

切羽観察を用いた NATM の変状タイプの予測

九州大学工学部 〇正 員 相川 明
 九州大学工学部 正 員 樗木 武
 梅林建設株式会社 正 員 倉原隆二
 Shiraz University 正 員 M.H.Kadivar

1. はじめに 著者らは先の論文において¹⁾、中古生層の硬岩地山 NATM トンネルを対象に、切羽観察と計測値とをもとに地山の変状発生の有無を予測する手法を提案した。本法は内空変位などの計測値のみによる方法に比べて、予測精度が高く、しかも結果を定量的に把握できるなどの実用性を備えている。しかし、具体的な支保工の設計や補助工法の内容を検討するためには、さらに地山の変状の内容を具体的に明らかにする必要がある。本研究はそれに応えるものであり、硬岩地山で変状の発生が予測されるときに、いかなる内容の変状となるかを、切羽観察をもとに予測する手法を提案するものである。

2. 硬岩地山変状の実態 硬岩地山に NATM により施工された 3 地点のトンネルから、施工中に変状が発生した 86 断面のサンプルを収集した。これらを変状の内容の組合せごとに分類すれば、表-1 のように 8 種類のタイプに分類できる。なお表中の ○印はその変状が同じ断面内に存在することを示している。切羽の崩壊が最も多く、86 断面中 77 断面で発生している。ついで吹付コンクリートの変状が 27 断面、ロックボルトの変状が 17 断面、鋼支保の変状が 11 断面でそれぞれ認められている。それらの大部分は切羽の崩壊と同時に発生している。一方、吹付コンクリートやロックボルトなどの支保工のみの変状も 9 断面ある。本解析では対策工の検討が可能なように、変状が主として切羽に発生しているか、あるいは吹付コンクリートやロックボルトにも変状がおよんでいるかという 2 つの観点により、変状のタイプを次の 3 グループに要約した。

① 切羽のみの変状(タイプ 1 : 59 断面)、② 吹付コンクリート・ロックボルトが主体の変状(タイプ 2, 3, 4 : 11 断面)、③ 変状が切羽・吹付コンクリート・ロックボルトおよび鋼支保の全体にわたり発生しているもの(タイプ 5, 6, 7, 8 : 16 断面)。

表-1 変状内容によるタイプ分類

変状のタイプ	切羽崩壊	吹付変状	ロックボルト変状	鋼支保変状	サンプル数	変状グループ	サンプル数
1	○				59	A	59
2		○			4	B	11
3	○	○			2		
4		○	○		5		
5	○	○		○	3	C	16
6	○		○	○	1		
7	○	○	○		5		
8	○	○	○	○	7		
計	77	27	17	11	86		86

表-2 切羽観察項目とカテゴリー

項目	ca	内 容	項目	ca	内 容
(1) 特殊条件	1 2 3	偏圧・膨圧がある 土被りが小さい 上記に該当しない	(8) 割目状態	1 2 3	密着、部分的に開口 開口 粘土をはさむ
(2) 特殊産状	1 2 3	互層、不整合、岩脈貫入 微褶曲、断層 上記に該当しない	(9) 割目形態	1 2 3	ランダム、なし 柱状、層状、片状、板状 土砂、細片、未固結
(3) 切羽状態	1 2 3	鏡は安定 鏡面から岩塊が抜ける。 押出し、自立しない	(10) 湧水	1 2 3	なし、浸水程度 滴水、にじみでる程度 集中湧水、全面湧水
(4) 変状状態	1 2 3	自立(普請不要) 後普請 先普請、先受	(11) 水劣化	1 2	なし 緩みを生ず、軟弱化
(5) 圧縮強度	1 2 3	ハンマー打撃でハンマーが、はね返る。ハンマー打撃で砕ける。 軽く砕ける。 ハンマーはいく込む。	(12) 縦割目	1 2 3 4	さし目(0°≦θ<30°) (60°≦θ<90°) さし目(30°≦θ<60°) 流れ目(30°≦θ<60°) 流れ目(0°<θ<30°) (60°≦θ≦90°)
(6) 風化変質	1 2 3	なし、新鮮、岩目にそって変色 強度低下、全体が変色 土砂状、粘土状	(13) 横割目	1 2	斜め(0°≦θ<30°) (60°≦θ≦90°) 斜め(30°≦θ<60°) (切羽面の見かけの傾斜角をとる。)
(7) 割目頻度	1 2 3	間隔 d ≧ 20 cm 20 cm > d ≧ 5 cm 5 cm > d, 破砕			

3. 切羽観察に基づく変状タイプの予測 各現場の切羽観察シートから、表-2に示す 13 項目について整理し、各項目の内容を表中に示すようにカテゴリー化した。ここでは現場相互の共通性やサンプル数を踏まえて 2 ~ 4 カテゴリーとした。本法は

