

## 資料1 地形量に関する素因データの作成

ここでは、地形量に関する素因データの算出方法について詳述する。

### A1.1 標高

各メッシュのジオイド面(疑似地球楕円体)からの鉛直方向の距離を示す量である。六甲砂防工事事務所の砂防 GIS で有するデジタルマッピングデータの 2m 間隔の等高線から TIN (Triangulated Irregular Network) モデルを作成し、当該メッシュの中心点座標の標高値を TIN モデルから取得するという方法で作成した 10m メッシュごとの標高値である。

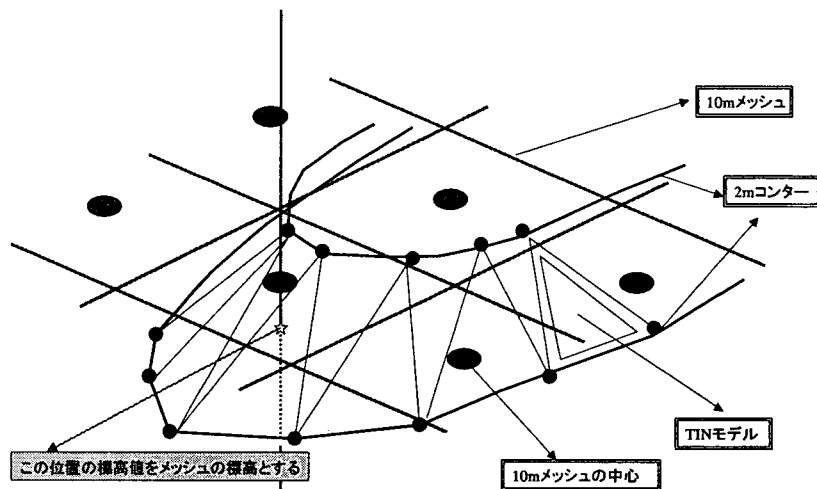


図 A1.1 標高値メッシュデータ作成概念図

### A1.2 斜面勾配

各メッシュの水平面からの傾きを示す地形量である。メッシュの周囲4点からの距離が最小となるような平面(一次傾向面)を決定し、その平面の最急勾配を各メッシュの斜面勾配とした。すなわち、上記平面の方程式を A1.1 式、水平面の方程式を A1.2 式とすると、それら2つの平面がなす角が斜面勾配となり、A1.3 式で表される。

$$a_1x + b_1y + c_1z + d = 0 \quad (\text{A1.1})$$

$$a_2x + b_2y + c_2z + d = 0 \quad (\text{A1.2})$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2}{\sqrt{(a_1^2 + b_1^2 + c_1^2)(a_2^2 + b_2^2 + c_2^2)}} \quad (\text{A1.3})$$

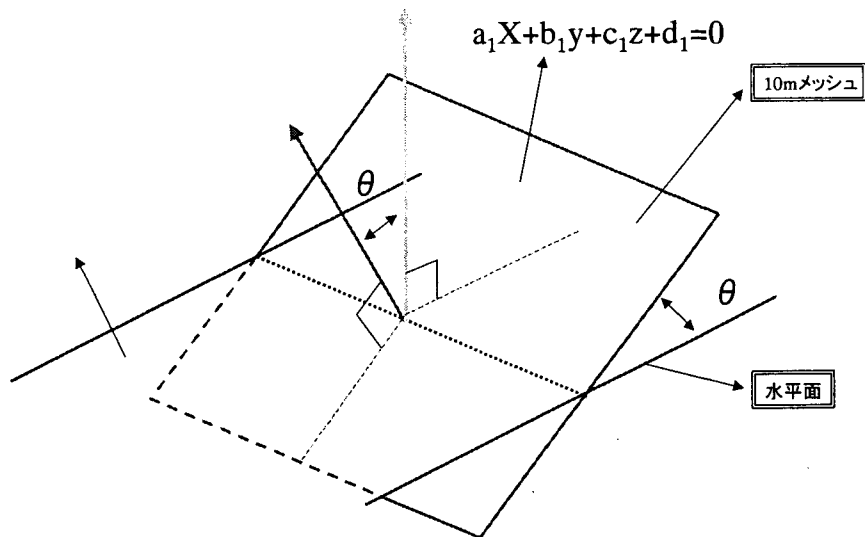


図 A1.2 斜面勾配算出概念図

### A1.3 斜面方位

メッシュの周囲4点からの距離が最小となるような平面(一次傾向面)を決定し、その法線が向いている方向を東から反時計回りの角度で表した量である。

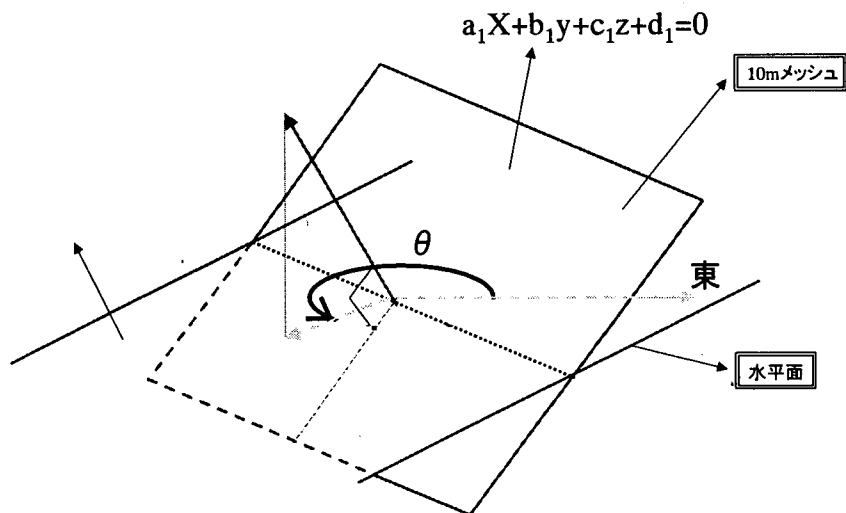


図 A1.3 方位算出概念図

### A1.4 偏差

偏差(TSD)は、一次傾向面上の標高値と地形の標高値との残差の2乗和を求め、それを(格子点数-1)で割った平方根で表される。具体的には、式(A1.4)で求められる。

$$TSD = \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + D_4^2}{(4-1)}} \quad (A1.4)$$

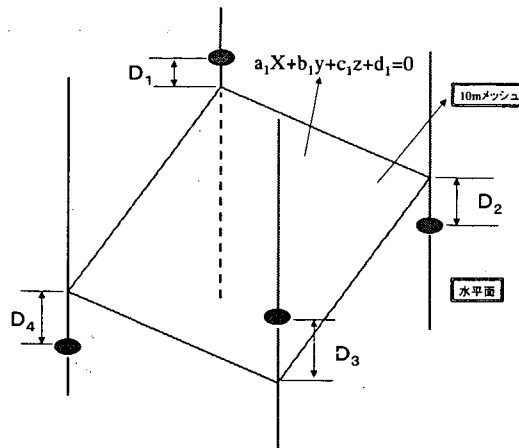


図 A1.4 偏差の算出イメージ

### A1.5 ラプラシアン

ラプラシアン(LAP)は空間2次微分に基づくエッジ検出の画像処理手法として知られており、DEMに適用した場合には凹凸地形の抽出手法として知られている。周辺の4点の標高値を用いて、式 A1.5 の計算により算出される。周辺に対して凸であればマイナス、凹であればプラスの値をとる。

$$LAP = \frac{(D_1 - D_5) - (D_5 - D_2)}{d^2} + \frac{(D_3 - D_5) - (D_5 - D_4)}{d^2} \quad (A1.5)$$

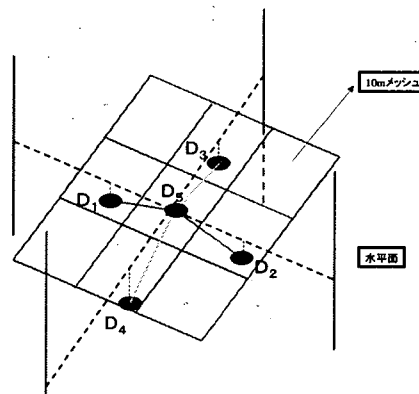


図 A1.5 ラプラシアンの算出イメージ

### A1.6 地上開度

各メッシュ地点が周囲に比べて地上に突き出た度合いを数量化したものである。各要素に対し、その要素から8方向に探索し、考慮距離内で最大傾斜角を求める。8方向それぞれの最大傾斜角の平均を、天頂からの角度で表す。なお地上開度の値は考慮距離(以下では、「影響範囲」とする)に依存するため、六甲山系の尾根谷のスケールを考慮し最小メッシュ単位である20m(8方位を考慮するため10mでは計算不可)と50m範囲で計算することとした。

$$\Phi_L = \sum \phi_1 / 8 \quad (A1.6)$$

$\Phi_L$ : 地上開度

$\phi_1$ : 各方位の天頂からの最大角度(地上角)

### A1.7 地下開度

各要素に対し、その要素から 8 方向に探索し、考慮距離内で最小傾斜角を求める。8 方向それぞれの最小傾斜角の平均を、天頂からの角度で表す。すなわち、

$$\Psi_L = \Sigma \phi_2 / 8 \quad (\text{A1.7})$$

$\Psi_L$ : 要素の地上開度

$\phi_2$ : 各方位の鉛直下向きからの最小角度(地下角)

なお、地下開度も地上開度と同様の理由で考慮範囲 20m に加え 50m でも計算を実施した。

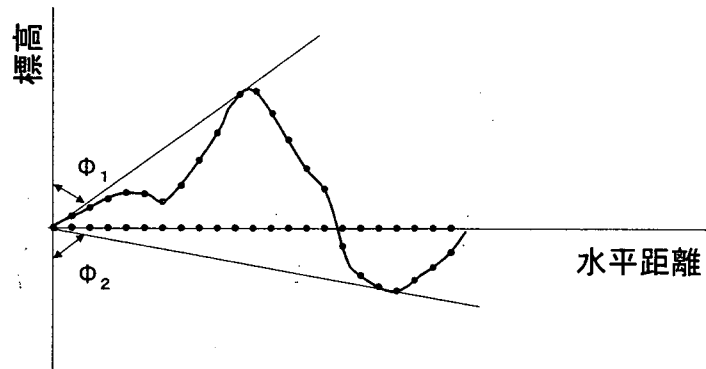


図 A1.6 地上角と地下角の概念図

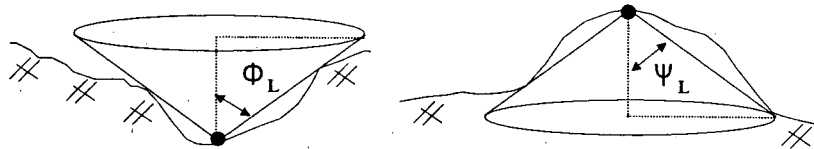


図 A1.7 地上開度・地下開度イメージ図

### A1.8 平均曲率

地形の凹凸の指標として用いられるもので、曲面上のある点を通る全ての測地線(曲面上で2点間を結ぶ最短距離の曲線)の曲率の最大値と最小値の平均として定義される量である。算出方法は式 A1.8 に示すとおりである。平均曲率( $H$ )については、メッシュサイズによる値の違いが指摘されていることから、20mに加えて、六甲山系の尾根や谷のスケールを考慮した 50m 範囲でも計算を行うこととした。

$$H = \frac{h_{xx}(1+h_y^2) + h_{yy}(1+h_x^2) - 2h_x h_y h_{xy}}{2(1+h_x^2 + h_y^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{A1.8})$$

$$h_x = \frac{\partial h}{\partial x} \quad h_y = \frac{\partial h}{\partial y} \quad h_{xx} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad h_{yy} = \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad h_{xy} = \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y}$$

ここで、 $h$  は標高値とする。

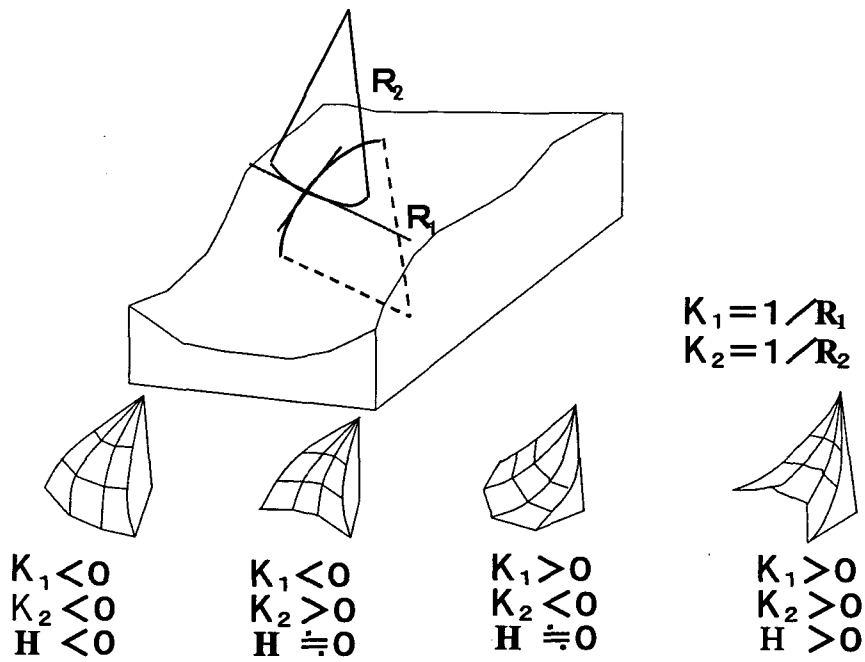


図 A1.8 平均曲率の概念図 ( $R_1, R_2$  は曲率半径、 $K_1, K_2$  は曲率)

### A1.9 尾根谷度

凹凸を示す地形量の中で、ラプラシアンおよび平均曲率は符号と凹凸が対応しており、正が谷型、負が尾根型、0が平坦斜面を示すが、地上開度または地下開度は平坦面と符号と凹凸が対応せず区分しにくい問題がある。そこでそれらを組み合わせた尾根谷度という地形量を導入する。尾根谷度では符号と凹凸が対応しており、正が谷型、負が尾根型、0が平坦斜面を示すこととなる。算出方法は図 A1.9 に示すとおりである。

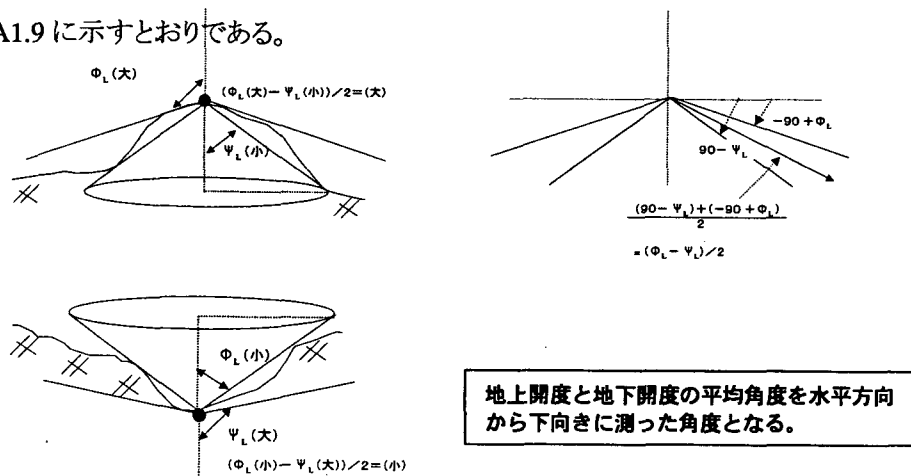


図 A1.9 尾根谷度の算出方法と概念図

## 資料 2 最大速度、最大加速度の算出方法

ここでは、本研究で用いた地震動強さを表す指標の算出方法を詳述する。最大速度、最大加速度とも、距離減衰式を用いて算出した。

距離減衰式は、強震記録を回帰分析することで求められ、距離、マグニチュードなど簡単なパラメータにより地震動強さを予測する手法である。距離については、震央からの距離、エネルギー等価距離、震源断層からの最短距離などが提案されているが、ここでは断層近傍の比較的強い地震動についての再現性が高いと考えられる震源断層からの最短距離をパラメータとした福島(2002)(距離減衰式の再構築と地盤増幅のモデル化、月刊地球号外 37、80-89)の手法により検討を行った。

