

NATMトンネルの地山定数に関する一考察

九州大学工学部 学生員 ○西頭 道孝
九州大学工学部 正員 檜木 武
九州大学工学部 正員 平田 登基男

1. はじめに

NATMトンネルの設計にあたっては、FEMによる力学シミュレーションを行って、その力学的安定性を検討する必要があるが、その際、初期地圧および地山の材料定数をいかに精度よく推定し計算に用いるかが問題である。そこで本研究は、地山の材料定数について、従来の施工例における調査結果を収集し、これを岩種および地山分類ごとに整理して、その平均的な値やばらつきの割合などを調べ、さらに、それらの統計的検定およびクラスター分析を行い、その結果について、考察したものである。

2. 地山定数のクラスター分析ならびに等平均、等分散仮説検定結果と考察

関係各機関から収集した施工データをもとに、各トンネル断面を筆者らが提唱する分類法¹⁾(表-1参照)を用いて地山分類し、その上で岩種別、地山分類別にデータを整理した後に、各グループにおける地山定数(密度、一軸圧縮強度、弾性定数、ポアソン比)の平均値および標準偏差を算出すれば、表-2のようになる。本表で、各地山定数について、その頻度分布形を正規分布と仮定して χ^2 検定を行った結果、全てについて表-2の平均値、標準偏差から成る正規分布であるということが、有意水準1%でいえた。また、表-2に示す各地山定数の平均値と標準偏差を用いて、全平均値と各平均値との比および変異係数を求め、これらに歪度と尖度を加えた4つの指標を用いて各地山定数別にクラスター分析を行った結果を図-1の(a)~(d)に示す。図-1(a)は密度 ρ に関する樹形図で、特に、安山岩(分類3)と花崗岩(分類3)、硬砂岩(分類1)と粘板岩(分類1)が、かなり近い距離にあることがわかる。図-1(b)は一軸圧縮強度 σ_c に関するものであり、ここでは安山岩(分類2)と花崗岩(分類2)、粘板岩(分類1)と片岩(分類1)および硬砂岩(分類1)が、かなり近い距離にある。図-1

表-1 地山分類

分類	地質	弾性波速度 (km/s)	含 量	備 考
1	1	5.0以上	多い	多い
	2	5.0以上	多い	多い
2	1	4.0~5.0	多い	多い
	2	4.0~5.0	多い	多い
3	1	3.0~4.0	多い	多い
	2	3.0~4.0	多い	多い
	3	3.0~4.0	多い	多い
	4	3.0~4.0	多い	多い
	5	3.0~4.0	多い	多い
	6	3.0~4.0	多い	多い
4	1	3.0~4.0	非常に多い	多い
	2	2.0~3.0	非常に多い	多い
	3	2.0~3.0	非常に多い	多い
	4	2.0~3.0	非常に多い	多い
5	1	2.0以下	非常に多い	多い
	2	2.0以下	非常に多い	多い
	3	2.0以下	非常に多い	多い
	4	2.0以下	非常に多い	多い

- 1: 変成岩, 古生層及び中生層(粘板岩, 硬砂岩等)
2: 火山岩(安山岩), 深成岩(花崗岩)
3: 第三紀層(砂岩, 泥岩), 第四紀層

表-2. 岩種別、物性値別の平均値 μ および標準偏差 σ

分類		1	2	3	4	5
地質		5.0以上	4.0 ~ 5.0	3.0 ~ 4.0	2.0 ~ 3.0	2.0以下
1	正	$N=53$	$N=28$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
	正	$N=25$	$N=28$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
	正	$N=17$	$N=28$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
2	正	$N=37$	$N=36$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
	正	$N=17$	$N=36$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
	正	$N=17$	$N=36$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
3	正	$N=37$	$N=36$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
	正	$N=17$	$N=36$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ
	正	$N=17$	$N=36$	$N=24$	$N=25$	$N=24$
	負	μ	μ	μ	μ	μ
	分	σ	σ	σ	σ	σ
	一	μ	μ	μ	μ	μ

ρ : 密度(g/cm^3)
 σ_c : 一軸圧縮強度(kg/cm^2)
 E : 弾性定数($10^8 \text{ kg}/\text{cm}^2$)
 ν : ポアソン比

