

自然斜面の崩壊危険度診断における 判定要因と判定結果のS-P表を用いた評価

広兼道幸*・三上市藏**・植田哲司***

専門家の判定結果をS-P表を使って整理し、技術者にとって重要かつ困難とされている判定要因の重みを決定する方法について提案し、その妥当性について評価した。

次に、整理した専門家の判定結果を用いて、初級技術者の判定結果を評価する方法について提案した。初級技術者の判定結果が専門家の判定結果とあまり類似していない場合は、その原因を初級技術者に教示し、専門家に準じた判定が可能となる。

Key Words : case-based reasoning, s-p score table, slope-failure, danger level, pattern analysis

1. ま え が き

自然斜面の崩壊危険度を判定することは、斜面崩壊から保全対象を保護する対策工を施工する箇所の優先順位の決定などにおいて重要である。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^{1)~3)}が提案されているが、これらいずれの判定方法も適用にあたっては、専門知識や経験的知識を必要とし、土木技術者が誰でも容易に取り扱うことはできない。

このような問題の解決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の構築は、対象となる問題に関する知識を獲得し、整理する過程が最も重要であり困難とされている。人工知能の分野においても知識の獲得は最重要課題とされ、最近では、事例から分類木を構成し知識の整理を行う方法や事例からルールを構築し知識の整理を行う方法など、事例の中に内在する専門知識や経験的知識を獲得し、獲得した知識を利用する方法⁴⁾が研究され、ESを構築するための一手法として期待されている。

自然斜面の崩壊危険度の判定にあたっては、複数の基準(判定要因)があり、これらの各判定要因に対して、2~4種類の選択項目がある。全ての判定要因に対して該当する項目を選択し、選択した項目に対応する危険ランクを総合的に判断し危険度の判定を行っている。総合的な判定を行う場合の判定要因間の相対的な重要性(重み)は、文献1), 2), 3)の判定方法では考慮されていない。本来、崩壊危険度などの判定は、これらの重みを考慮し総合的な判断を行うべきであり、より妥当な崩壊危険度の判定を行うためには、重みを決定することが必要とな

る。しかし、重みの決定は経験的知識を必要とし、初級技術者に限らず熟練した技術者にとっても困難な問題であり、その決定法は確立されていないのが現状である。

そこで、著者らは専門家が行った粘板岩を主体とする自然斜面の崩壊危険度の判定事例をもとに、S-P表^{5), 6)}を使って判定要因の重みを決定する方法⁷⁾について研究を進めている。本論文では、文献7)で一部試みた判定要因の重みの決定法を発展させて、4種類の重みの決定法を考案し、それらで決定される重みの妥当性を評価する。判定要因の重みは、S-P表分析の結果として得られる注意係数に基づいて決定する。さらに、統計的手法により求めた出現率を確信度とし、プロダクションルールによりESの構築を行う。構築したESに対して、重みを考慮した場合と考慮しなかった場合の判定結果について比較し、決定した重みの妥当性を評価する。

次に、崩壊危険度の判定は、各判定要因に対し項目を選択し、選択した項目を総合的に判断し、行っている。すべての判定要因に対して、妥当な項目を選択することは、経験をあまり持たない初級技術者にとって困難な問題であり、経験豊富な専門家の指導が必要となる。

そこで、著者らは、専門家が行った自然斜面の崩壊危険度の判定事例をもとに、初級技術者が行った判定結果を評価する方法⁸⁾について研究を進めている。文献8)では専門家お判定事例をS-P表を使って整理し、初級技術者の判定結果を評価することを試みた。本論文では、この初級技術者の判定結果の評価方法を発展させ、評価結果が専門家の行った判定事例と類似していない場合に、その原因が判定要因に対する項目の選択に誤りがあるものと考えて、その判定要因を初級技術者に教示し、初級技術者でも熟練した専門家に準じた崩壊危険度の判定を可能とする方法について提案する。

* 正会員 (株) エフ・ケー開発センター
(〒732 広島市東区光町2-10-11)

** 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

*** 復建調査設計(株) 技術研究所

表一 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	a
	②崩壊地が多くある	b
	③崩壊地が少しある	c
	④崩壊地がない	d
(2)崩壊前兆の有無	①脱落、亀裂、構造物の変位などの前兆がある	a
	②上記の前兆がない	d
(3)崖縁など不安定土塊の存在状況	①厚く存在する	a
	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、上部は集水地形	a
	②風化、変質の激しい岩があるが、①以外の場合	c
	③風化、変質の激しい岩がない	d
(5)破砕帯の有無	①破砕帯がある	b
	②破砕帯がない	d
(6)自然斜面の勾配	①オーバーハング状	a
	②35°以上	b
	③25°～35°	c
	④25°以下	d
(7)ガリーの有無	①ある	b
	②ない	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。	a
	②沢状窪みの表土、風化土が周辺部より比較的厚い	b
	③沢状窪みはあるが、②以外の場合	c
	④沢状窪みがない	d
(9)斜面上部地形	①凹型(集水地形)	b
	②平型	c
	③凸型	d
(10)斜面の横断形	①オーバーハング状	a
	②斜面途中および上部に平坦部がある	b
	③明瞭な運急点、運緩点がある	c
	④①～③以外	d
(11)湧水の状況	①多量の湧水がある	b
	②湧み出し程度の湧水がある	c
	③湧水がない	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	b
	②風化、変質の激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

