

T S P 探査結果の定量化への試み

佐藤工業（株） 正会員 辻野修一
佐藤工業（株） 正会員 瀬谷正巳

1. はじめに

T S P システムは反射法弾性波探査の一つで、山岳トンネルにおいて切羽前方の未掘削区間の地山状況を把握するために用いられる。他の探査手法と比較して、比較的安価・簡便に調査を行うことができるので、トンネル現場において広く行われている。しかし、T S P システムの結果は定性的にしか表現されないため、そのままでは必ずしも地山状況を十分に把握できるとは言えない。本考察では、T S P システムの利便性を高めるため、T S P 探査結果に対して定量的な評価を試みた事例について述べる。

2. T S P システムによる探査結果

T S P システムの探査結果は基本的に図 - 1, 2 のような形で表現される。切羽前方の不連続面について、その性状（その不連続面を境として硬→軟、あるいは軟→硬）と変化の度合い・位置・方向が表示されるが、地山等級を判断するなどには必ずしも十分とは言えない。

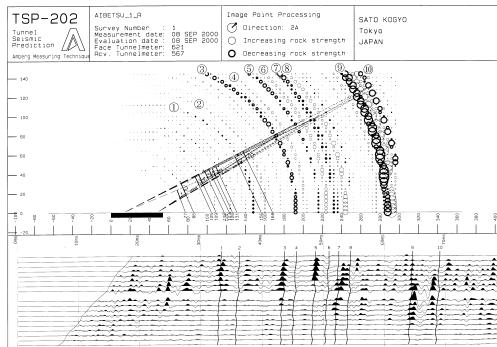


図 - 1 反射エネルギー強度円分布図

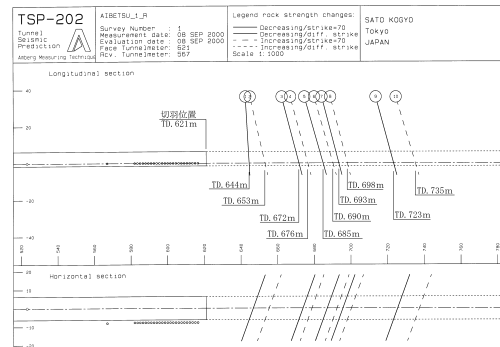


図 - 2 反射面位置図

3. 定量化評価の手順

今回、T S P システムの探査結果を定量化するにあたり、図 - 1 の中の特定の要素に着目した。すなわち、各反射面毎の「反射強度円の連続性」「反射強度円の大きさ」「反射強度円の列の集中性」「処理波形に対する適合性」という4つの項目に注目し、それぞれの項目をランク分けして点数付けした上で、反射面毎の変化の度合いについて評点化を行った。なお、今回の検討では、その評点に基づいて隣接する反射面に挟まれた区間の地山弾性波速度（ V_p ）を個々に予測し、その地山弾性波速度に基づいてT S P 予測区間の全区間の地山等級を判定した。

