# 47. 亀裂性岩盤切土斜面の崩壊要因〜牡鹿半島を例にして〜

Factors contributing an artificial cutting slope on the jointed bedrock Case study in the Oshika Peninsula

### 1. はじめに

岩盤斜面に限らず、崩壊の研究はこれまで多くの研 究者によってなされてきた<sup>1)</sup>。近年、豪雨災害が多く 発生して、そのソフト対策として警戒・避難のための ハザードマップが作成されつつある。このための研究 も進んでおり、地形や地質に着目した危険地マップが 作成されたり、降雨の閾値で斜面崩壊の予測を行う<sup>2)</sup> など、積極的な研究が続けらている。しかしこれまで の研究では、発生時間が不明なデータが多く、崩壊要 因と降雨についての詳細な検討がなされていない。

ここでは発生時間の明瞭な斜面崩壊のデータを用 いて、理論的な安定計算式から斜面崩壊のパラメータ を抽出し、重回帰分析して、崩壊時の降雨を予測する 式を紹介する.

## 2. 研究の手順

本研究の対象地は、宮城県石巻市及び女川町で、牡 鹿半島地区である。宮城県内では仙台市に次ぐ崩壊の 発生地である。このうち、崩壊時刻がわかっている 1980年~2008年までの7か所のデータを本研究の対象 とした。

研究は以下の手順で行った。

①斜面の安定計算式から崩壊要因を抽出
 ②データの収集と整理
 ③重回帰分析による崩壊時の雨量に関する崩壊要因の
 相関を求める

#### 3. 理論式からの崩壊要因の抽出

節理などの不連続面を有する斜面崩壊は平面すべり や、クサビすべりのような、不連続面をすべり面とし て発生することが知られている<sup>3)</sup>。今回は、簡単化す るため、平面すべりで考えることとする。

平面すべりの概念図を図-1に示す。平面すべりの安全 率は次式で与えられる。

F	$c \cdot A + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \cdot \tan \phi$	(1)
<b>r</b> =	$W \sin\beta + V \cos\beta$	(1)

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

 $\sigma \propto \sigma_c$ 

 $\sigma = \varepsilon \cdot E \tag{3}$ 

○今野隆彦・有働恵子・真野 明(東北大学)Takahiko Konno, Keiko Udo, Akira Mano

ここに、F;安全率、C;粘着力、Ø;内部摩擦角、G; 岩盤の一軸圧縮強度、G。;岩片の一軸圧縮強度、E;ひ ずみ、E;岩盤の変形係数

簡便化のため、引張亀裂中の水圧 V=0 として、式(1) ~(4)から崩壊時の降雨 r は斜面の傾斜  $\alpha$ 、すべり面の (見かけの)傾斜  $\beta$ 、岩片の一軸圧縮強度  $\alpha$  および岩 盤の変形係数 Eの関数として次式のように表される。

 $r=f_{T}(\cot\alpha, 1/\sin\beta, \sigma_{c}, E)$ 

(5)



図-1 平面すべりの概念図

#### 4. データの収集と整理

対象とした崩壊の位置を図-2に示す。降雨量はアメ ダスの雄勝、江ノ島のデータを使用した。

牡鹿半島は、南部北上山地の南端部に位置し、 NNE-SSW の軸を持つ褶曲、断層が分布し、北部~南 部に二畳系~白亜系の堆積岩類(頁岩、砂岩、互層) が分布する<sup>4)</sup>。当地区の崩壊は、節理面、層理面など がすべり面となって発生する平面すべりや、クサビ型 が多い。

表-1 に崩壊地データを示す。崩壊時降雨は 24 時間 無降雨後から崩壊時までの1時間雨量の合計値である。

表-1 崩壊地データの特性

崩壊地 No.	発生日	時刻	高さ(m) 🕯	Ē (m)	岩質	硬さ	風化度	見かけ傾斜 (°) β	斜面傾斜 (°) <b>(</b>	崩壞時降雨 量(mm)
152	1981/9/27	1:45	30	20	砂岩	S	SW	15	50	208
352	1999/6/30	13:00	15	3	頁岩	S	W	51	55	122
50	1984/4/30	10:00	10	10	頁岩	VS	W	34	60	99
209	1986/8/5	6:00	10	10	頁岩	MH	W	15	60	127
1026	1980/8/16	6:30	15	10	互層	S	W	50	60	53
311	1997/6/29	5:30	20	10	頁岩	MH	RF	27	60	220
2006	2008/8/31	3:00	6	6	砂岩	MH	W	59	70	68
平均			15.1	9.9				36	59	128



図-2 崩壊地分布図

岩片の硬さと風化度は定性的なデータであり、外部 指標で定量化した。外部指標としたデータは、 Hashimoto(1992)<sup>5)</sup>をもとに、岩質を砂岩と頁岩・互層 の2区分し岩石試験結果等を参考に外挿して採用した。 外部指標を表-2に示す。

岩質	硬さ	硬さ指標 <i> </i>	風化度	風化度指標 E (10MPa)
	MH	40	RF	50
砂岩	S	12	W	14
	VS	3.7	SW	7
ヨビケント	MH	32	RF	70
貝石やよ	S	9.6	w	14
0.可喝	VS	2.9	SW	7

表-2 硬さと風化度の外部指標

## 5. 重回帰分析

豪雨に関係する斜面崩壊の要因は経験的に、次式の ように推定される。

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

ここに、 $x_n$ ;崩壊のパラメータ、 $m_n$ ;指数、 $A_0$ :定数 前出の式(5)から4個のパラメータ(斜面傾斜、すべり 面の見かけ傾斜、岩片の硬さ、岩盤の変形係数)が対 応することがわかる。次に崩壊時の雨量を目的変数と した対数線型重回帰分析を行った。

この結果、重相関係数は 0.86 であり、次の回帰式が得られた。

$$r=59 \cdot \sigma_c^{0.12} \cdot E^{0.24} \cdot (1/\sin\beta)^{0.45} \cdot \cot\alpha^{1.23}$$
(7)

ここに、 $\alpha,\beta$ ; 度、 $\sigma_e$ ; MPa、 E; 10MPa

回帰式から得られた崩壊時の降雨量と、実際の降雨 量を比較して図-3 に示す



図-3 計算した降雨量と実際の降雨量の比較

#### 6.まとめ

①理論的な安定計算式から崩壊のパラメータとして降 雨量、斜面傾斜、すべり面の見かけ傾斜、風化度、硬 さを抽出した。

②牡鹿半島における発生時間の明瞭なデータで、上記 のパラメータの重回帰分析を行った。

③対数線型重回帰分析の結果崩壊時の降雨量は次の予 測式を得た。この時の重相関係数は 0.86 と高い相関を 得た。

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

## 文献

- 1) D. J. Barnes (1958) :Landslide Types and Processes, Landslide and Engineering Practice, pp.20-47.
- 2) P. Aleotti(2004): A warning system for rainfall-induced shallow failures, *Engineering Geology*, 73:247-265.
- E. Hoek and J. W. Bray(1981):Rock Slope Engineering Revised third edition, Institution of Mining and Metallurgy, London, Spon Press, pp150-165
- 4)滝沢文教・神部信和・久保和也・秦光男・寒川旭・ 片田正人(1984):石巻地域の地質.地域地質研究 報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、103P
- 5)S. Hashimoto(1992): Rock Mass Classification of the Bedrock for Nuclear Power Plant, Rock Mass Classification in Japan Engineering Geology Special Issue, JSEG, pp.45-51