

S－P表を使った自然斜面の崩壊危険度の判定

(株)エフ・ケー開発センター 正会員 ○広兼 道幸
 復建調査設計(株) 地質調査部 植田 哲司
 関西大学工学部 土木工学科 正会員 三上 市蔵

1. はじめに

斜面崩壊の危険度を予測することは、斜面崩壊から保全対象を保護する対策工の施工順序の決定などにおいて重要なことである。危険度の判定については、各省庁や団体によって判定方法が提案されている^{1), 2), 3)}

が、これらはいずれも専門知識や経験を必要とし、誰でも容易に取り扱うことは困難である。このような問題にはエキスパートシステム(以下、ESと略す)が適している。

ESに関する研究は、知識の表現のみならず知識の獲得に関するものも多く行われてきた。その中でも、学習機能を持つニューラルネットワークのように、事例などから知識を獲得する手法が、特に注目を集めている。著者ら⁴⁾

⁵⁾は、粘板岩を主体とする自然斜面について危険度を判定した事例をもとに、S－P表^{6), 7)}を使い判定要因のパターンを整理した。その事例は、(株)高速道路調査会の判定方法に基づいており、表－1に示すように、崩壊地の有無など12の判定要因について該当する項目を選択し、対応する危険ランクを数量化し、

表－1 危険度判定要因

判 定 要 因	項 目	危険ランク
(1) 崩壊地の有無	① 大規模崩壊地がある ② 崩壊地が多くある ③ 崩壊地が少しある ④ 崩壊地がない	a b c d
(2) 崩壊前兆の有無	① 段落ち、亀裂、構造物の変位などの前兆がある ② 上記の前兆がない	a d
(3) 崖錘など不安定土塊の存在状況	① 厚く存在する ② 薄く存在する ③ 存在しない	a c 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、上部は集水地形 ② 風化、変質の激しい岩があるが、①以外の場合 ③ 風化、変質の激しい岩がない	a c d
(5) 破砕帯の有無	① 破砕帯がある ② 破砕帯がない	b d
(6) 自然斜面の勾配	① オーバーハング状 ② 35°以上 ③ 25°～35° ④ 25°以下	a b c d
(7) ガリーの有無	① ある ② ない	b d
(8) 斜面上沢状窪みの有無	① 沢状窪みの出口が道路より上部に位置する。 ② 沢状部の表土、風化土が周辺部より比較的厚い ③ 沢状窪みはあるが、②以外の場合 ④ 沢状窪みがない	a b c d
(9) 斜面上部地形	① 凹型(集水地形) ② 平型 ③ 凸型	b c d
(10) 斜面の縦断形	① オーバーハング状 ② 斜面途中および上部に平坦部がある ③ 明瞭な遷急点、遷緩点がある ④ ①～③以外	a b c d
(11) 湧水の状況	① 多量の湧水がある ② 浸み出し程度の湧水がある ③ 湧水がない	b c d
(12) 道路による斜面の切り取り状況	① 厚い不安定土塊を切り取っている ② 風化、変質の激しい岩盤を切り取っている ③ 比較的新鮮な岩盤を切り取っている	b c d

全ての判定要因に対する危険ランクの合計得点より、斜面に対する総合的な危険度を判定するものであった。この判定は、全ての判定要因を同等に扱ったもので、判定要因に対する重要度は考慮されていない。そこで、S-P表を使い判定要因が危険度の判定に及ぼす影響の度合いを求め、その値を各判定要因に対する重要度としてESの構築を行い、崩壊危険度の判定を行った。

今回は、自然斜面の崩壊危険度に関する専門家の判定結果を使って、初級技術者が別の斜面に対して行った危険度の判定結果を評価する方法を提案する。まず、32箇所の斜面に対して専門家が行った判定結果をS-P表を使い整理し、危険度A、B、Cのそれぞれの判定パターンを作成する。次に、3箇所の斜面に対し初級技術者が行った判定パターンと専門家の行った判定パターンを比較することで評価を行った。初級技術者の判定パターンが、危険度A、B、Cのいずれの判定パターンともあまり一致していない場合は、注意係数の値により判断することができるので、初級技術者に対して、判定要因の該当する項目の見直しなどを助言できる。

