験を行った。

3. 配合試験概要および使用材料

(1) 配合試験概要

配合試験では、打込み時のフレッシュ性状を確認するため、寒中環境（環境温度 5℃）におけるスランブ試験と凝結試験を行った。また所要の強度発現を確認するため、材齢 28 日（封緘養生）における圧縮強度の確認を行った。

(2) 使用材料

表-1 に試験に用いたコンクリートの使用材料を示す。結合材には、普通もしくは早強ポルトランドセメントを用い、セメント質量の 70%（内割）を高炉スラグ微粉末 4000 に置換した。混和剤は経時保持を目的として高性能 AE 減水剤とした。

(3) 試験配合

表-2 に試験配合を示す。普通ポルトランドセメントを用いた配合では、水結合材比 W/B=50 および 45%の 2 配合、早強ポルトランドセメント配合では W/B=50%の 1 配合とした。フレッシュ性状の目標はスランブ 18±2.5cm、空気量 4.5±1.5%とした。フレッシュ性状試験および供試体養生は、寒中施工を想定し 5℃環境と、比較用に 20℃環境で行った。

4. 試験結果

(1) フレッシュ性状

表-3 に試験配合のフレッシュ性状試験結果を示す。経時確認は、運搬・施工時間を想定し、静置 60 分まで行った。結果、セメント種別、水結合材比によらず、全ケースで経過時間 60 分まで目標としたフレッシュ性状を確保できることが確認できたが、HPC 配合は、経時 60 分で-3.5cm となり比較的スランブの低下が大きくなった。

表-1 使用材料

記号	仕様
OPC	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³
HPC	早強ポルトランドセメント, 密度3.14g/cm ³
BFS	高炉スラグ微粉末(石膏SO ₃ 換算2.0%内添), 密度2.89g/cm ³ , 比表面積4,460cm ² /g
S1	茨城県行方産砕砂, 表乾密度2.64g/cm ³
S2	栃木県佐野産細砂, 表乾密度2.65g/cm ³
G	茨城県つくば産砕石, 表乾密度2.69g/cm ³
Ad	高性能AE減水剤(高炉スラグ高含有コンクリート用)

表-2 試験配合

配合		BFS 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							Ad (B×%)
No	名称				W	B			S1	S2	G	
						OPC	HPC	BFS				
①	OPC50%	70	50.0	48.0	163	98	-	228	591	264	955	0.90
②	OPC45%	70	45.0	47.0	163	109	-	254	569	254	955	1.00
③	HPC50%	70	50.0	48.0	163	-	98	228	591	264	955	0.90

表-3 性状試験結果（環境温度 5℃）

配合No	経過時間 (分)	スランブ		空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)
		(cm)	0分からの 変化量		
① OPC50%	0	19.5	0.0	4.4	6
	30	17.5	-2.0	5.0	6
	60	17.0	-2.5	4.8	6
② OPC45%	0	17.5	0.0	3.7	5
	30	17.5	0.0	4.1	5
	60	16.5	-1.0	4.1	5
③ HPC50%	0	20.0	0.0	4.6	7
	30	18.5	-1.5	4.8	7
	60	16.5	-3.5	4.5	6

キーワード 高炉スラグ微粉末, 低炭素, 寒中環境, 圧縮強度

連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設（株）本社土木工事技術部 TEL03-3535-1675

(2) 圧縮強度

表-4 および図-3 に試験配合の圧縮強度試験結果を示す。今回想定している 5℃環境では、W/B=50%の 2 配合にて設計基準強度 27N/mm² を満足しない結果となった。そのため今回の実施工に際しては、W/B=45%を採用することとした。

表-4 圧縮強度試験結果
(封緘養生 σ28)

	養生環境温度	
	5℃	20℃
①OPC50%	24.5	30.6
②OPC45%	30.1	37.4
③HPC50%	26.0	34.1

※単位: N/mm²

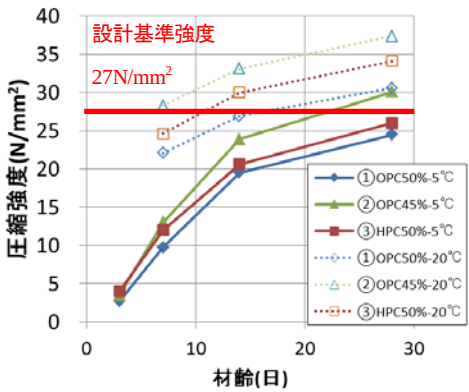


図-3 圧縮強度

(3) 凝結特性

表-5 および図-4 に試験配合の凝結試験結果を示す。今回の配合において凝結の終結時間は、W/B が低いほど、また OPC より HPC を使用した場合に凝結の終結までに要する時間を短縮することが確認できた。

表-5 凝結試験結果 (5℃環境)

	凝結時間(時:分)	
	始発	終結
①OPC50%	13:10	25:50
②OPC45%	14:05	23:35
③HPC50%	11:15	19:20



図-4 凝結試験結果

(4) 適用配合の選定¹⁾

以上の結果より、打込み当日の外気温が 5℃程度と想定すると、所要の圧縮強度を確保するためには W/B=45%とすることが必要である。また凝結の終結時間を短縮するためには、HPC 配合を使用することが有効である。そこで実際に適用する配合として、HPC45%配合(表-6)を設定した。

表-6 選定配合

配合		BFS 置換率	W/B	s/a	単位量(kg/m ³)							Ad	
No	名称				W	B			S1	S2	G		(B×%)
						OPC	HPC	BFS					
④	HPC45%	70	45.0	47.0	163	-	109	254	569	254	955	1.00	

5. 現場適用

打込み当日の気温は 6℃であった。打込みには HPC45%配合を用い、図-5 のようにポンプ圧送にて打込み、完了後には保温湿マットによる養生を行った。打込み当日の性状試験結果は表-7、圧縮強度試験結果は表-8 の通りであり、良好な結果を得ることが出来た。

表-7 実施工：性状試験結果

配合No	採取場所	経過時間 (分)	スランブ		コンクリート 温度(℃)
			(cm)	変化量	
④ HPC45%	練上がり時	0	20.5	0.0	12
	現場到着時	31	19.0	-1.5	13
	ポンプ筒先	43	18.5	-2.0	14

※外気温6℃

6. まとめ

今回の現場適用より、高炉スラグ微粉末高含有コンクリートを、打込み時の気温が 5℃程度という寒中環境下で打設する場合は、必要な強度を確実に確保するために、HPC を使用し、設計基準強度に応じて W/B を小さくすることで対応できるという知見を得られた。またポンプ圧送性にも問題がないことを確認できた。

本稿は、国立研究開発法人土木研究所が主催する共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」において著者らが実施した実験結果の一部を引用したものである¹⁾。

参考文献 1) 土木研究所・戸田建設㈱・西松建設㈱：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書 (V), 2016, 2) 椎名貴快ら：高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの凍結融解抵抗性に与える湿潤養生期間と空気量の影響, 土木学会第 71 回年次学術講演会, H28.9, 3) 土師康一ら：高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの温度特性に関する検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, H27.9, 4) 椎名貴快ら：高炉スラグ微粉末の強度と耐久性に着目した湿潤養生期間, 土木学会第 70 回年次学術講演会, H27.9, 5) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書(施工編), 2013.3



図-5 打設状況

表-8 実施工：圧縮強度試験結果

養生方法	圧縮強度	
	σ 7	σ 28
現場水中養生	19.5	38.0
封緘養生	19.6	35.6
標準養生	32.5	49.5

※単位: N/mm²



図-6 完了全景