また、破壊伝播効果を最大速度、最大加速度のそれぞれに加味した方法(司・翠川(2001)統計的グリーン関数法に基づく地震動最大振幅に対する破壊伝播効果による方位依存性の評価、日本建築学会構造系論文集 546、47-53)についても比較検討した。なお、いずれの手法においても地盤の増幅効果を考慮し補正を行っている(Midorikawa(1993) semi-empirical estimation of peak ground acceleration from large earthquakes, *Tectophysics*, 213, 287-295)。

### A2.1 最大速度の算定

最大速度の算定は、Fukushima et al. (2000) (Characteristics of Observer Peak Amplitude for Strong Ground Motion from the 1995 Hyogoken Nanbu (Kobe) Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90, 545-565)に従い、式 A2.1 を用いた。

$$\log V' = -0.22M_w^2 + 3.94M_w - \log(R + 0.01 \times 10^{0.43M_w}) - 0.002R - 11.9 - 0.71 \times \log V_s \quad (\text{A2.1})$$

ここで、 $V'$ :最大速度(m/s)、 $M_w$ :モーメントマグニチュード、 $R$ :断層からの距離(km)、 $V_s$ :S波速度(400m/s)とする。

### A2.2 最大加速度の算定

最大加速度( $A'$ )の算定は、福島・田中(1992)(新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂、地震学会講演予稿集、116 ページ)及び福島(2002)に従い、式 A2.2 を用いて算出した。

$$\log_{10} A_{org} = 0.42M_w - \log_{10}(R + 0.025 \cdot 10^{0.42M_w}) - 0.0033R + 1.22 \quad (\text{A2.2})$$

ここで、 $A_{org}$ :最大加速度( $\text{cm/s}^2$ )、 $M_w$ :モーメントマグニチュード、 $R$ :断層からの距離(km)とする。

### A2.3 破壊伝播効果の算定

破壊伝播効果の算定は司・翠川(2001)に従った。式 A2.3 に、破壊伝播効果を考慮しない加速度 ( $A_{org}$ ) と破壊伝播効果を考慮した加速度 ( $A$ ) の関係を示した。

$$A = A_{org} 10^D \quad (A2.3)$$

ここで、 $D=C \times S$ 、 $C$ 、 $S$  はそれぞれ式 A2.4、A2.5 で求めた。

$$\left. \begin{aligned} C &= 0.08 \cos(6.578/3 - 2.25) + 0.03 && \text{if } x < -1.43L \\ &= 0.08 \cos(-4.6x/3L - 2.25) + 0.03 && \text{if } -1.43L \leq x \leq x_c \\ &= 0.08 \cos(4.6x/3L - 2.25) - 0.05 && \text{if } x_c < x \leq 1.14L \end{aligned} \right\} (A2.4)$$

ここで、 $L$ : 断層の長さ、 $x_c$ : 震央の  $x$  座標、 $x$ : 求める点の震央の  $x$  座標、なお、 $x$  軸の方向は断層と平行の方向とする(図 A2.1)。また、 $S$  は

$$\left. \begin{aligned} S &= 1 && \text{if } \pi/2 < \theta < 3\pi/2 \\ &= |\cos\theta| && \text{if } -\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2 \end{aligned} \right\} (A2.5)$$

とする。ここで、 $\theta$  は図 A2.1 に示す角度である。

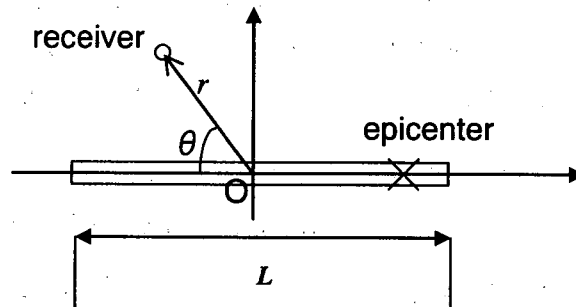


図 A2.1  $\theta$  の定義

### 資料3 凹凸の表現方法に関する検討:尾根と谷の区分

3章で示した凹凸を示す各地形量と崩壊発生率との関係を見ると、尾根型斜面での崩壊が最も多く、ついで谷型斜面、最も崩壊が少ないのが平坦斜面であることがわかった。このような関係がある場合、崩壊発生率と地形量の値を線形に関係づけることは困難である可能性が考えられる。そこで、ここでは、凹凸の関係を2つの線形関係として扱う方法を検討した。

#### A3.1 方法

はじめに、補正した凹凸を表す地形量と崩壊発生確率の関係を調べた。その上で、斜面勾配と補正した地形量を説明変数とし、崩壊の発生・非発生を目的変数とした線形判別分析を行なった。地形量の補正は、3章の検討で、比較的、有意に崩壊・非崩壊を分離できた平均曲率(影響範囲20m)及び尾根谷度(影響範囲50m)を用いて、以下2つの方法で行った。

- ① 地形量の絶対値をとる。
- ② 谷側(正)の地形量が、同様の崩壊発生率をもつ尾根側(負)の地形量となるように補正係数をかける。

#### A3.2 結果

単相関の検討の結果を図A3.1~A3.4に、判別分析の結果を表A3.1に示した。その結果、絶対値を考慮した場合のほうが、補正前および補正係数考慮した場合と比較して正誤率で優位となることがわかった。ただし、絶対値を考慮した場合であっても、正誤率の飛躍的な結果は得られなかった。

そこで、絶対値をとる地形的な意味づけが明確でなくでないことを考え合わせ、今回の検討(3章)では絶対値及び補正係数による補正は行わないこととしている。

表 4.1 補正前後の判別分析結果の比較

● 平均曲率(影響範囲20m)

	標準化された正準判別関数係数		正誤率
	勾配	平均曲率	
補正前	0.970	-0.244	70.7%
絶対値考慮	1.019	0.429	72.8%
補正係数考慮	0.979	-0.485	69.6%

● 尾根谷度(影響範囲50m)

	標準化された正準判別関数係数		正誤率
	勾配	尾根谷度	
補正前	0.951	0.336	69.9%
絶対値考慮	0.987	0.423	73.2%
補正係数考慮	0.942	0.543	68.8%



項目名：平均曲率絶対値(影響範囲20m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カイ2乗検定
全数	1,749,480	0.01	0.011	0	1	0.694
住吉川流域	276	0.01	0.008	0	0.05	
六甲全域	2,351	0.01	0.008	0	0.05	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)		
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤-①-③	⑤/Σ⑤	⑥-②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	0 ~ 0.005	22,775	862,170	83	30.1	809	34.4	22,692	38.0	861,361	49.3	0.364	0.094
2	0.005 ~ 0.01	15,836	427,791	74	26.8	600	25.5	15,762	26.4	427,191	24.5	0.467	0.140
3	0.01 ~ 0.015	9,327	231,390	50	18.1	394	16.8	9,277	15.5	230,996	13.2	0.536	0.170
4	0.015 ~ 0.02	5,503	121,238	37	13.4	249	10.6	5,466	9.2	120,989	6.9	0.672	0.205
5	0.02 ~ 0.025	3,088	60,180	20	7.2	157	6.7	3,068	5.1	60,023	3.4	0.648	0.261
6	0.025 ~ 0.03	1,783	27,843	8	2.9	87	3.7	1,775	3.0	27,756	1.6	0.449	0.312
7	0.03 ~ 0.035	914	11,640	1	0.4	30	1.3	913	1.5	11,610	0.7	0.109	0.258
8	0.035 ~ 0.04	450	4,554	1	0.4	16	0.7	449	0.8	4,538	0.3	0.222	0.351
9	0.04 ~ 0.045	194	1,607	1	0.4	6	0.3	193	0.3	1,601	0.1	0.515	0.373
10	0.045 ~ 0.05	72	560			1	0.0	72	0.1	559	0.0		0.179
11	0.05 ~ 1	53	507	1	0.4	2	0.1	52	0.1	505	0.0	1.887	0.394
12													
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	5.869	2.737

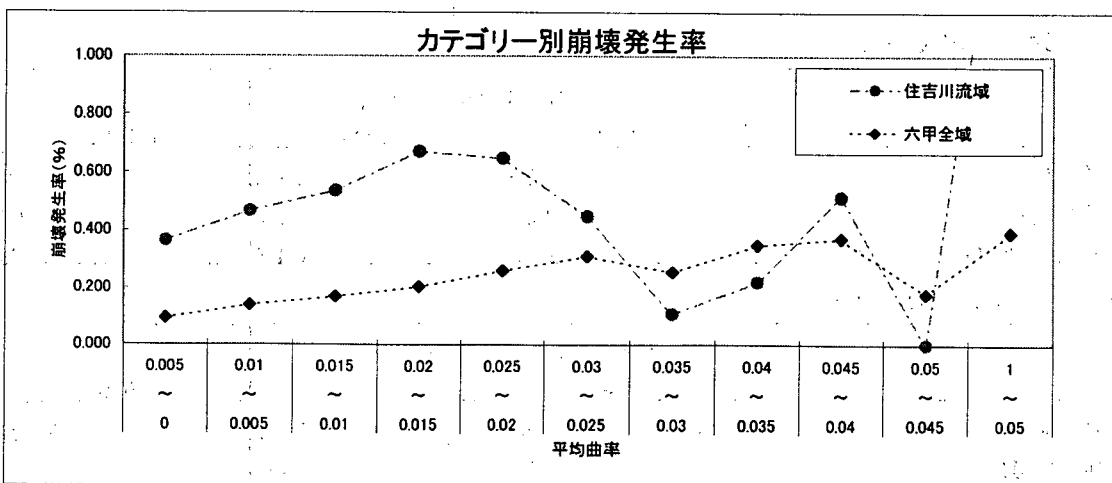
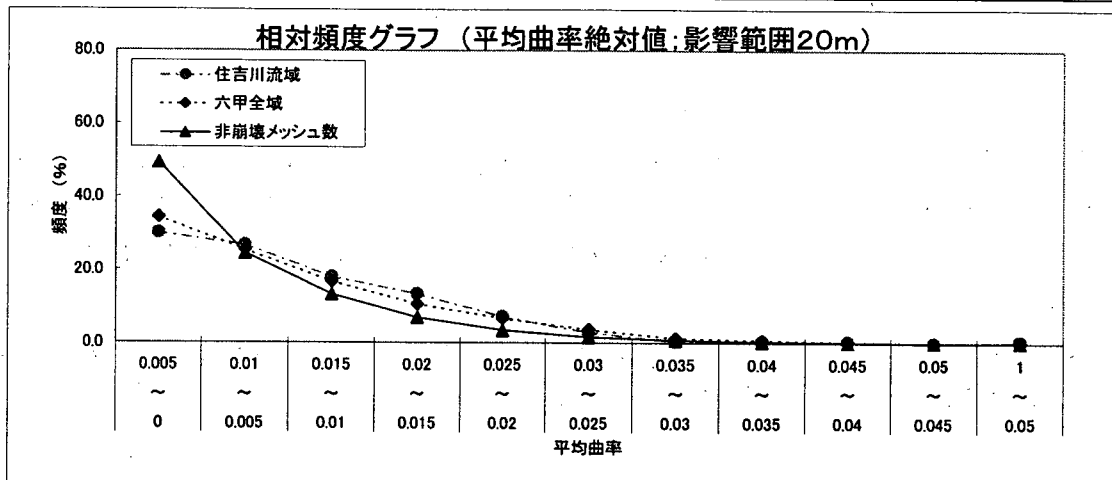


図 A3.1 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(平均曲率[影響範囲 20m:絶対値])

項目名：補正平均曲率(影響範囲20m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	か2乗検定
全数	1,749,480	0	0.01	-1	0	
住吉川流域	276	-0.01	0.007	-0.03	0	0.374
六甲全域	2,351	-0.01	0.008	-0.05	0	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川 (%)	全域 (%)	住吉川流域 (メッシュ) (%)		六甲全域 (メッシュ) (%)		住吉川流域 (メッシュ) (%)		六甲全域 (メッシュ) (%)		住吉川 (%)	全域 (%)	
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤=①-③	⑤/Σ⑤	⑥=②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	-3 ~ -0.05	6	259					6	0.0	259	0.0		
2	-0.05 ~ -0.045	11	161			1	0.0	11	0.0	160	0.0		0.621
3	-0.045 ~ -0.04	25	432			2	0.1	25	0.0	430	0.0		0.463
4	-0.04 ~ -0.035	80	1,408			13	0.6	80	0.1	1,395	0.1		0.923
5	-0.035 ~ -0.03	200	4,081	1	0.4	19	0.8	199	0.3	4,062	0.2	0.500	0.466
6	-0.03 ~ -0.025	664	11,493	5	1.8	53	2.3	659	1.1	11,440	0.7	0.753	0.461
7	-0.025 ~ -0.02	1,351	27,949	12	4.3	95	4.0	1,339	2.2	27,854	1.6	0.888	0.340
8	-0.02 ~ -0.015	2,790	59,604	21	7.6	155	6.6	2,769	4.6	59,449	3.4	0.753	0.260
9	-0.015 ~ -0.01	4,906	112,763	31	11.2	210	8.9	4,875	8.2	112,553	6.4	0.632	0.186
10	-0.01 ~ -0.005	9,280	206,090	43	15.6	302	12.8	9,237	15.5	205,788	11.8	0.463	0.147
11	-0.005 ~ 0	40,682	1,325,240	163	59.1	1,501	63.8	40,519	67.8	1,323,739	75.8	0.401	0.113
12													
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	4,390	3,980

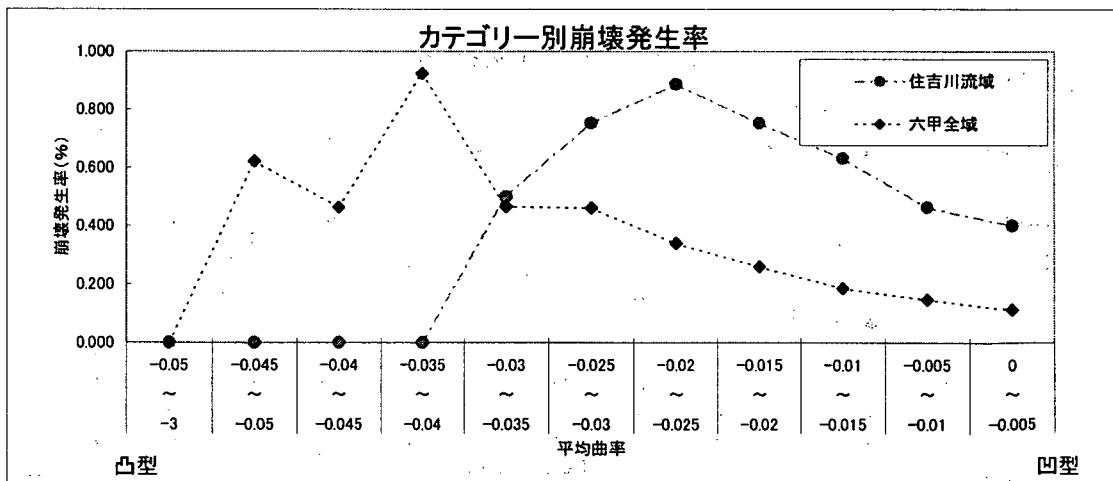
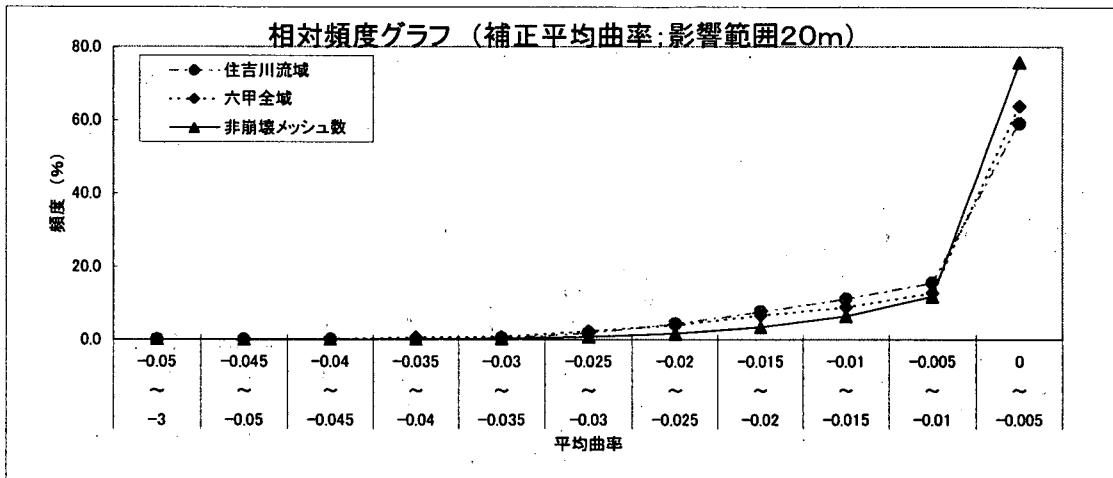


