

TBM機械データに基づく本坑地山評価

EVALUTION OF GROUND BY TBM MACHINE DATA

和田宣史¹・大井明²・錠富美夫³

Norifumi Wada, Akira Ooi And Fumio Ikari

¹ 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所 (〒420-0804静岡県静岡市竜南1丁目26-20)

² 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所 (〒420-0804静岡県静岡市竜南1丁目26-20)

³ 正会員 (株) 片平エンジニアリング 企画営業部 (〒112-0002東京都文京区小石川2丁目22-2)

E-mail; fumio.d. ikari@jhnet.go.jp

The Okabe Tunnel on the Second Tomei Expressway adopted a TBM-driven heading as is the case for other longer tunnels on the expressway. In driving the TBM in the poor ground classified, in the initial design, as DI for 90% of the tunnel length ofm, a new ground classification method utilizing the TBM's cutter torque was applied instead of conventional method specified in the JH's standard design manual. The results were later compared with the results obtained from the measurement of deformations made after the enlargement excavation and showed a good relation, and thus, verifying the validity of the new method for prospecting and classifying the ground and designing the support system before the enlargement excavation.

*Key Words; TBM machine data, evaluation of ground, torque data,
TBM heading, Second Tomei Expressway*

1. はじめに

第二東名高速道路岡部トンネルはTBM導坑先進拡幅掘削工法で計画されたトンネルで、上下線TBMと下り線本坑が既に完了し、現在は上り線本坑を拡幅掘削中である。TBM導坑は切羽前方の地質確認と不良地山での事前補強、事前支保、先受け、水抜き効果等による上半切羽での安定性向上及び急速施工を期待して採用されたものであるが、トンネル全体の約9割がDI(道路公団地山分類)以下の不良地山と評価された本トンネルに於いては特にその効果は大きなものであった。

その中で、機械データを利用したTBM施工時の地山評価については、第12回ト

ンネル工学研究発表会にて「TBM機械データに基づく地山評価」として、特に崩壊性不良地山での地山評価としての有効性について報告したところである。今回は、下り線本坑の拡幅掘削完了に伴い、TBM機械データに基づく地山評価の再評価と本坑地山評価への適用性について検討した結果、拡幅掘削時の特に不良地山区間での切羽前方探査としての有効性が確認されたため、ここに報告するものである。

