

山が動く

《第17号》

社団法人 斜面防災対策技術協会東北支部



●ご挨拶 奥山和彦 1

●特別寄稿

・地すべり地の地下水流动に関する調査
山形大学農学部 教授 奥山武彦 2

・AHP法、その仕組みと地すべり危険度評価法への応用
㈱アドバンテクノロジー 代表
兼(株)三協技術 技術部専門役 濱崎英作 20

●トピックス

・「平成24年度公益社団法人日本地すべり学会東北支部 現地検討会」報告 49

●特別企画

・登録地すべり防止工事試験を受験して
(有)伊藤地質調査事務所 伊藤孝和 52

・地すべり防止工事試験を受験して
陽光建設株式会社 阿保貴光 54

・平成24年度 登録地すべり防止工事試験～一次試験出題問題～ 56

●支部だより

・支部事業報告 総務委員会・事務局 66

・技術委員会活動報告 技術委員会 70

・安全衛生委員会活動報告 安全衛生委員会 73

・会員名簿 76

・賛助会員名簿 77

・編集後記 78

<表紙題字> 宮川和志
<表紙写真> 宮城県「荒砥沢地すべり」
<写真提供> 林野庁東北森林管理局



AHP法、その仕組みと 地すべり危険度評価法への応用

(株)アドバンテクノロジー 代表
兼(株)三協技術 技術部専門役

濱崎英作

1. はじめに

(社)日本地すべり学会東北支部では専門部会を作り H13～H17 年の計 5 ヶ年にかけて岩手県・宮城県両県を題材とし「空中写真を用いた地すべり発生危険度の定量的手法」を開発してきた^[1]。

他方、地すべり学会本部においても、ほぼ同時期に「第三系分布域の地すべり危険箇所調査手法に関する検討委員会」が行われ阿賀野川中流域の地すべり危険度調査手法について研究が進められた^[2]。

両プロジェクト共に AHP 法（階層型分析法）を用いた地すべり危険度評価システムで、使う地形アイテムや、構成、表現など若干異なるところがあるものの、東日本の第三紀地すべりにおいては類似地質地形要素が多いため、いくつかの検証でほぼ同じような評価結果が得られることがわかつってきた。また、当手法開発後に発生した地すべり発生事例でも AHP 評価点の高い（すなわち危ない）とされた地すべり再活動があり、そのシステムの適合性が再認識された。

現在はクロアチアやベトナムにおいても AHP による地すべり危険度評価手法のシステムを構築中である。ただし、日本と異なる地形・地質条件であることも踏まえ、これまでの AHP 手法を土台として、さらにそれぞれの地形地質場で適合する評価システムの開発が進められている。

ここでは、これまでの「空中写真を用いた地すべり発生危険度の定量的手法」に用いられた AHP 法の仕組みについて簡単に解説するとともに、斜面問題などでどのように役立てられているのか等、空中写真危険度評価事例も含め応用面について説明する。実際にこの AHP 手法が地すべり技術者に広く活用され、様々な場面での判断基準構築などで有力な武器となること期するものである。

2. AHP(階層型分析法)の基本

2.1 AHP法(階層型分析法)とは

我々は、車や家など高額なものを買うとき、慎重になっていろいろ悩みが深くなったりするものである。そのとき、いくつかの決定に至る判断基準（たとえば、家を買うときなら「価格」「駅までの距離」「広さ」「自然」「生活利便性」・・・）が複数あるなかで自分なりの基準軸が単純明確だと決定に至るのも容易である。しかし、あいまいなままだと悩みが深くなり、後々後悔することもしばしばである。これが個人でなく、企業や集団の重要な事項（たとえば社屋をどこにするか等）を決定・決断する必要があるとき、「意思決定」に至るまでの客観的・合理的な判断のプロセス（判断根拠）が強く求められる。

このような問題の解決に対して、米国ピッツバーグ大学の T. L. Saaty^[3]は AHP 法 (Analytic Hierarchy Process 階層化意思決定法・階層分析法) を提唱した。その手法の最大の特徴は「判断基準となる項目間の相対的な影響力の強さを測定する手法」で、最大の利点は「曖昧な判断基準を明確に定量化してみせる」ことである。

具体的には、課題をレベル1「最終目的」—レベル2「評価基準」—レベル3「代替案」の視点で分解し、各要素を階層化して把握し、同レベルにある要素の一対比較により各要素のウェイトを決定して、それらに基づく総合点数によって意志決定などを支援するシステムである（図 2.1）。判りやすく言えば、”いくつかの候補の中から最良のものを選ばなければいけないとき、いくつかの項目で一対比較し勘や直感などを取り入れつつ合理的な決定を促す方法”である。

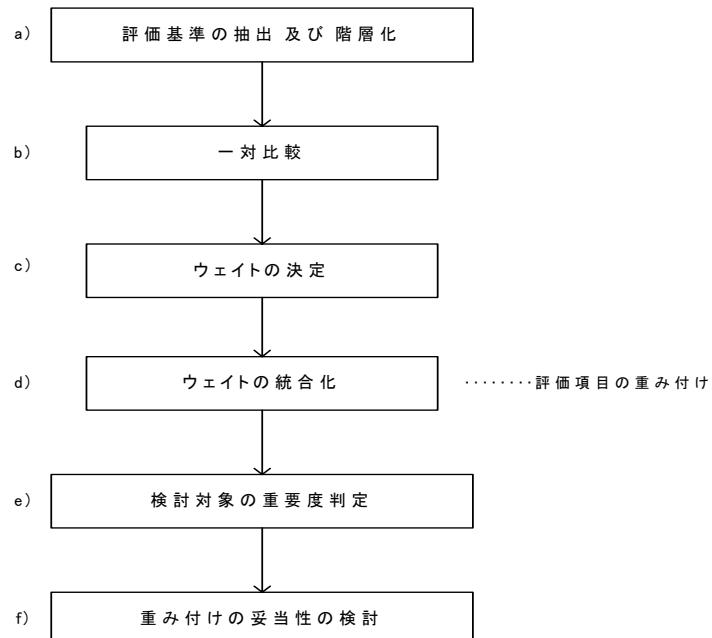


図 2.1 AHP の手順

この手法の特徴は、①各要素の評価が主観的な評価基準によるため、対立する概念や尺度の違う要素も比較できる、②一对比較を用いるため評価が簡単であり、全体を通しての重要度は「結果的に」得られる、③数量的な手法であるため他の案と定量的に比較できる、④ある要素の全体に及ぼす影響力や、判断の整合性が確認できる、等である。

方法は至極簡単で、キーワードは「一对比較」とその「重み付け（多くは幾何平均で計算）」^{*1}だけである。エクセルなどを使うと、慣れればものの1時間もすれば最良の決定案（AHPでは”代替案”と呼ぶ）を選定することができる。

実は、AHP法の有名な適用事例が多い。たとえば、1996～1997年のペルー日本大使公邸人質事件では、Saaty教授がペルー当局からの依頼で政府の取るべき行動をAHP法を使って検討したと云われている。また、日本では1996年、国会等移転審議会などで10候補地の中から「栃木・福島地域」、「岐阜・愛知地域」を選定し答申したときにも使われている。

2.2 AHP法のもっとも簡単な事例

冒頭に示した、「車を買い換えるとき」を例題にしてみよう。これは階層図でみると目的となる（図2.2参照）。

ここで、評価基準は「乗り心地」「お値段」「スタイル」にしてみる。

対称車種は車-A、車-B、車-C、車-Dの4車種である。

このとき、比較する「案」を「代替案」と一般に呼んでいるが、「比較案」と読み替えることも可能である。

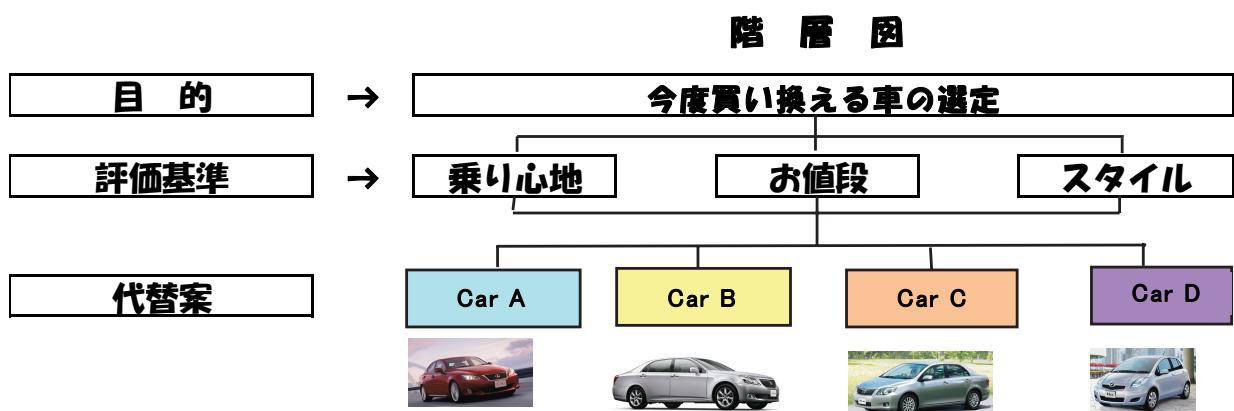


図2.2 車買い換えのためのAHP階層図

2.3 もっともよく使われる AHP 法—相対比較法—の手順

ここで車の買い換えが必要な某氏は「乗り心地重視でスタイルにはあまり興味がない 60 才～65 才の男性」ということとする。

- 1) まず評価基準 「乗り心地」 「お値段」 「スタイル」について一対比較を行う。
一対比較は表 2.1 に示すようなマトリックスに置き換える。同じ項目どうしは「同じ=1」である。
 - ① まず、横に見て行くとき「乗り心地」が「お値段」に比べて 3 倍重要と考えたら「3」となる。
 - ② そのとき対角線項目は「お値段」を「乗り心地」と比較するとき①の逆数で $1/3$ となる。
 - ③ このときの比較度合いに応じて表 2.2 に示すように 3、5、7 (逆は $1/3$ 、 $1/5$ 、 $1/7$) とする。
なお、時として、2、4、6 の偶数もあるが一般には奇数を用いている。
 - ④ 3×3 のすべての比較が終わったら、それぞれの項目での幾何平均^{*1}を行う。
ex) 「乗り心地」 = $(1 \times 3 \times 5)^{1/3} = 2.466$
 - ⑤ それぞれの幾何平均値がもとまつたら、全体の和が 100 となるように再計算する。
これが、評価基準のウェイトになる。ここではこれをウェイト a とする。