表二 専門家の判定事例

斜面番号	判定要因												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

2. 専門家の判定事例

本論文において、判定要因と判定結果を評価するために使用した専門家の判定事例は、粘板岩を主体とする自然斜面の崩壊危険度を判定したものである。危険度の判定は、(財) 高速道路調査会の判定方法³⁾に従っている。表一は、この判定方法を地質(粘板岩)や地形などの特性から、全ての斜面について選択される項目が共通となる判定要因は除外し、(1)崩壊地の有無、(2)崩壊前兆の有無など12の判定要因にまとめたものである。判定要因(1)に対しては、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崩壊地がないという4つの項目があり、各判定要因に対して該当する項目の選択を行う。選択した項目に対応する危険ランク(a, b, c, d)を数量化(7, 5, 3, 1)し、その合計得点より各斜面の総合的な危険度(A, B, C)を判定する、評価点法を使っている。表二はある地域の斜面を32の小ブロックに分割し、分割した32の斜面について、判定要因に対する選択した項目番号と危険度の判定結果をまとめたものである。例えば、斜面番号1は判定要因(1)に対して項目②を選択し、判定要因(2)に対して項目①を選択している。選択した項目から評価点法で危険度はAと判定している。

3. S-P表分析

S-P表分析は統計数理法であり、教育情報工学においては教師が生徒(Student)や試験問題(Problem)を評価するために使われている。この分析法は統計に関する専門的な知識をあまり必要とせず、理論や分析法はきわめて簡単である。また、分析結果を視覚的に読み取れることもでき、正確な判断が可能となる。

今回、使用した事例は32の斜面について専門家が危険度を判定したもので、危険度がA, B, Cとなっている斜面に分類すると、それぞれの事例数は10前後となる。このように数少ない事例にもS-P表は適用でき、全体的な判定結果のみならず個々の斜面の判定結果も同時にとらえることができる。事例を整理する上で、特殊な判定結果を持つ斜面は、特に重要視するべきであるが、これらの斜面は注意係数の値を使って判断することができる。

(1) S-P表の作成

32の斜面に対する崩壊危険度の判定事例をもとに、S-P表を使って表三に示す全事例の判定パターンは以

表-3 全事例の判定パターン

斜面 番号	判定要因												合計
	(6)	(3)	(12)	(2)	(9)	(7)	(4)	(10)	(1)	(5)	(10)	(8)	
28	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	7
29	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	7
6	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	7
30	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	6
31	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	6
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	6
25	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	6
26	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	5
5	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
13	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
16	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
18	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
24	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
9	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
10	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
14	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
17	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
19	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
21	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
12	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
15	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
20	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
23	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
27	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3	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
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	1	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
32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	22	22	14	12	12	7	6	5	4	4	3	1	112

— S曲線 P曲線

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と評価されたものは、危険側に評価される要因と考慮して“1”を与え、危険ランクがcまたはdと評価されたものは、安全側に評価される要因と考慮して“0”を与える。このようにして得られた“1”と“0”の並びを判定パターンと呼び、この行マトリックスを32の斜面に対して作成する。
- 2) 1)で作成された“1”と“0”のマトリックスの行(斜面)と列(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)それぞれについて、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。この直線を階段状に結んだ線をS曲線と呼ぶ。
- 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。この直線を階段状に結んだ線をP曲線と呼ぶ。

(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”

が分離した完全な判定パターンを想定し、これを基準として、各斜面と各判定要因の判定パターンと完全な判定パターンがどの程度類似しているかを示すものである。この値が0.00となった斜面や判定要因は完全な判定パターンと完全に一致していることを表す。この値が特に大きい斜面は判定要因に対する項目の選択に誤りがあると判断することができる。また、この値が特に大きい判定要因は、不必要な要因であるか、あるいは他の判定要因に比べ比重が小さい要因であることを表し、崩壊危険度を判定する上で特に注意を要する判定要因となる。斜面番号*n*の注意係数(CSn)は以下の式で求められる。

$$CSn = \frac{\sum FS - \sum SS}{\sum SL - Sn \times SA} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

∑FS: S曲線より左側で安全側(=0)に評価されている判定要因に対して、危険側(=1)に評価されている斜面の合計

∑SS: S曲線より右側で危険側(=1)に評価されている判定要因に対して、危険側(=1)に評価されている斜面の合計

∑SL: S曲線より左側の全ての判定要因に対して、危険側(=1)に評価されている斜面の総合計

Sn: 斜面番号*n*に対して、危険側(=1)に評価されている判定要因の総合計

SA: 全ての斜面に対して、危険側(=1)に評価されている判定要因の総合計÷判定要因数である。

また、判定要因*i*の注意係数(CPi)は以下の式で求められる。

$$CPi = \frac{\sum FP - \sum SP}{\sum PU - Pi \times PA} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

