

坑口部における地表面からの止水グラウトの施工報告

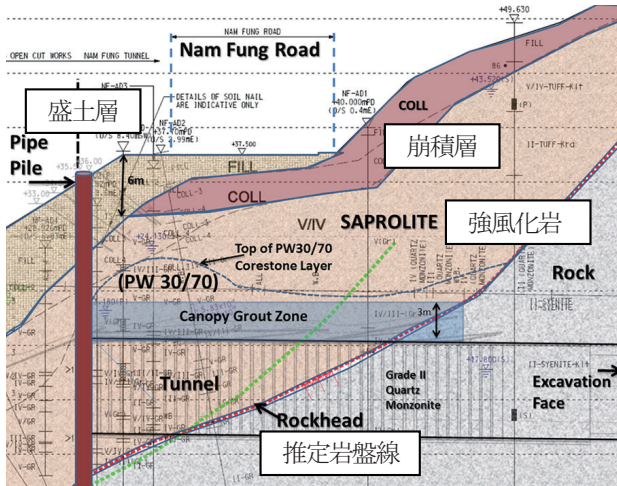
小塚 孝*
Takashi Kozuka

1. はじめに

本工事は、香港における地下鉄新線南港線工事のうち、地下鉄本線トンネル（本線延長3.24 km）、高架部（本線延長0.22 km）、香港公園換気立坑及び南風換気塔の建設工事である。本報告は南風坑口において、トンネル掘削に先行して施工した止水グラウトについて報告するものである。

2. 地質概要

南風坑口部は、図一に示すように、強風化モンズナイト（マサ化、部分的に巨礫混じり）、崩積層及び盛土層から形成されており、地下水位は地表面から約10 m下がり、トンネル天端から約6 m上と高かった。また、透水係数は 10^{-5} (m/sec) と高く、トンネル掘削中の湧水が懸念されていた。



図一 南風坑口部地質縦断面図

3. 施工

(1) 目的

以上の地質条件を考慮して、トンネル掘削に先行し、以下の坑口部地下水位低下対策および天端部の安定工法を実施した。

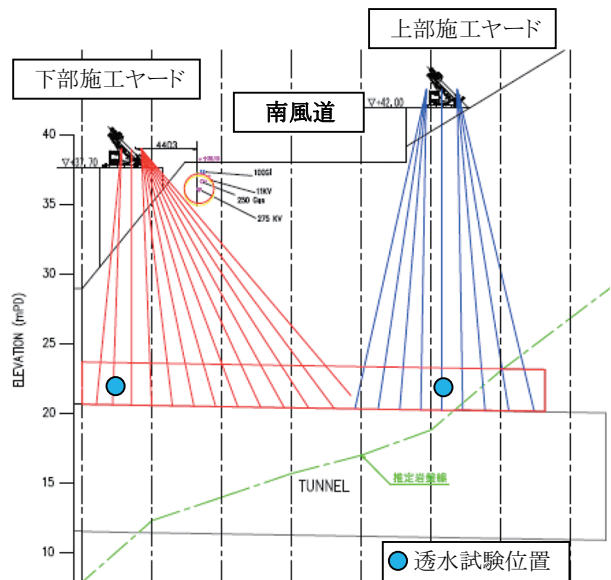
- ① ディープウェル

- ② 重力式排水ドレーンパイプ（立坑内に設置）
- ③ 注入式長尺先受工（AGF工法）

しかし、立坑の土留め壁設置および掘削中に以下の事象が発生し、追加の対策が必要と判断した。

- ① 立坑土留め壁の鋼管杭打設中に、周辺地盤に想定以上の沈下が発生した。
- ② 沈下抑制対策工として施工したグラウトの注入量が想定以上に多かった。
- ③ 立坑の掘削中に土留め壁の背面に空洞が発見された。
- ④ 坑口付近に設置したディープウェルからの揚水量が、増減はあったものの当初の想定をかなり上回った。

