

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)

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 (非) 若尾政克, (非) 清水達郎, (非) 西村友彦

(株)精研・凍結本部 (正) 森保史, (非) 新井聡

香港地下鉄西港線延伸工事のうち、C704 工区は、2つの地下駅、4本の鉄道トンネル、11の立坑およびこれらと結ぶ連絡地下通路を含む工事である。トンネル総延長 5.7km、掘削総土量 53 万 m³、計画工期 52 ヶ月の工事である。そのうち、B3 通路は B3 出入口と B1/B2 出入口を結ぶ総延長 100m の乗客用通路であり、トンネル上にある既存ビルへの影響を最小限にするため、凍結工法で施工された。B3-1 (延長 83m) と B3-2 (延長 20m) の 2 分割で施工された当該トンネルは、2013 年 7 月に凍結を開始し、2015 年 11 月に無事掘削を終了し、2016 年 3 月 27 日全面開業した。本報文では、凍結工法による全長約 100m のトンネルの設計・施工について述べる。

1. 施工対象トンネル

施工対象は、香港地下鉄西港線延長工事 C704 工区のうち、Sai Ying Pun 駅に連絡する総延長 100m の B3 通路である。B3 通路は、土被り約 30m に位置し、直径 2 本のトンネルが連結した形状であり掘削径は約 6.5m である。まず B3 出入口側から B3-1 トンネル (延長 83m) を施工し、覆工コンクリートまで終了した後、B3-1 トンネルから B1/B2 出入口に向かって B3-2 トンネル (延長 20m) の 2 分割で施工を行った (Fig.1)。

2. 地質条件および周辺環境

B3-1 トンネルについては、CDG (Completely Decomposed Granite) と呼ばれる完全に土砂化した花崗岩を通過する (Fig.2)。B3-2 トンネルについては、B3-1 との連結部分側延長 10m では CDG を通過するが、B1/B2 出入口側延長 10m については、コアストーンと称される非常に大きな転石が存在する (Fig.3)。また、地上には古いビルが密集しており、年代的に古く、浅い基礎あるいは杭基礎の場合でも RC 既製杭で支持層に達しておらず、設計図書が残存していない場合もある。設計段階で止水グラウトと凍結工法の比較を行ったが、沈下を抑制するため完全な止水が必要と判断し、凍結工法を採用した。

3. 凍結工および支保工の設計

設計に際して、掘削後、設定した自立時間内は凍土リングのみによって全土圧を受け持ち、自立時間後は構成支保工および吹付けコンクリートによって支保されるものとした。香港においては欧米の凍土設計手法に準じて、クリープを考慮して設計を行い、クリープ特性は ASCE 基準によりパラメータ設定した¹⁾。凍土の特性は以下のとおりである²⁾。①-5℃/-10℃/-20℃の一軸圧縮試験圧縮試験の結果 (Fig.4)、-10℃より温度が低い場合は延性的な挙動を示す。②-10℃で異なるひずみ速度で行った一軸圧縮試験圧縮試験の結果 (Fig.5)、ひずみ速度が 0.1



Fig.1 位置図および平面図

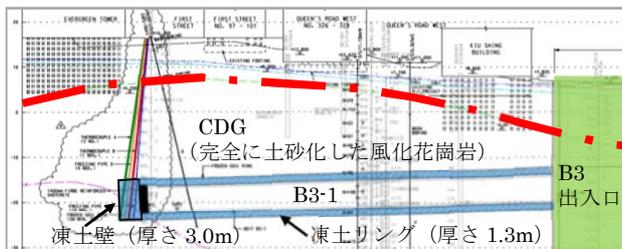


Fig.2 B3-1 トンネル縦断面図

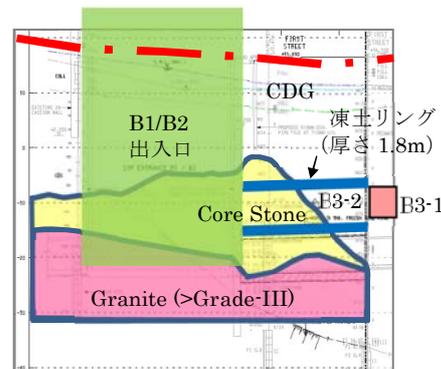


Fig.3 B3-2 トンネル縦断面図

キーワード 香港, 地下鉄, 凍結工法

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10F 西松建設(株)土木設計部 TEL03-3502-7595

