

## 混和剤の種類が初期凍害を受けるコンクリートの強度発現性および表層品質に及ぼす影響

日本大学 学生会員 ○桐山愛理 上北建設(株) 正会員 音道薫 復建技術コンサルタント(株) 正会員 飯土井剛  
ボゾソリューションズ(株) 正会員 阿合延明 日本大学 正会員 子田康弘

### 1. はじめに

初期凍害は、0°C以下においてレディーミクストコンクリートが凍結し強度低下等が発生する施工由来の欠陥である<sup>1)</sup>。写真-1に、寒中コンクリートの施工の様子を表す。コンクリート標準示方書【施工編】<sup>2)</sup>では、所定の強度まで5°C以上を保たなければならないとしている。しかし、昨今の脱炭素社会の実現という観点から寒中養生中の化石燃料の使用といった施工方法の見直しが必要と考える。初期凍害と寒中コンクリートの考え方は、主に1960年～1970年代の研究と論説が基礎になっているが、今日まで寒中養生に関する再検討など殆ど実施されていない。そこで本研究では、近年開発された混和剤を使用し、氷点下環境下にコンクリートを暴露した後の強度発現性および表層品質測定より初期凍害の影響について評価した。

### 2. 実験概要

表-1に本実験で使用した混和剤とその主成分を示す。表より、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」に適合するブリーディング低減型 AE 減水剤高機能タイプ(以下、M)、汎用型 AE 減水剤高機能タイプ(以下、L)、およびコンクリート硬化促進剤(以下、X)の計3種類である。これら混和剤の選定は、Mがブリーディング水の抑制により表層の凍結を抑える狙いであり、Lが一般的な混和剤、Xについては耐寒促進剤とは異なる組成で硬化促進されることで凝結遅延を防ぐ狙いで選定した。表-2にコンクリートの配合を示す。水セメント比 W/C は55%とし、目標スランプを12+2.5cm、目標空気量を4.0+2.0%に調整した。なお、空気量の調整にはAE助剤も併用した。図-1に本実験の温度プログラムを示す。まず、コンクリートの製造は室温10°Cの恒温恒湿室内で行い排出時のコンクリート温度を約10°Cとした。次に初期養生温度は、0°C、-3°C、-6°C、-12°Cの計4条件とし、12時間保持した。その後は養生温度5°Cを24時間、20°Cを12時間続け、脱型した。脱型した供試体は、標準養生を材齢28日まで行い、以降は室内気中養生とした。写真-2にコンクリートの製造状況を示す。試験項目は、圧縮強度試験(材齢3日、7日、28日、56日、91日)と直径150mm×高さ100mmの供試体を用いた表層透気試験(材齢56日、91日)、および直径100mm×高さ100mmの供試体を用いた湛水による濃度10%の塩分浸透試験を行った(湛水期間：材齢35日より56日間)。なお、温度プログラム実行中は、熱電対により室内温度と供試体中心温度の計測を行い、また電位差滴定法による湛水から深さ3mmまでの塩化物イオン濃度測定を行った。



写真-1 寒中施工の様子

表-1 使用した混和剤とその主成分

種類	主成分	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	全アルカリ量 (%)	塩化物イオン量 (%)
M	PAE化合物	1.01~1.11	0.3	0.00
L	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体	1.02~1.14	0.9	0.01
X	カルシウムシリケート水和物	1.03~1.11	1.4	0.00

表-2 コンクリートの配合

実験条件	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単水量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(C×%)	
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE助剤
M	20	12+2.5	55	4.0+2.0	46	168	305	839	1003	0.3%~0.45%	0.002%~0.004%
L										0.2%~0.6%	0.002%~0.0035%
X										3.0%	0.0058%~0.008%

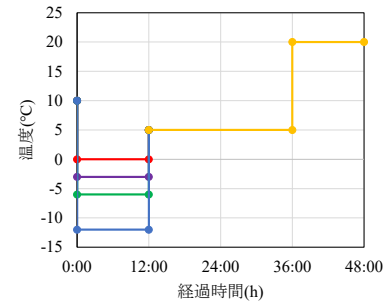


図-1 実験温度プログラム



写真-2 コンクリート製造状況 (室温10°C)

