

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

西松建設(株) 土木設計部 (正)○齋藤慎二郎, 香港支店 清水達郎/若尾政克/Mask Lee
 (株)精研 (正)森保史/新井聡, Mott MacDonald Raymond Cheung, Waiman/Chu, Andriy
 Gammon Construction Limited Chi Chiu Hau/Anthony John Frame
 Mass Transit Railway Corporation Limited, Hong Kong NG Brian Siu Lun

1. はじめに

現在, 香港において建設中の地下鉄西港線延伸工事 C704 工区では, 一部に CDG(Completely Decomposed Granite) と呼ばれる風化花崗岩起源の土砂地山が分布していることから, 乗客用通路トンネル建設による地下水位低下が地表部の既設集合住宅等へ及ぼす影響を最小限に抑制することを目的として, 凍結工法が採用されている. 本報では, 当該工事で行われているクリープを考慮した凍結工法の設計事例について報告する.

2. 工事概要

当該工区(図-1)は, 2 基の地下空洞駅舎(断面積 323m²~348m², 土被り 40m~90m), 9 箇所の出入り口・1 箇所の換気立坑・1 箇所の仮設立坑(深度 40m~90m)を建設する工事であり, トンネル延長約 5.7km(断面積 27m²~108m², 土被り 20m~90m)の工事である. 本報で対象とするのは, 上記工事のうち, 図-2 に示す 2 つの出入り口を連絡する通路 B3-1 (83m) および B3-2 (20m) トンネルで, 掘削内径は 6486mm, 断面積 27m², 土被り 20m~30m である. 2014 年 3 月現在, B3-1 トンネル掘削を終了し, 引き続き B3-2 トンネルの施工を予定している.



図-1 西港線地下鉄延伸工事 / C704 工区

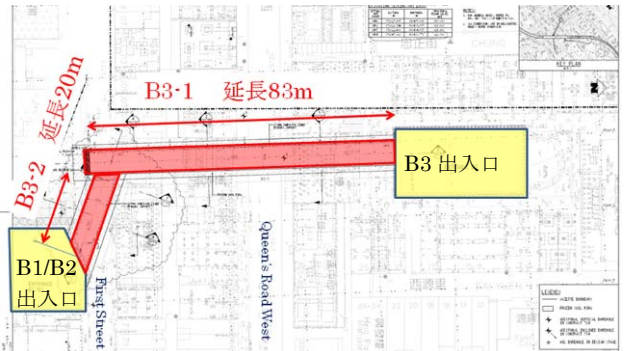


図-2 凍結工施工対象トンネル

3. 凍土リングの設計手法

香港における凍土の設計については独自の設計基準は存在しないが, ヨーロッパで用いられる設計法を踏襲しており, 強度・変形特性についてクリープの影響を考慮する.

凍土は, 一定温度下では一般的に図-3 に示すようなクリープ特性を示すと言われている¹⁾. クリープは 3 つの段階に分けられるが, 当該工事では式-1 に示すような最初の 2 段階までの挙動を再現するモデル²⁾を採用した. 式-1 による強度特性と変形特性の時間経過に伴う低下傾向は, いずれも同様の傾向を示すが, 当該現場の許容圧縮応力の経時変化を図-4 に示す.

$$\varepsilon = A \times \sigma^B \times t^C \quad (\text{式-1})$$

ここに, A, B, C: 室内試験から求められるパラメータ, ε : ひずみ,

σ : 応力 (一軸圧縮強度の 30% 以下の範囲), t : 経時日数

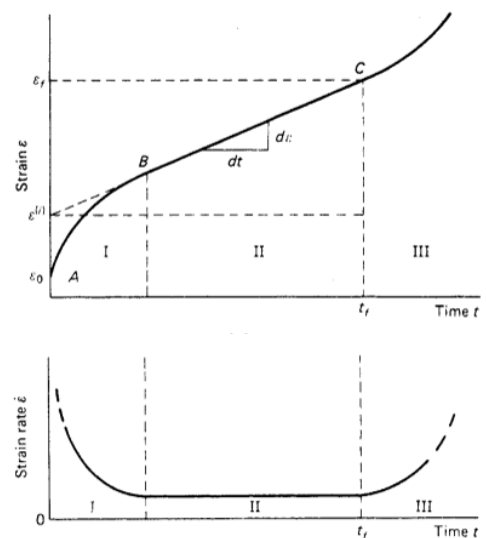


図-3 凍土のクリープ性状概念図

キーワード 凍結工法, トンネル, 設計手法, クリープ, CDG (Completely decomposed granite)

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 西松建設(株)土木設計部 TEL 03-3502-7639