(c)は弾性定数に関するもので、砂岩(分類5)と泥岩(分類5), 安山岩(分類2)と花崗岩(分類2), 片岩(分類1)と硬砂岩(分類1)が、それぞれ、近い距離にある。また、図-1(a)はポアソン比に関するもので、ここでは特に片岩(分類1), 硬砂岩(分類1)および粘板岩(分類1)が、かなり近い距離にあることがわかった。このような図-1の(a)~(d)の結果と、先ほどの4つの指標のうち歪度と尖度を除いた平均値と標準偏差の2つの指標を用いて各地山定数別にクラスター分析を行った結果とを比較しても、ほぼ同じような傾向が見られる。このことは表-2に示す各岩種の地山定数の頻度分布形が全て、正規分布であるために、歪度と尖度がクラスターリングをしていく上で、さほど大きな影響力を持たないということを意味している。以上、クラスター分析の結果から表-2の分類1において、片岩、硬砂岩および粘板岩が同一グループとして考えられ、さらに分類2, 分類3において、安山岩と花崗岩、分類4, 分類5において砂岩と泥岩がそれぞれ、同一グループとして考えられる。他方、表-2に示す各地山定数について等平均仮説検定ならびに等分散仮説検定を行った結果、危険率5%で片岩(分類1)と硬砂岩(分類1)および粘板岩(分類1)の各地山定数はそれぞれ同一母集団に属することがわかった。さらに、分類2, 分類3において安山岩と花崗岩、分類4, 分類5において砂岩と泥岩の各地山定数がそれぞれ、同一母集団に属することが明らかになった。これら9ことは先に述べたクラスター分析の結果の妥当性を裏付けるものである。

3. まとめ 以上、FEMを用いて力学的シミュレーションを行う際に必要な地山定数について検討した結果、次のことが明らかにできた。(1) 表-2に示す各岩種別の地山定数の頻度分布形は危険率5%で全て正規分布に従うと仮定できる。

(2) クラスター分析および等平均、等分散仮説検定結果から、表-2の分類1においては片岩、硬砂岩および粘板岩は同一グループと見なせる。同様に、分類2, 分類3において安山岩と花崗岩が、また分類4, 分類5において砂岩と泥岩がそれぞれ、同一グループと見なせる。今後は、これらの成果を踏まえてNATMの標準設計を目指すものである。

4. 参考文献

- 1) T. CHISHAKI, et al :
Engineering Classification
of Rock Masses for New
Austrian Tunneling Method,
Memories of Faculty of
Engineering, Kyushu Univ.
Vol. 44, NO. 1, March 1984

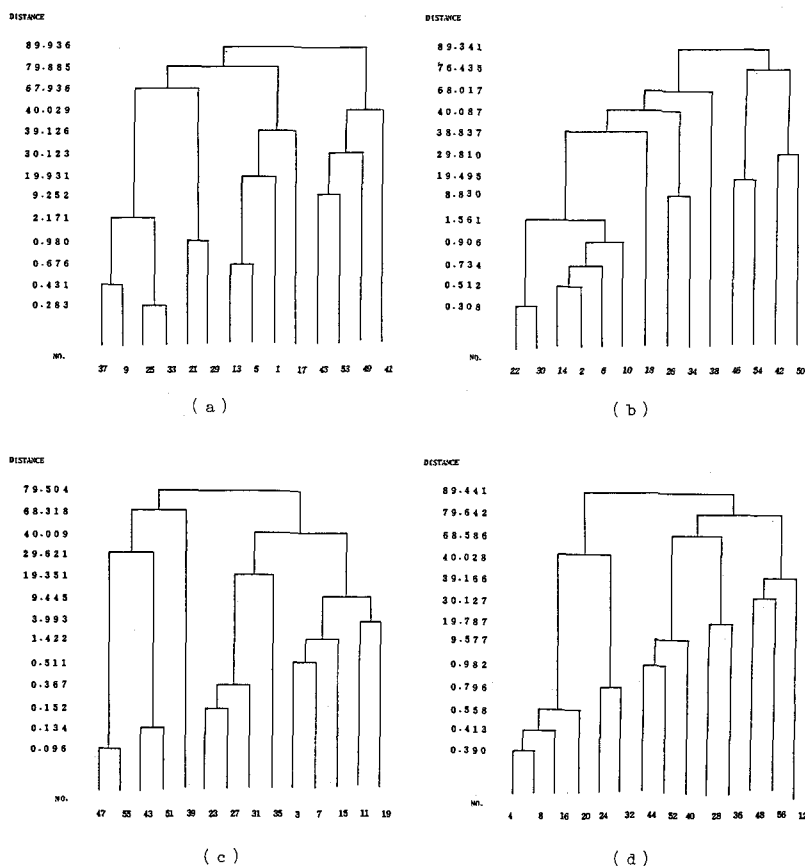


図 - 1 樹形図