岩盤構造物の性能評価における課題
－地山分類における判定指標について－

亀村勝美

深田地質研究所

Some Issues on the Performance Evaluation of Tunnel and Underground Cavern
- Indices for the Rock Mass Classification -

KAMEMURA Katsumi

Fukada Geological Institute

要旨：北海道の道路トンネルで実施された全線にわたる切羽からの先進ボーリングデータに着目し，これまでに①ある程度の費用と時間を必要とするが先進ボーリングから得られる豊富な情報を用いることにより，予測と施工時の地山等級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，②とは言え先進ボーリングにより得られる大量のデータのすべてが活かされてはいないこと，③これに対し現行の地山分類を見直すことにより地山分類の一致率をさらに高めることが出来る可能性があること，などを明らかにしてきた．ここでは，引き続き地山分類に用いられる様々な指標の関係について検討を加え，地山分類の具体的な見直し方法について検討する．

キーワード：山岳トンネル，地山分類，先進ボーリング

Abstract: Geological and mechanical data, which is given by advancing borings from tunnel faces of the road tunnels in Hokkaido, has been examined, and following results have been obtained. ①: Though advancing borings need a certain amount of cost and time, a lot of information by advancing borings can make higher an match rate between estimated rock-mass class and excavated one. ②:However, it is hard to say that all data of advancing borings has been fully used. ③:So, reviewing of rock-mass classification process might be necessary to have a better match rate. Here, indexes and its threshold value for the estimation of rock-mass classification are examined.

1. はじめに

山岳トンネルでは事前調査結果に基づき地山を評価し，その評価結果の地山等級に対応する支保工，掘削法により施工する．そして施行中に切羽から得られる追加情報により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は，地形図・地質図の判読，地表踏査，地表からの物理探査それに数少ない地表からのボーリングなどであり，必ずしも十分な情報が得られているとは言えない．また，切羽における観察や，内空変位計測，支保工応力計測などにより得られる情報も，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．

したがって，当初設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.

このように情報化施工による施工では，切羽が対象地点に到達する以前に詳細な地質情報を得て的確に評価することが重要であるが，現状はかなり難しい．土木学会トンネル工学委員会では，こうした問題について検討し，トンネルライブラリー（土木学会，2007）の中で，いかに事前の地山分類評価結果と実際が合わないかを示している.

これに対し北海道の道路トンネルの施工では，施工時に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．表1には，その調査項目を示した.

岡崎ら（2011a）は，この先進ボーリングから得られる貴重なデータに着目し16本のトンネル（総延長31km）についてデータを収集し，検討を行っている．その結果，北海道のトンネルにおける内空変位量と全国のそれを比較すると，どの地山分類においても北海道の方が小さくなっており，施工時の地質情報の差，すなわち先進ボーリングの有無が影響しているとしている.

設計時と施工時の地山評価結果が一致しない原因として，調査技術に関わるハード的課題，調査結果の解釈に関わるソフト的課題などが考えられるが，何よりもまず多くの地山情報を得て地質調査担当者，設計担当者，施工担当者が的確な判断を下し，想定外の事象に遭遇するリスクを小さくすることが，山岳トンネルの施工における重要な課題といえる.

ここでは北海道のトンネルの地山評価結果に関するデータを分析し，先進ボーリングから得られ

表1　先進ボーリングによる調査項目

トンネル名		
位　置	SP（m）	起
		終
	孔 番	
	深度(m)	
土被り		
岩　種	地 層 名	
	柱状図岩種	
	風化	
	変質	
	記号	
事前調査	地山弾性波Vpg(km/s)	
	亀裂係数Kg(%)	
	地山等級	
	設計P	
先進ボーリング	P波検層Vph(km/s)	
	亀裂係数Kh(%)	
	載荷試験E(MPa)	
	岩石試験	σc(MPa)
		Vpc(km/s)
		ρt(g/cm3)
		Ec(MPa)
	RQD,RCI	RQD(10)
		RQD(5)
		RCI(1)
		RCI(2)
		RCI(3)
		RCI(4)
		RCI(5)
		SRCI(1)
		SRCI(2)
		SRCI(3)
		SRCI(4)
		最大コア長
		柱状コア率
	平均RQD,RCI	RQD(10)
		RQD(5)
		RCI(1)
		RCI(2)
		RCI(3)
		RCI(4)
		RCI(5)
		SRCI(1)
		SRCI(3)
		SRCI(4)
		最大コア長
		柱状コア率
	コア長（cm）	①
		②
		③
		④
		⑤
		データ数
	最大湧水量(l/min)	
	地山強度比Vpg	
	地山強度比Vph	
	地山強度比σ/hγ	
	地山強度比による地山等級(Vpg)	
	地山強度比による地山等級(Vph)	
	地山強度比による地山等級(σ/hγ)	
	平均RQD(10)による地山等級	
	先進Br.による地山等級	

