

さぐり削孔データを用いた切羽前方地山の 性状予測に関する研究（その2）

橋 詰 茂 井 上 博 之
伊 藤 毅 浩*¹

要 旨

山岳トンネルでは従来から、切羽前方の地山性状を把握するために「さぐり削孔」が行われてきた。著者らは、この「さぐり削孔」時に得られる削孔速度や打撃圧、フィード圧等のデータから求めた打撃エネルギーと呼ぶ指標を用いて、切羽前方の地山性状を定量的に評価出来ることの可能性を示した。

山形自動車道関谷トンネル工事では、継続的に「さぐり削孔」を行っている。ここで得られた打撃エネルギーの値や深度方向への増減等を用いて地山評価基準を作成し、適用した結果、以下の知見を得た。

- ①打撃エネルギーの出現パターンを用いた地山評価基準は、切羽評価点の評価に比べて危険側に誤答したものが約30%含まれていた。しかしながら、評価区分を修正していくことにより、適用は可能であると考えられる結果を得た。
- ②安山岩と泥岩という成因の異なる地質に対して、打撃エネルギーは、値やバラツキ、深度方向への増減傾向が変化する距離等に違いが現れることが明らかとなった。

キーワード 山岳トンネル／切羽前方探査／さぐり削孔／地山評価

目 次

- | | |
|---------------------------|------------|
| 1. は じ め に | 3. 適 用 結 果 |
| 2. 打撃エネルギーを用
いた地山性状の評価 | 4. 結 論 |
| | 5. お わ り に |

A STUDY TO PREDICT OF GEOLOGICAL CONDITION OF FORWARD TUNNEL FACE WITH DRILLING ENERGY (PART- II)

Shigeru HASIZUME Hiroyuki INOUE
Takehiro ITOH

Synopsis:

On tunnel excavation, the exploring drilling has been frequently used to predict of geological condition of forward tunnel face. Authors have approved the expectation that quantitative comprehend of geological condition what is using drilling energy from calculated by exploring drilling data.

In Sekiya-Tunnel, we have made the appraisal method of districted pattern of drilling energy, and appraised it. This paper describes are;

- ① This method has 30% dangerous judgement as against criteria of tunnel face, but it is useful to take by revising the district.
- ② In differently aspect of geological condition as andesite and mudstone, the drilling energy behaves the separate pattern that energy, trend of increase and decrease.

* 1 東北支店 関谷トンネル作業所

1. はじめに

山岳トンネルにおいては、切羽前方の地山性状を予め把握する事によって、これから掘削する地山の挙動や安定性を想定し、必要に応じて、適切な対応を準備する事が可能となる。さらに、近年のトンネル工事では、従来からの支保パターンにとらわれない支保パターンの採用や、急速施工、情報化施工の推進等の時流の中で、切羽前方の地山性状をより精度良く把握したいという要望が以前にも増して高まっている。

そのため、切羽前方探査技術に関する各種の手法が提案されているが、著者らは、探査深度は数十mと比較的短いものの、直接的に地山性状を知ることが出来る手法として従来から行われている「さぐり削孔」のデータを用いて、定量的に切羽前方の地山性状を評価する方法について研究を行っている¹⁾。

その結果、「さぐり削孔」時の削孔速度、打撃圧、フィード圧等のデータから求めた打撃エネルギーを用いて、地山性状を定量的に評価することの可能性を示した。

山形自動車道関谷トンネル工事では、当手法による切羽前方探査を継続的に実施する事によって、前方地山の性状を予測しながら施工を進めるとともに、得られた結果を施工管理資料の一部として利用している。

著者らは、いろいろな地山でも同じ基準で前方地山を評価するために、打撃エネルギーの値やその深度方向への変化状態等を指標とした地山評価基準を作成した。そして、関谷トンネルのさぐり削孔の結果に適用し、実際の切羽評価と対比したところ、有益な知見を得た。今回は、その結果について報告する。

2. 打撃エネルギーを用いた地山性状の評価

2.1 打撃エネルギー

「さぐり削孔」時に得られたデータから切羽前方の地山性状を定量的に評価するために、著者らは、削孔時の破碎のメカニズムに着目して打撃エネルギーという指標を用いることとした。この打撃エネルギーとは、前報にも示したが、削岩機が岩石を破碎するのに必要なエネルギーであるとして、削孔時の打撃圧、打撃数、フィード圧と削孔速度より、次の[1]式で表される。

$$E_b = E \times N \times (t - \alpha P_f) / v \quad (J/cm/min) \quad [1]$$

ここに、 E_b ; 打撃エネルギー (J/cm/min)

E ; ヒット打撃エネルギー (J)

N ; 1分間当たりの打撃回数 (回/min)

t ; 20cm 当たりの削孔時間 (分)