∑FP: P曲線より上側で安全側(=0)に評価されている斜面に対して、危険側(=1)に評価されている判定要因の合計

∑SP: P曲線より下側で危険側(=1)に評価されている斜面に対して、危険側(=1)に評価されている判定要因の合計

∑PU: P曲線より上側の全ての斜面に対して、危険側(=1)に評価されている判定要因の総合計

Pi: 判定要因*i*に対して、危険側(=1)に評価されている斜面の合計

PA: 全ての判定要因に対して、危険側(=1)に評価されている斜面の総合計÷斜面数である。

表一4 各判定要因に対する注意係数と重みの一覧

判定要因	注意係数	重み			
		CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
(1)	0.08	0.92	0.92	0.96	0.96
(2)	0.40	0.60	0.60	0.80	0.80
(3)	0.43	0.57	0.57	0.78	0.78
(4)	0.06	0.94	0.94	0.97	0.97
(5)	0.31	0.69	0.69	0.84	0.84
(6)	0.52	0.48	0.48	0.74	0.74
(7)	0.64	0.36	0.36	0.68	0.68
(8)	1.14	-0.14	0.00	0.00	0.43
(9)	0.92	0.08	0.08	0.54	0.54
(10)	0.38	0.62	0.62	0.81	0.81
(11)	0.45	0.55	0.55	0.77	0.77
(12)	0.12	0.88	0.88	0.94	0.94

4. 判定要因の評価

専門家の判定事例に基づいて、S-P表を使って判定要因を評価し、評価結果として得られる注意係数の値から、各判定要因に対する重みを決定する方法を提案する。提案した方法で決定した重みを考慮した場合と重みを考慮しなかった場合との判定結果を比較し、重みを考慮することの妥当性について検討するため、および妥当な判定結果を得るための重みの決定方法について検討するために、プルダクションルールによるESを構築する。構築したESにおいて、各判定要因の危険ランク(a, b, c, d)から、総合的な危険度(A, B, C)を判定するための曖昧さを表現するため、統計的手法から得られる出現率を確信度として用いる。S-P表を使って決定した重みの妥当性の評価は、構築したESを用いて、決定した重みを考慮した場合と考慮しなかった場合の判定結果を比較することで行う。重みを考慮する場合、妥当な判定結果を得るための重みの範囲について考察する。また、注意係数の値が大きい判定要因については、粘板岩を主体とする斜面の危険度の判定において、不必要な要因であると考えられるべきか、あるいは判定にあまり影響を与えない要因であると考えられるべきかについての考察も行う。

(1) 重みの決定方法

専門家の行った判定事例をもとに、S-P表を使い各判定要因に対する注意係数を求め、この値から判定要因の重みを決定することにする。全ての判定事例を使い、表一3に示す全事例の判定パターンを作成し、各判定要因に対する注意係数は表一4に示す値となった。ここで、各判定要因の重みは、CASE-1～CASE-4の4種類の決定法について考慮することとする。

CASE-1は文献7)で試みた重みの決定法で、重みを0.00～1.00の範囲で考えている。注意係数の値が0.00となり、完全な判定パターンと一致する判定要因に対する重みは1.00とする。注意係数の値が大きい判定要因

は完全な判定パターンから逸脱する傾向にあり、その判定要因が危険度の判定に与える影響の度合いは、小さくなるものと考え、注意係数の値が1.00となる判定要因に対する重みは0.00とする。すなわち、重み=1.00-注意係数とする。ここで、注意係数の値が1.00を越えた判定要因(8)に対する重みは負の値とする。

CASE-2は重みを0.00～1.00の範囲で考え、重み=1.00-注意係数とする。これは、CASE-1の決定法と同じである。ここで、注意係数の値が1.00を越えた判定要因(8)に対する重みの決定法は、CASE-1では負の値を重みとしているのに対して、CASE-2では不必要な判定要因であると考え、崩壊危険度の判定要因から除外するため、重みを0.00としている。

CASE-3は重みを0.50～1.00の範囲で考えている。注意係数の値が0.00となり、完全な判定パターンと一致する判定要因に対する重みは1.00とする。注意係数の値が大きい判定要因は完全な判定パターンから逸脱する傾向にあり、その判定要因が危険度の判定に与える影響の度合いは、小さくなるものと考え、注意係数の値が1.00となる判定要因に対する重みは0.50とする。すなわち、重み=1.00-注意係数/2とする。ここで、注意係数の値が1.00を越えた判定要因(8)は、不必要な判定要因であると考え、重みを0.00とするCASE-2の決定法と同じ考え方をしている。

CASE-4は重みを0.50～1.00の範囲で考え、重み=1.00-注意係数/2とする。これは、CASE-3の決定法と同じである。ここで、注意係数の値が1.00を越えた判定要因(8)に対する重みの決定法は、CASE-3では不必要な判定要因であると考え、重みを0.00としているのに対して、CASE-4では他の判定要因に比べ重みは小さいが、崩壊危険度の判定に必要な判定要因であると考え、1.00-注意係数/2で求められる値を重みとしている。