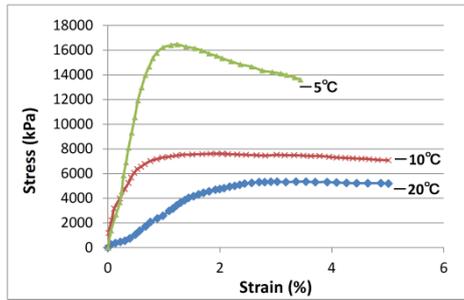


Fig.4 一軸圧縮試験

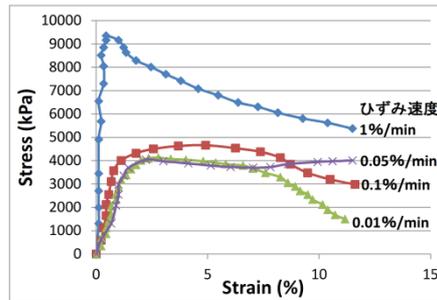


Fig.5 一軸圧縮試験 (-10°C)

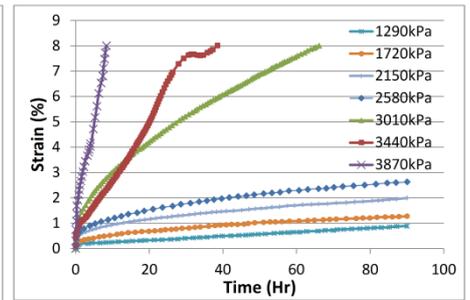


Fig.6 クリープ試験 (-10°C)

%/min 以下では脆性的な破壊を起こさない。なお、ひずみ速度 0.1%/min 以下の場合の破壊ひずみは概ね 4%であった。③荷重を変えたクリープ試験の結果 (Fig.6), -10°Cで圧縮力が 2580kPa 以下であればクリープ変形は比較的小さい。④圧縮力が 2580kPa 以下の場合、ASCE 基準による設計曲線と試験値とを比較した結果 (Fig.7), 両者はよく一致しており、ひずみ速度は 0.1%/min より 1 オーダー小さいレベルであった。以上より、平均温度を -10°C 以下、圧縮力を 2580kPa 以下として設計した場合、クリープの影響は比較的小さいと考えられる。B3-1 トンネルでは、FEM 解析により、厚さ 1.3m、平均温度 -10°C 以下の凍土リングの自立時間を 2 週間に設定し (応力度の安全率=2), 2 週間後からは H-203×203×46kg/m UC(Grade S275)@1m および吹付けファイバーコンクリート $\sigma_{ck7} = 25MP$ ($t=293mm$, ただし凍土に接する 43mm は設計上無視した) により支保する設計とした。B3-1 のトンネル断面の変形や支保工断面力の増加は無視しうる程度であったため、B3-2 の設計では安全率を 1.5 に低減し同様な設計を行った。

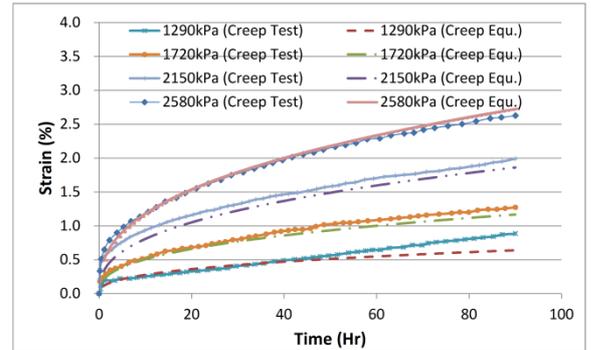


Fig.7 クリープ試験結果と ASCE 式の比較 (-10°C)