図 A3.2 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(平均曲率[影響範囲 20m:補正係数考慮])

項目名：尾谷度絶対値(影響範囲50m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カイ2乗検定
全数	1,749,480	4.99	4.535	0	65.47	0.453
住吉川流域	276	7.75	5.441	0.01	26.68	
六甲全域	2,351	7.27	5.441	0	35.88	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)		
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤=①-③	⑤/Σ⑤	⑥=②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	0 ~ 2	11,114	566,441	47	17.0	406	17.3	11,067	18.5	566,035	32.4	0.423	0.072
2	2 ~ 4	10,743	354,593	34	12.3	395	16.8	10,709	17.9	354,198	20.3	0.316	0.111
3	4 ~ 6	9,423	258,090	39	14.1	342	14.5	9,384	15.7	257,748	14.8	0.414	0.133
4	6 ~ 8	7,745	189,801	36	13.0	310	13.2	7,709	12.9	189,491	10.8	0.465	0.163
5	8 ~ 10	6,182	135,034	30	10.9	239	10.2	6,152	10.3	134,795	7.7	0.485	0.177
6	10 ~ 12	4,724	93,273	33	12.0	210	8.9	4,691	7.9	93,063	5.3	0.699	0.225
7	12 ~ 14	3,453	62,287	20	7.2	160	6.8	3,433	5.7	62,127	3.6	0.579	0.257
8	14 ~ 16	2,429	39,356	13	4.7	100	4.3	2,416	4.0	39,256	2.2	0.535	0.254
9	16 ~ 18	1,674	23,378	10	3.6	91	3.9	1,664	2.8	23,287	1.3	0.597	0.389
10	18 ~ 20	1,036	13,139	7	2.5	44	1.9	1,029	1.7	13,095	0.7	0.676	0.335
11	20 ~ 30	1,410	13,611	7	2.5	51	2.2	1,403	2.3	13,560	0.8	0.496	0.375
12	30 ~ 70	62	477			3	0.1	62	0.1	474	0.0		0.629
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	5.685	3.120

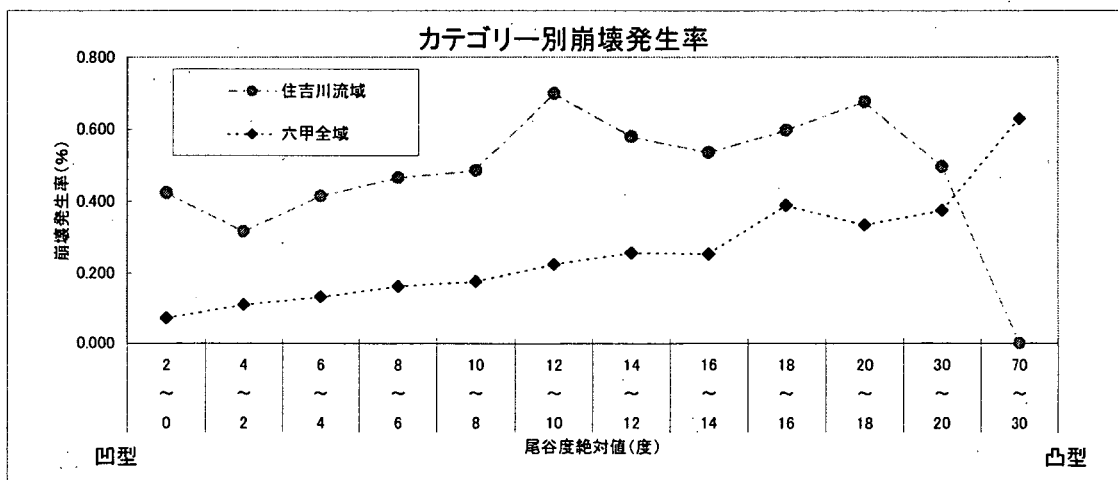
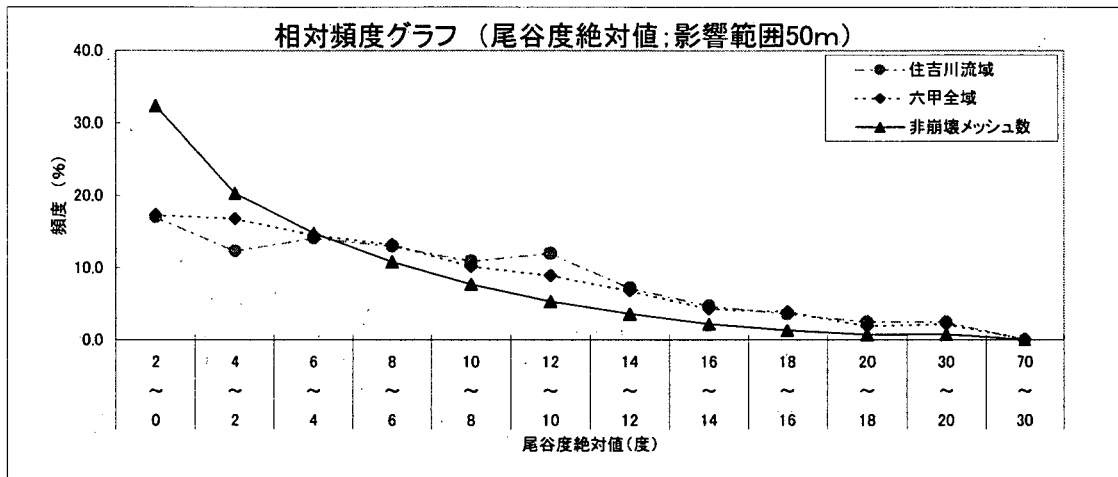


図 A3.3 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(尾根谷度[影響範囲 50m:絶対値])

項目名：補正尾谷度(影響範囲50m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カ2乗検定
全数	1,749,480	3.52	3.7	0	65.47	0.389
住吉川流域	276	5.99	4.906	0.01	20.85	
六甲全域	2,351	5.57	5.071	0	35.18	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)	(%)	(%)
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤=①-③	⑤/Σ⑤	⑥=②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	0 ~ 2	18,196	809,667	73	26.4	674	28.7	18,123	30.3	808,993	46.3	0.401	0.083
2	2 ~ 4	13,411	386,087	49	17.8	522	22.2	13,362	22.4	385,565	22.1	0.365	0.135
3	4 ~ 6	9,492	216,201	34	12.3	316	13.4	9,458	15.8	215,885	12.4	0.358	0.146
4	6 ~ 8	6,789	130,692	38	13.8	250	10.6	6,751	11.3	130,442	7.5	0.560	0.191
5	8 ~ 10	4,579	81,140	20	7.2	156	6.6	4,559	7.6	80,984	4.6	0.437	0.192
6	10 ~ 12	2,980	52,174	26	9.4	135	5.7	2,954	4.9	52,039	3.0	0.872	0.259
7	12 ~ 14	1,997	33,515	17	6.2	119	5.1	1,980	3.3	33,396	1.9	0.851	0.355
8	14 ~ 16	1,256	19,682	6	2.2	62	2.6	1,250	2.1	19,620	1.1	0.478	0.315
9	16 ~ 18	708	10,677	6	2.2	56	2.4	702	1.2	10,621	0.6	0.847	0.524
10	18 ~ 20	324	5,346	3	1.1	24	1.0	321	0.5	5,322	0.3	0.926	0.449
11	20 ~ 30	260	4,183	4	1.4	35	1.5	256	0.4	4,148	0.2	1.538	0.837
12	30 ~ 70	3	116			2	0.1	3	0.0	114	0.0		1.724
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	7.633	5.210

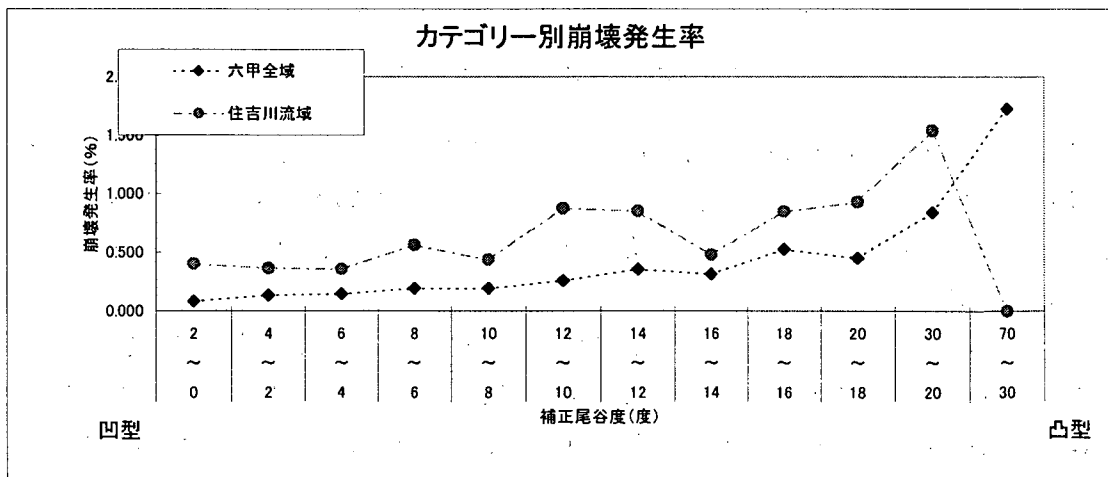
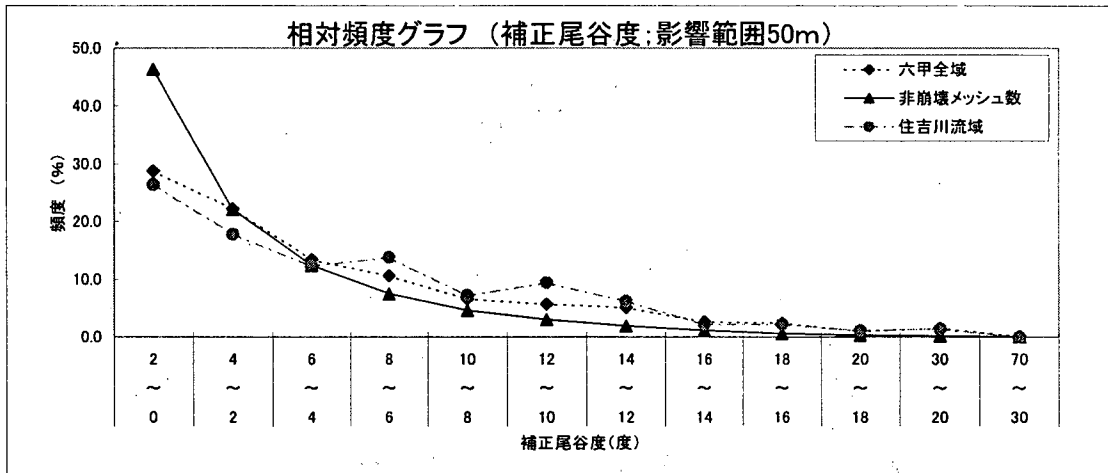


図 A3.4 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(尾根谷度[影響範囲 50m: 補正係数考慮])

## 資料4 凹凸の表現方法に関する検討(2):縦断方向と横断方向の凹凸

ここでは、地盤の振動には方向性が考えられるため、その増幅効果が考えられる地形の凹凸もその方向性が関係する可能性があるという点を考慮し、各メッシュの曲率を全ての方向にわたって平均して評価するのではなく、斜面最大傾斜方向の曲率(曲率  $K_1$  とする)とそれに直交する方向の曲率(曲率  $K_2$ )をそれぞれ別々に評価することを考え、検討した。

### A4.1 方法

曲率  $K_1$ 、 $K_2$ (概念図を図 A4.1 に示した)を算出し、 $K_1$ 、 $K_2$  と崩壊発生確率の関係を調べた。その上で、 $K_1$ 、 $K_2$  を凹凸を表現する指標として用い、勾配、曲率  $K_1$  または曲率  $K_2$  を説明変数とし、崩壊の発生・非発生を目的変数とした判別分析を行った。

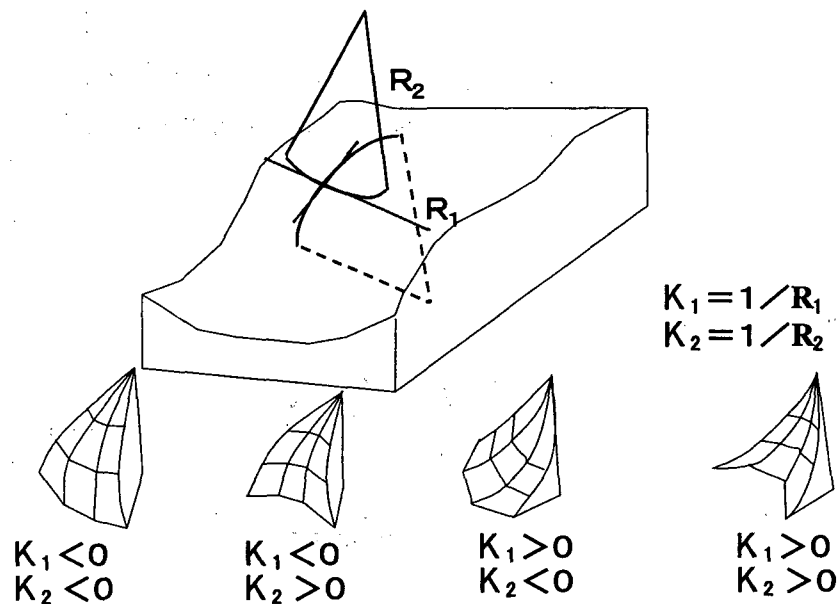
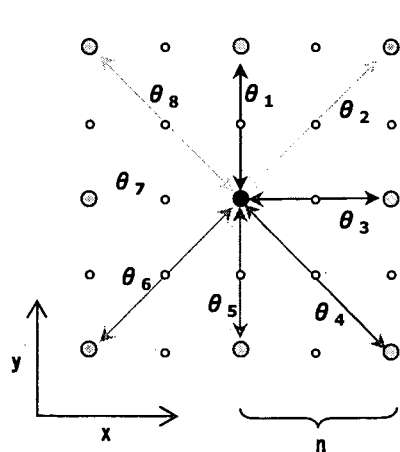