α ; ドリフターの機種毎の係数

P_f ; フィード圧 (kgf/cm²)

v ; 削孔速度 (cm/min)

また、連続して測定される打撃エネルギーの変化は、地山の不均質さによってもたらされると考えた。

例えば、ある削孔長 (例えば、掘削1進行長 1.0~1.5 m) の地質の状況が、均質な場合と亀裂等により不均質な場合でも得られる打撃エネルギーの平均値が同等のものとして評価される可能性がある。しかし、この中に含まれる打撃エネルギーの変動幅は亀裂を含んでいる場合の方が大きくなると考えられる。したがって、対象とする区間における打撃エネルギーのバラツキの程度によって、岩の硬軟および亀裂などに関する情報を推定できるものと考えた。

2.2 打撃エネルギーと岩級区分の関係

打撃エネルギーと岩の強度との間には、一般に[2]式に示すような関係があると言われており²⁾、著者らの研究でも、[3]式のような関係を得ている。

$$E_v = n\delta \quad [2]$$

E_v ; 岩石を破碎するのに必要なエネルギー (lb/in²)

n ; 係数 (0.8~2.6)

δ ; 圧縮強度 (lb/in²)

$$\log S_t = 0.251 \log E_b + 0.765 \quad [3]$$

$$R = 0.246$$

S_t ; 点載荷強度 (kgf/cm²)

一方、「さぐり削孔」を実施した箇所とほぼ同一の地点でコアボーリングを実施し、打撃エネルギーとコア観察結果から得た岩級区分とを比較したところ、図-1 に示すような結果を得た³⁾。

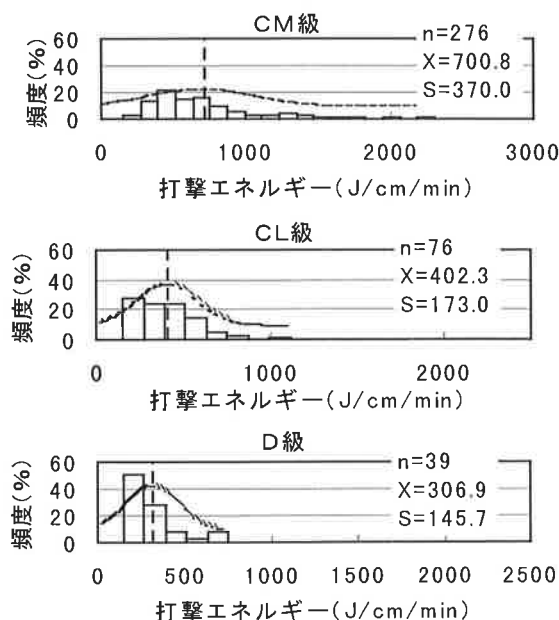


図-1 打撃エネルギーと岩級区分の関係

表-1 打撃エネルギーによる地山評価基準

パターン		打撃エネルギー		評価	地山の評価	切羽評価点の傾向
I	I-1	1 進行長 (1.2m) 当たりの打撃エネルギーの平均値	500 以上	1	点載荷強度 $\sigma_t \geq 4.0 \text{ N/mm}^2$	高くなる
	I-2		500 以下	3	$4.0 \text{ N/mm}^2 > \sigma_t$	低くなる
II	II-1	打撃エネルギーの深度方向への変化	上 昇	1	良くなる	高くなる
	II-2		変化なし	2	現状のまま	変化なし
	II-3		下 降	3	悪くなる	低くなる
III	III-1	1 進行長 (1.2m) 当たりの打撃エネルギーのバラツキ	小	1	比較的亀裂が少ない	高くなる
	III-2		中	2	亀裂が発達する(現状の地山)	変化なし
	III-3		大	3	強い破碎を受けている	低くなる
IV	IV-1	任意の区間中に現れる局所的な変動	上 昇	1	新鮮な岩の部分が出現する	高くなる
	IV-2		変動なし	2	現状のまま	変化なし
	IV-3		下 降	3	粘土層を狭在する	低くなる

図-1 より、岩級区分が良くなるに従って、打撃エネルギーの値が大きくなっていることが分かる。このことは、前述の[2]、[3]式を裏付けるものと考えられる。

「さぐり削孔」で得られる情報は、トンネル切羽の中的一点ではあるが、図-1 の様に、岩級区分によって打撃エネルギーの値が異なることから、打撃エネルギーによる地山評価基準を作成して、切羽前方の地山性状を予想していくこととした。

2.3 打撃エネルギーを用いた地山評価

関谷トンネルでは、約 200m の試行区間において、打撃エネルギーの出現パターン等から表-1 に示すような地山評価基準を作成した。このとき着目したのは、次の項目である。

