

九州大学工学部 正会員 橋本 武
九州大学工学部 学生員 田口 雅文

1. 緒言

NATMは、我国の山岳トンネル工法として定着しつつあり、多くの施工実例が集積されるように、た、今後は、これらの実績資料を用いて統計的に分析し、実用上の諸情報をうることが必要であるが、本研究は、その1つの試みとして地山とNATMの設計、施工諸元とを、数量化理論第Ⅲ類とクラスター分析により分類し、両者の対応関係を考察するものである。

2. 分類方法

まず、地山の状態を表わす要因として表-1に示すものを用い、それぞれ2-5のカテゴリーに分ける。また、NATMの設計、施工諸元は、表-2に示すように分ける。なお、表-2のロックボルト密度は、次式で算出されるものである。

$$D = L / \sqrt{TE}$$

ここに、D：ロックボルト密度 L：ロックボルト長(m) T：ロックボルト断面方向ピッチ
E：ロックボルトトンネル軸方向ピッチ(m)

各トンネルを、地質が変わるとき、あるいは施工が変わるときに1つのケースとして前述のカテゴリーに対応させ、0-1型の反応変

要因	地 質					弾性波速度 (km/s)					き 裂			湧 水	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
カ	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
リテ	変成岩	火山岩	第三紀砂	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	少い	多い	非常に	少い	多い		
1ゴ	古生代	中生代	第四紀砂	以上	~4.0	~3.0	~2.0	以下							

表-1 地山のカテゴリー

量に数量化するが、数量化理論第Ⅲ類は、

この反応パターンから似たケース同士には近い値、そうでないものには遠い値(区)を多次元的に与えるものである。次いで、この区を用いてクラスター分析に

要因	吹付けコンクリート厚 (cm)				断面方向単位長さ当りボルト本数 (本/m)				ロックボルト密度				ロックボルト長 (m)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
カ	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
リテ	10	10	13	0.7	0.7	0.9	1.1	1.5	1.5	2.0	3.0	2.5	2.5	3.0		
1ゴ	以下	13	以上	以下	0.9	1.1	以上	以下	2.0	3.0	以上	未調	3.0	以上		

表-2 施工のカテゴリー

かければ、それぞれの分類が可能になる。なお、NATMの施工には、地山条件の他に土留りや、掘削断面形状なども大きく影響するが、ここでは地山分類と施工諸元の対応を検討する目的から、土留りについては20~80m、断面は国鉄単線(断面積30~35m²)を対象にした。

3. 地山分類、施工分類

図-1は、地山の各カテゴリーに与えられた数値を3次元まで示したものである。この数値から各地山に Z_1 ~ Z_3 が算出されるが、この数値を用いてクラスター分析にかけ、NATMとの対応を考慮しながら地山を5段階に分類したときの、代表的パターンを示したのが表-3である。従来の国内の分類(国鉄、建設省、道路公団、池田)と異なる点は、(1)弾性波速度の違いをあらわに分類している、(2)地質による弾性波速度の違いをあらかじめ考慮していない、(3)地山の各要因を総て数量で評価し、統合的に分類が行なえるので従来のような曖昧さがない、などの点である。(1)については、施工例が比較的弾性波速度の違いの多いものであり、(2)については、特に地質3を従来の方法に比べて過少評価する

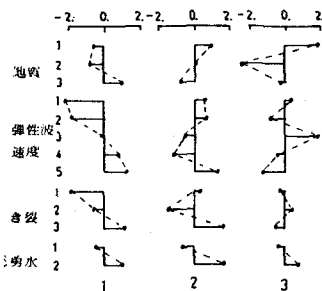


図-1 地山のカテゴリーに与えられた数値

傾向にあるが、き裂の状況や湧水の有無などを総合的に評価しているので、NATMとの対応をみる限り大きな問題はないと言える。

一方、NATM設計、施工諸元に関して檢視すれば、次のとおりである。国鉄半線断面では、ロックボルト長2m、2.5m、3mのものが使用されているが、2mと3mを混合して使用しているもの、上半と下半でピッチを変えているものなども存在し、これらについては平均を用いて数量化を行なう。また、吹付けコンクリート厚は5cmから15cmまでが施工されており、これはロックボルト長とも相関があり、10cmのものは2mのボルト、15cmのものは3mのボルトとともに使用されている例が多い。また、ロックボルト長とピッチとも相関があり、長いものは密に、短いものは疎に打設されている。これらのNATM諸元をもとに

