

道路路線における自然斜面の危険度判定に関する知識ベースシステム

復建調査設計 (株) 企画開発部 ○広兼 道幸

復建調査設計 (株) 大阪支社 中村 盛之

関西大学工学部 教授 三上 市藏

1. まえがき

斜面・渓流の危険度の判定は、これまでに多変量解析などを使った判定手法の確立が試みられてきた。しかし、最近の傾向として現地調査の結果に基づく判定が現実的であり、適切な判定が可能であると考えられてきた。このような主観的な判定が必要とされるものは、客観性をもたせ、個人による判定の差をできるだけ少なくするために知識ベースシステムが適しているが、その構築はまだ取り組まれていないようなので、今回、この問題に取り組むこととした。

斜面に発生する災害現象には、土石流、地すべり、崩壊、落石などがあり、これらを同一レベルで取り扱うことは困難である。また、斜面災害を考える上で重要なことは保全対象である。今回、「自然斜面の危険度判定」に関する知識ベースの構築に取り組むにあたり、現象は自然斜面の崩壊（落石を含む）、対象は主として道路路線（既設、計画）に限定した。各省庁や

団体などが種々の判定基準を作成しているが、その中で（財）高速道路調査会の判定基準¹⁾を知識ベースの基本とした。曖昧さは確信度で表わし、その値は過去の事例の出現率より求めた。その事例は、島根県内の国道沿いで粘板岩を主体とする斜面について危険度の判定をするもので、基準として定められている25の要因¹⁾の中から、地質（粘板岩）や地形などの特徴より共通と思われる要因を整理、除外して12の要因をもとに行われた。さらに、S-P表²⁾を使い各要因の反応パターンを整理し、危険係数を求めることにより、各要因が判定結果に与える影響の度合とした。

2. 知識ベースの構築

知識ベースは（財）高速

表 1 危険度判定要因

要 因	要 因 の 内 容	危険度	摘 要	備 考
(1) 崩壊地の有無	①大規模崩壊地の存在する場合	a	・発生事の異なったものが存在する時は傾発の可能性が考えられる。 ・拡大の可能性の有無につき検討を要す。	大規模崩壊 20m×20m以上
	②崩壊地が多数存在している場合	b		
	③崩壊地の存在が少ない場合	c		
	④崩壊地のない場合	d		
(2) 崩壊前兆の有無	①段落ち、亀裂、構造物の変位など前兆がある場合	a	・前兆がなくても安全とは言えない、他の項目による判断が特に注意	明らかに開口していたり、明顯な溝落差の存在するもの
	②前兆のない場合	d		
(3) 崩壊など不安定土塊の存在状況	①厚く存在する	a		厚いと薄いの境界を2mとする
	②薄く存在する	c		
	③存在しない	d		
(4) 風化、変質の激しい岩の有無	①風化、変質の激しい岩があり、上部に集水地形をもつ場合	a	・落石、表面侵食が著しい また、温泉余土などは注意	①D _H クラスの岩 ②D _H クラスの岩 ③C _L クラスの岩
	②風化、変質の激しい岩があるが、①以外の地形	c		
	③風化、変質の激しい岩がない場合	d		
(5) 破砕帯の有無	①破砕帯のある場合	b		
	②破砕帯のない場合	d		
(6) 自然斜面の勾配	①オーバーハング状	a	・斜面構成の土質、岩質により上位または下位ランクのものもある。	
	②35°以上	b		
	③25°～35°	c		
	④25°以下	d		
(7) 水みちになると思われる地形（ガリーの有無）	①存在する	b	・多いものは地形が複雑になり、また地質上問題をもつものが多い	沢状のくぼみになっていない地形の場合
	②存在しない	d		

(次ページへ続く)

道路調査会が定めている判定基準¹⁾をもとに構築した。危険度の判定は25の各要因¹⁾ごとに該当する項目をチェックして総合的に行っていく。要因はリニアメント、勾配など地形に関するもの、崖すいなど不安定土塊の有無、ルーズな砂、砂質土の有無などの地質に関するものがある。