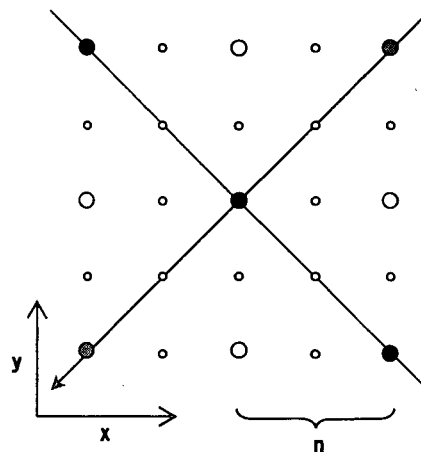
図 A4.1 曲率 $K_1$ 、 $K_2$ の概念図

曲率  $K_1$ 、 $K_2$  の算出において、まず、最大傾斜方向を決めた。最大傾斜方向は、対象節点の最大傾斜方向を求め、この方向を主軸方向とした。具体的には、図 A4.2 に示したように、対象節点を取り囲む 8 つの近傍節点(近傍節点間の節点数  $n$  個)について対象節点との傾斜角を求め、その値が最大を取る方向とする。

次に、斜面方向における曲率  $K_1$ 、および斜面方向と直交方向における曲率  $K_2$  をそれぞれ求めた。具体的には、対象節点と両隣の近傍節点(主軸方向および主軸直交方向で対象節点との間に節点数  $n$  をとる点)を通る円を考え、その円の半径をそれぞれ  $r_1$ 、 $r_2$  としたとき  $K_1=1/r_1$ 、 $K_2=1/r_2$  とする(図 A4.3)。なお、影響範囲は 20m、50m の 2 通りとした。



● 対象節点  
○ 近傍節点  
○ 節点の配置  
n: 近傍節点間の節点数



● 対象節点  
● 近傍節点(K1)  
● 近傍節点(K2)  
○ 節点の配置  
n: 近傍節点間の節点数

※近傍節点間の距離  $d(m) = n(\text{個}) \times \Delta d(\text{メッシュサイズ})$   
斜め方向の場合は  $\sqrt{d}$

図 A4.2 斜面方向の計算

図 A4.3 曲率の計算

### A4.2 結果

曲率 K1、K2と崩壊発生確率の関係を図 A4.4～A4.7に、判別分析の結果を表 A4.1 に示した。曲率 K1、K2 を用いて判別分析を行ったが、他の地形量(平均曲率、尾根谷度)と比較し、分類正誤率の飛躍的な向上はみられなかった(表 A4. 1)。そこで、現時点では、K1、K2 については地形的な意味づけが明確でないことも勘案し、本資料では地震による斜面危険度判定手法の素因として取り扱わないこととしている。

表 A4.1 判別分析結果

case	標準化された正準判別関数係数								非崩壊発生メッシュの 分類正誤率	崩壊発生メッシュの 分類正誤率
	勾配	平均曲率 (20)	平均曲率 (50)	尾根谷度 (50)	K1(20)	K1(50)	K2(20)	K2(50)		
1	0.970	-0.244							54.417	70.852
2	0.935		-0.432						55.570	72.826
3	0.951			0.336					54.914	69.928
4	0.967				-0.272				54.242	72.464
5	0.954					-0.388			55.471	71.377
6	0.993						-0.108		54.318	69.203
7	0.947							-0.363	56.354	69.928

項目名：曲率K1(影響範囲20m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カイ2乗検定
全数	1,749,480	0	0.013	-0.05	0.05	0.374
住吉川流域	276	0	0.015	-0.05	0.05	
六甲全域	2,351	0	0.015	-0.05	0.05	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)		
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤=①-③	⑤/Σ⑤	⑥=②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	-0.05 ~ -0.04	252	4,888	3	1.1	32	1.4	249	0.4	4,856	0.3	1.190	0.655
2	-0.04 ~ -0.03	1,095	22,299	9	3.3	74	3.1	1,086	1.8	22,225	1.3	0.822	0.332
3	-0.03 ~ -0.02	3,207	76,786	19	6.9	176	7.5	3,188	5.3	76,610	4.4	0.592	0.229
4	-0.02 ~ -0.01	6,848	192,202	29	10.5	273	11.6	6,819	11.4	191,929	11.0	0.423	0.142
5	-0.01 ~ 0	21,128	563,834	106	38.4	766	32.6	21,022	35.2	563,068	32.2	0.502	0.136
6	0 ~ 0.01	15,970	571,733	69	25.0	652	27.7	15,901	26.6	571,081	32.7	0.432	0.114
7	0.01 ~ 0.02	5,379	193,712	18	6.5	198	8.4	5,361	9.0	193,514	11.1	0.335	0.102
8	0.02 ~ 0.03	3,513	84,862	13	4.7	112	4.8	3,500	5.9	84,750	4.9	0.370	0.132
9	0.03 ~ 0.04	1,865	30,094	8	2.9	44	1.9	1,857	3.1	30,050	1.7	0.429	0.146
10	0.04 ~ 0.05	738	9,070	2	0.7	24	1.0	736	1.2	9,046	0.5	0.271	0.265
11													
12													
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	5,366	2,253

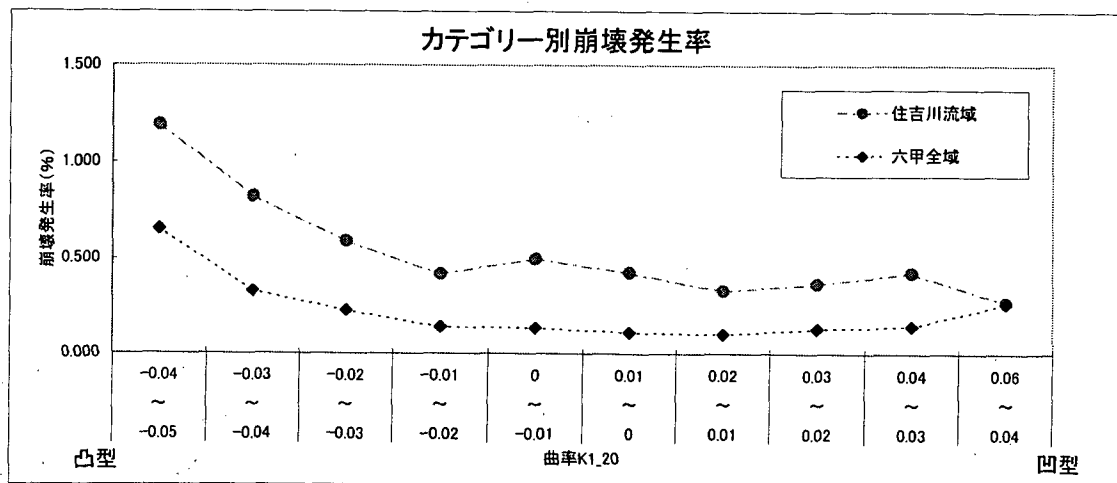
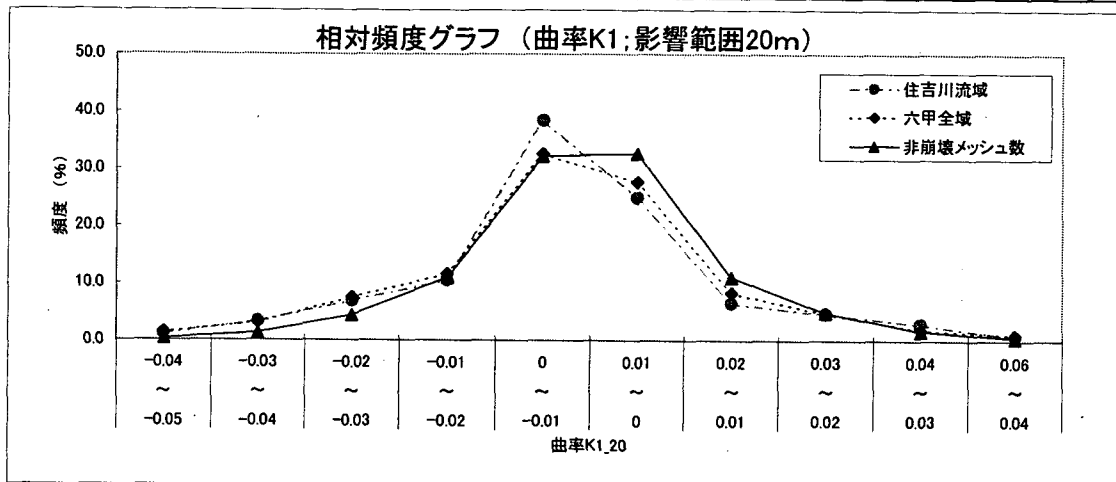


図 A4.4 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(曲率K1\_20)

項目名：曲率K2(影響範囲20m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カイ乗検定
全数	1,749,480	0	0.01	-0.05	0.05	0.374
住吉川流域	276	0	0.014	-0.04	0.04	
六甲全域	2,351	0	0.014	-0.05	0.04	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)		
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤-①-③	⑤/Σ⑤	⑥-②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	-0.05 ~ -0.04	48	925			9	0.4	48	0.1	916	0.1	0.973	
2	-0.04 ~ -0.03	461	7,691	4	1.4	37	1.6	457	0.8	7,654	0.4	0.868	
3	-0.03 ~ -0.02	2,856	48,212	25	9.1	164	7.0	2,831	4.7	48,048	2.8	0.875	
4	-0.02 ~ -0.01	9,461	192,451	51	18.5	403	17.1	9,410	15.8	192,048	11.0	0.539	
5	-0.01 ~ 0	19,226	655,050	75	27.2	646	27.5	19,151	32.1	654,404	37.5	0.390	
6	0 ~ 0.01	16,666	635,037	62	22.5	634	27.0	16,604	27.8	634,403	36.3	0.372	
7	0.01 ~ 0.02	7,573	155,469	39	14.1	298	12.7	7,534	12.6	155,171	8.9	0.515	
8	0.02 ~ 0.03	2,736	43,810	16	5.8	129	5.5	2,720	4.6	43,681	2.5	0.585	
9	0.03 ~ 0.04	821	9,406	2	0.7	25	1.1	819	1.4	9,381	0.5	0.244	
10	0.04 ~ 0.05	147	1,429	2	0.7	6	0.3	145	0.2	1,423	0.1	1.361	
11													
12													
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	5,749	3,374

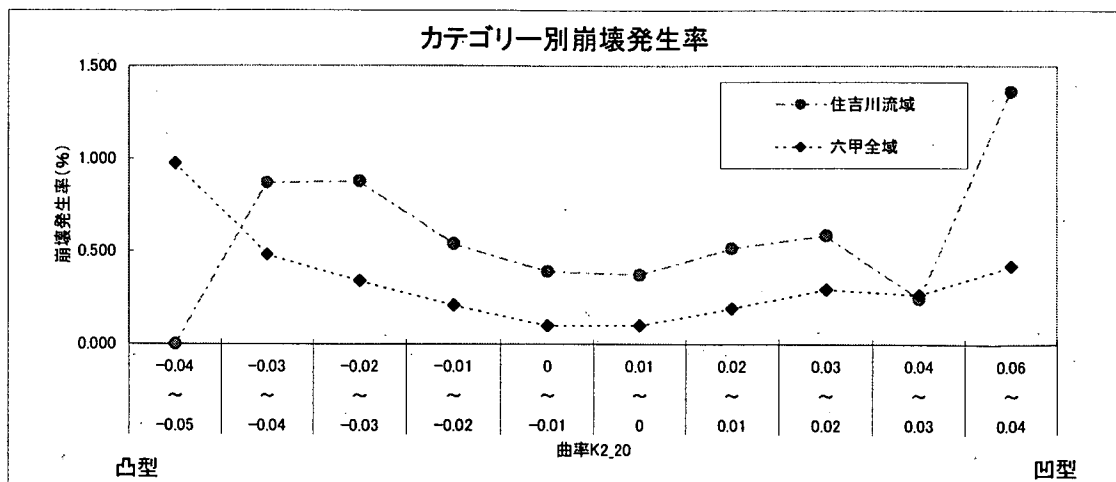
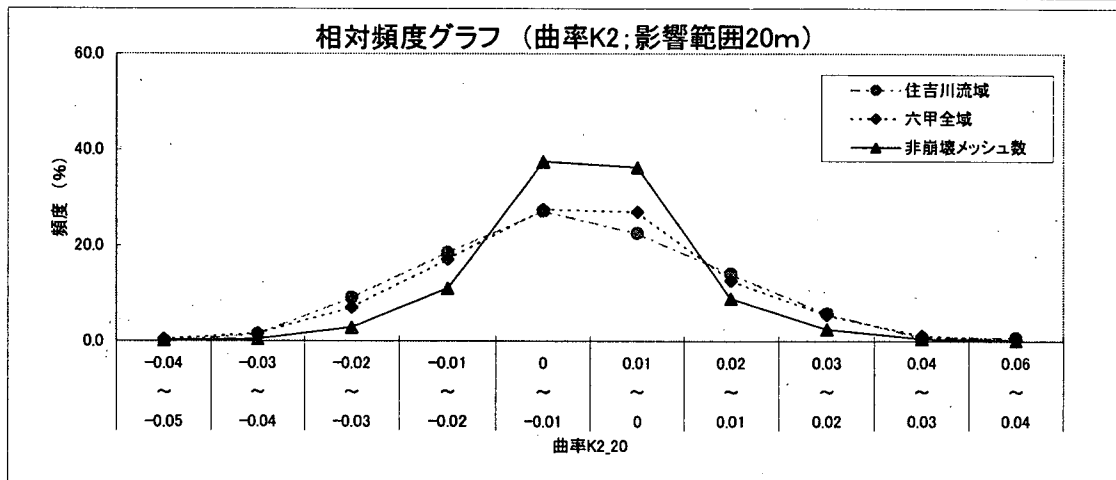


図 A4.5. 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(曲率K2\_20)



項目名 : 曲率K1(影響範囲50m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カイ2乗検定
全数	1,749,480	0	0.006	-0.02	0.02	0.265
住吉川流域	276	0	0.008	-0.02	0.02	
六甲全域	2,351	0	0.007	-0.02	0.02	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)		
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤=①-③	⑤/Σ⑤	⑥=②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	-0.02 ~ -0.015	1,113	17,456	11	4.0	72	3.1	1,102	1.8	17,384	1.0	0.988	0.412
2	-0.015 ~ -0.01	4,140	78,718	27	9.8	206	8.8	4,113	6.9	78,512	4.5	0.652	0.262
3	-0.01 ~ -0.005	9,710	221,990	50	18.1	409	17.4	9,660	16.2	221,581	12.7	0.515	0.184
4	-0.005 ~ 0	16,791	504,774	77	27.9	615	26.2	16,714	28.0	504,159	28.9	0.459	0.122
5	0 ~ 0.005	13,483	580,292	59	21.4	615	26.2	13,424	22.5	579,677	33.2	0.438	0.106
6	0.005 ~ 0.01	7,586	234,520	33	12.0	283	12.0	7,553	12.6	234,237	13.4	0.435	0.121
7	0.01 ~ 0.015	5,139	88,178	13	4.7	116	4.9	5,126	8.6	88,062	5.0	0.253	0.132
8	0.015 ~ 0.02	2,033	23,552	6	2.2	35	1.5	2,027	3.4	23,517	1.3	0.295	0.149
9													
10													
11													
12													
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	4.035	1.488

