

III-B 56

切羽観察からの地山評価に関する研究

東洋建設〔土木研究所
部外研究員〕 正会員 大杉 一郎
建設省土木研究所 正会員 真下 英人
建設省土木研究所 正会員 池口 正晃

1. まえがき

近年の道路事業における山岳トンネルは、長大化、大断面化の傾向にあり、合理的な切羽安定対策および土圧による変状対策が求められている。本研究では実際に施工されたトンネルよりデータを収集し、多変量解析を用いた統計学の面から関連性を探し出すことによって、対策を行ううえでの地山評価に効果的な指標を見いだすための検討を行った。

2. 研究方法

本研究は、計測データを用いて数量化解析第二類^{1) 2)}とある条件下でのデータ集計を行い、その分析結果から切羽の安定性や変状の程度と評価指標を結びつけようとするものである。検討資料となる計測データは、5つのトンネルでの切羽観察表³⁾の記録を収集し、表-1に示す条件区分によって整理されたデータである。

3. 数量化解析第二類による分析

切羽の安定性や変状の程度に関わる項目とそれを評価し得ると考えられる評価指標に分類し、それぞれの組み合わせにおいて数量化解析第二類を行った。切羽の安定性に関わる項目は、2「切羽の状態」と5「切羽安定のための補助工法」、変状の程度に関わる項目は、1「支保パターン」3「素掘面の状態」4「変状」6「土圧による変状に対する補助工法」である。各指標間の相関係数をまとめ、表-2に示す。相関係数は

1に近いほど相関性が高いことから、8「岩種」10「圧縮強度」11「風化変質」13「割れ目の状態」が、切羽の安定性や変状の程度に関わる項目の要因として有効であると考えられる。

相関係数の高い評価指標が、項目をどのように評価しているかを見るために、2「切羽の状態」を例にとって、「切羽の状態」を目的変数、「岩種」「圧縮強度」「風化変質」「割れ目の状態」を説明変数とした場合の目的変数のカテゴリー数量をグラフ化し、図-1に示した。切羽の状態の順列性は、Cy1(安定)→Cy2(拔落)→Cy3(押出)→Cy4(流出)の順になると考えられ

表-1 計測データの条件区分

カテゴリー アイテム	1	2	3	4	5	6
1 支保パターン	B	C I	C II	D I	D II	E
2 切羽の状態	安定	岩塊拔落	押し出し	崩れ流出		
3 素掘面の状態	自立	緩み肌落	自立困難	山受必要		
4 変状	変状が なかった	ボルトor 支保工	ボルト、 支保工	ボルト、 吹付け 、フラッグ	ボルト、 吹付け 、フラッグ	
5 切羽安定のための補助工法	なし	鎮止め	鎮い地	鎮止めと 鎮い地		
6 土圧による変状の補助工法	なし	増し ボルト	増し 吹付け	スト ラット		
7 土被り	2D未満	2D~5D	5D~10D	10D以上		
8 岩種	a 変成岩	c 火山岩	d 第三期	e 沖積層		
9 特殊な産状	なし	微褶曲	断層	その他		
10 圧縮強度	$\sigma \geq 1000$	1000~200	200~50	50 > σ		
11 風化変質	なし健全	やや低下	相当低下	未固結		
12 割れ目の頻度	$d \geq 1.0$	1.0~0.2	0.2~0.05	0.05 > d		
13 割れ目の状態	密着	部分開口	開口	未固結		
14 割れ目の形態	ランダム	柱状	層状片状	未固結	均一層	
15 湧水	なし	湧水程度	堰中湧水	未固結		
16 水による劣化	なし	緩み生ず	軟弱化	崩壊流出		
17 割目方向(縦)	水平 0°	斜さし目	さし目45°	流れ目45°	斜流れ目	垂直 90°
18 割目方向(横)	水平 0°	斜右→左	右→左45°	左→右45°	斜左→右	垂直 90°

表-2 各指標間の相関係数

評価 項目	7 土被り	8 岩種	9 特殊な 産状	10 圧縮 強度	11 風化 変質	12 割れ目 の頻度	13 割れ目 の状態	14 割れ目 の形態	15 湧水	16 水による 劣化	17 割目方向 縦	18 割目方向 横
1 支保パターン	0.499	0.722	0.502	0.735	0.767	0.559	0.819	0.598	0.211	0.299	0.327	0.339
2 切羽の状態	0.330	0.769	0.328	0.750	0.753	0.426	0.749	0.528	0.256	0.276	0.404	0.289
3 素掘面の状態	0.349	0.472	0.336	0.775	0.730	0.482	0.659	0.501	0.132	0.020	0.034	0.263
4 変状	0.439	0.397	0.390	0.599	0.492	0.417	0.542	0.389	0.179	0.150	-	-
5 切羽安定補助工法	0.381	0.405	0.372	0.559	0.579	0.481	0.614	0.447	0.177	0.238	-	-
6 土圧変状補助工法	0.432	0.462	0.373	0.845	0.847	0.461	0.749	0.495	0.163	0.220	0.221	0.016