今回は、実際の業務として行われた判定結果をもとに曖昧さ（確信度）、各要因が判定結果に与える影響の度合を決定していくことにした。業務は島根県内の国道沿いで、粘板岩を主体とする斜面の危険度を判定するものであった。要因は、25の中から斜面の特徴（地形、地質）などから共通と判断されるものについて整理、除外し表-1に示

す12の要因を取り出した。危険度は1/2500～1/5000の地形図をもとに、路線長に対し100～200mの小ブロックに分割し、現地踏査を行った上で判定される。要因ごとに該当する項目と判定結果をまとめると表-2のようになった。この判定は採点法で行われ、aは5点、bは3点、cは1点として、各ブロックについて合計点を求め、合計20点以上のものは危険度をAとした。曖昧さは各要因の項目（①、②、③、④）と判定結果（A、B、C）との関連（出現率）を求め、確信度として表現した。さらに、a、bと判定されている項目については危険側(=1)、c、dと判定されている項目については安全側(=0)として、S-P表を作成すると表-3のようになった。この表より小ブロック（i）の注意係数（CSi）、要因（j）の注意係数（CPj）を

$$CSi = (\sum FS - \sum SS) / (\sum SL - Si \times SA)$$

ΣFS：S曲線の左側の安全側反応要因の危険側反応事例数の和

ΣSS：S曲線の右側の危険側反応要因の危険側反応事例数の和

ΣSL：事例iに対するS曲線の左側の危険側反応要因数の和

Si：事例iの危険側反応要因数

SA：危険側反応総数/要因数

$$CPj = (\sum FP - \sum SP) / (\sum PU - Pj \times PA)$$

ΣFP：P曲線の上側の安全側反応事例に対応する危険側反応要因数の和

ΣSP：P曲線の下側の危険側反応事例に対応する危険側反応要因数の和

ΣPU：要因jに対するP曲線の上側の危険側反応要因数の和

(表-1の続き)

要 因	要 因 の 内 容	危険度	備 考
(8) 斜面に沢状のくぼみの有無	①沢状くぼみの出口が、直接道路より上部に位置している	a	沢状のくぼみに対して適用する。
	②沢状部の表土、風化土が周辺部に比べて比較的厚い場合	b	
	③沢状のくぼみはあるが、②以外の場合	c	
	④沢状のくぼみのない場合	d	
(9) 斜面上部地形	①凹形（集水地形）	b	中腹より上部の状況で判断する。
	②平形	c	
	③凸形	d	
(10) 斜面の縦断形	①オーバーハング状になっているもの	a	②斜面途中や上部の平坦面では地下水が停滞しやすく崩壊をおこしやすい ③遷急点は侵食前線、崩壊前線を示す場合が多く、上部に向かって侵食や崩壊が拡大する
	②斜面途中および上部に平坦面のある場合	b	
	③明瞭な遷急点、遷緩点のある場合	c	
	④①～③以外のもの	d	
(11) 湧水の状況	①湧水量の多いもの	b	・湧水の濁ったとき、および湧水箇所が変化したときは、崩壊発生の危険が迫っているので斜面の変動状況に注意すること
	②通常の湧水のあるもの（浸み出し程度）	c	
	③湧水の少ないもの	d	
(12) 自然斜面の道路による切り取り状況	①厚い不安定土塊を切り取っている	b	沢状のくぼみになっていない地形に対して適用する
	②風化変質の著しい岩盤を切り取っている	c	
	③比較的新鮮な岩盤を切り取っている	d	

