

TBM掘進データを用いた地山判定基準の作成

橋 詰 茂 井 上 博 之

要 旨

近年、日本の複雑な地質にも対応可能なTBM (Tunnel Boring Machine) が開発され、施工件数・延長は増加の傾向を示している。当工法の特徴の一つでもある高速掘進能力を発揮させるためには、TBM掘進中に得られる情報から地山状況を推定し、天端や切羽の崩落・地山の膨張による締め付け等といった地質的要因によるトラブルを未然に防止する必要がある。

筆者らは、TBM工事で実際に得られた施工データを用いて、掘進停止時期を判断する掘進限界判定基準を作成した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ①TBMが掘進困難となる状況は、機械データと地山データを用いることによって推定することが可能となった。
- ②地山データは、評価項目・区分を層別することにより、同一の観点で判断することが可能となった。
- ③機械データは、 β 値と呼ぶ単一の指標で地山状況を推定することが可能となった。

キーワード 山岳トンネル/TBM/地山評価

目 次

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1. はじめに | 4. TBM掘進限界判定基準の作成 |
| 2. TBM掘進時に発生する地質的なトラブル | 5. 判定基準の花崗岩地山への適用 |
| 3. TBM掘進データと地山の関係 | 6. おわりに |

STANDARDIZATION OF CRITERIA FOR GEOLOGICAL CONDITION USING BY DRIVING DATA FROM TUNNEL BORING MACHINE

Shigeru HASHIZUME Hiroyuki INOUE

Synopsis:

Recently, TBM(Tunnel Boring Machine) has been developed that can adjust to complicate geology in Japan. It has been augmented at construction case and length.

For exert high speed exection abilty of TBM, trouble should be prevented by estimation of geological condition from driving data.

Authors standardized the criteria for driving limit at TBM, using driving data. This paper describes are;

- ①Driving limit of TBM can be estimated by mechanical data and remark of muck (geological data).
- ②Geological data is useful to take as common criteria by clarify of class and district.
- ③Mechanical data can handle to estimate of geological condition by single index what we called β number.

1. はじめに

我が国のTBM（Tunnel Boring Machine）工法によるトンネル施工の歴史は、1964年にまでさかのぼることが出来るが、当時は、日本の地質には適応しないとの理由から、当工法による施工件数は少なかった。しかし近年、複雑な地質にも対応可能なTBM本体及び周辺設備の開発が進み、施工件数・延長は増加の傾向にある。

このTBM工法の最大の特徴は連続掘進による急速施工であり、平均月進は200～300mと言われている。ところが、単一機種のため、切羽から後方設備を含めて一部でもトラブルが発生すると掘進を停止しなければならないという欠点も持ち合わせている。

TBMに発生するトラブルの代表的な要因には、

- ・ 機械的なトラブル
 - …電気系統や油圧系統、ディスクカッターの故障
- ・ 設備的なトラブル
 - …ズリだし設備、濁水処理設備等の故障
- ・ 地質的なトラブル
 - …切羽、天端の崩落や地山の膨張によるマシンの締め付け等

があるが、この中でも特に地質的な要因によるトラブルが発生すると復旧には多大な労力と時間を要することになる。その為、TBM工法では、地質的要因によるトラブルを未然に防止する技術の開発が重要な課題の一つとなっている。

標準的な山岳トンネル工法（NATM）の場合、地山の安定性に関する評価は、切羽観察や日常的な計測結果等で行われるが、TBMの場合、掘進中の切羽を観察する

ことは不可能であること、施工速度が速く地山の変化を捉えるのが難しいこと等の理由から、地山の評価は困難であった。

そこで今回、TBM掘進中に得られるデータを用いて、地質的要因によるトラブルが発生する前に掘進停止を判断する基準の作成を試みた。

2. TBM掘進時に発生する地質的なトラブル

判定基準の作成を行うにあたり、地質性状によって発生するトラブルの原因や現象が異なるものと考えた。原因や現象が異なる場合、それら想定される原因や現象に合わせた判定基準を作成する必要がある。そこで、TBMで地質的要因によるトラブルが発生する地山の種類と現象について分類した。TBMで問題となる地山としては「粘土化・膨張性の地山」と「崩落性の地山」が代表的であり、また、TBMの型式（オープン型、シールド型）によっても、トラブルの現象が異なることが考えられる。表-1にマシンの型式と地質性状別に想定される、掘進不能に陥るようなトラブルの現象例を示す。

地質性状に合わせたマシン選定に際しては、膨張性地山の場合、シールドの締め付けが発生するので、オープン型の方が有利であり、崩落性地山の場合、ライナー（簡易ライナー）とメイングリッパーが干渉しないシールド型の方が有利であると考えられる。

