

## 香港地下鉄西港線における凍結工法による全長 100m のトンネルの設計・施工事例 (その2)

(株) 精研 凍結本部 (正) ○森 保史, 新井 聡

西松建設 (株) 土木設計部 (正) 齋藤禎二郎

西松建設 (株) 香港支店 若尾政克, 清水達郎, 西村友彦

## 1. はじめに

香港地下鉄の西港線延伸工事(図-1)C704 工区の一部地盤に, 風化花崗岩を起源とする土砂地層が分布していた。この地層中に全長 100m におよぶ地下通路築造が計画された。築造する地下通路の直上には直接基礎の古い建物があり, 掘削中の地下水位低下による, 直上の建物へ与える影響を最小限に抑制することを目的として, 止水性の高い凍結工法が採用された。本報では, 当該工事 (図-2) のうち 83m (B3-1 トンネル) における凍結工施工管理について述べる。



図-1 香港地下鉄 西港線延伸工事

## 2. 凍結工施工概要

地下通路掘削部  $\phi 6.5\text{m}$  の周囲に, B3 立坑から  $\phi 7.9\text{m}$  の位置にピッチ 1m で 125A の PVC ガイド管を埋設する。その中に設置された 100A 水平凍結管 (L=83m, 25 本) で円筒凍土 (凍土平均温度  $-10^{\circ}\text{C}$ , T=1.3m) を造成する。先端部は地上からピッチ 1.0m で埋設された 100A 鉛直限定凍結管 2 列 (L=41m, 19 本) で前蓋凍土 (凍土平均温度  $-10^{\circ}\text{C}$ , T=3.0m) を造成し円筒凍土の前蓋とし, 掘削部を凍土で囲った。

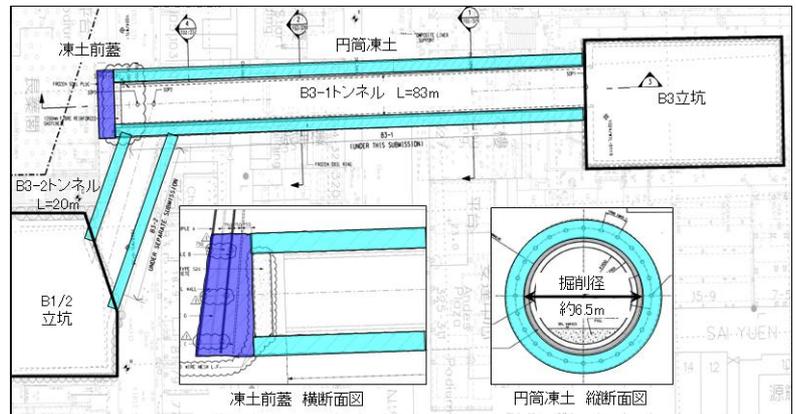


図-2 C704 工区 B3-1, B3-2 トンネル

凍土の出来形を判断できるように, 円筒凍土外周, および, 前蓋凍土外側にそれぞれ測温管を埋設した。測温管の中に測温素子を設置し, リアルタイムで地中温度を監視する計測システムを構築した。

実施工では, 地中に存在する転石や地盤の性状変化などの影響で, 83m 水平ガイド管の埋設精度を確保するのに苦労した。その結果, 凍結管ピッチの最大離れが 1.6m となった。事前解析で, PVC ガイド管内に設置された凍結管のピッチが 10cm 広がると凍土造成日数が 10 日以上増えることが分かっていたため, 凍結管を追加して埋設することで対応した。

凍結設備は円筒凍土造成のために B3 立坑地上に  $150\text{KW} \times 3$  台 (計 600 馬力), 前蓋凍土造成のために B1/2 立坑地上部に  $150\text{KW}$ ,  $75\text{KW}$  各 1 台 (計 300 馬力) 設置した。それぞれの凍結設備から凍結管までは, 防熱された配管 (鋼管・ホース) で接続し, 凍結設備で  $-25^{\circ}\text{C}$  まで冷却されたブライン (塩化カルシウム水溶液) を循環し, 凍土造成を行った。それぞれの立坑は周囲を住居ビルで囲まれ,

住居と近接した環境であったため, 凍結設備から出る 100dB の騒音を 45dB まで下げる必要があった。そのため, 冷凍機やポンプ類だけでなく, 外気との熱交換で冷却水の熱を奪い, その熱を大気に放出する冷却塔も防音パネルで完全に覆う必要があった。

キーワード 凍結工法, 香港, 地下鉄, 施工管理, トンネル

連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-15-17 (株) 精研 凍結本部 TEL03-5689-2356

### 3. 凍土造成へ影響を与えた要因と対策

事前解析では64日で凍土造成完了であったが、実際には107日を要した。その主な要因と対策を以下に述べる。

前述の通り、冷却塔を防音パネルで覆ってしまう他に、凍結設備の設置スペースにも制限があり、密な状態での設置となった。一般的な使用に比べて悪条件であるので、冷却塔の熱交換を効率的に出来るよう可能な限り大きい吸気口、排気口を機械室に設けた。しかし、この吸気口、排気口から機械室内の騒音が漏れ出すことが懸念され、それぞれに消音設備を取り付ける必要があり、開口面積が限定的になってしまった。吸気口に大型ファンを設置し、機械室へ強制的に外気を送り込んだり、冷却塔のモーター出力を上げたりと改善を試みたが、冷却塔の能力を十分に発揮させることが出来なかった。その結果、冷却水温度が高くなり冷凍機本来の能力を発揮させられなかった。