- I. 1 進行長当たりの打撃エネルギーの平均値
- II. 打撃エネルギー値の深度方向への変化
- III. 1 進行長当たりの打撃エネルギーのバラツキ
- IV. 任意の区間中に現れる局所的な変動

表-2 に示される評価とは、I～IVの各評価項目に記された評価区分 (I-1, I-2 等) に対応して与えられる値を指し、総合的な地山の評価は、この評価の出現パターンによって以下のような規則に則って求めることとした。

- ①基本的な評価は、各評価項目で得られた評価の最頻値とする。
- ②各評価項目で得られた評価が同数であった場合 (1 点が 2 項目、2 点が 2 項目等)、点数の大きい方を総合評価点とする。

上記の規則による総合評価の判定例を表-2 に示す。

表-2 地山評価点の出現パターンと総合評価の例

		評価点の出現パターン							
評価項目	I	1	1	1	...	1	1	1	1
	II	1	1	1	...	2	2	2	1
	III	1	1	1	...	1	1	1	2
	IV	1	2	3	...	1	2	3	2
総合評価		1	1	1	...	1	2	1	2

また、表-1 の右欄に記された切羽評価点の傾向とは、日本道路公団で用いられている切羽評価点 (新評価点法) ⁴⁾ の変化傾向を指す。この評価点法は、切羽観察の結果を「岩の強度」、「風化変質の程度」、「割目間隔」、「割目の状態」、「湧水量」、「湧水に伴う劣化」等のパラメータに分け、それぞれの点数の合計点で地山の状態を評価するものであり、切羽が健全 (地山の状態が良い) な程、点数が高くなるものである。表-3 にこの切羽評価点の一部を示す。

実施工では、この切羽評価点法で与えられた切羽評価点から現在の地山の安定性を評価し、さらに近傍の切羽で得られたこの点数を、これから掘削する切羽の支保パターンを決定する際の資料としている。そこで、打撃エネルギーを用いた地山評価の妥当性を検討するために、この切羽評価点と比較することとした。

表-3 切羽評価点 (日本道路公団) のパラメータと評価区分の抜粋

パラメーター		評価区分		
A. 圧縮強度	一軸圧縮強度	100以上	100～50	50～25
	ポンド (st)	4以上	4～2	2～1
	強度の目安 (岩石を地面におきハンマーで叩いて割る場合)	岩石を地面におきハンマーで強打しても割れにくい	岩石を地面におきハンマーで強打すれば割れる	岩石を手に持ちハンマーで叩いて割ることができる
B. 風化変質	風化の目安	概ね新鮮	割れ目沿いの風化変質	岩芯まで風化変質
	熱水変質などの目安	変質は見られない	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により岩芯で強度低下
	評価点	1	2	3
C. 割目間隔	間隔 d の目安 RQD	$d \geq 1m$	$1m > d \geq 50cm$	$50 > d \geq 20cm$
		80以上	80～50	60～30
	評価点	1	2	3
D. 割目状態	割目の開口度	割目は密着している	割目の一部が開口している (幅 < 1mm)	割目の多くが開口している (幅 < 1mm)
	割目の介在物	なし	なし	
	割目粗度鏡肌	粗い		

一方、打撃エネルギーの評価項目を前記の 4 パターンに分けた理由は以下の通りである。

(1) 打撃エネルギーの平均値

打撃エネルギーと岩石の強度の間には、[3]式に示したような関係があり、実際、試行区間においても平均打撃エネルギーが低い場合、岩の強度も小さくなることが認められた。但し、関谷トンネルの場合、打撃エネルギーに対応する点載荷強度は高く、切羽評価点法の評価区分の1つである $S_t=4.0$ (N/mm^2) に相当する打撃エネルギー値は、 $E_b=500$ ($J/cm/min$) となった。そこで、今回は、平均打撃エネルギーを 500 ($J/cm/min$) 以上と未満で分けることとした。

(2) 打撃エネルギーの深度方向への変化

切羽前方探査によって得られる地山の情報として重要なものに、これから掘削しようとする地山が「硬くなるのか」、「軟らかくなるのか」がある。打撃エネルギーによって地山を評価する時に、これを表すものが深度方向への打撃エネルギーの変化であると考え、打撃エネルギーが高くなっていく場合は地山が硬くなっていき、逆に低くなっていく場合は軟らかくなっていくものとした。

(3) 1 進行長当たりのバラツキの程度

前節でも述べたとおり、連続して得られる打撃エネルギーを1進行長当たりで見たとき、バラツキの大きさが亀裂や弱層等の存在によって異なるものと考えた。そこで、バラツキの大きい場合は、亀裂が発達していると考え、地山の状態は不均質であると評価し、バラツキが小さい場合は、均質な地山であると評価することとした。