表 2.1 AHP 法の一対比較表

	乗り心地	お値段	スタイル	幾何平均	ウェイト a
乗り心地	1	3	5	2.466	64
お値段	$1/3$	1	3	1.000	26
スタイル	$1/5$	$1/3$	1	0.405	10
				3.872	100

→ 幾何平均

$$Gm = \left(\prod_{i=1}^n X_i \right)^{1/n}$$

表 2.2 一対比較のための比較値

- | |
|---|
| 1: 両方の項目が同じくらい重要 (逆も 1)
3: 行の項目の方が列の方より少し重要 (逆は $1/3$)
5: 行の項目の方が列の方より重要 (逆は $1/5$)
7: 行の項目の方が列の方よりかなり重要 (逆は $1/7$) |
|---|

- 2) 次に「乗り心地」「お値段」「スタイル」それぞれの評価項目に対して、検討車種 (代替案) 每の一対比較を行う。考え方と評価項目における代替案毎のウェイト b の出し方は 1) ①～⑤と同じである (表 2.3 参照)。
ただし、全体評価のなかではウェイト a × ウェイト b が真のウェイト (表 2.3 の a*b) となる。

3) 全てのウェイトが求まつたら、それぞれの検討車種（代替案）毎の評価基準ウェイトを全て合計する。

結果的に、これが代替案毎の評価点（AHP 点）である。すなわち、下記から A 車案がもっとも高い評価の 35.6 点を得ることから「A 車」が決定案となる。なお、ここではこのとき評価点の合計は 100 点となるようにウェイト調整されている。

$$A \text{ 車} : \text{ 乗り心地} (28.0) + \text{お値段} (3.2) + \text{スタイル} (4.4) = 35.6$$

$$B \text{ 車} : \text{ 乗り心地} (19.8) + \text{お値段} (3.6) + \text{スタイル} (4.0) = 27.4$$

$$C \text{ 車} : \text{ 乗り心地} (9.3) + \text{お値段} (7.4) + \text{スタイル} (1.2) = 17.9 (18.0)$$

$$D \text{ 車} : \text{ 乗り心地} (6.6) + \text{お値段} (11.6) + \text{スタイル} (0.8) = 19.0$$

表 2.3 代替案の一対比較とウェイト評価

乗り心地	Car A	Car B	Car C	Car D	幾何平均	ウェイト b	a * b
Car A	1	2	3	3	2.060	0.44	28.0
Car B	1/2	1	3	3	1.456	0.31	19.8
Car C	1/3	1/3	1	2	0.687	0.15	9.3
Car D	1/3	1/3	1/2	1	0.485	0.10	6.6
					4.688	sum=	63.7

お値段	Car A	Car B	Car C	Car D	幾何平均	ウェイト b	a * b
Car A	1	1	1/3	1/3	0.577	0.13	3.2
Car B	1	1	1/2	1/3	0.639	0.14	3.6
Car C	3	2	1	1/2	1.316	0.29	7.4
Car D	3	3	2	1	2.060	0.45	11.6
					4.592	sum=	25.8

スタイル	Car A	Car B	Car C	Car D	幾何平均	ウェイト b	a * b
Car A	1	1	3	7	2.141	0.42	4.4
Car B	1	1	3	5	1.968	0.39	4.0
Car C	1/3	1/3	1	1	0.577	0.11	1.2
Car D	1/7	1/5	1	1	0.411	0.08	0.8
					5.097	sum=	10.5

$$\text{sum (all)} = 100.0$$

*1) AHP 法の一対比較重み（ウェイト）付け

ここでは重み計算で①幾何平均による手法を使ったが、Saaty がもともと提唱した AHP 法の一対比較行列では②固有ベクトル法が基本となっている。そのほか③対数最小二乗法、④算術平均による方法などがある。②の固有ベクトル法は、一対比較行列 A の最大固有値（主固有値）をもとめることに他ならない。しかし、②固有ベクトル法、③対数最小二乗法ではプログラム演算（パソコン）が必要であるが①幾何平均、④算術平均は電卓でも可能である。また①幾何平均法はマトリクスが大きくなると②とほとんど同じ結果が得られることも知られている。

*2) 判断の整合性評価

ウェイト計算が成り立つのは、一連のウェイト計算が首尾一貫しているときに限られる。この首尾一貫性をはかる尺度として整合度（Consistency Index=CI）があり、これで一対項目の整合性をチェックすることが重要である。CI は完全に整合しているとき 0、まったく整合しないとき 1 となるように設定され、通常は 0.1 以内が好ましいとされている。計算式は次の通り

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

ここ λ_{\max} はゼロでない唯一の固有値

n は一対比較項目数

3. AHP 絶対評価法の考え方

3.1 通常の AHP 相対比較法の問題点

よく使われる AHP の相対比較法は、次の 3 ステップからなっている。

- ステップ 1： 評価軸となっている項目毎に一対比較し、評価軸のウェイトを決定する。
- ステップ 2： 最終的に選択すべきいくつかの「代替案」で 1 対比較用マトリクスを作り評価項目毎にウェイトを決定する。
- ステップ 3： 各代替案ごとの評価軸で得たウェイトを積算し、各代替案のウェイト（評価点）とし最良案を導く。

この相対比較法については、次の 2 つの欠点がある。

- ①比較すべき代替案の数が少ないとときは問題ないが、比較すべき案が多いときは煩雑となる。
- ②一旦、決まった後に代替案の項目が増加したりすると最初から全ての一対比較をやり直す必要があり、当初に作られた代替案ウェイトの順位がまれに逆転するような場面が生じたりする。

具体的な事例で言えば、何百とあるアパートの最適候補地を探るようなシステムを構築しようとするとき、あまたあるアパートのそれぞれで一対比較を行うことは最良のシステムとは言えないであろう。ただし、一対比較の検討する検討条件が増加したり減ったりしても判断がぶれないシステムが出来れば、もっとも使い勝手の良い仕組みといえる。

Saaty は、このような欠点を克服するため、「絶対評価法」の AHP を提案した。これは、判定すべきたくさんの事象の診断システムを構築するようなとき威力を発揮するモデルである。

3.2 AHP 絶対評価法

AHP 絶対評価法は、評価基準の一対比較で求めたウェイトを共通の尺度値として実施する方法である。

基本は、評価軸の一対比較によるウェイトの計算ステップ 1 は相対比較法と同様に行うが、ステップ 2-3 の代替案については一対比較は行わず、各項目の評価軸において、それがどの程度の重要度の位置にあるか判断する尺度を構築することで代用する。

2.1 節の、車の買い換え問題を考えてみる。評価軸の一対比較によるウェイトは同じである。すなわち、「乗り心地は最大 64 点」「お値段は最大 26 点」「スタイルは最大 10 点」の評価点を基本軸としてもっている。もし「乗り心地」「お値段」「スタイル」すべてが満点なら合計は 100 点で、すべてが 0 点なら合計は 0 点である。さて、「乗り心地」や「スタイル」のような定性的なものについて絶対評価を与えるためには、その評価軸のインデックスとなる最高 (1)、最低 (0)、中間 (0.5) などを具体的にイメージできるものを準備することが必

要となる。

つまり、A車案の評価をするにあたり、この評価軸のインデックス値と見比べながらウェイトを考えることが必要となる。たとえば最高点なら「ベ〇ツ」で、最低点なら「ア〇ト」、中間(0.5)なら「ブルー▲ード」というふうに具体的なイメージを持って「A車案」を比べ評価する。さて「乗り心地」でA車が「ブルー▲ード」より上で「ベ〇ツ」より低く、ほぼその中間値であれば0.75というイメージを持つことが可能である。結果として、「ウェイトa」 $\times 0.75 = 48$ がA車の「乗り心地」のウェイトとなる。

次の「価格」は定量的に示されそうである。たとえば100万円以下なら1.0、300万円を0.5、1000万円以上を限りなく0に近いと設定するとすれば、対数を使ったようなウェイトを与えることが可能となる。

さて、某氏の車買い替え問題を絶対評価法の方法に基づき行ってみると、表3.1のようになった。

尺度に対して「良い」、「安い」などの好材料に対し1.0、悪い、高いの悪材料に対し0.0とし、それぞれの評価でるべき位置を基準尺度と比較しながら1.0-0.0までの数値を与えた。結果、もとの相対比較法での順位は変わらず、最適案もA車ということで一致している。すなわち、絶対評価法の評価尺度（スタンダード）を明確にすれば相対比較法と同様なウェイトと評点を与えることが可能といえる。

表3.1 絶対評価法と相対比較法のウェイトの違い

評価基準	ウェイトa	1	0.5	0	Car A	Car B	Car C	Car D
乗り心地	64	良い	普通	悪い	0.7	44.8	0.5	32.0
お値段	26	安い	普通	高い	0.1	2.6	0.2	5.2
スタイル	10	良い	普通	悪い	1.0	10.0	0.8	8.0
		絶対評価法	1	57.4	2	45.2	4	37.2
		相対比較法	1	35.6	2	27.4	4	17.9
							3	41.8
							3	19.0

3.3 空中写真を用いた地すべり危険度評価法にAHP 絶対評価法を用いた理由

空中写真を用いた危険度評価システム構築にAHP法を使う最大の目的は、地すべり技術者のもつ「暗黙知」を「形式知」に変える、ということである。すなわち、経験と勘にたよった「危ない」「大丈夫」を危険度＊＊点などのように表わすことができれば共通の評価軸が出来るため客観的となり多くの人に受け入れられやすくなる。また、これらによって「形式知」となった教科書を使えば、現場毎にどのポイントが危険で、どの位の危険度ウェイトがあるかということが合理的に整理できる。すなわち、地すべり技術をこれから学ぶ若い技術者にとって、先人の知恵を容易に借りて技術土台を構築できるというメリットがある。

では、AHP法以外の手法でこのようなことはできないのか？ということであるが、以下の3つの判断よりやはりAHP法が最適と判断される。

- 1) 地すべり危険度手法を構築するに耐えうる質量とともにそろった分析用データは集めにくい。すなわち実際地すべり発生した現場の数量と地形、地質の判断要素などは全ての項目でそろうことなど極めて少ない。
- 2) 経験豊かな地すべり技術者を集めても個人個人の経験値はバラバラで通常の統計手法（例えばアンケート方式など）になじまない。すなわち、地すべりの得意な分野や得意なエリアが微妙に異なったりして、普通の手法では評価軸を決めがたい。
- 3) 評価項目や評価軸決定には、経験者どうしのブレーンストーミングが欠かせないが、これは「通常の統計解析」よりは「品質管理手法」に通ずるもので、「AHP法」ではもっとも得意とするところである。

