

CO₂による地盤凍結工法—大深度適用実験—

ケミカルグラウト株式会社 正会員 ○塩屋 祐太
 ケミカルグラウト株式会社 正会員 相馬 啓
 ケミカルグラウト株式会社 非会員 長田 友里恵

1. 背景

地盤凍結工法は、シールドの発進防護，到達防護，シールド地中接合などの防護工として完璧な止水性や凍土が高い強度特性を持つことから広く普及してきた。また，施工後は地中に何も残置しないことから，環境負荷低減に寄与する工法である。近年，シールド技術の向上により都市シールドの大深度化が進み，それに伴う防護工も大深度での施工となるのが必須の状況である。そこで，本実験では，新技術である液化 CO₂ の気化潜熱を利用して凍土を造成する ICECRETE 工法において，大深度施工の凍結管設置手順の確立，液化 CO₂ の循環及び冷却と凍土の強制解凍が正常に実施できることを確認した。

2. 実験内容

ボーリングマシンを使用して70mの削孔を行った。削孔ケーシング内に100Aの凍結管ガイドパイプを建込み，ケーシングを引き抜いた。凍結部は下端20mとし，上部50mは限定部とした。凍結部にはアルミマイクロチャンネルを2枚挿入した。凍結管構造図を図-1に示す。70mの凍結管を800mm間隔で3本，凍結範囲確認のために測温管を4本設置した。凍結管レイアウトを図-2に示す。凍結設備は，一次冷媒 NH₃/二次冷媒 CO₂ システムの冷凍機を使用し，各設備の配管を行った。凍結設備配置図を図-3に示す。配管完了後，CO₂ が循環する配管は，窒素ガスで気密試験を実施した。その後，配管内を-0.1MPaの真空状態にし，CO₂ をチャージして冷凍機を運転した。運転温度は-45℃とした。この際，運転圧力は0.7MPa程度となる。

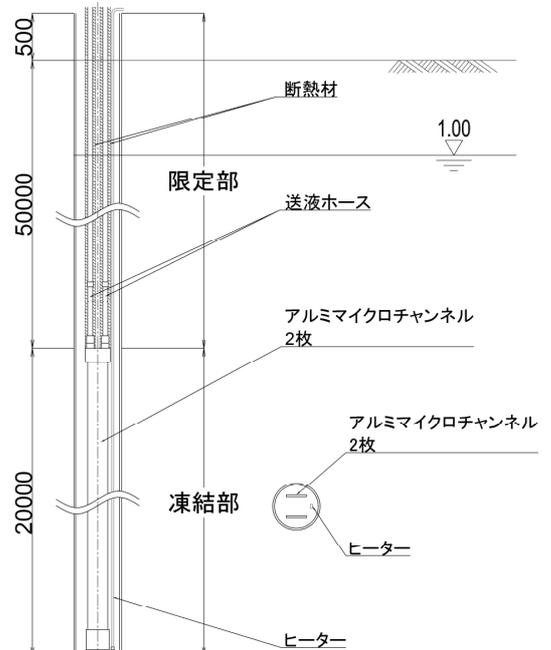


図-1 凍結管構造図

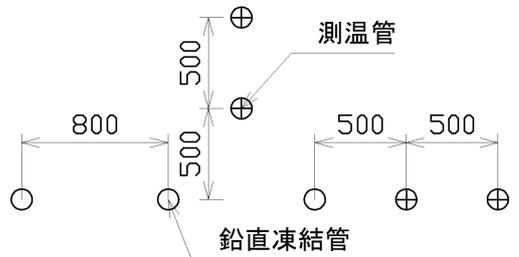


図-2 凍結管レイアウト

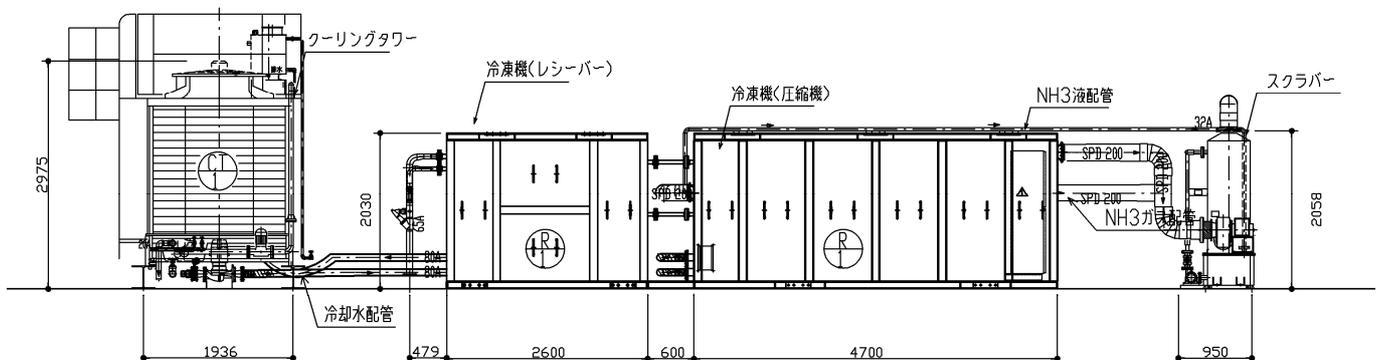


図-3 凍結設備配置図

キーワード 地盤凍結工，CO₂，大深度凍結

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-2-5 共同通信会館 ケミカルグラウト(株) TEL 03-5575-0471

