

斜面崩壊の要因と降雨の関係 ～要因の重回帰分析～

- ▶ 1. 背景
- ▶ 2. 研究の目的
- ▶ 3. 方法
- ▶ 4. データの収集と重回帰分析
- ▶ 5. 検証(重回帰分析での結果の信頼性)
- ▶ 6. まとめ

今野隆彦 (有) ジオプランニング

牡鹿半島での斜面崩壊



豪雨で崩壊したコバルトラインの切土斜面 (詳細な発生時刻は不明、降雨量は約230mm)

1. 背景

豪雨によって発生した斜面崩壊の研究は、素因としての地形・地質、風化程度などにより研究が行われてきた。

これまでの研究では、崩壊発生時刻の正確なデータが得にくく、降雨条件と素因・誘因に関するパラメータの関係がわかりにくかった。

牡鹿半島地区では、中・古生層の亀裂性の岩盤が分布し、これまで、多くの斜面崩壊が発生している。

今回、1980年から2008年までの発生時間のわかっているデータを入手できたので、雨量と崩壊のパラメータの関係を重回帰分析で求めた。

2. 研究の目的

斜面崩壊（がけ崩れ）のハザードマップ作成のため、
亀裂性岩盤の切土斜面を対象として、重回帰分析に
よって、亀裂性岩盤の切土斜面の崩壊要因の関係を
明らかにする。

3. 研究の方法

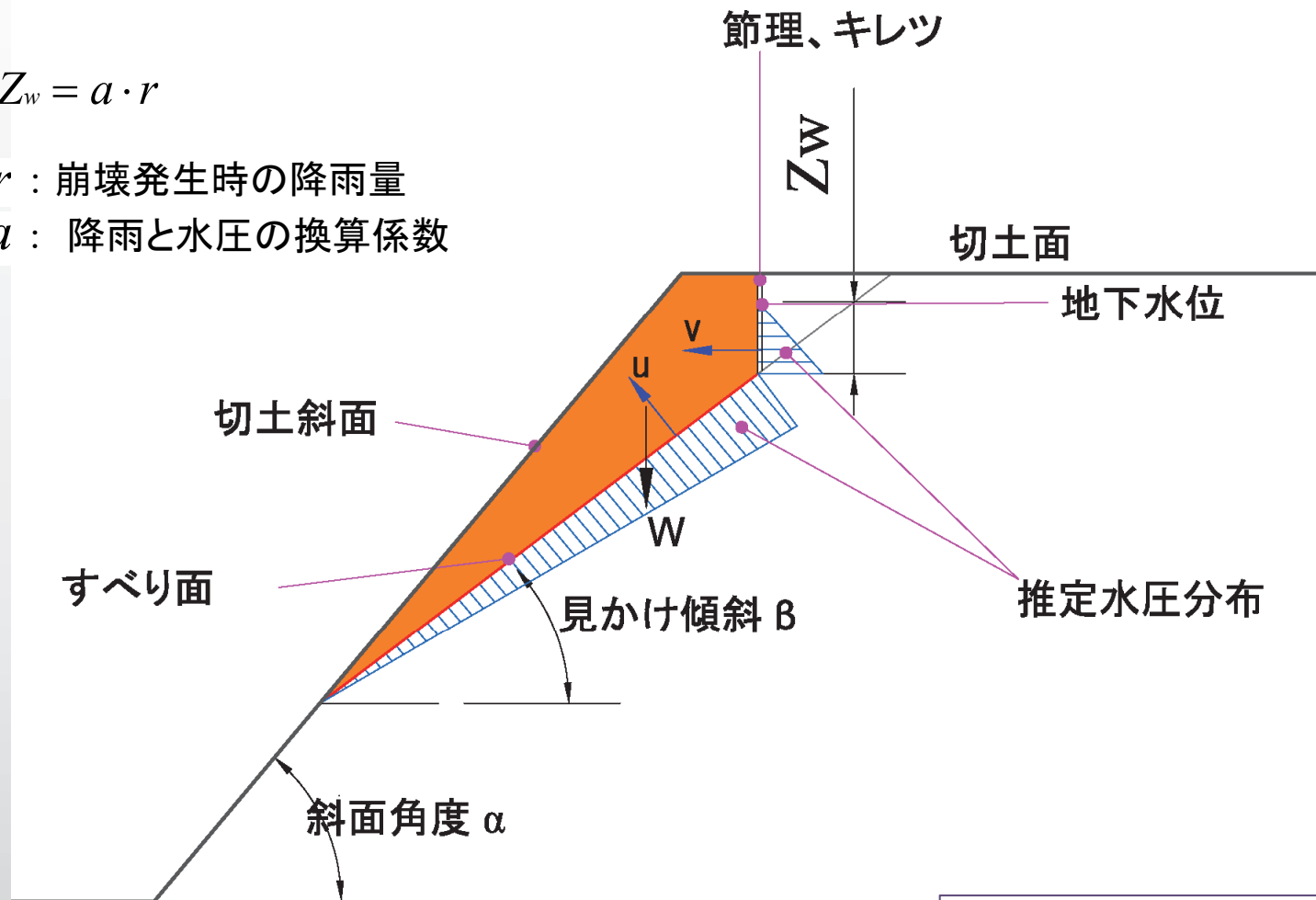
- ▶ 1. 斜面の安定に関する理論的な式から崩壊要因を抽出する。(斜面の傾斜、すべり面の傾斜、岩盤の強度、変形係数の関数として)
- ▶ 2. データの収集と整理
(定性的データを定量的なデータに変換する)
- ▶ 3. 重回帰分析による要因の相関を求める。
(相関式の提案)

