

新型耐寒剤を用いたコンクリートの低温環境下における スランプロスおよび強度発現の検討

Slump loss and compressive strength of concrete containing new nonfreezing agent at low temperature

北見工業大学大学院 工学研究科 土木開発工学専攻 ○学生員 赤間智仁 (Tomohito Akama)
 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 正員 井上真澄 (Masumi Inoue)
 日産化学工業株式会社 化学品事業部 基礎化学品営業部 正員 須藤裕司 (Yuhji Sudoh)
 北見工業大学 フェロー 鮎田耕一 (Koichi Ayuta)
 北見工業大学 技術部 正員 岡田包儀 (Kaneyoshi Okada)

1. はじめに

耐寒剤は、セメントの水和反応を促進させることで厳冬期におけるコンクリート打設後の初期凍害を防止し、さらにコンクリート中の水分の凍結温度を低下させる混和剤である。北海道などの積雪寒冷地における寒中コンクリートの施工では、雪寒仮囲い及び給熱養生を行わずに施工を行うことができる方法として用いられる。

耐寒剤の主成分として広く用いられている亜硝酸系混和剤は、その使用量が多いほど、フレッシュコンクリートの凍結温度を低下させる作用があるとされており、凝結・硬化も促進される。しかし、多量に添加すると硬化が必要以上に促進されてしまうため、コンクリートのこわばりやスランプロスの増大¹⁾などの原因となり、作業性に支障をきたすおそれがある。また、従来の耐寒剤では、施工時の外気温が-10℃程度までは効果が期待できるが、それ以下の外気温では十分な効果が期待できない場合がある。

これまで筆者らは、従来の耐寒剤よりも低い外気温でも十分な硬化促進効果と練混ぜから打込みまでのワーカビリティを確保できる高性能な耐寒剤の開発を目的とした検討を行っている²⁾。従来の耐寒剤の使用量よりも亜硝酸系混和剤を多量に添加して、メラミン系減水剤およびポリカルボン酸系減水剤の2種類の減水剤と併用した配合を「新型耐寒剤」と定義し、その新型耐寒剤を添加したコンクリートの常温におけるスランプロスおよび

低温環境下における初期強度発現特性について実験的検討を行ってきた。その結果、新型耐寒剤は常温で打設した場合のスランプロスおよび低温環境下における強度発現において、従来の耐寒剤よりも優れる結果を示した。しかし、耐寒剤が用いられる時期は厳冬期が想定され、実際の寒中コンクリート施工時においては、温水などによりコンクリートの練り上がり温度を確保するような対策が行われているが、練り上がり温度は+20℃以下になる場合が殆どであると考えられる。そこで本研究は、新型耐寒剤を用いたコンクリートの低温環境下におけるスランプロスおよび初期強度発現について検討を行った。

2. 低温環境下におけるスランプロスの検討 (実験1)

2.1 実験概要

本実験では、低温環境下における新型耐寒剤を用いたコンクリートのフレッシュ性状について検討を行った。日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説」³⁾では、荷卸し時のコンクリート温度が+10～+20℃の範囲になるように考慮することが規定されている。そこで本実験では、コンクリートの練り上がり温度が+10～+20℃になるようにするため、+10℃の温度環境下においてコンクリートの練混ぜを行い、同環境下でのフレッシュ性状について実験的検討を行った。

2.2 使用材料および配合

表-1 に使用材料を示す。セメントには普通ポルトラ

表-1 使用材料 (実験1)

材料	略号	主な特性
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度：3.16 g/cm ³
細骨材	S	陸砂、表乾密度：2.61 g/cm ³ 、吸水率：1.69%、F.M：2.54
粗骨材	G	碎石、表乾密度：2.88 g/cm ³ 、吸水率：1.30%、F.M：6.36、M.S.：25mm
亜硝酸系混和剤	CN45	主成分：亜硝酸カルシウム、その他の硬化促進成分 密度：1.42～1.44 g/cm ³
メラミン系高性能減水剤	Ad1	主成分：メラミンスルホン酸、密度：1.17～1.19 g/cm ³
ポリカルボン酸系高性能減水剤	Ad2	主成分：ポリカルボン酸エーテル系化合物、密度：1.03～1.07 g/cm ³
AE剤	AE	主成分：天然樹脂酸塩、密度：1.05～1.07 g/cm ³
芳香族エーテル系高性能減水剤 [*]	Ad3	主成分：芳香族エーテル系縮合物、密度：1.01～1.06 g/cm ³
従来型耐寒剤 [*]	従来型	主成分：亜硝酸カルシウム、減水剤、他 密度：1.38～1.42 g/cm ³

