

大土被り高温岩体での TBM 掘削 —マレーシア パハン・セランゴール導水トンネル—

清水建設(株) 正会員 松下 文哉
清水建設(株) 正会員 水戸 聡
清水建設(株) 正会員 松本 高之

1. はじめに

マレーシア パハン・セランゴール導水トンネルは延長 44.6km におよぶ東南アジア最長のトンネルである。導水トンネル本体は、3つのTBM (Tunnel Boring machine) 工区 (全長 34.6km)、4つのNATM 工区 (全長 9.1km)、1つの開削トンネル工区 (全長 0.9km) の計 8 工区で施工された。トンネル中央に位置する TBM 工区では、土被りが 1,000m 以上の区間が 5km、最大土被りが 1,246m に達し、土被りの増加に伴う岩盤温度の増加が確認された。最大岩盤温度は 55℃、岩盤温度が 50℃以上の区間が 5km におよんだ。

本稿では、高温岩体区間での TBM 掘削について報告する。

2. 地形・地質概要

パハン・セランゴール導水トンネルはマレーシア半島を南北に縦断するティティワンサ山脈、標高 50m～1300m 程度を東西に横断する。山地構成体は、ペルム紀 (約 2 億 9,900 万年前～約 2 億 5,100 万年前) から三畳紀 (約 2 億 5,100 万年前～約 1 億 9,960 万年前) に形成された硬質な花崗岩 (細粒花崗岩～粗粒花崗岩) がほぼ全体を占め、起点側に堆積岩が分布する。地質縦断実績図を図-1 に示す。

3. 土被りと岩盤温度、湧水温度の関係

岩盤温度、湧水温度、坑内湧水量のトンネル縦断分布を図-2 に示す。TBM-2 工区では土被り増加に伴い、岩盤温度も上昇し最大岩盤温度実測値は 55℃に達した。TBM-1 工区は TBM-2 工区のような土被り増加に伴い、岩盤温度も上昇する顕著な現象は生じなかった。これは、TBM-1 工区における大量湧水が岩盤温度上昇を抑制していると推察される。図-3 にトンネル掘削面から地中方向に穿孔された孔内の岩盤温度分布を示す。深度 0～8m 間ではトンネル掘削により岩盤温度が 7.5℃低減され、8m 以深では岩盤温度が一定であることが確認された。

