

亜硝酸塩系硬化促進剤と減水剤を併用したモルタルのフレッシュ性状および強度発現

北見工業大学大学院 学生員 ○岩澤 実和 北見工業大学 正会員 井上 真澄
日産化学工業（株） 正会員 須藤 裕司 北見工業大学 正会員 崔 希燮
北見工業大学 正会員 岡田 包儀

1. はじめに

厳冬期のコンクリート施工において、簡易なシート養生のみで耐寒剤を使用する方法が用いられている。耐寒剤の主成分として広く用いられている亜硝酸塩系硬化促進剤は、その使用量が多いほど凝結・硬化が必要以上に促進し、作業性に支障をきたす原因となる。先行研究¹⁾では、既存の市販耐寒剤よりも高性能な耐寒剤の開発のために、亜硝酸塩系硬化促進剤を多量添加し、各種減水剤を併用した場合の検討を行い、スランプロスの抑制が可能ことやマイナス環境下における高い強度発現を確認している。一方、減水剤を増量すると練混ぜ後のスランプロスを抑制できるものの、凝結が遅延され初期強度発現に悪影響を及ぼすこともあり¹⁾、高性能な耐寒剤の最適配合の選定には至っていない。そこで、練混ぜから打込みまでの良好なワーカビリティとともに、高い強度発現を両立する高性能な耐寒剤の適正な配合選定を目的とし、亜硝酸塩系硬化促進剤および2種類の減水剤の添加量や配合比がモルタルのフレッシュ性状と硬化後の強度発現性に及ぼす影響を明らかにするとともに、現場施工時の十分な作業性と低温下における高い強度発現性を確保できる配合の探索を行った。

2. 実験概要

本研究では、亜硝酸塩系硬化促進剤および2種類の減水剤の添加量や配合比がモルタルのフレッシュ性状および強度特性に及ぼす影響を確認するために、モルタルフロー試験、凝結試験、モルタル内部温度の測定、圧縮強度試験、膨張量の測定を行った。表-1にモルタル配合を示す。亜硝酸塩系硬化促進剤(CN)の添加量は、既存の市販耐寒剤の標準添加量がセメント質量に対して約4~7%であることから、セメント質量に対して7%以上を多量添加と定義した上で、0、7、11、15%の計4水準を選定した。減水剤は、先行研究¹⁾を参考にメラミン系減水剤(Me)とポリカルボン酸系減水剤(Pc)を使用し、それぞれを単独使用した配合と添加比を変化させて併用使用する計4水準を選定した。なお、混和剤は全て内割添加とした。温度条件は、日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説」のコンクリート温度(+10~+20℃)の基準に準拠し、+10±1℃、85±5%RHの恒温恒湿室内で材料の管理、モルタルの練混ぜおよび各実験を行った。モルタルフローの測定は、現場打設において60分以内に打ち込み作業を終えることを想定し、練混ぜ直後、30分後、60分後の計3回測定を行った。凝結試験は、JIS A 1147に準拠して行い、始発および終結時間の測定を行った。内部温度は、φ5×10cmの型枠中央に熱電対を設置し、打設直後からのモルタル温度の経時変化を測定した。圧縮強度試験は、JSCE-G 505-2013に準拠し、所定材齢まで+10±1℃にて封緘養生を行った。膨張量は、10×10×40cmの型枠を用い、型枠による拘束や乾燥による水分の逸散が生じないように型枠の内側にテフロンシートおよびスチレンボードを設け、型枠の中央部に埋め込みゲージを設置し打設直後から測定を行った。

3. 実験結果および考察

図-1にCNのみを添加した場合およびCN11%添加と減水剤を併用した場合のフローの経時変化を示す。CNを多量添加したCN11とCN15では、練混ぜ直後から30分でフローが大きく低下した。一方、CNを11%添加しPcを単独使用したCN11-bおよびMe:Pc=2:1で減水剤を併用したCN11-dでは、練混ぜ後のフローの低下が小さく、練混ぜ後60分が経過しても流動性が保たれた。またCNを15%添加した場合においては、CN15-d以外では、30分経過した時点で完全に流動性を失い、CN15-dも60分後には完全に流動性を失った。このことから、本実験の範囲におけるCNの添加量の上限は11%であると考えられる。