今回、判定基準の作成を試みたトンネルの地質は、結晶片岩と花崗岩の地山で二分されており、地質性状や結晶片岩区間で掘進不能に陥った時の現象等を考えると、崩落性地山に分類される地山であった。

表-1 地質性状別のトラブルの例

地質性状		粘土化・膨張性地山	崩落性地山
マシンタイプ オープン	切羽	押し出し大、カッタヘッドの回転不能、ヘッドの沈下	天端部が大きく崩落或いは抜け落ちが止まらない。 鏡部が大きく抜け落ちカッタヘッドに覆い被さり、カッタヘッドの回転が不能になる
	ルーフ		天端・側壁部が大きく崩落し、後部まで拡大する 崩落岩塊の荷重によりルーフが変状する。
	グリッパ	グリッパーがめり込んで反力が取れない。 大きな崩落を伴うこともある。	グリッパー押し当て部が大きく崩落し、グリッピング、盛り替えが困難になる。
シールド	切羽	押し出し大、カッタヘッドの回転不能、ヘッドの沈下	天端部が大きく崩落或いは抜け落ちが止まらない。 鏡部が大きく抜け落ちカッタヘッドに覆い被さり、カッタヘッドの回転が不能になる
	シールド	締め付けが大きく掘進が不可能である。	天端・側壁部が大きく崩落し、後部まで拡大する
	グリッパ	グリッパーがめり込んで反力が取れない。 大きな崩落を伴うこともある。	グリッパー押し当て部が大きく崩落し、グリッピング、盛り替えが困難になる。

秋田自動車道湯田第二トンネルTBM施工に関する調査検討報告書 表-2.4.10～2.4.11 を一部抜粋し、加筆修正

3. TBM掘進データと地山との関係

3.1 TBM掘進データの分類

TBM掘進時に得られるデータについて整理した。TBM掘進データは、大別すると、表-2に示すように、ディスクカッターで切削され、後方に搬出される掘削ズリを観察して評価する「地山データ」と、マシン本体に発生する負荷や、マシンの運転状況、姿勢に関するデータである「機械データ」に分けられる。

表-2 TBM掘進データの種類と主な項目

データの種類	主なデータ項目
地山データ	ズリの状態、平均粒径、最大粒径、湧水量等
機械データ	カッターヘッドトルク、推力、カッターヘッド回転数、掘進速度、グリッパー圧力、ピッチング、ローリング等

なお、地山データは、ベルトコンベア上を搬出されてくる途中で観察し記録することによって採取されるデータであり、機械データは、オペレータ室を経由して自動的に採取することが可能なデータである。

従来、TBMの施工性能等に関する既往の研究²⁾や、地山判定に関する研究³⁾では、主として、機械データを扱ったものが多く、地山データに関しては、評価項目の記述はあるものの、定性的であったり、掘削ズリよりもむしろマシン側が通過した後の坑壁観察結果に主眼が置かれているもの⁴⁾の方が多かった。これは、TBM掘削後の支保パターン決定の根拠等に用いられる場合が多かったためと考えられる。しかし、機械データに現れる値は、マシンから地山に加える力とその時の地山の状態によって変化するものと考え、地質的要因による施工トラブルを回避するための判定基準を作成するには、機械データだけで判断するのではなく、この掘削ズリを評価した地山データの活用が有効であると考えた。

3.2 地山性状を表す掘進データの抽出

前節では、TBM掘進データの種類について「地山データ」と「機械データ」に分類したが、判定基準作成のために、これらのデータの中でトラブルの前兆として現れる現象や地山性状と関係があると思われる項目を、既存の文献^{2),3),4)}やTBM製作メーカーへのヒアリングなどを基に検討した。表-3に、今回データ分析を行った現場で採取可能なデータの中から、分析のために抽出したデータ項目の一覧を示す。

表-3 抽出したデータ項目一覧

データの種 類	データ項目	備考
地 山 デ ー タ	ズリの状態	
	ズリの平均粒径	
	ズリの最大粒径	
	湧水の有無	
機 械 デ ー タ	掘進速度	(cm/min)
	スラスト推力	(tf)
	カッタートルク	(tf-m)
	ストローク長	(mm)
	カッターヘッド回転数	(r.p.m.)
	ズリ取込み量	
そ の 他	支保パターン	
	掘進距離	(m)

「ズリ取込み量」の考え方をここに示す。当トンネルでは、ズリ運搬に用いているシャトルカーのはぼ満載時の積載量が掘進長 1,000mm に相当する。しかし、実際には、1,000mm の掘進を行う前に掘削断面外からのズリの取り込みが多くシャトルが満載になってしまう場合がある。そこで、掘進の困難さを表す代用特性値として、ズリ取込み量を次式によって定義した。

$$\text{ズリ取込み量} = 1,000(\text{mm}) / \text{ストローク長}(\text{mm}) \quad [1]$$

ここに、

ストローク長：シャトルカー満載時の掘進長 [mm]