凡例

■ : 0.5以上 0.7未満 □ : 0.7以上 1.0以下

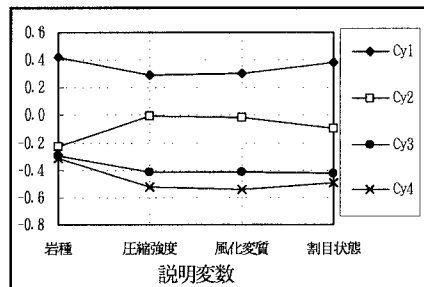


図-1 「切羽の状態」のカテゴリー数量

ることから、これらの評価指標は切羽の状態の安定から不安定という正当な評価を行っているといえる。しかし、同一のカテゴリー数量を結んだ線が水平であるほど、それぞれの説明変数が目的変数を評価している傾向が同様であるといえることから、「岩種」とその他の説明変数は同等に扱えない。また、判定の明確度はカテゴリー数量の値の差に表れることを勘案すると、「岩種」でのCy2、Cy3、Cy4は近接しており、②③④のカテゴリーを区別することはできないといえる。よって、「圧縮強度」「風化変質」「割れ目の状態」の3つの指標が「切羽の状態」の評価指標として有効であると推察される。

4. データ集計による分析

次に、有効な評価指標のカテゴリーが、切羽の安定性や変状の程度に関わる項目をどのように評価しているかを、データ集計を分析することから検討を行った。その結果、評価指標の条件区分を表-3のように再分類することによって、項目をさらに明確に評価することができた。結果をまとめ、図-2および図-3に示す。

図-2は、 $\longleftrightarrow$ で表された範囲にデータが集中していることを示している。これらのデータは、評価指標の分類条件によって、項目のカテゴリーがいくつかにしぼられるため、選択範囲に幅があり重複するカテゴリーが多いものの、ある程度の判別を行うことができることを証明するものである。

図-3は、それぞれのデータ量の比率を図化したものである。図-2のように、評価指標によって項目のカテゴリーを指定するには至らなかったため、切羽安定や変状に対する補助工法の実施頻度と変状の発生頻度を条件別に表した。地山の安定性が悪いと予測されるほど、切羽安定のための

表-3 評価指標の条件区分

番号	①	②
評価指標		
圧縮強度	$\sigma \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$ ハンマーで 砕ける程度 以上の強度	$\sigma < 200 \text{ kgf/cm}^2$ 軽い打撃で 砕ける程度 以下の強度
風化変質	風化なしまたは 岩目が変色し 強度がやや 低下した程度	全体に変色し強 度が相当に低下 または土砂状・ 粘土状・未固結
割れ目の状態	密着 または部分的に 開口の状態	完全に開口して いる状態または 粘土を挟むか 未固結の状態

図-2 評価指標の分類パターンによる安定性指標の判別（その1）

項目の カテゴリー	切羽安定に関する項目		土圧による変状に関する項目									
	切羽の状態				支保パターン						素掘面の状態	
	安定	岩塊 脱落	押し 出し	崩れ 流出	B	C I	C II	D I	D II	E	自立	山受 必要
①の条件をすべて満たしている	$\longleftrightarrow$										$\longleftrightarrow$	
①と②の条件が混在している												
②の条件をすべて満たしている												

図-3 評価指標の分類パターンによる安定性指標の判別（その2）

項目の カテゴリー	切羽安定に関する項目		土圧による変状に関する項目				変状	
	切羽安定のための補助工法		土圧による変状に対する補助工法					
	補助工法なし	何らかの補助 工法を施した	補助工法なし	何らかの補助 工法を施した	変状なし	何らかの変状 が発生した		
①の条件をすべて満たしている		97% 3% $\rightarrow$		98% 2% $\rightarrow$		99% 1% $\rightarrow$		
①と②の条件が混在している		72% 28%		77% 23%		85% 15%		
②の条件をすべて満たしている		33% 67%		17% 83%		41% 59%		

補助工法、土圧による変状に対する補助工法の必要性がともに高まっていることがわかる。

5. 結論および今後の課題

「圧縮強度」「風化変質」「割れ目の状態」に、切羽の安定性や土圧による変状を評価する指標としての有効性が見られた。ただし、図-2および図-3からわかるように、単独のカテゴリーを指定できるには至っておらず、これらの評価指標はすべての評価分類を判定するものではなく、大分類を行うための第一次評価指標であると考えられる。今後、3つの評価指標を条件として選別されたデータ（カテゴリー別のデータ）を収集し、解析を行うことによって、第二次、第三次の評価指標の発見が望まれる。

＜参考文献＞

- 1) 木下栄蔵 [1993.4]: わかりやすい数学モデルによる多変量解析入門, 啓学出版(株)
- 2) 有馬哲・石村貞夫 [1994.5]: 多変量解析のはなし, 東京図書(株)
- 3) (社)日本道路協会 [1993.11]: 道路トンネル観察・計測指針, (社)日本道路協会