3.1 平面すべりのモデル

$$Z_w = a \cdot r$$

r : 崩壊発生時の降雨量

a : 降雨と水圧の換算係数



Hoek & Bray(1983)に加筆

3.2 崩壊パラメータの抽出

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \cdot \tan \phi}{W \sin \beta + V \cos \beta} \quad (1)$$

F : 安全率

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角($^{\circ}$)

σ : 岩盤の一軸圧縮強度

σ_c : 岩片の一軸圧縮強度

ε : ひずみ

E : 岩盤の変形係数


$$c = \frac{\sigma}{2} \cdot \tan(45 - \phi/2) \quad (2)$$

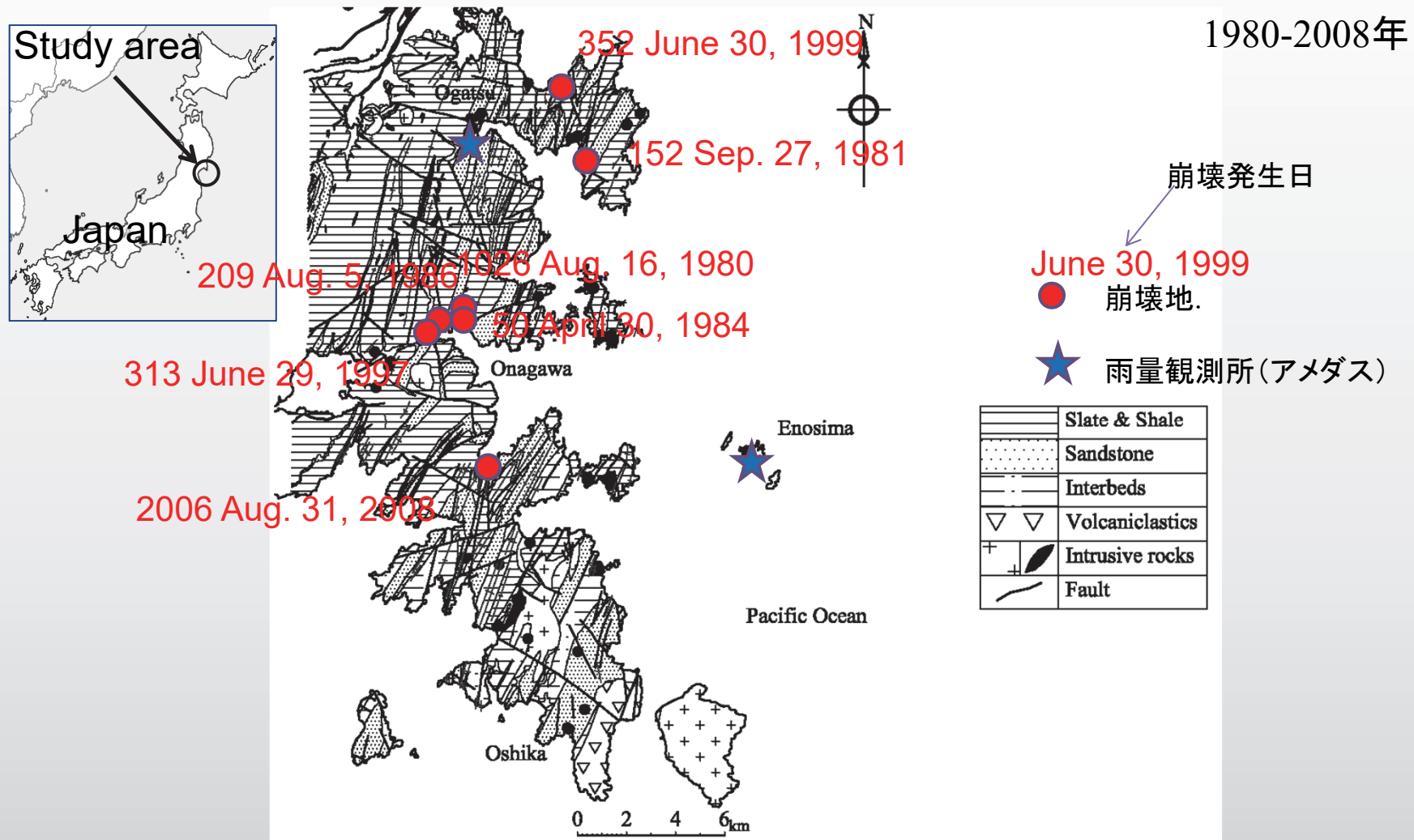
$$\sigma \propto \sigma_c \quad (3)$$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (4)$$

