

降雨を考慮した地震による斜面災害の復旧におけるリスク分析

九州大学大学院 学生会員○粕谷 悠紀 フェロー会員 善 功企
正会員 陳 光斉 正会員 笠間 清伸

1. はじめに

2005 年 3 月 20 日 (日) に福岡県西方沖の海底を震源とする M7.0 の地震が発生した。震源地から近い志賀島ではさまざまな地区で被害を受け、その中でも志賀海神社北地区で大規模な斜面崩壊が発生した。そのため、崩壊斜面の下方の島を周回する道路は、長い期間交通止めとなった。崩壊した斜面を構成する地層から判断すると規模の異なる 3 つの斜面崩壊が懸念されたため、本研究では、リスク分析によるアプローチから対策箇所の優先順位付けを行い、復旧対策工の妥当性をリスクの観点から検証することを目的とした。

2. 評価手法

本研究で定義するリスク(年間の損失期待値)は、被害形態 i の年間における発生確率 P_i 、 i に起因する損失の大きさ C_i とし、 $R = \sum P_i \times C_i$ と定義し、図-1 のフローに沿ってリスクアナリシスを行う。以下に、福岡西方沖地震で被災した志賀海神社北地区の斜面を対象とし、地震および降雨を誘因とした斜面崩壊のリスクを算出する。志賀海神社北地区の断面モデルは、図-2 のように 4 層構造であった。地質および地盤調査結果に基づき、表-1 のように地盤パラメーターの平均値を選定した¹⁾。すべり面は(小規模の表層崩壊、中規模の中層崩壊、大規模の深層崩壊)を想定した。崩壊形態は、すべり面を各地層の境界と想定する複合すべりとし、計算手法は、日本道路協会「道路土工のり面・斜面安定工指針」を適用した。

3. 確率分析

1) 地震による斜面崩壊フラジリティ

地盤のばらつきや不確実性を考慮して、地震による斜面の条件付崩壊確率を算出した。地盤強度のばらつきは、表-1 に示す平均値に 30%の変動係数を有する正規分布で仮定した。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し、1000 回のモンテカルロ・シミュレーションを行い、条件付崩壊確率を算出した。3 ケースの潜在崩壊規模における地震を誘因としたフラジリティ曲線を図-3 に示す。図-3 から、表層小規模崩壊の発生確率が一番大きい、深層大規模崩壊の発生確率が非常に小さいことが明らかになった。

2) 降雨を考慮した地震による斜面崩壊フラジリティ

本研究は、降雨によって地下水位が上昇することにより間隙水圧が増加し、崩壊するというプロセスを仮定した。図-2 に示す断面モデルに地表面から平行な地下水位線を想定した。解析ケースは、地下水なし、地表面から 20m 下、10m 下、5m 下および斜面全体が飽和状態とする 5 ケースを検討した。一例として、降雨を考慮した地震による中層中規模崩壊のフラジリティ曲線を図-4 に示す。図-4 から、地下水位が上昇するにつれて崩壊しやすいことがわかった。

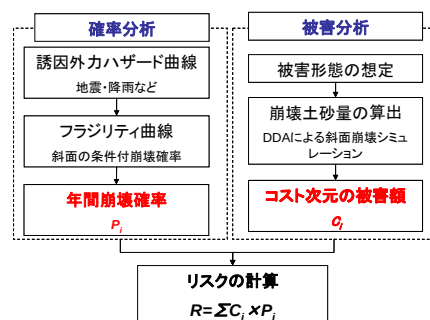


図-1 リスクアナリシスフロー

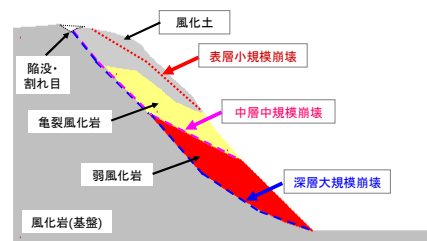


図-2 断面モデルと可能な潜在崩壊規模

表-1 地盤のパラメーター (平均値)

パラメーター	風化岩(基盤)	風化土	亀裂風化岩	弱風化岩
単位体積重量: γ_s (kN/m ³)	22	18	21	24
飽和重量: γ_{sat} (kN/m ³)	23	19	22	25
ヤング係数: E (MPa)	600	20	30	600
ポアソン比: ν	0.3	0.35	0.3	0.25
粘着力: c (kPa)	1,000	5	50	150
内部摩擦角: ϕ (°)	37	23	35	40

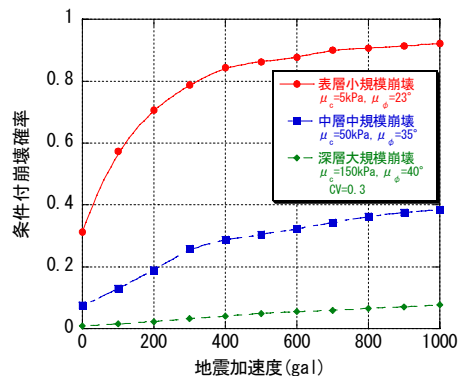


図-3 地震によるフラジリティ曲線

3) 年間の斜面崩壊確率

地震および降雨の発生確率曲線と条件付崩壊確率を用いて合積することにより、年間崩壊確率を算出した。

$$P = \int_0^{\infty} p_a \left(-\frac{dP(a)}{da} \right) da \quad \dots (1)$$

ここで、 p_a : 条件付崩壊確率、 $-dP(a)/da$: 誘因外力の発生確率である。求めた3ケースの年間崩壊確率の結果を図-5に示す。注目すべき点は、地下水位が地表面まで上昇すると表層小規模崩壊の危険性が極めて高いことが明らかになった。