注) ^{*}は実験2および実験3で使用

表-2 コンクリート配合 (実験 1)

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (ℓ/m ³)	(C×%)		
			W	C	S	G		CN45	Ad1	Ad2
①Ad1 : Ad2=1 : 3	50	40.7	160	320	732	1176	20.0	0.5	1.5	0.006
②Ad1 単体								2.5	—	0.018
③Ad2 単体								—	0.8	0.005

表-3 フレッシュ試験結果 (実験 1)

配合名	スランブ (cm)			空気量 (%)			コンクリート温度 (°C)		
	初期	30分	60分	初期	30分	60分	初期	30分	60分
①	11.0	1.5	0.0	5.4	2.8	—	12.0	12.5	12.5
②	12.0	3.5	2.5	5.2	3.4	2.8	13.0	12.0	12.0
③	12.0	3.0	1.0	4.6	3.0	2.2	12.5	12.0	12.0

ンドセメントを使用し、細骨材には陸砂、粗骨材には砕石を使用した。混和剤は、新型耐寒剤の主成分として亜硝酸カルシウムを主体とする耐寒成分を含んだ濃度45%の混合水溶液 (以後、CN45) を、併用する減水剤にはメラミン系高性能減水剤 (以後、Ad1 減水剤) とポリカルボン酸系高性能減水剤 (以後、Ad2 減水剤) を使用した。また、空気量の調整のために AE 剤を使用した。

表-2 にコンクリートの配合を示す。水セメント比は50%に一定とした。新型耐寒剤の主成分となる CN45 の添加量は 20ℓ/m³ とした。配合①は、2 種類の減水剤を併用した配合であり、添加割合は既往研究²⁾の+20℃環境下において最もスランブロスを経時変化させた Ad1 減水剤 : Ad2 減水剤 = 1 : 3 とした。その他に、Ad1 減水剤と Ad2 減水剤をそれぞれ単体使用した配合②および③の検討も行った。

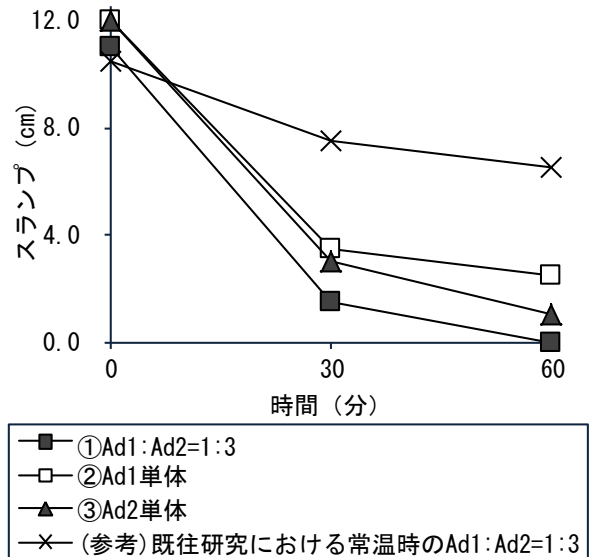
2.3 実験方法

コンクリートの練混ぜは、恒温恒温室 (10.0±1.0℃、RH=85%) 内で行った。練り上がったコンクリートは現場におけるコンクリート工場からアジテータトラックによるコンクリートの輸送を想定し、傾胴型重力式ミキサーを用いた継続攪拌 (回転速度 : 毎分 2 回転) を同室内で行った。スランブおよび空気量の測定は、測定直前にミキサーから必要なコンクリートのみを取出し、スコップで練り直して測定を行った。測定は、練混ぜ直後、30 分後、60 分後の計 3 回行った。また、練混ぜ直後の目標スランブは 10.0±2.5cm、目標空気量は 5.0±1.0% とした。

