

## 硬化促進剤を添加した高炉スラグ微粉末含有コンクリートの スランプ保持性能と初期強度発現に及ぼす遅延剤の影響

北見工業大学大学院 ○学生員 外川浩輔  
北見工業大学 正会員 井上真澄  
北見工業大学 正会員 崔 希燮  
日産化学(株) 正会員 須藤裕司

### 1. はじめに

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは強度発現が遅いため初期強度が小さいことが広く知られており、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートよりも湿潤養生期間を長くする必要のあることから、型枠の脱型時期の遅れなどコンクリートに係る工事期間が長期化するといった課題がある。この初期強度発現性を改善する有効な方策の一つとして亜硝酸塩系硬化促進剤を添加する手法がある。しかし、亜硝酸塩系硬化促進剤を添加した場合には、その添加量によっては練混ぜ直後からのスランプロスが大きくなり、打込み時に作業性に支障をきたす恐れがある。

そこで本研究では、初期強度発現改善のために亜硝酸塩系硬化促進剤を添加した高炉スラグ微粉末含有コンクリートのスランプロス抑制を目的として遅延剤を使用した場合のフレッシュ性状および初期強度発現性を明らかにすることを実験的に検討した。

### 2. 実験概要

表-1 に使用材料を、表-2 にコンクリートの配合を示す。セメントには OPC と BFS4000 を使用し、質量比 OPC : BFS=50 : 50 で混合して使用した。亜硝酸塩系硬化促進剤には亜硝酸カルシウム 30% 水溶液(CN)を使用し、結合材質量に対し固形分換算で 0~3%の範囲で添加した。遅延剤にはグルコン酸ナトリウム(SG)を使用し、結合材質量に対して固形分換算で 0~0.06%の範囲で添加した。練混ぜ直後の目標スランプは 18±2.5cm と

表-1 使用材料

材料	略号	主な性質
セメント	C	普通ポルトランドセメント(OPC)、密度：3.16g/cm <sup>3</sup> 、比表面積：3090cm <sup>2</sup> /g
高炉スラグ微粉末	BFS	密度：2.90g/cm <sup>3</sup> 、比表面積 4000cm <sup>2</sup> /g、石膏無添加
細骨材	S	常呂産陸砂、密度：2.58g/cm <sup>3</sup> 、吸水率：1.29%、F.M.：2.71
粗骨材	G	北見産碎石、密度：2.83g/cm <sup>3</sup> 、吸水率：1.70%、F.M.：6.64
硬化促進剤	CN	亜硝酸カルシウム 30%水溶液、密度：1.30g/cm <sup>3</sup>
遅延剤	SG	グルコン酸ナトリウム、密度：1.80g/cm <sup>3</sup>
AE 減水剤	AE	主成分：リグニンスルホン酸とポリカルボン酸エーテルの複合体、密度：1.05g/cm <sup>3</sup>

表-2 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(B×%)					
			W	B		S	G	CN	SG	AE		
				C	BFS							
N	50	47	158	316	0	845	1046	0	0	1		
CN0						840	1039	1.5				
CN1.5						837	1036					
CN3								835	1032		3	0.02
CN3(0.02)												0.04
CN3(0.04)												0.06
CN3(0.06)												

した。なお、OPC のみを結合材として使用した普通コンクリートも作製し、比較検討した。

各材料の温度管理とコンクリートの練混ぜは、温度 20±1℃、湿度 85±5%の恒温恒湿室内で行った。練り上がり直後、15 分後、30 分後、45 分後、60 分後にスランプ測定を行い、その後、凝結試験を行った。圧縮強度試験用供試体(φ100×200mm)は打込み後、同恒温恒湿室内で保管し、翌日に脱型した。その後、20±1℃の水中養生を行い、所定材齢(1、3、7、28 日)において圧縮強度試験を行った。

### 3. 実験結果および考察

図-1 および図-2 にスランプの経時変化を示す。60 分後のスランプ値は CN0 と CN1.5 に対して、CN3 は大きく低下した。これは、CN に含有する亜硝酸イオンがセメント中のアルミネート相と反応して AFm 相(亜硝酸キーワード 高炉スラグ微粉末、硬化促進剤、遅延剤、スランプロス、強度発現

連絡先 〒090-8507 北見市公園町 165 番地 北見工業大学工学部社会環境系 TEL : 0157-26-9513

酸塩系水和物)を生成することに加え、エトリンタイトの生成を促すことが報告されており、それらの形成過程で水分が大量に消費されることによりスランプロスが生じたものと推察される<sup>2),3)</sup>。一方で、CN3 に遅延剤を添加した場合、遅延剤の添加量増加に伴い60分後のスランプ値の低下が抑えられており、CN添加によるBFS含有コンクリートのスランプロスはSGを添加することで改善できることを確認した。

