

TBM掘進データによる切羽崩落判定基準の検討

前田建設工業(株)技術研究所 正会員 ○久慈雅栄 正会員 井上博之
前田建設工業(株)技術研究所 正会員 橋詰 茂 正会員 南 浩輔

1. はじめに

TBM(Tunnel Boring Machine)工法は、様々な工夫を重ねて我が国の複雑な地質に対応できるようになり、施工件数や施工延長は増加の傾向にある。TBM工法の最大の長所は連続掘進による急速施工であるが、ひとたびトラブルが発生すると、マシンをバックさせることが困難であることなどにより、長期間停止せざるを得ない欠点がある。トラブルには大きく分けて、機械的トラブル、設備的トラブル、地質的トラブルがあるが、本報では地質的トラブルのうち、切羽または天端崩落の兆候をTBM掘進データからリアルタイムに判定する基準について報告する。

2. 判定の指標

TBMの掘進に伴い得られるデータは大きく機械データ(トルク、推力、カッタヘッド回転数など)と地山データ(坑壁地質状況、ズリ状況など)に分けられる。橋詰、井上¹⁾は、機械データのトルクと推力、および掘進速度とカッタヘッド回転数の関数である β 値と地山データのズリの性状に注目し、現場での掘進状況と比較して β 値がある基準を上回り、かつズリの状態がある限界状態より悪くなったときに掘進が困難になるとしている。なお、 β 値は福井、大久保²⁾の提案している機械データから岩盤強度を推定する1式、2式の比で、3式で定義するものである。この β 値の傾向と想定される現象は表-1のよ

表-1 β 値と地山状況の関係(P_e 一定)¹⁾

β 値の傾向	機械データの傾向	地山状況	想定される現象例	掘進停止の可能性
小さくなる	推力増加	膨張性地山	後胴締付け 天端崩落	○
	トルク低下	岩盤強度低下	カッタヘッドの沈下	
ある値で一定	推力・トルク一定	マシンにあった岩盤	順調な掘進	なし
大きくなる	推力低下	岩盤強度低下	カッタヘッドの沈下	○
	トルク増加	崩落性地山	切羽崩落 ホッパ閉塞	

うにまとめられる。

$$\sigma_c = \alpha_1 (F/P_e) \quad (1 \text{ 式})$$

$$\sigma_c = \alpha_2 (T/P_e^{1.5}) \quad (2 \text{ 式})$$

$$\beta = \alpha_1 / \alpha_2 = T / (F \cdot P_e^{0.5}) \quad (3 \text{ 式})$$

ここで、T:トルク、F:推力、 P_e :切込量($=V/N$)、V:掘進速度、N:カッタヘッド回転数である。

そこで、新たに掘削されるTBMトンネルにおいて、本指標により切羽または天端の崩落性の判定を行った。

3. 施工状況

本トンネルが掘削される地質は、第三紀の砂岩・泥岩互層であり、事前のボーリング調査等によると泥岩は比較的しっかりしていると判断された。そこで、セミオープン型のTBMが選択された。

地山データのうちズリ性状に関しては、表-2に示すように各性状を定性的に区分し、かつ表の左側を1点として最大6点までを配分し、合計点(ズリ評価点と称する)で評価するものとした。なお、ズリの観察データは、第1ベルコンに取り付けられたTVモニタをTBMオペレータが見て、1ストロークに1回データシートに書き込む方式とした。

4. 判定状況

図-1に崩落発生直前の掘進距離と β 値、ズリ評価点の関係を示す。図でわかるように、次第に β 値の平均が上昇するとともに、変動が大きくなっていること、およびズリ評価点も上昇している状況がうかがえる。初期掘進時に設定した管理基準値($\beta=0.3$ 、変動 ± 0.1 、ズリ評価点18点)から考え、この基準を超えたものと判断して掘進を停止し、切羽注入等の対策を行い、崩落を防止することができた。

また、図-2は別の箇所でもTBMが拘束され、拡幅・再発進したときに得られた、切羽および天端が崩落している状態から崩落が完全に収まった状態までの β 値とズリ評価点の分布である。このように、

Keyword: TBM、崩落判定基準、機械データ、地山データ

連絡先: 〒179-8914 練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業(株)技術研究所 Tel.03-3977-2638 Fax.03-3977-2251

