

超硬質岩盤でのTBM掘削における対応について

戸田建設（株）広島支店

正会員

○内見 和彦

戸田建設（株）広島支店

小林 一樹

戸田建設（株）広島支店

浅海 松弘

戸田建設（株）広島支店

安藤 忠幸

1. 目的

本工事は、広島県広島市～呉市間において TBM 工法（掘削外径φ2.73m）により導水トンネルを築造するもので、事業延長 11.9km のうち、矢野～吉浦間の約 7.4km と今回報告する吉浦～二河間の約 2.5km を担当する。計画路線近傍は、広島花崗岩類と呼ばれる火成岩が基盤岩として広く分布する地域である。TBM 掘削の対象となる主な地質は、事前の地質調査結果より CM～CH 級と想定していたが、実際には想定を大きく上回る超硬質な岩盤が連続して出現したため、掘進速度の低下やマシンの各種トラブルにより、進捗が計画を大きく下回ることになった。このため、掘進データ分析をもとに掘進推力の管理値等を設定し、掘進トラブル回避を図った。これらの超硬質岩盤を対象とした TBM 掘削における施工上の課題及びその対策について報告する。

2. 地質概要

工事着手前の事前調査では、環境条件の制約等から計画路線上での弾性波探査を実施できず、空中電磁探査と数本のボーリング調査により、地山の評価が行われている。計画路線近傍のボーリング調査結果によれば、CM～CH 級の花崗岩、一軸圧縮強度 26～205 MPa が確認されている。全体的には硬質な花崗岩質岩、花崗斑岩岩脈が分布し、概ね CM～CH 級の良好な岩が分布し、TBM 到達直前の地山表層付近のみ D 級と区別されているが、CH 級の下層に CM 級が推定されているなど不透明な部分もある。花崗岩中の石英含有率は 7.6～42.7% と高い値を確認しており、TBM の仕様検討において十分な留意が必要である。事前に実施した三次元浸透流解析によれば、恒常湧水量は 400L/min 程度と想定されている。計画時の想定地質縦断図を図

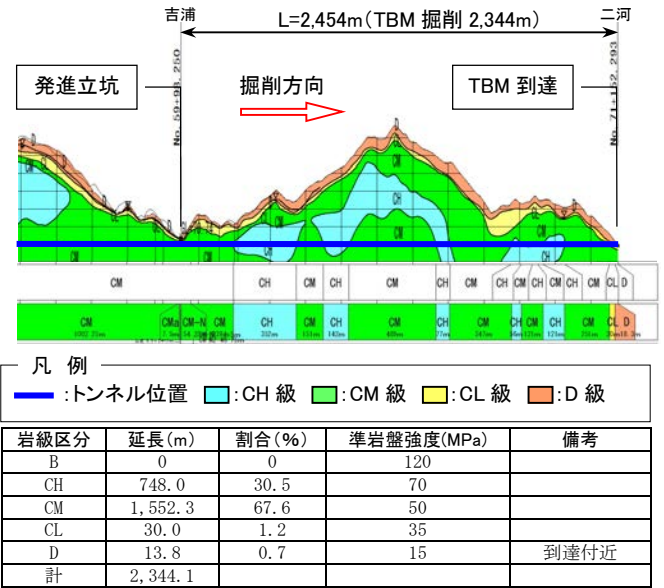


図-1 想定地質縦断図と岩級区分毎の割合

-1 に示す。なお、図中の準岩盤強度は「TBM ハンドブック」に基づき設計段階で設定した数値である。

3. 当初計画における硬質岩盤対策

施工延長のほぼ全線が硬質岩盤であることを考慮して TBM 仕様を計画した。

- ・カッタリング材質：一般に SNCM（ニッケル・クロム・モリブデン）鋼が用いられるが、石英を多く含む地質での施工実績を踏まえ、靱性は劣るが耐摩耗性が高いとされる DC（ダイス）鋼を採用した。
- ・ディスクカッタサイズ：サイズが大きいほどカッタ走行可能距離が伸び、摩耗寿命が延びる。また、サイズアップによりベアリングが大型化し、耐久性が向上する。以上を考慮して、小断面 TBM（φ2.73m）への対応可能な最大径 15.5 インチのディスクカッタを採用した。
- ・カッタヘッド構造：ヘッド形状はドーム型を採用した。
- ・カッタ消費量の計画：設計段階では、TBM マシン製造会社より提案されている推定式を用いて、シングルカッタリング 20 個、センターカッタリング 16 個が計画されていた。