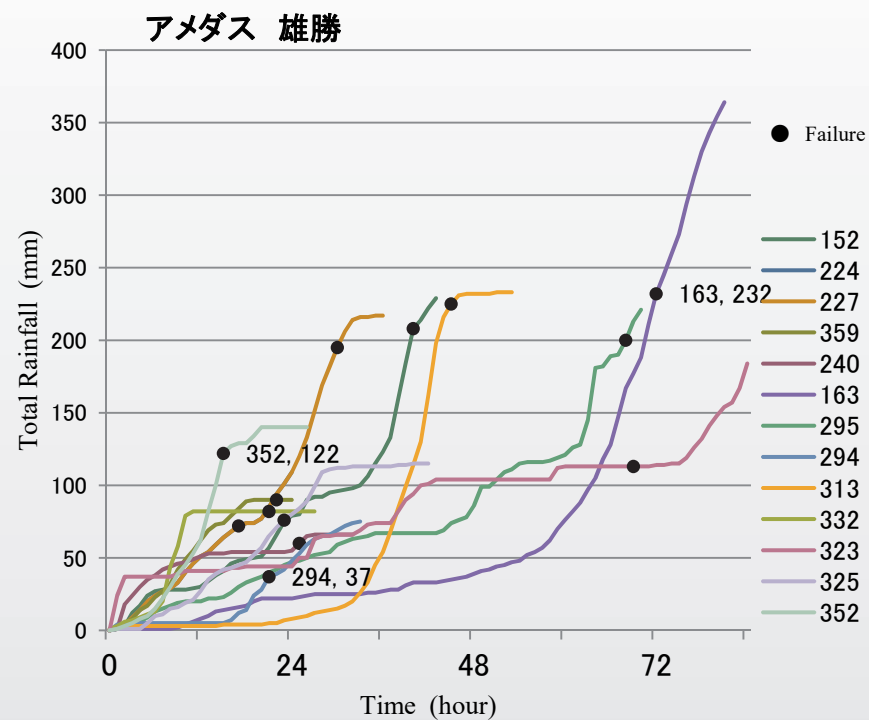
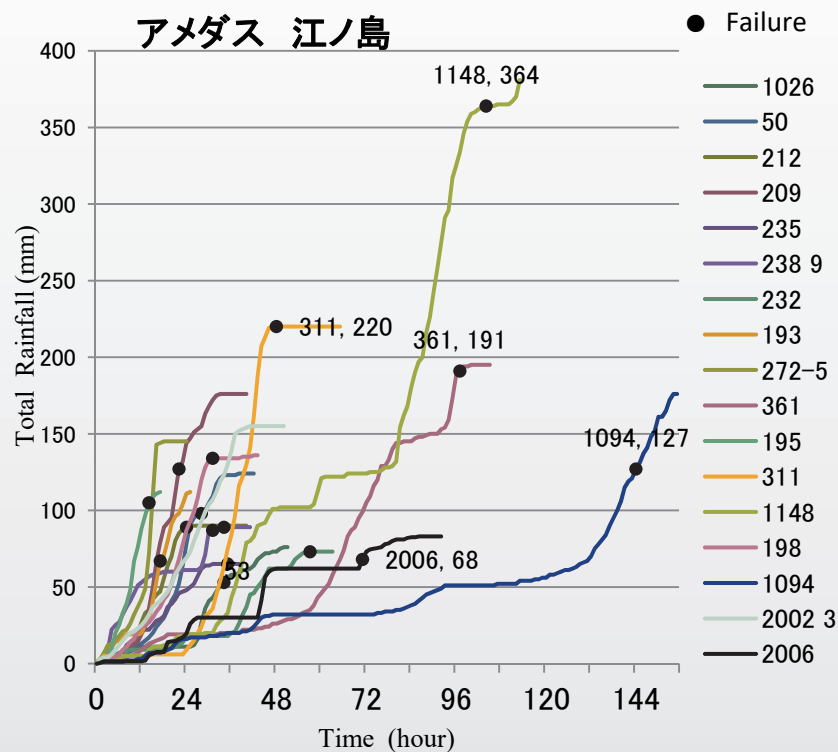
$$r = f_T(\cot \alpha, 1/\sin \beta, \sigma_c, E) \quad (5)$$