る情報の有用性を示すとともに，現状の地山分類法の問題点を明らかにする．

2. 先進ボーリングによる地山等級評価

先進ボーリングにより得られる地山特性に関する情報は，表1に示すように多種多様である．しかし，これらのデータの全てが活用されているかというと必ずしもそうではなく，昨年の年報（2014）で示した通り，データの評価に当たっては，地山分類に用いる各々の指標間の関係について検討する必要がある．

2.1 地山分類表による地山等級評価

北海道開発局の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Vp*，RQD (5)，亀裂係数K，準岩盤圧縮強度σc*，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．分類表の適用される岩種は，古生層～深成岩（剥離性に富むものと富まないもの），火山岩，新第三紀堆積岩類の4種類である．そして以下の検討では，柱状図岩種として粘板岩と分類されたものを剥離性に富む古生層～深成岩として，安山岩，凝灰岩，凝灰角礫岩，礫岩と分類されたものを剥離性に富まない古生層～深成岩，火山岩として，そして砂岩，泥岩と分類されたものを第三紀層堆積岩類として評価している．

表2は，設計要領に示された分類表の一部を示したもので，Vp*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．

この表においてRQD(5)は，1片5cm以上のコアの総長÷掘進長×100%で算出するもので，北海道開発局分類表で独自に用いられるものである．広く用いられているRQD(10)は，1片10cm以上のコアの総長から計算される．

表2 地山分類表（部分）

地山区分	Vp* (km/s)	RQD(5) (%)	K (%)	σc* (MPa)	地山強度比
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

また亀裂係数Kは，亀裂の無い岩石の弾性波速度と亀裂を含む地山の弾性波速度の比に基づく割れ目状態の判定指標で，次式で定義される．

$$K = \{1 - (Vp^*/Vpc)^2\} \times 100\%$$

Vp*：地山の弾性波速度(km/s)

Vpc：コアの弾性波速度(km/s)

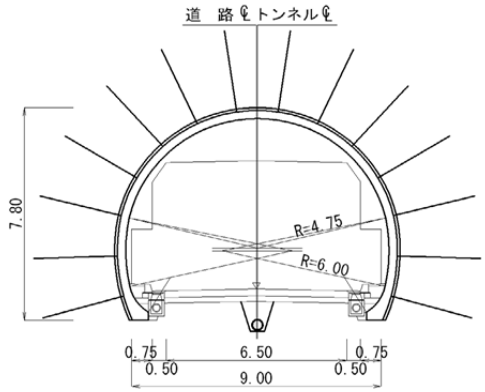
次に準岩盤圧縮強度σc*は，Vp*とコアの弾性波速度Vpcを用い次式で計算され，亀裂を含む岩盤の圧縮強度を示すものである．

$$\sigma c^* = \sigma c \times (Vp^*/Vpc)^2$$

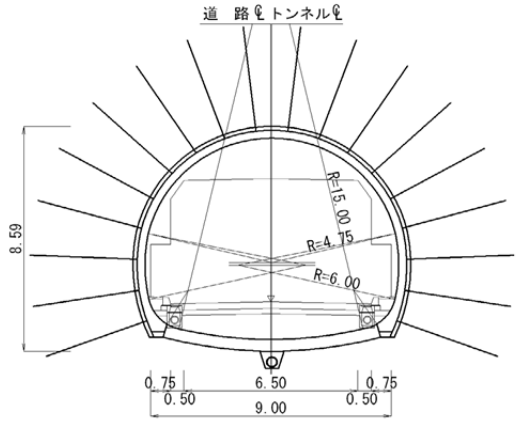
地山強度比は，$\sigma c^* / (\gamma H)$で定義され，軟岩地山における地山の押出し性の判定指標として提案されたものであり，γは地山の単位体積重量(kN/m^2)，Hはトンネルの土被り高さ(m)である．

トンネルの設計に当たっては，事前調査によって得られた地山に関する様々なデータに基づいて分類表，類似地山条件における施工事例，地形・地質に関する過去の知見等を総合的に評価し，A～Eの地山等級を決定する．設計要領には，こうして決定された地山等級に対応したトンネルの掘削法，支保パターンが示されており，それに基づ

いて施工計画が立てられる.図1に支保パターンの例を示す.