2.4 実験結果および考察

表-3 にスランブ試験および空気量試験の測定結果を、図-1 にスランブの経時変化を示す。なお、図中には比較用として既往研究²⁾の測定データもプロットした。

図-1 より減水剤を併用した配合①は、練混ぜ直後のスランブは目標値を満足したが、30 分後にはスランブは大きく低下し、60 分後には 0cm となった。この結果と同配合を用いて+20℃環境下で実施した既往研究の参考データを比較すると、低温環境下ではスランブの低下



注)既往研究²⁾の参考データは経時変化測定中のコンクリートを恒温室内 (+20±1℃、RH85%) にて、静置保管した場合

図-1 スランブの経時変化 (実験 1)

が著しいことがわかる。さらに Ad2 減水剤を単体使用した配合③においても、スランブは大きく低下した。一般にポリカルボン酸系減水剤は、環境温度によって減水性能や流動性保持性能が大きく変動することが知られている。本実験の+10℃のような低温環境になったことで、減水剤の減水性能が低下し、コンクリートのスランブロスが増大したものと推察される。一方、Ad1 減水剤を単体で添加した配合②は、60 分後には 2.5cm とスランブが残っており、Ad2 減水剤を単体添加した配合③よりはスランブ保持の面で優位にあるものの、スランブロスは大きい。

以上のことから、低温環境下において、亜硝酸系混和剤を多量に添加した場合は、Ad1 減水剤および Ad2 減水剤を単独使用または併用しても、スランブロスを軽減できない可能性があることが分かった。

3. 新型耐寒剤における使用減水剤の再検討 (実験 2)

3.1 実験概要

実験 1 の結果より、低温環境下において亜硝酸系混和剤を多量添加した場合、Ad1 減水剤と Ad2 減水剤では、単体使用または併用してもスランブロスを軽減できない可能性があることが分かった。そこで、亜硝酸系混和剤と併用する減水剤の種類を変更して、低温環境下におけるスランブロスの再検討を行った。また従来型耐寒剤および耐寒剤無添加の普通コンクリートとの比較検討も併

表-4 コンクリート配合 (実験 2)

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (ℓ/m ³)		(C×%)	
			W	C	S	G	CN45	従来型	Ad3	AE
④CN	50	40.7	160	320	732	1176	20.0	—	2.5	0.015
⑤従来型			170	340	697	1168	—	13.6	—	0.010
⑥N		39.7	178	356	686	1150	—	—	—	0.020

表-5 フレッシュ試験結果 (実験 2)

配合名	スランプ (cm)			空気量 (%)			コンクリート温度 (°C)		
	初期	30分	60分	初期	30分	60分	初期	30分	60分
④	10.0	11.0	7.5	5.0	6.0	5.1	14.5	15.0	14.0
⑤	12.5	7.5	5.0	5.5	5.2	4.8	12.0	12.0	12.0
⑥	11.0	4.5	2.0	5.4	2.8	2.8	12.0	11.0	10.5

せて行った。

3.2 使用材料および配合

使用するセメントおよび骨材、亜硝酸系混和剤 (CN45)、AE 剤は、表-1 に示したものと同一材料を使用した。新たに使用する減水剤として、温度依存性が少なく、スランプ保持性能を有するとされる芳香族エーテル系縮合物を主成分とした高性能減水剤 (以後、Ad3 減水剤) を使用した。

表-4 にコンクリート配合を示す。水セメント比は実験 1 と同じ 50% で一定とした。配合④は、CN45 (200 /m³) に Ad3 減水剤を添加した配合であり、減水剤の添加量は試験練りよりセメント質量に対して 2.5% とした。配合⑤の従来型耐寒剤の添加量は、標準添加量 (単位セメント量 100kg あたり 4ℓ 使用) を参考に 13.6ℓ/m³ とした。また、比較用として耐寒剤無添加の普通コンクリートも作製した。練混ぜ直後の目標スランプは 10.0 ± 2.5cm、目標空気量は 5.0 ± 1.0% とした。

3.3 実験方法

コンクリートの練混ぜおよびフレッシュ試験は、実験 1 と同じ方法で行った。

3.4 結果および考察

表-5 および図-2、図-3 にスランプと空気量試験結果を示す。Ad3 減水剤を用いた配合④は、初期が 10.0cm から 60 分後に 7.5cm となり、練混ぜ直後からのスランプロスが 2.5cm に抑えることができた。空気量の変化も小さく、フレッシュ性状の保持に良好な結果を示した。