4. データ収集と重回帰分析

4.1 崩壊地の分布と地質



4.2 崩壊地と降雨データ



合計雨量: 無降雨24時間後の降雨で、
崩壊発生までの合計

4.3 崩壊地データ

崩壊地特性

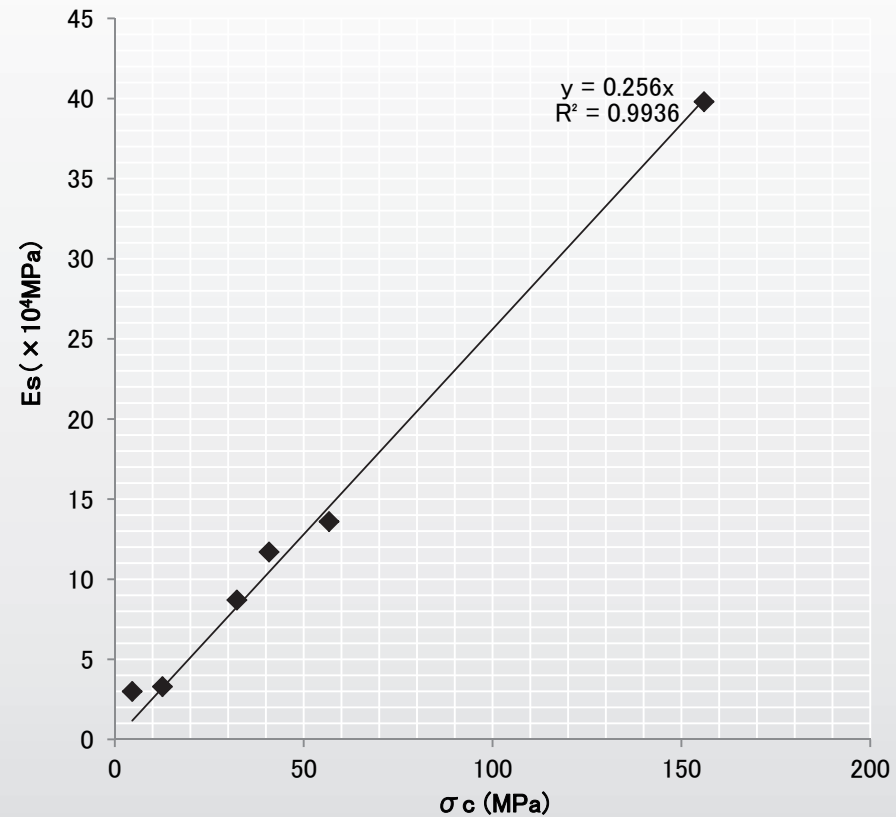
崩壊地	高さ (m)	幅 (m)	岩質	硬さ ⇒ σ_c	風化度 ⇒ E	β (°)	α (°)	崩壊時雨量 (mm)
152	30	20	sandstone	S	SW	15	50	208
352	15	3	shale	S	W	51	55	122
50	10	10	shale	VS	W	34	60	99
209	10	10	shale	MH	W	15	60	127
1026	15	10	alteration	S	W	50	60	53
311	20	10	shale	MH	RF	27	60	220
2006	6	6	sandstone	MH	W	59	70	68
平均	15.1	9.9				36	59	128

