

PS V-24

液体窒素によるプレクーリング工法の冷却効率向上に関する研究

(株) 大林組 技術研究所 正会員 十河茂幸

(株) 大林組 土木技術部 佐藤哲司

(株) 大林組 土木技術部 正会員 若松 岳

1. まえがき

液体窒素（以下 LN_2 と称す）を用いるプレクーリング工法は、最近我国でも実施されはじめた。冷却方法には、トラックアジテータ（以下トラミキと称す）、プラント設置ミキサ等を用いて、 LN_2 を直接コンクリートとともに攪拌する方法^{1)・2)} や、冷却砂製造設備、冷風製造設備等を用いて、砂、粗骨材、水を冷却する方法³⁾ などがある。冷却場所は、トラミキ方式以外はコンクリート製造プラントである。トラミキ方式は施工性に優れているが、練りまぜ性能、 LN_2 投入方式に制約があり、冷却効率についてはプラント方式より低い傾向にある。コストに関しては、冷却効率以外の条件（設備費、施工量等）が支配的であり、このため海外においては、トラミキ方式が普及している。筆者らは、この冷却効率の良いプラント冷却方式を打設現場で実施できないかと考え、数年来研究を行ってきた²⁾。その結果、70%（ $8\text{ kg/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$ ）程度の冷却効率の実現性を確認できたことにより、図-1 に示す冷却専用のアジテータを製作した。本報告は、このアジテータによる冷却効率、並びにこの冷却方法によるコンクリートの品質についての実験結果を述べるものである。

2. 冷却システムの概要

試作したアジテータは1バッチ 1.5 m^3 のコンクリートを冷却できる。冷却の手順は図-1 に示すとおり、①トラミキからスキップホップ内ヘレデーミクストコンクリート（以下生コンと称す）を投入、②アジテータ内へ生コンを移送した後、開口部をダンパゲートで閉じ、③生コンを攪拌しながらアジテータ内に LN_2 を投入し、所定量の冷却が終了後、④ホッパへ生コンを落とし、⑤直接ポンプ車に冷却された生コンを供給し打設するものである。

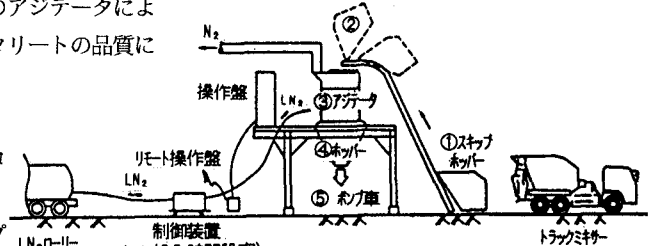


図-1 冷却フロー

表-1 冷却性能実験の条件

条 件	摘 要	水準数
1. LN_2 投入方式	外部吹込み（ノズル無） 内部吹込み（ノズル長：長、短）	3
2. アジテータ回転数	高速、中速、低速	3
3. LN_2 投入圧力	高圧、中圧、低圧	3

3. 冷却効率^{*1)}

3-1. 冷却方法の影響 (1) 実験方法

表-1 に示す LN_2 の投入方法に関する3つに条件について、冷却効率の比較を行った。生コン（呼び強度=240、スランプ=12cm、 $G_{max}=25\text{mm}$ ）は市中プラントから納入した。なお、 LN_2 を投入するためのノズルの長さを調節し、生コンの天端より上部から LN_2 を投入するものを外部吹込み、生コンの内部に LN_2 を投入するものを内部吹込みとした。

冷却前後の温度計測は、アジテータ内の6ヶ所に熱電対を差し込み、その平均値で評価した。また、 LN_2 の投入量は、投入圧力を変更する毎に重量計により計量した。

(2) 実験結果

冷却効率は、図-2～図-3 に示すように、アジテータ回転数の低い程、また、 LN_2 の投入圧力の高い程

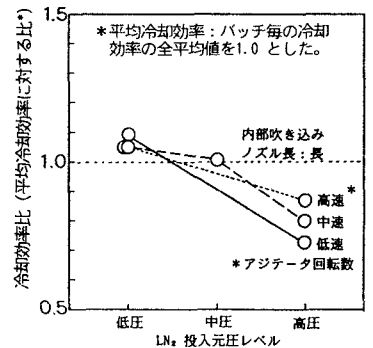
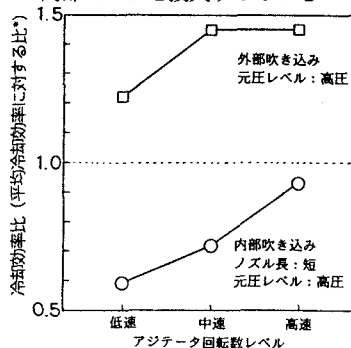


図-2 アジテータ回転数と冷却効率

図-3 LN_2 投入元圧と冷却効率

良い傾向にある。また、内部吹込み（高圧）の冷却効率は、アジテータ回転数にじ、7.5 ～11.9kg/m³ °Cであった。ノズルは、短いものの方が若干効率が上がった。外部吹込み（高圧）の冷却効率（LN₂ 使用量）は、内部吹込みのおよそ1.6 倍であった。