(4) 打撃エネルギーの局所的な変動

打撃エネルギーの値が前後と比較して1点だけ大きく変化している場合、極端に性状の異なる地山部分を削孔していることが考えられる。極端に値が低下する様な場合、それは粘土層や破碎帯であると考えられ、逆に、高い値が現れた場合には、転石等の存在が考えられる。このような打撃エネルギーの局所的な変動が見られた場合には、それに応じて地山の状態も変化するものと考えた。

2.4 探査結果を評価する際の区間

関谷トンネルで実施している「さぐり削孔」による切羽前方探査の1回当たりの探査深度は、概ね30m程度である。これは、施工サイクル（探査時間）、ドリフターの能力や削孔水のポンプ能力に拠るものである。この「さぐり削孔」で得られたデータから打撃エネルギーを計算し、1進行長毎の平均値とバラツキを求めている。

このようにしてまとめた打撃エネルギーを、トンネル進行の距離程を横軸に採ったグラフに図化し、平均打撃エネルギーの深度方向への傾向が大きく変化する位置で区切り、それを一検討区間とした。図-2に検討区間の判定例を示す。

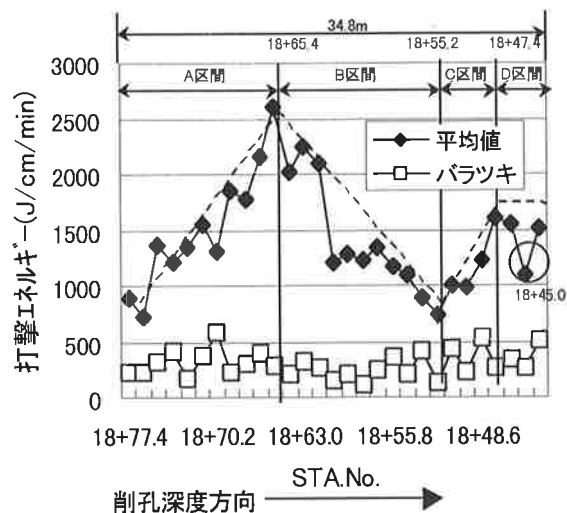


図-2 地山評価の区間判定の例

図-2は、1回の探査結果の一例を示している。この図において、平均の打撃エネルギー値の微少な変化があるものの、深度方向への傾向が大きく変化している場所は STA.18+65.4、STA.18+55.2 と STA.18+47.4 であると判断した。但し、STA.18+45.0に見られるような打撃エネルギーの低下は、前後の状況から1点だけの変化であるので、局所的な変動と見なし、区間分けの対象とはしていない。従って、このときの地山評価は、4区間で実施するものとなる。

打撃エネルギーから地山性状を評価する際には、平均打撃エネルギーの深度方向への変化をもとに区間分けを行うため、1回の探査当たりの区間数が、場合によっては1区間になることもあり得る。なお、地山評価の実際の適用結果については、次章に述べるものとする。

3. 適用結果

表-1の評価基準に従って実際に打撃エネルギーから地山を評価した結果を示す。

図-3は、破碎帯を挟んで、地質が変質安山岩を主体とする地山から泥岩主体の地山へと大きく変化した区間の打撃エネルギーの結果と、掘削後に観察された時の切羽評価点を重ねてプロットしたものである。

大局的に見て安山岩区間では、打撃エネルギーが低い箇所から高い箇所まで広く分布しており、その変化も激しく、さらにバラツキも比較的大きくなっているのに対して、泥岩区間は、打撃エネルギーが低く、 $500\sim1500$ ($J/cm/min$) の範囲に収まっているとともに、バラツキが小さい事が明らかとなった。