2. S-P表分析

S-P表分析は統計数理法であるが、統計に関する専門的知識がなくても比較的容易に使用することができる。理論や分析法は極めてわかりやすく、S-P表を使いパターン分析を行うことは非常に簡単であり、分析結果は視覚的に読み取ることができる。

今回、表-2に示すような専門家が行った32の斜面の判定事例をS-P表を使い整理した。その事例を危険度A、B、Cで分類するとそれぞれの事例数は10前後と少ないが、事例が少なくともS-P表は適用でき、全体的なパターンのみならず個々の判定パターンも同時にとらえることができる。危険度を判定する上で、専門家の判定結果と異なる判定パターンをもつ斜面は特に重要視すべきであり、これらの斜面は注意係数の値で判断することができる。

(1) S-P表の作成

自然斜面の崩壊危険度の判定に関する事例をもとに、S-P表は以下の手順で作成される。

- ① 各判定要因について、危険ランクがaまたはbと評価されたものには危険側として”1”を与え、危険ランクがcまたはdと評価されたものには安全側として”0”を

表-2 専門家の判定事例

斜面 番号	判 定 要 因												総合的 危険度
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
1	2	1	1	2	2	2	2	4	2	2	3	1	A
2	4	2	1	2	2	2	2	4	2	2	2	1	B
3	4	2	2	3	2	2	2	4	3	4	3	2	C
4	4	2	1	2	1	3	2	2	2	3	3	3	B
5	3	2	1	1	2	2	2	4	1	3	3	1	A
6	3	1	1	1	2	2	2	4	3	2	1	1	A
7	4	2	2	2	2	2	2	4	2	4	3	3	C
8	4	2	2	2	2	2	2	4	2	4	3	3	C
9	3	1	1	2	2	4	2	3	1	4	3	3	B
10	3	1	1	3	2	4	2	3	1	4	3	3	B
11	4	2	1	3	2	4	2	4	2	3	3	3	C
12	4	2	1	3	2	4	2	3	1	3	3	3	B
13	4	2	1	3	2	2	2	4	2	3	1	1	B
14	3	2	2	3	2	2	1	4	1	4	2	3	B
15	4	2	1	3	2	4	1	4	2	4	3	3	C
16	4	2	1	3	2	2	2	4	3	4	1	1	B
17	4	1	1	3	2	4	2	3	1	3	2	3	B
18	3	2	1	3	2	2	1	4	2	3	3	1	B
19	4	2	1	3	2	2	2	4	2	3	3	1	B
20	4	2	1	3	2	3	2	3	1	3	3	3	B
21	3	1	1	3	2	2	2	4	2	3	3	3	B
22	4	2	2	3	2	2	2	4	3	3	3	3	C
23	4	2	2	3	2	3	1	4	1	3	3	3	C
24	4	1	1	2	2	4	2	3	1	4	3	1	B
25	4	2	2	1	1	2	2	4	1	4	1	1	A
26	4	2	2	2	2	2	1	3	1	4	1	1	B
27	4	1	2	3	2	2	2	4	3	4	3	3	C
28	2	1	1	1	1	2	2	4	2	4	3	1	A
29	2	1	1	1	1	2	2	4	2	4	3	1	A
30	2	1	1	1	2	2	1	4	3	3	3	2	A
31	3	1	1	2	2	2	1	4	1	3	2	1	A
32	4	2	2	2	2	2	2	4	3	3	3	2	C

与える。

- ② ①で作成した”1”と”0”のマトリックスの行（斜面）、列（判定要因）について総合計を求める。
- ③ 行（斜面）と列（判定要因）の両者について、総合計の大きい順に並び替える。
- ④ マトリックスの左端から各斜面の総合計の位置に直線を引く。（S曲線）
- ⑤ マトリックスの上端から各判定要因の総合計の位置に直線を引く。（P曲線）

(2) 注 意 係 数

注意係数は、S曲線とP曲線を境として、”1”と”0”の入れ替わりがない完全な判定パターンを想定し、これを基準に各斜面や各判定要因のパターンと完全なパターンがどの程度一致しているかを示すものである。この値が”0”となった斜面や判定要因は完全な判定パターンと一致していることを表す。また、この値が特に大きい斜面や判定要因については、該当する項目の誤評価など、他の斜面や判定要因とパターンを異にする理由を再検討する必要がある。

