福岡県西方沖地震による斜面災害の復旧対策へのリスク分析

九州大学工学部	学生会員	○粕谷	悠紀	フェロー会員	n n	善	功企	
	正会員	陳光	済	正会員		笠間] 清	伸

<u>1. はじめに</u>

2005年3月20日(日)午前10時53分頃,地震は起きないと半ば 信じられていた福岡の地を,震度6弱の地震が襲った.震源地に近 い志賀島は,志賀島神社北地区で4箇所の斜面崩壊が発生し,崩壊 斜面の下方にある島を周回する道路は,長い期間交通止めとなって いる.本文は,斜面崩壊シュミレーションに有効な不連続変形法D DAを用いて,3ケースの規模の違う斜面崩壊の発生確率,崩壊土石 の到達範囲を推定した.その結果を用いて,それぞれのケースによ る経済損失を計算して,斜面災害リスクの評価を試みた.

<u>2. DDAによる斜面崩壊シミュレーション</u>

モデル斜面として,図-1,図-2に示すように2005年3月20日に 発生した福岡西方沖地震で被災した志賀島東側斜面(志賀海神社北地 区)を検討する.B側線の斜面を図-3に示すように4層に分けて、モ デル化した.志賀島の各土塊の粘着力と内部摩擦角を表-1に示す.¹⁾ 地質調査から斜面崩壊を地質及び地盤調査結果に基づき、想定され る3つのケース(小規模の表層崩壊、中規模の中層崩壊、大規模の深 層崩壊)に分類し、DDA を用いて、各ケースにおいて斜面崩壊シュミ レーションを行った.崩壊土砂のパラメーターは、表層崩壊は風化 土、中層破壊は亀裂風化岩、深層破壊は弱風化岩を用いた. 図-4 に は、中規模の中層破壊の場合の斜面崩壊シミュレーション結果を示 す. 次に, それぞれの土塊について, 逆計算により安全率が1とな る c と φ の組み合わせを求め、 クリティカル曲線を算出する. ただ し、水平震度(k_b)は0~0.4とし、地震発生時のみの斜面崩壊を考える ため、地下水位は考慮していない. 図-5 は、水平震度(k_b)が 0.2 の時 のクリティカル曲線で、グラフ形態は近似直線とした. 求めたクリ ティカル曲線に基づいて、繰り返し回数1000回のモンテカルロ・シ ミュレーションを行い、各層毎にその崩壊確率を評価した. ここで 用いた粘着力と内部摩擦角の平均は表-1とし、変動係数(CV)は0.3と した。求めた崩壊確率の結果を表-2に示す.そして、被害発生の誘 因を横軸に取り、縦軸に対象の脆弱性を表す指標を取って描いたフ ラジリティ曲線を図-6に示す. 求めたフラジリティ曲線から表層が 一番崩壊しやすいことが分かるが、深層の崩壊確率はほとんど0と なり、極めて崩壊しにくいことが分かった. 求まった崩壊確率と次章 で求める経済損失からリスクを計算した.



表-1 各土塊のパラメーター

L		単位	風化岩(基盤)	風化土	亀裂風化岩	弱風化岩
	粘着力:c	kPa	1,000	5	50	1,000
	内部摩擦角:¢	0	37	23	35	40
	-	-			-	



図-5 各層毎のクリティカル曲線

内部摩擦角 φ (°)

表-2 各層の崩壊確率

水平震度	表層	中層	深層
0	0.323	0.08	0
0.1	0.65	0.168	0.001
0.2	0.875	0.317	0.001
0.3	0.969	0.544	0.003
0.4	0.999	0.741	0.003

3.経済損失の推定

DDA の結果を用いて、図-4 に示す区間[A][B][C]に堆積する土砂量 を計算する.[B]区間(=6m)には道路が建設されている.被害額は、崩 壊土砂量に比例する土砂の撤去・復旧費用と道路上[B]区間に堆積す る崩壊土砂量に比例する交通迂回損失の総和として以下に示す方法で 算出する.その際に用いる被害額算出パラメーターは表-3 に示す²⁾. なお、斜面の崩壊土量の算定式として、指数関数を用いた斜面高さに よる回帰式を以下に示す。

V = 10^(0.0287 × H + 0.8347)
 (1) *V*:崩壊土砂量 *H*:斜面高さ
 a) 堆積土砂の撤去および崩壊斜面の復旧費用(*C*₁)

