

# 日韓トンネル通信

**編集/発行****特定非営利活動法人  
日韓トンネル研究会**事務局：東京都千代田区飯田橋4-1-11  
〒102-0072 信濃ビル6階  
TEL 03-3265-8813 FAX 03-3237-1012  
E-mail office@jk-tunnel.or.jp九州支部：福岡市南区老司3-5-28-605  
〒811-1346  
TEL 092-566-7110  
☎0120-09-2188

## (報告)講演会が行われました。

2015年6月25日(木)、一般社団法人日中科学技術文化センター(本部：東京都千代田区神田小川町)主催の日韓トンネルに関する講演会が開かれた。講師は当会の野澤太三会長で、テーマは「日韓トンネル構想と実現への展望」である。野澤会長の約1時間にわたる力強い講演に、二十数名の聴講者は身を乗り出して聞き入った。講演後、会場からは「地下資源の豊富な北朝鮮が参加すれば収支採算は十分に取れるだろう」「中国でもぜひ講演して欲しい」などの声があがった。

## (報告)幹事会が開かれました。

2015年8月18日(火)、千代田区飯田橋の当会本部で幹事会が開かれ、6月16日開催の第12回通常総会で承認された平成27年度事業計画について、その詳細内容と進め方の時期や方法を検討した。

## (報告)第7回トンネル工法勉強会が行われました。

第7回トンネル工法勉強会が、2015年8月18日(火)、千代田区飯田橋の当会本部で行われた。

日韓トンネルが通る壱岐には砂岩頁岩の互層からなる勝本層が、対馬には花崗岩が一部



写真-1 勝本層の露頭(壱岐島の北西部)

貫入した露頭があり、これらの硬岩を掘削可能なTBM(トンネル・ボーリング・マシン)の開発が必要である。また海底部の掘削では3MPaの水圧に対抗可能な水密性も要求される。さらに一台のTBMで10~15km程度を掘削できることも重要となる。なお、TBMによる長距離掘削に関してはスイスのゴットハルト・ベーストンネル(57km)やマレーシアのパハン・セラングール導水トンネル(44.6km)等で達成しており、硬岩対応のカッタの適切有効な交換も可能となっている。

今回の勉強会ではマレーシアのパハン・セラングール導水トンネルの建設所長として現場を指揮した清水建設(株)の河田孝志氏を講師に招き、同トンネル建設で遭遇した難局への取組みや巨大現場のリスク回避などについて勉強した。パワーポイント108枚を使った約1時間の講演のなかから特にTBMに関する部分を紹介する。

テーマ：大深度・硬岩でのTBM掘削

講師：清水建設株式会社 土木技術本部

本部長 河田孝志

## 1. パハン・セランゴール導水トンネルプロジェクトの概要

該当プロジェクトは、マレーシアの首都クアラルンプールのあるセランゴール州に、隣接するパハン州から州界となっているマレー半島の脊梁山脈を横断する直径5.2m、総延長44.6kmの導水トンネルを建設することで、日量189万m<sup>3</sup>の生活・工業用水を自然流下方式で供給しようとするものである(図-1)。

発注者はマレーシア政府のエネルギー・環境技術・水資源省で、施工者が清水・西松・UEBM/IJM 共同体(JV)である。資金はJICA75%、マレーシア政府25%が出資し、工事金額は384億円、工期は2009年6月から2014年5月までの5年間である(表-1)。

トンネルの総延長44.6kmは世界第11位、東南アジア最長で、最大土被り1,246mは世界第8位で高土被り地山のリスクを伴う工事となった。また山自体が約4~2億年前に形成された硬い花崗岩がほぼ全体を占めるためTBMの平均月進480mという厳しい工期設定を達成するためにカッタ交換などに工夫をこらした。工事は3つのTBM工区と4つのNATM工区、1つの開削工区の計8工区で行われた。NATM



図-1 パハン・セランゴール導水トンネルの位置

表-1 プロジェクトの概要

プロジェクト概要	
工事名称	パハン・セランゴール導水トンネル
発注者	マレーシア政府 エネルギー・環境技術・水資源省 (Ministry of Energy, Green Technology and Water)
計画地	マレーシア セランゴール州~パハン州
工期	2009年6月1日~2014年5月30日(5年, 1,825日)
設計・施工監理	東電設計・SMEC(豪州)・SMHB(マレーシア)JV
施工者	清水(30%)・西松(30%)・UEMB(20%)・IJM(20%)JV
工事概要	導水トンネルL=44.6km(トンネル掘削L=43.5km) TBM(3工区) L=34.4km、D=5.2m NATM(4工区) L=9.1km、W=5.2m、H=5.2m 作業横坑Adit(4工区) L=2.5km、W=6.7m、H=5.2m明かり工事(2工区) L=0.9km アクセス道路L=15.9km