キーワード TBM, 導水トンネル, 硬質岩盤, 花崗岩

連絡先 〒730-0044 広島県広島市中区宝町 1-20 戸田建設(株)広島支店 TEL 082-545-7607

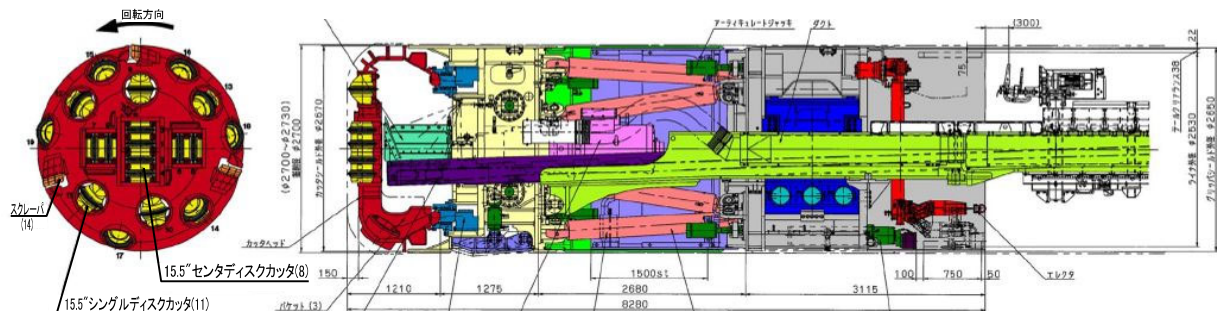


図-2 TBM マシン正面図および断面図

4. TBM 掘進に伴う施工上の課題

TBM 掘削の進捗に伴い、想定を上回る硬質な岩盤が出現し、対応に苦慮することとなった。表-1 に示すとおり、当初は岩強度 50MPa の CM 級が大半を占めると予想していたが、実際には、岩強度 70MPa の CH 級を大きく上回る 160MPa 以上の岩盤(B 級)が出現し、掘削全体の実に 57%を占め、掘進速度の低下、カッタ交換回数の増、硬質岩盤を掘削する負荷が増加したことによる各種トラブルが発生し、全体の掘削工程を遅延させる大きな原因となった。これまでにカッタビットの偏摩耗、カッタ欠損、カッタリングの破断、ベアリング破損、ボルト破断、カッタボディの損傷等が発生した(写真-1 参照)。また、TBM マシンにも、過負荷によると想定される制御用油圧システムの機能低下の他、ベルコンやホッパの損傷等が発生した。

5. 課題への対応

損傷した設備は、残り 1 区間に使用するマシン設備から前借りして更新し、交換用カッタは発注～納入までの時間を考慮して見込み発注により確保した。硬質岩盤における TBM 掘進では、カッタや TBM マシンの損傷防止と掘削進捗のバランスを見極めることが最重要であった。図-2, 3 は進捗毎の掘進データのグラフで、横軸に掘進距離 (m)、左縦軸の数値は岩強度 (MPa)、ジャッキ総推力 (tf) 等を示す。掘進初期(図-2)では、岩強度 60~100 (MPa)、推力 300 (tf) 程度で掘進できたが、岩強度 120~240 (MPa) を記録する超硬質区間(図-3)では進捗が大幅に低下したため、試行錯誤する中で高推力による掘進を試みた。しかし、推力 400 (tf) 以上になると、トラブルの頻度が多くなる結果となってしまった。そこで、これらの施工データを分析し、カッタ耐荷重(約 17tf/個)を考慮し、推力 340 (tf) を目標値として掘進管理を行うこととした。

6. まとめ

掘進時の推力の目標値を設定することで、カッタやマシンの損傷を防止しながら計画的な掘進を行えるようになったが、カッタ消費は 224 個と当初計画の 6 倍超となった。現在は、今回得られた知見を踏まえて TBM マシンの損傷防止対策を施し、残りの 1 区間となる矢野～吉浦間の約 7.4km 側を掘削中である。本工事の施工報告が類似工事の参考になれば幸いである。

表-1 岩盤の想定と実績

岩級区分	区分	延長 (m)	割合 (%)	準岩盤強度 (MPa)
B	想定	0	0	120
	実績	1,339.2	57.2	160
CH	想定	748.0	30.5	70
	実績	510.2	21.8	110
CM	想定	1,552.3	67.6	50
	実績	463.5	19.8	70
CL	想定	30.0	1.2	35
	実績	0	0	35
D	想定	13.8	0.7	15
	実績	30.3	1.2	15



(1) カッタ偏摩耗・カッタボディ損傷

(2) カッタリング割れ・欠け

写真-1 カッタ関連のトラブル例

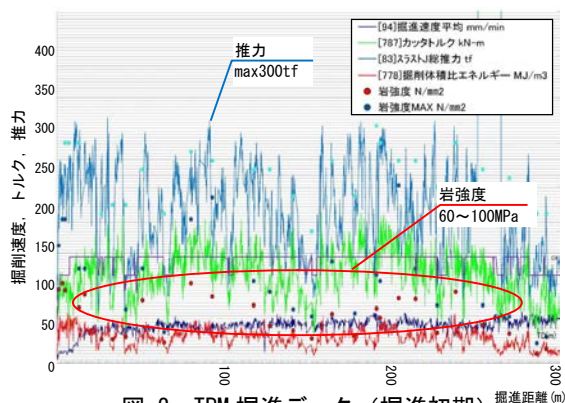


図-2 TBM 掘進データ (掘進初期)

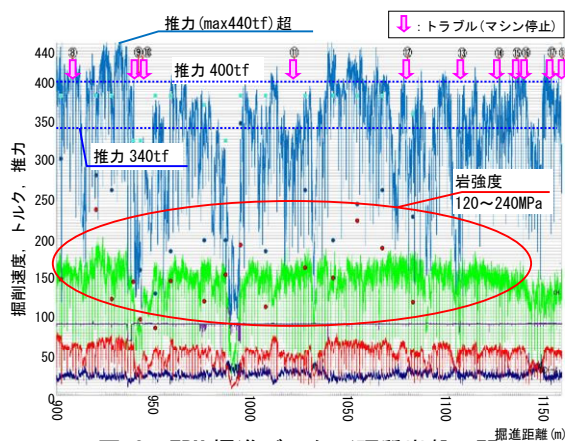


図-3 TBM 掘進データ (硬質岩盤区間)