ここに示された安山岩主体、破碎帯、泥岩主体の各地質で行った地山評価と切羽評価点の変化の結果を以下に述べる。

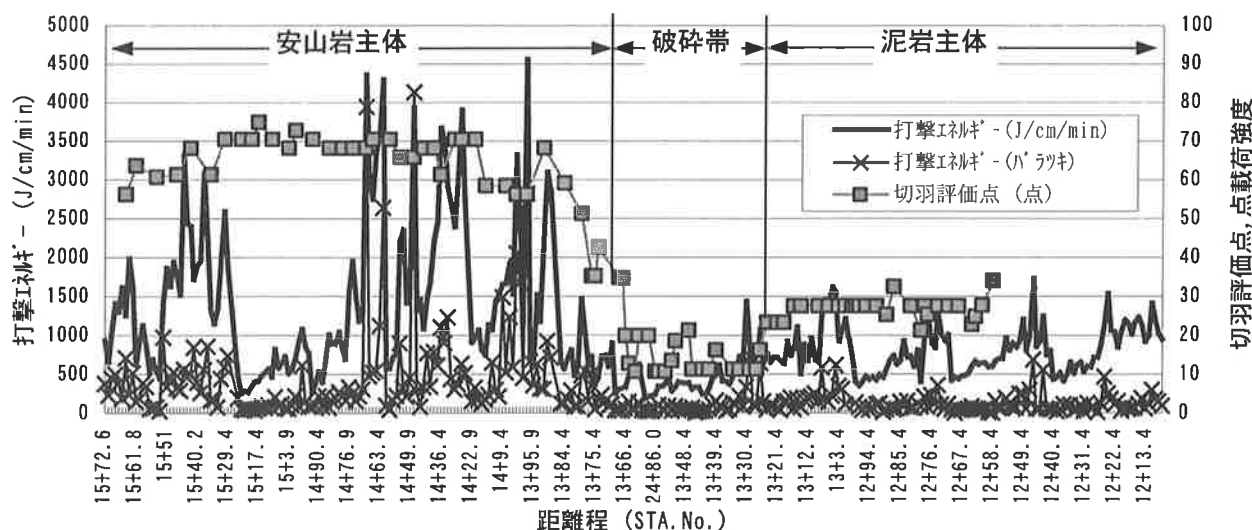


図-3 成因の異なる2つの地質におけるさぐり削孔と切羽評価点の結果

3.1 安山岩区間での地山評価

図-4、表-4に、安山岩区間での探索結果 (STA.14+24.4～13+88.4) の一例と、その時の切羽評価点の結果を示す。この探索における地山評価区間は、図中に示すように多少の増減はあるものの大局的に見て深度方向に打撃エネルギーが増加しているA、大きく振幅しながら減少していくB、再び増加傾向となるC、の3区間とした。

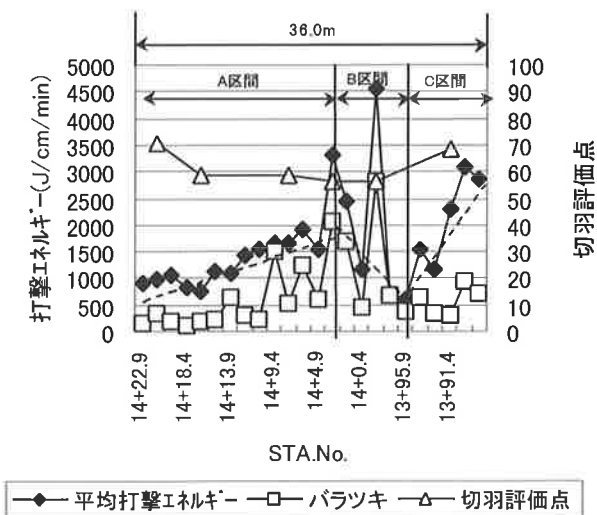


図-4 打撃エネルギーと切羽評価点の例 (安山岩区間)

表-4のギリシャ数字Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳはそれぞれ、表-1で分類したパターンに対応している。各パターンの判定に記入されている数値は、表-1の評価を表している。

切羽評価点の結果判定であるが、A区間では、切羽評価点は1度水平を保つものの最初と最後を比較して「低くなった」と判定した。B区間では、C区間の影響により、結果的には高くなる方向へと向いているように見えるが、施工時の判定としては「変化なし」とした。最後のC区間では切羽観察を実施したのは1切羽しかないが、B区間の状態に比べて「高くなった」と判定している。

表-4 打撃エネルギーによる切羽前方地山の推定結果の例 (安山岩区間)

パターン	区間	A区間	B区間	C区間	
Ⅰ	1進行長当たりの平均値	500以上	1 500以上	1 500以上	1
Ⅱ	深度方向への変化	上昇	1 下降	3 上昇	1
Ⅲ	1進行長当たりのパラツキ	大きい	3 大きい	3 大きい	3
Ⅳ	局所変動	なし	2 高くなる	1 なし	2
	切羽評価点の予想	高くなる	1 低くなる	3 高くなる	1
	切羽評価点の結果	低くなった	3 変化なし	2 高くなった	1
	正誤判定	×	×	○	

安山岩区間における「さぐり削孔」の傾向は以下の通りである。

- ①打撃エネルギーの値は、概ね 1000 (J/cm/min) 以上を示した。
- ②深度方向への打撃エネルギーが増加、減少へと変化する周期が比較的短く、かつ、エネルギー値の低い部分と高い部分の差が大きい。
- ③1進行長当たりのパラツキも大きく、岩自体は硬いものの、不均質であると判断される結果が多かった。

安山岩区間での打撃エネルギーを用いた地山評価の結果、予想と結果が等しくなったのは、71区間中37区間であった。また、予想した切羽評価点の変化よりも危険側に誤答したのは、71区間の30.1%である22区間含まれていた。