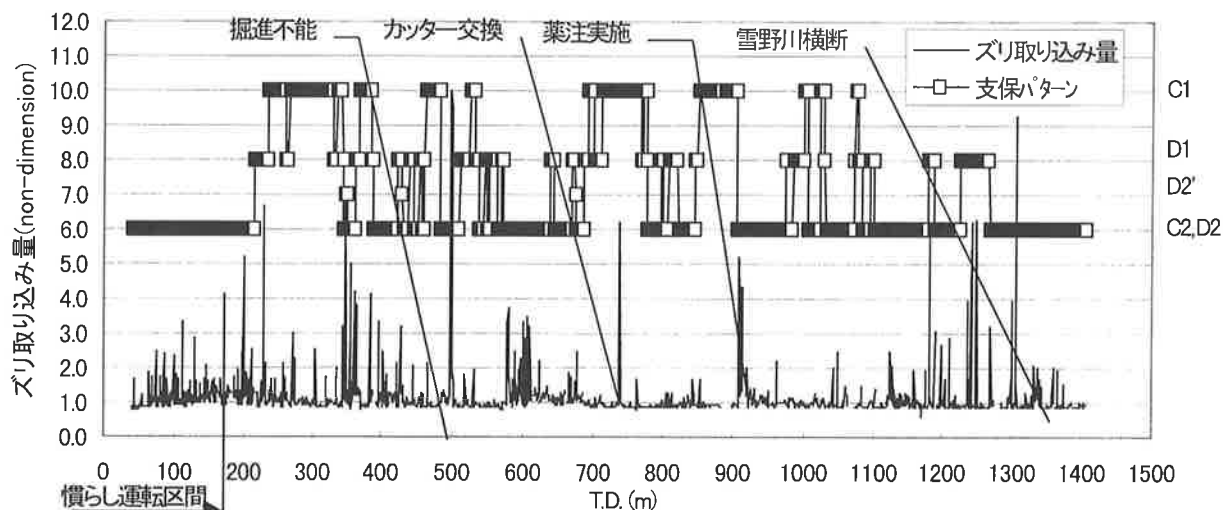


図-1 トンネル進行とズリ取込み量、支保パターンの関係

式-1 で定義した「ズリ取込み量」が実際に施工状況を表しているかどうかを確認するために、図-1 に示すように、トンネル進行とズリ取込み量、支保パターンの関係を調べた。その結果、D2 パターン（スチールセグメント）で施工されていたり、注入の実施等、掘進困難な状況と考えられる時の「ズリ取込み量」が 3.0 以上になっていることが明らかとなった。従って、施工可能かどうかの境界が、「ズリ取込み量」=3.0 になると考えられた。

3.3 地山データの定量的な評価に関する検討

地山データ（ズリ観察結果）を定量的に評価することが可能になれば、以下の様な効果が得られるものと考えた。

- ・ 複数の人間が同一の観点でズリを判定することが可能となる
- ・ 実際にズリを観察していない者も地山を評価することが可能になる。

実際に記録されていた地山データ（ズリ観察結果）では、粒径に関しては目安が記されていたが、「ズリの状態」や「湧水」等については、記録者によって表現がまちまちであった。そこで、地山データの各項目を、過去の事例やカッターの配置、判断可能な程度の差、現場での聞き取り調査等をもとに、表-4 に示すように層別した。

表-4 地山データ項目の評価区分一覧

項目	区分	判定の目安・根拠
ズリの状態	1.偏平	切削された岩片
	2.偏平／丸	偏平と丸が混在
	3.丸	亀裂に沿って剥落
	4.丸／土砂	丸と土砂が混在
	5.土砂	破碎された状態
平均粒径	1. 0～ 30 mm	500 円硬貨程度
	2. 30～ 50 mm	ピンポン球程度
	3. 50～100 mm	握り拳程度
	4.100～150 mm	ソフトボール程度
	5.150～200 mm	手のひらを拡げた程度
	6.200 mm 以上	
湧水の有無	1.なし	ズリが乾いている
	2.少量	ズリが湿っている
	3.多量	ズリが水没している
粘土の有無	1.なし	粘土は含まれず
	2.少量	粘土含有 50%以下
	3.多量	ズリの 50%以上が粘土
ズリの出方	1.規則的	平山で出てくる
	2.不規則	山が大きくなる
	3.不規則かつ大塊	大塊のズリが出てくる