B3立坑柱列杭背面(坑口)の凍土成長が、他の深度に比べて遅れていることが測温結果から判明した(図-3)。外気から凍土への熱侵入を抑制する目的で、柱列杭表面には貼付凍結管を設置し防熱材(グラスウール)でそれを覆ったが、それを上回る熱量が坑内にあったと考えられる。また柱列杭間からの漏水も幾つかみられた。従って柱列杭背面では漏水により水流が発生し、この水流が凍土造成に影響を与えたものと考えられる。この漏水を注入で止め、凍結域外へ導水することで凍土造成の改善を行った。

### 4. 凍土管理

円筒凍土と凍土前蓋が接合し、凍土で閉塞したことを確認するために、掘削部に水抜管(40m)を2本埋設した。坑口(0m)と掘削部40m、それぞれの水圧を測定し、閉塞部の水圧上昇に合わせてバルブを開け、水抜きをした。これを繰り返して最終的に、閉塞部の水圧上昇速度が緩慢となり、バルブを開けても出てくる水の量が少なくなった事で閉塞完了と判断した。

円周凍土の成長程度を把握するために、6本の測温管内に5m毎に測温素子を設置(定点測温)し地中温度を監視した。定点測温間の計測は、定期的に測温素子を1mずつ5回移動させる方法で補完計測をした。これら地中温度の他に、ブライン循環温度・流量を測定し、凍結管の配置を考慮した数値解析を行った。(図-5)掘削深度5m毎の凍土出来形図を作成し、凍土厚1.3m以上・凍土平均温度-10℃以下を確認しながら掘削は行われた。

### 5. まとめ

軟弱地盤で掘削径6.5m長さ83mという、日本の凍結工法にとっては長大なトンネルを、凍土で閉塞させ漏水ゼロを維持しながら、掘削を無事に成功させることが出来た。凍結工法を施工する上で、凍結管埋設精度の向上、凍結設備設置場所の環境、壁面(外気)から侵入する熱、構築際の漏水(水流)への対応を踏まえた施工計画は重要なポイントである。今回得られた経験を、今後の施工管理において役立てたいと考える。

【参考文献】1) 齋藤・若尾他：香港地下鉄西港線における凍結工法による全長100mのトンネルの設計・施工事例(その1), 土木学会第71回年次学術講演会, 2016.

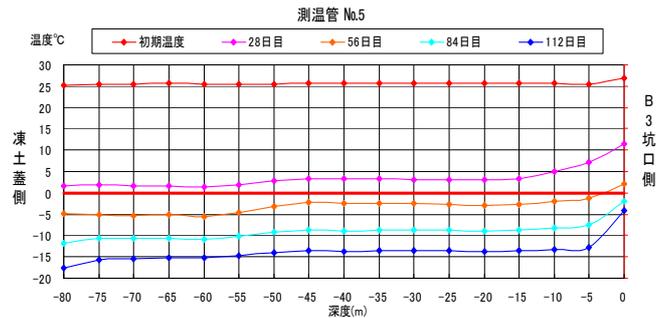


図-3 深度別測温結果

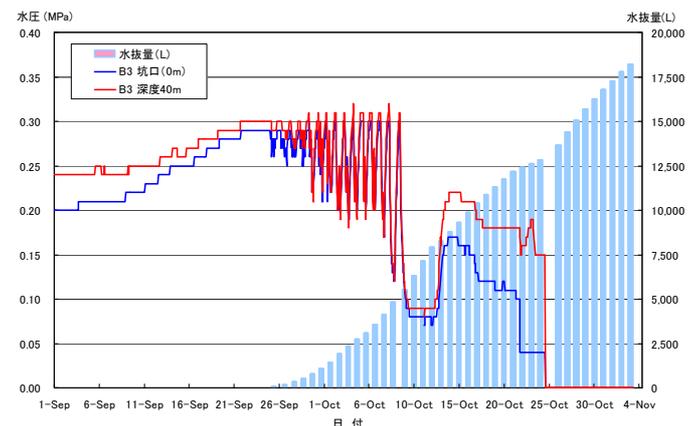


図-4 閉塞部水圧と水抜量

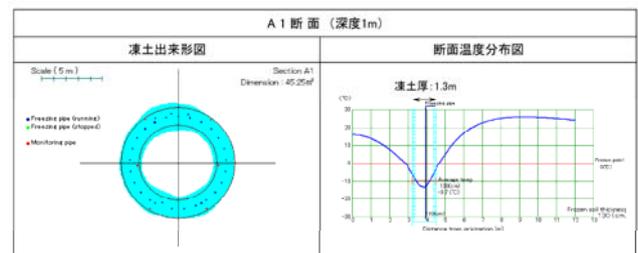


図-5 数値解析結果例