(a) C2 の支保パターン



(b) D1 の支保パターン

図1 標準支保パターンの例

2.2 地山等級評価結果

16本のトンネルの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あり, 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745データについて分析を加える.

表3は,事前調査結果に基づき評価した設計時地山等級と施工時に判定された地山等級の関係を示したものである. 表において上部は, 設計時と施工時の地山等級の対応状況を示している. 下部には, 設計時の評価結果が施工結果とどう対応しているかを示した.

「良くなった」は, 例えば設計時にD１評価であったものが, 実際にはそれほど悪い地山条件ではなく, 1ランク上のC2の支保パターンで施工された区間の数と割合を示す.「悪くなった」は, その反対で, 良い地山と想定していたものが実際には悪く, より重い支保パターンで施工された場合を示している.

表3 設計時地山等級評価結果と施工時地山等級の関係

		設計時判定					計
		C1	C2	D1	D2	E	
施工時判定	C1	27			1		28
	C2	120	424	20	2		566
	D1	18	23	48	6		95
	D2		19		29		48
	E.		1			7	8
計		165	467	68	38	7	745
良くなった		0	0	20	9	0	29
一致		27	424	48	29	7	535
悪くなった		138	43	0	0	0	181
良くなった		0%	0%	29%	24%	0%	4%
一致		16%	91%	71%	76%	100%	72%
悪くなった		84%	9%	0%	0%	0%	24%

これを見ると設計時にC１, すなわち良い地山と評価されたものの実に84%が, より重い支保パターンC2, D1で施工されている. この場合, 特にC1からD1への変更は施工法が大きく変わるため, 多くの労力と時間を必要とし, 工期の遅れと工費の増加を招くことになる.

一方, 設計時にC2と評価されたケースでは実施工結果との一致率は91%と非常に高くなっている. これはC2の支保パターンが対応できる地山条件が広く, 想定していた地山条件より多少悪いとし

ても，C2支保パターンに補助工法を併用するなどの対策により対応出来るためと考えられる．

全体としてみると設計時と施工時が一致するのは72%であり，24%が悪い方へ変化している．

次に先進ボーリングにより得られた大量のデータに基づいて地山等級を再評価した結果と設計時の地山等級の関係について整理すると表4のようになる．

表4　設計時地山等級評価結果と先進ボーリングに基づく地山等級判定結果の関係

		設計時判定					計
		C1	C2	D1	D2	E	
先進ボーリングによる判定結果	A		2				2
	A-B		3				3
	A-C1		5				5
	B		11				11
	B-C1		13				13
	B-C2	9	51				60
	B-D2	5					5
	C1	36	3		2		41
	C1-C2	45	75				120
	C1-D1		3	3			6
	C2	39	231	24	5		299
	C2-D1	14	18	12	1		45
	C2-D2		6				6
	D1	9	28	29	10		76
	D1-D2	6	3		4		13
	D2	2	15		16		33
	D2-E					7	7
計		165	467	68	38	7	745
良くなった		14	166	39	22	7	248
一致		36	231	29	16	0	312
悪くなった		115	70	0	0	0	185
良くなった		8%	36%	57%	58%	100%	33%
一致		22%	49%	43%	42%	0%	42%
悪くなった		70%	15%	0%	0%	0%	25%

先進ボーリングに基づく地山等級評価結果にはB-C2，C1 - C2などの幅を持ったものが多い．このような評価結果は，様々な判定指標に基づく地山等級判定結果がばらつき，最終的に一つの等級に絞り込むことが出来なかったことを示している．評価対象とするデータが多いが故の結果ともいえる．

全745データの内, 単一の地山等級に評価されたものは426(62%)であり，残り283(38%)が幅を持った評価結果となっている．中にはB-D2のように5ランクにわたっているものもあり，多くの情報に基づく判定が必ずしも楽ではないことを示している．

