

VI-53

クウェートにおける液体窒素を用いたコンクリートのプレクーリングについて

○清水建設(株) 正会員 亀崎 和也
清水建設(株) 小林 徹
清水建設(株) 土屋 郁夫

1. はじめに

クウェート国アズズール南火力発電所建設工事に於いて、温度ひびわれ制御、コンクリート強度確保等を目的として、暑中におけるマスコンクリート打込み温度を低減させるため、液体窒素（以下 $L N_2$ と略す）を用いてプレクーリングを実施した。本文はこの高温乾燥地域において、一般のクーリング手段に加えて $L N_2$ を用いた場合のプレクーリングについて報告する。なお、クウェートにおいて夏期日中で日陰温度 $49^{\circ}C$ を記録しており、このような条件下で約62万 m^3 のコンクリート打込みが行われている。

2. 本工事の仕様

コンクリート温度に関する要求仕様は下記の通りであった。

- ①コンクリートの打込み温度 一般コンクリート $32^{\circ}C$ 以下
- ②コンクリートの打込み温度 マスコンクリート $26^{\circ}C$ 以下
- ③コンクリート打込み時の外気温 $40^{\circ}C$ 以下
- ④硬化コンクリート内部の最大温度 $80^{\circ}C$ 以下
- ⑤硬化コンクリート内部と表面部の最大温度差 $26^{\circ}C$ 以下

なお、ACI 211においてコンクリートの発熱を考慮すべきマス要素として部材厚60~90cm以上もしくは単位セメント量 $356kg/m^3$ 以上という規定があるが、ここでは500 m^3 以上の部位としている。仕様書はアメリカ規格に準拠している。

3. 予備実験

$L N_2$ の実使用に先だて、その具体的方法およびその効率について予備実験を行い、実際に使用する手法を検討した。

コンクリートのプレクーリング方法としては、図-1に示す様なセメント、骨材、水などの材料を冷却する方法とフレッシュコンクリート自体を冷却する方法が考えられるが、本工事では特殊な装置を必要としない方法が前提となった。冷却する対象は骨材（砂利）、水およびコンクリート自体を考えた。表-1に各材料温度を $1^{\circ}C$ 下げるに必要な $L N_2$ 量の計算値と実測値を示す。 $L N_2$ を用いて打込み時温度を約 $5^{\circ}C$ 低下したコンクリートの7日圧縮強度の平均値が $301kgf/cm^2$ であり、 $L N_2$ を用いないコンクリートの圧縮強度は $292kgf/cm^2$ であった。なお、圧縮強度は立方試験体にて管理されている。

4. $L N_2$ によるプレクーリングの本施工

一般コンクリートのクーリング方法として、骨材ストックヤードの日よけ、低温セメントの購入、粗骨材への散水、冷却した（ $6^{\circ}C$ 前後）水の使用また夜間のコンクリート打込みなどを実施している。

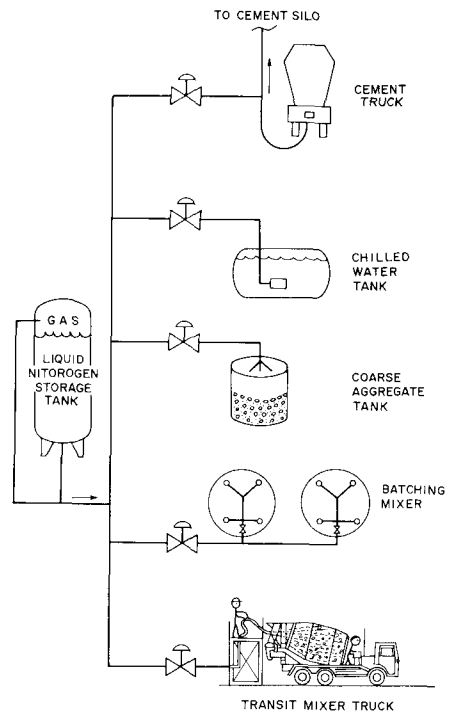


図-1 $L N_2$ を用いたプレクーリングの方法

表-1 予備実験結果一覧表

項目 材料	計 算 上				実 際	
	単位重量 kg/m^3	比 熱 $kcal/kg^{\circ}C$	熱 量 $kcal/m^3$	必要 $L N_2$ 量 l^*	消費 $L N_2$ 量 l^*	効 率 %
コンクリート	2,350	0.25	600	7.9	8	98
骨材（砂利）	1,600	0.20	320	4.3	6.3	68
水	1,000	1.00	1,000	13.2	15	88