2. TBM機械データに基づく地山評価¹⁾

(1) 下り線TBMの施工実績

下り線TBMの機械データの推移を図-1に示す。左側からトンネル中央付近までは、

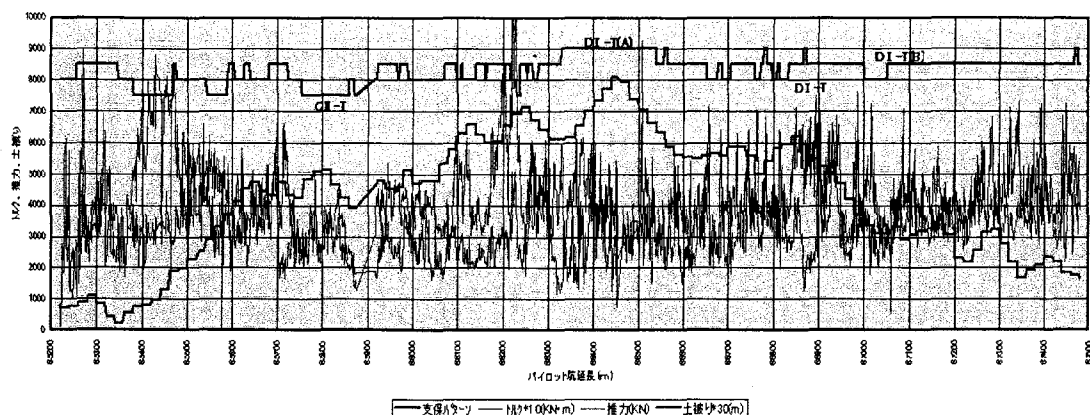


図-1 下り線TBM機械データ推移図

表-1 改良オープン型TBM導坑の地山分類（支保選定）

地山分類	C II-T	D I-T	D I-T(B)	D I-T(A)
崩落状況	ルーフ付近 肩部の部分的剥落 進行性なし	ルーフ付近 肩部の部分的崩落 進行性なし	ルーフ付近 肩から天端部の崩落 カッター後方からルーフ にかけて崩落進行	ルーフ付近 肩から天端部の崩落 カッター後方からルーフ にかけて崩落進行
地山状況	粘土または湧水の有無が 切羽の自立性に影響しない	粘土または湧水の有無が 切羽の崩落を助長する	粘土または湧水の有無が 切羽の崩落を助長する	粘土または湧水の有無が 切羽の崩落を助長する
機械データ	トルク値 500kN以上	トルク値 500kN以下	地山強度比 3以下	地山強度比 1.5以下 拘束圧 50kN/m ² 以上 塑性領域 発生する
総合評価	崩落状況、地山状況、機械データを基に総合評価して実施パターンを選定する			
実施パターン	C II-T	D I-T	D I-T(B)	D I-T(A)
一掘進長	1.5m	1.0m	1.0m	1.0m
鋼製支保工	リング支保工 H-100*100	リング支保工 H-125*125	簡易ライナー [-125*65]	簡易ライナー [-125*65]
吹付け	厚さ 2cm 角度 180度	厚さ 3cm 角度 270度		
補助工法	崩落土処理 先受け工		モルタル充填改良	モルタル充填改良 長尺鋼管フォアボーリング

標準パターン（C II-T及びD I-T）施工区間も多く見られ、本トンネルでは比較的地山状況の良好な区間であった。また、中央部から右側は、崩落、押し出し等が見られる不良地山区間で、長尺鋼管FP及び簡易ライナー併用の特殊パターンで施工した区間である。なお、下り線TBMの地山分類（支保選定）は表-1に示す崩落及び地山状況を主体に分類し、上り線TBMは本文で提案する機械データによる地山評価を追加して分類し、施工している。本トンネルの強度相関を図-2に示すが、比較的地山状況の良好な西側区間では、良い相関が認め

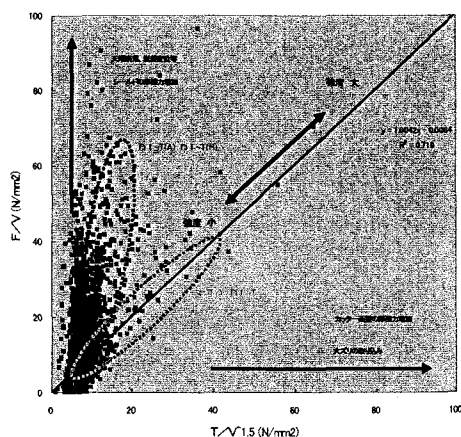


図-2 強度相関と地山評価

られトルク、推力を利用した地山評価が可能と思われる。しかし、崩壊性不良地山主体の中央部以降では地山の崩落、締付け等による推力増加が著しく、推力による地山評価は地山状況と相反する評価となり本トンネルでの適用は難しい。以上より、本トンネルではトンネル全線に渡り適用可能な機械データとしてカッタートルクを選定し、崩壊性不良地山での地山評価手法を検討・提案するものとした。

(2) トルク値による地山強度の推定

これまで切り込み深さや純掘進速度等を利用した強度推定が提案されているが、本トンネルでは後者を利用して式(1a)により強度推定を試みた。なお、崩落や締付けによる推力増加の影響を除外した推定式を求めるため、下り線西側で崩落の比較的少ない区間での機械データを基に強度を推定し、同位置で実施したポイントロード、シュミットハンマー試験値で補正して比例定数を設定した。

$$\sigma_{ct} = 0.077(T/V^{1.5}) \quad (1a)$$

ここに、

σ_{ct} ; トルク推定強度(N/mm²)

T ; トルク(KN・m)

V ; 純掘進速度(m/h)

(3) 崩壊性不良地山での地山評価手法

トルクデータによる推定強度を利用して、崩壊性不良地山での崩落、締付け等に関連する評価方法として地山強度比、塑性領域、拘束圧を選定し地山評価を試みた。地山評価結果はそれぞれ特殊パターン施工区間と概ね一致する傾向が認められたことから、本指標により地山分類手法を検討・提案するものとした。

