

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
強度発現性と収縮特性に及ぼす遅延剤の影響

北見工業大学大学院
北見工業大学
北見工業大学
日産化学(株)

○学生員
正会員
正会員
正会員

外川浩輔
井上真澄
崔 希燮
須藤裕司

1. はじめに

高炉スラグ微粉末含有コンクリート(BFSC)の初期強度発現性を改善する方策の一つに亜硝酸塩系硬化促進剤(CN)の添加が挙げられる。この場合、CNの添加量により打込み時の作業性に支障をきたす恐れがある。そこでCNによる初期強度発現効果を損なわない範囲で、良好なスランプ保持性能を確保するため遅延剤との併用について検討している¹⁾が、長期的な強度発現や収縮特性については明らかになっていない。特に、亜硝酸塩系硬化促進剤を添加したセメント系材料は収縮ひずみ量が増加する傾向にあることが指摘されていることから、収縮特性に及ぼす影響を把握する必要がある²⁾。

そこで本研究では、亜硝酸塩系硬化促進剤(CN)と遅延剤を併用したBFSCの強度発現性と収縮特性を明らかにすることを目的として実験的検討を行った。

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0~2%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0~0.02%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。

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、密度：3.16g/cm ³ 、比表面積：3090cm ² /g
高炉スラグ微粉末	BFS	密度：2.90g/cm ³ 、比表面積4000cm ² /g、石膏無添加
細骨材	S	常呂産陸砂、密度：2.58g/cm ³ 、吸水率：1.29%、F.M.：2.71
粗骨材	G	北見産碎石、密度：2.83g/cm ³ 、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 ³
遅延剤	SG	グルコン酸ナトリウム、密度：1.80g/cm ³
AE減水剤	Ad1	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 ³
AE助剤	Ad2	天然樹脂酸塩、密度：1.09g/cm ³

表-2 コンクリートの計画配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					混和剤(B×%)			
			W	B		S	G	CN	SG	Ad1	Ad2
				C	BFS						
N	50	47	150	300	0	861	1065	0	0	1	1
CN0				150	150	856	1059	1.5			
CN1.5						853	1056				
CN2						853	1055	2	0.01		
CN2(0.01)											
CN2(0.02)											

各材料の温度管理と練混ぜは、温度20±1℃、湿度85±5%の恒温恒湿室内で行った。練上がり直後から60分後までに計5回のスランプ測定を行った。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、91日)において圧縮強度試験を行った。自己収縮用供試体は型枠へ打込み後、同室で保管し接水より12時間後に脱型し、アルミ箔テープで覆い埋込型ひずみゲージを用いて長さ変化の経時計測を開始した。乾燥収縮用供試体は型枠へ打込み後、同室内で保管し翌日に脱型した。その後材齢7日まで水中養生を行った。水中養生終了後から恒温恒湿室(20±1℃、60±5%RH)にてダイヤルゲージ法に準拠して長さ変化の経時計測を開始した。

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、収縮特性
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

3. 実験結果および考察

図-1 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、CN2 は大きく低下した。一方で、CN2 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 BFSC のスランプロスは遅延剤を添加することで改善できることを確認した。

図-2 に圧縮強度試験結果を示す。材齢 1、3 日に着目すると CN の添加量を増やすことで初期強度発現が改善された。これは、CN に含有する亜硝酸イオンがセメント中のエーライト(C_3S)の水和反応を促進し OH^- の供給を速めることで BFS の潜在水硬性を促進することに加え、セメントの水和反応も CN の増加により促進されたことによるものと考えられる³⁾。一方、初期強度発現性が改善された CN2 に対して遅延剤を添加した場合、CN2 と同等の圧縮強度が得られた。材齢 7、28、91 日に着目すると、CN を添加した配合は無添加に比べ強度が増加する傾向にある。また遅延剤を添加した場合は CN2 と同等の強度が得られた。

図-3 に自己収縮ひずみの経時変化を示す。CN2 の自己収縮ひずみは CN0 に比べて増加傾向にある。既報告によると、亜硝酸塩の添加が BFS の潜在水硬性を促進させ、自己収縮が増加する傾向にあることが報告されており³⁾、本実験においても同様の傾向が示された。CN2 に遅延剤を添加した場合、CN2 と同程度の収縮ひずみを示した。