3. 結果

1)凍結管設置

液化 CO₂ は粘性が非常に低く、配管径が縮小できるメリットがあることから、ガイドパイプ内に建て込む部材を 15A の送液ホースとアルミマイクロチャンネルとすることで、70m 分をロール状にすることが可能となった。凍結管部材は、ガイドパイプ内に挿入する前にドラムに巻き付け、人力で送りだして挿入した。ガイドパイプ内には水を充填していたため、浮力で凍結管が押し戻されない様、先端に重りを取り付けた。凍結部に使用したアルミマイクロチャンネルは、300g/m と非常に軽量であるため、送液ホースを含む凍結部材 70m 分全て、揚重機械を使用せずに建込むことが出来た。凍結管建込イメージ図を図-4 に、建込状況を写真-1 に示す。

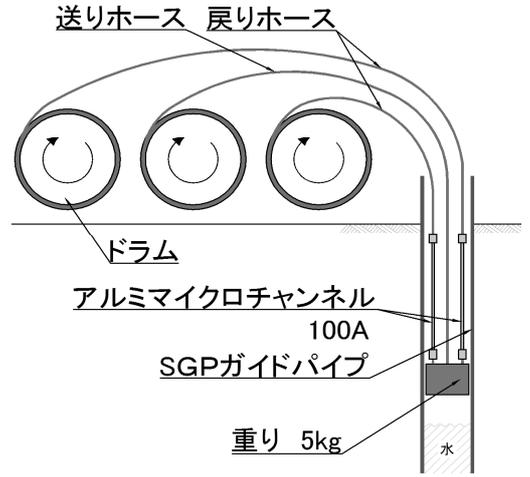


図-4 凍結管建込イメージ図

2)CO₂ 循環

図-5 に凍土成長曲線を示す。凍結部では想定通りの凍土が造成できた。液化 CO₂ は、気化潜熱を利用し地盤から熱を奪い、気液混合状態となって地上の冷凍機に戻ってくる。本実験における CO₂ の循環は、流量 10~13L/min、送液圧力 0.3MPa であった。図-6 に圧力損失と流量の関係を示す。CO₂ の流量が全て液体と仮定した計算値よりも低いことから、本実験では、循環流量が多く、液化 CO₂ が気化する割合が少なく液体状態で循環していたことが分かった。運転 19 日で片側凍土厚さ約 800mm の凍土が確認出来、深度方向に大きな誤差は無かった。



写真-1 凍結管建込状況

3)強制解凍

凍結管撤去時に必要な強制解凍についても確認した。リボンヒーターを使用して解凍した。解凍開始から約 1 時間でガイドパイプ内が解凍出来たことを確認し、解凍開始から 1 日後に、凍結管を引き抜くことが出来た。

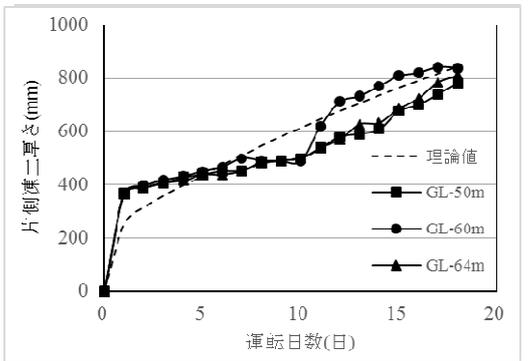


図-5 凍土成長曲線

4. まとめ

本実験では、70m の大深度鉛直凍結においても凍結部材の建込作業は揚重機械を使用せずに実施することが出来た。CO₂ も正常に循環出来ることが確認出来た。リボンヒーターによる強制解凍も機能することが確認出来た。本実験では、CO₂ の循環流量がやや過大であり、液体が多い状態であったが、大深度でも ICECRETE 工法が適用可能であることを実証することが出来た。今後も、ICECRETE 工法のさらなる発展を目指し、建込作業の機械化など簡易で安全な地盤凍結工法の開発を進めていく所存である。

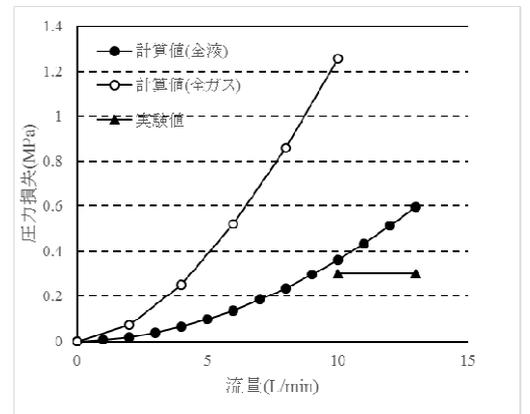


図-6 圧力損失グラフ

参考文献

・トンネル工学報告集 第 26 巻, II-10, 2016. 11