3.2 破碎帯区間での地山評価

図-5及び表-5に破碎帯区間での適用結果例を示す。今回示した結果は、STA.13+60.4～13+30.4であり、平均の打撃エネルギーが上昇、下降を繰り返す結果となった。今回の地山評価のための区間分けは、多少細かすぎると

感じられたが、図中に示すとおりD～Iの6区間とした。

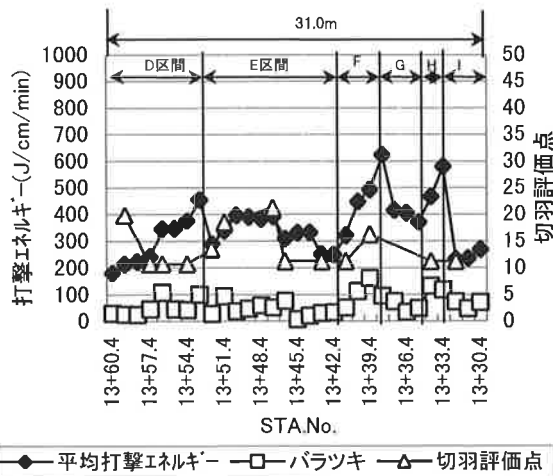


図-5 打撃エネルギーと切羽評価点の例（破碎帯）

表-5 打撃エネルギーによる切羽前方地山の推定結果の例（破碎帯区間）

パターン	区間	D区間	E区間	F区間
I	1進行長当たりの平均値	500以下	3 500以下	3 500以下
II	深度方向への変化	上昇	1 変化なし	2 上昇
III	1進行長当たりのバラツキ	小さい	1 小さい	1 中程度
IV	局所変動	なし	2 なし	2 なし
切羽評価点の予想	高くなる	1 変化なし	2 変化なし	2
切羽評価点の結果	低くなった	3 変化なし	2 高くなった	1
正誤判定		×	○	×

パターン	区間	G区間	H区間	I区間
I	1進行長当たりの平均値	500以下	3 500以下	3 500以下
II	深度方向への変化	下降	3 上昇	1 下降
III	1進行長当たりのバラツキ	小さい	1 中程度	2 中程度
IV	局所変動	なし	2 なし	2 なし
切羽評価点の予想	低くなる	3 変化なし	2 低くなる	3
切羽評価点の結果	低くなった	3 変化なし	2 変化なし	2
正誤判定		○	○	×

図-3, 5 より、破碎帯区間における打撃エネルギーは、以下のような傾向であったと言える。

- ① 安山岩区間に比べて、打撃エネルギーは小さく、ほとんど 500 (J/cm/min) 以下となっている。
 - ② 地山全体が破碎されていた為、1 進行長当たりのバラツキが小さくなったものと考えられる。
- F,H,I の区間で、平均打撃エネルギー値が 500

(J/cm/min) を超えている時もある。しかし、区間全体で判断したとき、大部分が、500 (J/cm/min) 以下であるので、500 (J/cm/min) 以下と判定とした。また、E区間の切羽評価点は、高くなった後に低くなり、最初と最後はほぼ同じ点数となっている。このような切羽評価点の変動は、評価区間を設定したときには分からないので、評価が難しいが、判定としては、「変化なし」とした。

破碎帯区間に対する探査の場合、予想と結果が等しくなったのは、8区間中3区間であり、危険側に誤答したのも3区間存在した。

3.3 泥岩区間での地山評価

泥岩区間で実施された地山評価の結果例を、図-6、表-6 に示す。今回示した結果は、STA.12+99.4～12+71.4 である。平均の打撃エネルギーは停滞した後に上昇している。今回の区間分けは、図中に示すとおり、J, Kの2区間とした。

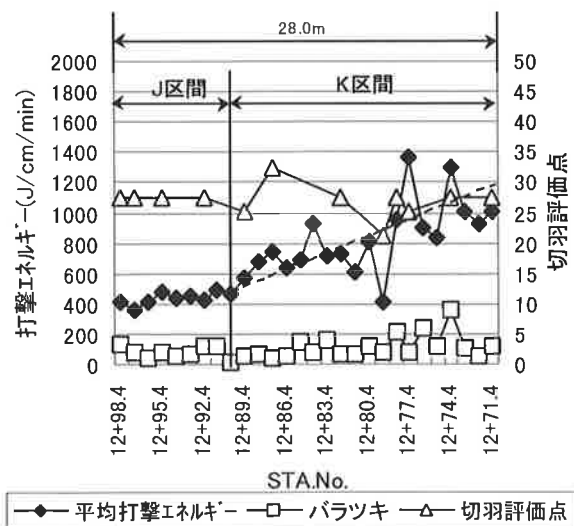


図-6 打撃エネルギーと切羽評価点の例（泥岩区間）

表-6 打撃エネルギーによる切羽前方地山の推定結果の例（泥岩区間）

パターン	区間	J区間	K区間
I	1進行長当たりの平均値	500以下	3 500以上
II	深度方向への変化	変化なし	2 上昇
III	1進行長当たりのバラツキ	小さい	1 中程度
IV	局所変動	なし	2 低下あり
切羽評価点の予想	変化なし	2 高くなる	1
切羽評価点の結果	変化なし	2 変化なし	2
正誤判定		○	×