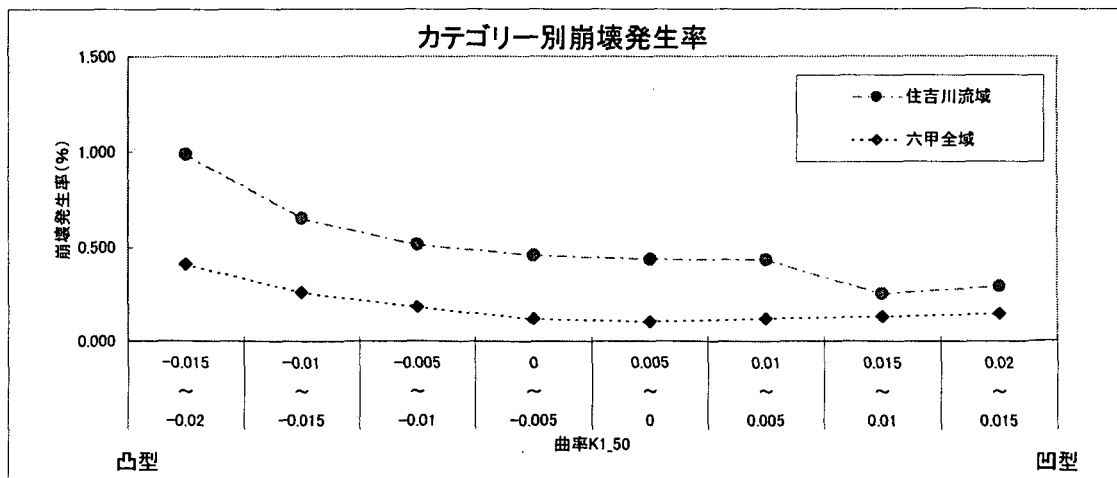
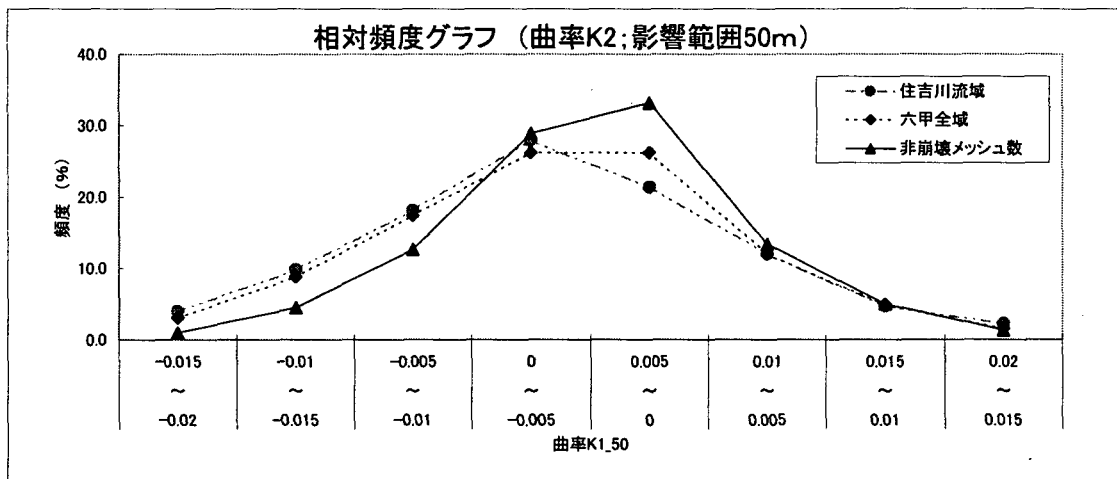


図 A4.6 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(曲率K1\_50)

項目名 : 曲率K2(影響範囲50m)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値	カイ乗検定
全数	1,749,480	0	0.005	-0.02	0.02	
住吉川流域	276	0	0.007	-0.02	0.01	0.433
六甲全域	2,351	0	0.006	-0.02	0.02	

レンジ区分	メッシュ全数		崩壊メッシュ数				非崩壊メッシュ数				崩壊発生率		
	住吉川	全域	住吉川流域		六甲全域		住吉川流域		六甲全域		住吉川	全域	
	(%)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(メッシュ)	(%)	(%)		
	①	②	③	③/Σ③	④	④/Σ④	⑤=①-③	⑤/Σ⑤	⑥=②-④	⑥/Σ⑥	③/①	④/②	
1	-0.02 ~ -0.015	361	4,894	6	2.2	27	1.1	355	0.6	4,867	0.3	1,662	0.552
2	-0.015 ~ -0.01	2,753	46,672	17	6.2	148	6.3	2,736	4.6	46,524	2.7	0,618	0.317
3	-0.01 ~ -0.005	9,706	196,022	68	24.6	489	20.8	9,638	16.1	195,533	11.2	0,701	0.249
4	-0.005 ~ 0	18,523	656,166	72	26.1	702	29.9	18,451	30.9	655,464	37.5	0,389	0.107
5	0 ~ 0.005	17,123	653,181	61	22.1	617	26.2	17,062	28.6	652,564	37.4	0,356	0.094
6	0.005 ~ 0.01	8,419	153,159	41	14.9	301	12.8	8,378	14.0	152,858	8.7	0,487	0.197
7	0.01 ~ 0.015	2,653	35,114	11	4.0	62	2.6	2,642	4.4	35,052	2.0	0,415	0.177
8	0.015 ~ 0.02	457	4,272			5	0.2	457	0.8	4,267	0.2		0.117
9													
10													
11													
12													
13													
14													
合計		59,995	1,749,480	276	100	2,351	100	59,719	100	1,747,129	100	4,628	1,810

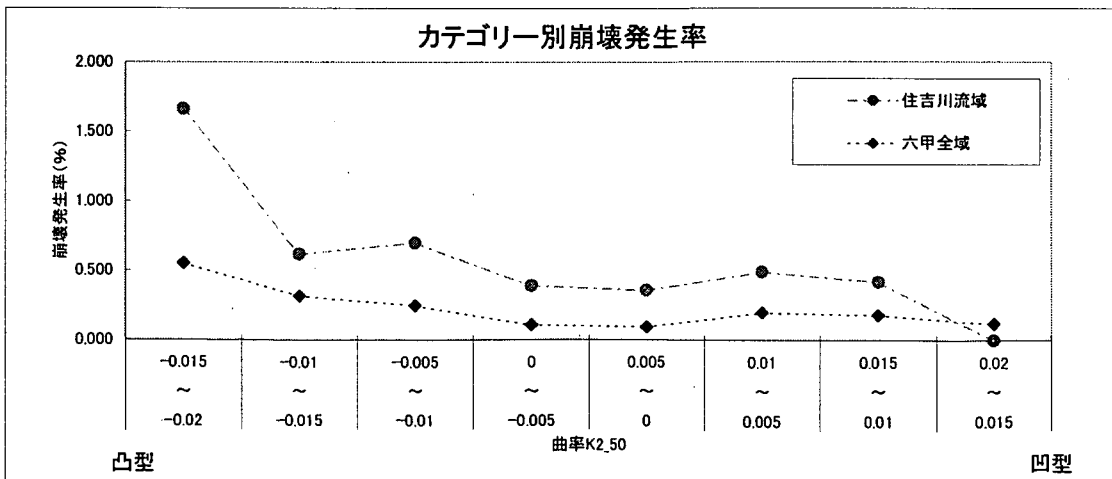
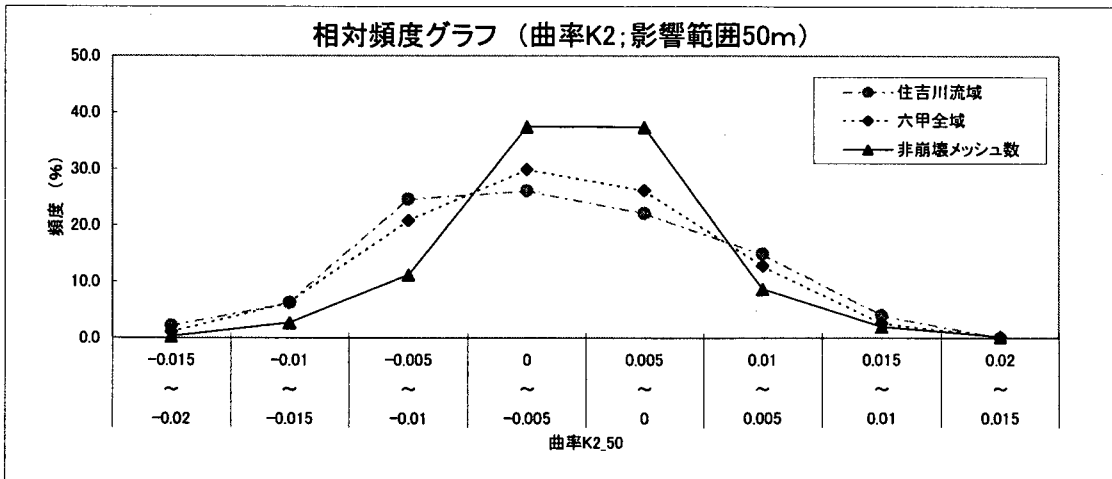


図 A4.7 階級別ヒストグラムと崩壊発生率(曲率K2\_50)

## 資料5 地質の影響の検討

4章でも示したように、地質は崩壊発生に重要な影響を及ぼす可能性がある。そこで、3章で提案した手法の精度に及ぼす地質の分布の影響をここで検証する。

### A5.1 六甲山系における地質分類

六甲山系の表層地質は、基盤岩類と被覆層とに明瞭に区分できる。基盤岩類は古生層(丹波層群)、花崗岩類、酸性岩類(有馬層群)、被覆層は第三紀中新世「神戸層群」、鮮新世～更新世「大阪層群」である。古生層は西部に点在し、六甲山地の基盤の大部分は花崗岩類により構成されている。六甲山地の西側の丘陵地帯には神戸層群が分布し、さらに西側の平野部は大阪層群の広い分布域となっている。

六甲砂防工事事務所の砂防GISでは、表層地質をデータとして保存している。このデータでは表 A5.1 に示す様に表層地質を分類しており、それぞれの範囲をポリゴンデータ(多角形面)形式の図形データとしている。

本解析では、メッシュデータごとの地質が必要となるため、図 A5.1 に示すように、メッシュの中心が含まれる表層地質の分類を各メッシュの分類とした。

表 A5.1 六甲砂防工事事務所砂防GIS表層地質データの凡例

新生代	第四紀	完新世		埋立地		
				崖錘	砂礫および礫	
		更新世	大阪層群	中・低位段丘層	砂礫、砂、シルト、粘土	
				上部亜層群	砂礫、砂、シルト、粘土、火山灰	
				中部亜層群	砂礫、砂、シルト、粘土、火山灰	
				下部亜層群	砂礫、砂、シルト、粘土、火山灰	
		新第三期	鮮新世	瀬戸内火山岩	甲山安山岩	無斑晶安山岩
			中新世	神戸層群	上部累層	砂岩、礫岩、泥岩、凝灰岩
	中部累層	砂岩、礫岩、泥岩、凝灰岩				
	下部累層	砂岩、礫岩、泥岩、凝灰岩				
	岩脈類	花崗斑岩、石英斑岩 安山岩、ひん岩				
	中生代	白亜紀	新世	山陽帯花崗岩類	六甲花崗岩	黒雲母花崗岩
					石切山花崗閃緑岩	花崗閃緑岩
				有馬層群	金剛童子流紋岩溶岩	流紋岩質溶岩、同質火砕岩類
境野溶結凝灰岩					結晶質溶結凝灰岩	
玄能池碎屑岩類					凝灰質砂岩、凝灰角礫岩	
玉瀬溶結凝灰岩					流紋岩質多結晶溶結凝灰岩、流紋岩	
僧川碎屑岩類					凝灰質頁岩、砂岩、礫岩	
領家新期花崗岩類				花崗岩類Ⅱ	花崗閃緑岩	
ジュラ紀		丹波層群		頁岩、頁岩・砂岩互層		

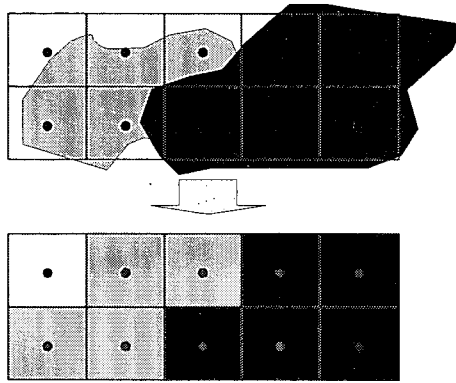


図 A5.1 表層地質メッシュデータ作成イメージ

さらに、ここでは表 A5.1 に基づき、地質と崩壊発生率との関係を概略的に把握するため、9つに再分類し、地質別の崩壊発生メッシュと非崩壊発生メッシュを算出、崩壊発生率との関係について表 A5.2 に整理した。

表 A5.2 地質別崩壊分布

地質凡例	崩壊なし	崩壊あり	全メッシュ数	崩壊発生率
崖錐・段丘	74,258	36	74,294	0.048
大阪層群	121,194	62	121,256	0.051
甲山安山岩	2,446	1	2,447	0.041
神戸層群	158,553	31	158,584	0.02
花崗岩類	942,358	1,836	944,194	0.194
有馬層群	86,050	141	86,191	0.164
領家花崗岩	148,443	35	148,478	0.024
丹波層群	33,998	27	34,025	0.079
その他	179,829	182	180,011	0.101
合計	1,747,129	2,351	1,749,480	0.134

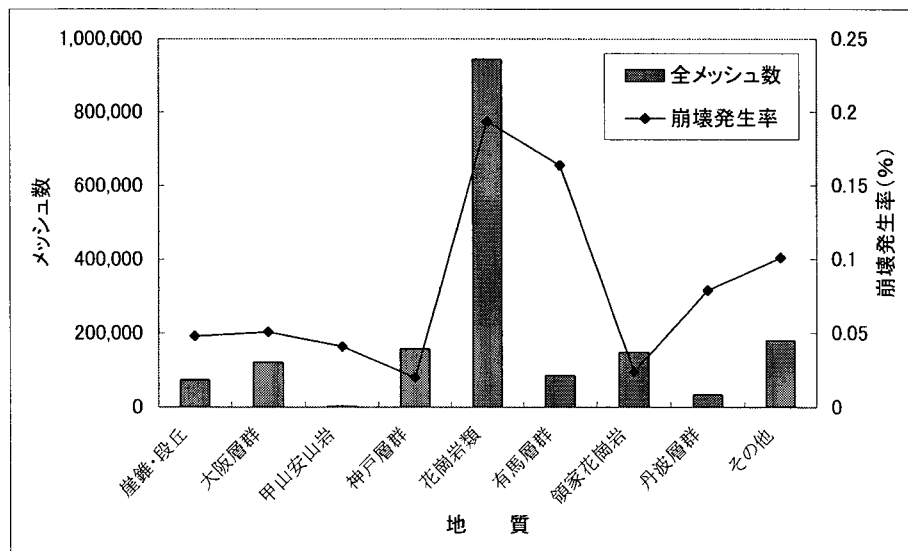


図 A5.2 地質別崩壊分布

表 A5.2 および図 A5.2 に示したように上記の 9 分類でも、依然として、地質の分布状況が狭い地質区分や、崩壊発生数が少ないものがある。そこで、統計的処理ができるよう、さらに年代、地質の性状等を加味しそれらを以下のように 5 分類することとした。またカテゴリ区分した地質分布図を図 A5.3 に示す。

[地質区分]

- ① 六甲花崗岩
- ② 布引花崗岩
- ③ 丹波層群
- ④ 有馬層群
- ⑤ その他(神戸層群, 大阪層群など)