*：各材料 $1^{\circ}C$ 下げるに必要な量

これらのクーリング方法によって32℃以下のコンクリートが打込まれているが、マスなコンクリート部材に関しては26℃以下にする様LN₂を用いて練り混ぜ後のプレクーリングを行った（図-2参照）。予備実験の結果より、コンクリートを直接LN₂によりクーリングする方法を採用し、LN₂による温度低下目標を5～6℃とした。また、コンクリート1m³の温度を1℃下げるため約8ℓのLN₂が必要となった。プラントは容量1.5m³の強制練りタイプであるため、コンクリート温度を5℃下げるためには約60ℓのLN₂を約1分の間に注入しなければならない。よって、1つのミキサーに4つの注入口を設け、液体と同時に高圧窒素ガスも注入した。生コン車に直接LN₂を注入する方法は、時間的制限や練り混ぜに問題があり、あまり実用的ではない。したがって、このシステムはプラントで温度低下が十分でない時のための予備システムとした。この予備システムは特殊ノズルと構台を必要とする（写真-1参照）。コンクリート生産能力は通常80m³/h程度であったものが60～70m³/hと若干低下した。LN₂タンクはプラントの側に容量18,500ℓのものを設置したが、750m³のコンクリート打設中に1回補充する必要があった（写真-2参照）。なお、コンクリート硬化熱の内部拘束による温度ひびわれを防止するため、部材中心部と表面の温度差を少なくする様にLN₂の使用量を変化させている。図-3にLN₂使用量変化の事例を示す。

5. おわりに

LN₂によるプレクーリングを実施して、得られた主な成果は下記の通りである。

①コンクリート1m³を5℃低下させるため、約40ℓのLN₂が必要である。管理できるコンクリート温度の精度は±1℃前後である。

②LN₂使用量の変化に対してコンクリートの温度に反映されるまで多少の時間差がある。

③マスコンクリートの内部拘束による温度ひびわれを防止するため、コンクリート内部と表面部の温度差を小さくする必要がある。このため、対象部材の中心部を打設する時はLN₂を多めに使用して温度を低くし、表面部の打設には使用量を少なくしてコンクリート温度低下量を小さくする方法は有効的であると考えられる。

④外気温などの外的条件によりLN₂の使用量を変化させる必要がある。

⑤LN₂を直接パッチングミキサーに注入する場合、一定時間ごと（3～4時間）に内部の凍結した材料の清掃が必要となる。

⑥LN₂を用いる場合は、使用部位を選別し、かつまた有効的な使い方をする事により、そのフィージビリティを高める事が必要である。

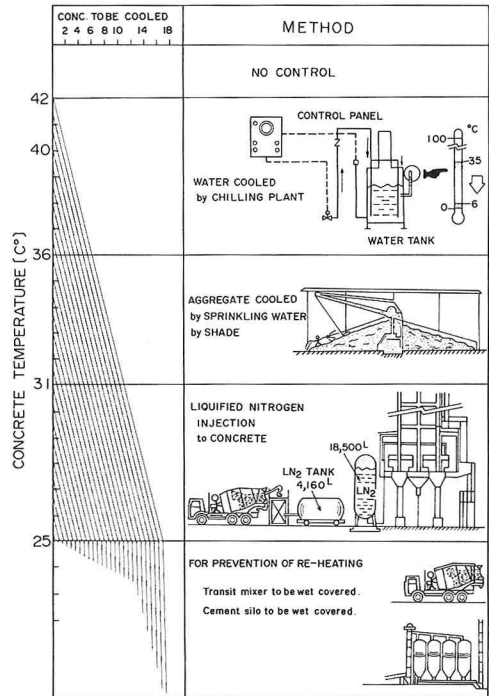


図-2 クーリングの方法とその効果

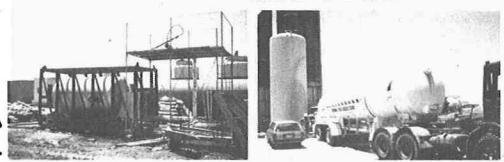


写真-1 LN₂サブ・クーリングシステム 写真-2 LN₂メインタンク

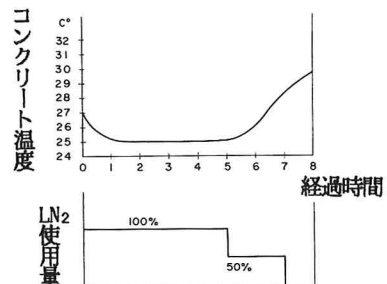


図-3 LN₂使用量の事例