一方、配合⑤と配合⑥は初期こそスランプの目標値を満足できているが、60 分後にはスランプが大きく低下し、配合④よりもスランプロスの大きい結果となった。

以上のことから、芳香族エーテル系高性能減水剤 (Ad3) を用いた新型耐寒剤は、+10°C の低温環境下においても、従来型耐寒剤や普通コンクリートよりもフレッシュ性状保持の面で優位であると考えられる。

4. 新型耐寒剤の低温環境下における初期強度発現の検討 (実験 3)

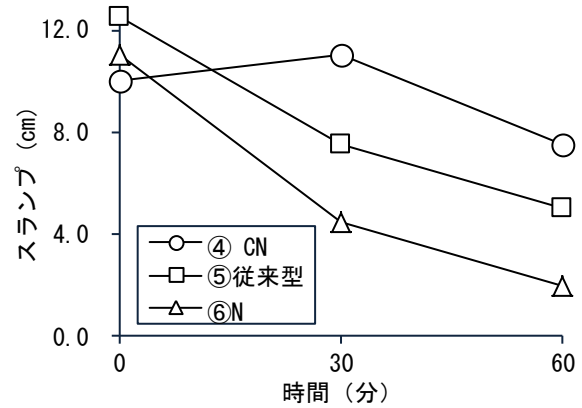


図-2 スランプの経時変化 (実験 2)

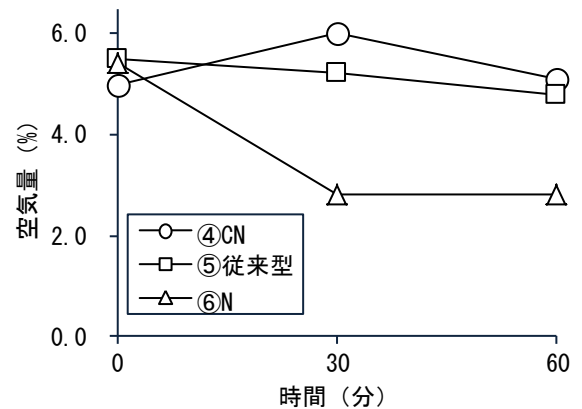


図-3 空気量の経時変化 (実験 2)

4.1 実験概要

実験 2 の結果より Ad3 減水剤を用いた新型耐寒剤は、+10°C の低温下においてもスランプロスの抑制に有効であることがわかった。この結果を踏まえて、新型耐寒剤を添加したコンクリートの低温環境下における強度発現特性を明らかにするため、圧縮強度の経時変化の検討を行った。また従来型耐寒剤や普通コンクリートとの比較検討も行った。

4.2 配合

表-6 にコンクリート配合と練り混ぜ直後のフレッシュ試験結果を示す。配合は、実験 2 と同じ配合を用いて比較検討を行った。また練混ぜ直後の目標スランプは 10.0 ± 2.5cm、目標空気量は 5.0 ± 1.0% とした。

4.3 養生および試験方法

強度試験の材齢は、1 日、3 日、7 日、14 日、28 日の 5 材齢、養生温度は -5、-15°C の 2 水準とした。供試体 (φ10×20cm) は、コンクリートの練混ぜを恒温恒湿室

表-6 コンクリート配合と初期フレッシュ試験結果 (実験 3)

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (ℓ/m ³)		(C×%)		スランブ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G	CN45	従来型	Ad3	AE		
①CN	50	40.7	160	320	732	1176	20.0	—	2.5	0.015	9.5	4.3
②従来型			170	340	697	1168	—	13.6	—	0.010	9.5	4.5
③N		39.7	178	356	686	1150	—	—	—	0.020	10.0	5.6

