

日本鉄道建設公団 (E) O 宮林秀次
(E) 吉原伸行

1. まえがき

北越北線 鍋立山トンネル(全長9117m)は、新第三紀泥岩層を強大な膨張性地圧と闘いながら、鋭意施工中である。本トンネルにおいては、表-1に示す様に数多くの岩石試験を実施しているが、掘さく難易度の指標として平均日進(M/D)をとり、この実績値と各種岩石試験結果との間の相関性を重回帰分析により求めたのでここに、その概要を報告する。

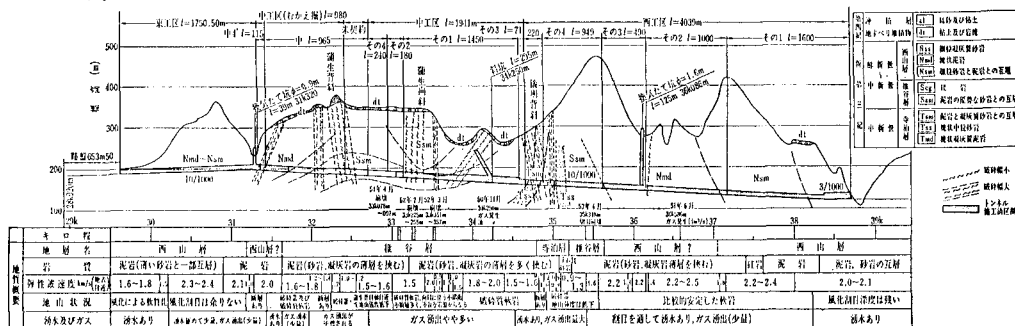


図-1. 鍋立山トンネル概略図

2. 掘さく速度と岩石物性値との相関性

全長9117mのうち、約6600mが掘さくを終了しており、この施工区間6600mを100m間隔66地点に分割した。各地点(杆程)での代表値の算出は、代表値を算出しようとする杆程:L、岩石試験試料を採取した杆程:D両者の水平距離(絶対値)S=|L-D|、荷重Wの決定 S>0.1kmならW=0、0.1km>S>0.01kmならW=1/S、0.01km>SならW=100、杆程Lにおける代表値:T、杆程Dにおける岩石試験値:Rとして、

$T = \sum W \cdot R / \sum W$ の式によつた。岩石試験21項目のうち、上記方法で算出値のない地点が多い7項目(表-1の項目に×印)については省略し、並に含水比の状態を表わす指数IF(IF=100×(WN-PL)/PL)を定義し追加した。結局、岩石試験×として15項目を選定したが、これに現場状況に關する3項目(①土被 HM(m) ②弾性波速度 VR(km/s) ③地山強度E Q(kN/cm²))を追加し、合計18項目について先づ掘さく速度との単相関係数を求めた。その結果、係数の高い試験項目は表-2のとおりである。上位4項目の単相関係数は、いずれも0.5以上で掘さく速度との相関性はかなり高いといえるが、決定係数Y²は最も高い弾性波速度で0.44しかなく、単独の試験項目から掘さく速度を推定することは困難である。そこで、各決定項目をN個選定して説明変数X₁, X₂, ..., X_Nとし、実際の掘さく速度Yと計算掘さく速度 $\hat{Y} = \alpha + \sum \beta_i \cdot X_i$ との相関が最も高くなるようにα, β_iを決定した。

説明変数X_iの選定については、できるだけ少ない項目を用いてより高い相関係数を求める必要があるが、次の5ケースについて重回帰分析を行なった。①物理試験12項目 ②力学試験10項目 ③全20項目 ④13項目 ⑤12項目。

各ケースの重回帰分析における各試験項目の偏相関係数を表-3

試験項目	記号	決定係数
単位体積重量	GT	250
土粒子の比重	GS	157
自然含水比	WN	201
液性限界	WM	186
塑性限界	WO	147
2μ以下の粒子含有率	ZM	191
弾性係数	LL	156
弾性係数	PL	156
弾性係数	IF	156
塩基性置換容量	CEC	93
膨張率	BL	157
一軸圧縮強度	QU	234
引張強度	ST	82
弾性係数	ES	167
静ポアソン比	RS	115
波速度	VP	171
波速度	VS	133
動弾性係数	ED	87
動ポアソン比	RD	128
粘着力	CO	29
内部摩擦角	FT	29

表-1. サンプル数

表-2

試験項目	単相関係数r	決定係数Y ²
弾性波速度による弾性波速度	VR	0.664
2μ以下の粒子含有率	ZM	0.564
自然含水比	WN	0.561
単位体積重量	GT	0.500