さて表を見ると設計時にC1と評価された区間の70%が悪く評価されている．これは事前情報で特に地山条件が悪いとするデータがない場合C1評価とするものの，先進ボーリングによって様々なデータが得られるとどうしても悪い評価とせざるを得ないためと考えられる．これに対し，C2からEの各等級に評価された区間は，その半分近くが良い等級に再評価されている．これはC2以下の設計時評価では，地山に関する情報が乏しい中での等級判定ではどうしても安全側，すなわち悪く評価する傾向があるためと考えられる．

では，こうして先進ボーリングによって再評価された地山等級は実際の施工ではどうであったのかについて見てみよう．表5は，先進ボーリングによる地山等級判定結果と施工時の地山等級の関係を示したものである．

先進ボーリングによる評価で幅を持った結果となった場合，どのような過程を経て施工時の地山等級＝支保パターンを決定したかについては情報がないため, 表5では先進ボーリングに基づく地山等級判定結果が単一の等級になったものについてのみ，施工時地山等級との関係を整理している．

先進ボーリングでAやBと非常に良い等級に評価されたものはすべてC2で施工されており，先進ボーリングで評価された地山情報が実際とはかけ離れていたことになる．

次に先進ボーリングでC1と評価されたものの1/3は施工時に悪く評価されているが，C1からD2

と評価されたもので悪くなったものは1ケースだけであり，施工への影響は少ないと思われる．

一方，先進ボーリングでC2以下に評価されたものは施工時地山等級との一致率は高く，悪く評価されたものは非常に少なくなっている．全体として先進ボーリングによる再評価結果と施工時評価との一致率は88%と高くなっている．そして悪くなったものは10%と設計時と施工時の場合の24%より大幅に小さくなっている．

以上から先進ボーリングに基づく地山等級評価が有効であったことが判る．

表5　先進ボーリングに基づく地山等級判定結果と施工時地山等級の関係

		先進ボーリングによる判定結果						計
		A	B	C1	C2	D1	D2	
施工時判定	C1			28				28
	C2	2	11	12	289	4	4	322
	D1				8	60	1	69
	D2			1	2	12	28	43
	E.							0
計		2	11	41	299	76	33	462
良くなった		0	0	0	0	4	5	9
一致		0	0	28	289	60	28	405
悪くなった		2	11	13	10	12	0	48
良くなった		0%	0%	0%	0%	5%	15%	2%
一致		0%	0%	68%	97%	79%	85%	88%
悪くなった		100%	100%	32%	3%	16%	0%	10%

このように先進ボーリングによる評価で単一の地山等級に評価されたものは，施工結果との一致度が非常に高くなっている．

事前の地山予測の精度を上げるために新たな地質調査法を開発することは容易ではないが，すでに手法として確立している先進ボーリングを活用することによって，より多くの地質情報が得られ，地山評価の精度が向上することが判る．問題は，単一の等級評価とならなかった745-462＝283区間の存在である．

図2に示す地山等級判定例のように，地山分類表によって地山等級を評価する際，判定指標間で矛盾する結果となる場合が多い．この例では地山弾性波速度とRQD(5)では地山等級はA，Bと評価されるが，変形係数ではC2，準岩盤圧縮強度ではD1などとなっており，最終的にどの地山等級とするかは地質調査担当者の悩みどころである．このような状況を判定指標の閾値を見直すことによって極力減らすことが出来れば，先進ボーリングの有効性をより高めることが出来る．

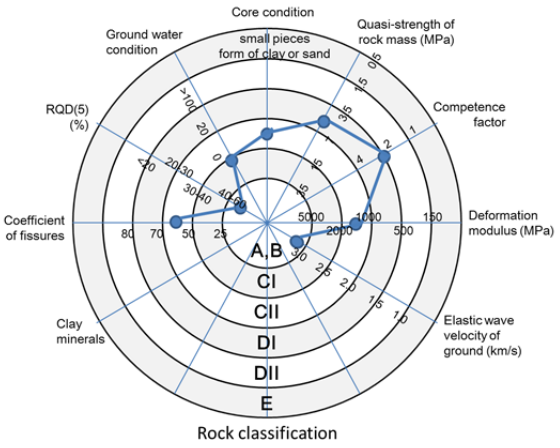


図2　地山分類表に基づく地山等級判定結果例

3.　地山分類における判定指標と判定結果

3.1　地山弾性波速度と施工時地山判定結果

ここでは表2に示した設計要領の地山分類表の判定指標と施工時の地山等級との関係について検討を加え，地山分類表における判定指標の閾値の見直しの可能性について検討する．