表-1 モルタル配合								
配合名	W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)			混和剤(C×%)		
			W	C	S	CN	Me	Pc
CN0	50	2.5	282	564	1409	0	0	0
CN7						7		
CN11						11		
CN15						15	0.4	0.2
CN7-d						7		
CN11-a						11	1	0
CN11-b							0	1
CN11-c							0.33	0.67
CN11-d							0.67	0.33
CN15-a						15	3	0
CN15-b							0	3
CN15-c							1	2
CN15-d							2	1

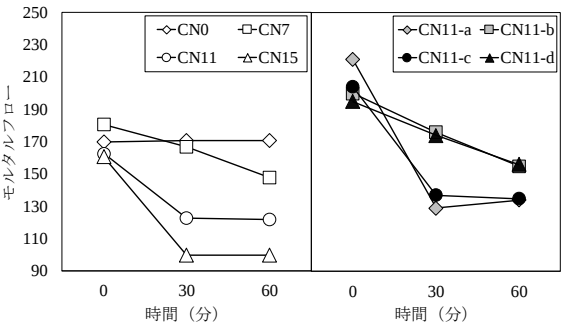


図-1 フローの経時変化

キーワード 寒中コンクリート、亜硝酸塩系硬化促進剤、モルタルフロー、内部温度、圧縮強度

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 北見工業大学大学院 社会環境工学専攻 TEL 0157-26-9518

図-2 に凝結試験結果を示す。CN のみを添加した場合、添加量の増加に伴い、始発と凝結が早まっており、凝結・硬化が促進された。一方、CN11 に減水剤を使用した 4 配合では、減水剤の種類や添加量による明確な差異は確認されなかった。また、CN11 と CN11 に減水剤を併用した 4 配合を比較すると、減水剤を併用した方が始発と終結ともに全体的に遅れる傾向ではあるがその差異は小さい結果となった。

図-3 に内部温度の経時変化を示す。CN11 と CN15 では、練混ぜ直後からの温度上昇が著しく、CN11 では約 20 分、CN15 では約 15 分でピークを迎えた後、急激に温度が降下した。CN を多量添加することで水和が激しく促進されフローが低下したと考えられる。また、Me : Pc=2 : 1 で減水剤を併用した場合、CN のみを添加した配合より温度上昇の傾きが若干緩やかになり、ピークを示す時間が遅れる傾向を示し、減水剤を併用することでフローの低下が抑制されたことがわかる。

図-4 に圧縮強度試験結果を示す。CN のみを添加した場合、材齢 1 日では CN 添加量が多いほど強度が大きくなり、CN11 と CN15 では、5MPa を超える強度が得られた。しかし、材齢 3 日以降では、CN 添加量が少ないほど強度が大きくなる傾向を示した。これは、本実験では+10℃養生を行ったため CN 無添加でも水分が凍結することなく、水和が十分に進行したことが原因と考えられる。また、CN を多量添加した配合では、 C_3S と C_2S の水和が促進されるとともに、セメントの C_3A および Al_2O_3 との瞬間的な反応による多量の亜硝酸根化合物($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Ca(NO_2)_2 \cdot 10H_2O$, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3Ca(NO_3)_2 \cdot 16-18H_2O$)が生成される^{2,3)}ことで従来の硫酸根のエトリングaitと類似の針状組織が形成されたことがその後の強度発現性に悪影響を及ぼした可能性も考えられる。一方、Me : Pc=2 : 1 で減水剤を併用した場合の材齢 3 日および 7 日では、CN 添加量が多いほど強度が大きくなった。また、材齢 14 日以降では、CN11-d より CN15-d の方が若干強度が小さくなった。CN を 15% と多量に添加した場合には、練混ぜ直後から 60 分後までの減水剤による流動性の改善効果が限定的であり、針状形の亜硝酸根化合物の多量形成が強度発現に影響したものと推察される。以上より CN を多量に添加しても減水剤を Me : Pc=2 : 1 で併用することで初期凍害防止に必要な初期強度発現性ととも、その後も良好な強度発現性が得られると考えられる。