3.4 「暗黙知」を「形式知」に変えるとは

「暗黙知」を「形式知」に変えるという原理について考察する。ここで「人の顔と年齢」について考えてみよう。

さて日本人なら日本人どうしで、西洋人なら西洋人どうしであれば「あの人はおよそ”30歳-40歳”くらいだ」「この人は”20歳前後”」など、感覚的に判断できるであろう。

また、図3.1に示すように、複数の人間の歳の順位を考えるとき、その前後の人の顔を見比べながら入れ替えると大きくは間違わない。特に微妙な違いしかないときであればあるほど前後を一对比較しながら慎重に考える。

これこそが、AHPの肝心なところであるが、このとき何に着目して判断しているかを分析することがAHP手法の重要なポイントである。すなわち、もしこの「歳を決める」判断基準を明らかにし、それを階層化してウェイト評価できれば、それはまさに「形式知」に通じる評価法となる。

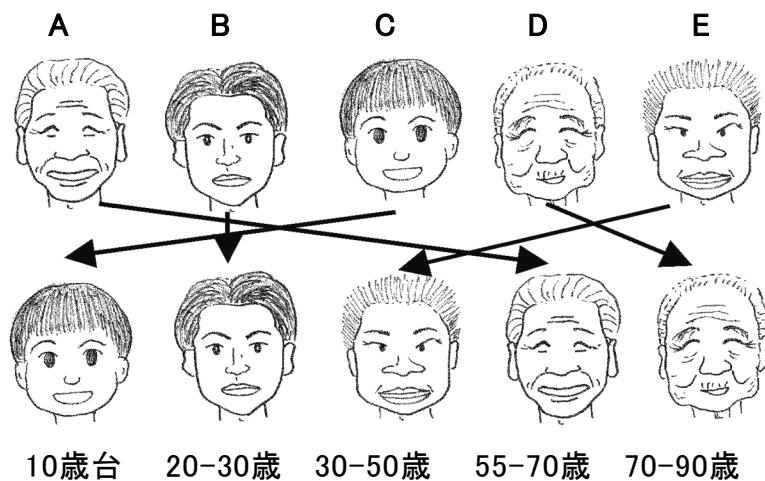


図3.1 人の顔から歳を類推する

さて、表3.2のように「しわの数」「たるみ具合」「髪の毛の量」「肌のきめ・ツヤ」の4項目を評価軸と考え、これをAHPで一対比較したとしよう。すなわち一対比較表から計算されたウェイトは表の右となる。また、絶対評価手法に基づき評価軸となるインデックスをそれぞれに用意しておく。またこのAHP評点は0才から100才までの年齢とほぼ同じとなるようにウェイトを考えて行うこととする。

表3.2 顔の歳を判断する評価基準のAHP

外見上の歳	しわの数	たるみ具合	髪の毛の量	肌のきめ・ツヤ	幾何平均	ウェイト
しわの数	1	2	3	7	2.546	49
たるみ具合	1/2	1	2	5	1.495	29
髪の毛の量	1/3	1/2	1	2	0.760	15
肌のきめ・ツヤ	1/7	1/5	1/2	1	0.346	7
					5.147	100

さて、この基準を元に図3.1の5人について評価してみる。結果は表3.3に示すとおりである。概ね妥当な歳を表しているようである。すなわちこれがAHP法の極意である。

表3.3 A-D5人における絶対比較表によるAHP評価

W:ウェイト	評価軸			A		B		C		D		E	
	1	0.5	0	a	a·w	b	b·w	c	c·w	d	d·w	e	e·w
しわの数	49	多い	普通	ない	0.8	39.6	0.3	14.8	0.1	4.9	1.0	49.5	0.5
たるみ具合	29	たるんでる	普通	ない	0.7	20.3	0.4	11.6	0.1	2.9	1.0	29.1	0.6
髪の毛の量	15	ない	普通	多い	0.5	7.4	0.3	4.4	0.1	1.5	0.7	10.3	0.3
肌のきめ・ツヤ	7	粗い	普通	細かい	0.2	1.3	0.6	4.0	0.2	1.3	0.3	2.0	0.5
	絶対評価			sum=	67	sum=	31	sum=	11	sum=	89	sum=	47

4. 地すべり地形及び発生危険評価

4.1 地すべり地形及び発生危険度の定義と判読範囲・視点

1) 「地すべり地形」の定義

地すべり特有の移動現象の過程では、その移動体が消滅するまで様々な形で特徴的な地形・微地形を形成し、地すべり発生領域では周辺の地形と異なる特有の「地すべり地形」を形成する（図4.4）。

このような地形形成の成り立ちを踏まえ「地すべり地形」とは、「過去に地すべり滑動が発生した結果、周辺斜面から地形的に区分される範囲の内、最も外側のもの（滑動の結果形成された微地形を全て包含する範囲）」と定義する。

2) 「地すべり発生危険度」の定義

地震を除けば、日本国内で発生する地すべりの大半が過去の地すべりの再滑動である。このことを踏まえれば、まず実施するべき最初は、地すべり地形を抽出することである。したがって、地すべり地形を認知できない初性的な地すべりは除外することになる（ただし抽出技術についてはここでは述べない）。

ここで「地すべり発生危険度」を、1)で定義した「地すべり地形」の中のどこかで、次の（再滑動を含む）地すべり現象が発生する可能性をいい、危険度評価の単位は現象の発生位置に関わらず「地すべり地形」全体とする、と限定つきで定義する。

（但し、不安定な部分が領域として小さく、かつ全体の地すべり破壊系列からはずれる局所的現象の場合は、この限りではない。）

また、以下の事項を付け加える。

- 人工改変等の人為的影響による地すべりの発生などは、地質の要因が大きく、評価の対象外とする。
- ここでいう「発生危険度」はあくまでも「発生しやすさ」であって「発生規模」や「移動時の周辺への影響」の評価ではない。
- 統一された危険度の基準を考えるにあたり、ほぼ同様の地質（物質構成）で似たような営力形成時期の場にあることを前提とする。したがって、あくまで地形形態のみで判断される危険度基準である。

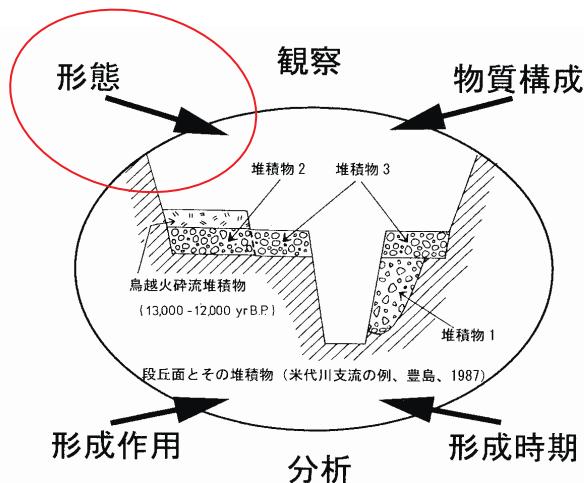


図 4.1 河岸段丘地形を例とした地形を構成する 4 要素の関係
(ここでは、形態をみる)

3) 判読の範囲と各判読アイテムの地すべり地形内での位置

以上のことから、判読の範囲も基本的に、上記の 1) で定義された「地すべり地形」であり、その内部微地形と周辺環境である。この時、地形で明瞭な岩盤クリープ等も考慮するが、基本的に参考程度とする。すなわち、初生の岩盤クリープ等では地すべり危険度の判定は困難である事を認識すべきと考える。

なお、判読ポイントが 1 つだけであるのはまれでありむしろ複数存在することが多々である。しかしながら、すべての項目が揃うことでもまれであることも認識しておくことが重要である。

また、安全側に判断する立場からは、仮に複数あるとき判読アイテム中でより不安定側アイテムに注目すべきである。図 4.2 に判読対象となった地すべり微地形の位置の定義をした。すなわち、地すべりの長さ・幅について 1/3 ずつを区切って右、中央、左、上部、中部、下部とした。記載の位置は、これに従うこととする。

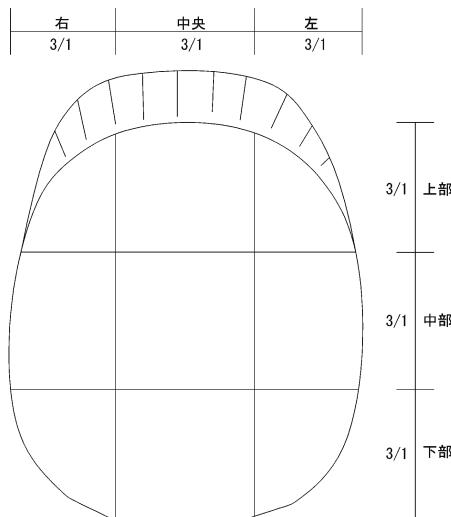


図 4.2 地すべり内部の位置の定義

4) 判読の視点

図 4.3 に地形発達史のなかで地すべり発生を理解する為の図を示した。それは、造構運動（隆起や沈降）や汎世界的規模での第四紀海水準変動における浸食基準面の変化と、非常に小さいタイムスケールの中での風化・浸食・堆積プロセス、及び突発的地震や集中豪雨時などによる地すべり変動を概念的に示したものである。

また、図 4.4 に地すべり地形の変化プロセスとその指標となる微地形を示した。図のように地すべりの多くがその発生から終期までの間で、再滑動・活発期を経て、活動停止、解体などの過程をたどっているといえる（I、I-4）。もちろん、その中にはそのまま再滑動もなく浸食にさらされ、移動体自体が消滅して行くこともある（IV）。

活発なものは絶えず、亀裂や圧縮などに伴う微地形が至る所で形成されたり、末端が細かくなつて小さな地すべりに分化したりして、あたかも流動しているかのような微地形形状を示すことがある。このような「活発な地すべり」は当然のことながら「危険度」が高い。逆にガリーや浸食谷などが入り込んで自然に浸食解体されていくような地すべりでは、崖錐や沖積堆が出来たりシャープだった微地形がだんだん丸みをおびたりして、長期間地すべり再動がない状態が続く。その場合は不活性な地すべりと判断され、「危険度」が小さい地すべりといえる。