まず地山弾性波速度Vp*について施工結果との関係を見る．様々な地山等級判定指標が評価されている745データについてVp*と施工時地山等級の関係を示すと，図3のようになる．ここで地山弾性波速度は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．

このように地山等級に応じた最頻値（各地山等

級におけるVp*の分布で最も多く現れる値）を示すものの，分布は広範囲にわたっていることが判る．そこで具体的に地山分類表との関係を見るために，各地山等級ごとの平均値と最頻値を地山分類表に示された値とともに表6に示した．

各地山等級とも平均値，最頻値は「剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩」に対応しているものの，最頻値における割合は，地山等級C2，D1では小さくなっており，Vp*が広く分布していることが判る．また複数のピークを持つものもあり，単一の閾値ですべての岩種を網羅できていないことが判る．

そこで「剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩」に分類した安山岩等（545データ），「剥離性に富む古生層～深成岩」に分類した粘板岩（34データ）そして「第三紀堆積岩類」に分類した砂岩，泥岩（114データ）のそれぞれについてVp*と施工時地山等級の関係を整理した．

図4，表7に示したように「剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩」では，地山等級C1でのVp*の対応は良い．一方地山等級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．地山等級D1では，最頻値は2.0～2.5km/s(33%)となっているが，2.5～3.0km/sには33%が属しており，平均値と併せて考えると分類表の敷地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7の最頻値，平均値ともに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

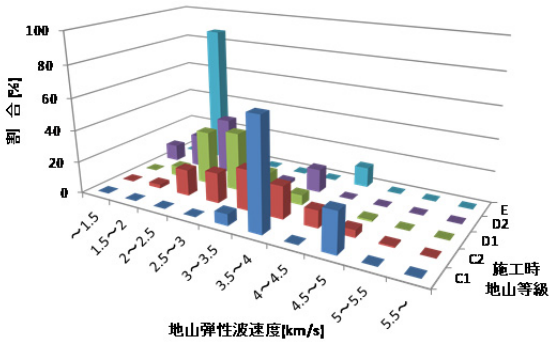


図3　地山弾性波速度と施工時地山等級の関係

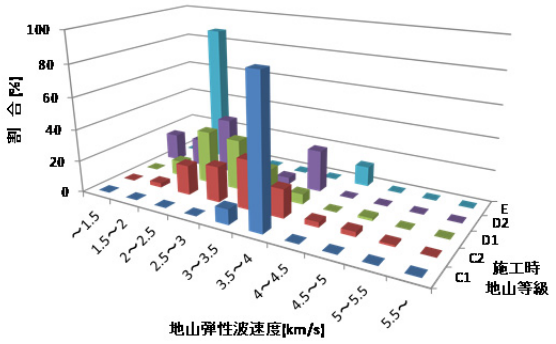


図4　地山弾性波速度と施工時地山等級の関係
（剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩）

表6　地山弾性波速度と地山等級との関係

地山弾性波速度(km/s)

地山区分	分類表 剥離性に富まない古生層～深成岩、火山岩	施工結果最頻値	占める割合（%）	平均値
A	4.5以上			
B	4.0～4.5			
C1	3.5～4.0	3.5～4.0	68	3.95
C2	3.0～3.5	3.0～3.5	25	3.26
D1	2.5～3.0	2.5～3.0	37	2.71
D2		2.0～2.5	35	2.32
E		1.5～2.0	87	2.08

表7　地山弾性波速度と地山等級との関係
（剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩）

地山弾性波速度(km/s)

地山区分	分類表 剥離性に富まない古生層～深成岩、火山岩	施工結果最頻値	占める割合	平均値
A	4.5以上			
B	4.0～4.5			
C1	3.5～4.0	3.5～4.0	90	3.74
C2	3.0～3.5	3.0～3.5	31	3.10
D1	2.5～3.0	2.0～2.5	33	2.73
D2		2.0～2.5	35	2.37
E		1.5～2.0	87	2.08

成岩，火成岩」では，Vp*が地山等級判定の良い指標となっていると考えられる．

次に図5，表8に示した「剥離性に富む古生層～深成岩」の岩種では，分類表に示された閾値によく対応している．ただし地山等級D1，D2はそれぞれ１データしかなく，確定的なことは言えないが，この「剥離性に富む古生層～深成岩」の岩種においても，Vp*が分類表による地山等級判定の良い指標となっていると思われる．

