

液体窒素による応急止水技術

鹿島建設（株）	正会員	上本 勝広	正会員	吉田 輝
同	正会員	森川 誠司	正会員	吉川 正
（株）精研		櫛田 幸弘	正会員	伊豆田 久雄
ケミカルグラウト（株）		見坊 東光	正会員	柏木 智文

1. はじめに

非開削地中切掘り工事などにおいて地盤改良体、構造物等の止水不良箇所から小規模な漏水が確認された場合（特に高水圧条件下）、早期に止水対策を施すことが必要である。早期に対策を施さない場合には漏水規模が大きくなり、水没事故・地表面陥没事故などの大きなトラブルを引き起こすことになる。特に、凍結地盤に対しては、薬液注入等の一般的な止水工法では凍土融解・漏水部損傷を引き起こすことから、効果的な止水工法がなかった。そこで、筆者らは、凍結地盤にも影響を及ぼさない応急止水技術として液体窒素（LN₂：-196℃）の冷熱を利用した止水技術を提案している。本報告では、提案する応急止水技術ならびに性能確認のために行った室内実験結果について報告する。

2. 提案する応急止水技術

提案する応急止水技術では、凍結地盤への適用性を考慮し凍結による止水方式を採用した。冷熱源としては、冷却能力が高く（凍結速度が速い）、専用の容器（ELF 容器）に充填すれば比較的簡易に運搬できる LN₂ を用いた。ただし、LN₂ は気化すると体積が約 800 倍となるため、換気が十分に行えない狭隘な場所では酸素欠乏症が懸念される。そこで、本技術では LN₂ を直接漏水部に散布する方式ではなく、LN₂ の冷熱のみを利用し、使用後に発生する窒素ガス（GN₂）は排気管から確実に排気できる凍結装置を製作した。

図-1 に本止水装置による止水の施工手順を示す。本技術では凍結時に凍着部に水流、水圧が作用しないように装置中心部から排水を行い、脚部の凍着が完了した後に排水用バルブを閉じて漏水部の止水凍結を行う方法を採用した。

3. 高熱伝導性材料

図-1 に示すように止水装置から漏水部への冷熱の伝達は止水装置脚部から行うため、効率良く LN₂ の冷熱を伝達させるためには、漏水箇所と凍結装置脚部間の熱伝導性が重要となる。そこで、止水性を有し、凍結時に凍着せん断強度を発揮する高熱伝導性材料を用いた。本材料は金属粉を混入することで熱伝導性を向上させており、可塑性材料であることから、漏水部の多少の不陸に対応可能である。また、本材料は凍結時に十分な凍着せん断強度を有することを確認している。

4. 応急止水実験概要

提案する応急止水技術の性能確認のため簡易な室内実験を実施した。実験は W820×L820×H300mm の土槽に厚さ 150mm

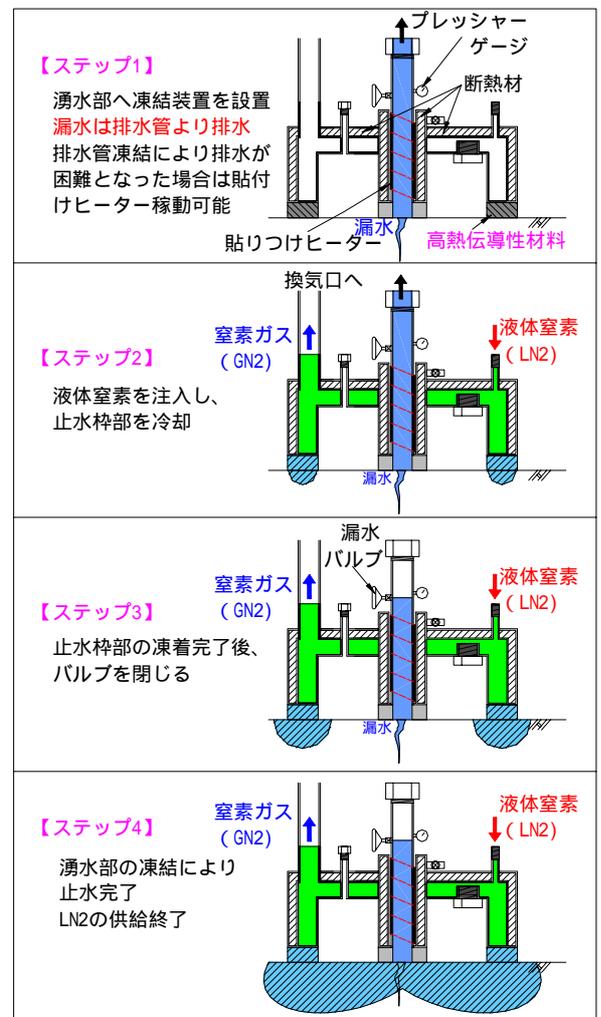


図-1 止水施工手順

キーワード：湧水，応急止水，高熱伝導性材料，大深度，非開削切掘り

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設（株）技術研究所 TEL 0424-89-7692

のモルタルを打設し、その中心部に設けた 2.5mm からの漏水を止水するものである。漏水部はシフレックスチューブにより水道蛇口に連結されており、漏水時は蛇口を全開にした。実験では、**図 - 2** に示すように LN2 を投入口の反対側の脚部直下と角部で各々地表面から深さ方向に 10mm 間隔で 5 点ずつ、湧水部で地表面と深さ 10mm の 2 点、外気温の計 13 点で温度計測を行った。また、湧水部での水圧を計測した。本技術では脚部の高熱伝導性材料の凍着完了後（以下、1 次冷却）にバルブを閉じ湧水部の凍結（以下、2 次冷却）を行うため、最短時間で止水可能な管理方法を見出すため、1 次冷却時の高熱伝導性材料の凍結温度をパラメータとして計 7 ケースの実験を行った。高熱伝導性材料の温度は安全側を考慮して、LN2 投入口反対側の地表面温度（CH1）で管理を行った。実験状況を**写真 - 1** に示す。