に示す。これによれば、各ケースで重回帰による計算値と実際の掘さく速度との相関係数は 0.832 0.838 0.895 0.881 0.862、決定係数は、0.692 0.703 0.801 0.775 0.743 となる。偏相関係数の小さい項目から少しづつ除外し、重回帰分析を行なうと、計算値と実測値の重回帰係数は低下していくが、F値については或る程度A項目数までは上昇し、予測A効率率は改善される。しかしながら、更に項目数を減りさせると再びF値は低下していくAがわかる。

結局、ケース4の13項目を選定した場合にF値が最大となるが、図-2の円グラフへの関連を考慮し、ケース5の12項目について、12項目相互間の単相関係数を求め、掘さく速度を推定するための回帰係数 β_i 及び定数項 α を算出した。 α 及び β_i 値は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \alpha &= -28.56 & \beta_3 &= 2.72 & \beta_4 &= 15.95 & \beta_5 &= -0.48 \\ \beta_6 &= 72.58 & \beta_7 &= -71.17 & \beta_8 &= -72.23 & \beta_{10} &= 0.03 \\ \beta_{11} &= -0.03 & \beta_{12} &= 0.02 & \beta_{16} &= -0.12 & \beta_{17} &= 0.11 \\ \beta_{19} &= -0.16 & \text{但し } \beta_i \text{ の添数 } i &= \text{変数番号} \end{aligned}$$

これら係数を用いて、未掘さく区間の掘さく速度を予測すると 1 m / 日未満A施工困難な区間は、32K800M, 32K300M, 32K700M, 34K600M, 31K800M, 32K600M, 32K000M となっている。

3 膨圧発生と岩石物性値

鍋立山トンネルと同じ様な膨圧発生Aトンネルとして、同じ北越北線A赤倉トンネルがある。ここでA経験から、膨圧発生A条件として、a) 岩石中の主要粘土鉱物がモンモリロナイト、b) Zr以下粒子含有率が30%以上、c) 塑性指数IPが70以上、d) CECが35 meq/100g以上、e) 浸水崩壊度D₁等が指摘され、図-2の様な円グラフにより膨圧発生A可能性が判定されているが、今回、鍋立山トンネルでの膨圧発生データの統計処理により上記項目(ZM, IP, CEC)の他、弾性波速度、単位体積重量、自然含水比等も、かなり高い相関性をもっていることがわかる。また、図-3は、各工区での岩石物性値を層毎に分類表示したものであるが、各地層毎に特徴的なパターンが描かれている。

4. まとめ

岩石A物性値から、トンネル掘さくA難易を予測することは、トンネルルートA選定等A工事計画A作成においても重要な意義を持つと考える。

今回、施工難易度A指標として掘さく速度を用いたが、内空変位を用いることにより、事前A設計A参考に資することも興味深いことと考えている。

(参考資料) 膨張性泥岩におけるトンネルA挙動と地質特性 大塚、高野 土と基礎 July 1980

北越北線赤倉ずい道 膨張性泥岩A掘削解析 日本鉄道建設公団

変数番号	試験項目	記号	単相関係数	ケース1 物理試験のみ	ケース2 力学試験のみ	ケース3 20項目	ケース4 13項目	ケース5 12項目
1	圧 縮 係 数	EM						
2	土 質 係 数	EM	-.069	.280	.237	.127		
3	弾 性 波 速 度	VR	.664	.361	.532	.476	.603	.621
4	単位体積重量	DT	.500	-.123		.184	.516	.324
5	自然含水比	WM	-.561	-.346		-.002		-.339
6	浸 水 崩 壊 度	LD	-.416	.333		.457	.437	.352
7	固 性 係 数	FL	-.441	-.312		-.455	-.432	-.345
8	塑 性 指 数	IP	-.384	-.335		-.438	-.436	-.351
9	浸 水 係 数	IT	-.215	.294		-.098		
10	2μ以下粒子	ZM	-.564	-.092		-.179	-.202	.086
11	膨張性泥岩	CEC	-.444	.118		.214	.168	-.130
12	IP/ZM	A1	.074	.080		.124		
13	CEC/ZM	A2	.122	-.124		-.218	-.159	
14	膨 張 率	BL	-.269		.137	.237	.232	.023
15	P 波 速 度	VP	.437		.221	.031		
16	S 波 速 度	VS	.219		-.059	.151		
17	膨圧発生率	RET	.238		.086	.229	.309	
18	一軸圧縮強度	QU	.308		-.167	-.248	-.156	-.517
19	A 形 係 数	E50	.302		.085	.218	.160	.340
20	膨圧発生率	CEC	-.009		.225	.300	.341	
21	膨 張 係 数	Q/H	.221		.138	.068		-.045
22	膨 張 係 数	L/						
23	膨 張 係 数	M/D	1					
24	決定係数	R ²		.692	.703	.801	.775	.743
25	単相関係数	R		.832	.838	.895	.881	.862
26	F 値	F		8.80	11.59	7.87	12.22	11.32

図-2