なお、「粘土の有無」と「ズリの出方」については、当初のズリ観察記録には、項目として上げられていなかったもので、次章で述べる判定基準作成のための分析で

は、「ズリの状態」やオペレータが別途記入した事項等から推定した。

3.4 機械データの評価に関する検討

機械データとして収集した項目の内、文献⁵⁾等では、地質的トラブルが発生するときの前兆・現象や岩盤性状と関連のある値として、カッターヘッドトルクの変化を挙げている事例が多い。これは、TBMの岩盤切削のメカニズムとして、カッターヘッドに一定のピッチで取り付けられたローラーカッターが岩盤を圧砕していくことで掘削が行われていること、すなわち、岩盤は刃先の押し付け力（推力）と転がり抵抗（トルク）によって掘削されるということに起因していると思われる。しかし、カッターヘッドトルクは岩盤の切削抵抗の他に、スクレーパービットで発生する抵抗に代表されるような切羽以外の抵抗によっても値が変化すると考えられる。

従って、通常に掘削が行われているときの発生トルクは、純粋に切羽での岩盤の切削抵抗と考えることが出来るが、崩落等が発生しているときには、切削抵抗以外の負荷が生じる為にトルクは大きくなると考えられる。

以上のような理由から、カッターヘッドトルクの変化が地山性状と関係があることは想定がつく。その一方で、カッターヘッドトルクは、その時の運転条件（掘進速度、カッターヘッド回転数、推力）等マシン側から、地山に作用する値によっても変化する。従って、一概にトルク値のみで、評価することは出来ないのではないかと考えた。

福井、大久保らは、TBM掘進時に得られる機械データから岩盤強度を推定する方法として、式-[2]、[3]を提案している⁶⁾。

$$\sigma_c = \alpha_1 \cdot \left(\frac{F}{Pe} \right) \quad [2]$$

$$\sigma_c = \alpha_2 \cdot \left(\frac{T}{Pe} \right)^{1.5} \quad [3]$$

ここに、

σ_c ; 岩盤強度 [tf/m²]

α_1, α_2 ; 係数

F ; 推力 [tf]

T ; トルク [tf-m]

Pe ; 切り込み量 = (掘進速度 / カッター回転数) [cm/rev]

この2式は、いずれも順調な掘削が行われているという前提条件があって成立する関係式であると考えられる。そこで、岩盤強度が未知の値であっても、式-[4]に示すような指標を用いれば、地山の状態が推定できるものと考えた。

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\left(\frac{T}{Pe} \right)^{1.5}}{\left(\frac{F}{Pe} \right)} = \frac{T}{F \cdot Pe^{0.5}} \quad [4]$$

今、式-[4]に示した (α_1 / α_2) を β 値（トルクと推力の比）と呼ぶこととした。TBMが順調な掘削を行って

いるとき、 β 値はある値の範囲内で安定するが、地山の崩落などでトルクと推力のバランスが崩れたときに、 β 値はその値から外れていくものと推察される。 β 値の変化から推定される地山の状況について表-5 に示す。

表-5 β 値と地山状況の関係 (P_e 一定とする)

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	推力が大	膨張性地山	後嗣の締め付け 天端崩落	◎
	トルクが小	岩盤強度低下	カッタヘッドの沈下	○
ある値で安定	推力・トルクが一定値	マシンに合った岩盤	順調な掘進	なし
大きくなる	推力が小	岩盤強度低下	カッタヘッドの沈下	○
	トルクが大	崩落性地山	切羽崩落 ホッパー閉塞	◎

当トンネルは、崩落性地山の為、表-5 の中で、トルク上昇によって β 値が大きくなることが予測された。

4. TBM掘進限界判定基準の作成

前章で検討を行った「地山データ」と「機械データ」についての評価方法を実際の施工データに適用し、掘進限界の判定基準を作成することとした。

4.1 地山データの判定基準

(1) ブリ取り込み量による地山データの判定基準

地山データの掘進限界判定基準を作成するに当たり、実施データを前述の「ブリ取り込み量」=3.0 を掘進可能と困難（不能）の境界値として層別した。「ブリ取り込み量」が「3 以上」と「3 未満」の時の地山データの各項目の内、「ブリの状態」、「平均粒径」、「湧水の有無」、「粘土の有無」に関するそれぞれの出現頻度確率を図-2~5 に示す。なお、分析に用いたデータは、結晶片岩区間で採取されたデータを分析範囲としており、「粘土の有無」については、前述のとおり、ブリ観察記録の記載事項から推察して分類した結果である。

