

NATMトンネル解析のための地山定数について

九州大学工学部	学生員	○相川 明
九州大学工学部	正員	樗木 武
九州大学工学部	正員	平田 登基男
舞鶴高等学校	正員	西頭 道彦

1. はじめに 著者らは文献①において、我が国におけるNATMトンネルの実績データをもとに、新たな地山分類法を提案した。地質、弾性波速度、き裂の多少、湧水の程度というわずか4つの指標で地山を分類するものであるが、NATMの設計・施工実績に照しあわせると、これらで地山全体の特性を十分に表わしえ、精度的に実用に供しうる分類法が求められた。また、文献②において、本分類に基づく地山区分ごとに、さらに岩種別に地山を細分し、地山定数に関し、クラスター分析および検定を行った結果、岩種別の細分類は不必要であり、本分類のみで地山定数を整理してよいということが確認できた。本研究は、これらの成果をうけて、NATMトンネルの設計・施工基本計画における地山解析に活用すべく、本分類に基づく地山定数の推定方法を検討し提案するものである。すなわち、事前調査で最も手軽に広範囲に行い、しかも、定量的に把握できる弾性波速度をもとに、回帰分析を行い、密度、一軸圧縮強さ、弾性係数およびポアソン比に関する回帰モデルを作成し、これを、設計入力定数として提案するものである。また、地山定数推定における不確実性を積極的に評価する観点から、回帰モデルの残差の確率分布についても考察するものである。

2. 弾性波速度と地山定数との相関分析 図-1は、今日までに施工されたNATMトンネルに関する約460箇所の地質調査データについて、弾性波

速度と地山定数(密度 ρ 、一軸圧縮強さ σ_c 、弾性係数 E 、ポアソン比 ν)との関係をプロットしたものである。図中の数字は、提案する地山分類のカテゴリであり、地山分類ごとに地山定数が異なる傾向がうかがえ、本分類の妥当性を示すものと考えられる。また、図より、一軸圧縮強さおよびポアソン比では、ややばらつきが大きいものの、各地山定数と弾性波速度との間に明らかに相関性が認められ、弾性波速度を岩盤の総合的な力学的強度指標の1指標とみなしうることがわかる。そこで弾性波速度を説明変数とする回帰モデルを種々作成したが、その中から、推定精度が高く、しかも、弾性波速度のすべての領域で符号的に矛盾しないこと、加えて、統一的理解しやすいことを考慮して、以下の指数モデルを提案するものである。なお、図中の実線

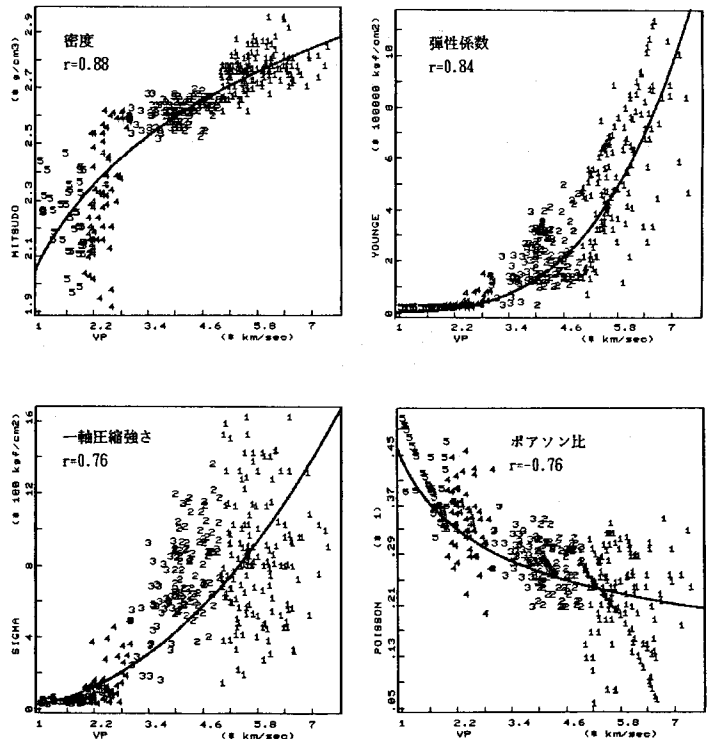


図-1 弾性波速度と地山定数の相関図

は、これらの回帰モデルをプロットしたものである。

$$\left. \begin{aligned} \rho &= 2.064 \rho_p^{0.1638}, \sigma_c = 22.83 \rho_p^{2.107} \\ E &= 8.156 \times 10^4 \rho_p^{3.893}, \nu = 0.4501 \rho_p^{0.2882} \end{aligned} \right\} (4)$$

ここに、 ρ : 密度(g/cm^3), σ_c : 軸圧縮強さ(kg/cm^2),
 E : 弾性係数(kg/cm^2), ν : ポアソン比,
 ρ_p : 弾性波速度(km/sec)

