

山岳トンネルにおける先進ボーリングによる地山評価の課題について

(公財) 深田地質研究所 フェロー ○亀村勝美
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 岡崎健治, 倉橋稔幸, 山崎秀策
 株式会社フジタ技術センター 正会員 村山秀幸

1. はじめに

山岳トンネルの標準工法である NATM では事前調査結果や施工中に得られる情報により適宜支保の妥当性を確認し、必要に応じ支保工の変更、掘削法の変更、補助工法の実施などを行う、いわゆる情報化施工が行われる。

しかしながら事前に行われる調査では、質量ともに必ずしも十分な情報が得られず、施工中の切羽において当初の想定と大きく異なる地山条件に遭遇し、支保工や掘削工法の変更あるいは変状に伴う支保工の補強、縫返しなどを余儀なくされ、結果として多くの追加費用と工期を必要とすることになる事例も少なくない。

これに対し北海道の道路トンネルの施工では、施工時に切羽から先進ボーリングを実施し、地質の確認、孔内速度検層、コアの岩石試験などを行い、事前に設定した支保パターンの見直しを行うことが北海道開発局の道路設計要領(2018)で規定されている。そして著者らのこれまでの検討^{1),2)}で、先進ボーリングを行うことにより施工時の地山評価結果の一致度を高めることが出来ることが明らかとなった。一方で多くの貴重な情報が有効に活用されているとは言えない状況も明らかとなった。ここでは先進ボーリングデータを分析し、現状の地山評価法について検討を加える。

2. 先進ボーリングによる地山等級評価

表-1は、設計要領に示された分類表の一部を示したもので、 V_p^* とRQD(5)は「剥離性に富まない古生層～深成岩、火成岩」について適用される値、そのほかは全岩種について適用されるものである。ここに V_p^* は地山の弾性波速度、K は亀裂係数、 σ_c^* は準岩盤圧縮強度である。

先進ボーリングの結果に基づいて地山分類をする場合、各評価項目の評価結果が一致し、先進ボーリングによる地山分類が簡単に決定できるのは稀であり、多くの場合図-1に示すように各評価項目で評価結果が異なり、先進ボーリングでの評価を困難なものにしている。そこで、実際にどのように評価結果がばらついて調べた。

北海道の16本のトンネル(総延長31km)で得られた先進ボーリングデータの内、表-1に示された項目の外、コアの弾性波速度それに先進ボーリングに基づく地山等級と施工時地山等級などが全て揃っている安山岩に分類される241のデータについて分析を加える。これらのデータで地山分類表に基づく各評価項目の評価結果と実際の施工での地山区別の一致度を調べた結果は、表-2に示すようになった。このように評価結果が最も実際の施工結果と一致するのは V_p^* であるが、241データ中88、36.5%が一致しているに過ぎず、RQD(5)では、わずかに6.6%が一致しているだけである。

表-1 地山分類表 (部分)

地山区分	V_p^*	RQD(5)	K	σ_c^*	地山強度比
	(km/s)	(%)	(%)	(MPa)	
A	4.5以上	60以上		140以上	
B	4.0~4.5	50~80	25以下	140~35	
C1	3.5~4.0	30~70	25~50	35~15	≥4
C2	3.0~3.5	20~50	50~70	15~7	4~2
D1	2.5~3.0	40以下	70~80	7~3.5	2~1
D2		30以下	80以上	3.5~1.5	1以下

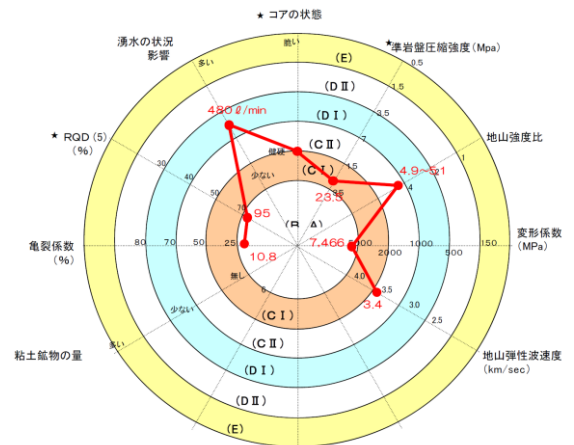


図-1 先進ボーリングに基づく地山評価結果例

キーワード 山岳トンネル, 先進ボーリング, 地山分類, 地山弾性波速度

連絡先 〒160-0004 東京都文京区本駒込 2-13-12 (公財) 深田地質研究所 TEL 03-3944-8010

分類表に示された評価項目のそれぞれの評価結果は、このように実際の施工結果とかなり異なっている。すなわち先進ボーリングにより大量のデータが得られたとしても分類表に基づいて機械的に地山等級が決まるわけではなく、これらのデータに加えて切羽の地質調査結果、過去の同様の岩種での施工経験などと合わせて総合的に評価する地質技術者の判断による場所が大きいことが伺われる。