泥岩区間における「さぐり削孔」の結果の傾向としては、以下のようなことが言える。

- ①平均打撃エネルギーは、安山岩区間に比べて小さいが、破碎帯区間よりも大きく 500 (J/cm/min) 前後となっている。
- ②バラツキの程度に関しても、安山岩区間に比べれば小さくなっており、破碎帯区間と同程度と考えられる。
- ③深度方向への打撃エネルギーの傾向が、上昇から下降へ、或いは、下降から上昇へと変化するまでの距離が長い。このことより、安山岩区間や、破碎帯に比べて地山性状の変化が少ないと考えられる。

K 区間の局所変動が、上下両方に見られる。しかし、地山を評価する際には、安全側に評価したいとの考えがあったため、低下傾向を優先させる事とした。泥岩区間の探查結果に対して、切羽評価点の傾向に対する正答数は、5 区間で 3 区間であり、危険側への誤答は 2 区間であった。

3.4 判別分析による検討

切羽前方の地山性状を推定する時の最終的な目標は、実際の地山性状を如何に精度良く推定するかにある。一方、施工時に優先されるのは、安全に施工を進めていくことである。即ち、地山性状が悪くなると予想していて実際には現在の地山状況と変わらなかった場合と、現在の地山状況が続くと想定して実際には悪くなった場合とでは、後者の方がはるかに危険であり、このような危険側の誤答を極力減らすことが当手法の適用の可否につながる。

当トンネルで、成因の異なる地質に対してさぐり削孔を実施した結果、打撃エネルギーの出現傾向は地質によって異なったものの、当初設定した地山評価方法による危険側への誤答率は、地質に関係なくほぼ 3 割程度存在した。各評価項目における評価点の内訳を調査したところ、当トンネルの場合、打撃エネルギーが 500 (J/cm/min) 未満の区間や局所的な変動が見られた区間が少なかったことが明らかとなり（表-7 参照）、偏った条件の中で判定を行っていた可能性が高い。

表-7 地山評価の内訳（件数）

		高くなる	変化なし	低くなる
判定項目	I	73	—	10
	II	37	29	17
	III	26	28	29
	IV	9	66	8
予想		30	40	13
結果		18	45	20

そこで、各区間で得られた実際の切羽評価点が「高くなった」＝「1」、「変化なし」＝「2」、「低くなった」＝「3」といった変化を目的関数とし、各評価項目で与えた値を説明変数とした判別分析を行う事とした。

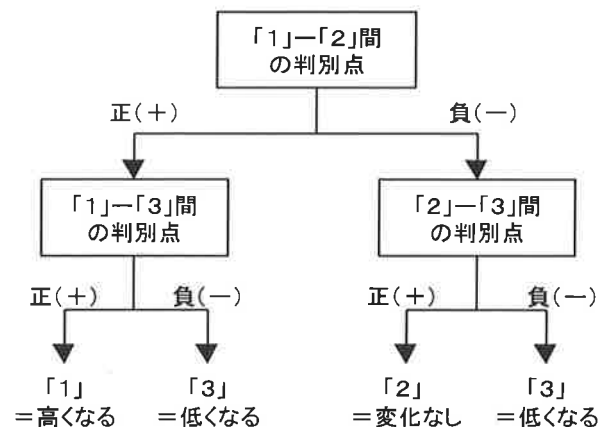


図-7 切羽評価点判別のフロー

判別分析は図-7 に示すように、切羽評価点の変化：「1」－「2」間、「1」－「3」間、「2」－「3」間の「2 群の判別」を適用し、3つの判別式を使用して「高くなった」、「変化なし」、「低くなった」に区分した。

なお、図-7 のフロー中に示す「判別点」とは、説明変数（評価項目）の数値を判別式に代入し求められる値を示す。検討に用いた判別式を[4]～[6]式に示す。

$$Z([1] - [2]) = 3.259 - 0.499 \times (I) - 1.366 \times (II) + 0.013 \times (III) - 0.332 \times (IV) \quad [4]$$

$$Z([1] - [3]) = 4.690 - 1.273 \times (I) - 1.692 \times (II) - 0.213 \times (III) + 0.031 \times (IV) \quad [5]$$

$$Z([2] - [3]) = 1.430 - 0.774 \times (I) - 0.326 \times (II) - 0.225 \times (III) + 0.363 \times (IV) \quad [6]$$