5. 実験結果と考察

図 - 3 に高熱伝導性材料が -20 に達したときバルブを閉じたケース（管理温度 -20 ）の実験結果を示す。1 次冷却中は漏水を排水しているため、地表面温度は水道水の温度を示し冷却されていない。しかし、高熱伝導性材料が管理温度に達し、漏水排水用管のバルブを閉じると漏水箇所地表面温度は徐々に低下していくことが確認できる。湧水箇所地表面温度が 0 に達した時点で凍結装置への LN2 供給は止めたが、その後も $-80 \sim -20$ となった脚部付近の極低温部の冷熱により冷却されて温度がさらに降下していくことが確認できた。止水完了後は LN2 供給停止後約 6 時間止水状態を維持することを確認した。実験を行った全 7 ケースに関して 1 次冷却時間、2 次冷却時間をまとめた結果を**図 - 4** に示す。1 次冷却時間は高熱伝導性材料の管理温度が低くなるにつれて長くなるが、漏水部の最終的な止水時間である 2 次冷却終了時間は管理温度の違いによる傾向は見られず 約 60 分程度で止水が完了している。実験では、1 次冷却時の温度管理を $-10 \sim -45$ の範囲で行ったが 温度が最も高い -10 においてもバルブ閉じ時に作用する水圧（ $400 \sim 600\text{kPa}$ ）で止水装置が外れることは一度もなく安全に止水作業を行うことができた。高水圧が作用する現場においては構造躯体にアンカー等を打設することでより安全な止水作業が可能となると考えられる。

6. おわりに

以上、提案する当技術の優れた止水効果を室内試験において確認した。今後は現場実験を行い、必要に応じて改良を加え信頼性を確認していく予定である。本工法が今後の大深度地下開発を含めた非開削地中切掘り工事などの漏水トラブル防止に幅広く役立てば幸いである。

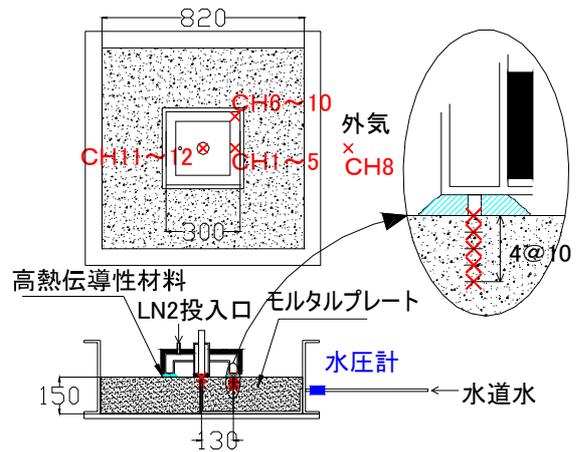


図 - 2 計測点位置



写真 - 1 実験状況

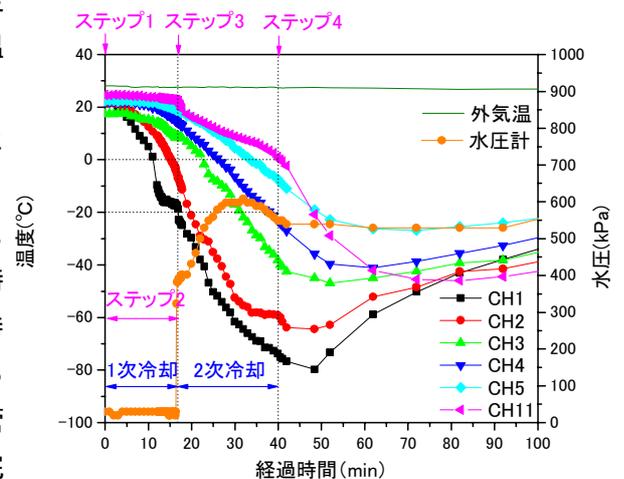


図 - 3 応急止水実験結果(管理温度 -20)

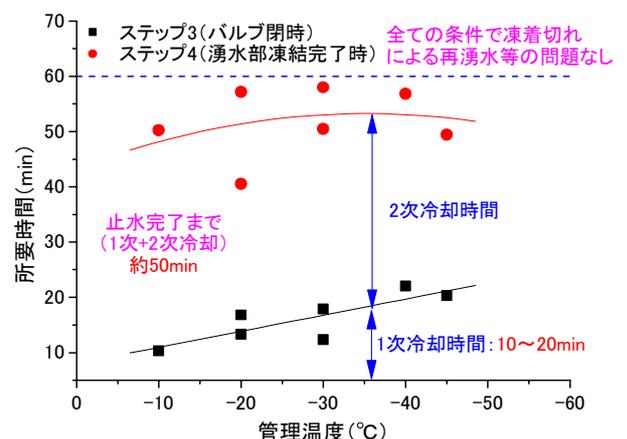


図 - 4 止水までの所要時間