このように微地形を突き詰めていくと、いくつかの着目すべきアイテムが判明していく。それは先ほどあげた微地形であったり、地すべり形成場の環境（たとえば、図 4.6 の河川の攻撃斜面）であったりする訳である。これらを抽出しカテゴリーなどに分類整理して前述の AHP 法を用い地すべり技術者同士のブレーンストーミングを通しながら危険度手法に関する合意形成プロセスを経て、実用的な危険度判定用のカルテを作ることが重要である。

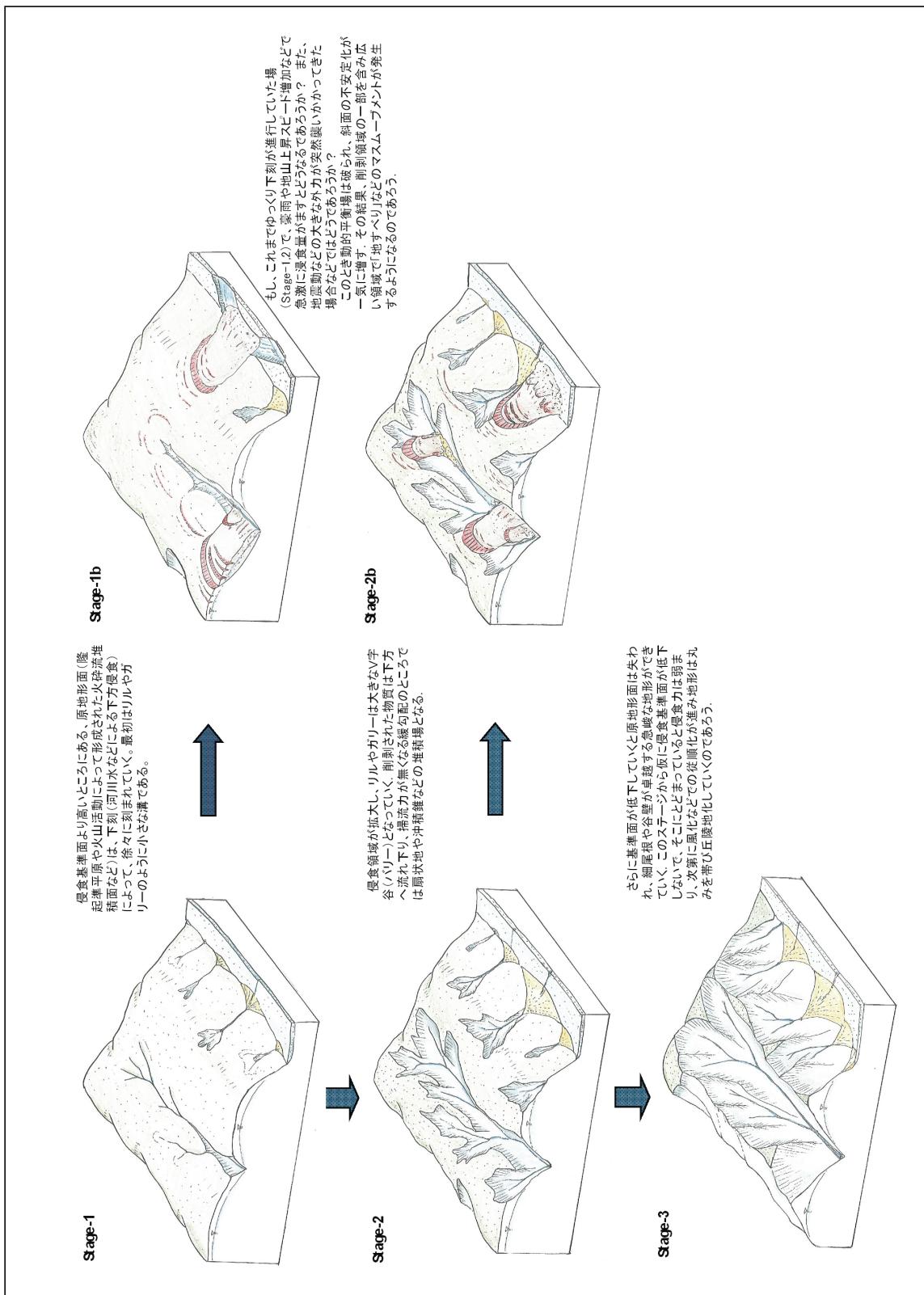


図 4.3 地形発達と地すべり

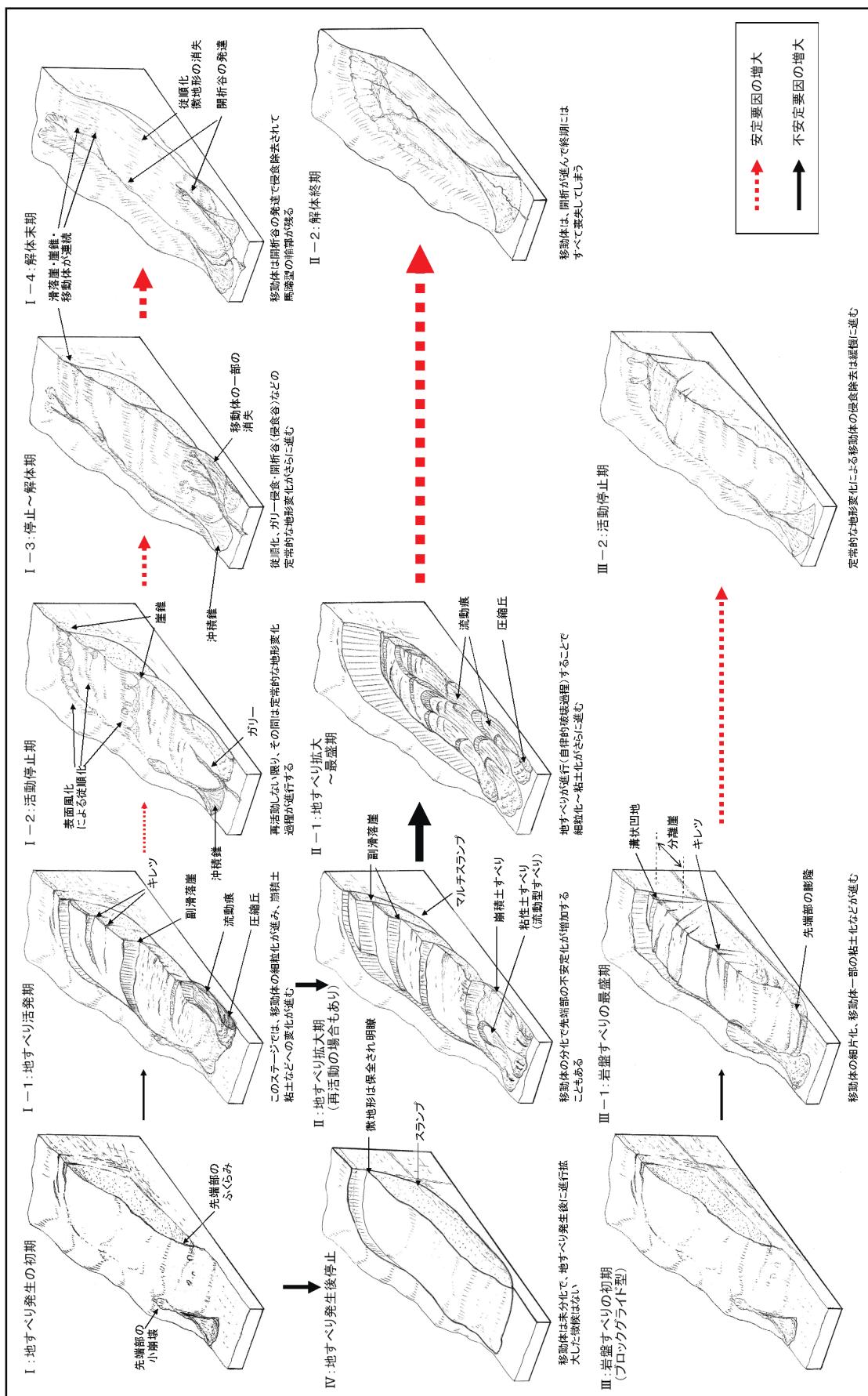


図 4.4 地すべりの発生から消滅までの地形変遷と指標となる微地形

4.2 地すべり地形危険度判定のための評価基準の作成

1) 大分類

地すべり学会東北支部では、H13年～H17年の計5カ年をかけ、日本（東北地方）の地すべり経験者がこれまでに経験した東北地方の地すべりを収集し、またそこでの経験値をもとに判読の評価基準を作り階層化した。技術者のブレーンストーミングの結果、図4.5、4.6に示すように「 α . 移動体の微地形」「 β . 移動体境界部」「 γ . 地すべり地形と周辺環境」の大きく三つに分類することが重要であると判断された。

尚、ここでは上記を基にクロアチア、ベトナムのプロジェクトで改良中のAHPの判断基準を紹介する。

α . 移動体の微地形（運動特性に関する指標）

主として移動体範囲内に分布する、地すべりの運動特性を示唆する様々な微地形とその空間配置で示される。典型的な話として、粘性土すべり～風化岩すべり～岩すべりなど運動様式を特徴づける移動体地形と移動体にある微地形の鮮明度にある。

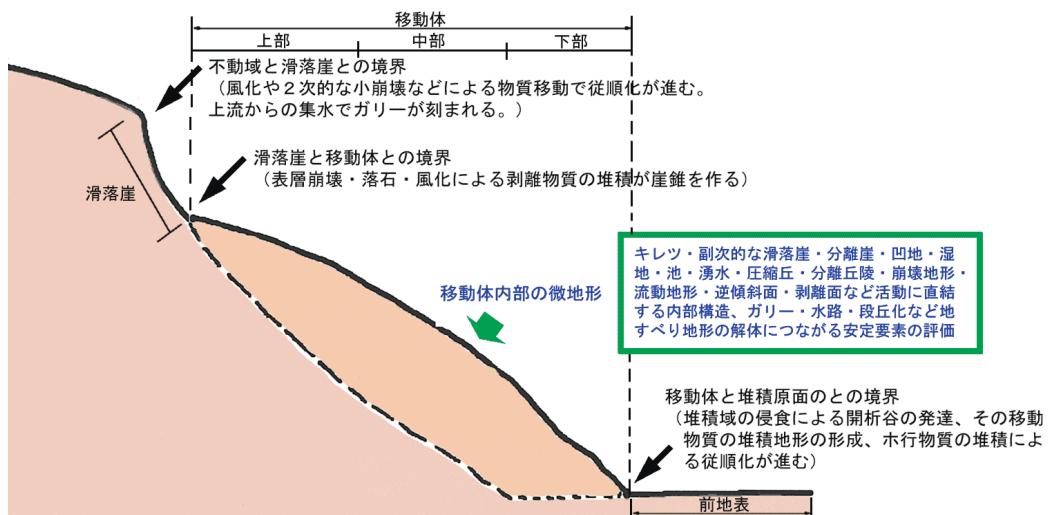
β . 地すべり地形の境界部（時間経過に関する指標）

移動体外周に残された滑動の痕跡の、その後の非地すべり性営力、つまり定常的地形変化による開析度合いである。すなわち、移動体外周部は地すべり発生からの時間経過に起因した風化や侵食による地形変化を読みとることが可能である。特に頭部境界、末端境界では崖錐やガリーなどわかりやすい地形を残す。