地山強度比と拘束圧の相関を図-3～-4に示し、塑性領域と拘束圧の相関を図-5～-6に示すが、いずれも正の相関が認められた。

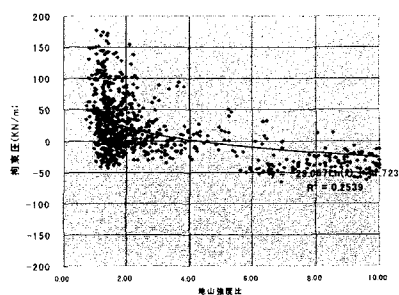


図-3 地山強度比と拘束圧（全体）

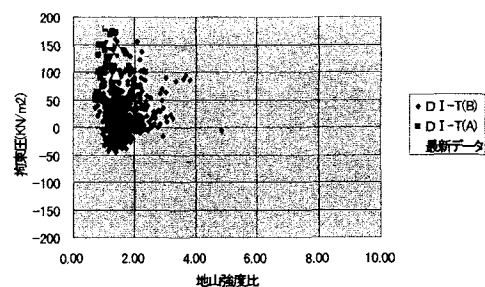


図-4 地山強度比と拘束圧（ライナー施工区間）

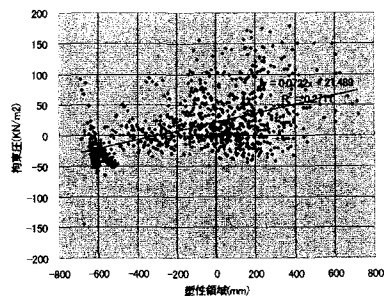


図-5 塑性領域と拘束圧（全体）

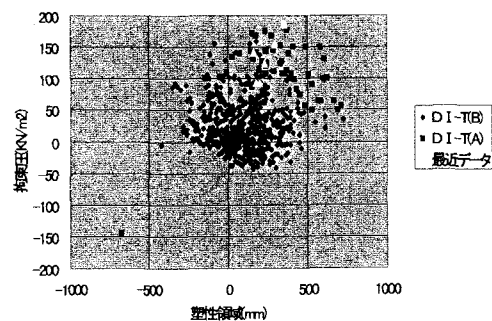


図-6 塑性領域と拘束圧（ライナー施工区間）

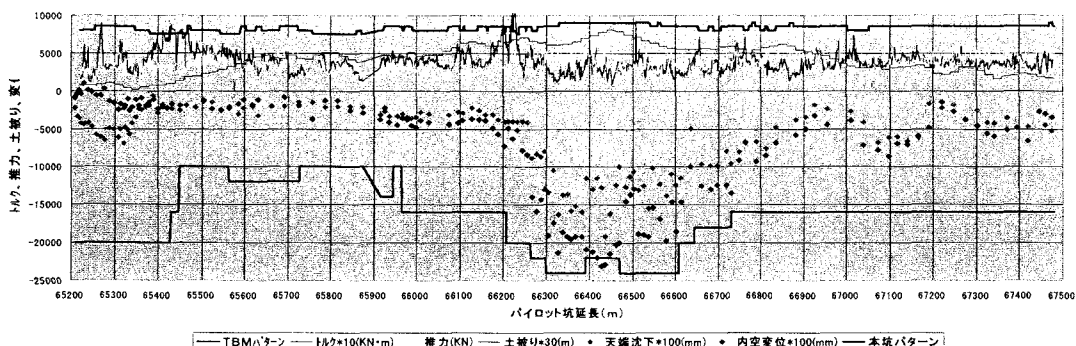


図-7 下り線本坑の計測概要

特に不良地山区間で適用されたD I-T(A)及びD I-T(B)については分布領域が明らかに異なり、地山強度比3以下でD I-T(B)、地山強度比1.5以下で塑性領域が発生し、且つ拘束圧が50 kN/m²以上の領域でD I-T(A)パターンの採用検討を行うものとした。

3. 本坑拡張掘削時の観察・計測概要

岡部トンネルの地質は、トンネル中央部(STA.662+40)付近を境に大きく異なり、西側はやや大目で比較的硬質な泥岩を主体とするのに対し、東側は潜在亀裂が発達し強度低下の激しい泥岩を主体に比較的硬質な塊状砂岩や泥岩の転石を不規則に混在する地質(切羽)状況を示す。これはTBM施工時の機械データ、坑内観察、ずり形状、本坑施工時の観察・計測結果等からも判断できる。

TBM機械データでは、STA.662+40付近から東側でトルク、推力データが反転し、切羽やルーフ天端での崩落、機体の締付け等を生じる不安定な地山状況に変化し、ライナー併用や先受け工併用の支保パターンで施工する区間に移行している。