表－２ 判定結果と評価結果の一覧

ブロック	要 因												事例の 判定結果	ESの 評価結果
	1	2	3	4	5	6	10	11	12					
S-1	②	①	①	②	②	②	②	③	①				A	A
S-2	④	②	①	②	②	②	②	②	①				B	B
S-3	④	②	②	③	②	②	④	③	②				C	C
S-4	④	②	②	①	②	②	③	③	③				B	C
S-5	③	②	①	①	②	②	③	③	①				A	A
S-6	③	①	①	①	②	②	②	①	①				A	A
S-7	④	②	②	②	②	②	④	③	③				C	C
S-8a	④	②	②	②	②	②	④	③	③				C	C
S-8b	③	①	①	②	②	④	④	③	③				B	B
S-9	③	①	①	③	②	④	④	③	③				B	B
S-10	④	②	①	③	②	④	③	③	③				C	C
S-11	④	②	①	③	②	④	③	③	③				B	B
S-12	④	②	①	③	②	②	③	①	①				B	B
S-13	③	②	②	③	②	②	④	②	③				B	C
S-14	④	②	①	③	②	②	④	①	①				B	B
S-16	④	①	①	③	②	④	③	②	③				B	B
S-17	③	②	①	③	②	②	③	③	①				B	B
S-18	④	②	①	③	②	②	③	③	①				B	B
S-19	④	②	①	③	②	③	③	③	③				B	B
S-20	③	①	①	③	②	②	③	③	③				B	B
S-21	④	②	②	③	②	②	③	③	③				C	C
S-22	④	②	②	③	②	③	③	③	③				C	C
S-25	④	①	①	②	②	④	④	③	①				B	B
S-26	④	②	②	①	①	②	④	①	①				A	A
S-27	④	②	②	②	②	④	①	①	①				B	C
S-28	④	①	②	③	②	②	④	③	③				C	C
B-1	②	①	①	①	①	②	④	③	①				A	A
B-2	②	①	①	①	①	②	④	③	①				A	A
D-1	②	①	①	②	②	②	③	③	②				A	A
E-1	③	①	①	②	②	②	③	②	①				A	A
F-1	④	②	②	②	②	②	③	③	②				C	C

P j : 要因 j の危険側反応事例数

PA : 危険側反応総数／事例数

で計算すると表－４のような値となった。12の要因を危険度判定の尺度として、S－P表を作成すると、尺度化係数は0.72となり、あまり適切な尺度とはいえない。

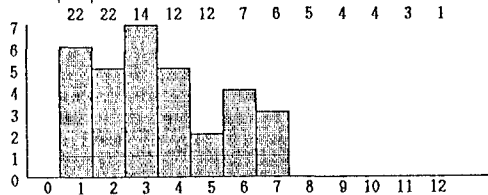
そこで、12の要因から注意係数が0.50以上のもの(7, 8, 9)を除外し、小ブロックについても同様に0.50以上のものは除外すると、S－P表は表－5のように、注意係数は表－6のような値となった。ここでの尺度化係数は0.91となり、かなり適切な尺度が構成されたことを示す。以上S－P表で求めた注意係数(CPj)を、要因(j)が判定結果に与え影響の度合と考え、確信度に乗ずることにより最終的判定結果(A, B, C)の確信度を計算した。

3. 知識ベースの評価

島根県内の国道で粘板岩を主体とする斜面で行われた判定結果をもとに知識ベースの構築に取り組んだ。危険度の判定は斜面を32の小ブロックに分割して行われた。表－2に示すように、同地区の判定結果で評価を行うと、S－4, S－13, S－27を除く29

表－３ S－P表(全要因)

	(6)	(3)	(12)	(2)	(9)	(7)	(4)	(11)	(1)	(5)	(10)	(8)	
	iS 曲線												P 曲線
B-1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	7
B-2	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	7
S-6	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	7
D-1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	6
E-1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	6
S-1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	6
S-26	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	6
S-27	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	5
S-5	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	5
S-2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
S-12	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
S-15	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
S-17	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
S-25	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
S-4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
S-8b	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
S-9	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
S-13	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
S-16	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
S-18	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
S-20	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
S-11	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
S-14	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
S-19	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
S-22	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
S-28	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
S-3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-8a	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



表－４ 注意係数一覧(全要因)

