

九州大学工学部の学生員 田口 雅文
九州大学工学部 正会員 樗木 武

1. 緒言 NATMの普及が著しい現在、その標準設計の確立が待ち望まれている。しかし、我国の地質は変化が激しく複雑なため、必ずしも理論的に扱えず、本題の解決を困難にしている。そこで、本研究は、現在までに全国各地で行なわれたNATM施工実例をもとに、統計的分析を行な、新たな地山分類を行ない、その成果をNATMの設計に資するものであり、ここではその一報として、地山分類の提案と、この分類とNATM設計諸元との関係について若干の考察を行なうものである。

2. 地山の分類方法と分類結果 地山の性質を表わす要因として、表-1に示すように、地質、弾性波速度、き裂、湧水を選び、それぞれ2～5個の範ちゅうに分ける。ここで、地質、弾性波速度の分け方が分類の良否を左右するが、本研究では従来の国内の分類方法(国鉄、池田、建設省、道路公団)を参考にした。き裂、湧水は分類の際、主観の入り易いものであるが、本研究では弾性波速度を補間するものとした。

NATMの行なわれた各地山を、地山状態が変わるごとに1ケースとし、前述の範ちゅうに対応させ、0-1型の反応変数で数量化し、数量化理論第Ⅲ類により分析を行な

要因	地 質			弾性波速度 (km/s)					き 裂			湧 水	
	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
範ちゅう	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
地質	凝成岩	火山岩	第三紀	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1	2	3	1	2
弾性波速度	古生層	中生層	第四紀	以上	～	～	～	以下	少い	多い	多い	少い	多い
き裂													
湧水													
計	0.03	-0.52	0.28	-1.54	-1.62	-0.60	0.73	1.44	-1.39	-0.12	1.67	-0.61	1.82
算	0.83	0.87	-1.20	1.65	1.66	-1.07	-0.71	0.37	0.92	-1.64	0.92	-0.35	1.04
結	1.90	-2.00	-0.46	2.55	-2.00	1.00	0.03	-1.05	-0.02	0.13	-0.14	-0.15	0.45
果	0.12	0.13	-0.18	0.08	0.76	-1.68	2.68	-2.22	-0.09	0.10	-0.01	-0.03	0.10
変	1.02	0.08	-0.91	-4.08	2.00	1.63	-0.18	-1.07	-0.38	0.31	0.06	-0.20	0.59

表-1 地山の性質を表わす要因と数量化理論第Ⅲ類による計算結果

い、各範ちゅうを数量化した。そのうち、5次元までの数量化の結果 $Y_1 \sim Y_5$ を示せば、同表の下半分のとおりである。 Y_1 は弾性波速度、き裂の順位性が保存された指標であるが、 Y_2 以下は特定の範ちゅうで正値、または負値を与えられている。

次に、各地山に対し、対応する範ちゅうの Y_i の値を総和し、これを反応数で除したものを Z_i とし、これによるクラスタ分析を行な、それぞれの地山を分類した。ここで、しに関して、どの次元までを考慮すべきか、また、各次元の重みをどうするかが問題であるが、種々の試みの結果、表-1の5次元を使用し、また、重みづけを行なわないものが、単純明快かつ良い結果が得られたので、これを使用す

分類	地質	弾性波速度 (km/s)	き 裂	湧 水	$Z_1 \ Z_2 \ Z_3 \ Z_4 \ Z_5$				
					1	2	3	4	5
1	1	5.0 以上	少い	少い	負	正	正	正	負
	2	"	"	"	"	"	"	"	"
2	1	4.0 ～ 5.0	少い	少い	負	正	負	正	正
	2	"	"	"	"	"	"	"	"
3	1	3.0 ～ 4.0	多い	少い	負	負	正	負	正
	2	"	"	"	負	負	負	負	正
4	1	2.0 ～ 3.0	少い	多	負	負	正	負	正
	2	"	多	多	正	負	負	正	負
5	1	2.0 以下	非常に多	多	正	正	正	正	正
	2	"	"	"	正	正	負	正	負
6	1	"	"	"	正	正	負	負	負
	2	"	"	"	"	"	"	"	"

表-2 統計的手法による地山分類

ることとする。すなわち、地山の分類結果を示せば、表-2のとおりである。機械的操作によ、て分類したにもかかわらず、妥当な結果が得られていると言える。また、従来の分類では、定性的な記述によ、ているため主観が入る可能性が大きい、本分類では定性的な記述は少なく、単に弾性波探査やボーリングコアの状態から地山分類を行なえる特色を有する。あるいは、表にも示すように $Z_1 \sim Z_5$ の正負により、機械的に分類を行いうることが強調できる。

3. NATM設計・施工諸元の分類方法と分類結果 NATM設計・施工諸元の分類を行なうため、吹付けコンクリート厚、トンネル断面方向単位長さ当りロックボルト本数、ロックボルト密度、ロックボルト長の4

つの指標を用いて、クラスター分析を行なった。ここで、トンネル断面方向単位長さ当りロックボルト本数とは、吹付けコンクリート面上の断面方向ロックボルトピッチの逆数であり、ロックボルト密度とは、次式で与えられる無次元量である。

$$D = L / \sqrt{T \cdot E} \quad \text{ここに、} D: \text{ロックボルト密度} \quad L: \text{ロックボルト長}$$

