

寒中コンクリートの最低養生温度保持時間が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 (株)復建技術コンサルタント正会員 飯土井剛
ボ゜ザリスソリューションズ(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℃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¹⁾。コンクリート標準示方書【施工編】²⁾では、所定の強度が得られるまでコンクリート温度を5℃以上に保たなければならないとしている。初期凍害のリスクを防ぐため寒中コンクリートの施工においては、写真-1のようにジェットヒーターなどにより温度管理が行われている。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はいない。そこで本研究では、コンクリートの打込み後の最低養生温度5℃の保持時間が強度発現性および表層品質に及ぼす影響について実験的に検討した。



写真-1 寒中施工の様子

表-1 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 ト比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材 率 s/a (%)	単水量(kg/m ³)				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
-6℃24h	20	12+2.5	55.0	4.0+2.0	40.0	168	305	729	1114	3.1	0.6
-6℃12h											
-12℃12h											
-12℃24h											

2. 実験概要

表-1 に、コンクリートの配合を示す。本検討では、水セメント比 55%のコンクリートとし、フレッシュ性状は目標スランブを12+2.5cm、目標空気量を 4.0+2.0%となる様に、混和剤で調整した。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(写真-2)は、室温 10℃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℃とした。コンクリート製造後は、供試体への打込みを行い、打設終了後直ちに養生最低温度である 5℃とした。この 5℃の温度保持時間を 12 時間、24 時間および 48 時間の計 3 条件とし、所定の養生時間終了後、室内温度を-6℃、-12℃の計 2 条件として 24 時間この温度環境に晒した。その後は、室温 5℃を 24 時間、室温 20℃を 12 時間保持し脱型した。脱型後は、いずれも材齢 28 日まで標準養生を行い、以降は室内気中養生とした。試験項目は、圧縮強度試験(材齢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 の供試体を用いた濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液の湛水による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った。

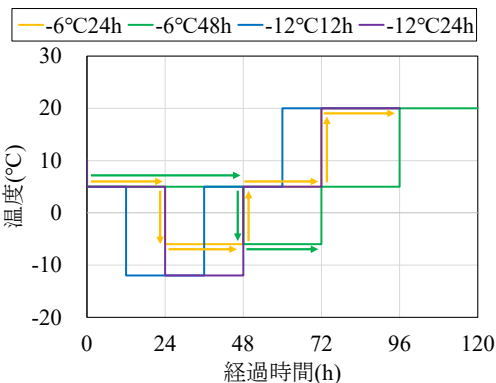


図-1 実験温度プログラム

3. 実験結果及び考察

図-2 に、製造後の各供試体内部温度計測結果を示す。まず、凡例は例えば凍結温度 -6℃で最低養生温度 5℃の 24 時間の場合では、「-6℃24h」とした。図より、供試体内部温度は、図-1 の実験温度プ



写真-2 コンクリート製造状況
(室温 10℃)

キーワード 初期凍害, 寒中コンクリート, 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

ログラムに追従して変化した。コンクリート内部温度は、凍結温度が -6°C の場合は約 -4°C 、凍結温度が -12°C の場合は約 -10°C まで温度が低下しており、初期凍害を受ける様な環境に若材齢から晒されていた。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°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、材齢7日の強度は条件を問わず標準養生よりも小さいものの、材齢28日においては、 $-6^{\circ}\text{C}24\text{h}$ と $-6^{\circ}\text{C}48\text{h}$ および $-12^{\circ}\text{C}24\text{h}$ が、標準養生と同程度の強度発現傾向が示された。しかし、 $-12^{\circ}\text{C}12\text{h}$ は、標準養生のような強度発現は得られず他の条件よりも明らかに強度が低いため、初期凍害を受けているものと判断した。材齢56日以降では、 $-6^{\circ}\text{C}48\text{h}$ が標準養生よりも、強度が高くなる傾向が見られ、 $-6^{\circ}\text{C}24\text{h}$ と $-12^{\circ}\text{C}24\text{h}$ は、標準養生同等という結果が示された。図-4に、材齢91日までのヤング率を示す。図より、ヤング率の発現性は、材齢7日から材齢91日まで、 $-6^{\circ}\text{C}24\text{h}$ と $-6^{\circ}\text{C}48\text{h}$ と $-12^{\circ}\text{C}12\text{h}$ および $-12^{\circ}\text{C}24\text{h}$ の全ての条件において標準養生のヤング率よりも若干高くなる傾向が示され、本実験においては初期凍害環境がヤング率を低下させることはなかった。図-5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、標準養生は、グレード1で濃度が $12.5\text{kg}/\text{m}^3$ という結果であった。これに対して、凍結環境に晒した供試体の透気係数もグレード1又は2と品質の低下は認められない結果を得た。そして、塩化物イオン濃度に関しては、 $-6^{\circ}\text{C}48\text{h}$ は標準養生よりも高い傾向になり、その他の条件は標準養生よりも濃度が低いという結果となった。すなわち、最低養生温度 5°C を保つ期間は24時間あれば、凍結防止剤散布環境下においても表層部の遮塩性を劣らせることなく、むしろ表層品質を向上させる可能性が示された。