斜面番号mの注意係数（CSm）は次の式で求められる。

$$CSm = \frac{\Sigma FS - \Sigma SS}{\Sigma SL - S_m \times SA} \quad \text{—— (1)}$$

ここに、 ΣFS ：S曲線の位置より左側の安全側評価要因における、危険側評価斜面の合計

ΣSS ：S曲線の位置より右側の危険側評価要因における、危険側評価斜面の合計

ΣSL ：S曲線の位置より左側の全斜面における危険側評価要因の総合計

S_m ：斜面番号mにおける危険側評価要因の合計

SA ：全斜面における危険側評価要因の総合計÷要因数

判定要因nの注意係数（CPn）は次の式で求められる。

$$CPn = \frac{\Sigma FP - \Sigma SP}{\Sigma PU - P_n \times PA} \quad \text{—— (2)}$$

ここに、 ΣFP ：P曲線の位置より上側の安全側評価斜面における、危険側評価要因の合計

斜面 番号	判 定 要 因												合計
	(6)	(12)	(3)	(4)	(2)	(1)	(9)	(5)	(11)	(10)	(7)	(8)	
29	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	7
28	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	7
6	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	7
31	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	6
30	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	6
25	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	6
1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	6
5	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
合計	8	7	7	6	6	4	3	3	2	2	2	0	50

—— S曲線 P曲線

図－1 判定結果AのS－P表

斜面 番号	判 定 要 因												合計
	(3)	(9)	(6)	(12)	(2)	(11)	(7)	(10)	(8)	(5)	(4)	(1)	
26	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	5
24	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
18	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
16	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
13	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
2	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
21	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
19	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
17	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
14	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
10	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
9	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3
20	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
合計	13	8	7	5	4	3	1	1	1	0	0	0	50

—— S曲線 P曲線

図－2 判定結果BのS－P表

ΣSP：P曲線の位置より下側の危険側評価斜面における、危険側評価要因の合計

ΣPU：P曲線の位置より上側の全判定要因における危険側評価斜面の総合計

P_n：判定要因nにおける危険側評価斜面の合計

PA：全判定要因における危険側評価斜面の総合計÷斜面数

斜面 番号	判 定 要 因												合計
	(6)	(7)	(3)	(9)	(2)	(12)	(11)	(10)	(8)	(5)	(4)	(1)	
27	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
23	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
15	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	6	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	12

—— S曲線 P曲線

3. 事例の整理

事例は、(財)高速道路調査会がまとめた危険度の判定要因をもとに、地質(粘板岩)や地形などの特徴から共通と判断される要因は除外し、表-1に示すような12の判定要因を使い行ったものである。判定要因は、(1)崩壊地の有無、(2)崩壊前兆の有無などを考慮した。各判定要因について、①大規模崩壊地がある、②崩壊地が多くある、③崩壊地が少しある、④崩壊地がないなどの状況を表す項目が記述されている。全ての要因について該当する項目を選び、それらに対応する危険ランク(a, b, c, d)を数量化(5, 3, 1, 0)し、合計得点が20点以上の場合は危険度がA、10点以上の場合は危険度がB、10点未満の場合は危険度がCと判定している。表-2は、全ての斜面について、判定要因ごとに該当する項目番号、および総合的な危険度の判定結果をまとめたものである。例えば、斜面1は判定要因(1)については項目②が該当して、総合的な危険度はAと判定されている。