以上の岩種に対し図6，表9で示した砂岩，泥岩が属する「第三紀堆積岩類」では分類表との対応は良いとは言えない．地山等級C1は2データしかないが，分類表の閾値とは異なり非常に高いVp*となっている．

この2つのVp*に対応するコアの弾性波速度を見ると，5.4km/sと高い値を示しており，またRQD(10) は60と91%，RQD(5)は81と91%となっており，非常に堅硬な岩石であったことが伺われる．また地山等級C2では最頻値が4.0～4.5km/sにあり，半数のデータが属している．

このように地山等級C1，C2では分類表の閾値に対し非常に高い値となっているのに対し，地山等級D1では，すべてのデータが2.0～3.0km/sの範囲に属している．また地山等級D2でも半数が2.0～2.5km/sに属している．

「第三紀堆積岩類」では地山等級C1，C2と地山等級D1，D2で地山弾性波速度分布が極端に異なっているものの，地山等級判断の指標として有効であると考えられる．ただし現在の地山分類表での閾値と施工結果とは対応していないため，検討する

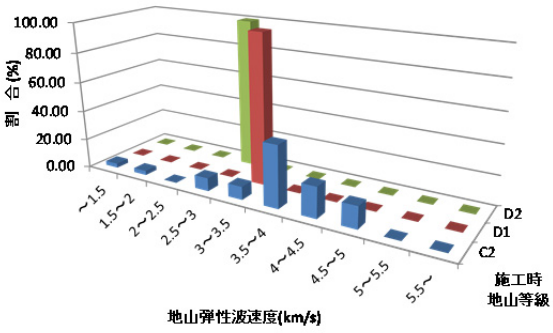


図5　地山弾性波速度と施工時地山等級の関係
（剥離性に富む古生層～深成岩）

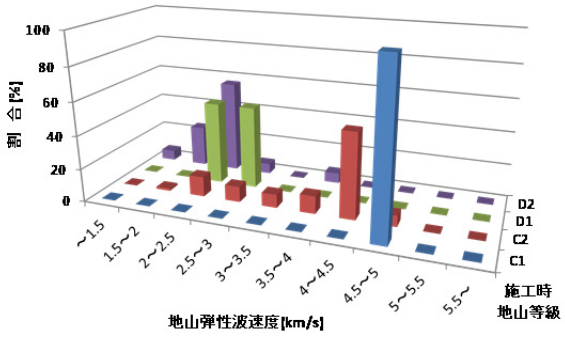


図6　地山弾性波速度と施工時地山等級の関係
（新第三紀堆積岩類）

表8　地山弾性波速度と地山等級との関係
（剥離性に富む古生層～深成岩）

地山弾性波速度(km/s)

地山区分	分類表 剥離性に富む古生層～深成岩	施工結果最頻値	占める割合（%）	平均値
A	4.8以上			
B	4.5～4.8			
C1	4.0～4.5			
C2	3.5～4.0	3.5～4.0	41	3.80
D1	3.0～3.5	3.0～3.5	100	(3.21)
D2		2.5～3.0	100	(2.56)

表9　地山弾性波速度と地山等級との関係
（新第三紀堆積岩類）

地山弾性波速度(km/s)

地山区分	分類表 第三紀堆積岩類	施工結果最頻値	占める割合（%）	平均値
A				
B	3.0以上			
C1	2.5～3.0	4.5～5.0	100	4.60
C2	2.0～2.5	4～4.5	51	3.75
D1	1.5～2.0	2～2.5 2.5～3.0	50 50	2.44
D2	1.0～1.5	2～2.5	56	2.19

必要がある.

3.2 その他の判定指標と施工時地山判定結果

まず分類指標RQD(5)について検討する. RQD(5)と施工時地山等級が得られている745データの内,「剥離性に富まない古生層～深成岩, 火成岩」に対応する545データを10ポイント刻みでカウントし, 地山等級ごとにその分布状況を示したのが図7である.