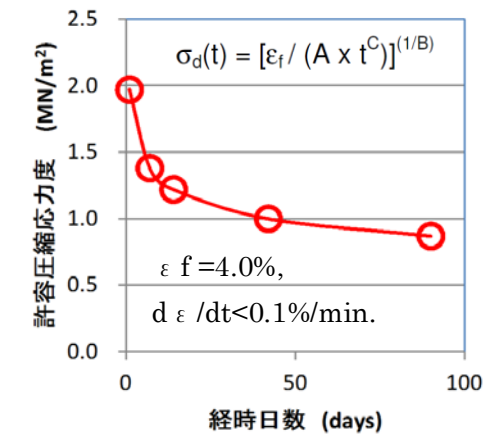


図-4 強度の低下傾向例

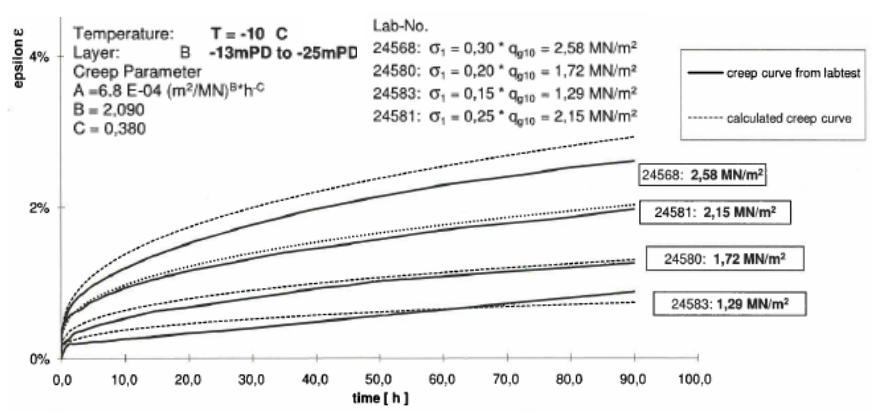


図-5 一軸クリープ試験結果

表-1 強度・変形特性一覧表

Time-dependent Frozen Soil Parameter (at Temperature = -10°C)																						
Soil	Uniaxial compressive strength	Friction Angle	Young Modulus					Allowable Compression Stress					Allowable Tensile Stress					cohesion				
	q	ϕ	E _s (t)					σ _d (t)					σ _t (t)					c _g (t)				
	MN/m ²	-	MN/m ²					MN/m ²					MN/m ²					MN/m ²				
			1d	1w	2w	6w	3m	1d	1w	2w	6w	3m	1d	1w	2w	6w	3m	1d	1w	2w	6w	3m
CDG	8.6	13.3	351	246	217	178	155	1.97	1.38	1.22	1.00	0.87	0.39	0.28	0.24	0.2	0.17	0.78	0.55	0.48	0.40	0.34

注) 実設計に当たっては 2 週間 (表中の 2w) を凍土による支保期間とした

設計に当たっては、不攪乱試料を採取し、設計平均温度である-10℃の条件下でクリープ試験を含む室内試験を行い、強度・変形特性を決定した。当該工区における一軸クリープ試験結果を図-5 に、クリープに伴う強度・変形特性を表-1 に示す³⁾。時間の経過に伴って強度・変形特性が低下するので適切な施工時間設定が必要である。当該工区では2週間を掘削後の凍土のみによる支保期間として設定し、その後は、鋼製リングおよび吹き付けコンクリートによって地山の安定を図ることとした。

当該工区における設計では、凍土の設計温度は平均-10℃、設計リング厚さは1.3mとした。また、仮設支保工としては、H-203×203 鋼製リング@1m、吹き付けコンクリート 25MPa/293mmである。尚、凍土に直接付着する外側 65mmは設計上無視した。

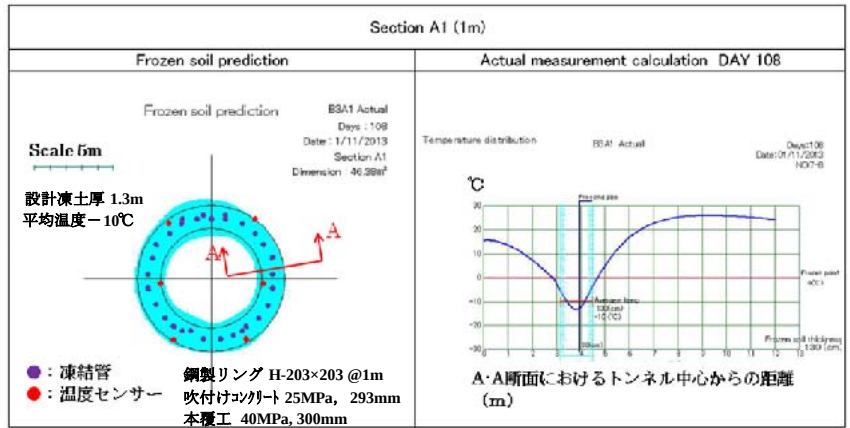


図-6 差分コードによる施工中の凍土造成の解析結果例

4. 管理値の設定

凍土の管理は、延長方向に 5m おきに設置された各断面 6 箇所の温度センサーの計測値によって行った。凍結管および温度センサーは、80m 以上の水平ボーリングによって設置され施工誤差のため設計どおりの場所にはない。そこで、温度センサーが設置されている断面ごとに実測断面を作成し、各断面で図-6 に示すような数値解析を行って随時状況を確認するとともに、各段階での管理値を設定しリアルタイムでモニター管理した。

5. まとめ

施工に関しては、日進 1m で全断面掘削・仮設支保工の閉合を行い、1 本目の 83m の掘削を無事完了した。無支保区間は約 1.5m と短く、切羽はほぼ全面凍結しており地下水の漏出による地下水位低下も防止されていたため、トンネル断面の変形は小さく、地表面の変状も見られなかった。

【参考文献】 1)Orlando B. Andersland and Branko Ladanyi: Frozen Ground Engineering Second Edition ASCE, 2004. 2)Klein, J: Nichtlineares Kriechen von künstlich gefrorenem Emschermergel, SIG, W&V, Ruhr-Universität Bochum, Serie Grundbau, Heft 2, 1978. 3)Mott Macdonald: Design report Package06A SYP Passenger Adit B3-1 & B3-2 Temporary Works,2013.