図 - 3 に定量化評価および地山等級判定手順のフローを示す。

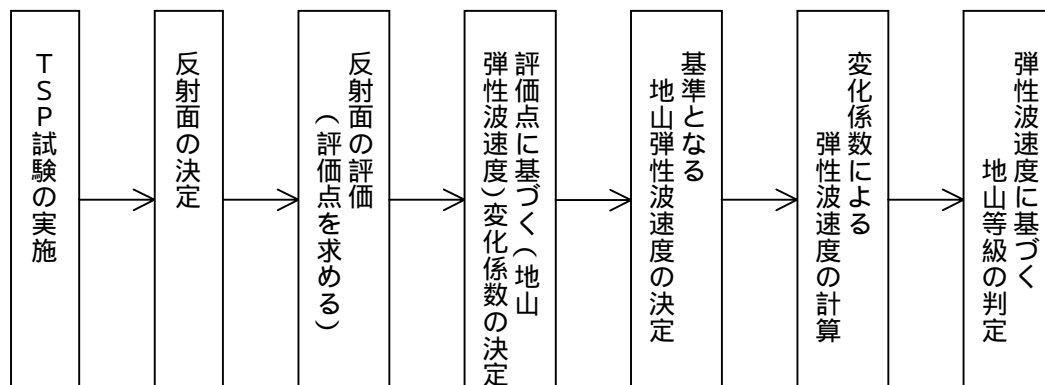


図 - 3 地山等級判定フロー図

キーワード：トンネル，T S P，反射法弾性波探査，定量化，支保パターン

連絡先：〒103-8639 中央区日本橋本町 4-12-20 TEL：03-5823-2352，FAX：03-5823-2358

実際の評価に当たっては、4つの評価項目に関して表-1のように2～3段階にランク分けして、それぞれのランク毎に重み付けの点数を与える。この重み付けの点数は、評点の最高が100点で、かつTSP探査による予測結果と実際の地山状況が出来る限り適合するように設定した。

さらに表-1を適用して求めた評価点を元にして、以下に示す正規分布の累積分布関数の式でVpの変化係数を求め、個々の区間毎のVpを求めた上で、表-2のVpによる地山等級の判定基準に則り地山等級を判定する。

$$F(x)=1\pm\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^xe^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}\right)\times a$$

 μ : 評価点の平均 ($\mu=50$), σ : 評価点の標準偏差 ($\sigma=17$)
 a : (最大変化係数 - 最小変化係数) / 2 ($a=0.16$)

4 . 実際のTSP探査結果への適用事例

北海道の高規格幹線道路のトンネル現場でTSP探査を3回行い、その探査結果に対する定量的な評価と、同じ区間における調査ボーリングの調査結果を比較して以下に示す。この2つの方法によって求められた地山等級の適合率は第1回探査で72%、第2回探査で68%、第3回探査で60%、第1～3回全体で67%となった。

表-3 第1回TSP探査の結果

TSP探査結果		硬		軟		硬		軟		硬		軟		硬		軟	
定量化評価	評価点	30		30		40		36		16		38		32		100	
	変化率	0.98		1.02		0.95		1.03		1.00		1.04		0.97		0.84	
	Vp(km/s)	3.70		3.62		3.70		3.53		3.65		3.63		3.69		3.85	
地山等級	ボーリングによる等級	C		C		C		C		C		C		D		C	
	TSP探査による等級	C		C		C		C		C		C		D		C	
	実際の地山等級	C		C		C		C		C		C		C		C	

表-4 第2回TSP探査の結果

TSP探査結果		硬		軟		硬		軟		硬		軟		硬		軟	
定量化評価	評価点	54		32		26		4		30		30		72		72	
	変化率	1.09		0.97		1.01		1.00		1.02		0.98		0.86		1.14	
	Vp(km/s)	3.70		3.95		4.00		4.00		4.08		4.00		3.43		3.92	
地山等級	ボーリングによる等級	C		C		C		C		C		D		C		C	
	TSP探査による等級	C		C		C		C		C		C		D		C	
	実際の地山等級	C		C		C		C		C		C		C		C	

表-5 第3回TSP探査の結果

TSP探査結果		硬		硬		軟		硬		硬		軟		硬		軟	
定量化評価	評価点	50		44		30		16		30		22		46		38	
	変化率	1.08		0.94		1.02		1.00		0.98		1.01		0.93		1.04	
	Vp(km/s)	3.70		4.00		3.76		3.84		3.86		3.76		3.81		3.56	
地山等級	ボーリングによる等級	C		C		C		C		C		C		C		C	
	TSP探査による等級	C		C		C		C		C		C		C		C	
	実際の地山等級	C		C		C		C		C		C		C		C	

5 . まとめ

TSP探査の結果を利用して、適切な評価項目と重み係数を設定すれば、未掘削区間の地山をある程度定量的に評価できることが分かった。ただし、地質状況によっては適用できないことも考えられ、評価項目の選定・重み付けの点数の設定・変化係数の求め方も含め、今後とも引き続き検討が必要である。

表-1 評価項目一覧(重み付けを含む)

評価項目	ランク		
	良好	普通	明確でない
反射強度円の連続性	18	10	0
反射強度円の大きさ	大	中	小
	26	4	2
反射強度円の列の集中性	密集	-	単独
	32	-	0
処理波形に対する適合性	良好	普通	明確でない
	24	18	2

表-2 地山等級とVp

地山等級	Vp(km/s)
A	4.8以上
B	4.5～4.8
C	4.0～4.5
C	3.5～4.0
D	3.0～3.5