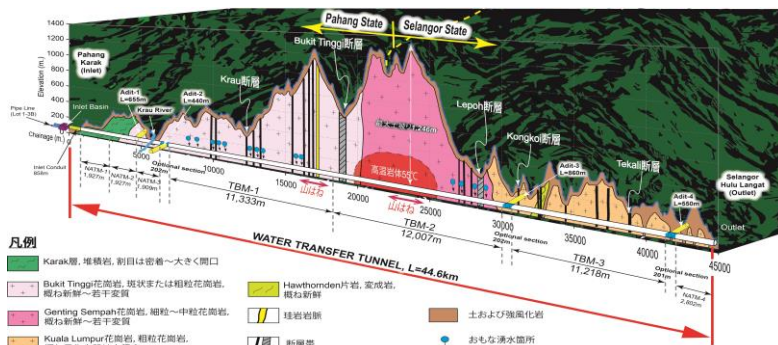


図-1 地質縦断実績図

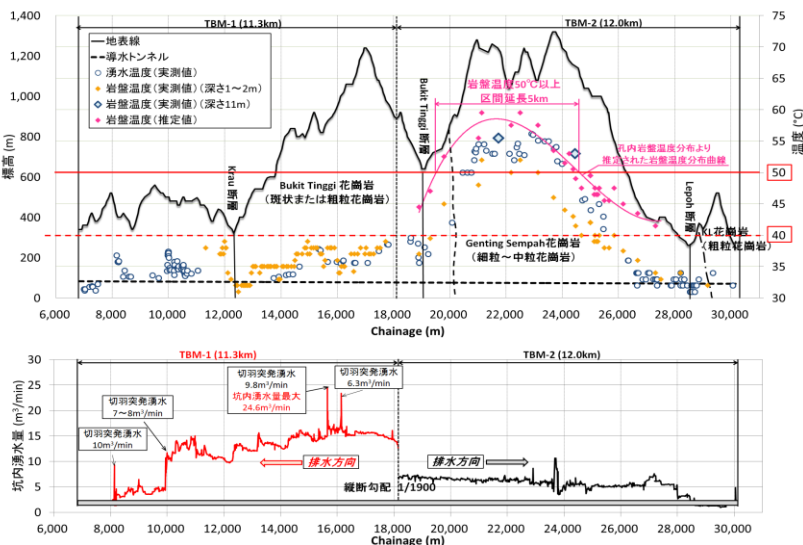


図-2 岩盤温度、湧水温度、坑内湧水量の分布

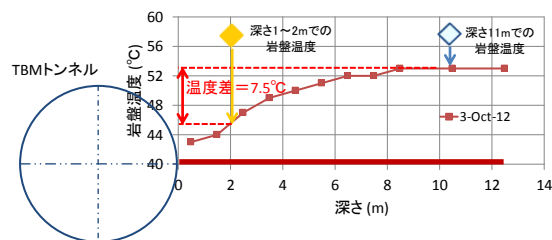


図-3 孔内岩盤温度分布

キーワード：大土被り、高温岩体、水冷式冷却設備

連絡先：東京都中央区京橋 2 丁目 16-1, Tel. 03-3561-3891, Fax. 03-3561-8672

4. 高温対策

高温岩体区間の坑内最大温度は 43℃に達した。TBM 掘削開始当初より TBM に水冷式冷却設備を設置していたが、TBM 掘削時の岩盤とカッタの摩擦による発熱（TBM カッタヘッド内部温度約 50℃）と、TBM への給水温度の上昇（トンネル延長 1km あたり 1.1℃上昇）により、当初の冷却設備能力では作業員および機械電気設備への負担が大きくなり TBM 掘削進捗が著しく低下した。トンネル全体を 35℃に冷却するためには合計 3,500kW の冷却設備が必要となり、これによる機械費の大幅な増加、給水設備の大幅な増設が必要となる。そこで本工事では、高温対策として以下の事項を実施した。

- TBM 作業場所である TBM 後続台車間の冷却を目的とした、TBM 後続台車搭載水冷式冷却設備の増設（450kW×1 台→450 kW×2 台）
- 水冷式冷却設備増設に伴う給水管の増設（1.5m³/分→3.0m³/分）
- チラーによる給水温度の低下
- 給水管に断熱材を設置して TBM 先端までの給水温度上昇を抑制
- 坑内人車と機関車運転室への水冷式冷却設備の設置（写真-1～2）
- 坑内軌条保守点検作業等は前記の坑内人車を休憩台車として使用し、2 班による交替作業にて行った（作業時間：10～15 分、休憩時間：45～50 分）。坑内温度 43℃地点での坑内人車内温度は 31℃。

上記対策の実施により、図-4 に示すように TBM 後続台車後端の作業場所の坑内温度は改善され、高温岩体区間で TBM 掘削平均月進行 324.1m であった。図-5 に TBM 掘進実績を示す。



写真-1 TBM 後続台車水冷式冷却設備



写真-2 水冷式冷却設備搭載人車

5. まとめ

最大岩盤温度が 55℃、岩盤温度が 50℃以上の区間が 5km と長い高温岩体区間での TBM 掘削工事で得られた知見を以下に示す。

- 高温岩体影響前の TBM 掘削平均月進行は 415.1m であり、高温岩体区間での高温対策実施後の TBM 掘削平均月進行は 324.1m と、TBM 掘削進捗低下は 22%に抑えることができた。
- 坑内人車に水冷式冷却設備を設置して坑内作業用休憩台車として活用させたため、坑内軌条保守点検作業を行うことができた。
- 高温対策による作業員への負担軽減により、重大災害ゼロ件で高温岩体区間の TBM 掘削工事を完了させた。

最後に、本工事で実施した大土被り高温岩体下での高温環境対策が、今後の同種条件の工事に役立てて頂ければ幸いである。

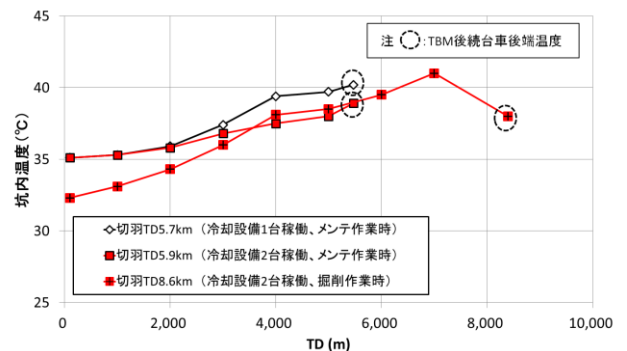


図-4 作業場所温度改善効果

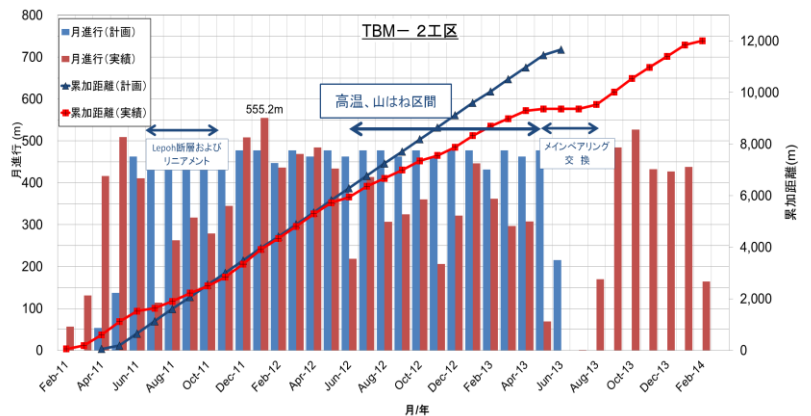


図-5 TBM 掘進実績 (TBM-2 工区)

参考文献

- 1) 河田孝志ほか：大量湧水や高温岩体を伴う花崗岩大土かぶり部 35km を TBM で突破，マレーシア・パハンセランゴール導水トンネル，トンネルと地下，Vol. 45，No. 8，pp. 27-38，2014