

VI-68

液体窒素によるブレーキング工法を用いたトンネル閉塞コンクリートの施工

前田建設工業(株)技術研究所 正会員 大竹 弘 孝

前田建設工業(株)技術研究所 正会員 渡 部 正

前田建設工業(株)広島支店 正木 克彦

1. はじめに

近年、液体窒素を用いたコンクリートのブレーキング工法の適用事例が増加してきている。これは、コンクリートの打込み温度を低下させることが温度ひびわれの低減対策として効果が高いからである。

本報告は、重力式コンクリートダム建設に伴う仮排水路閉塞コンクリートの施工に際し、温度ひびわれ防止対策の一環として、液体窒素によるブレーキング工法を適用した結果について述べたものである。

2. 工事概要

仮排水路トンネルは延長876mであり、閉塞コンクリートは下流吐口より580mのダム軸交点に位置している。閉塞断面は、図-1に示すように断面積が50.6㎡で、コンクリート量が1,225㎡のマスコングリート構造である。

閉塞機能の一つとしては、ダム本体と同等な高い水密性が要求される。そこで、従来より、ひびわれの発生を防止するため、コンクリートの打込み温度が低い冬期に施工される場合が多かった。しかし、今回の場合、施工を9月に行わなければならないため、液体窒素によるブレーキング工法を採用することとした。

コンクリートは、呼び強度210kgf/cm²、粗骨材最大寸法40mm、スランプ8cmのレーダーミクストコンクリートを使用した。

3. ブレーキングの管理方法

コンクリートの打込み温度は、事前の温度応力の解析結果より18℃以下を目標とした。ブレーキングは、トラックアジテータ内に液体窒素を直接投入する方式とし、坑外で行った。そして、それから再び打込み場所までトラックアジテータで運搬するため、それによる温度上昇量を1.5℃見込んで、ブレーキング時の管理範囲を14±2.5℃とした。その管理フローを図-2に示した。なお、液体窒素の投入量は、一次管理を投入時間で、二次管理を液体窒素使用前後のタンクローリーの重量差で行った。

4. 冷却効率に及ぼす要因の解析

実施工当初の冷却効率(コンクリート1㎡を1℃低下させるのに液体窒素を5.6kg使用した場合を効率100%と仮定)は、30%程度と低かった。そこで、冷却効率が最

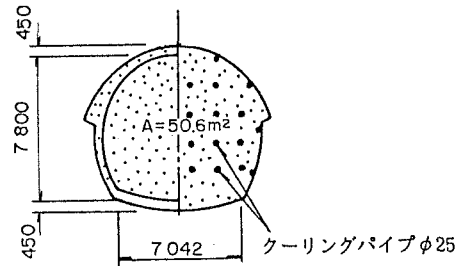


図-1 仮排水路閉塞断面図

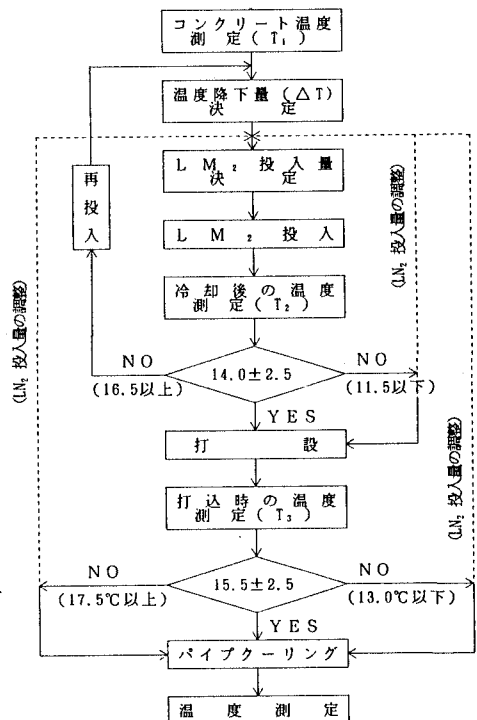


図-2 クーリングの管理フロー

高となる最適水準の組み合わせを選定するため、 L_{16} 直交表による実験計画法で統計的に解析を行った。実験因子とその水準は、表-1のとおりとした。

その結果、タンクローリー車の種類と液体窒素の投入速度の二つの因子が5%有意となった。そして、図-3に示すように、タンクローリー車としては加圧式が、投入速度は100kg/minが効果的であり、それら組み合わせによる母平均の点推定は39.4%、95%信頼区間は38.8~40.1%となった。

