

山岳トンネルの地山分類における判定指標について

(公財) 深田地質研究所 フェロー 〇亀村 勝美

1. はじめに

山岳トンネル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標準工法となっている。

しかしながら事前に行われる調査からは必ずしも十分な情報が得られず、また、施工中の切羽において得られる地質や内空変位などもその地点での情報でしかなく、掘削前の地山状況予測に活用することは難しい。このため、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、事前の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(2012)で規定されている。

設計時と施工時の地山評価結果の一致度を高めるためには、何よりもまず多くの地山情報を事前に得ることが重要である。ここでは先進ボーリングデータを分析し、その情報の有用性を示すとともに、現状の地山分類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。

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、岩種、P 波検層による地山弾性波速度、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データは 1004 ある。その中から坑口部などの特殊条件区間を除き、さらに亀裂係数が評価されている「剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩」に分類される 545 データについて分析を加える。図-1 と表-2 に地山弾性波速度 V_p^* と施工時地山等級の関係を示す。ここで V_p^* は 0.5km/s 刻みでカウントし、各地山等級ごとに割合として表示している。

表-2 ように地山等級 C1 での V_p^* の対応は良い。また地山等級 C2 では、最頻値の前後に広く分布しているものの、平均値は 3.1km/s であり分類表の閾値に対応している。最頻値の前後のものを含めた 2.5～4.0km/s の範囲に含まれるデータは 71%となっている。

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

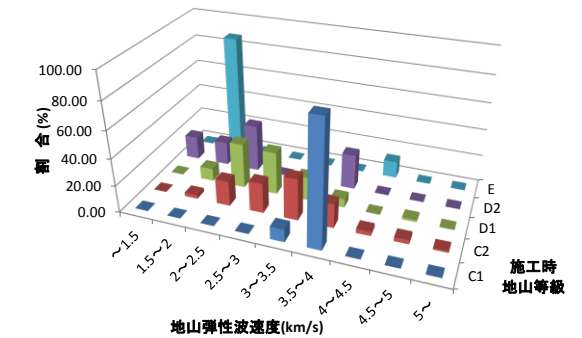


図-1 地山弾性波速度と施工時地山等級の関係

表-2 地山弾性波速度による地山等級判定結果

等級 判定	V_p^* (km/s)	施工時地山等級				
		C1	C2	D1	D2	E
	～1.5	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0
	1.5～2	0.0	2.8	9.5	17.4	87.5
	2～2.5	0.0	18.6	33.3	34.8	0.0
D1	2.5～3	0.0	22.3	31.7	0.0	0.0
C2	3～3.5	9.5	30.9	17.5	4.3	0.0
C1	3.5～4	90.5	17.9	6.3	26.1	0.0
B	4～4.5	0.0	3.3	0.0	0.0	12.5
A	4.5～5	0.0	3.0	1.6	0.0	0.0
	5～	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0

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

地山等級 D1 では、最頻値は 2.0～2.5km/s(33%)となっているが、D1 の閾値 2.5～3.0km/s には 32%が属しており、平均値 2.73km/s と併せて考えると分類表の閾値との対応は良いと言える。地山等級 D2, E については分類表に閾値は示されていないが、表-2 の最頻値は地山等級が悪くなるに従い低下しており、「剥離性に富まない古生層～深成岩、火成岩」では、 V_p^* が地山等級判定の良い指標となっていることが伺える。

とは言え表-2 に示したように判定のための閾値に対する一致度は C1 以外では 30%程度と低い。
この他の判定指標についても同様の検討を行った結果をまとめると、地山分類表での判定指標の内、施工結果との対応が比較的良好なのは地山弾性波速度 V_p^* と準岩盤圧縮強度 σ_c^* であった。これらについては閾値を見直すことによって施工結果との一致度を高めることが出来ると考えられる。