3. 地山分類評価項目間の一致度

次にこれらの評価項目がお互いどれだけ一致していたのかを見る。表-3 に示すように、 V_p^* , RQD(5), K, σ_{c^*} の4項目がすべて一致したケースはなく、3項目が一致したのが4.1%, 2項目が一致したのが14.5%, 1項目が一致したのが37.8%であり、43.6%は4項目が一致していない結果となった。

次に評価項目の組合せを変えた場合に一致率がどう変化するかを調べた。3項目で評価する場合、 V_p^* を含まない組合せでは一致率が悪くなるのが判る。

また V_p^* を含む項目では、RQD(5)を含まないものの組合せが最も一致率が高い。2項目では V_p^* と σ_{c^*} の組合せで一致率が最も高く、 V_p^* 以外の項目と RQD(5)の組合せは一致率が非常に悪くなっている。

すなわち、今の分類表の閾値では、 V_p^* が最も施工結果との関連性がよく、RQD(5)の関連性が悪い結果となっている。このことから V_p^* の閾値を見直し、 V_p^* による判定結果にウェイトを置いた判断をすることで一致率を高めることが出来ると考えられる。しかしこの V_p^* と施工結果の地山分類の関係を示す図-2 を見ると、標本数の多い C2, D1 では広範囲に分布しており、閾値の見直しは非常に困難である。

4. おわりに

情報化施工によってすでに多くの山岳トンネルが施工され、大量の調査、設計、施工そして維持管理に関わる情報が蓄積されている。しかしそれらは、十分に活用されているとは言い難い状況にある。今回の検討対象とした先進ボーリングによる地山分類の指標に対するこれまでにない質と量のデータは、既往の分類法の見直しを可能とし、その結果はより合理的なトンネルの設計施工につながるものであり、今後とも検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 亀村勝美・倉橋稔幸・岡崎健治・山崎秀策・村山秀幸・丹羽廣海 (2018) : 先進ボーリングによる地山評価とその効果, 第 68 回年次学術講演会, 土木学会.
- 2) 丹羽廣海・倉橋稔幸・岡崎健治・亀村勝美 (2019) : トンネル先進ボーリングデータの分析による合理的地山評価に向けた検討, 第 28 回トンネル工学研究発表会, トンネル工学報告集, 土木学会.

表-2 各評価項目の評価結果と施工結果の関係

評価項目	V_p^*	RQD(5)	K	σ_{c^*}
一致数	88	16	37	68
割合 (%)	36.5	6.6	15.4	28.2

表-3 評価項目の組合せと施工結果の一致率

評価項目		一致無	1項目が一致	2項目が一致	3項目が一致	4項目が一致	
4	V_p^* -RQD(5)-K- σ_{c^*}	個数	105	91	35	10	0
		割合 (%)	43.6	37.8	14.5	4.1	0.0
3	V_p^* -K- σ_{c^*}	個数	115	83	37	6	-
		割合 (%)	47.7	34.4	15.4	2.5	-
	V_p^* -RQD(5)- σ_{c^*}	個数	121	87	32	1	-
		割合 (%)	50.2	36.1	13.3	0.4	-
V_p^* -RQD(5)-K	個数	124	96	18	3	-	
	割合 (%)	51.5	39.8	7.5	1.2	-	
RQD(5)-K- σ_{c^*}	個数	151	77	13	0	-	
	割合 (%)	62.7	32.0	5.4	0.0	-	
2	V_p^* -RQD(5)	個数	142	94	5	-	-
		割合 (%)	58.9	39	2.1	-	-
	V_p^* -K	個数	135	87	19	-	-
		割合 (%)	56.0	36.1	7.9	-	-
	V_p^* - σ_{c^*}	個数	131	82	28	-	-
		割合 (%)	54.4	34.0	11.6	-	-
	RQD(5)-K	個数	191	47	3	-	-
		割合 (%)	79.3	19.5	1.2	-	-
RQD(5)- σ_{c^*}	個数	177	62	2	-	-	
	割合 (%)	73.4	25.7	0.8	-	-	
K- σ_{c^*}	個数	162	71	8	-	-	
	割合 (%)	67.2	29.5	3.3	-	-	

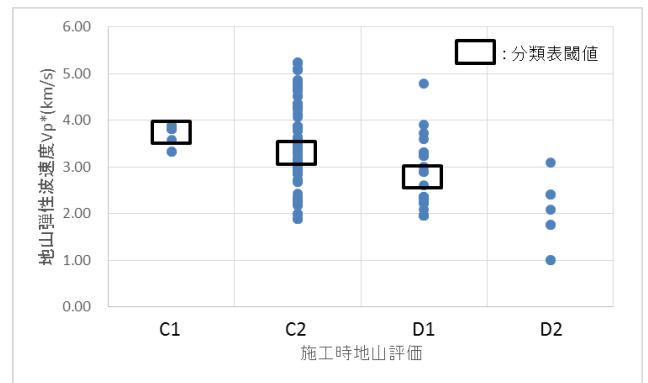


図-2 施工時地山評価結果と地山弾性波速度の関係