今回は、危険ランクがaまたはbのものは、危険側に評価される判定要因と考え”1”を与え、該当する項目の危険ランクがcまたはdのものは、安全側に評価される判定要因

図-3 判定結果CのS-P表

表-3 注意係数と判定結果の一覧

斜面 番号	危険側の 総得点	判定結果A の注意係数	判定結果B の注意係数	判定結果C の注意係数	実事例の 判定結果
1	6	0.200	0.400	0.143	A
2	4	0.231	0.286	0.130	B
3	1	0.000	0.457	0.000	C
4	3	1.026	0.716	0.828	B
5	5	0.133	0.181	0.126	A
6	7	0.078	0.427	0.169	A
7	1	0.000	0.457	0.000	C
8	1	0.000	0.457	0.000	C
9	3	0.410	0.113	0.552	B
10	3	0.410	0.113	0.552	B
11	1	0.000	0.000	0.610	C
12	2	0.545	0.000	0.600	B
13	4	0.231	0.190	0.130	B
14	3	0.718	0.507	0.000	B
15	2	0.682	0.300	0.450	C
16	4	0.231	0.190	0.130	B
17	3	0.410	0.113	0.552	B
18	4	0.231	0.190	0.000	B
19	3	0.000	0.000	0.121	B
20	2	0.545	0.000	0.600	B
21	3	0.000	0.113	0.000	B
22	1	0.000	0.457	0.000	C
23	2	1.263	0.675	0.600	C
24	4	0.308	0.095	0.652	B
25	6	0.462	0.750	0.333	A
26	5	0.688	0.474	0.126	B
27	2	0.000	0.525	0.000	C
28	7	0.000	0.563	0.169	A
29	7	0.000	0.563	0.169	A
30	6	0.267	0.650	0.000	A
31	6	0.214	0.000	0.000	A
32	1	0.000	0.457	0.000	C

と考え”0”を与える。危険度がAと判定されている斜面については図-1に示すようなS-P表を作成した。同様に、危険度がBと判定されている斜面については図-2、危険度がCと判定されている斜面については図-3に示すようなS-P表をそれぞれ作成した。

表-3は全ての斜面について、危険側の総得点、判定結果A、B、Cの注意係数、実事例の判定結果をまとめたものである。ここに、危険側の総得点は、該当する項目の危険ランクがaまたはbとなり、危険側に評価され”1”を与えた判定要因の合計である。判定結果Aの注意係数は、ある斜面の危険度が判定されていないものと考えて、その斜面の判定パターンを判定結果AのS-P表(図-1)に追加した時に求まる注意係数である。これは、追加した斜面の判定パターンと危険度Aに属する斜面の判定パターンとの一致度を表すもので、この値が小さいほど一致の度合いが大きいと判断することができる。同様に、判定結果BのS-P表(図-2)にある斜面の判定パターンを追加したときに求まる注意係数を判定結果Bの注意係数として、判定結果CのS-P表(図-3)にある斜面の判定パターンを追加したときに求まる注意係数を判定結果Cの注意係数とした。例えば、斜面1の判定結果Aの注意係数は”0.200”となっている。これは、図-1に示すような判定結果AのS-P表に、斜面1の判定パターンを追加して新たにS-P表を作成し、 $\Sigma FS (=6)$ 、 $\Sigma SS (=3)$ 、 $\Sigma SL (=9+8+8+6+7+5)$ 、 $S_m (=6)$ 、 $SA (=56/12)$ の値を求め、式(1)に代入することで求められる。実事例の判定結果は、各判定要因の該当する項目に対応する危険ランクを数量化して、その合計得点により得られた結果である。

4. 崩壊危険度の判定と評価

表-3に示す危険側の総得点と判定結果Aの注意係数の関係は図-4に示すようなグラフとなり、●で示した斜面は実際の事例では危険度がAと判定されている。図-4で、総得点が6以上となる斜面は危険度がAと判定され、総得点が5となる網かけ部の斜面は危険度がAまたはBと判定される可能性がある。

危険側の総得点と判定結果Bの注意係数の関係は図-5に示すようなグラフとなり、●で示した斜面は実際の事例で危険度がBと判定されている。図-5で、総得点が3または4となる斜面は危険度がBと判定され、総得