3. 変更した閾値による地山等級判定結果

具体的に「剥離性に富まない古生層～深成岩、火成岩」のデータについて閾値を変え、 V_p^* による地山等級判定の一致度を上げることを試みる。何回かの試行の結果、C1 から D1 に着目すると図-2 と表-3 に示すような結果が得られた。
ここに示したような閾値を設定することによって V_p^* による地山等級判定の一致度は 50%以上になる。

では各判定指標に設定されている閾値をそれぞれについて見直せば問題は解決かというそうではない。例えば図-3 は今回検討した「剥離性に富まない古生層～深成岩、火成岩」に分類される岩種の V_p^* と RQD(5)の対応状況を地山分類表の閾値とともに示したものである。

このように V_p^* と RQD(5)による地山等級が一致するものは極端に少なく、閾値の見直しに当たっては一方の指標を見直すだけでは不十分である。すなわち指標相互の関係を考慮して行う必要があり、閾値見直しの作業は困難を極めることは想像に難くない。

4. おわりに

情報化施工に基づく山岳トンネル工法（いわゆる NATM）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、この間に蓄積された大量の調査、設計、施工そして維持管理に関わる情報は、十分に活用されているとは言い難い状況にある。

こうした観点から見ると、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、これまでにない大量のデータは既往の分類法の適否を評価するのに最適である。しかし膨大な情報の評価はまだ道半ばであり、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

亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦・佐々木博一（2013）：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。
亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦（2014）：先進ボーリングの効果について—弾性波速度と地山等級の関連性—，第 42 回岩盤力学に関するシンポジウム，土木学会。

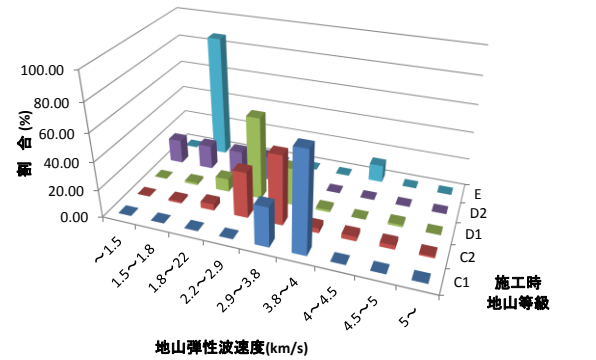


図-2 閾値を変化させた場合の判定結果との関係

表-3 閾値を変化させた場合の地山等級判定結果

等級判定	V_p^*	施工時地山等級				
		C1	C2	D1	D2	E
	～1.5	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0
	1.5～1.8	0.0	1.4	1.6	17.4	87.5
	1.8～2.2	0.0	4.7	9.5	17.4	0.0
D1	2.2～2.9	0.0	33.0	58.7	17.4	0.0
C2	2.9～3.8	28.6	50.0	27.0	30.4	0.0
C1	3.8～4	71.4	3.5	1.6	0.0	0.0
B	4～4.5	0.0	3.3	0.0	0.0	12.5
A	4.5～5	0.0	3.0	1.6	0.0	0.0
	5～	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0

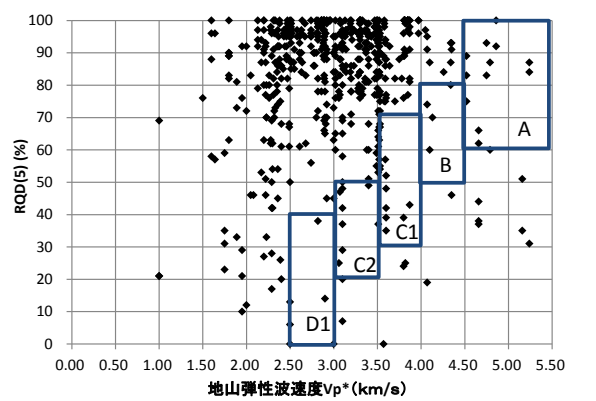


図-3 地山弾性波速度と RQD(5) の関係