表-3 平均平方根一致係数による
切羽観察項目間の類似度の評価

変数	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
1		☆	△			△						○
2		☆	△									
3					△			○		○		
4						○		○	○			
5			△		△	○	☆	☆				
6			△			☆	☆					
7		△										
8			○									
9												
10			△									
11												
12												

☆ 0.80以上
○ 0.60 ~ 0.80
△ 0.50 ~ 0.60

これら切羽観察項目を説明変数とし、変状グループA, B, Cを目的変数として数量化理論第Ⅱ類を適用するものであるが、その前に説明変数間の類似性について調べた。すなわち、カイ2乗値による平均平方根一致係数の大きさを類似性を評価するならば、表-3のような結果を得る。表より、圧縮強度・風化変質・割目頻度・割目状態の項目間および特殊条件・特殊産状・縦割目の項目間で類似性が高いことがわかる。つぎに13項目のすべてを用いて3グループの判別予測を行なったところ、湧水・水劣化・横割目の3項目は予測判別に有効でなく、また、特殊産状・圧縮強度の2項目に関してはカテゴリースコアの符号が実際と矛盾することがわかった。そこで、これら5変数を除いた残りの8変数によりモデルを作成を行うものである(表-3)。この場合、予測モデルの良さを示す相関比は第1軸で0.841, 第2軸で0.601である。また変数の偏相関係数の大きさを較べるならば、縦割目・特殊条件・素掘状態が判別に大きく寄与しているといえる。図-1はサンプル別のスコアをプロットしたものであり、3グループに明瞭に判別されることがわかる。

4. まとめ 本研究は変状のタイプの予測モデルを提案するものであるが、切羽観察を用いることにより十分な精度を有するモデルが開発できた。しかるに、本モデルは変状発生データを収集し判別分析を行ったのみのモデルであり、さらに実用性をもたせるためには、①さらに多くのデータを収集する、②変状のタイプに対応した対策工の選定モデルを作成する、③地山の差異および支保の影響を導入するなどの事項を考慮する必要があるものとする。

表-4 切羽観察による変状
3タイプの判別

説明 変数	CA	第1軸		第2軸		サン プル
		カテゴリー スコア	レンジ (偏相関)	カテゴリー スコア	レンジ (偏相関)	
(1) 特殊条件	1	0.059	0.703	-0.469	2.073	36
	2	0.126	(0.430)	-0.062	(0.610)	38
	3	-0.577		1.603		12
(3) 切羽状態	1	-0.132	0.897	0.099	0.497	19
	2	-0.203	(0.555)	-0.162	(0.217)	49
	3	0.693		0.336		18
(4) 素掘状態	1	-0.322	0.805	0.409	0.928	3
	2	-0.328	(0.587)	-0.406	(0.401)	48
	3	0.477		0.522		35
(6) 風化変質	1	0.126	0.834	-0.095	0.546	28
	2	0.241	(0.428)	-0.152	(0.145)	37
	3	-0.593		0.394		21
(7) 割目頻度	1	0.073	1.047	-0.053	0.623	14
	2	-0.392	(0.534)	0.235	(0.207)	46
	3	0.655		-0.388		26
(8) 割目状態	1	-0.118	0.962	0.280	0.800	46
	2	0.736	(0.552)	0.008	(0.258)	15
	3	-0.225		-0.520		25
(9) 割目形態	1	-0.017	0.161	-0.634	1.709	7
	2	-0.019	(0.100)	-0.091	(0.428)	69
	3	0.142		1.075		10
(12) 縦割目	1	-0.942	1.480	0.462	1.403	16
	2	-0.144	(0.731)	-0.499	(0.507)	32
	3	0.414		-0.941		6
	4	0.537		0.445		32
変状タイプ	A	-0.020	相関比	-0.524	相関比	59
	B	-1.928	(0.841)	1.200	(0.601)	11
	C	1.400		1.108		16

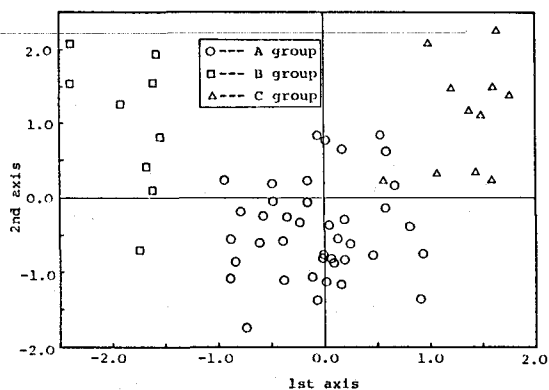


図-1 切羽観察による変状3タイプの判別

<参考文献>1) 橋木・相川・倉原：NATM工法による硬岩盤トンネル掘削時の地山変状有無の判別分析, 九大工学集報, 第60巻, 第5号, pp. 579-585, 1987.