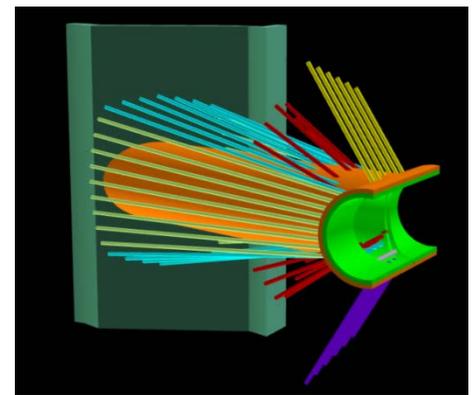


Fig.8 B3-2 凍結管配置図

4. フェーズ 1 (B3-1 トンネル)

B3-1 トンネルは延長 83m で、凍結工法による施工としてはアジアでは長大といえる。凍結管削孔とその精度に苦慮したが^{1) 3) 4)}, 本報文 3. で述べた 1.3m の凍土リングおよび支保工で無事掘削を完了した。

5. フェーズ 2 (B3-2 トンネル)

B3-2 トンネル施工開始時期には、既に B1/B2 出入口は供用されていたため、凍結管の削孔は B3-1 側からしか行えなかった。そのため、Fig.9 示すように凍結管を斜めに打設し全断面 2 段になるよう施工した。上部凍結管はキャノピーとしての機能を兼ねており ($\phi 168mm$ 肉厚 12.5mm), B3-1 から直径 3.7m のパイロットトンネル (凍土厚 1m) で掘削を開始し、引続き直径 6.5m の全断面掘削 (凍土厚 1.8m) で B1/B2 に到達した後、パイロットトンネル部分を拡幅して無事掘削を終了した。

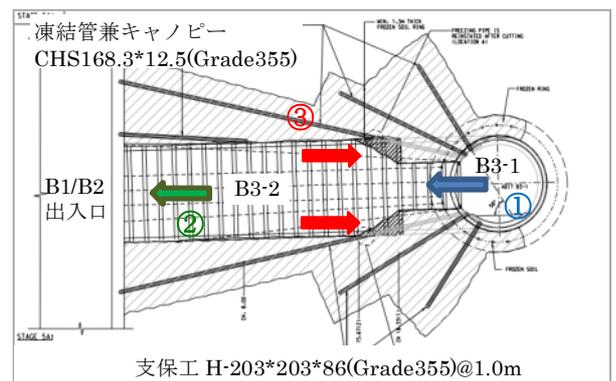


Fig.9 B3-2 掘削順序

【参考文献】

- 1) 香港の地下鉄工事におけるクリープを考慮した凍結工法の設計事例: 齋藤禎二郎 (西松建設), 森保史 (精研), Raymond Cheung (Mott MacDonald) ほか, 第 69 回土木学会年次講演会, III-209, 2014.
- 2) Design consideration for artificial ground freezing for passenger adit construction for the Hong Kong MTR West Island Line: Y. Y. Chan, M. J. Swales, W. M. Cheung, K. H. Chu, ICE HKA Annual Conference 2015, pp.65-78, 2015.
- 3) 香港における土砂化した風化花崗岩中の凍結工法による延長 100m の横坑掘削: 若尾政克, 清水達郎, 齋藤禎二郎 (西松建設), 西松建設技報(Vol.37,CD-ROM), 2014.
- 4) 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): 森保史, 新井聡 (精研), 齋藤禎二郎, 若尾政克, 清水達郎, 西村友彦 (西松建設), 第 71 回土木学会年次講演会 (投稿中)