モデルによる回帰値とデータの相関係数を求めると、密度で0.859、弾性係数で0.852と高い相関を示しており、また、一軸圧縮強さで0.672、ポアソン比で0.645とある程度満足できる結果である。

3. 残差の確率分布モデル 地山定数の推定から不確定な変動成分を除去することは困難である。したがって、逆にこれを積極的に力学的安定解析に用いることが望まれ、このことを意図して、回帰値とデータとの残差を確率変量として評価するものである。すなわち、

回帰値を $\hat{\rho}, \hat{\sigma}_c, \hat{E}, \hat{\nu}$ と記号表示し、これとデータ ρ, σ_c, E, ν との残差の無次元量 $\varepsilon_\rho, \varepsilon_\sigma, \varepsilon_E, \varepsilon_\nu$ を式(2)のように定義し、その確率変動の分布型について検討するものである。

$$\varepsilon_\rho = (\rho - \hat{\rho}) / \hat{\rho}, \varepsilon_\sigma = (\sigma_c - \hat{\sigma}_c) / \hat{\sigma}_c, \varepsilon_E = (E - \hat{E}) / \hat{E}, \varepsilon_\nu = (\nu - \hat{\nu}) / \hat{\nu} \dots (2)$$

図-1でもわかるように、地山分類で区分されたデータごとに回帰値からの偏りおよびばらつきが異なる傾向があり、したがって、残差 ε の確率分布については、地山分類ごとに整理することが妥当であると考えられる。図-2は、地山分類別の残差のヒストグラムの一例であるが、いずれも ε の平均値に際して高い出現頻度となる凸形状をしており、対称性やや難があるものの、正規分布のあてはめが可能であると推測される。そこで、各地山分類別のそれぞれの ε について正規分布のあてはめを行えば、そのパラメータが表-1のように得られる。また、これらを用いて、 χ^2 検定による分布型の適合度検定を行えば、有意水準5%でいずれも正規分布に合うことが明らかである。

表-1 ε の平均値および標準偏差 (正規分布パラメータ)

地山分類	1		2		3		4		5	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
ε_ρ	-0.29×10^{-3}	2.25×10^{-2}	-9.22×10^{-3}	1.48×10^{-2}	1.47×10^{-2}	1.90×10^{-2}	-3.77×10^{-2}	7.00×10^{-2}	-5.48×10^{-2}	6.82×10^{-2}
ε_σ	-8.14×10^{-3}	0.339	0.521	0.423	0.551	0.554	-0.332	0.567	-0.665	0.217
ε_E	7.19×10^{-2}	0.389	0.261	0.632	0.643	0.780	-0.321	0.664	-0.361	0.491
ε_ν	-5.80×10^{-2}	0.284	3.31×10^{-2}	0.135	4.36×10^{-2}	0.115	5.61×10^{-2}	0.145	3.88×10^{-2}	9.59×10^{-2}

十分な精度を有するモデルができ、一軸圧縮強さおよびポアソン比について一応の成果が得られた。また、地山分類ごとに仮定される各地山定数の残差の分布に正規分布のあてはめを行い定式化した。

参考文献 1) CHISHAKI, T., et al.; Engineering Classification of Rock Masses for New Austrian Tunneling Method, Mem. of Faculty of Kyushu Univ., Vol. 44, No. 1, March 1984 2) 橋本 平田, 西頭; 土木学会西部研究発表会, 1985, 2

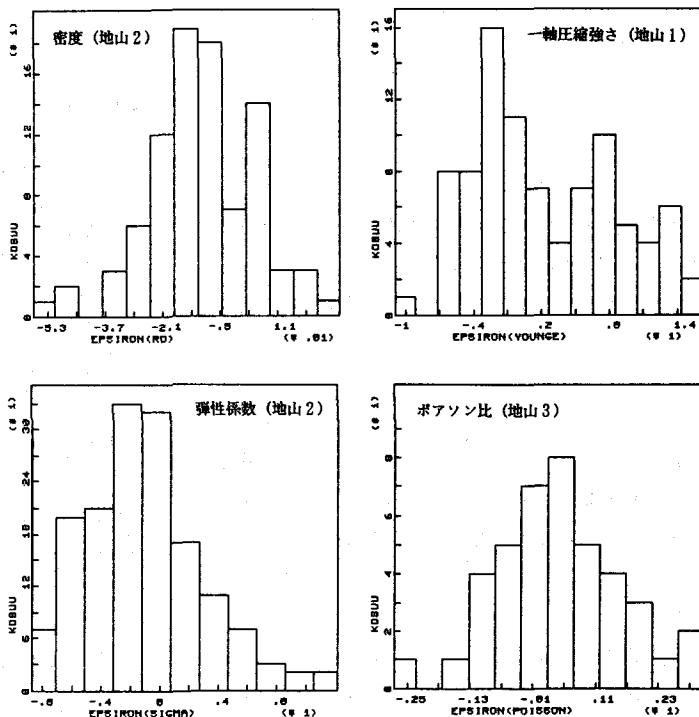


図-2 地山分類別の残差ヒストグラム