判別分析によって得られた切羽評価点の変化に関する予測値と実測値の関係を図-8 に示す。

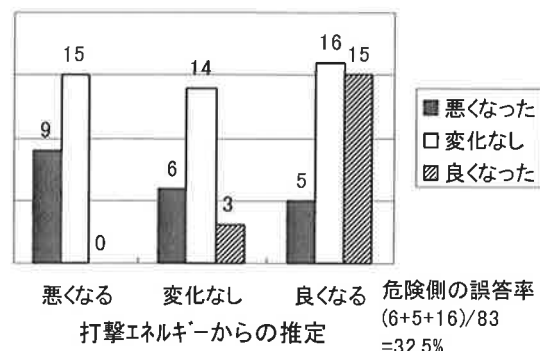


図-8 切羽評価点の変化に関する判別分析の結果

判別分析を実施しても、危険側への誤答率が 30%程度存在している。この理由として、以下のことが考えられる。

- ①前述の通り、誤答数に地質毎の差が見られなかったことから、評価区分の設定に原因があるものと考えられる。例えば、平均打撃エネルギーを 500 (J/cm/min) で分けているが、実際には、ほとんどの区間で 500 (J/cm/min) 以上の値であった。したがって、500 (J/cm/min) 以上の評価区分を細分化する必要があったものと推察される。
- ②打撃エネルギーのバラツキの程度を「大」「中」「小」の3区分に分けているが、定性的である。これを、数値で区分して、明確にすることが必要であったと考えられる。
- ③打撃エネルギーによる地山評価の妥当性を検証するために切羽評価点の変化に着目してきたが、実際にはほとんど変化のない地山であった。その為、打撃エネルギーの変化に対して、切羽評価点の変化が鈍かったものと考えられる。

この様に、評価区分に見直しの必要があるものの、幅広い岩種に適用し、評価区分を修正することによって、打撃エネルギーの出現パターン（値、深度方向への増減、バラツキ、局所的な変動）を用いた切羽前方の地山性状の評価は可能であると考えられる。

4. 結論

以上のように、打撃エネルギーの出現パターンに着目した地山評価基準を作成し、実施工に適用した結果、以下の事が明らかとなった。

- ①「さぐり削孔」で得られた打撃エネルギーを平均値や深度方向への増減傾向、バラツキ、局所的な変動を判定項目とした地山評価基準によって、切羽評価点の変化を予測したところ、危険側に予測してしまう場合が 30%程度あった。今回設定した評価基準には、まだ改善の余地が残されるが、評価区分を見直すことによって、推定精度は向上していくものと考えられる。
- ②当トンネルで適用した地山の大部分が、同一の岩盤等級区分に含まれており、地山性状が偏っていたと

ともに、変化に乏しかった。これが、危険側への誤答が30%程度存在した理由の一つとして挙げられる。

- ③安山岩と泥岩という成因の異なる2つの地質に対して、打撃エネルギーは、その平均値やバラツキの程度が異なる傾向を示す事が明らかとなった。即ち、安山岩では、打撃エネルギー値が比較的高く、深度方向でエネルギーが増減する周期が短いのにに対して、泥岩では、打撃エネルギー値が低く、打撃エネルギーの増減傾向が変化する周期が長くなった。

5. おわりに

「さぐり削孔」のデータを用いた打撃エネルギーから地山評価基準を作成し、切羽前方の地山性状の評価を行った。そこで得られた評価は、掘削後の切羽観察結果に比べて 30%程度、危険側への判定を含んでいた。しかし、「さぐり削孔」の結果は切羽の一点の性状を示しているという事を考慮すれば、切羽前方の地山性状を推定する事は可能であると思われる。

今後は、幅広い岩種、岩級の地山に適用し、切羽評価点法以外の地山分類法とも比較しながら、打撃エネルギーを用いた地山評価基準で示した評価区分を修正していくことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1)橋詰茂,井上博之：さぐり削孔データを用いた切羽前方地山の性状予測に関する研究，前田建設技術研究所報,VOL.39, pp141～146, 1998 年 10 月。
- 2)日本トンネル技術協会・資材機械委員会：トンネル工事用機械ハンドブック，上巻，pp8～9, 日本トンネル技術協会。
- 3)井上博之,皆川聡一,他：さぐり削孔時の打撃エネルギーとボーリングコアでの岩級区分との関係について，第 54 回土木学会学術年次講演会，1999 年投稿中
- 4)日本道路公団：トンネル施工管理要領（計測工編），pp4～8,pp23～24, 平成 9 年 12 月，日本道路公団。