(2) ESの構築

CASE-1～CASE-4で決定した、4種類の判定要因の重みを評価するために、ESの構築を行った。各判定要因の該当する項目に対応する危険ランクから、総合的な危険度A, B, Cを判定するための曖昧さは、医療診断ES「MYCIN」で使われている確信度⁹⁾を用いることとした。

各判定要因に対し選択した項目(①, ②, ③, ④)と危険度の判定結果(A, B, C)の関連(出現率)から、確信度を決定する。表一2に示すように、判定要因(1)で選択した項目が①となっている斜面は存在しない。選択した項目が②となっている斜面は番号1, 28など4斜面あり、全ての斜面が危険度Aと判定されている。そこで、判定要因(1)に対して選択した項目が②の場合は、危険度Aに対する確信度に0.50を与えることとし

表-5 各危険度に対する確信度の一覧

判定要因	項目	確 信 度		
		危険度A	危険度B	危険度C
(1)	①	0.50	0.00	0.00
	②	0.50	0.00	0.00
	③	0.26	0.24	0.00
	④	0.03	0.19	0.28
(2)	①	0.31	0.14	0.05
	②	0.07	0.18	0.25
(3)	①	0.22	0.22	0.06
	②	0.06	0.07	0.37
	③	0.06	0.06	0.38
(4)	①	0.50	0.00	0.00
	②	0.13	0.20	0.17
	③	0.00	0.24	0.26
(5)	①	0.42	0.08	0.00
	②	0.12	0.18	0.20
(6)	①	0.23	0.12	0.15
	②	0.23	0.12	0.15
	③	0.00	0.27	0.23
	④	0.00	0.30	0.20
(7)	①	0.19	0.15	0.16
	②	0.16	0.17	0.17
(8)	①	0.00	0.50	0.00
	②	0.00	0.50	0.00
	③	0.00	0.50	0.00
	④	0.20	0.10	0.20
(9)	①	0.18	0.26	0.06
	②	0.15	0.16	0.19
	③	0.16	0.04	0.30
00	①	0.39	0.11	0.00
	②	0.39	0.11	0.00
	③	0.14	0.20	0.16
	④	0.14	0.15	0.21
(11)	①	0.28	0.22	0.00
	②	0.19	0.31	0.00
	③	0.14	0.14	0.22
(12)	①	0.33	0.17	0.00
	②	0.18	0.00	0.32
	③	0.00	0.20	0.30

た。

また、選択した項目が③となっている斜面は番号5, 6など8斜面あり、その中で番号5などの3斜面が危険度Aと判定され、番号9などの5斜面が危険度Bと判定されている。そこで、選択した項目が③の場合は、8斜面のうち3斜面について危険度がAと判定され、残りの5斜面について危険度がBと判定されている。この時の危険度A, Bに対する確信度は、それぞれ0.26 $\{=0.5 \times 3 \times 15/8 \div (3 \times 15/8 + 5)\}$, 0.24 $\{=0.5 \times 5 \div (3 \times 15/8 + 5)\}$ を与えることとした。ここで、崩壊危険度A, B, Cと判定された斜面の数は、それぞれ8, 15, 9斜面と差がある。従って、この差を補正する必要があり、危険度Aと判定された斜面の数は15/8を乗じ、危険度Cと判定された斜面の数は15/9を乗じている。以上の方法で、全ての判定要因に対して選択した項目ごとに危

表-6 重みの妥当性の評価結果

斜面番号	危険度	CASE-0	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
1	A	A	A	A	A	A
2	B	A or B	B	B	B	B
3	C	C	C	C	C	C
4	B	B	C	B or C	B	B
5	A	A	A	A	A	A
6	A	A	A	A	A	A
7	C	C	C	C	C	C
8	C	C	C	C	C	C
9	B	B	B	B	B	B
10	B	B	B	B	B	B
11	C	B or C	C	C	C	C
12	B	B	C	C	B	B
13	B	B	B	B	B	B
14	B	B	B	B or C	B	B
15	C	B or C	C	C	C	C
16	B	B or C	B	B	B	B
17	B	B	B	B	B	B
18	B	B	B	B	B	B
19	B	C	B	B	B	B
20	B	B	C	C	B	B
21	B	B	B	B	B	B
22	C	C	C	C	C	C
23	C	C	C	C	C	C
24	B	B	B	B	B	B
25	A	A	A	A	A	A
26	B	B	C	B or C	B or C	B
27	C	C	C	C	C	C
28	A	A	A	A	A	A
29	A	A	A	A	A	A
30	A	A	A	A	A	A
31	A	B	A	A	A or B	A
32	C	C	C	C	C	C

険度A, B, Cの出現率を求め、その値を表-5に示す確信度とした。

知識の表現はプロダクションルールを用いた。表-1に示す判定要因「(1) 崩壊地の有無」に対し、項目「③ 崩壊地が少しある」を選択した場合のルールは、表-5に示す判定要因(1)に対する項目③における、危険度A, B, Cに対する確信度0.26, 0.24, 0.00を使い、

