

長距離硬岩 TBM でのメインベアリング損傷および交換
—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 ○吉成 英俊
清水建設（株） 正会員 岩野 健
清水建設（株） 正会員 松本 孝之

1. 概要

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 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。TBM 工区は最大一軸圧縮強度 200MPa の硬質な花崗岩が全体を占める。本稿では TBM 掘削時に生じた 2 台の TBM のメインベアリングの損傷と交換について報告する。

2. 工事の概要

トンネルの全体概要を図-1 に示す。最大土被りは 1,246m に達し、大土被りに伴う山はねの発生、岩盤温度 50℃以上の区間が 5km にもおよぶ高温岩体の存在、最大 10t/min の突発湧水の発生等の厳しい条件下でのトンネル工事であった。TBM 工区で使用した TBM の全景を写真-1 に、諸元を表-1 に示す。

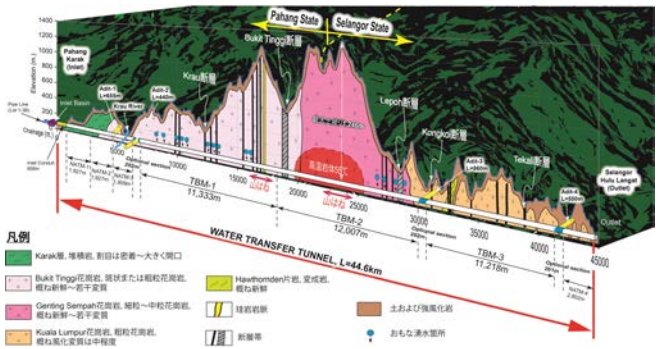


図-1 トンネル全体概要図

3. メインベアリングの損傷と損傷推定原因

TBM-1 が掘進延長 9,514m、TBM-2 が掘進延長 9,363m に達した時点で両 TBM のメインベアリングの損傷が確認され、メインベアリング交換のための掘進停止を余儀なくされた。メインベアリング取付け位置を図-2 に、損傷状況を写真-2～3 に示す。損傷までのカットヘッド累積回転数、TBM オペレーションのうち 10%がトンネル軸に対し偏心している場合のメインベアリングライフと 90%がトンネル軸に対し偏心している場合のメインベアリングライフを表-2 に示す。3 台の TBM のうち、TBM-1 と TBM-2 でほぼ同じ掘削延長およびカットヘッド回転数でメインベアリングに損傷が発生したことから表-3 に示す損傷原因を推定した。高温下での潤滑油粘性低下も原因の一つとして考えられるが、硬岩における TBM 能力上限でのオペレーションによりメインベアリング取付けボルト破断が発生し、それによりメインベアリングが偏心して損傷したと推定される。

表-1 TBM 諸元

TBM型式	オープンタイプ
掘削外径	φ5.2m
TBM全重量	420t(後続設備含む)
カット径とカット数	外周カット 19インチ27個 センタカット 17インチ8個
総推力	14,000kN
カットモーター出力	2,310kW(330kW×7)
装備カットトルク	4,054kN・m
メインベアリング材質	クロムモリブデン合金 AISI 4140 (JIS G 4105 SCM440相当)



写真-1 TBM 全景

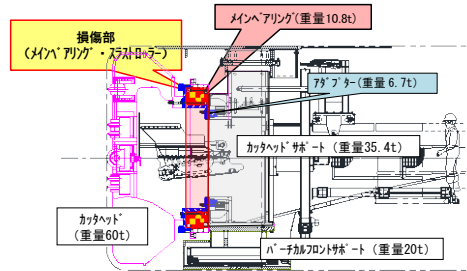


図-2 メインベアリング取付け位置図

4. メインベアリング交換

メインベアリングの製作には6カ月～1年を要することと、1 つの TBM 工区の施工延長が 11～12km と非常に長いことから、計画段階のリスク検討で予備のメインベアリングを 2 個 TBM 製作会社にて準備した。



写真-2 ロールラ損傷



写真-3 リーニングレースウェイ損傷

キーワード：TBM，硬岩，メインベアリング，海外

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

2 個の予備メインベアリングのうち 1 個はアメリカから航空便にて、残り 1 個は中国から船便にてマレーシアに搬入した。メインベアリング搬入までの期間に、トンネル内に交換作業用拡幅部の掘削、メインベアリングの TBM から切り離し作業、揚重作業用機材設置作業を行った。メインベアリング交換施工次第図を図-3 に、メインベアリング交換作業状況を写真-4～5 に示す。メインベアリング交換作業に要した期間は、TBM-1 で 2.5 カ月、TBM-2 は 2 カ月であった。