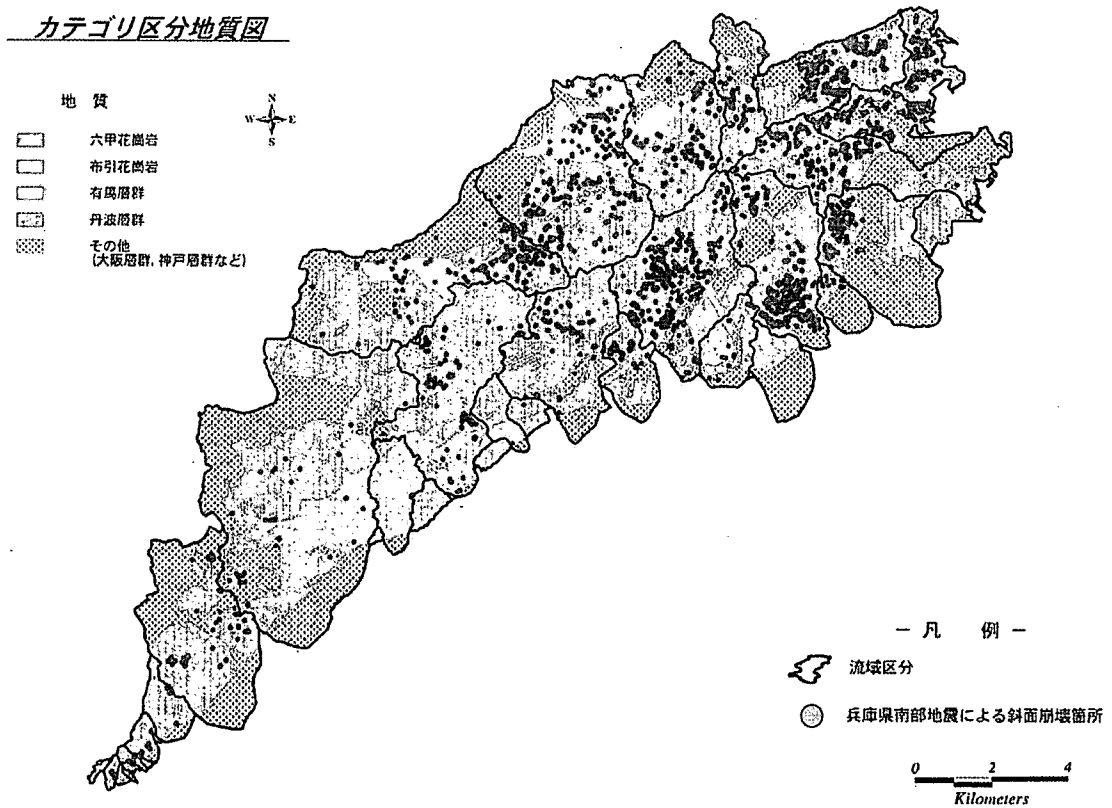


図 A5.3 カテゴリ区分地質図

## A5.2 地質別判別分析結果

前節に示した地質区分に従い、地質別に判別分析を実施し正誤率および寄与率を比較し、考察した。3章の検討に従い、斜面勾配、平均曲率(影響範囲 20m)、地震加速度(破壊伝播効果考慮)を説明変数とし、崩壊の発生の有無を目的変数とした判別分析を行った。

表 A5.2 地質別判別分析結果(平均曲率使用)

・判別分析結果一覧

	標準化された正準判別関数係数			正誤率(%)
	勾配	平均曲率	地震加速度	
全データ	0.976	-0.115	0.188	78.20

・判別分析結果一覧(地質別)

	標準化された正準判別関数係数			正誤率(%)
	勾配	平均曲率	地震加速度	
六甲花崗岩	0.926	-0.170	0.332	74.62
布引花崗岩	1.000	0.096	0.184	76.60
有馬層群	0.921	-0.364	-0.046	68.57
丹波層群	0.714	-0.655	0.202	77.78
その他(大阪、神戸層群など)	0.995	0.037	0.058	81.41

その結果、

- ・ 全体的には勾配の地形量が地震崩壊に最も影響がある傾向は共通している。
- ・ 有馬層群、丹波層群では、地形量の影響が大きい。
- ・ 有馬層群、その他(大阪、神戸層群)では地震加速度の影響が小さい。

ことがわかった。この判別結果から地質別に区分し、正誤率を求めた場合、正誤率は 68%から 81%までの幅で変わることが分かった。

しかしながら、各地質の対象エリアが狭いことから、地質の違いが判別分析の精度、係数に及ぼす影響、判別得点ー崩壊発生率関係に及ぼす影響を定量的に把握することは、困難であると考えられる。すなわち、様々な地質で更なる地震時の崩壊地分布データの蓄積が必要となると考えられる。

## 資料 6 崩壊形態の差異が判別分析結果に及ぼす影響

地震時には様々な形態の崩壊が発生する。そこで、ここでは崩壊形態の差異が地震による崩壊危険度判定の精度に及ぼす影響を把握するため、住吉川流域の崩壊実績を用いて、線形判別得点式、分類正誤率について検討を行った。検討については、それぞれのタイプごとに危険度と崩壊実績との関係から整理した。

### A6.1 崩壊データの形態別分類

六甲全山において、表 3.1 に示した資料に従い、地震時の崩壊形態を把握するため、資料整理を行った。溪流名と崩壊形態の関係を表 A6.1 に示した。

表 A6.1 崩壊形態から区分した流域の特徴

データの個数：崩壊フラグ	崩壊形態							総計
	硬質岩崩壊	マサ岩崩壊	第4紀層崩壊	中位段丘崩壊	泥質化岩崩壊	表層崩壊	(空白)	
01.夙川	92	19						111
02.宮川	8	9						17
03.芦屋川	61	207		3				271
05.天上川	7	6						13
06.住吉川	124	141		13		3	47	328
07.石屋川	7	14				15		36
08.都賀川	29	22				13		64
09.西郷川	1							1
10.新生田川	14	43				27		84
11.宇治川	2	1				1		4
12.新湊川	4	23				7		34
13.妙法寺川	11	30				10	1	52
14.千森川		5				2		7
15.一の谷川	1	6				5		12
16.二の谷川		1				8		9
18.堺川	2	7				4		13
19.船坂川	33	9	3	2	3	3	6	59
20.有馬川	117	7			9			133
21.有野川	185	57	1		4	1	8	256
22.山田川	131	50					4	185
24.仁川	131	1				10		142
25.逆瀬川	115	14	1			2		132
26.武庫川直河川	84	31				1		116
27.太多田川	188	67	14	2		3		274
総計	1347	770	19	20	16	115	66	2353

集計の結果、六甲全山の崩壊形態は硬質岩崩壊とマサ岩崩壊が多数を占めている。ここで、表 A6.2 に示したように、A:表層崩壊型、B:落石・岩崩壊型に硬質岩崩壊を(表層崩壊型以外)の 2 つに大別し、検討することとした。

表 A6.2 崩壊形態の区分

	区 分	備 考
A	表層崩壊型	マサ岩、第四紀、中位段丘、泥質化岩、表層崩壊
B	落石・岩崩壊型	硬質岩崩壊

表 A6.3 には、検討する住吉川エリアに含まれる 275 箇所の崩壊形態を示した。その結果、崩壊形態別で表層崩壊型は 136 箇所、落石・岩崩壊型は 98 箇所であった。なおここでは、標本データは、崩壊と非崩壊を同数にセットするため、対象エリアに含まれるすべての崩壊メッシュと、崩壊と同数の非崩壊メッシュを統計ソフトを用いてランダムに抽出したものとし、以下の解析を実施した。

表 A6.3 住吉エリアにおける崩壊形態別統計量

	度数	パーセント
マサ岩崩壊	131	47.6
硬質岩崩壊	98	35.6
中位段丘崩壊	3	1.1
表層崩壊	2	0.7
未記入	41	14.9
合計	275	100

## A6.2 形態別判別分析

住吉川エリアにおいて、崩壊・非崩壊を判別するための線形判別得点式を求めた。ここで求めた崩壊予測式を「住吉川全部」と呼ぶこととする。なお、説明変数は3章の検討に基づき、斜面勾配、平均曲率、破壊伝播効果を考慮した最大加速度とした。さらに、崩壊タイプごとの線形判別得点式は、表層崩壊型(138個)と落石・岩崩壊型(96個)の2つの崩壊タイプに対して作成した。なお、それぞれの判別得点式を、「表層崩壊型」と「落石崩壊型」と呼ぶことにした。崩壊形態別の判別分析に用いる非崩壊メッシュのデータは、標本データを整理したときにランダム抽出した275箇所のデータを利用した。算出された係数を表A6.4に示す。

表 A6.4 住吉川エリア判別得点式

Case	標準化された判別関数係数			判別得点式 F=
	勾配	平均曲率 (影響範囲20 m)	地震動 最大加速度	
住吉川全部	0.871	-0.286	0.515	$0.093 \times (\text{勾配}) - 23.440 \times (\text{平均曲率}) + 0.058 \times (\text{最大加速度}) - 20.856$
表層崩壊型	0.651	-0.314	0.713	$0.067 \times (\text{勾配}) - 26.818 \times (\text{平均曲率}) + 0.083 \times (\text{最大加速度}) - 27.071$
落石・岩崩壊型	0.920	-0.347	0.228	$0.093 \times (\text{勾配}) - 27.814 \times (\text{平均曲率}) + 0.025 \times (\text{最大加速度}) - 10.757$

表A6.4の判別関数係数をみると、住吉川全部と比べ、落石・岩崩壊型では斜面勾配の寄与度が高いのに対して、表層崩壊型では斜面勾配の寄与率が、落石・岩崩壊型に比べて低くなっていることがわかる。また、平均曲率には顕著な違いは見られなかった。さらに、最大加速度は表層崩壊型で寄与度が大きく、落石・岩崩壊型の寄与度が小さかった。

次に、新規に作成した判別タイプごとの判別式より求めた、判別得点別の頻度グラフを図A6.1～A6.3に示した。「住吉川全部」を用いた結果(図A6.1)を見ると、形態別メッシュ数構成比のグラフから、両タイプともに、判別得点“0”を境に、崩壊と非崩壊(棒グラフと折れ線グラフ)とで、頻度ピークが分離できていることがわかる。またカテゴリ別崩壊発生率のグラフからは、形態による明瞭な差異は見られなかった。



項目名：崩壊形態別(全部)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
全数	550	0	1.078	-4.2	2.17
表層崩壊型	136	0.49	0.795	-2.46	1.96
落石・崩壊型	98	0.33	0.833	-2.67	2.17

レンジ区分	全数 (メッシュ) ①	非崩壊メッシュ (%) ②	崩壊メッシュ数				崩壊発生率(カテゴリ別)		
			表層崩壊型		落石・崩壊型		表層崩壊型(%) ③/①	落石・崩壊型(%) ④/①	
			(メッシュ) ③	(%) ③/Σ③	(メッシュ) ④	(%) ④/Σ④			
1	-4.5 ~ -4	1	1	0	0.0	0	0.0		
2	-4 ~ -3.5	2	2	0	0.0	0	0.0		
3	-3.5 ~ -3	8	8	0	0.0	0	0.0		
4	-3 ~ -2.5	5	4	0	0.0	1	1.0		20.0
5	-2.5 ~ -2	19	16	2	1.5	1	1.0	10.5	5.3
6	-2 ~ -1.5	12	11	0	0.0	0	0.0		
7	-1.5 ~ -1	43	32	3	2.2	5	5.1	7.0	11.6
8	-1 ~ -0.5	55	34	10	7.4	6	6.1	18.2	10.9
9	-0.5 ~ 0	91	58	18	13.2	14	14.3	19.8	15.4
10	0 ~ 0.5	119	49	32	23.5	28	28.6	26.9	23.5
11	0.5 ~ 1	111	34	32	23.5	29	29.6	28.8	26.1
12	1 ~ 1.5	64	22	31	22.8	8	8.2	48.4	12.5
13	1.5 ~ 2	18	4	8	5.9	4	4.1	44.4	22.2
14	2 ~ 2.5	2	0	0	0.0	2	2.0		100.0
14	2.5 ~ 3	0	0	0	0.0	0	0.0		
合計		550	275	136	100	98	100		

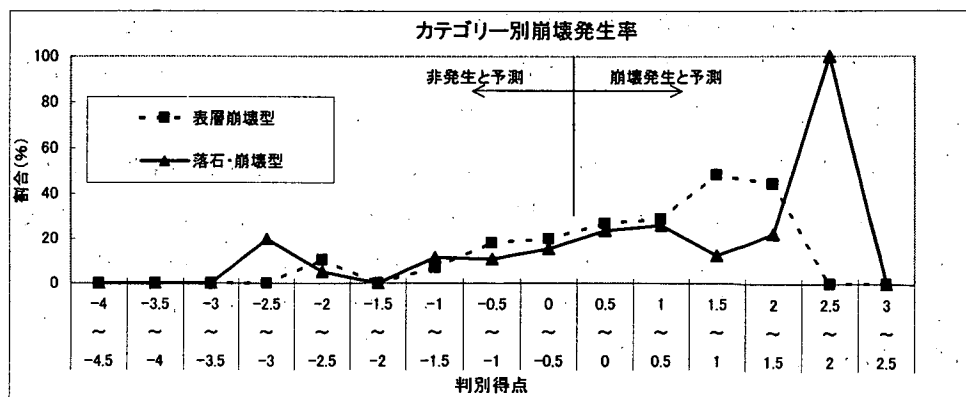
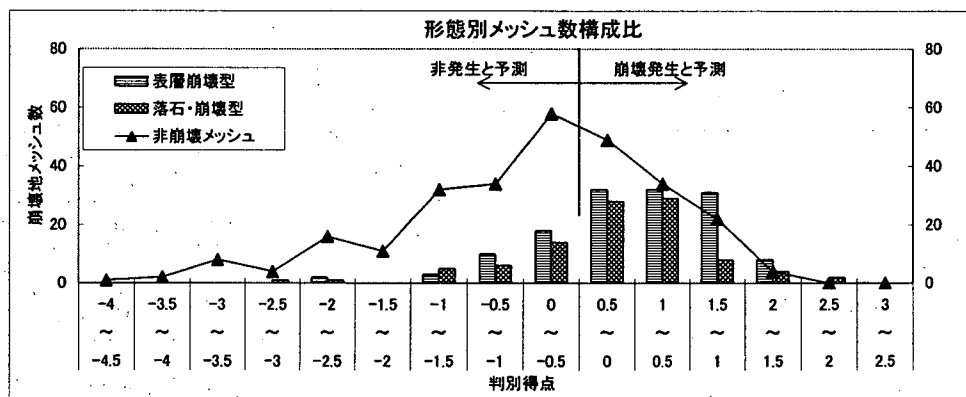


図 A6.1 住吉川の判別得点(住吉川全部)と崩壊、非崩壊メッシュの関係

項目名：崩壊形態別(表層崩壊型)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
全数	411	0	1.085	-3.75	2.17
表層崩壊型	136	0.6	0.752	-1.69	2.17

レンジ区分		全数 (メッシュ) ①	非崩壊メッシュ (%) ②	崩壊メッシュ数				崩壊発生率(カテゴリ別)	
				表層崩壊型		落石・崩壊型		表層崩壊型(%) ③/①	落石・崩壊型(%) ④/①
				(メッシュ) ③	(%) ③/Σ③	(メッシュ) ④	(%) ④/Σ④		
1	-4.5 ~ -4	0	0	0	0.0				
2	-4 ~ -3.5	1	1	0	0.0				
3	-3.5 ~ -3	3	3	0	0.0				
4	-3 ~ -2.5	9	9	0	0.0				
5	-2.5 ~ -2	12	12	0	0.0				
6	-2 ~ -1.5	16	14	2	1.5			12.5	
7	-1.5 ~ -1	29	26	3	2.2			10.3	
8	-1 ~ -0.5	49	44	5	3.7			10.2	
9	-0.5 ~ 0	68	49	19	14.0			27.9	
10	0 ~ 0.5	67	44	23	16.9			34.3	
11	0.5 ~ 1	84	43	41	30.1			48.8	
12	1 ~ 1.5	60	27	33	24.3			55.0	
13	1.5 ~ 2	10	2	8	5.9			80.0	
14	2 ~ 2.5	3	1	2	1.5			66.7	
14	2.5 ~ 3	0	0	0	0.0				
合計		411	275	136	100				