区間は当初の予想よりも地山が弱く湧水も多かったが、計画よりも5か月早く着工したため工程の遅れを最小限に留めた(図-2)。

## 2. TBM掘削

### 2.1 TBMの仕様

総延長44.6kmのうち34.4kmを掘削するTBMは、最大一軸圧縮強度250MPaという非常に硬い岩への掘削対応が要求された。マシンは硬岩掘削に実績がある米国ロビンス社のオープンタイプTBMを採用した。装備した

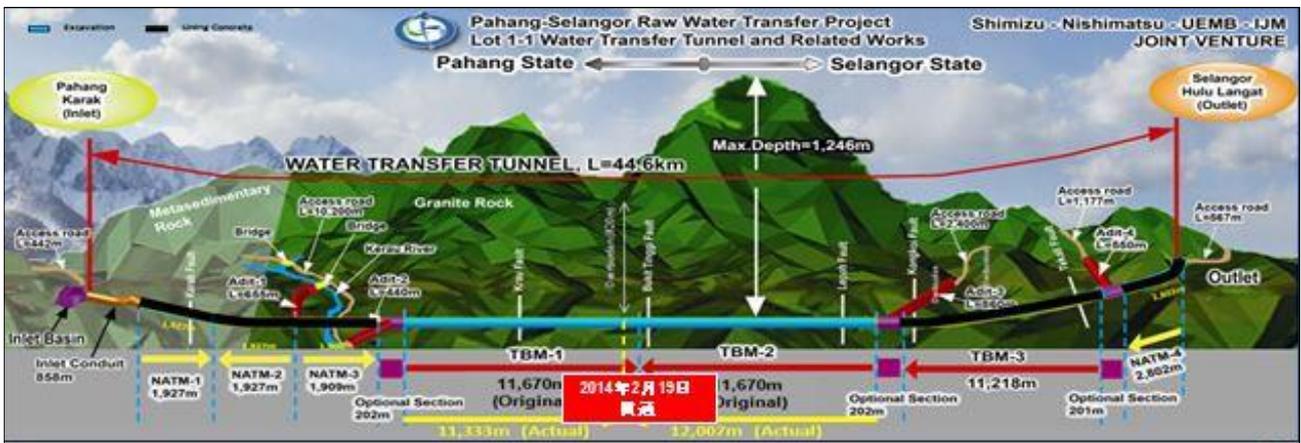


図-2 プロジェクトの概要(マレー半島の脊梁山脈を横断してパハン州からセランゴール州にトンネルで導水)

カッタトルク 4,054kNm、推進力 14,000kN は同クラスのマシンと比べ 30% 強力とした。掘削径は直径 5.2m で、カッタ数は 35 個である(写真-2)。

## 2.2. TBM 掘削での難局と取組み

最大月進は TMB-3 の 657m であるが、平均月進は 358m で計画平均月進の 480m には達しなかった(表-2)。その原因や対処は次の通りである。

### ①最大 24.6 m<sup>3</sup>/分に達した湧水

最上流部の TBM-1 工区は唯一の下り勾配の掘削で、何度も突発湧水に遭遇した。そこで地質学者の助言により湧水箇所と地形を照合したところ、突発湧水箇所と沢地形が一致した。掘進予定のルート上に沢地形が多かったため、急遽揚水ポンプを増設し揚水能力を 20 m<sup>3</sup>/分から 30 m<sup>3</sup>/分に高めた。そのため最大 24.6 m<sup>3</sup>の突発湧水にも対処できた(写真-3)。

### ②山はね

TBM-2 工区のうち土被り 1,000m 以上の 5km 間で側壁からの山はねが発生した。

### ③最大岩盤温度 55.5℃

土被りの増加に伴う岩盤温度の上昇に伴い、坑内温度環境が悪化した。そのため TBM に冷却装置(水冷式、能力 450kW)を増設した。

### ④カッタの摩耗と貫入量の低下

このトンネルの花崗岩は一般的な花崗岩と比較してカッタの貫入量が小さく摩耗度が大きかった。計画カッタ貫入量 6.1 mm/回転に対し実績は半分程度となった。カッタ貫入量低下による掘進速度の低下は労務シフトを 3 班 2 交代制とし 1 月あたりの稼働時間を計画 5 割増しの 720 時間として克服した(表-3)。