硬さと風化の区分

項目	分類	特徴
硬さ	H	強打数回で割れる
	MH	1回の強打で割れる
	S	ハンマー軽打で割れる
	VS	手で壊れる
風化度	F	新鮮
	RF	亀裂沿いに風化
	W	岩片内部まで風化
	SW	土砂化

CRIEPI(1992) and Hashimoto (1992)に準じた

4.4 指標としたサイトでの室内岩石試験結果



4.5 外部指標と定量化した解析データ

硬さの外部指標

岩質	硬さ	岩盤分類	硬さの指標 (MPa)	σ_c	記 事
砂岩	MH	CM"	40		
	S	CL"	12		
	VS	D"	3.7		外挿(CL"×0.3)
頁岩・互層	MH	CM"	32		
	S	CL"	9.6		外挿 (CM"×0.3)
	VS	D"	2.9		外挿 (CL"×0.3)

風化の外部指標

岩質	風化	岩盤分類	風化指標 (10MPa)	E	記 事
砂岩	RF	CM	50		
	W	CL	14		外挿(CM×0.28*)
	SW	D	7		外挿 (CL"×0.5)
頁岩・互層	RF	CM	70		岩石試験の結果で 外挿
	W	CL	14		砂岩と同等
	SW	D	7		砂岩と同等

解析データ(定量化)

No	降雨量比 r/r_m	硬さ指標 σ_c (MPa)	風化度指標 E (10MPa)	見かけ傾斜 ($1/\sin\beta$)	斜面傾斜 ($\cot\alpha$)
152	1.623	12.0	4.2	3.864	0.839
352	0.952	9.6	14.0	1.287	0.700
50	0.773	2.9	14.0	1.788	0.577
209	0.991	32.0	14.0	3.864	0.577
1026	0.414	9.6	14.0	1.305	0.577
311	1.717	32.0	70.0	2.203	0.577
2006	0.531	40.0	14.0	1.167	0.364
平均	1.000	19.7	20.6	2.211	0.602
標準偏差	0.547	14.1	20.3	1.259	0.235

*比は岩石試験の値を採用

硬さおよび風化の外部指標はHashimoto(1992)を修正、外挿

4.6 データの対数化

データNo.	降雨量比 r/r_m	硬さ指標 $\sigma_c(\text{MPa})$	風化指標 $E(10\text{MPa})$	見かけ傾斜 $(1/\sin\beta)$	斜面傾斜 $(\cot\alpha)$
152	0.48	2.48	1.44	1.35	-0.18
352	-0.05	2.26	2.64	0.25	-0.36
50	-0.26	1.06	2.64	0.58	-0.55
209	-0.01	3.47	2.64	1.35	-0.55
1026	-0.88	2.26	2.64	0.27	-0.55
311	0.54	3.47	4.25	0.79	-0.55
2006	-0.63	3.69	2.64	0.15	-1.01
平均	-0.12	2.67	2.70	0.68	-0.53
標準偏差	0.49	0.87	0.76	0.47	0.24

4.7 崩壊時の降雨とパラメータ

- ▶ 式(6)はある崩壊の発生雨量と崩壊パラメータの関係を推定したものである。

$$r = A_0 \cdot x_1^{m_1} \cdot x_2^{m_2} \cdots x_n^{m_n} \quad (6)$$

r : 崩壊発生時の降雨量

x_n : 崩壊のパラメータ

m_n : 指数

A_0 : 定数

- ▶ 崩壊時の雨量とパラメータの関係

$$\begin{aligned} r &= A_0 x_1^{m_1} \cdot x_2^{m_2} \cdot x_3^{m_3} \cdot x_4^{m_4} \\ &= f_T(\cot \alpha, 1/\sin \beta, \sigma_c, E) \end{aligned} \quad (7)$$