撤去費用,復旧費用は次式の通り崩壊土砂体積に比例する.

$$C_1 = C_{1,0} \times \frac{V}{V_0}$$
 (円) (2)

ここに, $C_{1,0}$: 崩壊土砂基準体積あたりの撤去・修復費用(円), V_0 : 崩壊土砂基準体積(m³), V: 崩壊土砂体積(m³)である.

b) 迂回に伴う時間・走行費用損失(C2)

迂回に伴う時間費用損失*C*^{*i*}, 走行費用損失*C*^{*e*}は次式で計算する. 通行止め日数*n*は,崩壊土砂体積に比例するものとする.

$$C_{2}^{t} = n \times \sum (\Delta T \times N_{m} \times A_{m}) \quad (\square) \quad (3)$$

$$C_{2}^{e} = n \times \sum (\Delta L \times N_{m} \times B_{m}) \quad (\square) \quad (4) \quad n = n_{0} \times \frac{V}{V_{0}} (\square) \quad (5)$$

ここに、 ΔT :迂回時間差(分)、 N_m :車種mの日通行台数(台/日)、 A_m :時間価値原単位(円/分・台)、 B_m :走行費用原単位(円/分・台)、 ΔL :迂回距離差(円/km)、 n_0 :基準通行止め日数(日)である.以上の 3つの損失を全て足し合わせたものを、斜面崩壊によって生じる損失 として用いる. $C = C_1 + C_2^{-t} + C_2^{-e}$ (6)

被害額の結果は,表-4に示すとおりである.経済損失は,[B]区間の 崩壊土砂体積に比例し,深層が最大になることがわかった.

c) リスクの計算

リスクは、ある被害事象iが起こる確率Piとその被害の損失Ciを 掛けることにより求まる損失期待値として定義できる.求めた斜面 災害リスクは図-7に示す.結果として、崩壊確率は表層が最大にな ったのに対し、リスクは中層が最大になることが分かった.

<u>4. おわりに</u>

DDA 解析は崩壊土石の到達距離や運動エネルギーを計算でき,斜面リスク解析に非常に有効な手法である. 今回は対象地点を志賀島東側斜面に絞って DDA 解析による斜面崩壊シミュレーションを行い,3 ケースによ る経済損失と崩壊確率の比較を行い,斜面災害のリスクを評価した.今後の課題として,計画されている復旧 対策工の妥当性が検討出来ていないため,リスクマネジメント技術を取り入れて,リスク低減の支点から対策 の有用性を定量的に導くことがあげられる.

参考文献:1) 土木学会西部支部福岡県西方沖地震被害調査団「2005 年福岡県西方沖地震被害調査報告書」, pp.79, 2005.8 2) 吉田一亮「斜面崩壊のリスクアナリシスにおける不確実性に関する研究」, 九州大学修士論文, pp.95, 2003



図-6 フラジリティ曲線

表-3 被害額算出に関するパラメーター

崩壊土砂体積(表層)	25	m ³
崩壊土砂体積(中層)	273	m ³
崩壊土砂体積(深層)	2150	m ³
交通量	2410	台/日
時間価値原単位	53.12	円/分·台
崩壊基準体積	2500	m ³
基準金額(30日)	34,000,000	円
基準停止日数	30	E
迂回距離差	5	km
迂回時間差(40km/hr)	7.5	分
走行費用原単位		
(乗用車)	15.05	円/km
(貨物)	49.75	円/km
常用貨物比率	1対1	

表-4 崩土の挙動及び被害額算出

	表層	中層	深層	単位
A(道路以下)	52.756	13.44	24.076	%
B(道路内)	14.567	5.76	6.719	%
C(道路以上)	32.677	80.8	69.205	%
A(道路以下)	13.189	36.6912	517.634	m³
B(道路内)	3.64175	15.7248	144.4585	m³
C(道路以上)	8.16925	220.584	1487.9075	m ³
停止日数	0.0437	0.188698	1.733502	日
交通遮断費用	49527.8	213857.3	1964635.6	千円
時間費用損失	41959.3	181176.9	1664411.5	千円
走行費用損失	17061.7	73671.32	676793.85	千円
被害額合計	108549	468705.5	4305841	千円