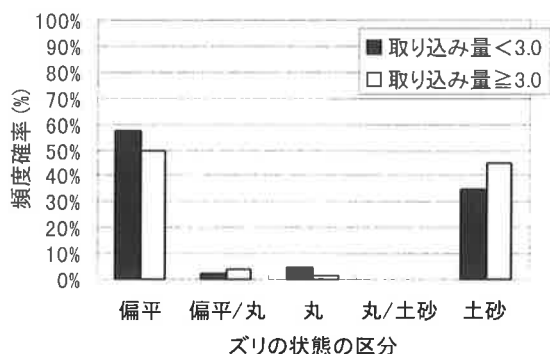


図-2 ブリの状態に関する分布傾向

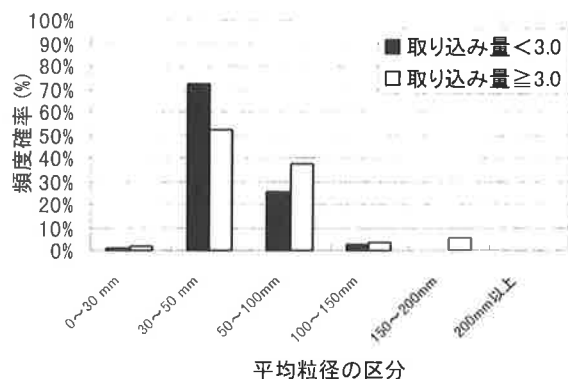


図-3 平均粒径に関する分布傾向

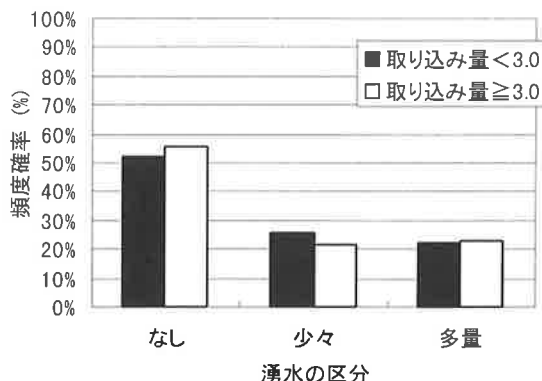


図-4 湧水の有無に関する分布傾向

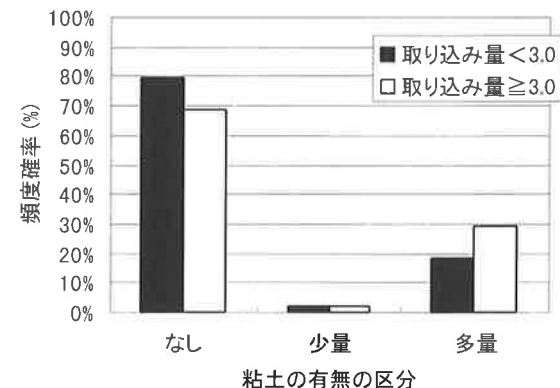


図-5 粘土の有無に関する分布傾向

ブリ取り込み量で層別して、地山データの各項目の出現頻度を分析したが、ブリ取り込み量に対して地山データに明確な差は出なかった。しかし、「平均粒径」に関しては、ブリ取り込み量が 3.0 以上の場合のみ 150mm 以上の粒径のブリが観察されている。このことより、掘進困難な状況では、平均粒径が大きくなるものと考えられた。

「湧水の有無」に関して、ブリ取り込み量との関係が明確にならなかった理由としては、当トンネルの場合、湧水による地山の劣化等がなかったため、湧水が崩落の主原

因とならなかった為と考えられる。また、TBMのマシ
ンタイプがシールドタイプであったこと、湧水区間では、
スチールセグメントを使用していたことも理由の一つと
考えられる。しかしながら、一般的に湧水量が増加すれ
ば掘進困難になると考えられる。

「粘土の有無」については、出現頻度確率として、ズリ
取込み量が 3.0 以上になると、粘土が「多量」と判断さ
れる場合が多くなっている。粘土分が多くなるとホッ
パーの閉塞が発生し易くなり、トルクが上昇する傾向が
見られると考えられることから、ズリ取込み量が少なく
ても掘進困難になるものと考えられる。

「ズリの状態」以外の項目に関しては、一般的な現象等
も考慮して判定基準を設けることが可能と考えられたが、
「ズリの状態」については、ズリ取込み量で層別しても有
意な差が認められなかった。そこで、施工状況との関係
で再度分析を行った。今回の分析では、注入などを実施
し、特に掘進困難な状況であった区間と通常に掘進可能
であった区間とに分けている。図-6 にそれぞれの区間
における「ズリの状態」に関する出現頻度確率分布を示す。

