

混和材料を添加した超速硬セメント系補修材の寒冷環境下における強度発現性

東北大学 学生会員 ○佐藤 実果子 正会員 皆川 浩, 久田 真
住友大阪セメント(株) 正会員 山本 誠, 高山 和久, 若杉三紀夫

1. はじめに

コンクリート構造物の緊急及び補修工事は夜間に行われることが多く、夜間気温が氷点下を下回る北日本では、氷点下での打設においても一定強度を発現する補修材の需要が高まってきている。超速硬セメント系補修材は条件を整えば氷点下においても強度を発現することが報告されている¹⁾が、セメントの主成分や添加される混和材料によって強度発現性が変化することも同時に報告されている。そこで本研究では、超速硬セメント系補修材に耐寒剤や減水剤などの混和材料を使用した際の氷点下での強度発現性を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の配合と作製方法

耐寒剤検討 Ser.における使用材料は、結合材としてカルシウムフロロアルミネート系超速硬セメント(C-1)、カルシウムアルミネート系超速硬セメント(C-2)を、耐寒剤として亜硝酸カルシウム、亜硝酸ナトリウム、硝酸カルシウム、亜硝酸リチウムを使用した。混和材料検討 Ser.における使用材料は、結合材として C-2、混和材料としてアクリルポリマー(AP)、ナフタレンスルホン酸系(NS)、リグニンスルホン酸系(LS)、メラミン系(MS)、ポリカルボン酸系(PC)を使用した。細骨材は両 Ser.ともに豊浦砂を用いた。圧縮強度試験用の供試体は $W/C=50\%$ 、 $S/C=1.0$ 、寸法 $40\times 40\times 160\text{ mm}$ のモルタル供試体を使用した。

材料と型枠は、養生温度に設定した恒温槽内に 1 日間静置することで養生温度と材料及び型枠の温度を等しくした。ただし、練混ぜ水と耐寒剤の温度は $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ とした。練混ぜ及び打設も同じ槽内で行い、打設後約 24 時間後に脱型し、恒温槽で養生を行った。恒温槽内の温度は $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ とした。また、液相の凝固点試験では $W/C=100\%$ のセメントペーストを使用した。耐寒剤は練混ぜ水比 8%, 混和材料は AP は練混ぜ水比 5.0, 10.0%, PC は 0.2, 0.4%, 他は 0.4, 0.8% で添加した。

2.2 試験項目

供試体の圧縮強度は、材齢 1, 3, 7 日において JIS R 5201 により測定した。また、練上がり直後のセメントペースト ($W/C=100\%$) を圧搾して得た抽出液、および、混和材料を溶解した練混ぜ水の凝固点を測定した。流動性は JIS R 5201 のフローコーンに材料を充填し、フローコーンを持ち上げた後の材料の静置フローで評価した。

3. 実験結果及び概要

3.1 液相の凝固点降下

表-1 に抽出液の凝固点とモルタルの練上がり温度を示す。また、表-2 に水道水に各混和材料を添加した練混ぜ水の凝固点を示す。表-1 より、耐寒剤使用により抽出液の凝固点は約 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降下し、結合材成分よりも耐寒剤による凝固点降下作用の影響が卓越すると考えられる。また、モルタルの練上がり温度が総じて耐寒剤添加時の抽出液の凝固点よりも高い温度を示したことを考慮すると、練上がり直後のフレッシュモルタル中の液相は耐寒剤を使用することで凍結しないと考えられる。なお、表-2 より、混和材料を添加することで総じて凝固点は約 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降下するが、その影響は耐寒剤の添加と比べ小さいと言える。

表-1 抽出液の凝固点とモルタルの練上がり温度

	耐寒剤無混和の 凝固点($^{\circ}\text{C}$)	耐寒剤混和の 凝固点($^{\circ}\text{C}$)	練上がり 温度($^{\circ}\text{C}$)
水道水	-0.16	-6.20	—
HC	-0.51	-6.35	0.70
C-1	-0.80	-6.37	-3.10
C-2	-0.74	-6.16	-4.40

表-2 混和材料を添加した練混ぜ水の凝固点

試料	添加率 ($C\times\%$)	混和材料水溶液の凝固点 ($^{\circ}\text{C}$)
AP	2.5, 5.0	-0.8, -0.85
NS	0.2, 0.4	-0.93, -0.92
LS	0.2, 0.4	-0.99, -0.95
MS	0.2, 0.4	-0.86, -0.90
PC	0.1, 0.2	-0.90, -0.98

キーワード 超速硬セメント, 寒冷環境下, 耐寒剤, 混和材料, 圧縮強度

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻建設材料学研究室

TEL 022-795-7430 FAX 022-795-7429

3.2 耐寒剤添加による圧縮強度

図-1にC-1, C-2に各耐寒剤を添加した際の圧縮強度を示す。C-1, C-2ともに耐寒剤無添加の材齢7日圧縮強度は5 N/mm²に満たないが、耐寒剤を添加することでその強度は増加傾向にある。その増進程度は耐寒剤種類によって異なり、C-1では亜硝酸カルシウムおよび亜硝酸リチウムの添加による強度増加が大きく、C-2では亜硝酸ナトリウムおよび亜硝酸リチウムの添加による強度増加が大きい。亜硝酸リチウムはどちらの結合材に関しても有効に働くことが言える。