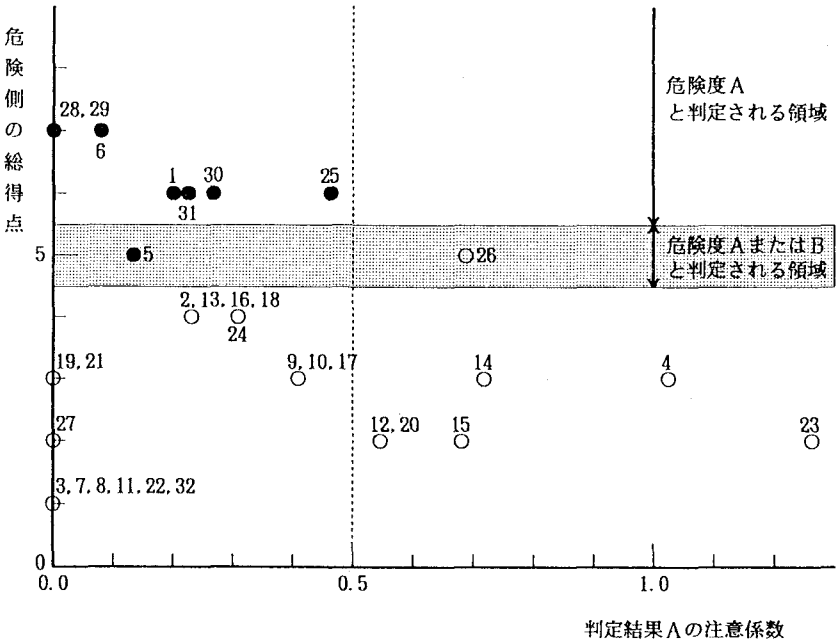


図-4 判定結果Aの注意係数と総得点の関係

点が5となる網かけ部の
 斜面は危険度がAま
 たはBと判定される可
 能性がある。さらに、
 総得点が2となる網か
 け部の斜面は危険度が
 BまたはCと判定され
 る可能性がある。

同様に、危険側の総
 得点と判定結果Cの注
 意係数の関係は図-6
 に示すようなグラフと
 なり、●で示した斜面
 は実際の事例において
 危険度がCと判定され
 ている。図-6で、総
 得点が1以下となる斜
 面は危険度がCと判定
 され、総得点が2とな
 る網かけ部の斜面は危
 険度がBまたはCと判
 定される可能性がある。

以上のように網かけ部
 のどちらも判定され
 る斜面については、注
 意係数の値が小さいも
 のを判定パターンによ
 く一致していると判断
 し、その斜面に対する
 危険度とした。

表-4に示す斜面番
 号33、34、35に
 対する初級技術者の判
 定事例を評価した。斜
 面番号33の危険度を
 判定する場合、危険ラ
 ンクがaまたはbで危
 険側と評価された要因
 に"1"を与え、bまた
 はcで安全側と評価
 された要因に"0"を
 与え、この判定パター