4. 被害分析

斜面崩壊による土砂災害の経済損失は、通常以下の項目で評価する。土砂撤去・修復費用 C_1 、迂回時間・走行費用損失 C_2 、残土処理損失 C_3 、車両・搭乗者に対する損失 C_4 を想定した。本研究は、DDA²⁾を用いて、各ケースの斜面崩壊シミュレーションを行った。今回の地震によって生じた表層崩壊の崩壊土砂量は、約11,900m³と推定されている。各モデルに対して推定された崩壊土砂量は、表層小規模崩壊：10,740m³、中層中規模崩壊：72,400m³、深層大規模崩壊：114,550m³となった。推定した3ケースの経済損失の内訳を表-2に示す。表層小規模崩壊による損失の約3.3億円に対して、中層中規模崩壊による損失はその約4倍、深層大規模崩壊による損失はその約7倍となった。

5. リスク分析

リスク曲線は、縦軸に対象地域での発生確率、横軸に誘因外力による想定被害額からなる。リスク曲線で囲まれる面積は、年間の損失期待値（年間リスク）を表す。リスク曲線から求めた3ケースの年間リスク結果を図-6に示す。図-6から、地下水位が地表面まで上昇しても深層大規模崩壊の年間リスクが一番小さいことがわかった。これは、経済損失は一番大きい、年間崩壊確率が非常に小さいためである。また、中層中規模崩壊の年間リスクが一番大きくなり、崩壊規模に相関性がないことが明らかになった。

6. おわりに

本文では、志賀海神社北地区の崩壊斜面について規模の異なる3ケースの崩壊規模を想定し、降雨を考慮した地震による斜面崩壊に関するリスク分析を行った。降雨を誘因とする斜面崩壊の評価手法として、想定したモデル斜面にいくつかの地下水位線を仮定し、地震と降雨の複合影響を検討した。年間崩壊確率は、崩壊規模が小さいほど崩壊しやすい。経済損失は、崩壊土砂の堆積分布と崩壊土砂量の影響を強く受けるため、崩壊規模に比例することが明らかになった。求めたリスク結果から、対策箇所は中層中規模崩壊を最優先すべきであることが明らかになった。今後の課題として、降雨による斜面崩壊を考慮する場合、崩壊斜面に想定した地下水位線と実際の降雨によって生じる地下水位の妥当性を明らかにすることが挙げられる。

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)大西有三, 陳光斉：不連続変形法DDAによる岩盤シミュレーション, 日本材料学会, pp.329-333, 1999, 4

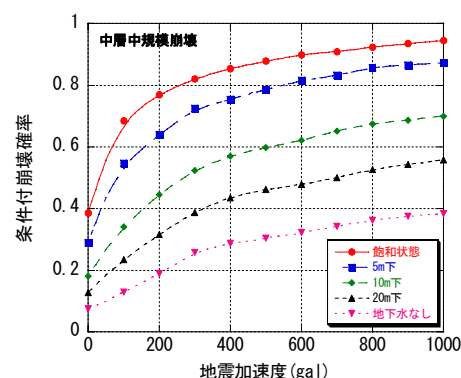


図-4 地震と降雨によるフラジリティ曲線

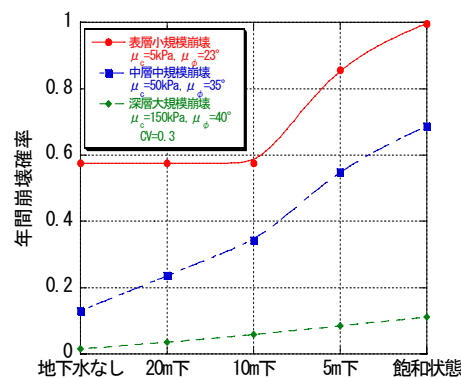


図-5 年間崩壊確率の結果

表-2 推定した経済損失 (単位: 百万円)

損失項目	表層小規模崩壊	中層中規模崩壊	深層大規模崩壊
撤去・修復費用 C_1	146.1	984.6	1557.9
迂回費用損失 C_2	82.5	180.8	333.7
残土処理損失 C_3	7.9	18.3	40.0
車両、搭乗者損失 C_4	95.5	95.5	95.5
被害額合計	331.9	1279.2	2027.1

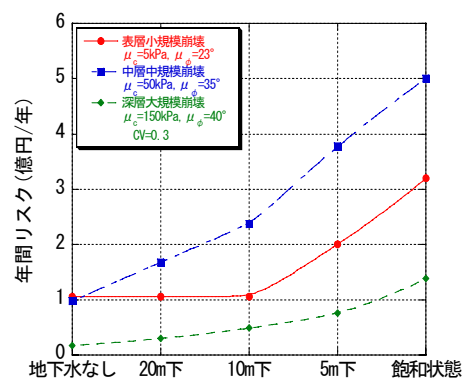


図-6 3ケースの年間リスク結果