表 - 1 ズリの性状区分

項目	1 点	2 点	3 点	4 点	5 点	6 点
ズリ形状	偏平	偏平と丸(礫)が混在	丸(礫)	丸(礫)と土砂が混在	土砂	-
粘土の含有色	なし	わずか含む	多量に含む	-	-	-
色	灰色(砂岩主体)	黒色混じり(砂頁互層)	黒色(頁岩主体)	茶褐色(風化進行)	その他	-
粒径(mm)	0 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 以上
湧水の有無	なし	少量	多量	-	-	-
ズリの出方	規則的 等間隔平山	不規則 山が大きい	不規則 大塊ズリ	-	-	-

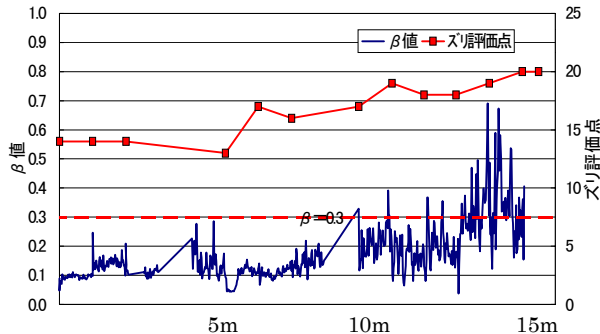


図- 1 崩落予想区間にいたる β 値とズリ評価点の推移

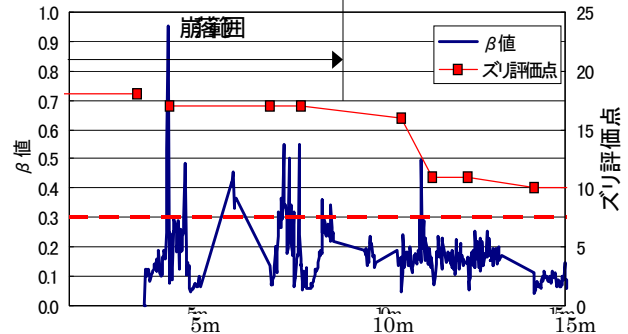


図- 2 崩落区間と非崩落区間の β 値とズリ評価点の分

図 - 1 と同様に崩落範囲と非崩落範囲では β 値の平均と変動、およびズリ評価点が明らかに違うことにより、TBM 本体からは見えない切羽および天端の崩落の傾向をリアルタイムに把握することができると考えられる。

崩落により β 値が上昇する原因は次のように考えることができる。すなわち、通常掘削時に比べて、切羽または天端で部分的に崩落が発生した時には一時的にカッタスクレーパが掻き込むズリの量が増えるためトルクが上昇し、それが β 値の上昇となって現れるものと考えられる。部分的崩落がそれ以上なければトルクは元に戻るため β 値も減少するが、再度部分的崩落が発生すればトルクと β 値の上昇が繰り返され、上図に示すような変動の頻発と平均値の上昇につながる。特に、部分崩落が頻発するのは、一度崩落した部分が拡大する場合と考えられ、大崩落にいたる前兆ととらえることができるものと考えられる。

一方、ズリ性状においては、部分的崩落に対応して、ズリ形状はカッタで切削される「偏平」よりも「丸」(節理での分離を意味する)が多くなり、平均粒径は大きく、ズリの出方も不規則(大塊ズリ)になる。このため、ズリ評価点が上昇することになる。

したがって、基準値の意味合いは切羽または天端での部分的崩落の発生状況を機械データ、地山データからリアルタイムに推定する指標といえる。

5. 結論

TBM 掘削における切羽または天端の崩落による TBM トラブルの兆候を TBM 掘進データからリアルタイムに判定する基準について検討し、機械データから得られる β 値の平均値と変動、および地山データのズリ評価点で、部分崩落の発生を推定することにより、TBM 停止にいたる大規模崩落の兆候をつかむことができる可能性が高いことが示された。ただし、基準値の絶対値については地質や TBM の形式、掘削径等により異なるので、初期掘進データにより個々の事例毎に決める必要がある。

参考文献

- 1) 橋詰茂、井上博之：TBM 掘進データを用いた地山判定基準の作成，前田技術研究所報, vol.41, pp.127 ~ 134, 2000
- 2) 福井勝則、大久保誠介、本間直樹：TBM の掘削抵抗を利用した岩盤強度の推定 - 二軒小屋トンネルの事例 - ，資源と素材, vol.112, pp.303 ~ 308, 1996