γ . 地すべり地形と周辺環境（地形場に関する指標）

滑動の移動体の安定度に影響を与える要因。

ここで地形場とは、地すべりが発生している地形的位置を言う。経験的に地すべりが河川の攻撃斜面にあるところでは、地すべり再動している事例が多い。このように周辺の環境の違いで地すべり安定度が異なることを指標化した。



地すべり地形の危険度評価に関する視点と地形指標

図 4.5 判読アイテムの模式図（宮城原図）

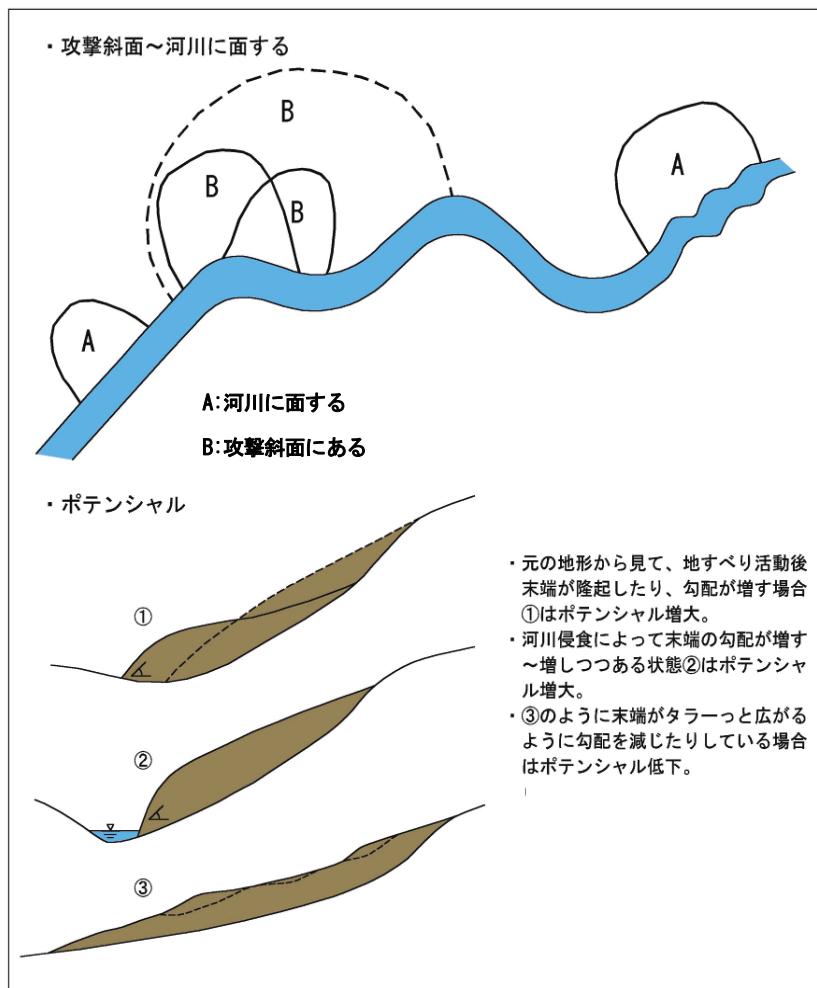


図 4.6 地すべりの地形と周辺環境（堤原図）

2) AHP 評価基準の抽出 及び 階層化

作業部会のブレーンストーミングを通して地すべりの危険度に関する評価基準を抽出し、図 4.7 に示すように階層化した。

大分類としての(α)運動特性に関する指標として【移動体微地形】には、a)運動様式、b)移動体微地形、(β)時間経過に関する指標として【移動体境界部】にはc)頭部境界、d)末端境界、(γ)地形場に関する指標として【移動体周辺地形】にはe)移動体先端部、f)ポテンシャルの中分類が抽出された。

中分類アイテムには実際にカルテのチェック指標となるカテゴリー(小分類)を作成し、大分類、中分類、小分類ごとにAHP 手法を用いて一対比較を実施した。なお、実用上の工夫として図 4.7 に示すカテゴリーは、中分類アイテムごとに下から上へ危険度が高くなるようにカテゴリーを配置したものである。

これらのアイテムは、カルテ作成時に左から右へ並べて配置しており、地形形成のメカニズムなどを理解しやすいために左側に記載している。ちなみに、カテゴリーのチェック位置についてはカテゴリーの中間も許す構造になっている。すなわち、図 4.7 のアイテム「c」において「崖錐あり」「大規模な崖錐」の中間に判断した場合、その間にチェックできるようになっている。

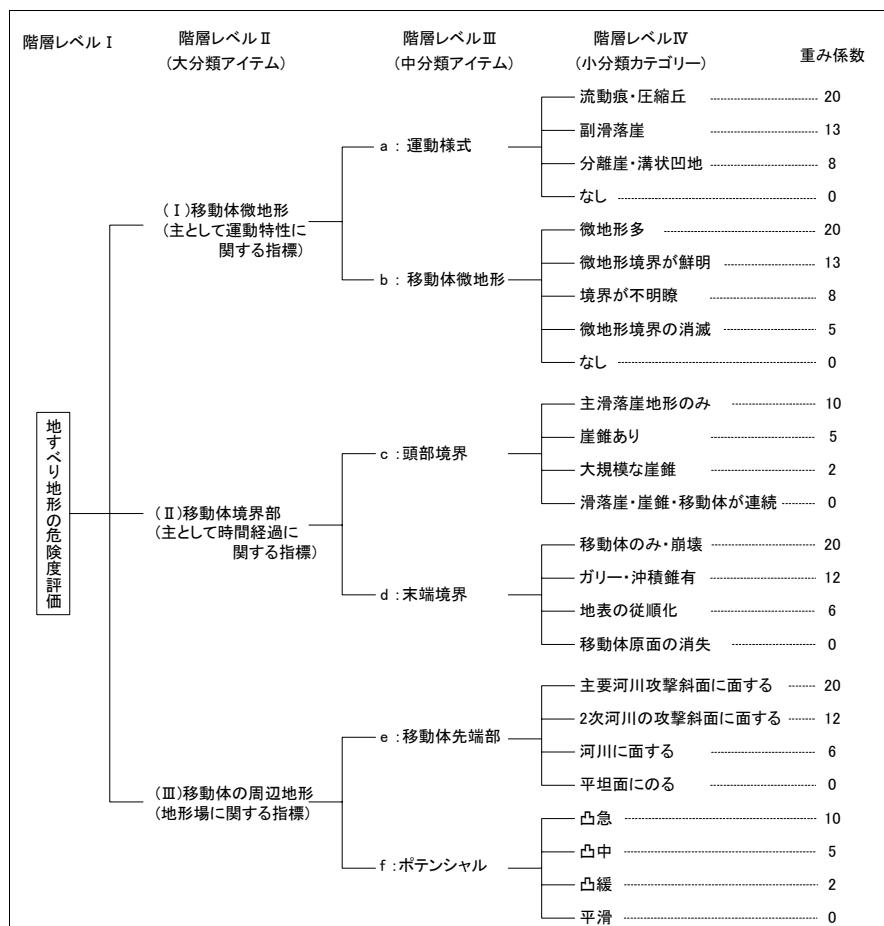


図 4.7 地すべり地形の危険度評価基準

ただし、明確に複数のカテゴリーがあるとき点数に寄与するのは重みの大きい方が優先されることとした。

3) 一対比較、ウェイトの決定・統合化

作業部会においては、まず各人で AHP 評価を実施し、さらにそれをたたき台として作業部会の AHP ウェイト案を作成した。

なお、AHP の一対比較値は、前章表 2.2 に従う。

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| 1 : | 両方の項目が同じぐらい重要 |
| 3 : | 前の項目の方が後の方より若干重要 |
| 5 : | 前の項目の方が後の方より重要 |
| 7 : | 前の項目の方が後の方よりかなり重要 |
| (他 2, 4, 6, 8 を補間的に用いた) | |

AHP の一対比較手順と各アイテム毎のウェイトの算定方法は多くの文献に譲るが、各カテゴリーの最終ウェイトの算出に際しては、

小分類カテゴリーの最終ウェイト =

大分類 AHP ウェイト × 中分類 AHP ウェイト × 小分類 AHP ウェイト

とした。ウェイト統合化の結果、重み係数においては、a～f までの中分類アイテム中で最も高いカテゴリーがチェックされたとき、合計 100 点となるように補正係数を乗じ正規化している。なお、カルテにおいてはこれらのチェック点数の合計を AHP 点数（モデル重み係数の合計）と称した。すなわち、

$$AHP \text{ 点数} = \alpha \cdot \sum X(A \sim I)$$

ここに、 α : 補正係数

4) 一対比較の手法とウェイトの決定方法

ウェイト決定の具体的な手順は以下の通りである。

- ① 危険度予測に関わる「大分類」を一対比較する。

現段階では「I : 移動体微地形」「II : 移動体境界部」「III : 移動体と周辺環境」とすると 3×3 の一対比較となる。

一対比較では例えば「移動体微地形が移動体境界に比べて 3 倍危険度評価で重要である」をマトリックスで表示すると下記のようになる。

AHP 法では、一対比較を項目のすべてで同様に行い、マトリックスの横方向を幾何平均してその比率でウェイト化する手法といえる。

- ② 次に階層レベル III について $a \times b$, $c \times d$, $e \times f$ の一対比較を行う。

- ③ 更に階層レベル IV に示されるそれぞれの小分類カテゴリーを用いて一対比較する。

以上について、実施し表 4.7 のウェイトが決定された。これに基づきカルテ（表 4.1）を作成し地すべり地形 AHP 危険度判定の具体的手順を示した。

5) 判読カルテと判読・AHP 危険度判定の流れ

作業の流れは図 4.8 のフローに示すように、全体像のイメージから最初に直感点を付けて、その後に AHP のチェックを行うようになっている。表 4.1 にカルテフォームを示す。カルテフォームは基本的に a-f までの各アイテムに対し判読者がチェックを入れて AHP 点を出しが、このカルテフォームの特徴としてより危険性の高い要因を左側に、より低い要因を右側へ配置することで全体の評価構成をわかり易くしている。配点の重みから移動体表面の亀裂の新鮮さや先端地形の勾配とその発生場の条件（攻撃斜面か否か）が重要指標となっているのがわかる。直感の為の判断の目安を助けるために図 4.4 で示したような地すべり地形の変化過程を作つて判定の補助としている。