表-2 メインベアリング 損傷までの

カットヘッド 累積回転数とメインベアリングライフ

	TBM-1	TBM-2	TBM-3
トンネル延長	11,333.0m	12,007.0m	11,217.6m
TBM先端位置	9,514.1m (84%掘進完了)	9,363.1m (78%掘進完了)	11,217.6m (100%掘進完了)
カットヘッド累積回転数	5,060,985 rev	4,722,845 rev	4,172,829 rev
ベアリング損傷の有無	有	有	無
メインベアリングライフ (10%偏心運転時)	8,598,279 rev	8,598,279 rev	8,598,279 rev
メインベアリングライフ (90%偏心運転時)	6,461,359 rev	6,461,359 rev	6,461,359 rev
10%偏心運転時 ライフ低下率	41%	45%	
90%偏心運転時 ライフ低下率	22%	27%	

表-3 メインベアリング損傷推定原因

	TBM-1	TBM-2	TBM-3	原因 である可能性
メインベアリング損傷	有	有	無	
地山状態および TBMオペレーション 状況	硬岩地山がほぼ全線を占める。 最大一軸圧縮強度: 202MPa 平均一軸圧縮強度: 131MPa	硬岩地山がほぼ全線を占める。 最大一軸圧縮強度: 212MPa 平均一軸圧縮強度: 116MPa	硬岩～軟岩 最大一軸圧縮強度: 173MPa 平均一軸圧縮強度: 94MPa	○
湧水の潤滑油への混入	日常モニタリングで確認し、水混入の場合は即潤滑油の交換実施	日常モニタリングで確認し、水混入の場合は即潤滑油の交換実施	日常モニタリングで確認し、水混入の場合は即潤滑油の交換実施	×
メインベアリング取付けボルト破断による メインベアリング偏芯	破断発生あり	破断発生あり	破断発生あり	○
高温下での潤滑油粘性低下	可能性あり	可能性あり	—	○

5. カッタ貫入量低下

TBM-1 と TBM-2 のメインベアリング損傷した推定原因は前述とおりである。また、カッタ貫入量が計画よりも大幅に低下したことが、1 個のメインベアリングで延長 11～12km の TBM 掘削ができなかった要因でもある。各 TBM のカッタ貫入量実績を表-4 に示す。TBM-1 と TBM-2 が 78～84%掘進完了時点でメインベアリングが損傷したことと、カッタ貫入量が計画よりも 52～54%低下したことからカッタ貫入量の低下が 1 個のメインベアリングで延長 11～12km の掘削ができなかった要因であることが分かる。

表-4 カッタ貫入量実績

	計画	TBM-1	TBM-2	TBM-3
平均岩石一軸圧縮強度 (MPa)	143	131	116	94
純掘進速度 (m/h)	3.9	1.72	1.74	2.24
平均カットヘッド回転速度 (rpm)	10.6	9.9	10.3	10.3
平均カッタ貫入量 (mm/rev)	6.1	2.9 (52%低下)	2.8 (54%低下)	3.6 (41%低下)

6. まとめ

TBM 掘削延長 11～12km のほぼ全線にわたり硬質な花崗岩が占める地山条件と TBM 能力 100%でのオペレーション条件下で TBM メインベアリングが損傷した。本工事で得られた知見を以下に示す。

- ① 長距離硬岩 TBM トンネル施工時のメインベアリングライフの安全率を含めた検討の重要性。
- ② 地山条件に則した計画カッタ貫入量検討の重要性。

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

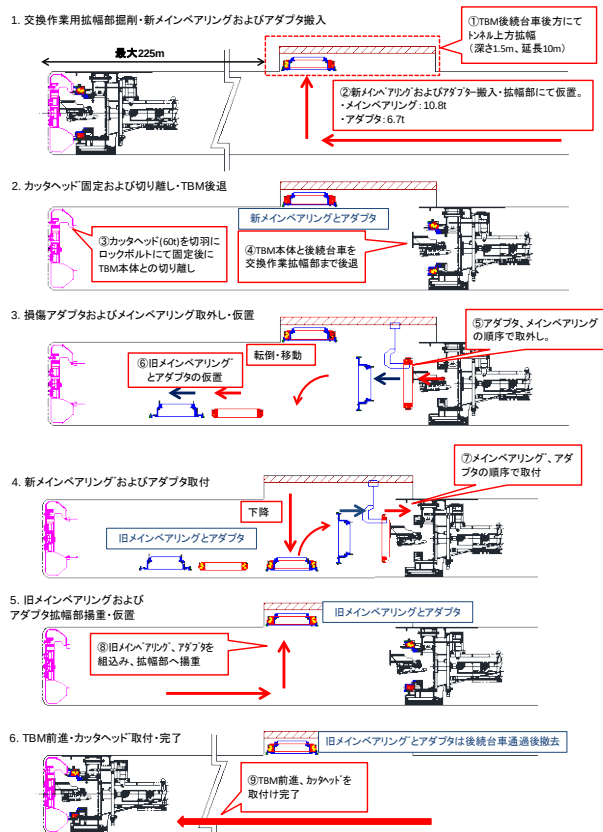


図-3 メインベアリング交換施工次第図



写真-4 アダプタ

取外し状況

写真-5 メインベアリング

取外し状況