、施工例を地山分類と同様の手法で分類すれば、表-4のとおりである。

4. 地山分類とNATMとの関係についての考察

表-5は、上記の地山分類と施工分類との対応するケース数を示したものである。地山分類1に対しては、施工分類の1~4までが対応しているが、最適な施工がどれであるかは明確でない。前節で述べたように、弾性波速度の速いものについては細かな分類を行ない、ていないことや、施工例が少ないことが1つの原因ではあるが、実際の施工が過大である可能性があり、これは全地山分類についても言えることであるが、今後ロックボルトを減らした施工が行なわれるであろう。地山分類2は、施工分類2~4までが対応しており、地山分類1と同じことが言えるが、大まかには吹付厚10cm、断面単位長さ当り27本、ロックボルト密度1.3、ロックボルト長2mが標準的な設計諸元と判断される。地山分類3,4は、非常に広範囲の施工が行なわれているが、地山分類3の中心は施工分類3~5、地山分類4のそれは4~6であると言える。また、3,4の地山分類で、施工分類8に属するものは、全てボルトの増打ちが行なわれたもので、このような施工はボルトの打設時期が遅れているために、過大にボルトが使用されており、当初から適切に設計されていればより経済的な施工が可能であつたのではないかと推測される。また、この区分の地山における施工2,3は、土被りが40m以下のものが大半をしめており、その影響が現われているものと思われる。地山分類5については、施工分類の7,8が主に対応しており、吹付厚15cm、断面単位長さ当り10本、ロックボルト密度2.0、ロックボルト長3mが標準的設計と考えられる。

以上の考察を踏まえ、また、表-5の関連表について増打ちや土被りの影響のあるものを除いてグッドマン・ワラスカルの属性相関係数を求めれば0.7となることから判断すれば、ここに示す地山分類とNATMの設計、施工諸元との間には強い関連があることがわかる。従つて、地山分類のための指標2~3を、土被りや堀削断面積などとともに説明変数とすればNATMの設計あるいはXのパターン化が可能になるものと判断され、今後はこの点について検討を進めたいと考えている。

参考文献

「NATMの設計と施工実例集1」 日本トンネル技術協会

分類	地質	弾性波速度 (km/s)	き裂	湧水	Z ₁	Z ₂	Z ₃
1	1	4.0~5.0	少ない	少ない	-1.10 以下	0.27 0.28	0.15 0.40
2	1 2	3.0~4.0 4.0~5.0	少ない 少ない	少ない 少ない	-1.10 -0.50	-0.16 0.28	-0.26 0.70
3	1 2 3	3.0~4.0 3.0~4.0 2.0~3.0	多い 多い 多い	少ない 少ない 少ない	-0.13 0.60	-0.97 -0.36	-0.64 0.99
4	1 3	2.0~3.0 2.0以下	非常に多い 非常に多い	多い 多い	0.35 1.09	-0.04 1.35	-0.50 0.63
5	2	2.0以下	非常に多い	多い	0.15 0.64	-0.15 1.19	-1.05 -0.58

表-3 地山の分類

分類	吹付けコンクリート厚 (cm)	断面方向長さ当りボルト本数 (本/m)	ロックボルト密度	ロックボルト長 (m)
1	5	0.4	0.8	2.0
2	7~10	0.5~0.7	1.1~1.3	2.0
3	10	0.7~0.8	1.3~1.6	2.0
4	10~15	0.8	1.5~1.7	2.0
5	10	0.7~1.0	2.0~2.5	2.5
6	10~12.5	0.6~1.1	1.5~2.7	2.0~3.0
7	15	0.6~1.1	3.0	3.0
8	15	1.0~2.0	3.0~3.5	3.0

表-4 施工の分類

		施工分類								
		1	2	3	4	5	6	7	8	計
地	1	2	1	2	1	0	0	0	0	6
山	2	0	2	1	1	0	0	0	0	4
分	3	0	4	5	0	2	5	0	1	17
類	4	0	1	1	4	2	6	2	2	18
	5	0	0	0	1	0	0	2	2	5
	計	2	8	9	7	4	11	4	5	50

表-5 施工分類と地山分類の関連表