図-3 に凝結試験結果を示す。BFS含有コンクリートにCNを添加したCN1.5およびCN3では、CN無添加のCN0に比べて凝結時間が早まる傾向を示した。また、CN3に遅延剤を添加した場合の凝結時間は遅延する傾向にあるものの、遅延剤を0.02%および0.04%添加した配合では、CN0の始発・終結時間より早く、OPCのみを用いたNに近い凝結特性を示した。一方で遅延剤を0.06%に増量した場合は、凝結が著しく遅延した。

図-4 に圧縮強度試験結果を示す。材齢1日と3日強度に着目するとCNの添加量を増やすことで初期強度発現が改善され、CN3の場合にはOPCのみを用いたNと同等の圧縮強度が得られた。次にCN3に対して遅延剤を添加したCN3(0.02)とCN3(0.04)に着目すると良好な強度発現が得られており、Nと同等の圧縮強度が得られた。一方で遅延剤を0.06%に増量したCN3(0.06)では、強度発現が遅れていた。凝結試験の結果が示すように、遅延剤を0.06%添加した配合では凝結が大きく遅延しており、これが初期強度発現性に悪影響を及ぼしたものと考えられる。材齢7日と28日に着目すると、CNを3%添加した配合では遅延剤の添加に関わらず良好な強度発現が得られており、OPCのみを使用したコンクリートと同等以上の圧縮強度であった。これはCNによりBFSの潜在水硬性が促進されたことによるものと推察される。

4. まとめ

BFS含有コンクリートに遅延剤を添加することで、亜硝酸塩系硬化促進剤(CN)による初期強度発現効果を損なうことなく、コンクリートの良好なスランプ保持性能を確保できることを確認した。また、BFS含有コンクリートにCNを添加することで、OPCのみを結合材として用いたコンクリートと同等の初期強度発現性が得られた。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会北海道支部:コンクリート混和材料の最新技術に関する研究委員会報告書、pp.76-79、2011.3
- 2) H.S. Choi *et al.* : Physicochemical Study on the Strength Development Characteristics of Cold Weather Concrete Using a Nitrite-Nitrate Based Accelerator, *Materials* 2019, 12, 2706
- 3) J.H. Kim *et al.*: Investigation of the Relationship between Compressive Strength and Hydrate Formation Behavior of Low-Temperature Cured Cement upon Addition of a Nitrite-Based Accelerator, *Materials* 2019, 12, 3936

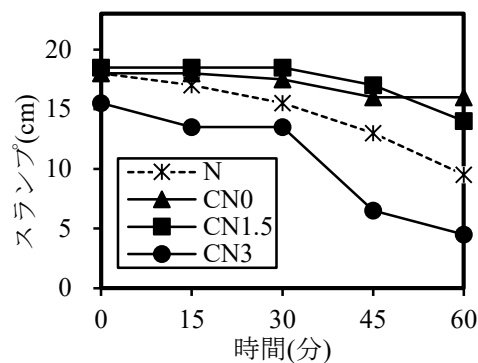


図-1 スランプの経時変化 (CN添加量による比較)

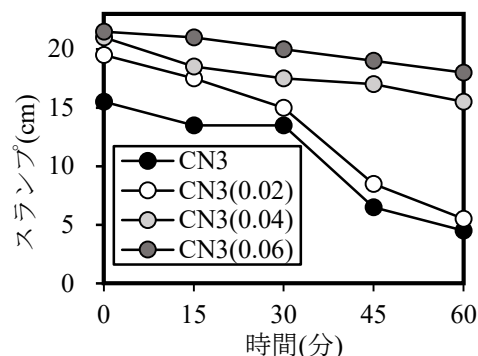


図-2 スランプの経時変化 (SG添加量による比較)

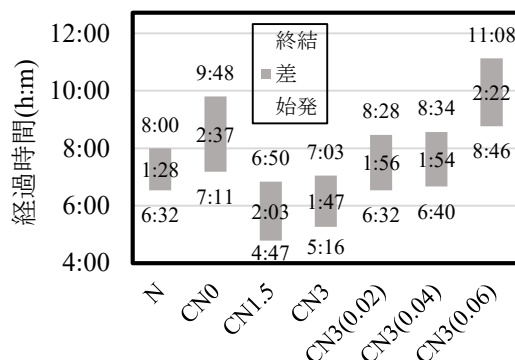


図-3 凝結試験結果

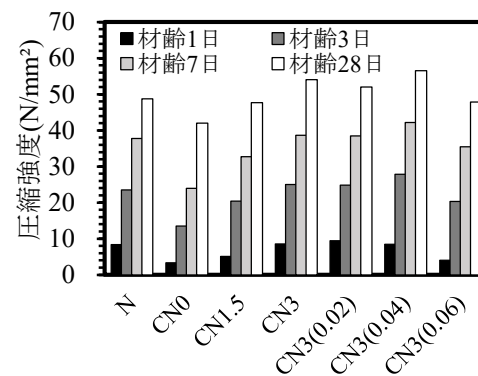


図-4 圧縮強度試験