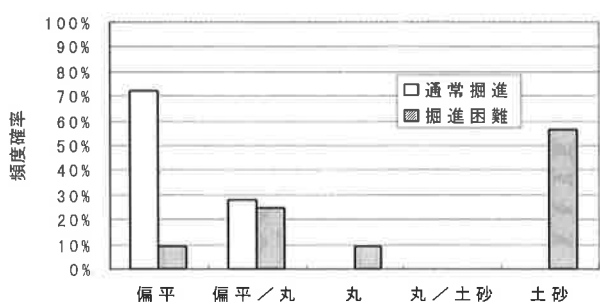


図-6 施工状況で層別したズリの状態に関する分布傾向

図-6 より、掘進困難な状況に陥るときのズリの状態と
して、「土砂」と判定されることが多いことが明らかと
なった。

以上から、地山データに関する掘進限界判定基準を表
-6 のように設定した。表中の区分とは、表-4 に一致する

区分である。なお、「ズリの出方」に関しては、次項で
述べることとする。

表-6 地山データの掘進限界判定基準

評価項目	判定基準
ズリの状態	区分 5 =土砂
平均粒径	区分 5 =150mm 以上
湧水の有無	区分 3 =多量
粘土の有無	区分 3 =多量

(2) ズリの出方に関する判定基準

ズリの出方に関しては、当初、ズリ観察項目に含まれ
ていなかったため、判定基準作成に際してデータ数が他
の項目に比べて少なかった。そこで、一時的に掘進が停
止するようなトラブルが発生したときの状況を中心にオ
ペレータへの聞き取り調査などを行い、表-7 に示す様な
結果を得た。

表-7 トラブル発生時の施工状況聞き取り調査結果

トラブルの種類	件数	比率
カッターヘッドのオーバートルクやグ リップのめり込み等、主に、マシン 周辺地山で発生した現象が原因と考 えられる停止	9	31.0%
1 回当たりのズリの出方が多い事が 原因と考えられるベルコンのスリッ プ、停止	14	48.3%
後方設備に発生したトラブルや、ベル コンの機械的なトラブル（ベルト破損 等）	6	20.7%

この結果、切羽での地質的要因によって掘進困難な状
況に陥るときには、1 回当たりのズリの出方が多くなり、
ベルトコンベアのスリップが発生していることが明らか
となった。これは、前出の文献調査やメーカーへのヒア
リングとも一致するものである。従って、「ズリの出方」
に関する判定基準としては、表-4 の区分の 2 or 3 の「出
方が不規則」になる状態が該当すると考えられる。

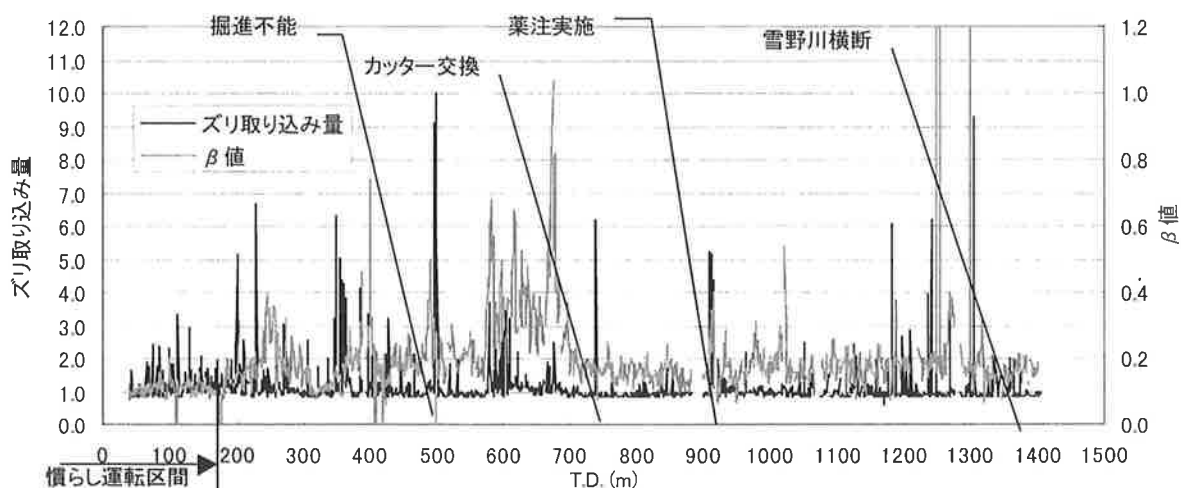


図-7 トンネル進行とズリ取込み量、 β 値の関係

4.2 機械データの判定基準

機械データの判定項目である β 値と施工状況との関係から基準を作成した。図-7に、掘進距離で見たズリ取込み量と β 値のトレンドグラフを示す。

図-7に示されるように、ズリ取込み量と β 値の傾向は、ほぼ一致しており、「ズリ取込み量が多い」＝「施工困難と考えられる区間」では、 β 値も大きくなっている。そして、特に掘進困難な状況と想定される「ズリ取込み量」 >3.0 のとき、 β 値は0.3以上になっているものと考えられた。