尚、粗判読についてのインデックスステレオペア写真を図 4.9 に示す。

岩手県・宮城県の危険度判定では、判読者は 1 カルテに対し 3 人以上で見ることになっていた。このとき AHP 点で乖離が大きく、合意度(C)が小さいカルテについては再協議して合意度を高める工夫をしている。なお、宮城全県での危険度判定は、あらかじめ地すべり領域を設定して行った。地すべり領域は、例外的に大規模なものを除き、1/2.5 万地形図に示された 3.0m 以上の道路から GIS 上で 1km のバッファを発生させ、それに掛かるような地すべり地形のみを抽出対象とした。また地すべり一個ずつを対象とするのではなく、集水域界・尾根線・谷線などの境界からある程度のまとまりを持った領域としてくくり抽出した。

表 4.1 判読カルテ表

Stereo pair and micro landform feature of landslide		Check list for risk evaluation of landslide										
		AHP score										
		Indicative signs of instability					→ Low					
							→ High					
1)	カールチェック項目は左側程危険度の高いアイテム、右側ほど低いアイテムが並ぶように配置している。判断者はこの項目と類似するところにチェックして点数を付ける。	Debris flow	Secondary scarp	8	Secondary multi scarp, mudflow	13	Block glide crack pressure ridge	0	Head part depression Minor scarp	0	no sign	
2)	このスペースにはステレオペア写真を付け、またステレオペアと同じ領域の平面図をつけて、右のチェック項目に従い、どこをどのように見たかを記載する。	Mudflow, earth flow	almost clear and fresh	8	rounded scarp & linear depression	not clear	5	hilly or bumpy incision of slide mass	0	rounded crown, talus deposition	0	
a)	Closely-spaced scarp & linear depression	Closely-spaced scarp & linear depression	10	sharp and clear crown	5	subrounded crown, talus deposition	2	rounded crown, gully erosion & talus deposition	0	rounded crown, talus deposition	0	
b)	Micro topographic features on a surface of a landslide	Deformation of marginal zone	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Straight profile	
c)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	d)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Potentiality of landslide	Concave profile
d)	Reference No	Reference No	e)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
e)	Name of Map	Name of Map	f)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
f)	Remarks	Remarks	g)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
g)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	h)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
h)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	i)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
i)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	j)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
j)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	k)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
k)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	l)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
l)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	m)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
m)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	n)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
n)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	o)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
o)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	p)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
p)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	q)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
q)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	r)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
r)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	s)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
s)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	t)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
t)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	u)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
u)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	v)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
v)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	w)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
w)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	x)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
x)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	y)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
y)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	z)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
z)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	aa)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile
aa)	Landslide risk based on experts	Landslide risk based on experts	bb)	Condition of toe part	Grade of degradation part	Grade of main scarp ruptures	Cleavages of surface fracturing of mass	Grade of fragmentation of toe part of landslides	Erodibility of toe part of landslide	Involvement at toe part of landslide mass	Location of landslide	Concave profile

まず粗判証を行い、粗判証用インデックスとの見比べから直感による点数を付ける。
次に、各アイテムの評価マニユアルを見比べて点数化する。
それぞれにあまり乖離が無いときは終了するが、乖離があるときはもう一度カルテ評価に
戻り再検討する。

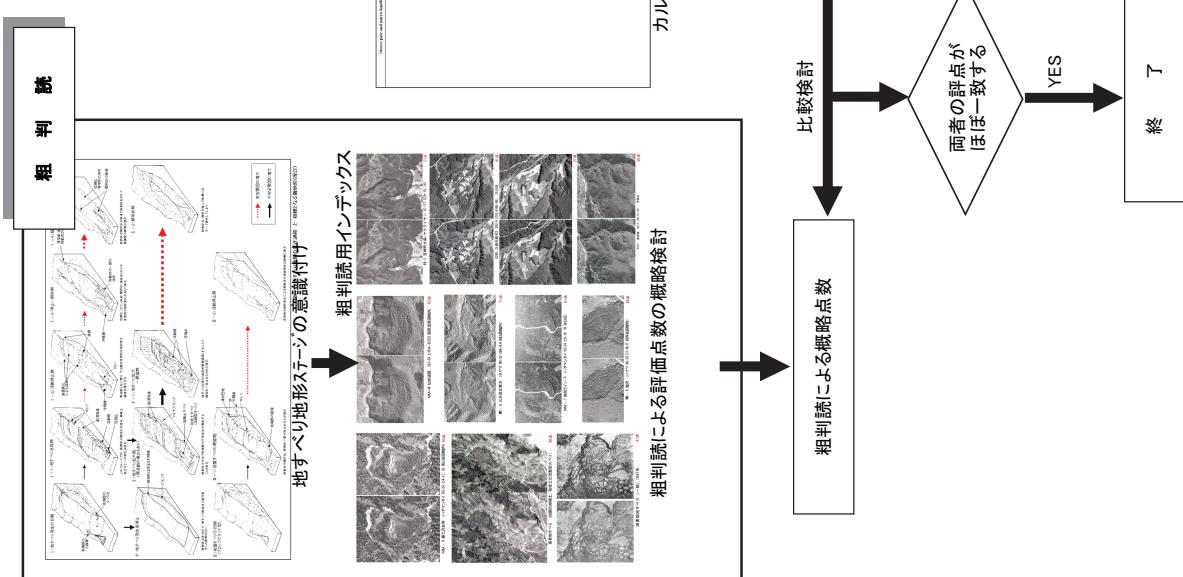


図 4.8 地すべり地形 AHP 危険度評価の具体的手法

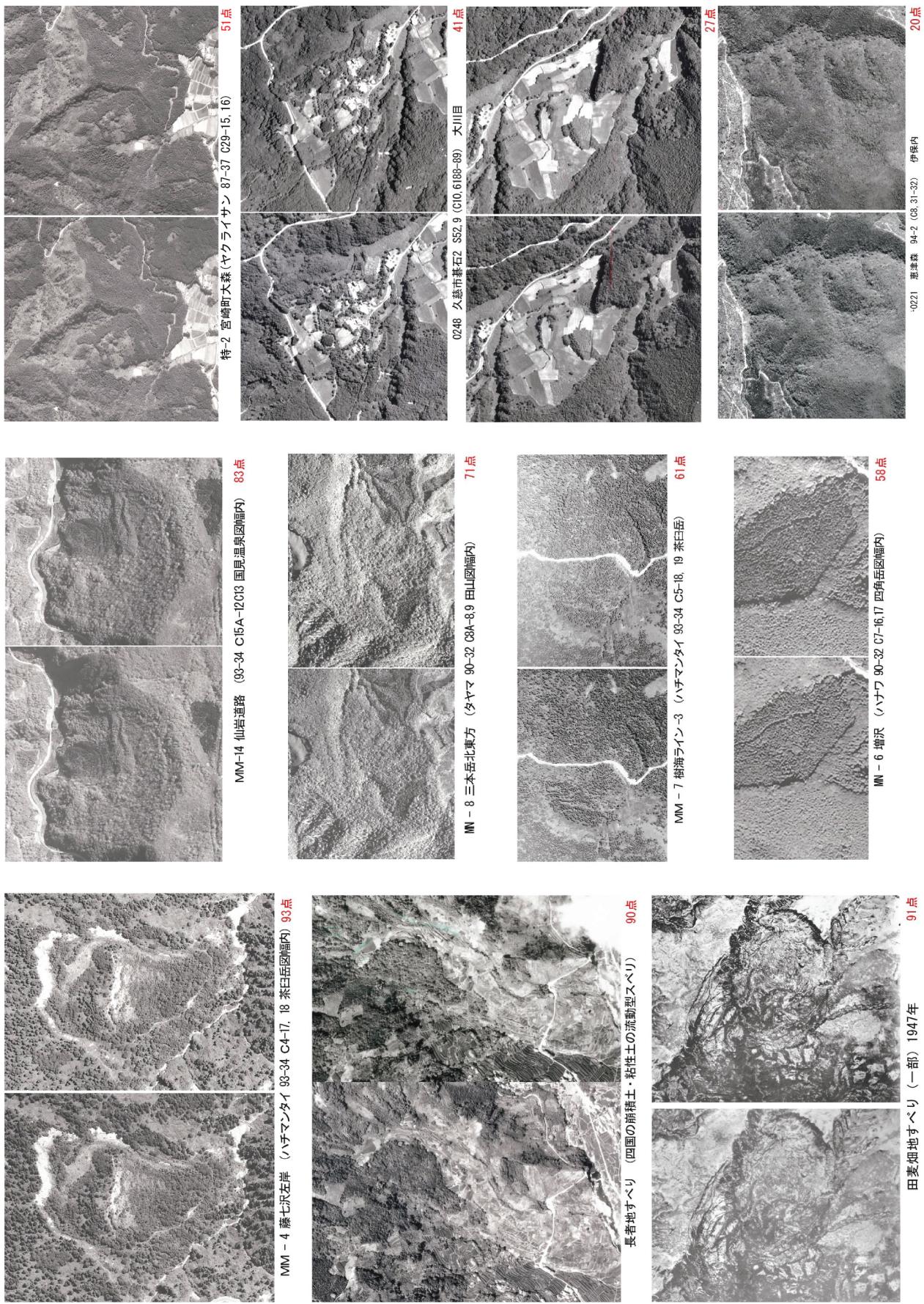


図 4.9 インデックス用地すべり地形ステレオペア写真

6) AHP 手法の妥当性検討

岩手県・宮城県での AHP 手法による危険度評価手法の妥当性を検討するにあたり、専門部員の直感による平均点と AHP 点について解析し、そのなかで 2005 年以前に地すべり変動が認められた箇所も示した。図 4.10 にこの結果を示す。図から AHP 点と直感点の相関は決定係数 0.88 以上と高い。また AHP 点の 40 以下での地すべり発生事例はなかった。AHP 点 60 以上については 22 箇所の地すべり発生の危険性の高い領域が該当していて「地すべり危険性の高い領域」として指標化した。