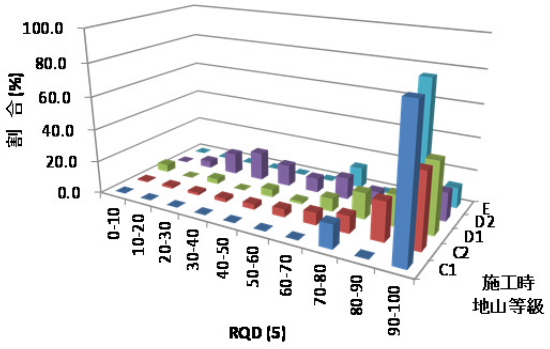


図7 RQD(5)と施工時地山等級の関係
(剥離性に富まない古生層～深成岩, 火成岩)

地山等級C1, C2, D1では最頻値は90-100にあり, 表2の地山分類表では地山等級Aと評価されるものがほとんどということになる. すなわち分類表と全く対応していない. 一方, D2では最頻値は90-100と30～40の2カ所にあるものの広く分布している. 平均値はC1：97, C2：82, D1：79, D2：56, E：85であり, C1からD2へ向かって減少する傾向は見られる. とは言え図に示したような結果からは, RQD(5)を地山等級判定の主要な判定指標として用いることには無理があり, 他の指標による判定の際の補助的な指標として用いられていると思われる.

次に亀裂係数Kについて検討する. 全岩種の745データについて, 表2の地山分類表に示された各地山等級に対する亀裂係数の閾値に対応するものをカウントした結果を図8, 表10に示す.

このように亀裂係数は各地山等級において50%以下となっており, 地山分類表に示された閾値とほとんど対応していない. 亀裂係数を地山等級判定の直接的な判定指標として用いるには無理があると思われる. しかし表10に示した施工結果の各地山等級に対応する亀裂係数の平均値は, 地山等級がC1からD2へと悪くなるにしたがって増大しており, 分類表の閾値を見直すことによって判定結果と施工結果の適合度を向上させられる可能性はある.

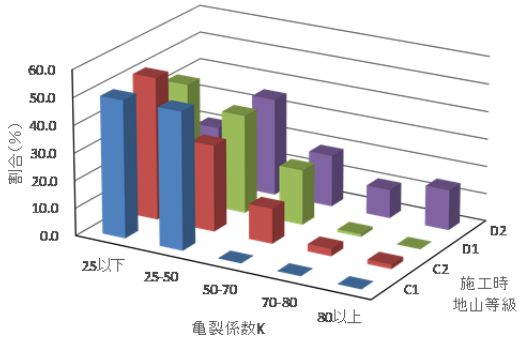


図8 亀裂係数Kと施工時地山等級の関係

表10 亀裂係数Kと地山等級の関係

(%)

地山区分	分類表 亀裂係数K	施工結果 平均値	最頻値
A			
B	25以下		
C1	25～50	22.4	25以下、25-50
C2	50～70	27.0	25以下
D1	70～80	30.5	25以下
D2	80以上	49.4	25～50

次に準岩盤強度σc*について亀裂係数と同様に整理した結果を図9, 表11に示す. 準岩盤強度はその定義から, 掘削切羽における地山の状況をもっともよく表している指標と思われるが, その分布

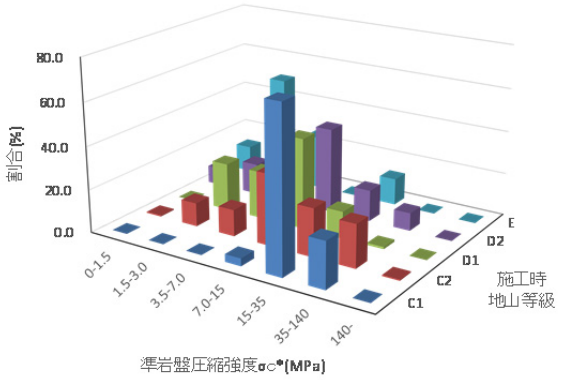


図9　準岩盤強度σc*と施工時地山等級の関係

表11　準岩盤強度σc*と地山等級の関係

(MPa)

地山区分	分類表 準岩盤圧縮強度	施工結果 平均値	最頻値
A	140以上		
B	140～35		
C1	35～15	30.8	35～15
C2	15～7	22.9	15～7
D1	7～3.5	9.0	15～7
D2	3.5～1.5	12.0	15～7
E	1.5～0.5	6.7	3.5～1.5

範囲は広く分類表の閾値との相違も明確である．

最頻値が分類表の閾値と対応しているのは地山等級C1，C2だが，その分布状況を見てみると最頻値より上位のランクに多く分布している．反対に地山等級D1, D2では最頻値より下位のランクに多くが分布している．

一方，表11の施工結果の地山等級ごとの準岩盤圧縮強度の平均値を見ると，地山等級がC1からEへと悪くなるにしたがって減少しており（ただしD2は例外），分類表の閾値を見直すことによって判定結果と施工結果の適合度を向上させることが出来る可能性があると思われる．ただしそのためには準岩盤強度と施工結果との関係についてより詳細な検討が必要である．

