

山岳トンネルの設計施工における地山等級判定について —岩盤の弾性波速度と準岩盤強度の関係—

(公財) 深田地質研究所 フェロー会員 ○亀村 勝美

1. 目的

北海道の道路トンネルでは、道路設計要領¹⁾によって全線にわたって切羽からの先進ボーリングが原則とされており、これによって地山に関する多くの情報が得られる。そこで先進ボーリングが実施された16のトンネル(全長31km)における事前調査結果、先進ボーリング結果と施工実績の関連性について検討を加えてきた。そしてこれまでに、ある程度の費用と時間を必要とするが切羽からの先進ボーリングから得られる大量の情報を生かすことにより、予測と施工時の地山等級との一致率をかなり高くでき、最終的に合理的なトンネル施工が可能となることを示してきた。一方で、先進ボーリングにより得られる大量の情報は必ずしも地山分類評価に活かされていないことも明らかになってきた。ここでは、現行の地質調査結果に基づく地山評価法(地山分類表)を見直すことによって、評価結果の精度を向上させることが出来る可能性があることを示す。

2. 地山分類表に基づく地山区分

道路設計要領で提示されている地山分類表では、岩種ごとの地山弾性波速度 V_p^* 、RQD(5)、亀裂係数 K 、準岩盤圧縮強度 σ_c^* 、地山強度比などが分類のための指標として用いられている。ここでは先進ボーリング結果のなかでも比較的データ数の多い安山岩について指標間の関係を分析する。

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。

16トンネルの内、安山岩が認められるのは9トンネルの412データであるが、そのうち孔内検層による地山弾性波速度 V_p^* と室内試験によるコアの弾性波速度 V_{pc} と一軸圧縮強度 σ_c が得られているのは280データである。

地山分類表で指標の一つとして用いられている準岩盤圧縮強度 σ_c^* は、 V_p^* と V_{pc} を用い次式で計算される。

$$\sigma_c^* = \sigma_c \times (V_p^* / V_{pc})^2$$

この式から求められた σ_c^* と V_p^* の関係を図1に示す。この図には表1で示された岩盤区分の範囲も示している。

このように σ_c^* と V_p^* の広く分布している関係に対し、地山分類表の閾値の傾向は大まかに対応しているものの σ_c^* による判定結果と V_p^* による判定結果が一致しているものは少ない。具体的に分布の状況を数え上げると表-2のようになる。ただし280のデータのうち51については表-1に示した分類表で対応するカテゴリーがないため残りの229データが分析対象となっている。

表-2を見ると σ_c^* による判定結果と V_p^* による判定結果が一致しているのはC2の11.3%を最高に全体で27.0%でしかない。すなわち多くのケースで判断に迷うこと

表-1 地山分類表¹⁾(部分)

地山区分	V_p^* (km/s)	RQD(5) (%)	K (%)	σ_c^* (MPa)
A	4.5-	60-		140-
B	4.0-4.5	50-80	-25	140-35
C1	3.5-4.0	30-70	25-50	35-15
C2	3.0-3.5	20-50	50-70	15-7
D1	2.5-3.0	-40	70-80	7-3.5
D2		-30	80-	3.5-1.5

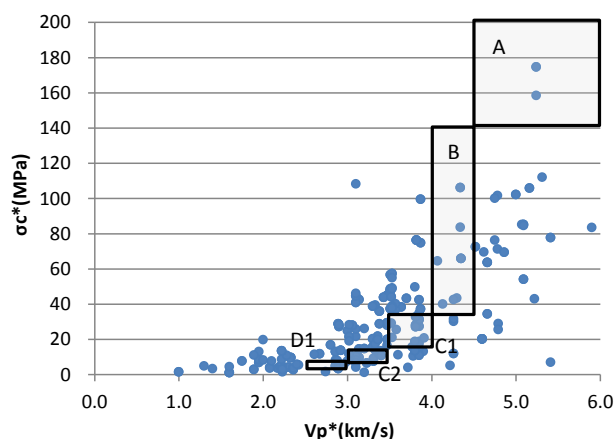


図-1 準岩盤圧縮強度と地山の弾性波速度の関係と
現行の分類表による区分閾値

キーワード 山岳トンネル, 地山分類, 弾性波速度, 準岩盤強度

連絡先 〒113-0021 東京都文京区本駒込2丁目13-12 (公財) 深田地質研究所 TEL 03-3944-8010

になる。

この σc^* と Vp^* による判定結果の一致割合を高めるためには、区分判定の閾値を変える必要がある。

3. 閾値を変更した場合の一致度

図-2は、 Vp^* の閾値を変更した例を示したものである。このような閾値を仮定すると表-3のような判定結果の対応が得られる。この場合、 Vp^* に対する閾値の範囲が広がったため対象とするデータは229から277へと増加している。このように σc^* と Vp^* による判定結果が一致する割合は、C1の17.6%を最高に全体で39.4%と大幅によくなっている。とはいえ、まだ60%は対応していない。

この一致割合を高めるためには、様々な岩種について様々な判定指標間での関係性を評価していく必要がある。その際、単に得られているデータの統計的な分析結果だけによるのではなく、物理的あるいは工学的な観点からの検討も行っていく必要がある。