「if 崩壊地の有無=崩壊地が少しある
then 危険度がAである(確信度=0.26)
危険度がBである(確信度=0.24)
危険度がCである(確信度=0.00)」

となる。以上のようなルールから、求められる確信度の集計方法は、「MYCIN」で提案された集計方法を用いる。全ての判定要因に対して項目を選択し、各危険度に対する確信度を集計し、最終的に確信度の値が最も大きい危険度を判定結果とする。

表-6の危険度は、表-2に示す専門家の判定結果と同じものである。表-5の確信度を使い、重みを考慮せずに構築したESを実行したところ、表-6のCASE-0に示す判定結果が得られた。網掛け部の判定結果は、ESの判定結果が専門家の判定結果と異なっている斜面であり、「A or B」、あるいは「B or C」となっている判

定結果は、集計した確信度の最大値が同じ値となり、危険度がどちらとも判定できなかったことを示す。

(3) 重みの評価結果

CASE-1~CASE-4 の決定法による重みの妥当性を評価するために、各決定法による重みを表-5 に示す確信度に乗じて、ES の確信度を修正した。修正した 4 ケースの ES を実行することで得られる判定結果と専門家の判定結果を比較することで、各決定法の重みの妥当性を評価する。ES を実行したところ、表-6 に示す判定結果が得られた。表-6 の CASE-1~CASE-4 は、表-4 に示した CASE-1~CASE-4 の重みを考慮して修正した ES の判定結果である。表-6 に示す網かけ部の判定結果は、ES の判定結果が専門家の判定結果と異なったもので、CASE-4 は全ての判定結果が専門家の行った判定結果と一致している。

以上の評価結果より、重みを考慮しない場合 (CASE-0) より重みを考慮した場合 (CASE-1~CASE-4) の方が、妥当な判定結果が得られることが明らかになった。CASE-1~CASE-4 の判定結果を比較したところ CASE-2 より CASE-1 の判定結果が、あるいは CASE-3 より CASE-4 の判定結果が、専門家の判定結果に、良く一致していることがわかる。従って、S-P 表を使い求めた注意係数の値が大きく、1.00 を越えた判定要因については、重みを 0.00 とする方法 (CASE-2, CASE-3) より、他の判定要因に比べ重みを小さくする方法 (CASE-1, CASE-4) を使った場合に、妥当な判定結果が得られることが明らかになった。また、注意係数の値が、0.00~1.00 の範囲に対応する重みは、1.00~0.00 の範囲で決定する方法 (CASE-1) より、1.00~0.50 の範囲で決定する方法 (CASE-4) を使った場合に、妥当な判定結果が得られることが明らかになった。

すなわち、重みの決定法として、注意係数の値が 1.00 を越えた判定要因は、不必要な判定要因であると考えより、他の判定要因に比べ判定結果に与える影響の程度が小さいと考えるべきである。また、重みの設定範囲は 1.00~0.00 のように広範囲とするより、1.00~0.50 のように、範囲をある程度限定するべきである。

5. 判定結果の評価

自然斜面の崩壊危険度を判定するために、各判定要因を評価して、該当する項目を選択する必要があるが、この選択は技術者個人の主観によるもので、経験の有無、技術者個人により差が生じる。そこで、あまり経験のない初級技術者でも経験豊富な専門家に準じた判定を行うことを可能にすることが重要な課題である。

これらの課題を解決するために、専門家が行った事例を S-P 表を使い整理し、事例に内在する経験的知識を用いて、初級技術者の判定結果を評価する方法について

表-7 判定結果 A の判定パターン

斜面 番号	判 定 要 因												合計
	(6)	(2)	(3)	(4)	(2)	(1)	(9)	(5)	(1)	(0)	(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	0	1	0	0	0	1	6
30	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	6
25	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	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

提案する。ここで提案する方法を用いることで、専門家が行った事例 (粘板岩を主体とする斜面) があれば、別の斜面 (粘板岩を主体とする斜面) で行った初級技術者の判定結果を評価し、初級技術者でも専門家に準じた判定が可能となる。

ここでは、専門家の判定事例を整理し、崩壊危険度 A, B, C のそれぞれに対する判定パターンを作成する。作成した判定パターンには専門家の経験的知識が内在するので、これを用いて粘板岩を主体とする斜面について、初級技術者の行った判定結果から判定パターンを作成し、専門家の各危険度の判定パターンと比較することで、危険度 A, B, C の判定パターンのいずれに良く類似しているかを判断し、初級技術者の判定結果を評価する。さらに、評価の結果、専門家の判定パターンとあまり類似していない場合は、判定要因に対する項目の選択に誤りがあると考えて、その判定要因を初級技術者に教示する方法を提案する。

