

液体窒素クーリングの適用による温度ひび割れ抑制手法と効果

飛鳥建設（株） 正会員 ○榎島 修
飛鳥建設（株） 正会員 川里麻莉子

1. はじめに

低温の液体窒素をコンクリートミキサー車に投入することで、コンクリート温度の低下を図るプレクーリングは、コンクリート温度の降下量をコントロールできることから¹⁾、マスコンクリートの温度ひび割れの抑制対策に有効であると報告されている²⁾。

液体窒素によるクーリングでは、コンクリートミキサー車内のコンクリートの温度を一様に低下させるために、液体窒素の投入の際に、コンクリートミキサー車を高速撹拌させるとともに、液体窒素の投入量の管理が必要になる。そこで、液体窒素のコンクリートミキサー車への投入時間と吐出圧力を変化させた場合のコンクリート温度の降下量に与える影響を把握することとした。また、実施工への適用において、部材内の温度計測の実施と、計測した部材内温度に合致する解析条件を用いた温度応力解析を実施し、液体窒素クーリングの実構造物への適用によるひび割れ抑制効果を確認した。

2. 実施概要

2-1 検討対象コンクリート

検討対象のコンクリート配合を表-1に示す。対象コンクリートは、低熱ポルトランドセメントの使用、スランプ 12cm、水セメント比 51.7%、単位セメント量 323kg/m³となるレディーミクストコンクリート(24-12-20L)である。

2-2 実構造物への適用と計測および解析方法

下端を底版に拘束された、壁構造物（壁長 27m、壁厚 2m、リフト高さ 5.6m）を対象に、下端から高さ 2m の範囲に液体窒素クーリングを適用した。また、クーリングの適用範囲以外の部分は、クーリングを実施せずにコンクリート打設を行った。なお、液体窒素クーリングによるコンクリート温度の目標降下量は、事前の温度応力解析の実施により 5℃とした。液体窒素の投入状況を写真-1に示す。

部材内の温度計測位置は、図-1に示すように、クー

表-1 コンクリート配合(24-12-20L)

目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	s/a (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
12±2.5	4.5±1.5	44.2%	51.7%	167	323	790	1037



写真-1 液体窒素の投入状況

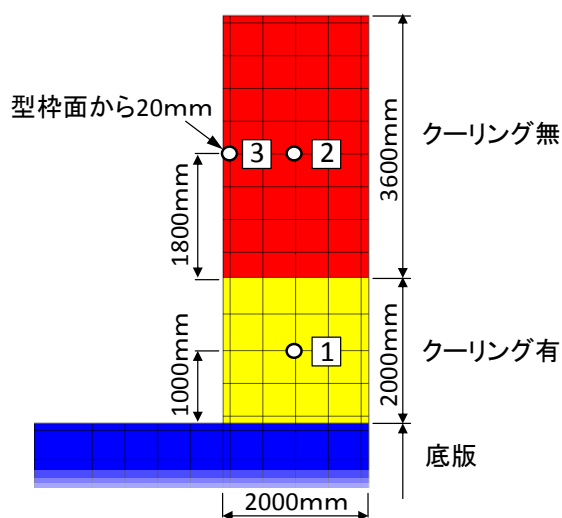


図-1 クーリング対象部材と温度計測位置

リング適用範囲の中心とクーリングを実施しない範囲の中心および、コンクリート表面から 20mm の位置とした。また、外気温度の測定を行った。

温度応力解析によるひび割れ抑制効果の確認は、計測した打込み温度と外気温、および部材の温度計測結果から算定した熱伝達率を解析条件として設定した。

なお、温度応力解析は、3次元有限要素法によった。

キーワード 液体窒素、プレクーリング、コンクリート温度降下量、温度応力解析

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 TEL 04-7198-7577

3. 結果および考察

3-1 液体窒素投入時間とコンクリート温度降下量

液体窒素投入時間とコンクリート温度降下量の関係を図-2に示す。投入時間の増加に伴って温度降下量が増加する相関関係が確認された。また、液体窒素の吐出圧力が高いほど温度降下量が大きく、吐出圧力の調整によって温度降下量をコントロールすることが可能となる。以上より、液体窒素の吐出圧力と投入時間の調整によって、所要の温度降下量を得ることが可能であり、品質変動への影響を考慮した適切な投入方法を設定できるものと考えられた。