ブロック	注意係数	ブロック	注意係数	項 目	注意係数
B-1	0.37	S-9	0.40	(6)	0.52
B-2	0.37	S-13	0.57	(3)	0.43
S-6	0.37	S-16	0.40	(12)	0.12
D-1	0.48	S-18	0.00	(2)	0.40
E-1	0.00	S-20	0.07	(9)	0.92
S-1	0.36	S-11	0.39	(7)	0.83
S-26	0.79	S-14	0.59	(4)	0.06
S-27	0.82	S-19	0.39	(11)	0.45
S-5	0.17	S-22	0.06	(1)	0.08
S-2	0.27	S-28	0.39	(5)	0.31
S-12	0.21	S-3	0.00	(10)	0.38
S-15	0.21	S-7	0.00	(8)	1.14
S-17	0.15	S-8a	0.00		
S-25	0.31	S-10	0.00		
S-4	1.03	S-21	0.00		
S-8b	0.40	F-1	0.00		

の小ブロックで、業務で行われた判定と本ESで提案された結果が一致した。一致しなかった小ブロックS-4, S-13, S-27はいずれも注意係数が0.50以上であり、注意を要する判定結果であった。

4. あとがき

今回は、過去に行われた事例より曖昧さ(確信度)を決定し、知識ベースの構築に取り組んだ。危険度を判定するためには25の要因が考えられているが、現場によっては共通と思われる要因が含まれ、各要因が判定結果に与える影響の度合は異なるものである。各要因が判定結果に与える影響の度合、適切な尺度構成を、S-P表を使い求めた。

知識ベースを構築する上で使用した事例は、粘板岩を主体とする特定の区間で行われたもので、まだ十分な評価が行われていない。今後は他の地域の判定結果で評価を進め、各地域が持つ地形、地質などの特性ごとに知識ベースの構築を行い、実用化をめざしていきたい。また、適用範囲としては、道路路線上の自然斜面における崩壊(落石を含む)に関するものに限定したが、土石流、地すべりなどの災害現象や道路路線上以外の斜面についても適用できるよう知識ベースの拡充を行っていく。

参考文献

- 1) (財) 高速道路調査会; 地すべり及び斜面崩壊の防止対策の調査手法に関する研究, 1977.3.
- 2) 海保 博之; 心理・教育データの解析法10講, 福村出版, 1987.5.

表-5 S-P表

要因	(3)	(6)	(12)	(2)	(4)	(1)	(11)	(10)	(5)	
ブロック										S曲線 P曲線
B-1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	7
B-2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	7
S-6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	7
S-1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	6
D-1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	5
E-1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4
S-5	1	1	1	0	1	0	0	0	0	4
S-2	1	1	1	0	0	0	0	1	0	4
S-12	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4
S-15	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4
S-17	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
S-25	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3
S-18	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
S-20	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3
S-8b	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
S-9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
S-16	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
S-28	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
S-11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
S-7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
S-8a	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
S-10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S-21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
F-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

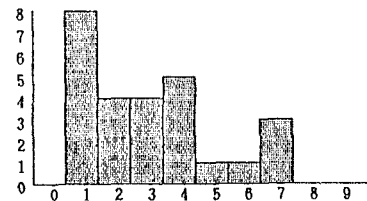


表-6 注意係数一覧

ブロック	注意係数	ブロック	注意係数	要因	注意係数
B-1	0.08	S-20	0.00	(3)	0.08
B-2	0.08	S-8b	0.33	(6)	0.34
S-6	0.08	S-9	0.33	(12)	0.09
S-1	0.11	S-16	0.33	(2)	0.38
D-1	0.34	S-28	0.38	(4)	0.12
E-1	0.00	S-11	0.00	(1)	0.14
S-5	0.26	S-19	0.00	(11)	0.51
S-2	0.33	S-3	0.09	(10)	0.34
S-12	0.33	S-7	0.09	(5)	0.00
S-15	0.33	S-8a	0.09		
S-17	0.00	S-10	0.00		
S-25	0.29	S-21	0.09		
S-18	0.00	F-1	0.09		