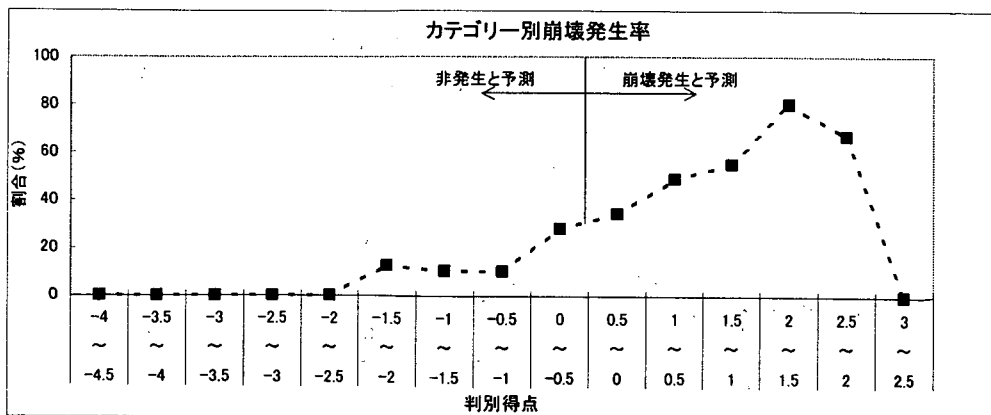
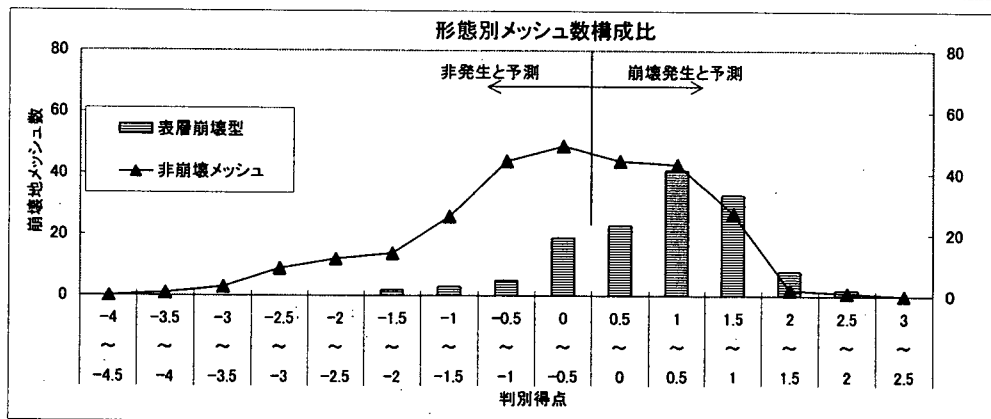


図 A6.2 住吉川の判別得点(表層崩壊型)と崩壊、非崩壊メッシュの関係

項目名：崩壊形態別(落石崩壊型)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
全数	373	0	1.045	-3.46	2.51
落石・崩壊型	98	0.52	0.813	-2.19	2.51

レンジ区分	全数 (メッシュ) ①	非崩壊メッシュ (%) ②	崩壊メッシュ数				崩壊発生率(カテゴリ別)	
			表層崩壊型		落石・崩壊型		表層崩壊型(%) ③/①	落石・崩壊型(%) ④/①
			(メッシュ) ③	(%) ③/Σ③	(メッシュ) ④	(%) ④/Σ④		
1	-4.5 ~ -4	0	0		0	0.0		
2	-4 ~ -3.5	0	0		0	0.0		
3	-3.5 ~ -3	4	4		0	0.0		
4	-3 ~ -2.5	8	8		0	0.0		
5	-2.5 ~ -2	6	5		1	1.0		16.7
6	-2 ~ -1.5	23	20		3	3.1		13.0
7	-1.5 ~ -1	21	18		3	3.1		14.3
8	-1 ~ -0.5	34	33		1	1.0		2.9
9	-0.5 ~ 0	53	46		7	7.1		13.2
10	0 ~ 0.5	90	63		27	27.6		30.0
11	0.5 ~ 1	81	45		36	36.7		44.4
12	1 ~ 1.5	44	30		14	14.3		31.8
13	1.5 ~ 2	7	3		4	4.1		57.1
14	2 ~ 2.5	1	0		1	1.0		100.0
14	2.5 ~ 3	1	0		1	1.0		100.0
合計		373	275		98	100		

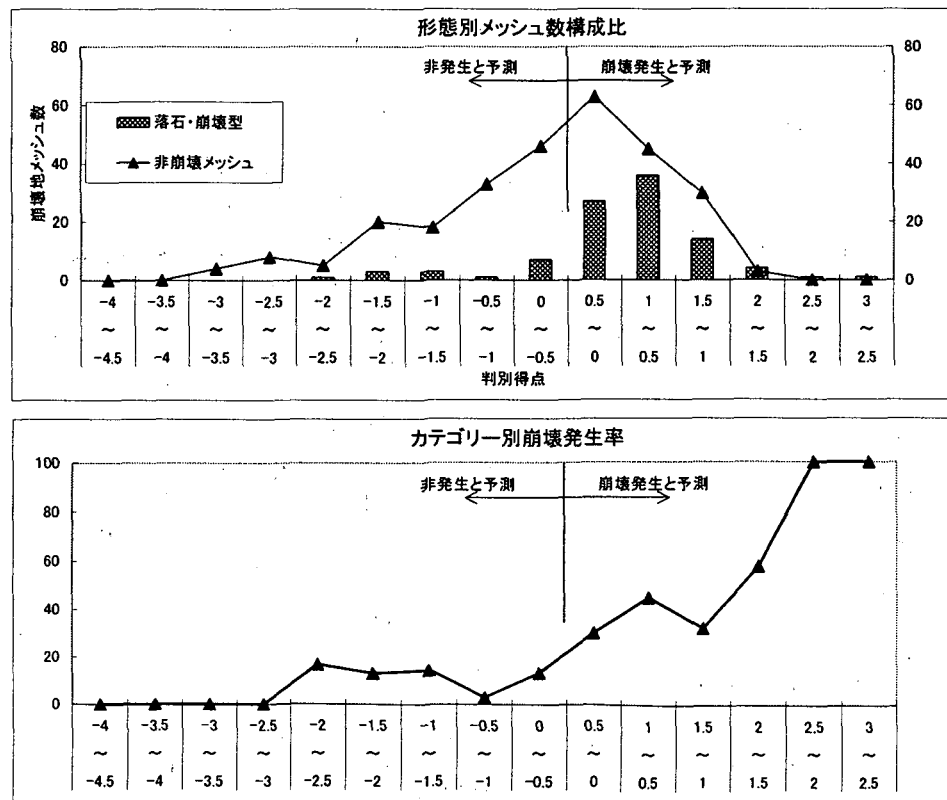


図 A6.3 住吉川の判別得点(落石崩壊型)と崩壊、非崩壊メッシュの関係

### A6.3 分類正誤率の確認

ここでは、これまでの検討結果を、分類正誤率から整理した。判別解析の集計として、Case①では住吉川全域での線型判別解析結果を、Case②では表層崩壊型と落石・岩崩壊型の結果を組み合わせた場合で比較することとした(表 6.5)。なお Case②における崩壊予測の組み合わせでは、どちらか一方でも崩壊と判定されれば、崩壊と予測されたこととして取り扱うこととした。Case①と比較すると、Case②では分類正誤率が 3%程度低下しているが、実際の崩壊に対しての崩壊予測では 10%精度が向上し、最終的に 85.1%の予測が可能となる結果を示した。これより、ハザードマップ作成時には、崩壊形態別の判別式を重ね合わせることは有効である可能性が考えられ、今後、手法の精度向上に向けて検討すべき課題である。

表 A6.5 判別解析の結果

Case①:住吉川全部

			線型判別式による予測		合計
			非崩壊	崩壊	
実際の崩壊	度数	非崩壊	166	109	275
		崩壊	70	205	275
	パーセント	非崩壊	60.4	39.6	100
		崩壊	25.5	74.5	100
	合計		236	314	550

分類正誤率: 67.5 (%)

Case②表層崩壊型と落石・岩崩壊型の組み合わせ

			線型判別式による予測		合計
			非崩壊	崩壊	
実際の崩壊	度数	非崩壊	119	156	275
		崩壊	41	234	275
	パーセント	非崩壊	43.3	56.7	100
		崩壊	14.9	85.1	100
	合計		160	390	550

分類正誤率: 64.2 (%)

## 資料7 崩壊規模のばらつきが判別分析結果に及ぼす影響

崩壊規模にばらつきがあることが地震による斜面崩壊危険度評価の精度に及ぼす影響を把握するため、住吉川流域の崩壊実績を用いて、線形判別得点式、分類正誤率について検討を行った。

### A7.1 崩壊データの規模別分類

住吉川流域の崩壊地のデータを崩壊幅から、①5m以下、②10m以下、③11m以上の3区分にタイプを分類した。図A7.1に崩壊規模別の頻度グラフを示した。

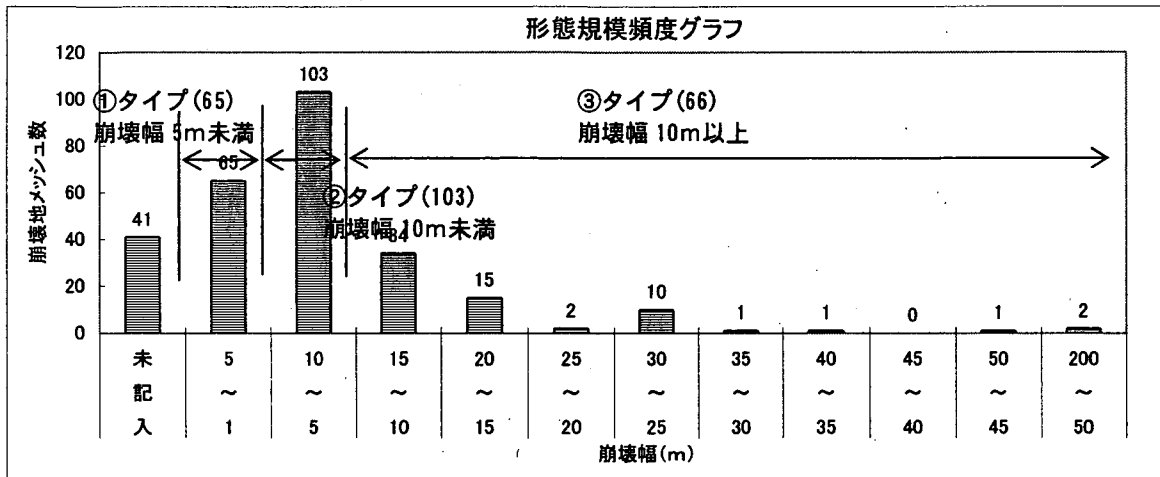


図 A7.1 住吉川エリアにおける崩壊規模別頻度グラフ

### A7.2 崩壊規模別の判別得点－崩壊発生率関係

崩壊規模別の特徴を把握するため、住吉川流域での判別式(資料6参照)から判別得点を算出し、崩壊規模別の判別得点－崩壊発生率関係を図A7.2に整理した。検討の結果、それぞれの区分においても非崩壊と崩壊の頻度分布のピークをみると、いずれの崩壊規模に関しても判別得点により非崩壊と崩壊をある程度分離できていることがわかった。

また、いずれの崩壊規模に関しても、判別得点－崩壊発生率関係は判別得点の増加に従い、崩壊発生率が上昇する傾向が見られ、崩壊規模による著しい特徴はみられなかった。このことは、崩壊規模にばらつきがあることが、判別分析の精度に及ぼしている影響は小さいと考えられる。すなわち、崩壊規模の分布を考慮しても、地震による斜面崩壊発生危険度評価の精度が急激に向上することはないと考えられる。

項目名：崩壊規模別(全部)

	データ数 (箇所)	平均値	標準偏差	最小値	最大値
全数	550	0	1.08	-4.2	2.17
5m以下	65	0.54	0.75	-2.46	1.89
10m未満	103	0.35	0.86	-2.42	1.96
11m以上	66	0.42	0.8	-2.67	2.17
未記入	41	0.31	0.82	-1.69	1.61

レンジ区分		全数 (メッシュ) ①	非崩壊メッシュ (%) ②	崩壊メッシュ数				崩壊発生率(カテゴリ別)		
				5m以下 ③	10m以下 ④	11m以上 ⑤	未記入 ⑥	5m以下(%) ③/①	10m以下(%) ④/①	11m以上(%) ⑤/①
1	-4.5 ~ -4	1	1	0	0	0	0			
2	-4 ~ -3.5	2	2	0	0	0	0			
3	-3.5 ~ -3	8	8	0	0	0	0			
4	-3 ~ -2.5	5	4	0	0	1	0			20.0
5	-2.5 ~ -2	19	16	1	2	0	0	5.3	10.5	
6	-2 ~ -1.5	12	11	0	0	0	1			
7	-1.5 ~ -1	43	32	1	5	2	3	2.3	11.6	4.7
8	-1 ~ -0.5	55	34	3	9	4	5	5.5	16.4	7.3
9	-0.5 ~ 0	91	58	6	18	8	1	6.6	19.8	8.8
10	0 ~ 0.5	119	49	19	20	21	10	16.0	16.8	17.6
11	0.5 ~ 1	111	34	19	24	18	16	17.1	21.6	16.2
12	1 ~ 1.5	64	22	11	20	8	3	17.2	31.3	12.5
13	1.5 ~ 2	18	4	5	5	2	2	27.8	27.8	11.1
14	2 ~ 2.5	2	0	0	0	2	0			100.0
14	2.5 ~ 3	0	0	0	0	0	0			
合計		550	275	65	103	66	41			

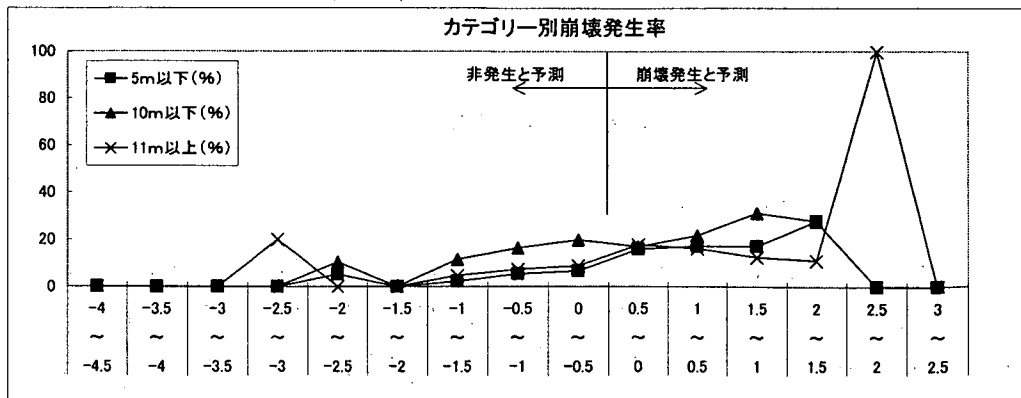
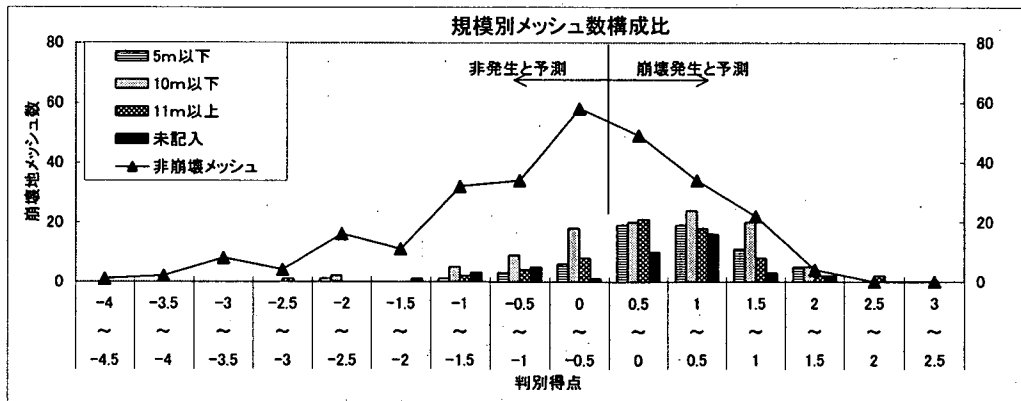


図 A7.2 崩壊規模別の判別得点ヒストグラム(住吉川エリアの判別得点式を用いた場合)

## 資料 8 判別関数の関数形の検討

崩壊・非崩壊の分離に際し、線形でない関数を用いる方法について検討した。関数形に関しては、マハラノビスの距離による分離手法を適用し、分類正誤率が向上しているかを考察した。