液体窒素の投入速度は、供給圧力とほぼ比例関係にある。投入速度が大きい、すなわち、供給圧力が高いということは、大気に放出された時のガス化率が大きくなる。そのため、冷却効率が低下するものと考えられる。また、ポンプ式タンクローリー車では、供給圧力の制御が容易ではなく、必然的に圧力も高くなる傾向にあるため、それが原因で冷却効率が低下する結果になったものと考えられる。

5. 冷却管理結果

冷却効率に及ぼす要因の解析結果に基づき、表-2に示す条件を設定して施工を実施した。その結果、その後の冷却効率は図-4に示すように、平均40.1%で安定した推移を示した。

また、コンクリートの打込み温度は、図-5に示すように、平均15.2℃、標準偏差1.2℃であり、目標打込み温度18℃以下を十分確保することができた。その結果、閉塞コンクリートにはびびわれの発生が認められず、良好な止水性を得ることができた。

6. まとめ

液体窒素によるブレーキング工法を採用して、マスコンクリートの施工を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1)冷却効率に及ぼす影響が最も大きいのは、液体窒素の投入速度（≒供給圧力）であり、コンクリートに接する時のガス化率が少なくなるような供給方法が望ましい。
- (2)今回用いた簡易な設備でも、最適な条件を設定することにより、冷却効率は40%を確保することができた。
- (3)閉塞コンクリートは、従来冬期に施工されていたが、本工法を採用することにより気温の高い時期でも施工可能であり、工期的なメリットが非常に大きい。

今後、液体窒素の投入方式、管理手法のシステム化、自動化を進めてより汎用性のある工法にして活用を図る必要がある。

表-1 実験因子と水準

因 子	第1水準	第2水準
A タンクローリー車の種類	加圧式	ポンプ式
B 液体窒素投入速度	100kg/min	150kg/min
C トラックアジテータの回転数	中速	高速
D 投入ノズルとコンクリートの距離	20cm	50cm

交互作用：A×C，A×D

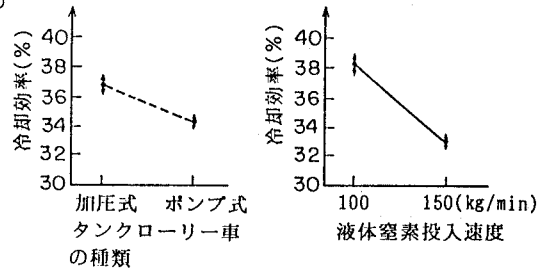


図-3 各要因における推定値

表-2 冷却条件の設定

タンクローリー車の種類	加圧式
液体窒素投入速度	100kg/min
トラックアジテータの回転数	中速
投入ノズルとコンクリートの距離	50cm
液体窒素投入ノズル	φ38mm断熱仕様
液体窒素の投入方向	ノズル軸方向
コンクリート積載量	4.5㎡

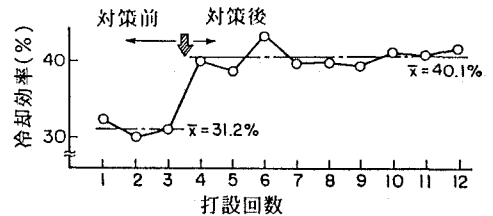


図-4 冷却効率の推移

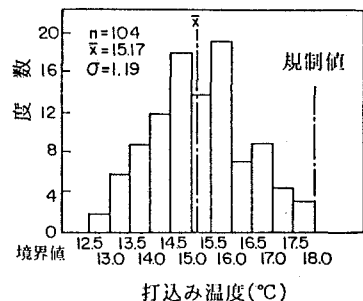


図-5 打込み温度の実績