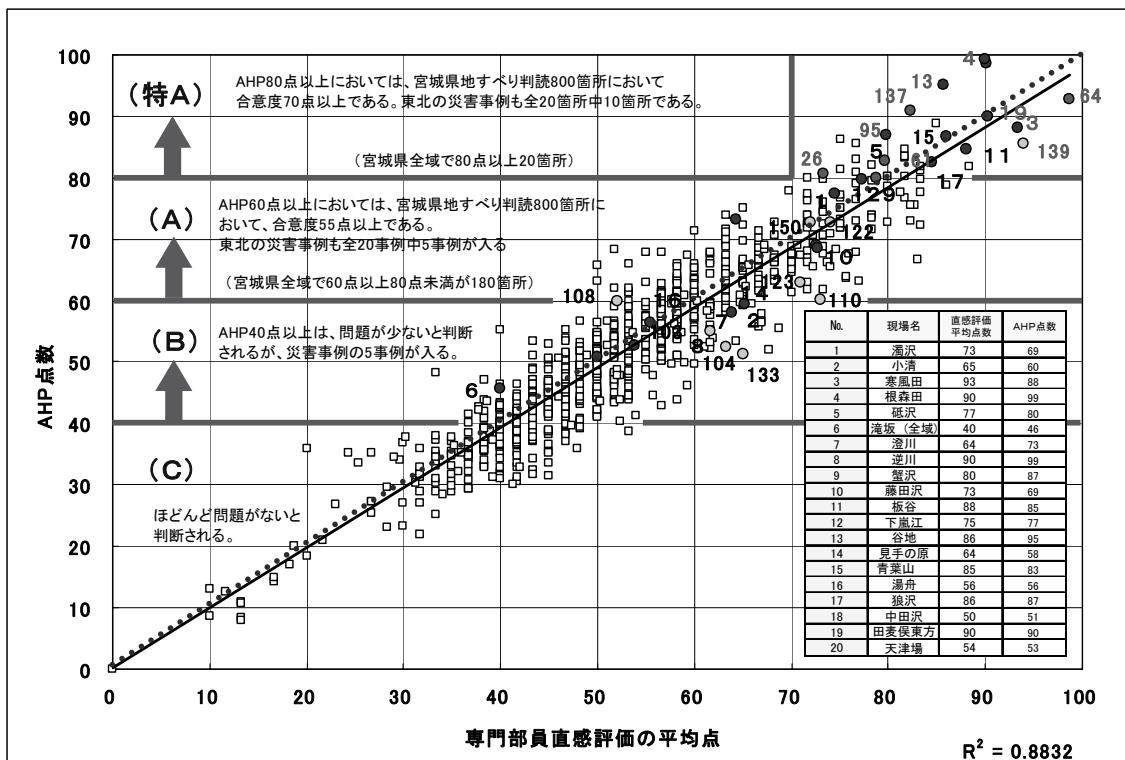


図 4.10 全判読地すべりと地すべり発生箇所の AHP 点数

5. 検証

5.1 2004 年中越地震

2004 年中越地震では、地すべりの再動が多く認められた。地震直後に地すべり学会緊急調査団による現地調査と地形調査が実施され、また地すべり発生地については、岩手宮城県方式カルテによってすべり前後の空中写真を使って AHP 評価が行われた^[4]。その結果、地震性土砂災害は、その多くが地すべり地形の中に発生し、中でも地すべり性の破壊は、砂岩、砂岩泥岩互層で多発した。元来中越地方の地すべりは、砂岩地域と比較して泥岩地域の地すべり地形が多いのが特徴であるが、泥岩卓越地帯ではそれほど地すべり発生は多くなかった。とはいっても泥岩で構成される地すべり地形は、地すべり地形の再活動危険度（AHP 点）が高まるに連れて地震破壊レベルが増す傾向が認められた。他方、砂岩や砂岩・泥岩互層では地すべり地形の AHP 点と破壊レベルに相関は認められず、雨雪型地すべりとは異なった特徴を有していることが明らかになった。なおハスバートル^[5]らの研究では中越地震時の地すべりの発生地形要因を GIS 上で検討した結果、縦断的凸度、下端勾配、浸食最大深の 3 項目で関連性が大きいことが示された。

5.2 2007 年大雨災害

宮城県白石市では平成 19 年 7 月 15 日から 16 日にかけて、台風 4 号（連続雨量 200mm）の影響と融雪により、幅約 200m、長さ約 300m の大規模な地すべりが発生した。現場は砂岩泥岩互層の基盤岩と軽石凝灰岩の流れ盤構造を有するところで、夷倉川沿いで侵食地形が認められたところである。宮城県では、2005 年に約 1500 箇所の地すべり領域の危険度判定を行っており当該地区も該当していたため、これを再チェックした。事前のカルテは夷倉川右岸の被災エリアの 3 倍くらい大きい細長い領域区分で作られていて、判読写真が若干不鮮明であったことから判読者毎の評価結果にやや幅があったが AHP 点は平均で 54 とハイスコアであった。

5.3 2008 年岩手宮城内陸地震

2005 年の宮城県で実施された危険度判定をもとに 2008 年岩手宮城内陸地震で発生した地すべりを検証した。図 5.1 は宮城県北西部地すべり領域における AHP 点の分布と実際発生した地すべりを重ねたものである。最も面積の大きい太線領域が荒砥沢地すべりで、事前の AHP 点は 64 であった。また、ほかの地すべり発生箇所で、判読判定済みの領域での AHP 点はすべて 60 以上であった。しかし地すべり地形と認識されていない領域で地すべりが発生したことや、地すべり地形と認識されてはいたものの判定領域外なために AHP の照査が出来ない箇所もあり問題を残した。

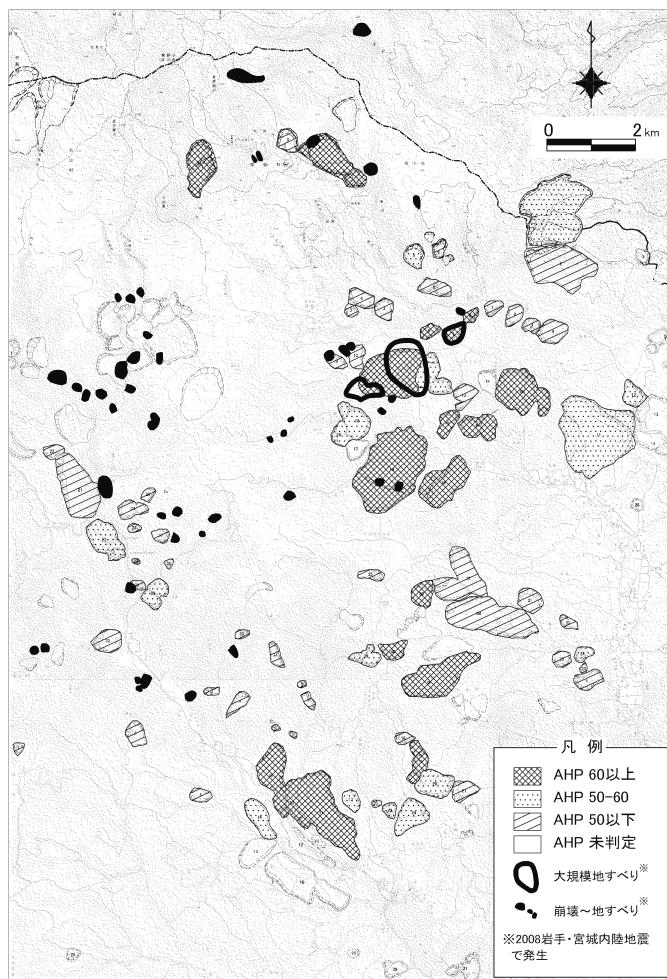


図 5.1 事前 AHP 点評価とその後の 2008 岩手・宮城内陸地震での地すべり発生箇所

5.4 2008 年岩手宮城内陸地震の追加判読検証

5.3 の地すべり地形非認知の原因の一つとして NIED による地すべり地形が元来幅 150m 規模以上であることがあげられる。また領域設定も道路の 1km バッファをはずれると領域認定されないことも原因である。このため再度国土地理院（1976 年、1/15, 000）の空中写真を用い宮城県・岩手県側それぞれで地すべり地形判読とカルテ 100 事例をランダムに抽出し検討した。その際専門部員 6 名を招集し 1 カルテにつき 3 名で判読し AHP 点を検討した。100 事例中 29 事例が当地震で再滑動しているが専門部員にはどの地すべりが変動したのかについては事前には伝えられてはいない。図 5.2 は再滑動した地すべりを含め、判読者の直感点数と AHP 点の平均を図化したものである。100 事例のうち、再滑動した地すべりの AHP 点数は 30 点台から 80 点台までばらついているものの、AHP 点数 60 点以上の地すべりは 28 事例あり、そのうち 12 事例 (43%) の地すべりが再滑動している。また、AHP 点数 80 点以上の地すべりは 3 事例中 2 事例が再滑動した。しかし 60 点未満であっても、地震を誘因とする地すべりの再滑動が発生しうることを示した。そこで、地形量の指標として、次に述べる「先端勾配比」について新たに検討した。