4.8 重回帰分析結果と崩壊時の降雨量推定式

重回帰分析結果

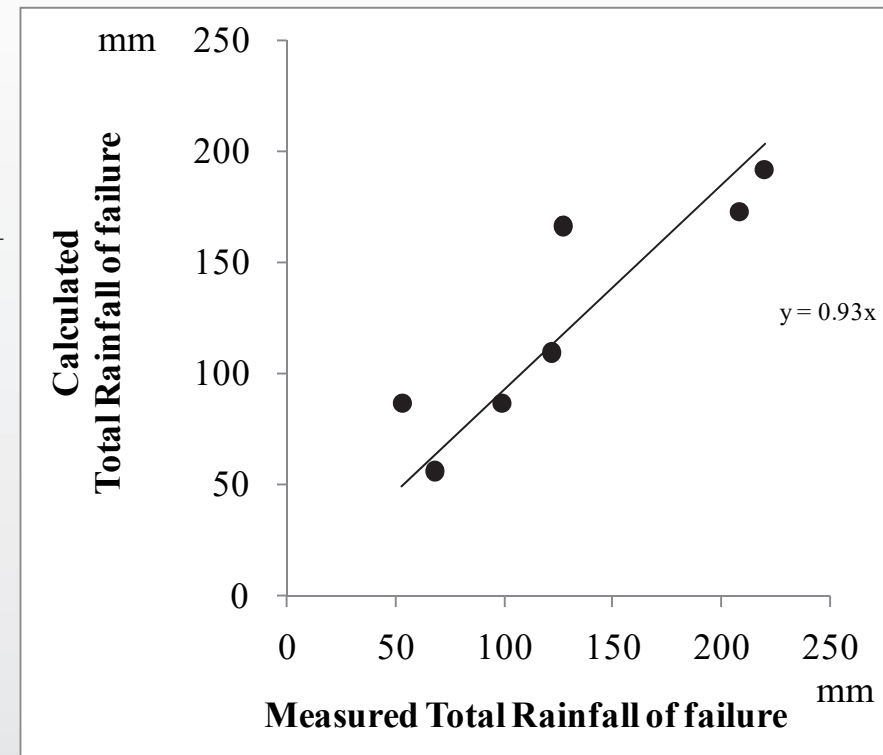
R	R ²	σ_c	E	$1/\sin \beta$	$\cot \alpha$
0.86	0.74	0.13	0.25	0.46	1.23

$$r = 59 \cdot \sigma_c^{0.12} \cdot E^{0.24} \cdot (1/\sin \beta)^{0.45} \cdot \cot \alpha^{1.23}$$

