

小規模地下構造物での掘削における簡易な凍結工法の開発

(株) 日水コン 正会員 小西 康彦 庄野 貴英

(株) 精研 正会員 ○伊豆田 久雄 谷 浩明

1. はじめに

下水管渠への地震対策の一つとして、液状化によるマンホール浮上を抑制する装置を既存マンホールに設置する方法を開発している¹⁾。設置時の開口部からの地山崩壊や浸入水防止対策として注入などの地盤改良を行うと、地盤の透水性が損なわれ装置の機能が十分に果たせない場合もある。このため、設置後はもとの地盤性状に戻る凍結工法を用いる必要がある。

本凍結工事のように小規模地下構造物の周辺で造成する凍土量は、通常施工されているトンネル工事のものの1/100以下であり、また造成時間の短縮化も必要であるので、液体窒素による凍結が最適と考えられた。我が国のトンネル工事での液体窒素による凍結工事は10件以上あるが、小規模構造物を対象としたものはない。簡易な凍結工法での、凍土造成予測手法の検証とコアリングなどの影響を把握するために、実物大凍結実験とその熱解析を行った。

2. 簡易凍結の実物大実験方法

図-1に示すように、熱量の進入が実施工に近く、また、温度センサーが設置できる土槽を製作した。タンク(2.8m×1.5m、深さ1.5m)内に、1号組立マンホール(内径φi=900mm、壁厚=75mm)を置き、温度センサーを設置しながらマンホール周辺に飽和砂を容積含水率 $0.5\text{m}^3/\text{m}^3$ になるよう充填した。

温度センサーは、凍結運転状況、凍土成長、コアリングなどの作業による影響を確認するため、図-1のように配置した。マンホール内面に、貼付凍結管をピッチ150mm、上流側と下流側で合計16本設置して、液体窒素を供給できる配管をして、厚みの異なる凍土壁を造成した。

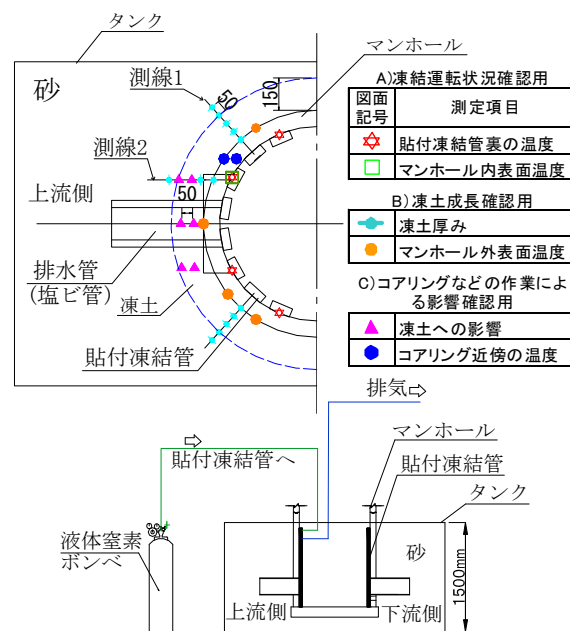


図-1 実験装置全体(断面図)および土槽左半分と温度センサー(平面図)

3. 凍土造成について

1) 実験結果

地盤温度と経過時間(液体窒素による冷却開始を0hとする)との関係(上流側測線1)を、図-2に実線で示す。時間経過によりマンホール外面に近い地盤から温度は徐々に低下した。地盤温度から求めた凍土厚みの経時変化を図-3に示す。11.75hに凍結運転を停止した後も凍土は成長し、上流側の所定凍土厚み150mmの温度センサーが 0°C に達した時間(凍土造成時間)は13hであった。

2) 計算手法の検証

実物大実験の初期および境界条件(初期地盤温度 9°C 、外気温度 $6\sim 20^{\circ}\text{C}$)や既知の熱定数、および別の事前実験から求めた熱貫入率 $K=116\text{ W/mK}$ と貼付凍結管裏の温度 -120°C を用いて計算した。なお、計算では、実用上の簡便性を目的として、経過時間0hからこの温度を境界条件とした。得られた地盤温度の経時変化を、図-2に破線で併記する。計算された温度の降下勾配は実験値にほぼ合っていたが、計算値は実験値より $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 低かった。

キーワード 人工凍結, 地震, 補助工法, 老朽化, 液体窒素

連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川1丁目12-14 (株)精研 凍結本部技術設計部 TEL 03-5689-2351

図-3 に示す凍土厚みの経時変化（凍土成長曲線）においても，計算された凍土厚みの増加勾配は実験値と良く合っているが，値は実測より大きかった．

計算では前述したように境界条件を 0h から -120°C 一定としていたが，実験では配管や貼付凍結管等を -120°C まで冷やし込むための時間（クールダウン時間と称する）が必要である．このために，実験値に比べ計算値は約 2 時間早かったと推測された．施工時期や設備等によりクールダウン時間は多少異なる場合もあるが，凍土造成時間としては計算で算出した必要凍結時間にクールダウン時間 2h を加算するのが適切であると判断された．