3-2 実施工における冷却効率

実構造物に対し、およそ 400m³ の生コンを冷却し冷却効率の確認を行った。LN₂ の投入方式は、連続冷却に実績の多い外部吹込みで行った。

表-2 施工時の冷却条件

打設回数	打設量 m ³	冷却量 ℃	打設速度 m/hr	LN ₂ 投入方式	LN ₂ 投入圧力	アジテータ回転数
1回目	260	13	21	外部吹込	高圧	高速
2回目	130	12	23			

コンクリートの配合は表-3に示す配合1である。冷却条件を表-2に示す。冷却効率は、1，2回目の打設でそれぞれ12.6および12.0kg/m³ °Cであった。この冷却効率は、前述の外部吹込みの実験結果と比べても高く、連続冷却による冷却設備等の予冷が十分であり、冷却効果が向上したものと考えられる。また、既往の資料¹⁾から、同じ外部吹込みであるトラミキ方式による冷却と比べても冷却効率が高く、このことは密閉した容器内で冷却した効果と考えられる。

表-3 配合表

配合 No.	セメントの種類	粗骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	目 標 比 (cm)	目 標 比 (%)	単 位 量 (kg / m ³)				
						水	セメント	粗骨材	粗骨材	減水剤
1	BB	20	65	12	4.0	176	271	821	1007	0.68 遅延剤
2	NP	25	49	8	4.0	166	338	706	1096	1.13 標準型
3	NP	25	50	18	4.0	186	372	677	1046	1.27 標準型

4. 冷却コンクリートの品質

3種類の配合のコンクリート（表-3）をアジテータにより冷却した。品質管理試験結果として、平均値を表-4に、冷却前後の個々の値を図-4～6に示す。配合1については、冷却前に比べ冷却後のスランプの変化が無く、空気量は、0.2 %と若干低下したものの、圧縮強度については1週では13kgf/cm²、4週および13週では約20kgf/cm² 増加した。配合2および3についても同様の結果であり、全ての試験について圧縮強度の増加が認められた。

表-4 品質確認試験結果（バッチ毎の試験の平均値）

配合 No.	LN ₂ の 投入方式	冷却有無	フレッシュコンクリート				硬化コンクリート			
			冷却試験 バッチ数	スランプ cm	空 気 量 %	コンクリー ト温度 ℃	冷却試験 バッチ数	圧縮強度 (kgf / cm ²)		
								7 day	28 day	91 day
1	外部吹込	冷却前	8	12.2	4.2	22.1	8	135	253	332
		冷却後		12.2	4.0	9.9		148	275	353
2	内部吹込	冷却前	3	7.2	4.6	16.3	1	249	400	—
		冷却後		6.3	4.5	2.0		267	423	—
3	内部吹込	冷却前	1	18.0	5.0	18.8	1	247	409	—
		冷却後		16.0	4.5	1.8		292	442	—

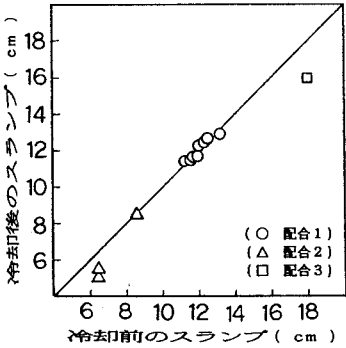


図-4 スランプの比較

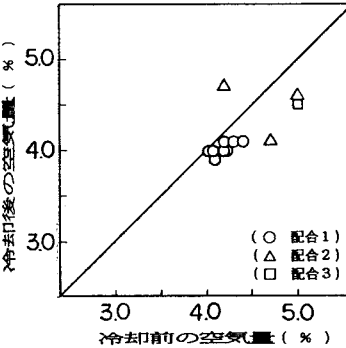


図-5 空気量の比較

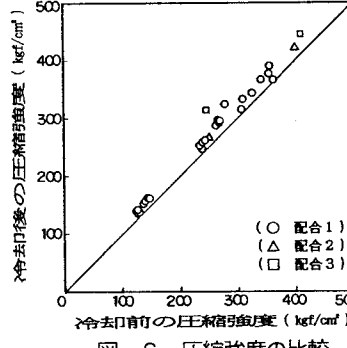


図-6 圧縮強度の比較
（材令7日、28日、91日）

5. あとがき

アジテータを用いたLN₂ による生コンの冷却方式は、冷却後のフレッシュコンクリートの品質の変動も少なく、強度増加が期待できる。また、冷却効率は常時7～10kg/m³ °C程度を得ることが可能であるものと考えられる。

今後は冷却設備の予冷や保冷、冷却された生コンの運搬や圧送中の昇温による温度ロス等、実質的な冷却効率を考慮した冷却システムの研究が必要と考えられる。

*1) 冷却効率は、生コンの単位冷却量に対する LN₂ の使用量 (kg/m³ °C) で表わした。

【参考文献】
1) 浅井, 芳賢, 他: 液体窒素によるブレーキング工法を用いたPC防凍堤の施工
コンクリート工学, Vol.26, No.5, (1988)
2) 直井, 十河, 他: 液体窒素によるコンクリートのブレーキングに関する研究 (その3)
土木学会第41回年次学術講演会論文集, (1986)
3) 小野, 後藤, 他: 液体窒素で冷却した骨材を用いたブレーキングシステムの研究
土木学会第43回年次学術講演会論文集, (1988)