(1) 専門家の判定事例の整理

専門家の判定事例 (表-2) をもとに、危険度が A と判定された斜面の各判定要因について、選択した項目の危険ランクが 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、選択した項目が c または d のものは、安全側に評価される判定要因と考え “0” を与え、表-7 に示すような判定結果 A の判定パターンを作成した。同様に、危険度が B と判定された斜面については、表-8 に示すような判定結果 B の判定パターンを作成し、危険度が C と判定された斜面については、表-9 に示すような判定結果 C の判定パターンを作成した。

表-10 に示す危険度は、表-2 に示す危険度と同じもので、専門家の行った危険度の判定結果である。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を求め、表-10 に示す危険側の総得点とした。各斜面について危険度が判定されていないものと考えて、表-7 に示す判定結果 A の判定パターンに、その斜面の判定パターンを追加したときに求める注意係数を、表-10 に示す判定結果 A の注意係数とした。

表-8 判定結果 B の判定パターン

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

—— S曲線 P曲線

表-9 判定結果 C の判定パターン

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

—— S曲線 P曲線

例えば、斜面1の判定結果Aの注意係数の値は、0.200となっている。この値は、表-7に示す判定結果Aの判定パターンに斜面1の判定パターン(111001000101)を追加した判定パターンを作成し、 $\sum FS (=6)$, $\sum SS (=3)$, $\sum SL (=9+8+8+6+7+5)$, $S_i (=6)$, $SA (=56/12)$ の値を求め、式(1)に代入することで得られる。

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類似度を表すもので、この値が小さいほど類似の度合いが大きいと判定することができる。同様に、表-8に示す判定結果Bの判定パターンに、各斜面の判定パターンを追加した時に求まる注意係数を判定結果Bの注意係数とし、表-9に示す判定結果Cの判定パターンに、各斜面の判定パターンを追加した時に求まる注意係数を判定結果Cの注意係数とした。

表-10に得られた危険側の総得点と判定結果Aの注意係数との関係は、図-1に示すようになり、●で示した斜面は危険度がAに分類されている。図-1において、危険側の総得点が6以上となる斜面は危険度がAに分類され、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に分類されている。危険側の総得点と判

表-10 危険側の総得点と注意係数の一覧

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

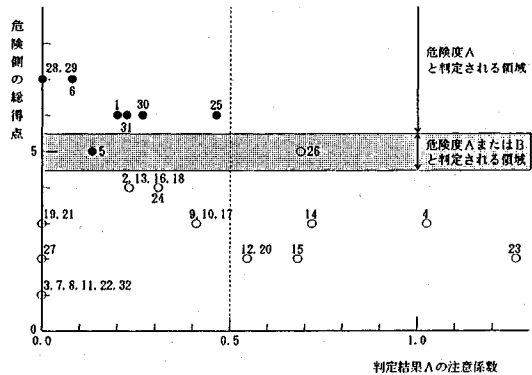


図-1 判定結果Aの注意係数と総得点の関係

定結果Bの注意係数との関係は、図-2に示すようになり、●で示した斜面は危険度がBに分類されている。図-2において、総得点が3または4となる斜面は危険度がBに分類され、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に分類されている。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に分類されている。同様に、危険側の総得点と判定結果Cの注意係数との関係は、図-3に示すようになり、●

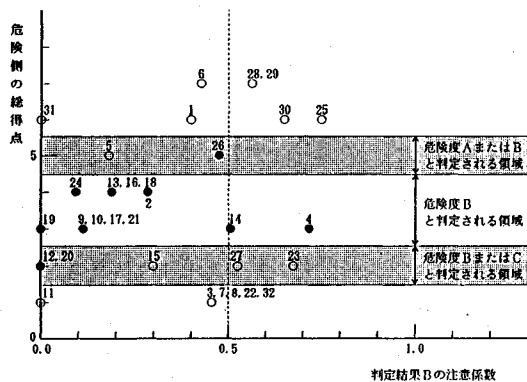


図-2 判定結果Bの注意係数と総得点の関係

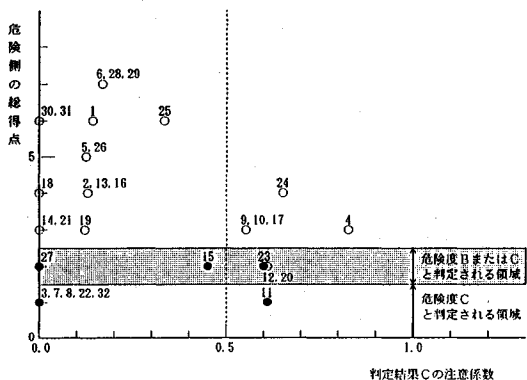


図-3 判定結果Cの注意係数と総得点の関係

で示した斜面は危険度がCに分類されている。図-3において、総得点が1以下となる斜面は、危険度がCに分類され、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に分類されている。

以上のように網かけ部に属する斜面で、危険側の総得点だけで分類が困難な斜面については、両者の注意係数の値を比較し、値が小さい方の判定パターンによく類似していると判断し、類似している判定パターンの危険度に分類することが可能である。