4. コアリングの影響について

所定凍土厚みの造成完了後に，浮上抑制装置をマンホールに設置するためのコアリングを行った．上流側測線 2 でのコアリング付近のマンホール外面および外面から離れた地盤温度の経時変化を，図-4 に示す．コアリングの削孔範囲内に設置していた温度センサーで計測された地盤温度（外面，外面から 50mm）は，コアリングにより急激な温度上昇が見られた．しかし，凍土が耐力壁となる部分の地盤温度（外面から 100 mm, 150mm）では温度上昇はほとんど見られず，コアリングなどの作業による加熱が凍土に及ぼす影響は少いことが分かった．なお，液体窒素凍結停止時には，マンホールの温度は -135°C ～ -48°C で凍土平均温度約 -20°C よりも低温であったため，コアリングによる多少の加熱があっても凍土壁の温度は低下し，凍土厚みは増加する時期もあったと考えられる．なお，作業終了時でも，上流側，下流側ともに，凍土平均温度は -4°C 以下で耐力壁として十分な強度はあったことが確認された．

最後に，今回の実験条件における造成すべき凍土厚みを想定する．耐力壁として必要な凍土厚は凍土平均温度 -4°C では 30mm であり，コアリング及び装置設置後に残る凍土厚みは，下流側 34mm（上流側で 84mm）であった．凍結運転停止後の凍土厚みの増加を考慮にいと，造成すべき凍土厚みは本実験条件では 100mm で充分であると推定された．

5. おわりに

マンホール周辺地盤の実物大液体窒素凍結実験の検証によって，簡易な凍結工法の熱設計および施工手法をほぼ確立することができた．本方法がマンホールを含む各種小規模地下構造物の掘削における補助工法として役割を果たせるように，今後も開発を進めて行きたい．

文献 1) 小西ら：マンホール浮上量の推定法と浮上抑制効果の実証，下水道協会誌，vol. 45, No. 553, 2008.

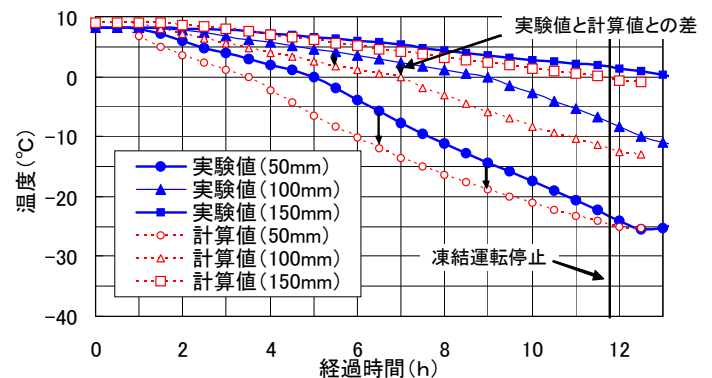


図-2 地盤温度の経時変化(上流側測線 1)

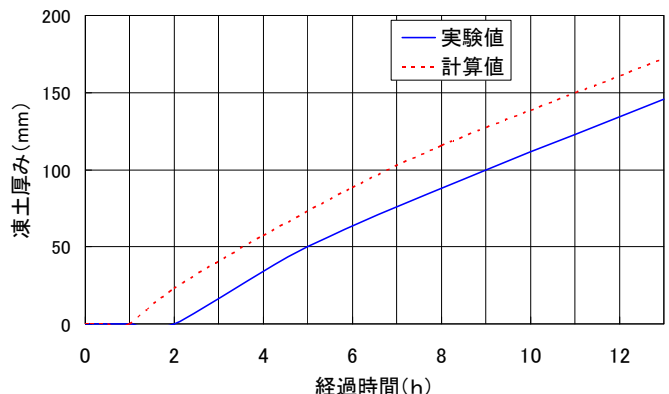


図-3 凍土厚み経時変化-凍土成長曲線
(上流側測線 1)

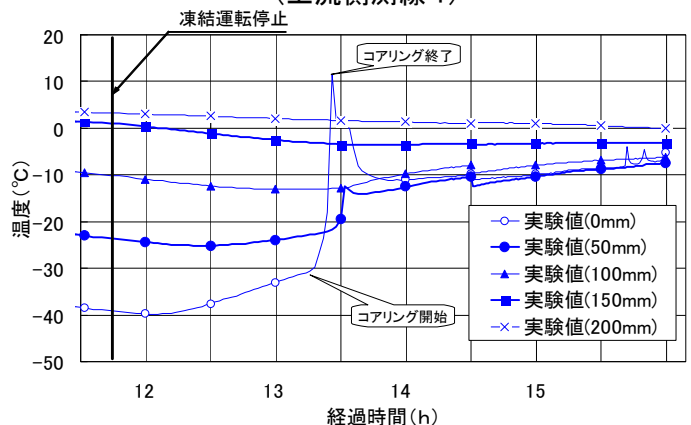


図-4 開口面近傍の温度データ(上流側測線 2)