カッタ交換は毎日マシンを止め、許容最大摩耗量 35 mm に達したカッタ(1~3 個/日)をマシンの内側から取り外し新品のカッタと交換した(写真-4)。



写真-2 カッタ数35個のTBM

表-2 TBMの月進表

TBMの月進行					(完成)
トンネル 全長(m)	実掘削長 (m)	進捗 (%)	平均月進行 (m/月)	備考	
TBM-1	11,333.2	11,333.2	100.0	322.6	最大湧水 24.6m <sup>3</sup> /分、 山はね
TBM-2	12,007.0	12,007.0	100.0	350.4	レボ断層 最大岩盤温度55.5度 山はね
TBM-3	11,217.6	11,217.6	100.0	433.7	不良地山が多い
計	34,558.0	34,557.8	100.0	358.0	

最大月進 657m/月 TBM-3 2011年6月



写真-3 突発湧水 (TBM-1)

表-3 カッタ貫入量

	計画	TBM-1	TBM-2	TBM-3
岩石一軸圧縮強度(MPa)	143	131(岩6コア) 127(バシトコア)	116(岩6コア) 130(バシトコア)	94(岩6コア) 86(バシトコア)
純掘進速度(m/hour)	3.9	1.72	1.74	2.24
平均 カッタ回転速度(rpm)	10.6	9.9	10.3	10.3
平均カッタ貫入量(mm/rev)	6.1	2.9 (計画の48%)	2.8 (計画の46%)	3.6 (計画の59%)



写真-4 カッタ交換

### ⑤メインベアリングの損傷と交換

TBM のメインベアリングが TBM-1 で掘進延長 9,514m、TBM-2 が 9,363m 地点で損傷し、掘進が停止した（表-4、図-3）。メインベアリングの製作には 6 か月ほどかかるが、予備を準備しておく契約を結んでいたため、すぐに交換できた。交換は坑内を拡幅し天井に 3m ほどの穴を掘り、そこに新メインベアリングを吊るしたのち、TBM を 250m ほど後退させ、破損したメインベアリングを取り替えた（写真-5）。

### ⑥ベルトコンベヤのトラブル

切羽の掘削ずりを坑外に搬出する延長 11km のベルトコンベヤの接合部破断が 43 回も発生し、TBM の月進低下の大きな要因となった。

### ⑦カッタヘッドの摩耗

花崗岩の掘削ずりが細粒状となり TBM カッタヘッドの側面を激しく摩耗損傷した。11.3km の掘削を終えると 50 mm 厚だった側面の鉄板が薄皮一枚になっていた（写真-6）。

## 3. NATM 掘削

パハン側の地山が軟らかい区間と、セランゴール側の土被りが小さい区間の計 8,564m は 4 工区に分けて NATM で施工した。その平均月進は 118m で NATM-2 の最大月進 288m は当時の日本記録だった。

## 4. 徹底した安全管理

総延長 44.6km のトンネルを 5 年かけて掘削する大事業ではあったが、その間の労災死者はゼロだった。また 1,000 延実労働時間当たりの労働損失日数で災害の重さの程度を表す「強度率」0.006 は日本国内での一般的工事と比較して 1 桁少なく、マレーシア全国労働安全衛生表彰において優秀賞を受賞した。現場運営方針の①挨拶、②時間を守る、③整理整頓などの徹底もその大きな要因だった。

表-4 TBMメインベアリングライフ比較

	TBM-1	TBM-2	TBM-3
TBM先端位置	9,514m (全長11,333m)	9,363m (全長12,000m)	11,217m (掘削完了)
メインベアリング	8,598,279 rev	8,598,279 rev	8,598,279 rev
副メインベアリング	5,069,995 rev	4,728,46 rev	4,172,829 rev
メインベアリング損傷の有無	有	有	無

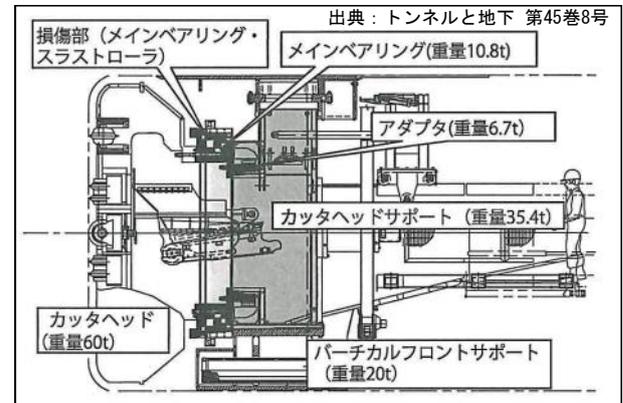


図-3 TBMのメインベアリング部



写真-5 新メインベアリングを拡幅部に収納



写真-6 掘削で摩耗したカッタヘッド側面