### A8.1 マハラノビスの距離とは

2群以上の母集団から抽出した標本データを得て、いまどの母集団に属するか不明のサンプルデータがあるとする。このサンプルデータがどの母集団に属するか調べる方法に、判別分析がある。判別分析を実施するには、集めた標本がどの母集団に属しているのかをあらかじめ区分けしておく必要がある。区分けする方法に、線形判別式を使用する方法のほかに、マハラノビスの距離を用いる方法がある。

ここで1変量のデータA群とB群が図 A8.1 の様に分布しているとする。A群のデータは分散の大きいデータ群、B群のデータは分散の小さいデータ群である。この時所属不明のデータ $x_p$ がある時、この所属不明のデータ $x_p$ がA群、B群のどちらに所属するデータであるかを調べる。

標本	A群	B群
1	$x_{1A}$	$x_{1B}$
2	$x_{2A}$	$x_{2B}$
...	...	...
n	$x_{nA}$	$x_{nB}$
平均	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$

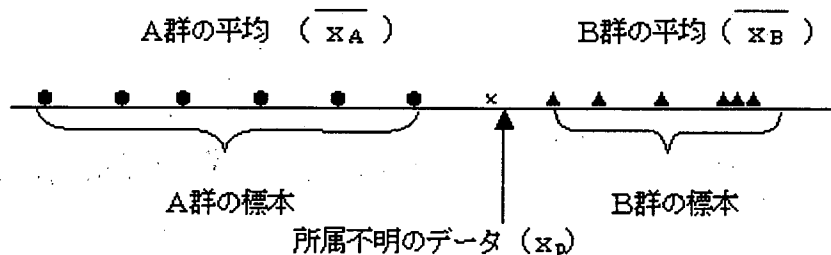


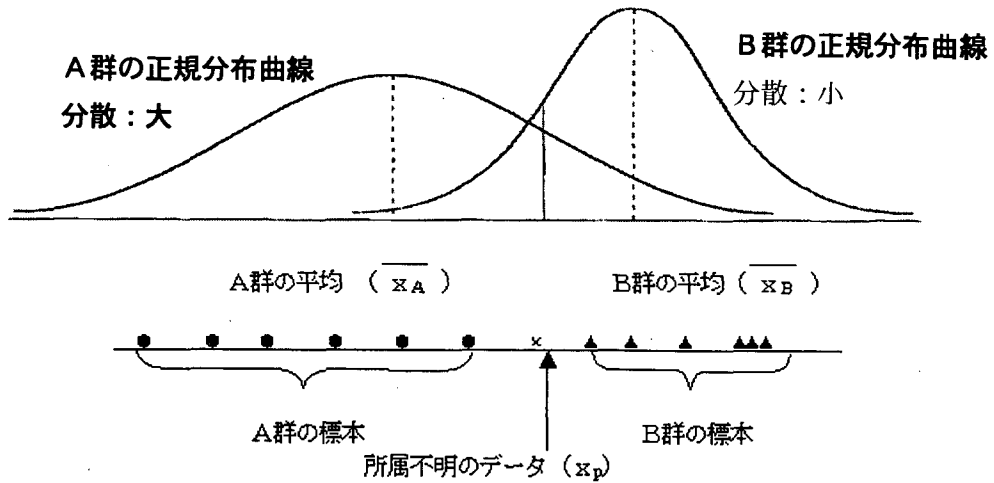
図 A8.1 1変量のデータの分布

単純に $x_p$ からそれぞれの群の中心までの距離を見ると、

$$|x_p - \bar{x}_A| > |x_p - \bar{x}_B|$$

となり、明らかにこの $x_p$ はB群の中心に近い。このため、この $x_p$ はB群のデータであるように思える。しかしA群は分散の大きいデータ群であり、B群は分散の小さいデータ群である。この分散を考慮しないで、単純に距離だけでどちらの群に所属するのかを判断することはできない。この分散を考

慮した距離が「マハラノビスの距離」である。



1変量時のマハラノビスの距離を $D^2$ とすると、

$$D^2 = \left( \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \right)^2 \quad \sigma : \text{標準偏差}$$

となる。このようにマハラノビスの距離では、分散の大きいデータほど小さくなり、逆に分散の小さいデータほどマハラノビスの距離は大きくなる。つまりマハラノビスの距離が等しければ、確率的には等しい位置にあることになる。

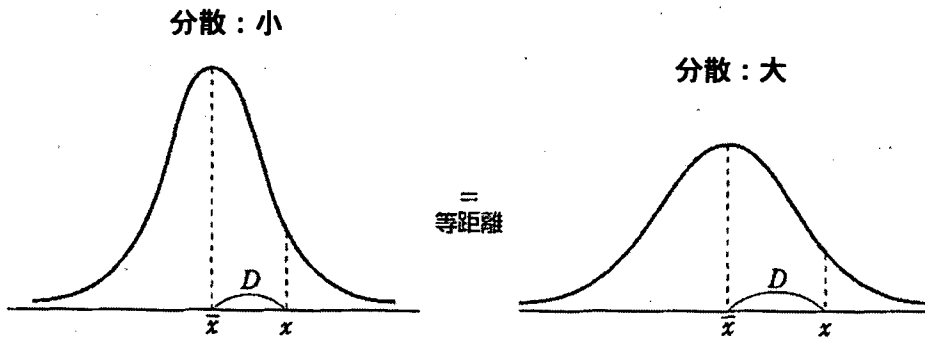


図 A8.3 マハラノビス距離と確率の関係

A群の平均を  $\bar{x}_A$  ・分散を  $S_A^2$ 、B群の平均を  $\bar{x}_B$  ・分散を  $S_B^2$  とすると、所属不明データ  $x_p$  から、それぞれの群へのマハラノビスの距離を求めると

①  $x_p$  からA群へのマハラノビスの距離  $D_A^2$  は

$$D_A^2 = \left( \frac{x_p - \bar{x}_A}{S_A} \right)^2$$

②  $x_p$  からB群へのマハラノビスの距離  $D_B^2$  は

$$D_B^2 = \left( \frac{x_p - \bar{x}_B}{S_B} \right)^2$$



ここで、 $DA^2 < DB^2$  であれば  $x_p$  は A 群に近く、逆に  $DA^2 > DB^2$  であれば  $x_p$  は、B 群に近いと判別する。

## A8.2 マハラノビスの距離による判別の結果

住吉川流域でのデータを利用してマハラノビスの距離を算出し、判別予測した。なお、判別分析に用いる非崩壊メッシュのデータは、資料 6、7 と同様に、非崩壊メッシュの中から崩壊メッシュ (275 箇所) と同数のメッシュをランダムにサンプリングした。

表 A8.1 マハラノビス距離を用いた判別の結果

			マハラノビス距離による予測		合計
			非崩壊	崩壊	
実 際 の 崩 壊	度数	非崩壊	163	112	275
		崩壊	65	210	275
	パーセント	非崩壊	59.3	40.7	100
		崩壊	23.6	76.4	100
	合計		228	322	550

分類正誤率: 67.8 (%)

線型判別得点式から得られた結果およびマハラノビス距離から判定した結果とを比較した (表 A8.1)。その結果、①マハラノビス距離を利用しても、崩壊・非崩壊の判別の難しいデータがあり、精度向上の結果は得られないこと、②他地域への適応を考慮した場合、マハラノビス距離を算出する方法では、重心からの距離により所属を分類するため、過去に崩壊が発生したことがない地域には適応が難しいこと、③実際の崩壊分布をみても、勾配、平均曲率および加速度の独立変数 (3.3 および 3.4 参照) だけでは分離が難しいことから、これ以上の精度の向上は難しいと考えられる。

## 参考資料 多変量解析と判別分析

ここでは、「図解でわかる多変量解析 涌井良幸ほか 2001 (株)日本実業出版社」及び「すぐわかる統計用語 石村貞夫 1997 東京図書株式会社」を参照し、多変量解析及び判別分析の概要を説明する。

### 1. 多変量解析について

多変量解析とは複数の変数に関するデータをもとにして、これらの変数間の相互関連を分析する統計的手法の総称である。代表的な2つの方法として、「一つの変数を複数の変数で予測・説明・判別する」方法と、「複数の変数間の関係性を探る方法」がある。前者は独立変数(説明変数)と従属変数(基準変数, 目的変数)が存在し後者には存在しないが、今回の解析のように説明されるべき変数(地震時崩壊の発生・非発生)とそれを説明する変数(地形量, 地震動など)が存在する場合は前者に相当する。

さらに、それらの変数が質的データであるか量的データであるかにより手法が分類される(表 R1 参照)。量的データと質的データが混在する場合には、量的データをカテゴリ区分し質的データと見なすのが一般的である。

表 R1 多変量解析の手法

		基準変数	
		量的データ	質的データ
説明変数	量的データ	重回帰分析	判別分析
	質的データ	数量化Ⅰ類	数量化Ⅱ類

### 2. 判別分析による地形量の絞り込み

判別分析では、式 R1 に示すように説明変数に係数をかけ足し合わせた和が、2つのグループで、できるだけ異なるように係数を決定する。すなわち、図 R1 に示すように仮に説明変数が2つとした場合、説明変数をそれぞれ軸にとり、散布図を作成した場合に、2つのグループをできるだけうまく分離する直線Lを決定することに相当する。

$$Z = a_1x_1 + a_2x_2 + a_0 \quad \text{式 R1}$$

Z: 判別得点

$a_n$ : 判別関数係数

$x_n$ : 説明変数

$$r = \frac{|a_1x_1 + a_2x_2 + a_0|}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}}$$

式 R2

r: 境界線からの距離

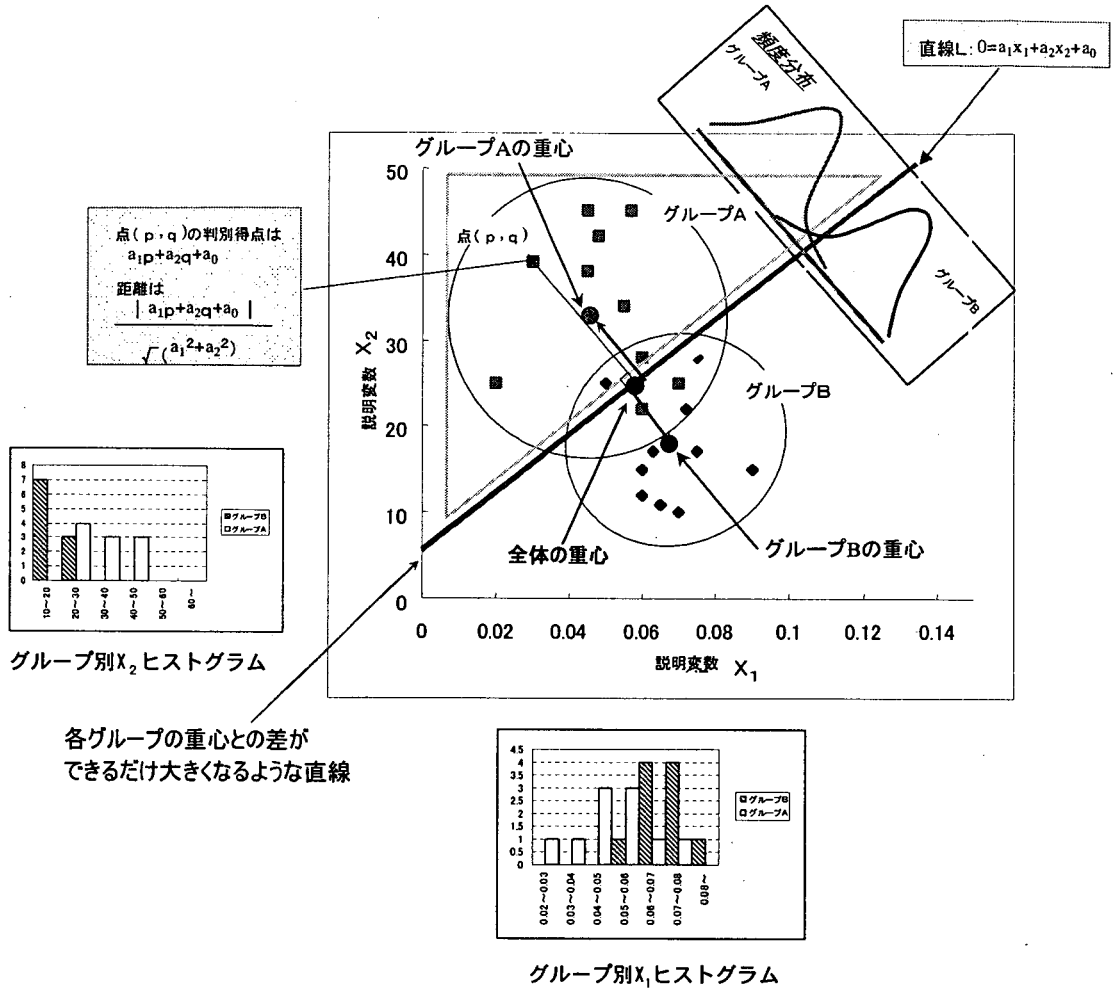


図 R1 判別分析の考え方

この際、 $a_1 < 0$ 、 $a_2 > 0$ とすると、図 R1 に示す直線より右下の領域は判別得点が負、直線より左上の領域は判別得点が正で示されるが、判別分析では判別得点が正の場合をグループA、判別得点がBの場合をグループBと判断する。なお、各点から直線Lまでの距離は、式 R2 で表されるため、判別得点は各点がグループの境界線(直線L)からどの程度離れているかを示していると考えてよい。

さらに、判別分析の結果、実際のグループAの個数を $N_1$ 、判別分析の結果崩壊であると分類されたグループAの個数を $N_2$ とし、その割合を計算したもの( $N_2/N_1$ )をグループAの分類正誤率(正答率)といい、グループBについても同様である。

また、判別関数係数の大きさは判別得点、すなわち直線L1からの距離に大きく寄与するため、判別により重要な変数であると考えられる。ただし、通常要因として与えるx1, x2の単位が異なる、すなわち軸の取り方のスケールが異なり、直接係数を比較することができない。そこで、係数を比較可能とするためには、全てのデータを標準化して判別分析を行う必要がある。データを標準化した場合の判別関数係数を標準化された正準判別関数係数とよび、この値を比較することにより変数の重要性を比較することができる。

なお、本研究では判別分析には SPSS Inc.製の統計用ソフト『SPSS』を利用した。

※ 分類正誤率(判別的中率または正答率)とは・・・

判別分析では 2 つのグループのどちらに属するか不明な灰色の領域にあるデータの判別が可能になりますが、当然判断ミスも伴う。そこで、分類正誤率という指標により、どのくらいの判断ミスがあるのかが把握できる。なお分類正誤率を判別的中率または正答率と呼ぶ文献もある。

分類正誤率は次のように定義される。

$$\text{分類正誤率} = \frac{\text{正しく判別されたデータの個数}}{\text{全データの個数}}$$

なお、本研究では以下の表のように整理した。

		判別式による予測		合計	
		崩壊なし	崩壊あり		
実際の崩壊	度数	崩壊なし	①	②	⑤=①+②
		崩壊あり	③	④	⑥=③+④
	%	崩壊なし	⑦=①/⑤	⑧=②/⑤	⑦+⑧
		崩壊あり	⑨=③/⑥	⑩=④/⑥	⑨+⑩

元のグループ化されたケースのうち分類正誤率:(①+④)/(⑤+⑥)% 個が正しく分類されました。

: 正判別  
 : 誤判別

※ 標準化された正準判別関数係数とは・・・

データを標準化してから判別分析を行い、各説明変数の相関係数が最大となるように判別関数係数を算出したもの。つまり、本研究で言えば、説明変数の単位の影響を受けずに崩壊発生への寄与率を把握できる。具体的には、

標準化された判別関数係数 = 標準化されていない判別関数係数 × 標準偏差  
で求める