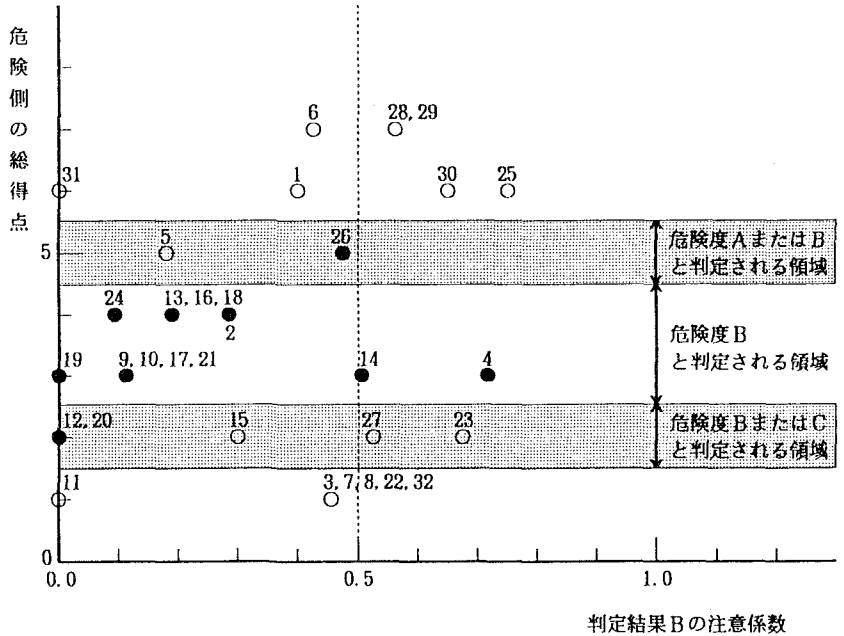


図-5 判定結果Bの注意係数と総得点の関係

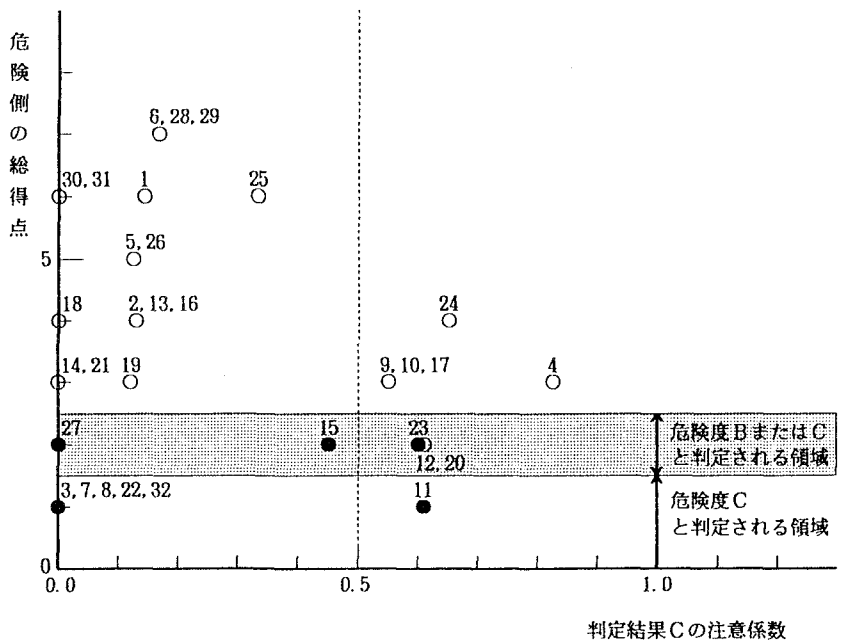


図-6 判定結果Cの注意係数と総得点の関係

ンを判定結果AのS-P表(図-1)に追加してS-P表を新たに作成しなおす。作成したS-P表の斜面番号33について、危険側と評価され”1”を与えている判定要因の総合計を危険側の総得点として求め、このときの斜面番号33の注意係数を判定結果Aの注意係数とする。同様に、判定結果BのS-P表(図-2)や判定結果CのS-P表(図-3)に斜面番号33の判定パターンを追加してS-P表を作成し、このときの注意係数をそれぞれ判定結果B、Cの注意係数とする。

斜面番号33、34、35について求めた危険側の総得点、判定結果A、B、Cの注意係数、S-P表の評価結果、および初級技術者の判定結果を表-5に示す。図-7は表-5に示す危険側の総得点と危険度A、B、Cの注意係数の関係を表すグラフである。斜面番号33に対する危険側の総得点は”5”であり、危険度がAまたはBと判定される可能性がある。判定結果Aの注意係数は”0.133”であり、判定結果Bの注意係数は”0.181”

である。従って、斜面番号33については判定結果Aの注意係数が判定結果Bの注意係数より小さく、危険度Aの判定パターンによく一致していると考え、S-P表による評価結果はAとする。以上のような判定を3つの斜面について行い、表-5に示すようなS-P表の評価結果が得られる。

この中で、斜面番号35についてはS-P表の評価結果がCとなり、初級技術者の判定結果と一致しているが、危険度Cの注意係数の値は”0.600”と大きく、専門家の判定パターンとあまり一致していないことを表し、再検討を必要とする斜面であると判断することができる。

表-4 初級技術者の判定事例

斜面 番号	判 定 要 因												総合的 危険度
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
33	③	②	①	①	②	②	②	④	①	③	③	①	A
34	④	②	①	③	②	④	②	③	①	③	③	③	B
35	④	②	②	③	②	③	①	④	①	③	③	③	C

表-5 注意係数と評価結果の一覧

斜面 番号	危険側の 総得点	判定結果A の注意係数	判定結果B の注意係数	判定結果C の注意係数	S-P表の 評価結果	初級技術者の 判定結果
33	5	0.133	0.181	0.126	A	A
34	2	0.545	0.000	0.600	B	B
35	2	1.263	0.675	0.600	C	C