一方、耐寒剤無添加の載荷後の供試体残留ひずみは目視で確認できるほど大きく、供試体表層部で試験中に塑性化が確認された。耐寒剤を添加した場合、型枠面に生じるブリーディング水の凝固点降下により表層部が緩やかではあるが水和反応が進行するのに対し、耐寒剤無添加の場合はブリーディング水が環境温度により凍結し供試体表層部が脆弱層になると考えられる。

3.3 混和材料添加

図-2にC-2に耐寒剤無混和と混和時に各混和材料を添加した際の材齢7日までの圧縮強度を示す。図-2より、耐寒剤無添加の場合、混和材料を添加することで圧縮強度発現性に大きく差が生じ、その程度は混和材料の種類および添加率の違いにより異なる。特に、減水剤であるLSやMS、PCを添加することで、材齢7日圧縮強度は無添加時のそれと比較し約4倍の強度増加を示す。一方で、耐寒剤添加の場合、混和材料の種類および添加率による違いはみられず、耐寒剤および混和材料無添加時と比較して一様に強度増進する傾向が認められる。しかしながら、LSやMS、PCを添加した場合に着目すると、耐寒剤無添加時の方が添加時と比較して圧縮強度は大きくなる傾向にある。

また、図-3にC-2に耐寒剤無混和時に各混和材料を添加した際の0打ちフロー値を示す。図-3よりLSに関しては添加率を上げるに伴いフロー値も増大するが、それ以外の減水剤に関してはフロー値に大きな差異は見られないため、LS以外は適正量減水剤が添加されていたと考えられる。よって、減水剤が適正量添加されていた場合、NSに関しても大幅な強度増進の可能性がある。したがって、耐寒剤は混和材料無添加のベースセメントには有効に働くが、減水剤の効果を低下させる可能性が示唆される。

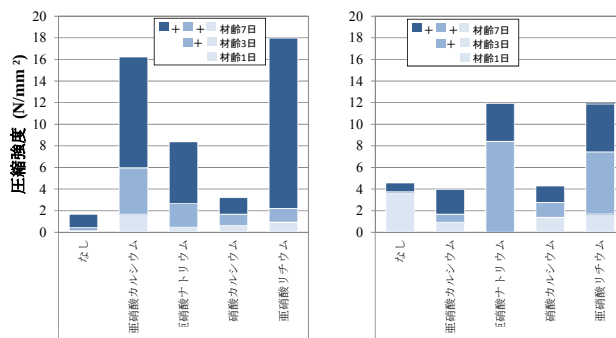


図-1 材齢7日までの圧縮強度

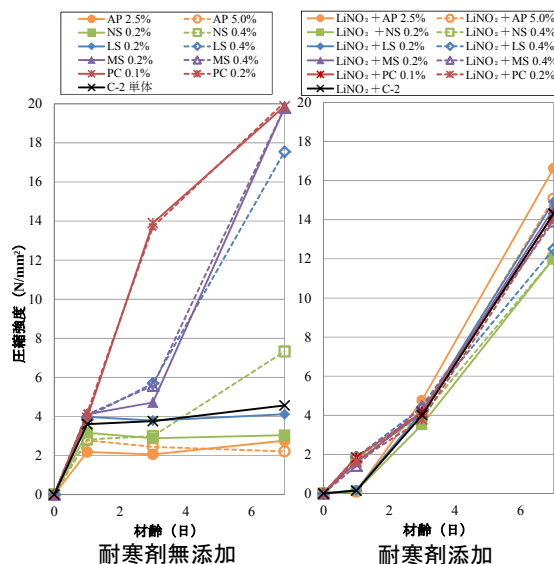


図-2 材齢7日までの圧縮強度

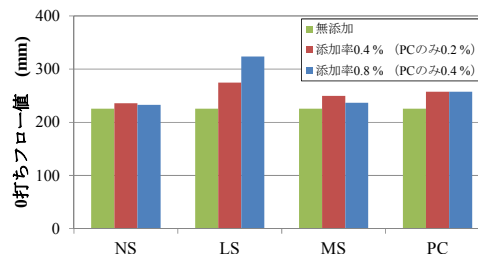


図-3 減水剤添加による0打ちフロー値

4. 結論

耐寒剤を練混ぜ水に添加することで凝固点は降下し、超速硬セメントは良好な強度発現性を有す。一方で、混和材料を添加した超速硬セメントは、耐寒剤を添加することで、特に減水剤の効果が低下し、耐寒剤の組み合わせによっては強度が低下する場合がある。しかし、耐寒剤を使用により表層部における硬化不良を抑制できるため、圧縮試験時の残留ひずみは無添加時に比較して小さくなる。

参考文献

- 山本誠ら:氷点下における超速硬セメント系補修材の基礎的性質, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.10, pp.13-20, 2010