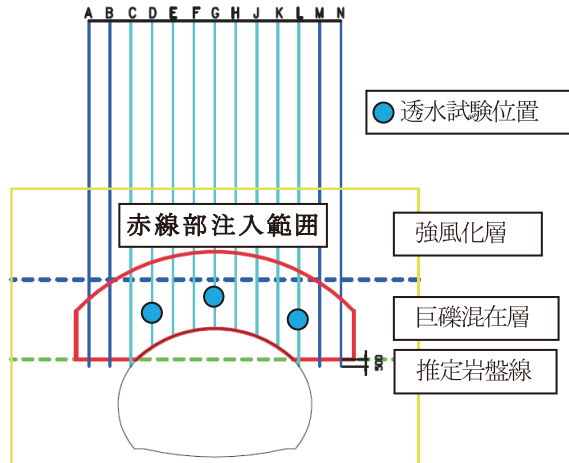
これらの事象より判断すると、地下水位低下対策工のみでは、トンネル掘削時において、地下水が岩盤と土砂地山の境界部を伝わりトンネル内に流入し、湧水が切羽天端部の崩壊を引き起こすことが懸念された。このリスク回避策として、事前止水グラウトをトンネル天端部に実施することとした。当該時期は立坑掘削中であり、立坑掘削作業の障害にならず、注入を並行して施工できるように地表面から行うこととした。作業ヤードの制約条件（道路占用、立坑掘削並行作業等）を考慮して、地表面から深さ約20~30 mを斜方向に削孔し、トンネルアーチ上部を有効に注入できるように配置した（図二参照）。



図二 グラウト配置縦断面図

注入範囲は天端部120°範囲とし、厚さ3 mの改良体とした。また岩盤との境界部を削孔中に確認し、最小50 cmの根入れを確保することとした。また、境界部は巨礫が混在し岩盤線の判定が難しいため、削孔長を2 m延長して注入を行った（図三参照）。

* 海外（支）南港線地下鉄（出）



図一三 注入断面図および注入範囲

(2) 施工方法

南風道直下には高压線、上下水等が設置されており、また道路占用のための許可申請には非常に時間を要するため、道路を跨ぎ両側法面部に施工ヤードを設置した。しかし施工ヤードが非常に狭くまた木製の足場のため、軽量且つ小型の削孔機を選定する必要があった。また、縦断方向のみならず横断方向にも斜掘する必要があり、削孔角度を自在に調整できる RPD-100SL-F2 を選定した。図一三に示す通りトンネル断面を横断方向 1.5 m 毎に分割 (A~N, 13 断面) し、縦断方向も同様に 1.5 m 毎に分割 (22 断面) し、削孔機 2 台で施工を行った。



写真一 削孔状況

注入方法は経済性、浸透性を考慮し、セメントベントナイトによる一次注入の後、ダブルパッカーを使用する溶液型水ガラス系注入材 (シリカライザー) による二次注入とした。一次注入時に、セメントベントナイトにより大きな空洞を充填することにより、溶液型水ガラス系注入材の二次注入量を抑え、限定注入を行うことにより、浸透性の効果を高めることを目的とした。注入率は、対象地山の透水性等の特性を考慮して、セメントベントナイト 5%、溶液型水ガラス系注入材 20% と想定した。実際の注入率は、セメントベントナイト 5.9%、溶液型水ガラス系注入材 12.2% と想定より少ない結果となった。

4. 結果

止水グラウトの効果を確認するために、注入前後における透水試験を実施した。表一に透水試験結果のまとめを示す。

表一 透水試験結果

位置	深度 (m)	地質	注入前	注入後
			(m/sec)	(m/sec)
左肩部	17.3—17.8	強風化	1.03×10^{-4}	2.86×10^{-7}
	24.7—25.2	強風化	2.74×10^{-5}	3.09×10^{-7}
天端部	13.7—14.2	強風化	1.06×10^{-5}	5.07×10^{-7}
	16.4—16.9	強風化	1.63×10^{-5}	8.26×10^{-8}
右肩部	15.8—16.3	強風化	9.19×10^{-8}	5.04×10^{-7}
	18.8—19.3	強風化	7.66×10^{-8}	8.35×10^{-8}

透水試験結果からわかるように、いずれの場所においても、グラウト実施後の透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ (m/sec) 程度であり、注入による改良効果が確認できた。また、トンネル掘削開始前に切羽鏡面より前方探査 (2 本, 30 m) を実施し湧水の有無を確認したが、滴水程度であり良好な止水ゾーンを構築できたと考えた。トンネル掘削時においても切羽からの湧水は無く、トンネル切羽の自立性も良好で、崩落等も見られなかった。さらに、トンネル掘削時の道路沈下も、許容範囲内に抑えることができた。



写真二 坑口部切羽状況

5. おわりに

今回実施した止水グラウトは、地表面から斜方向に約 20~25 m の深度まで削孔し、トンネルアーチ上部に注入するものであり、削孔および注入に高い精度を必要とした。香港ではあまり例を見ない、既設道路下への地表面からの止水グラウトの施工であったが、期待した止水効果も十分得られ、無事に坑口部の掘削も完了した。