本坑計測データでも同様に西側では変位が少なく地山挙動が亀裂に左右されるのに対し、東側では地山強度に左右されることになり、土被りの増加に伴い変位が増加す

る傾向が認められた。特に土被り150m付近を境に変位が急増し、トンネル中央付近では変位が100mm(D Iの限界変位量)を超え、ロックボルトの破断、吹付けコンクリートのクラック、鋼アーチ支保工の座屈等支保の変状が顕著になり、D IIパターンを設定し対応してきた。

4. TBM機械データに基づく

本坑地山評価検討

TBM施工中は前述した手法により機械データを利用してリアルタイムで地山評価を行いながら無事施工を完了している。

その後本坑拡張掘削も完了し、特に東側では変位量の増加に伴い支保の変状が顕著になり支保のランクアップを進めてきた経緯があり、機械データによる地山評価と主に変位量について検討するものとした。

図-9にカッタートルクと本坑変位の関係を示すが、カッタートルクの低下に伴い本坑変位が増加する傾向が認められた。

図-10に土被りと本坑変位の関係を示すが、土被りの増加に伴い本坑変位が増加する傾向が認められ、特に土被り150m付近を境に変位が急激に増加し、D IIパターンの領域(100mm以上)に移行していくことが分かる。なお、本トンネルではD Iパターンの限界変位量を100mmと設定し施工している。

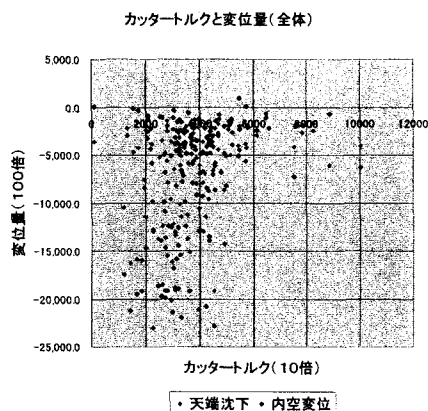


図-8 カッタートルクと本坑変位量

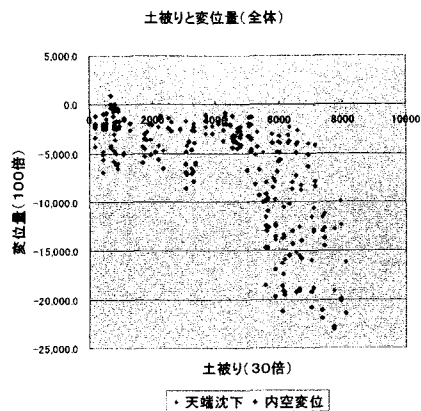


図-9 地山強度比と本坑変位量(全体)

図-10にトルク推定強度と土被りから求まる地山強度比と本坑変位の関係を示すが、地山強度比4付近からの変位増加、2付近からの急激な増加傾向が認められ、バラツキも少なく比較的明瞭な相関が認められた。

これは、地山強度比の定義とも良く一致しており、カッタートルクから推定した一軸圧縮強度の絶対値がほぼ妥当なものであること、及び地山強度比算定時の準岩盤強度としての適用性が評価されたものと考えられる。

次に、地山強度比が2以下でも変位量の少ないデータが含まれており、地山状況の異なるSTA. 662+40でデータを更に分類し整

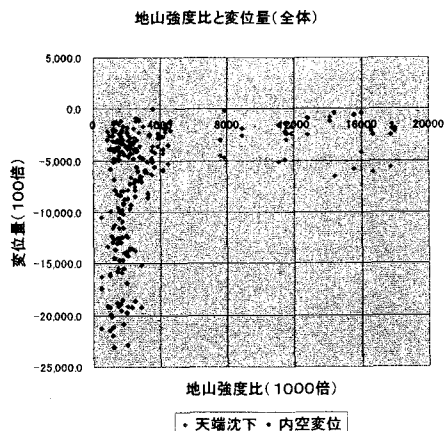


図-10 地山強度比と本坑変位量(トンネル部)