4. まとめ

本実験の範囲内より、最低養生温度 5°C を打込み直後から24時間保持することで、その後 -12°C 環境に晒されても初期凍害を受けないことが判明した。また、表層品質は、極初期材齢に低温環境に暴露されることで通常環境よりも向上することが示された。以上のように、コンクリート標準示方書【施工編】に記載されている厳しい凍害環境における養生温度保持時間9日間は過度な養生期間である可能性があり、省力化・合理化施工という観点からも見直しが必要と示唆された。本実験の結果より、青森県十和田市において実機による検証(写真-3)を進めている。今後は、セメントの種類の違い、およびセメント組成などの化学的視点による本実験結果の理由の解明を行う予定である。

【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

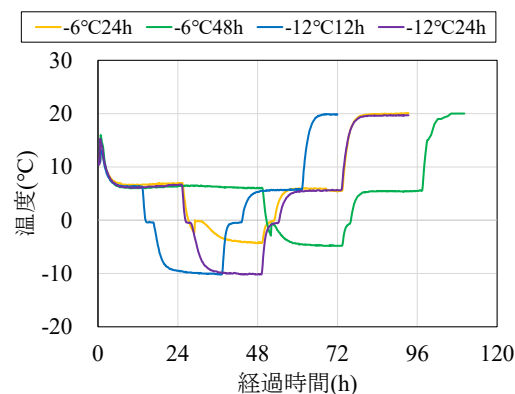


図-2 供試体内部温度計測結果

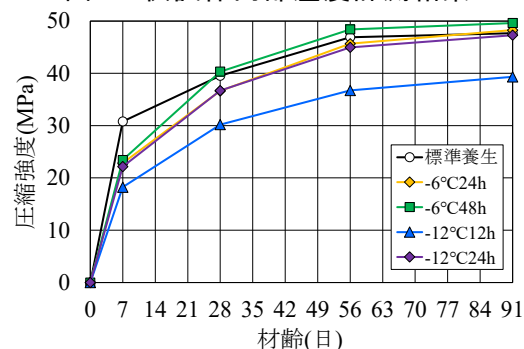


図-3 強度発現性

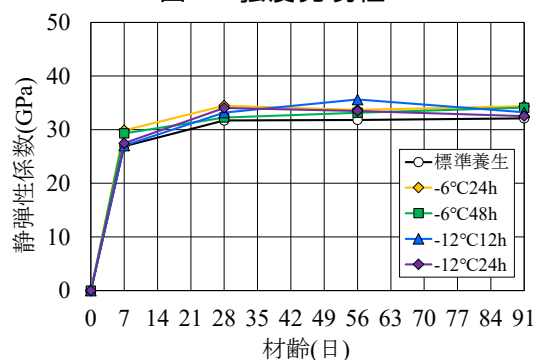


図-4 ヤング率の発現性

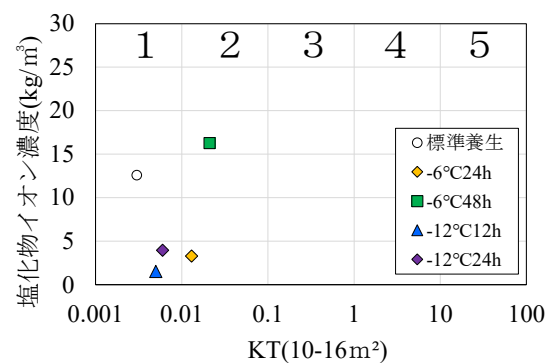


図-5 透気係数と表層部塩化物イオン濃度の関係



写真-3 実機試験(青森県十和田市)