図-5 に膨張量の経時変化を示す。CN 添加量が多い配合ほど打設直後から急激に膨張することが確認された。これは、 C_3S と C_2S の水和が促進されるとともに C_3A が反応した^{2,3)}ことにより CN 添加量が多いほど急激に膨張したと考えられる。一方、減水剤を添加した配合では、減水剤無添加の配合より打設直後からの膨張が小さくなる傾向が確認された。これは、減水剤の併用で練混ぜ後の内部温度の上昇が緩やかになったことや減水剤無添加の配合よりも材齢 28 日における良好な強度発現性が得られたことを裏付ける結果であると考えられる。

4. まとめ

- 1) CN 添加量の増加に伴い、練混ぜ直後から水和が急激に促進され 30 分で流動性が失われた。また材齢 1 日での強度発現は良好であるが、材齢 3 日以降は CN 添加量の増加に伴い強度発現性が低下する傾向を示した。
- 2) CN を多量添加し減水剤を Me : Pc=2 : 1 で併用した場合、練混ぜ後 60 分が経過しても流動性の低下を抑制できるとともに、材齢初期から長期に渡り良好な強度発現が得られた。
- 3) 本研究の範囲内での高性能な耐寒剤の最適配合は、CN をセメント質量に対して 11% 添加し、減水剤を Me : Pc=2 : 1 の添加比で適量添加した配合であると考えられる。

参考文献

- 1) M. Iwasawa, M. Inoue, H. Choi, Y. Sudoh and K. Ayuta: Characteristics of concrete using nitrite-based accelerator and chemical admixtures in low-temperature environments, Proceedings of The 7th International Conference of Asian Concrete Federation, 1-052, pp.1-8, 2016
- 2) 浜 幸雄、鎌田 英治：無塩化・無アルカリ型防凍性混和剤による初期凍害の防止効果、コンクリート工学論文集、Vol.7、No.1、pp.113-122、1996
- 3) Ramachanran, V.S.: Concrete Admixture Handbook, Noyes Publications, U.S.A., pp.741-799, 1995

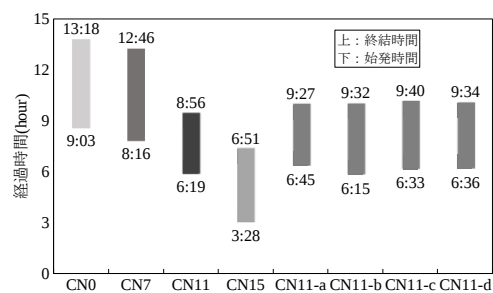


図-2 凝結試験結果

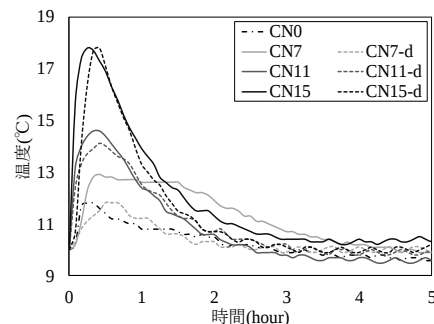


図-3 内部温度の経時変化

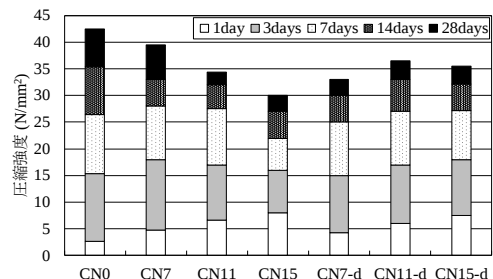


図-4 圧縮強度試験結果

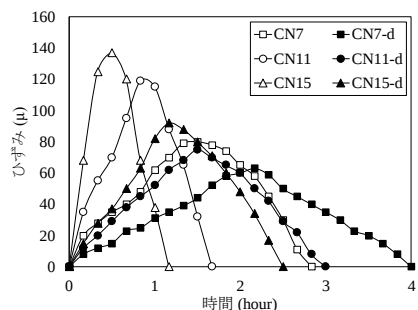


図-5 膨張量の経時変化