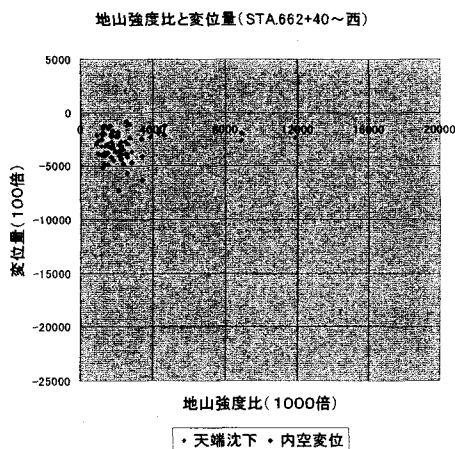


図-11 地山強度比と本坑変位量(西側)

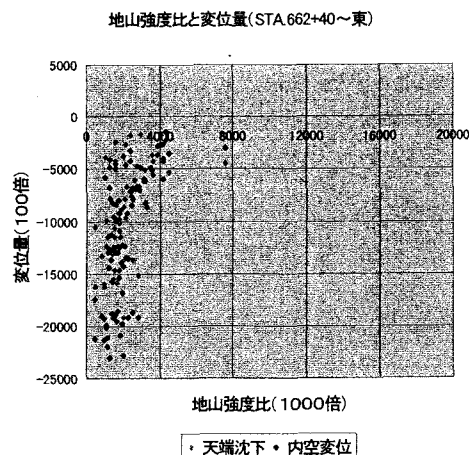


図-12 地山強度比と本坑変位量(東側)

上り線TBM機械データ推移図

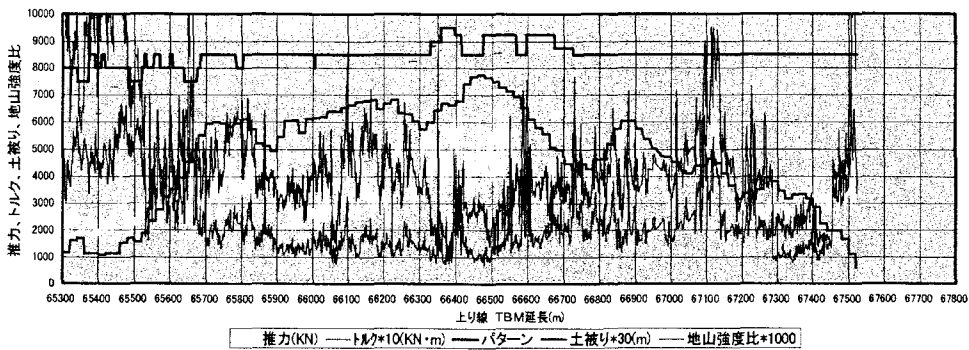


図-13 上り線TBM機械データ推移図

理した結果を図-11～12に示す。東側では地山強度比との相関が更に向上したのに対して、西側ではバラツキが更に増大し相関が認められなくなっている。

これは、前述した切羽状況とも良く一致しており、東側では地山強度比を利用した地山評価が有効な地山と考えられるが、西側では不向きな地山と考えられる。

同様にTBM機械データに基づく地山評価としては、東側では本文で提案するカッタートルクを主体とする地山評価手法が有効な地山と考えられるのに対し、西側ではカッタートルクの他に従来から提案されている掘削体積比エネルギーや β 値による地山評価が有効な地山と別途検討した結果からも判断されている。

5. 検討のまとめ

下り線TBM機械データに基づく本坑地山評価として主に変位量について検討した結果を以下に示すが、東側の崩壊性不良地山区間ではTBM施工時に得られるカッタートルクを利用することで切羽前方の地山状況を適切に評価でき、本坑拡張掘削時の切羽前方探査としての有効性が確認できたものと考えている。

- ・ 準岩盤強度としてカッタートルクによる推定強度が利用できる。
- ・ 地山強度比を主体とした地山評価が有効である。
- ・ 地山強度比が2、土被りが150m付近を境に変位が急増し概ね100mm以上となる。
- ・ DI地山の限界変位量100mmは妥当な変位量である。

6. おわりに

カッタートルクはトンネル全線に渡り連続して簡単に得られる情報であるが、TBM施工中の地山評価だけでなく、今回本坑拡張掘削後の地山評価（本文では変位量）とも密接に関連することが確認できた。

現在上り線は、図-13に示すTBM機械データを有効に活用し順調に掘削を進めているところであるが、今後施工される類似トンネルでも参考になれば幸いと思いここに報告するものである。

参考文献

- 1) 和田宣史，勘定茂，錠富美夫：TBM機械データに基づく地山評価，土木学会トンネル工学研究論文・報告集第12巻