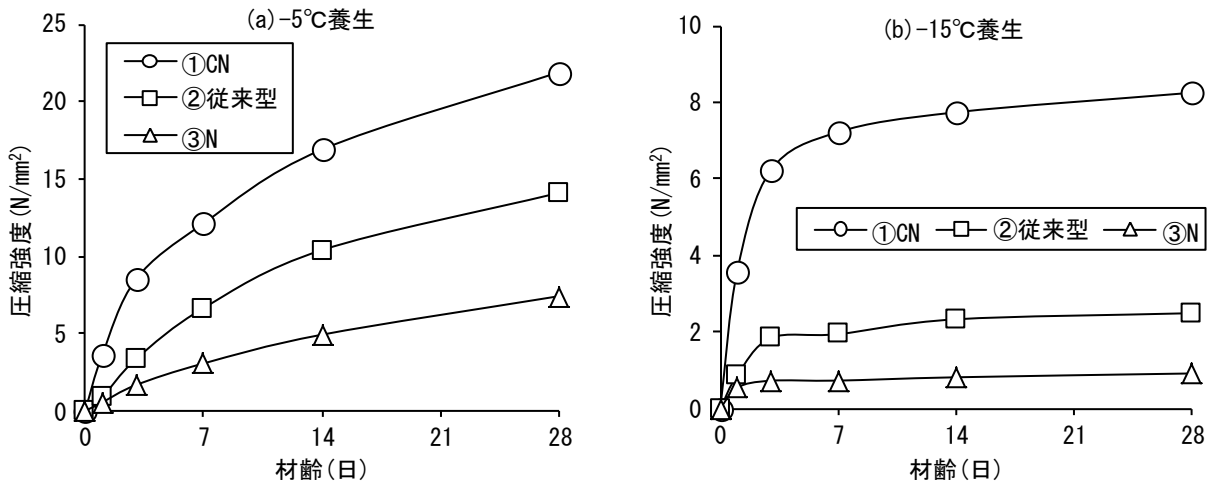


図-4 各養生温度における圧縮強度の経時変化 (実験 3)

(10.0±1.0℃、RH=85%) 内で行い、型枠へ打込んだ後、型枠をつけたまま打設面をビニールで覆い封緘状態とした。また打設後 24 時間は+5℃に静置し、その後所定の温度条件下で養生した。供試体は圧縮強度試験前に水中浸漬して、供試体内部の温度が+5℃に達した時点で実験を行った。

4.4 強度試験結果

図-4 に各養生温度における材齢 28 日までの圧縮強度試験結果を示す。

-5℃養生では、従来型耐寒剤は普通コンクリートと比較して、常に約 2 倍の強度を示しており、耐寒剤としての効果が確認できる。また、新型耐寒剤を用いた CN は普通コンクリートに対して約 3 倍の強度を示した。

-15℃養生では、従来型耐寒剤は材齢 3 日強度では普通コンクリートと比較すると約 2 倍の強度発現が確認されたが、その後の強度発現は殆ど見られなかった。一方、CN は特に初期材齢に高い強度発現を示しており、普通コンクリートに対して材齢 3 日において、約 8.5 倍の強度が確認された。さらに、その後の材齢においても強度増進が確認された。

どちらの養生温度においても、CN は亜硝酸系混和剤の添加量を増やしたことにより従来型耐寒剤に比べて、より低温環境下における硬化促進効果が高まったため、高い強度発現が得られたと考えられる。以上のことから減水剤を変更した新型耐寒剤は、従来型耐寒剤より低温環境下における強度発現性に優れていると考えられる。

また既往研究²⁾で行った+20℃環境下で打設した場合と比較すると、強度発現の傾向に大きな差異は観察されず、初期のコンクリート温度による初期強度発現への影響は確認されなかった。

5. まとめ

本研究では、従来の耐寒剤よりも低い外気温でも十分な硬化促進効果と練混ぜから打込みまでのワーカビリティを確保できる高性能な耐寒剤の開発を目的として、亜硝酸カルシウムを主体とする耐寒成分を多量に添加し、各種減水剤を併用したコンクリートの低温環境下におけるフレッシュ性状および初期強度発現について実験的検討を行った。以下に、本実験の範囲において得られた結果をまとめる。

(1) 亜硝酸系混和剤を多量に添加して、メラミン系減水剤 (Ad1) およびポリカルボン酸系減水剤 (Ad2) と併用したコンクリートは、常温ではスランブロスが軽減できても、+10℃の低温環境下ではスランブロスが大きかった。

(2) 芳香族エーテル系減水剤 (Ad3) を用いた新型耐寒剤使用コンクリートは、従来型耐寒剤と比較して低温環境下におけるスランブロスが抑制され、初期強度発現性にも優れていることがわかった。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会北海道支部：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) 赤間智仁、井上真澄、須藤裕司、三上修一：亜硝酸カルシウムと各種減水剤を併用したコンクリートのフレッシュ性状および初期強度発現の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No.1、pp.155-159、2012
- 3) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説、pp.57、2010