α, β : 度

σ_c : MPa

E : 10MPa



計算した降雨量と実際の降雨量の比較

5. 検証（重回帰分析での結果の信頼性）

- ▶ 提案式は本当に使えるのか？使用データが少ない・・・
- ▶ 理論的に証明できるか？
- ▶ 主な、パラメータの検証⇒ 斜面傾斜 α 、見かけ傾斜 β

$$r/r_m = A_1 \bullet \cot \alpha^{ma} \quad ma \doteq 1.23$$

または

$$r/r_m = A_2 \bullet (1/\sin \beta)^{mb} \quad mb \doteq 0.45$$

となるか？

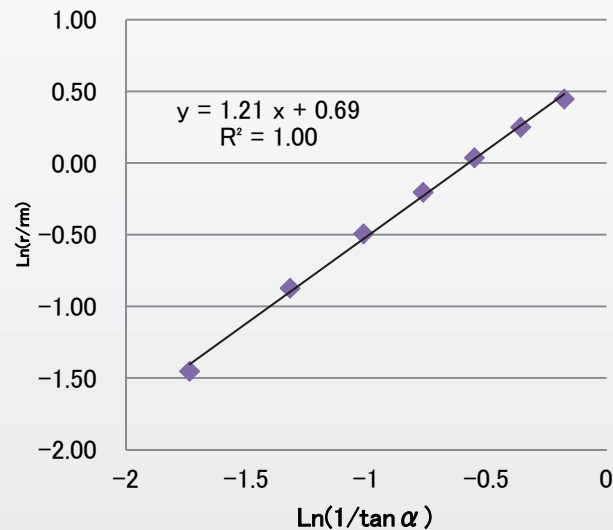
5.1 検討条件

- ▶ 1. できるだけ実際に近いモデルで検証する
- ▶ 2. 実際の崩壊地の平均的なモデルを採用
- ▶ 3. 今回の7か所の平均は下表に示す。

崩壊地No.	高さ(H)	幅(m)	斜面傾斜(α)	見かけ傾斜(β)
152	30	20	50	15
352	15	3	55	51
50	10	10	60	34
209	10	10	60	15
1026	15	10	60	50
311	20	10	60	27
2006	6	6	70	59
平均	15.1	9.9	59.3	35.9

5.2 斜面傾斜 α の検討

降雨比(r/r_m)と傾斜 α



計算条件(1)

斜面高さH(m)	16
引張亀裂Z(m)	4
内部摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)	18
すべり面の一軸圧縮強度 σ_c (kPa)	180
間隙水圧換算係数a	2

計算条件(2)

斜面傾斜 α の変化範囲($^{\circ}$)	50~80
見かけ傾斜 β ($^{\circ}$)	48

$$Y = 1.21X + 0.69$$

$$r/r_m = 1.99 \cdot \cot \alpha^{1.21}$$

$$r = 255 \cdot \cot \alpha^{1.21}$$

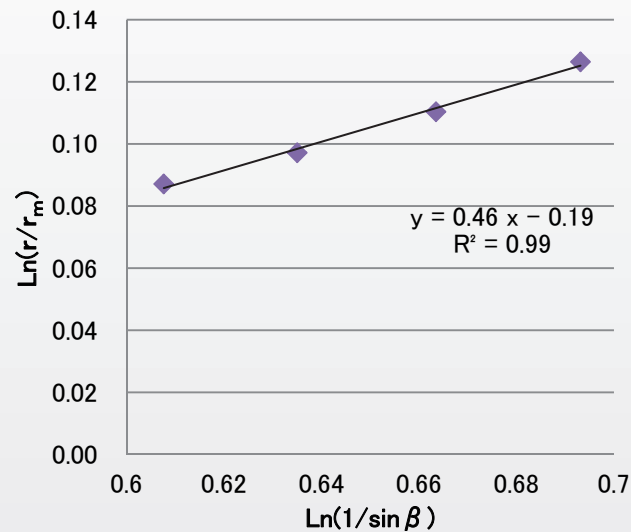
$$ma \doteq 1.23$$

斜面傾斜と崩壊降雨量

α ($^{\circ}$)	r(mm)
50	206
55	166
60	131
65	101
70	75

5.3 見かけの傾斜 β の検討

降雨比(r/r_m)とすべり面傾斜 β



計算条件(1)

斜面高さH(m)	16
引張亀裂Z(m)	4
内部摩擦角 ϕ (°)	18
すべり面の一軸圧縮強度 σ_c (kPa)	180
間隙水圧換算係数a	2

計算条件(2)

斜面傾斜 α (°)	53
見かけ傾斜の変化範囲(°)	30~33

$$Y = 0.46X - 0.19$$

$$r/r_m = 0.98 \cdot (1/\sin \beta)^{0.46}$$

$$r = 128 \cdot (1/\sin \beta)^{0.46}$$

見かけ傾斜と崩壊降雨量

$$mb \doteq 0.45$$

β (°)	r (mm)
15	238
20	210
25	190
30	176
35	165
40	157
45	150
50	145

6. 結論

- ▶ ①理論的な安定計算式から崩壊のパラメータを抽出した。(降雨量、斜面傾斜、すべり面の見かけ傾斜、風化度、硬さ)
- ▶ ②入手可能な発生時間の明瞭なデータで、重回帰分析を行った。
- ▶ ③牡鹿半島での線型対数重回帰分析の重相関係数は0.86と高い相関を得た。
- ▶ ④次式で崩壊時の降雨量を予測できることがわかった。

$$r=59 \cdot \sigma_c^{0.12} \cdot E^{0.24} \cdot (1/\sin \beta)^{0.45} \cdot \cot \alpha^{1.23}$$

- ▶ ⑤主なパラメータの指数は、モデル計算で妥当性が裏付けられた。

ご清聴ありがとうございました。