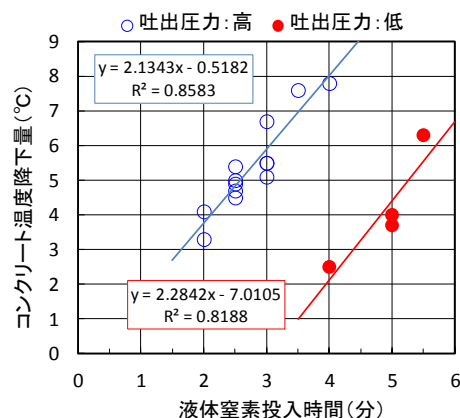


図-2 液体窒素投入時間とコンクリート温度降下量の関係 (コンクリート量 4.25m³)

液体窒素クーリング実施後のフレッシュコンクリートの品質は、すべて目標を満足することを確認した。ただし、空気量が最大 1.5%の増加と、スランプが最大 1.5cm の低下が認められたため、今回の液体窒素投入時間を超える場合には、注意が必要と考えられる。

3-2 クーリングによる温度抑制効果

躯体内部および外気の温度計測結果を図-3に示す。液体窒素クーリングによって、打込み温度が 5.3°C 低下しており、目標とする温度降下量の確保を確認した。

また、部材中心の最高温度は、クーリングの有無によって、6.9°Cの差が生じており、当初の打込み温度の差を維持していることを確認した。

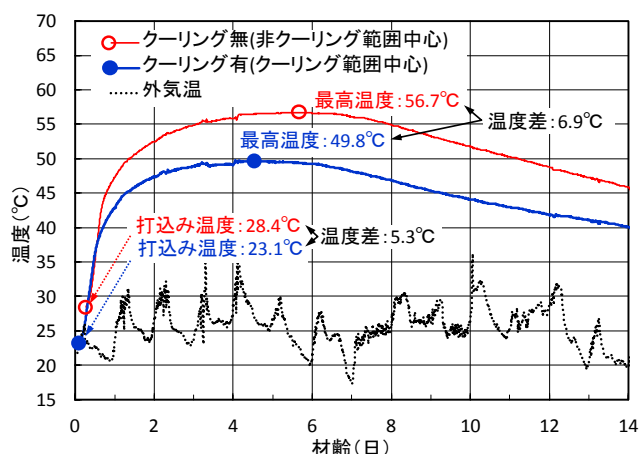


図-3 温度計測結果

3-3 温度応力解析によるひび割れ抑制効果

温度計測結果と温度解析結果の比較により、コンクリート表面の熱伝達率が解析に用いられる一般値³⁾と異なることが確認された。これにより、実際の部材内の温度履歴を再現した温度応力解析結果を得るために、計測した外気温と修正した熱伝達率を用いて解析を行った。部材下端 2m へのクーリングの適用有無による温度応力解析結果を図-4に示す。クーリング無しのケースでは、最小ひび割れ指数が 1.31 であるのに対して、クーリング有りのケースでは、最小ひび割れ指数が 1.77 となり、外部拘束による温度ひび割れの発生リスクの低減に寄与することを確認した。

4. まとめ

以下に得られた結果をまとめる。

- (1)液体窒素の吐出圧力と投入時間の調整にて、コンクリート温度降下量のコントロールが可能である。
- (2)実測に基づく温度応力解析の実施によって、壁部材の下端に液体窒素クーリングを適用し、コンクリート打設温度を低下させることが、有効な温度ひび割れ制御方法になることを確認した。

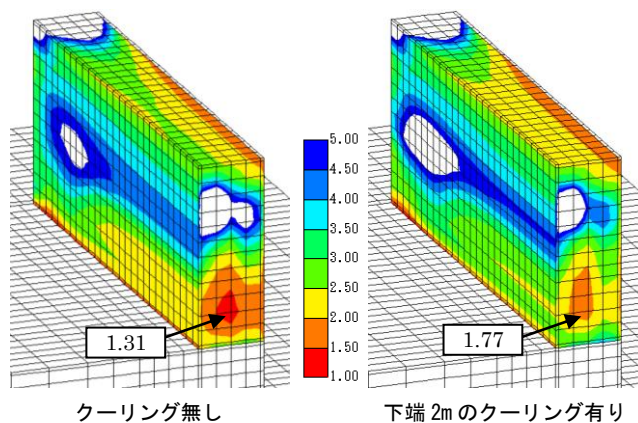


図-4 温度応力解析結果(最小ひび割れ指数分布)

参考文献

- 1)中根淳, 一瀬賢一, 芳賀孝成, 十河茂幸, 新開千弘: 液体窒素によるクーリングに関する研究, 大林組技術研究所報, No.33, pp.37-41, 1986
- 2)祖父江修一, 内藤敏郎, 野々目洋, 柳葉臣哉: 液体窒素によるダムコンクリートプレクーリングについて, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集, 5-457, pp.911-912, 2004.9
- 3)土木学会 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], p.308, 2013.3