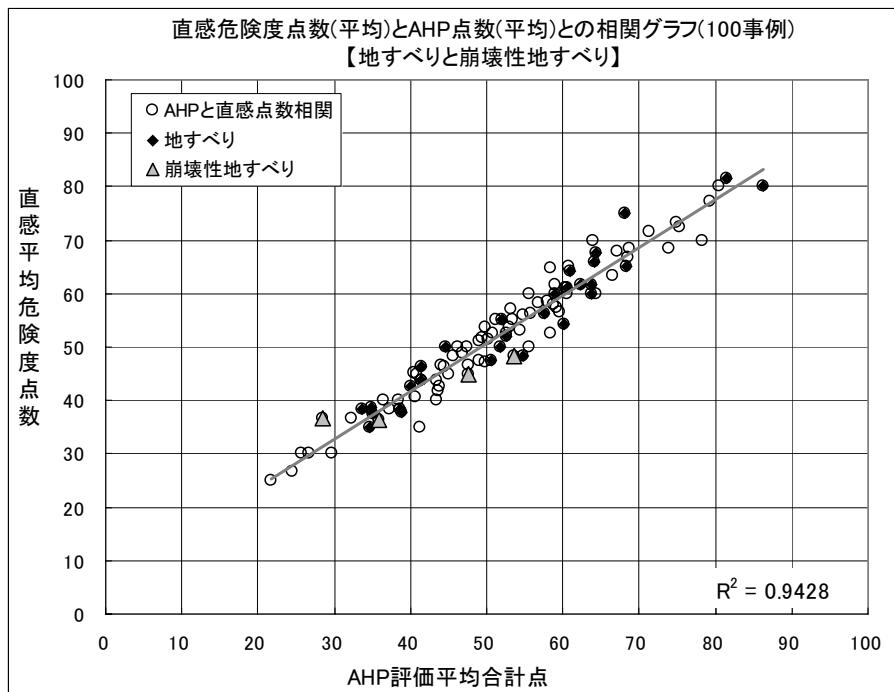


図 5.2 抽出地すべりと再滑動した地すべりの AHP 点数

5.5 先端勾配比

これまでの研究^{[1][2][5]}では地すべり末端の影響、特にその凸度が地震に大きいウェイトを持ち得ることが示された。それは地すべり移動体の末端が侵食されると移動体が不安定になりやすく、移動体表面形状の凸型の増大は滑動ポテンシャルの蓄積になることに起因していると思われる。そこで、図 5.3 に示すように斜面を 3 分割し、斜面全体の勾配に対する先端 1/3 の勾配の比率を「先端勾配比」として定義して検討した。結果は図 5.4 に示すとおりで、対象 100 事例の地すべりの先端勾配比は、最大でも 2.0 程度であった。その分布は非対称形を示し、平均は 1.13、標準偏差は 0.403 である。再滑動した地すべりの先端勾配比の平均は 1.17、標準偏差は 0.359 であり、対象全体からみると値の大きな側に少しばかりシフトする。したがって、先端勾配比は、地震時に不安定化する地すべりの指標となりうると考えられる。

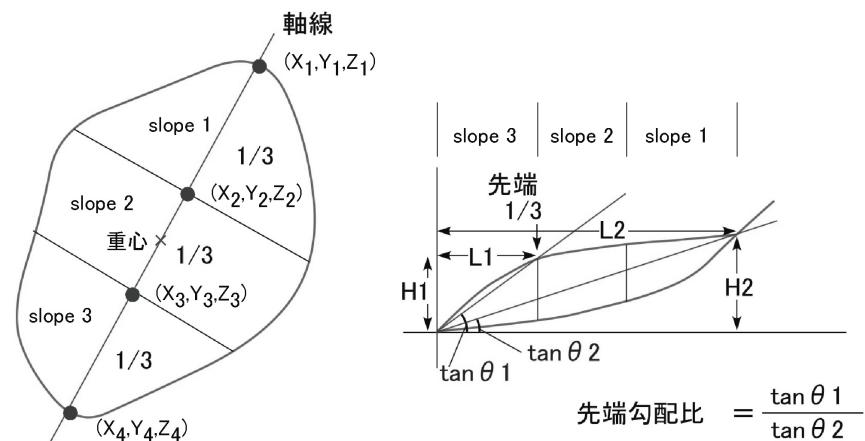


図 5.3 地すべりの先端勾配比の概念図

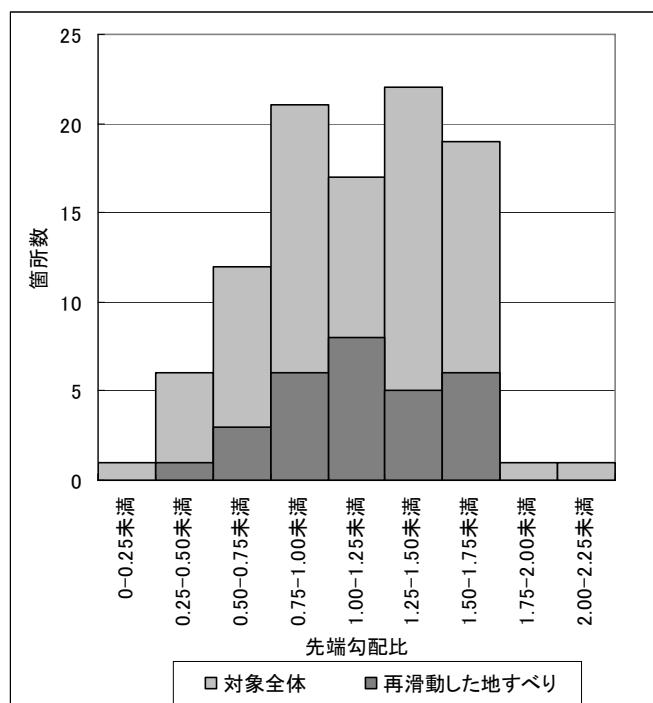


図 5.4 地すべりの先端勾配比

5.6 まとめと考察

- AHP を用い空中写真判読による危険度評価手法の開発を行った。この結果、カルテ指標の理解と、判読手法のトレーニングが必要ではあるが、カルテ指標をチェックするという簡単な仕組みの中で AHP 点という地すべりの危険性の定量化が可能となった。
- 本手法では複数の判読者を必要とする。しかし、複数の判読者で実施することは判読の瑕疵や誤解を少なくすることに繋がるものであり、むしろ複数で行ることが重要である。
- 当初、本研究は豪雨・融雪を誘因とするものを対象とし、あくまで写真から認定できることを条件として研究を行った。もとより地震要因についても判定の可能性が期待され、ある程度は判定できることを示した。しかし、その後の地震地すべりの研究を踏まえると豪雨・融雪に比べて地震対応については末端ポテンシャルの増大（先端勾配比）のウェイトを大きくする余地もあるう。
- なお中越地震では地すべり地形のうち泥岩系に比べ砂岩系など、より脆性的なものが地すべり再動している。岩手宮城内陸地震でも溶結凝灰岩などの硬質なものが被覆しているところで発生している事例が多いようである。本来空中写真だけで地すべりの内部物性を読みとることは困難なことが多く、空中写真判読だけから地質まで考慮したカルテは作り難いと思われる。しかしながら、踏査などで判明する地質補正などを考慮する手法の構築も視野に入していくことが重要であろう。

6. これからの課題と提言

6.1 異なる撮影年次の空中写真をカルテ評価に使用する

東北日本における研究では、カルテ評価の際に1975～1976年に撮影された国土地理院発行の1/8,000ないし1/15,000カラー空中写真を主に使用した。このスペックの空中写真は全国をカバーすることから地形調査に広く利用されているものである。しかし、撮影から30年経過しているため、道路建設などの新たな人工改変により地すべり領域の現在の地形状況が空中写真と整合しない場合がある。また、この30年間で地すべりの活動に変化が生じている可能性が考えられよう。

そこで、1975～1976年以降に撮影された複数年次の空中写真を利用し、地すべりの活動を経年的に評価することも必要である。これには、国土地理院以外にも林野庁や各自治体が撮影した空中写真を利用することができる。

6.2 カルテ判読技術の問題

宮城県の判読では全域地すべり判読を行って1,000箇所以上の地すべり領域を抽出し、カルテを作成した。このうち直観の危険度点数40点未満（宮城作業部会長兼委員の判定）をふるい落とし、残りの約800箇所について専門部員6人でAHP手法による危険度判定を行った。その際、乱数を用いてカルテ1枚について3人の判読者をランダムに抽出し、判読カルテの傾向が偏らないよう工夫した。ただし、同一カルテでの評価では3人の評価が乖離する地すべりカルテも多少ながら認められた。このため、意見を出し合って問題点の検討を実施し、再評価を行った事例もある。以上の経験も踏まえると、今後ともカルテ1枚あたり少なくとも3名の技術者が評価判定のためには是非必要であろう。

6.3 地すべり内部地下構造の把握

これまでの5ヶ年での「地すべり地形の危険度評価法」の成果から、地すべりの危険度評価とともに、地すべりの運動様式に関わるところで重要なポイントが明らかになってきた。

例えば、流動痕、圧縮丘が「粘性土すべり」に、また陥没地形などが「岩盤すべり」に密接な地形であることなど、地すべり微地形とその運動様式とは極めて明瞭な相関関係にあることが明らかになったことである。すなわち、地表面の微地形は、基本的にすべり面の三次元構造を表現している、ということである。

一方で、地すべり対策や、避難、地すべり発生後の被害予測などには、周辺地形はもとよりすべり面の三次元形状での理解が重要である。しかしながら、これまでの研究ではこの点に関しては必ずしも明らかになったわけではなく、特に三次元構造の中でも最も重要なすべり面末端の判断では精度を欠いているのが現実である。

すなわち、将来的に三次元を主体とした解析が増えていくと思われるが、これに資するため、地すべり内部地下構造の三次元的把握を念頭とした精度のよい「すべり内部構造」の調査法、解析法の研究をさらに推し進めていくことが重要であろう。具体的にはこれまでの地形判読からの危険度評価点(AHP得点)・地すべり運動様式を基本にし、さらに地質表面現象

や地下内部構造を示すボーリングコア、歪計データ、孔内傾斜計データなどの資料収集を行い、統計分析や数値解析などの手法を用いて研究開発していくことなどがあげられよう。

6.4 地すべり地形判読技術者にもとめられるもの

最後に本研究を遂行した5カ年で各専門部員の努力によりマニュアルの精度向上と判読技術の向上があったが、それはこれまでの地形学や地質学の素養があつてこそその技術向上であったと理解できる。すなわち判読技術者になるには、地形学や地質学の基本的な素養を身につけていくことが重要であると強く思う次第である。

以 上

【参考文献】

- [1] 濱崎英作、戸来竹佐、宮城豊彦(2003) : AHP を用いた空中写真判読結果からの地すべり危険度評価手法、第42回日本地すべり学会研究発表会講演集
- [2] 八木・檜垣他(2008) : 空中写真判読と AHP 法を用いた地すべり地形再活動危険度評価手法の開発と阿賀野川中流域への適用、日本地すべり学会誌 Vol. 45、No. 5 pp. 358-366
- [3] Saaty、Thomas L. (1980) : The Analytic Hierarchy Process、NewYork、McGraw-Hill Book Company、265p
- [4] 宮城他・地すべり学会(2004) :「中山間地における地震斜面災害—2004 年新潟県中越地震報告 (I) —地形・地質編
- [5] ハスバートル、丸山他(2009) : 新潟県中越地震を事例とした地すべり発生条件の考察、土木技術資料 51-3、pp20-23
- [6] 刀根薰、眞鍋龍太郎編著(2000 : 第3刷発行) : 「AHP 事例集」、(株) 日科技連出版社
- [7] 木下栄蔵編著(2000 : 第1刷発行) : 「AHP の理論と実際」、(株) 日科技連出版社