キーワード 初期凍害, 強度発現性, 表層品質

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8721

### 3. 実験結果及び考察

図-2に製造後24時間の供試体内部温度計測結果を示す。まず、凡例は例えば初期養生温度が $0^{\circ}\text{C}$ でMの場合「0M」とした。なお、0L, -12Xは今回計測を実施してはいない。図より、初期養生温度 $0^{\circ}\text{C}$ に着目すると、MとXは12時間後も約 $2^{\circ}\text{C}$ と凍結温度には達してはしない。次に $-3^{\circ}\text{C}$ の場合は、12時間後でLが $-1^{\circ}\text{C}$ と凍結温度に達しているが、MとXに関してはほぼ $0^{\circ}\text{C}$ と凍結寸前までは達したが凍結自体は12時間経過までは回避されたと判断される。これが $-6^{\circ}\text{C}$ 、 $-12^{\circ}\text{C}$ になると、混和剤の種類を問わず、凍結温度に達する状態であった。ただし、温度変化の経過をMとLと比較すると、Mの方が温度低下速度が遅く、Lよりも最低温度が高い傾向となり、混和剤によって温度低下の傾向が異なることが判明した。図-3に材齢91日までの強度発現性を示す。なお、図中には比較として $20^{\circ}\text{C}$ 環境にて製造し、標準養生(材齢28日以降は室内気中養生)を行った条件(以下、標準養生)を併せて示す。図より、 $-12^{\circ}\text{C}$ 環境は混和剤の種類を問わず強度発現異常を起こしており、初期凍害が確認された。これに対して、 $-6^{\circ}\text{C}$ 環境では、LとXは強度低下が認められるが、Mに関しては標準養生と同程度の強度発現傾向が示された。これが $-3^{\circ}\text{C}$ 環境になるとMとXが、さらには $0^{\circ}\text{C}$ 環境にいたっては混和剤に関係なく、いずれも標準養生同等という結果が示された。Mのブリーディング抑制は、凝結遅延性の少ない成分を使用するところが大きく、これを勘案すると、水和反応による熱と凍結という熱収支のバランスが12時間経過まではほぼ保たれた可能性がある。図-4に材齢91日の透気係数と表層部(0-3mm)塩化物イオン濃度の関係を示す。図より、標準養生(凡例黒)は、グレード1か2(優, 良)で濃度が $10\sim 14\text{kg}/\text{m}^3$ という結果であった。これに対して、凍害環境下では、透気係数が増加するほど塩化物イオンも増加する相関関係にあった。そして、 $0^{\circ}\text{C}$ 環境はグレード2以下(優, 良)であり塩化イオン濃度も標準養生よりも明らかに低いという結果であった。これより、最低気温が $0^{\circ}\text{C}$ 程度であれば給熱養生といった寒中養生対策は不要となる可能性が示された。次に、 $-3^{\circ}\text{C}$ と $-6^{\circ}\text{C}$ はLがグレード3と4(一般と劣)となり、表層品質が低下した。これに対してMとXは、Mがグレード2(良)と表層品質は $20^{\circ}\text{C}$ と同等を示し、Xが $-3^{\circ}\text{C}$ でグレード1(優)なもの、 $-6^{\circ}\text{C}$ は測定不能と極端な結果を示した。少なくとも $-3^{\circ}\text{C}$ 環境は標準養生よりも濃度が低いか同等という傾向にあった。一方で、 $-12^{\circ}\text{C}$ 環境に関しては、Lがグレード4(劣)、MとXが測定不能と水分凍結による内部組織の崩壊が激しく全ての条件で品質が極端に劣る結果となった。

### 4. まとめ

本実験の範囲内より、 $-3^{\circ}\text{C}$ 程度の環境下では混和剤の種類によっては給熱養生を短縮しても標準養生同等の強度発現と表層品質を得る可能性がある。今後は、再現性と化学的理由の解明、また最低温度と型枠存置日数などを検討する予定である。

【参考文献】1)鎌田英治：寒中コンクリート，コンクリート工学，Vol.36，No.2，pp.3-9．1998．

2)土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】，2018

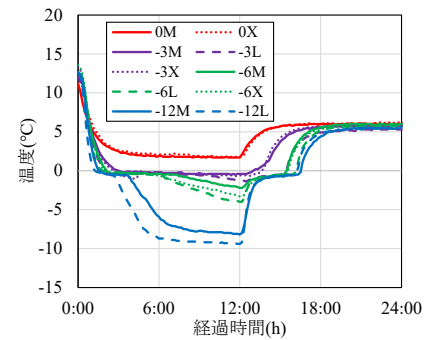
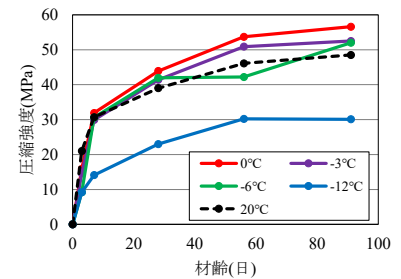
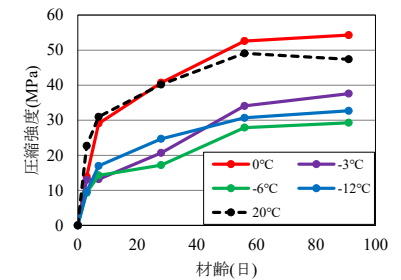


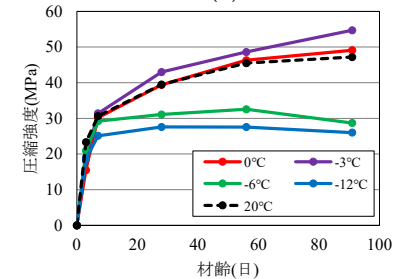
図-2 供試体内部温度計測結果



(a)M



(b)L



(c)X

図-3 強度発現性

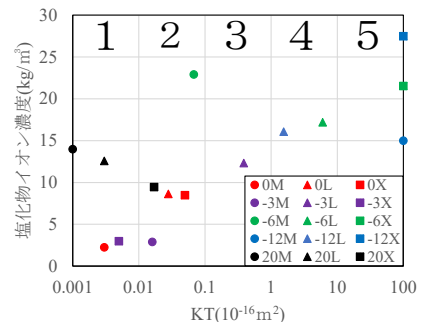


図-4 透気係数と表層部塩化物イオン濃度の関係