4. まとめ

ここでは、先進ボーリングによって得られる大量の地山の工学的特性に関する情報を詳細に分析し、トンネルの設計・施工の基礎となる地山分類について検討した。我が国に情報化施工を基本理念とする山岳トンネル工法が導入されて30年が経過しようとしている。この工法によってすでに多くのトンネルが施工され、供用されている。しかし、この間の調査、設計、施工、そして維持管理に関わる情報は必ずしも活用されているとは言い難い状況にある。

こうした観点から北海道における先進ボーリングについて考えて見てみると、分類の指標として用いているデータの種類も、またその数も桁外れに多く既往の分類法の適否を評価するのに最適であると考えられる。

岡崎ら²⁾は既にトンネルの地質調査・施工計測データを情報資源とみなし、それを如何に活用するかについて検討を行っている。筆者もその一環として、貴重なデータに関し様々な検討を行ってきた³⁾。しかし膨大な情報の評価はまだ道半ばであり、明確な結果を得るまでには至っていないのが現状である。今後とも、より合理的なトンネルの設計施工を目指し更なるデータの分析、検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路設計要領第4集トンネル, 2012.
- 2) 岡崎他：トンネルの地質調査・施工計測データの情報資源化に向けた検討例, 第66回年次学術講演会, 土木学会, 2011.
- 3) 亀村他：山岳トンネルにおける先進ボーリングの効果に関する検討, 第68回年次学術講演会, 土木学会, 2013.

表-2 現行分類表による準岩盤圧縮強度 σc^* と地山弾性波速度 Vp^* による地山等級判定結果

(上：ケース数 下：割合)

		$\sigma c^*(MPa)$						
		140以上	140~35	35~15	15~7	7~3.5	3.5~1.5	
$Vp^*(km/s)$	4.5以上	3	27	9	1	0	0	A
	4.0~4.5	0	10	2	2	1	0	B
	3.5~4.0	0	40	19	7	1	0	CI
	3.0~3.5	0	19	31	24	5	0	CII
	2.5~3.0	0	0	8	11	5	3	DI
		A	B	CI	CII	DI	DII	

		$\sigma c^*(MPa)$						
		140以上	140~35	35~15	15~7	7~3.5	3.5~1.5	
$Vp^*(km/s)$	4.5以上	1.3%	11.7%	3.9%	0.4%	0.0%	0.0%	A
	4.0~4.5	0.0%	4.3%	0.9%	0.9%	0.4%	0.0%	B
	3.5~4.0	0.0%	17.4%	8.3%	3.0%	0.4%	0.0%	CI
	3.0~3.5	0.0%	8.3%	13.5%	10.4%	2.2%	0.0%	CII
	2.5~3.0	0.0%	0.0%	3.5%	4.8%	2.2%	1.3%	DI
		A	B	CI	CII	DI	DII	

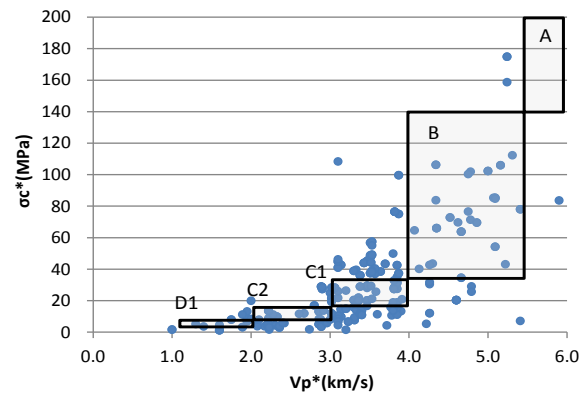


図-2 区分閾値を変えた場合の準岩盤圧縮強度 σc^* と地山の弾性波速度の関係

表-3 閾値を変えた場合の準岩盤圧縮強度 σc^* と地山弾性波速度 Vp^* による地山等級判定結果

(上：ケース数 下：割合)

		$\sigma c^*(MPa)$						
		140以上	140~35	35~15	15~7	7~3.5	3.5~1.5	
$Vp^*(km/s)$	5.5以上	0	1	0	0	0	0	A
	4.0~5.5	3	36	11	3	1	0	B
	3.0~4.0	0	59	50	32	6	1	CI
	2.0~3.0	0	0	10	22	18	9	CII
	~2.0	0	0	0	6	4	5	DI
		A	B	CI	CII	DI	DII	

		$\sigma c^*(MPa)$						
		140以上	140~35	35~15	15~7	7~3.5	3.5~1.5	
$Vp^*(km/s)$	4.5以上	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	A
	4.0~4.5	1.1%	12.7%	3.9%	1.1%	0.4%	0.0%	B
	3.5~4.0	0.0%	20.8%	17.6%	11.3%	2.1%	0.4%	CI
	3.0~3.5	0.0%	0.0%	3.5%	7.7%	6.3%	3.2%	CII
	2.5~3.0	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	1.4%	1.8%	DI
		A	B	CI	CII	DI	DII	