図-4 に乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。BFSC は N に比べわずかに乾燥収縮量は小さい。また、CN や遅延剤を添加の有無に関わらず、同程度の乾燥収縮ひずみを示した。

4. まとめ

- 1) BFSC に CN と遅延剤を添加した場合、良好なスランプ保持性能と初期強度発現性を示すとともに、CN のみを添加した場合と同等の長期強度が得られた。
- 2) BFSC の自己収縮は、CN を添加した場合にひずみが増加傾向にあるが、遅延剤の有無による影響は小さく同程度の収縮ひずみを示した。一方、乾燥収縮は CN と遅延剤を添加の有無に関わらず同程度の収縮ひずみを示した。

参考文献

- 1) 外川浩輔、井上真澄、崔希燮、須藤裕司：硬化促進剤を用い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、土木学会第 77 回年次学術講演会講演概要集、V-393、2022
- 2) 米山暁、崔希燮、井上真澄、須藤裕司：耐寒促進剤を多量添加したセメント系材料の極初期材齢における水和特性とフレッシュ性状の相関関係に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.43、No.1、pp.119-124、2021
- 3) 富田悠輔、崔希燮、井上真澄、須藤裕司：亜硝酸カルシウムを添加した高炉スラグセメント系材料の収縮ひび割れ特性に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、No.77、2021

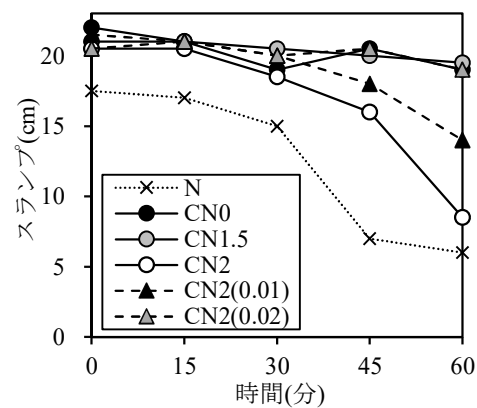


図-1 スランプの経時変化

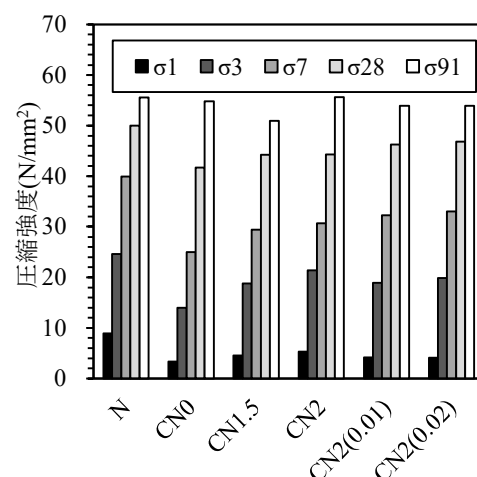


図-2 圧縮強度試験結果

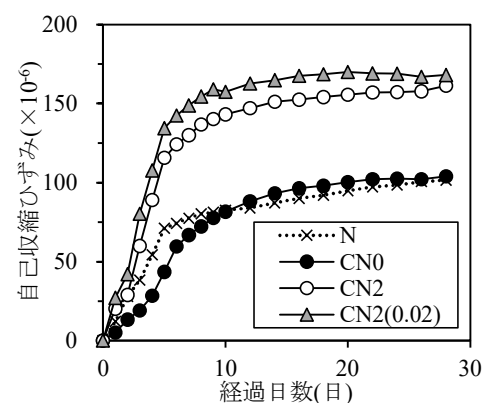


図-3 自己収縮試験結果

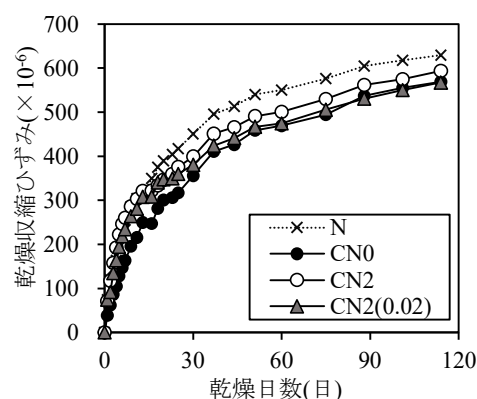


図-4 乾燥収縮試験結果