(2) 初級技術者の判定結果の評価

表-11は、専門家が判定した斜面とは別の粘板岩を主体とする斜面40について、初級技術者が行った判定結果をまとめたものである。斜面番号40は判定要因(1)について項目②を選択し、判定要因(2)について項目①を選択している。12の判定要因について項目を選択し、危険度Aと判定している。このように、ある斜面について、初級技術者が行った危険度の判定結果について評価する方法について説明する。

まず、斜面番号40の判定結果を評価するために、危険ランクがaまたはbの判定要因に“1”を与え、危険ランクがcまたはdの判定要因に“0”を与え、表-12に示す斜面番号40の判定パターンを作成する。斜面番

表-11 初級技術者の判定結果

斜面番号	判定要因												危険度
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
40	②	①	③	①	②	②	①	④	③	③	③	②	A

表-12 斜面番号40の判定パターン

斜面番号	判定要因												合計
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
40	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	5

表-13 斜面番号40と判定結果Aの判定パターン

斜面番号	判定要因												合計
	(6)	(2)	(3)	(4)	(2)	(1)	(9)	(5)	(7)	(11)	(10)	(8)	
29	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	7
28	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	7
6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	7
31	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	6
30	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	6
25	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	6
1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	6
5	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
40	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	5
合計	9	7	7	7	7	5	3	3	3	2	2	0	55

表-14 斜面番号40と判定結果Bの判定パターン

斜面番号	判定要因											合計	
	(3)	(6)	(9)	(2)	(2)	(1)	(7)	(10)	(8)	(5)	(4)		(1)
40	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	5
26	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	5
24	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
18	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
16	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
13	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
2	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
21	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
19	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
17	1	0	1	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	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
9	1	0	1	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	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
12	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
合計	13	9	8	7	6	4	4	1	1	1	1	1	55

号40の判定パターンにおいて、“1”を与えている判定要因の合計は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。そこで、専門家の判定事例をもとに作成した、判定結果Aの判定パターン(表-7)と判定結果Bの判定パターン(表-8)の、どちらに良く類似しているかを判断する必要がある。作成した判定パターンを判定結果Aの判定パターンに追加し、表-13に示す斜面番号40と判定結果Aの判定パターンを新たに作成する。表-13において、斜面番号40の判定パターンが、判定結果Aの斜面の判定パターンにどれだけ類似しているかを判断するため、斜面番号40に対する注意係数を求める。

同様に、判定結果Bの判定パターンに追加し、表-14に示す斜面番号40と判定結果Bの判定パターンを

表-15 各危険度に対する注意係数

斜面 番号	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
40	0.426	1.095	

表-16 判定要因に対する注意係数(追加前・追加後)

判定要因	40 ⇨ 危険度A	
	追加前	追加後
(1)	0.500	0.813
(2)	0.000	0.450
(3)	0.800	0.450
(4)	0.667	0.900
(5)	0.444	0.375
(6)	0.000	0.000
(7)	1.333	1.500
(8)	0.000	0.000
(9)	1.778	1.500
(10)	0.667	0.563
(11)	0.667	0.563
(12)	0.800	0.450

新たに作成する。表-14において、斜面番号40の判定パターンが判定結果Bの斜面の判定パターンにどれだけ類似しているかを判断するため、斜面番号40に対する注意係数を求める。

このようにして得られた注意係数は、表-15に示す値となり、判定結果Aとの類似度を表す判定結果Aの注意係数の値は0.426となり、判定結果Bとの類似度を表す判定結果Bの注意係数の値は1.095となる。従って、斜面番号40の判定パターンは、注意係数の値を比較することで、専門家の判定事例をもとに作成した判定結果Aの判定パターンに、良く類似していると判断することができる。

斜面番号40に対して、初級技術者の判定結果はAであり、S-P表の評価結果と一致しているが、専門家の危険度Aの判定パターンとの類似度を表す注意係数の値は0.426となり、あまり類似しているとは言えない。そこで、危険度Aの判定パターン(表-13の網かけ部を除く)において各判定要因の注意係数を求め、表-16の判定要因に対する注意係数(追加前)とした。次に危険度Aの判定パターンに斜面番号40の判定パターンを追加して得られた判定パターン(表-13の網かけ部含む)において各判定要因の注意係数を求め、表-16の判定要因に対する注意係数(追加後)とした。ここで求めた追加前と追加後の注意係数の値を比較すると、網かけ部の判定要因(1),(2),(4),(7)の注意係数の値が追加前より追加後に大きくなっていることがわかる。そこで、初級技術者が行った斜面番号40の判定結果が、専門家の行った判定結果とあまり類似していない原因が、判定要因に対する項目の選択にあると考え、初級技術者に対して、判定要因(1),(2),(4),(7)

について選択した項目の見直しを行うべきであると教示することができる。教示した判定要因について見直しを実施し、選択した項目や危険度に変更があった場合は、その判定結果と専門家の各危険度に対する判定パターンとの比較を行い、再び初級技術者が行った判定結果の評価を行う。以上のように評価を繰り返すことにより、初級技術者でも専門家に準じた崩壊危険度の判定が可能となる。