T : 断面方向ロックボルトピッチ E : トンネル軸方向ロックボルトピッチ

この他に、堀削方法や支保工などの指標も考えられるが、これらは NATM において付随的なものであると考え、また、分類を単純化する意味からも省略した。分析の対象は、地山分類の妥当性を考察する目的から、土被り 20~160m、堀削断面形状は国鉄単線型に限った。また、ロックボルトは長さの異なるものを混合して使用したり、上半と下半でピッチを変えているものなどが多数あるが、これらは一断面の平均値を用いて分析を行なった。この結果、表-3 に示す分類が得られたが、

分類	吹付けコンクリート厚 (cm)	断面単位長さ当りボルト数 (本/m)	ロックボルト密度	ロックボルト長 (m)
1	10	0	0	0
2	5~7	0.4~0.7	0.8~2.0	2.0~2.5
3	10~12.5	0.5~1.1	1.2~2.6	2.0~3.0
4	15	0.8	1.5~1.6	2.0
5	15	1.0~2.0	2.4~3.5	3.0

表-3 NATM 設計・施工諸元の分類

吹付け厚 10cm、ロックボルトなしのケースを分類 1 とし、以下吹付け厚を中心として分類の順位とした。ここで、分類 3 ではロックボルトの設計が広範囲にわたっているが、トンネル断面方向ロックボルト本数 0.5~0.7、ロックボルト密度 1.2~1.7、ロックボルト長 2.0m が 6 割以上を占め、その他はロックボルト長 2.0m と 3.0m を混合して使用しているものや、3.0m のものを疎に打設しているような、特殊なものも含まれる。

4. 地山分類と NATM との関係について 上述のように、地山分類及び NATM 設計・施工諸元の分類を行ない、両者の対応関係を示したものが表-4 である。

統計的手法	NATM 設計・施工分類					
	1	2	3	4	5	計
地山分類	1	0	1	0	0	1
	2	2	2	3	1	0
	3	5	4	20	1	1
	4	0	0	1	3	2
	5	0	0	6	0	4
計	7	7	30	5	7	56

$$\gamma = 0.64$$

表-4 関連表

池田	NATM 設計・施工分類					
	1	2	3	4	5	計
地山分類	1	0	1	0	0	1
	2	1	2	2	0	0
	3	3	0	8	1	0
	4	0	0	1	1	1
	5	3	4	8	0	0
計	7	7	30	5	7	56

$$\gamma = 0.54$$

表-5 関連表

比較のため、表-5~表-8 にそれぞれ、池田、建設省、道路公団、国鉄 NATM 試案の地山分類で分類したものと、NATM 設計・施工諸元の分類との関係を示す。それぞれの表の右下には、関連の程度を示すため、グッドマン・クラスカルの単調相関係数を算出した。これらの関連表から、著者らが提案する地山分類は、 $\gamma = 0.64$ であり、他の分類法に比べて NATM の設計・施工諸元による分類と良く対応していると言える。

他の分類の関連性が低い理由としては、国鉄を除いて NATM を対象とした分類でないこと、さらに、建設省と道路公団の分類は道路トンネルを対象としたものであり、掘削断面積が本研究で対象としたものよりも大きいこと、などが考えられる。国鉄の分類は、NATM を想定したものであるが、この分類に対応する設計試案のどれにも属さない施工例が、実際には多か、たため、高い関連が得られなかつたものと考えられる。

以上のように、ここで提案した地山分類は、機械的操作により作成されたため、ごく単純なものであるが、施工例との関連性は高いと言える。今後は、この地山分類を中心に、土被りや掘削断面積を考慮に入れて、NATM の標準設計を確立して行く予定である。

参考文献

「NATM の設計と施工実例集」 日本トンネル技術協会

建設省	NATM 設計・施工分類					
	1	2	3	4	5	計
地山分類	A	1	1	1	0	0
	B	2	2	2	1	0
	C	3	0	14	1	1
	D	1	4	13	3	6
	計	7	7	30	5	7

$$\gamma = 0.46$$

表-6 関連表

道路公団	NATM 設計・施工分類					
	1	2	3	4	5	計
地山分類	A	2	1	1	0	0
	B	2	2	9	0	0
	C	3	0	6	2	1
	D	0	4	14	3	6
	計	7	7	30	5	7

$$\gamma = 0.53$$

表-7 関連表

国鉄 NATM 試案	NATM 設計・施工分類					
	1	2	3	4	5	計
地山分類	IV	0	1	0	0	0
	II I	3	2	3	0	0
	II I	2	0	8	1	1
	II S	0	0	3	0	0
	II	2	0	6	1	0
計	0	4	10	3	6	23
計	7	7	30	5	7	56

$$\gamma = 0.49$$

表-8 関連表