表12　地山強度比と地山等級の関係

施工時地山等級	分類表による判定結果 C1 4以上	C2 4～2	D1 2～1	D2 1以下	計
C1	22	1	4	0	27
C2	234	115	80	42	471
D1	69	16	6	2	93
D2	29	6	11	2	48
E	0	2	2	4	8
計	354	140	103	50	647
C1	6%	1%	4%	0%	4%
C2	66%	82%	78%	84%	73%
D1	19%	11%	6%	4%	14%
D2	8%	4%	11%	4%	7%
E	0%	1%	2%	8%	1%

最後に地山強度比について見てみる．表12は準岩盤圧縮強度σc*と土被り圧（土被り深さH×地山の単位体積重量γ）によって地山強度比が計算できる647データについて分類表に基づく地山等級と施工結果の地山等級との関係を示したものである．

先進ボーリングで得られるデータに基づく判定によって地山等級C1と評価される354データの内，実際にC1として施工されたのはわずかに6%であり，より悪い地山等級C2で施工されたものは66%，D1は19%，D2は8%と，ほとんどが施工時に悪い地山等級に判断されている．

一方，先進ボーリングのデータでで地山等級C2と評価されるものは82%が実際にC2として施工され，16%はより悪い地山等級D1，D2，Eで施工されている．また地山等級D1，D2と評価されるものは，実際に施工される場合，その多くがより良い地山等級に評価されている．

このように地山強度比による地山等級判定結果と施工結果との対応は良いとは言えず，地山強度比による等級判定結果に依らず，C2支保パターンで施工される場合が非常に多くなっている．この原因としては，先にも述べたとおりC2支保パター

ンが様々な地山条件に対応し易いということもあるが，やはり施工時の地山等級判定プロセスの実態を詳細に分析し，その上で閾値の見直しなどを行う必要がある．

以上述べてきた検討結果をまとめると，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いのは地山弾性波速度Vp*と準岩盤圧縮強度σc*である．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．一方RQD(5)については，施工結果との対応は悪く判定指標として用いるのは難しいと思われる．

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とそうではない．例えば図10は今回検討したデータの内，「剥離性に富まない古生層～深成岩，火成岩」に分類される岩種についてVp*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Vp*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．

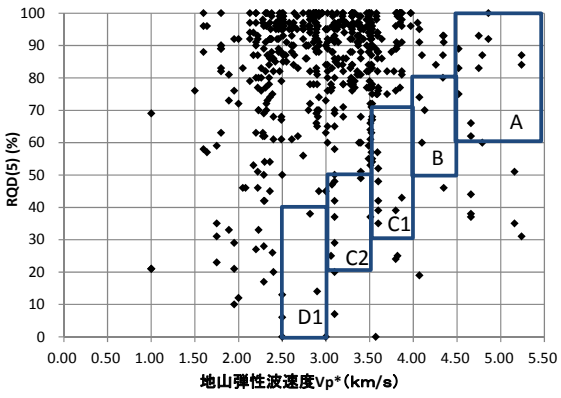


図10　地山弾性波速度とRQD(5)の関係

4.　おわりに

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（いわゆるNATM）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北海道の道路トンネルにおける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．

岡崎ら（2011b）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（亀村ほか, 2013a, 2013b, 2014）．しかし膨大な情報の評価はまだ道半ばであり，今回の検討によっても明確な結果を得るまでには至らなかった．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

土木学会（2007）：より良い山岳トンネルの事前調査・事前設計に向けて，トンネルライブラリー，18.

北海道開発局（2012）：道路設計要領第４集トンネル．

亀村勝美（2014）：岩盤構造物の性能評価における課題－先進ボーリング調査結果と地山分類についてー，深田地質研究所年報，15，107-115.

亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦（2013a）：変状トンネルへの対策工の選定法に関する研究-対策工としての先進ボーリングの効果について-，第13回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，岩の力学連合会.

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ー，第42回岩盤力学に関するシンポジウム，土木学会.

亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦・佐々木博一（2013b）：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.

岡崎健治・伊東佳彦・佐々木博一（2011a）：北海道における国道トンネル施工時の地質調査と効果に関する検討，第29回道路会議.

岡崎健治・伊東佳彦・佐々木博一（2011b）：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.