そこで、先程地山データの判定基準を作成する際に層別した、施工困難な場合と通常施工の場合のデータを用いて β 値の分布を調べた。図-8に分析結果を示す。

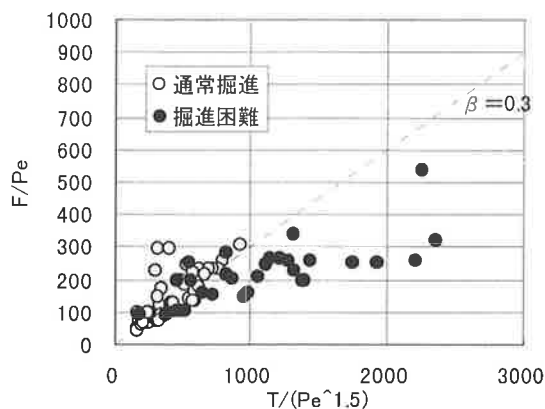


図-8 施工状況別の機械データの分布

図-8に示されるように、施工困難であった場合の推力とトルクのバランスは、トルクが大きくなっており、 $\beta = 0.3$ の直線よりも右側に分布することが多い。これは、 β 値が0.3よりも大きくなっていることを表すものである。トルクの増加によって β 値が大きくなるときの要因として、切羽崩落やホッパー閉塞が考えられるが、これは、実際の掘進困難な状況に見られた現象とも一致するものであった。

従って、当トンネルにおける機械データの掘進限界判定基準は、 $\beta > 0.3$ と考えられた。

なお、当トンネルの地山が亀裂の発達した崩落性の地山であったために機械データの基準値として上限値のみが与えられているが、膨張性の地山の場合には、後胸部の締め付けにより推力が上昇するという現象の発生が想定されることから、下限値も必要になると考えられる。

但し、今回のデータの範囲では、下限値については求めることは出来なかった。

5. 判定基準の花崗岩地山への適用

結晶片岩区間でのデータを用いて作成した掘進限界判定基準によって、施工状況を「機械データ」「地山データ」から推定することが可能となったので、当判定基準の花崗岩区間への適用を試みた。適用するに当たり、次のような課題が考えられた。

- ・ 岩種が異なる地山に対して、同一の判定項目で良いのか
- ・ また、判定基準についても見直す必要があるのではないか

判定項目について検討する理由は、堆積岩系である結晶片岩と火成岩系の花崗岩とでは、崩落のパターンが異なることが想定されるからである。すなわち、堆積岩系の地山では、亀裂面に沿った剥離（崩落）やすべりが主であるのに対して、火成岩系の地山では、塊状のブロックが崩落してくると想定されたからである。

今回作成した掘進限界判定基準で検討した判定項目は、3.2節で述べているように過去の事例や文献調査^{1,2,3,4)}等を基に、地質的要因によるトラブル発生の現象と関係があると思われる項目である。従って、堆積岩系と火成岩系という成因の違いはあるにしてもトラブル発生の現象を捉えるという点では一致するので、判定項目についてはこのまま適用できるものと考えた。