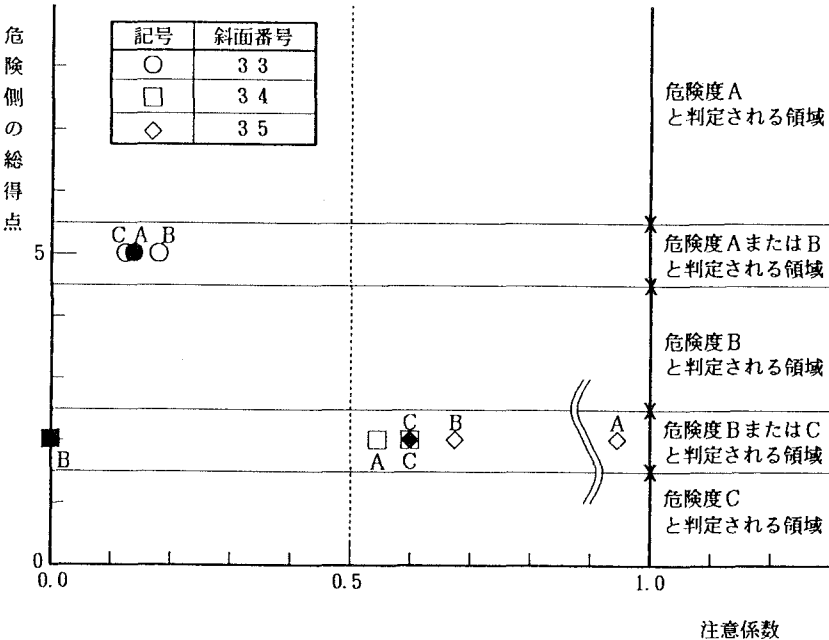


図-7 斜面33、34、35の注意係数と総得点の関係

5. あとがき

S-P表を使い、道路路線上における自然斜面の崩壊危険度の判定に関する事例を整理し、パターン分析を行った。危険度の判定は危険側に評価される判定要因の総得点の影響が強い。しかし、危険度は総得点のみで判定することは困難であり、同じ得点であっても、AまたはBのどちらとも判定される可能性のある斜面、あるいはBまたはCのどちらとも判定される可能性がある斜面が存在する。これらの斜面の危険度は、S-P表から求めることができる注意係数の値を、判定パターンの一致度と考え危険度の判定を行った。S-P表は危険度の判定パターンを視覚的に分かりやすく表現し、各斜面の判定パターンと専門家が行った判定パターンの一致度を注意係数を求めることで判断することができる。また、注意係数の値が特に大きいにもかかわらず危険度が判定されている場合は、専門家の判定結果と判定パターンが異なっているものと考え、各判定要因の該当する項目の見直しなど、再検討が必要であると判断することができた。

今回、使用した、事例は粘板岩を主体とする特定の地質領域で行われたものである。他の地質領域の斜面については、新たにS-P表を作成することで同様な判定が行える。今後は、他の地質領域での専門家の判定パターンをS-P表を使い整理するとともに、実際の崩壊事例を収集し、崩壊斜面のパターンをS-P表を使い整理することで、斜面崩壊の予測を考慮した事例ベースシステムの構築を行ってきたい。

参 考 文 献

- 1) 建設省河川局砂防部監修：急傾斜地崩壊対策事業の手引，全国地すべりがけ崩れ対策協議会，1983.
- 2) 林野庁：山地災害危険地区調査要領，1982. 6.
- 3) 勘高速道路調査会：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.
- 4) 広兼道幸・中村盛之・三上市蔵：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，第14回土木情報システムシンポジウム講演集，1989. 10.
- 5) 広兼道幸・中村盛之・三上市蔵：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，関西大学工学会誌－工学と技術，Vol. 9, No. 3, 1989. 11.
- 6) 佐藤隆博：教育情報工学入門，コロナ社，1990. 6.
- 7) 海保博之：心理教育データの解析法10講，福村出版，1987. 12.