6. あとがき

自然斜面の崩壊危険度の判定において、判定要因の重みを決定する方法の確立、および初級技術者が行った判定結果を評価する方法の確立は、初級技術者に限らず熟練した技術者にとっても望まれるところである。本研究において得られた結論を以下に記す。

専門家が行った判定事例を、S-P表を使い整理することで得られる注意係数の値を用いて、判定要因の重みを決定する方法を提案した。提案した方法で決定した重みの妥当性を評価するためにESを構築した。構築したESを用いて重みの妥当性を評価したところ、以下の3項目が明らかになった。

- 1) 構築したESを実行し、その判定結果より重みを考慮した場合が妥当な判定結果が得られることが明らかになった。
- 2) 重みを考慮する場合、注意係数の値が0.00~1.00の範囲に対して、重みは1.00~0.50の範囲に設定した場合が妥当な判定結果が得られることが明らかになった。
- 3) 重みを決定する過程で得られる注意係数の値が大きい判定要因は、判定結果にあまり影響しない要因であると考え、重みの値を小さくする方が、より妥当な判定結果が得られることが明らかになった。

次に、専門家が行った判定事例をS-P表を使い整理し、専門家の判定パターンと初級技術者の判定パターンを比較し、初級技術者の判定結果を評価する方法を提案した。提案した方法で初級技術者の判定結果を評価したところ、以下の3項目が明らかになった。

- 1) S-P表を使い専門家が行った判定事例から、危険度A, B, Cの判定パターンを整理した。整理した判定パターンから、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ことが明らかになった。
- 2) 危険度の判定は、危険側の総得点のみで判断することができない斜面が存在する。危険側の総得点と同じ値であっても、危険度がAまたはBと判定される可能性がある斜面、あるいは危険度がBまたはCと判定される可能性がある斜面が存在する。これらの斜面については、注意係数の値を判定パターンの類似度と考えて、最も類似している専門家の判定パターンを危険度として

判断することができた。

3) 初級技術者が行った判定パターンと専門家の判定パターンが、あまり類似していない斜面については、その原因が判定要因の関連性についての専門知識や経験的知識を初級技術者が持っていないためであり、選択した項目に誤りがあるものと考えることができる。そこで、選択した項目に誤りがあり、見直しを行うべきであると判断される判定要因を初級技術者に教示し、初級技術者でも判定要因に対し妥当な項目の選択が可能となり、専門家に準じた崩壊危険度の判定が可能となった。

判定要因の重みの決定法、および初級技術者が行った判定結果の評価法の確立は、技術者にとって重要な問題である。このような問題は、自然斜面の崩壊危険度の判定に限らず、トンネル構造物の健全度の判定¹⁰⁾、下水道管の損傷・劣化度の判定¹¹⁾など、複数の判定要因に対して該当する項目を選択し、選択した項目を総合的に判断する必要がある多くの分野に存在している。提案した方法はこれらの幅広い分野に適用することが可能である。

本研究の遂行にあたり、復建調査設計(株)本社地質調査部長 西尾喬夫氏、復建調査設計(株)福岡事務所地質課 中村盛之氏には資料の提供など多大なる御助言賜りました。記して深謝の意を表します。

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き，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) (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.
- 4) 斉藤和巳・中野良平：事例からのルールの抽出：RF 2 アルゴリズム，情報処理学会論文誌，情報処理学会，Vol. 33，No. 5，pp. 123～132，1992. 5.
- 5) 佐藤隆博：教育情報工学入門，コロナ社，1990. 6.
- 6) 海保博之：心理教育データの解析法 10 講，福村出版，1987. 12.
- 7) 広兼道幸・中村盛之・三上市藏：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，土木情報システムシンポジウム講演集，土木学会，pp. 69～72，1989. 11.
- 8) 広兼道幸・植田哲司・三上市藏：S-P 表を使った自然斜面の崩壊危険度の判定，土木情報システムシンポジウム講演集，土木学会，pp. 255～262，1991. 10.
- 9) 矢田光治：AI 入門，オーム社，1987. 5.
- 10) (財) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル，1990. 10.
- 11) (社) 日本下水道協会：下水道維持管理指針—管路施設編，1991.

(1992. 10. 22 受付)

EVALUATION OF JUDGEMENT FACTORS AND RESULTS IN ASSESSING DANGER LEVEL OF NATURAL SLOPES BY S-P SCORE TABLE

Michiyuki HIROKANE, Ichizou MIKAMI and Tetsushi UEDA

In the present paper, the results of specialists' assessment of danger levels are compiled using the s-p score table. A method is proposed here as to the determination of the weight of judgement factor which is rather difficult but very important to the engineers, and the viability of the method is evaluated.

Furthermore a method is also suggested to evaluate the judgement of an inexperienced engineer by using the compiled judgements of specialists. In case the inexperienced engineer's judgement is not in conformity with that of the specialist the cause or reason is informed to the inexperienced engineer and the same judgement of a specialist is made possible.