次に、判定基準についてであるが、花崗岩区間では比

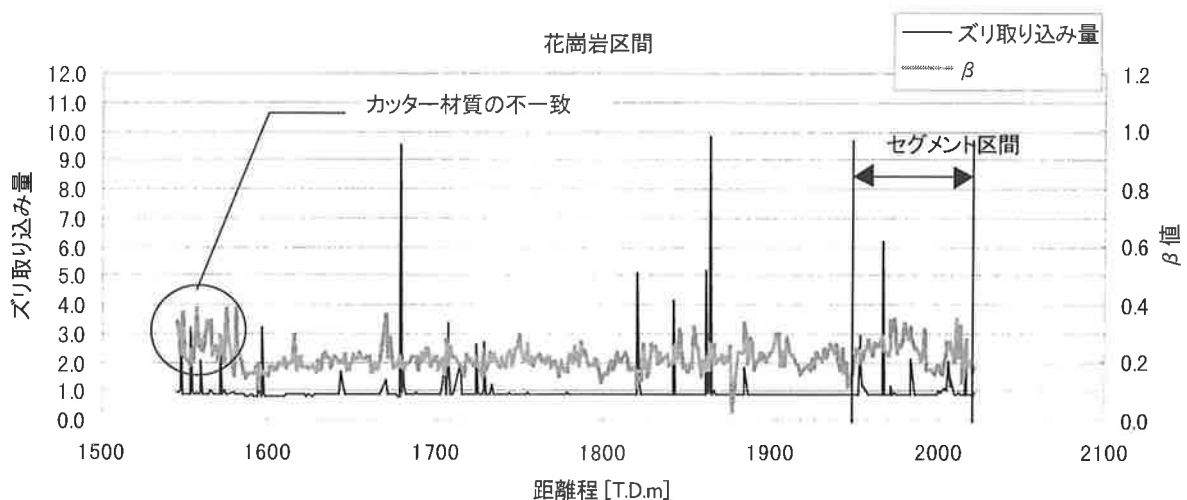


図-9 花崗岩区間におけるトンネル進行とズリ取込み量、 β 値の関係

較的良好な地山が出現することが予想されたので、「ズリの状態」や「平均粒径」は「偏平」、「30～50mm」の区分に集中するものと考えられた。従って、これらの区分から外れたときが、硬岩地山としては不良な地山として判断されるものと考えられた。また、正常な掘削が続くものと想定されたため、 β 値は、ほぼ一定になるものと想定された。但し、掘進限界となる基準値が低くなることが予想された。

以上のような想定のもとに判定基準と照合しながら掘進を行ったところ、「地山データ」については、湧水を除いて、基準値を超える区間はほとんどなかった。

機械データの傾向を図-9 に示す。 $\beta > 0.3$ となる区間が2ヶ所存在したが、1ヶ所は、ディスクカッターの材質が岩盤にマッチしないという機械的な原因によるものであり、もう1ヶ所については、セグメント支保によって掘進可能であった。花崗岩区間でセグメントを施工するという事は不良な地山であったものと考えられる。

明らかに掘進不能となる状況には遭遇しなかったため、確証はないが、花崗岩区間に対しても当判定基準は適用可能であったと考えられる。

6. おわりに

以上、TBMにおける地質的要因によるトラブルを回避することを目的とした掘進限界判定基準を作成し、実際の施工に適用した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ①「地山データ」と「機械データ」の2つを用いた掘進限界判定基準によって、掘進時のデータから掘進困難となる状況を推定することが可能であることが明らかとなった。
- ②今まで定性的に捉えられていた掘削ズリ観察結果に対して、評価項目・評価区分を層別することによって「地山データ」として、同一の観点で判断することが可能となった。
- ③「機械データ」に関しても、ある運転条件の時のトルクと推力のバランスを表している β 値という指標を用いることによって、単一の指標で地山状況を評価することが可能となった。
- ④結晶片岩区間のデータを用いて作成した判定基準が、成因の異なる地質である花崗岩地山に対しても適用可能であると考えられる。

しかし、今回作成した判定基準にもいくつかの課題が残されている。以下に今後の課題を挙げる。

- ・「機械データ」の判定基準が β 値という単一の判定指標であるのに対して、「地山データ」は複数の判定項目で判断しているため煩雑である。今後は、単一の指標で評価できるようにするべきであると考え。
- ・ β 値を構成する式に用いられている係数は、過去の実験などから導かれたものであるが、この係数に関しては他にも提案されている²⁾。実際の岩盤強度と比較するなどして、係数を見直す可能性もある。
- ・今回作成した判定基準は、事務所のコンピュータに蓄積されたデータを用いているが、実際の運用を考え、オペレータでも簡単に判断できるシステムの構築が必要であると考え。

上記の課題について、「地山データ」の指標を単一にすることに関しては、現在、各評価項目の評価区分を評価点として処理した「ズリ評価点」の採用を検討し、他現場で適用中である。また、 β 値の算出に用いている係数に関しても、地山物性値との関係を把握していく方針である。これらの結果については、データが蓄積され次第、改めて紹介していく所存である。

謝辞：今回の判定基準作成にあたり、適宜有益なご助言、ご配慮をして下さった現場職員の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会：秋田自動車道湯田第二トンネルTBM施工に関する調査検討報告書，pp30-31，平成6年2月
- 2) 大久保誠介：トンネル掘進機の適用性とエキスパートシステム，資源と素材，vol.106，pp.341-346，1990年
- 3) 例えば，松本一騎，福井勝則他：TBMの掘削抵抗による岩盤特性の評価，平成10年度資源・素材学会春季大会，pp14-18，1998年など
- 4) 例えば，通商産業省 資源エネルギー庁，（財）新エネルギー財団：中小水力標準化モデルプラント設計調査報告書 TBM工法によるトンネル施工の合理化，pp.71-74，平成9年3月など
- 5) 三浦克他：トンネルボーリングマシン入門～トンネルと地下連載講座，日本トンネル技術協会，1995.9～1996.5
- 6) 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，pp303-308，1996年