

I-148 降雨の影響を考慮した破壊確率算定法

武蔵工業大学 正員 星谷勝 東京都庁 正員 ○ 相場淳司
 間組(株) 正員 櫻出正人

1. はじめに 我が国は狭い国土に山地が多く、また年々都市化が進んできた結果、急傾斜地等に近接した地域にも居住地を求めたり、国道や多目的ダム等の公共施設を建設せざるを得ない状況となっている。そのような中で、毎年各地で発生している自然斜面の崩壊は、単に経済性の低い山間部における土砂害としてではなく、社会的かつ経済的な問題としてとらえなければならなくなってきている。それゆえ、斜面崩壊の発生機構を明らかにして、その発生を適確に予測する必要性が、盛んに強調されるようになってきた。そこで本研究では、信頼性理論に基づいて、降雨の影響を考慮した斜面破壊確率算定法を提案する。またその妥当性を検討するため、これを仮想斜面に適用した結果を示すこととする。

2. 定式化 ここでは以下のように、極値分布を用いた場合と指数分布を用いた場合の2手法を提案する。

(i) 極値分布を用いた場合 一年以内に起こる最大日降雨量を X_1 とすると降雨の影響を考慮した一年間での破壊確率 P_f は、次式によって求めることができる。

$$P_f = \text{Prob}(\text{一年間で最大降雨量 } X_1 \text{ が発生し破壊する事象}) \\
+ \text{Prob}(\text{一年間で最大降雨量 } X_1 \text{ が発生しないで破壊する事象}) \\
= \int_0^{\infty} P_R(x_u) \cdot dP(x_u, 1, T_R) + \int_0^{\infty} P_R(0) \cdot d\bar{P}(x_u, 1, T_R) \quad (1)$$

ここで $P_R(x_u)$ はある大きさの降雨量 x_u が降った条件の下で構造物が破壊する確率であり、土の粘着力 c' と内部摩擦角 $\tan \phi'$ を確率変数と考えた破壊基準関数

$$Z = R - S = g(c', \tan \phi') \quad (2)$$

を用いて、

$$P_R(x_u) = \text{Prob}(Z = R - S < 0 \mid x = x_u) \quad (3)$$

より求めることができる。またこれを求めるためには浸透流解析を行い、地下水位線の変動を調査する必要がある。 $dP(x_u, 1, T_R)$ は最大日降雨量 X_1 が x_u と $x_u + dx_u$ の間に発生する確率であり、

$$dP(x_u, 1, T_R) = f_{X_1}(x_u) \cdot \{1 - \exp(-1/T_R)\} dx_u \quad (4)$$

によって求められ、 $d\bar{P}(x_u, 1, T_R)$ は最大降雨量 X_1 が x_u と $x_u + dx_u$ の間に発生しない確率であり、

$$d\bar{P}(x_u, 1, T_R) = f_{X_1}(x_u) \cdot \exp(-1/T_R) dx_u \quad (5)$$

によって求められる。また $f_{X_1}(x_u)$ は、極値分布(グンベル分布)から誘導した確率密度関数であり、

$$f_{X_1}(x_u) = a \cdot \exp[-a(x_u - x_0)] \cdot \exp[-\exp\{-a(x_u - x_0)\}] \quad (6)$$

で定義され、さらに T_R は x_u に対応する再現期間であり、

$$1/T_R = 1 - \exp[-\exp\{-a(x_u - x_0)\}] \quad (7)$$

によって求めることができる。次にN年間での破壊確率 $P_f(N)$ は、次式によって求めることとする。

$$P_f(N) = 1 - (1 - P_f)^N \quad (8)$$

(ii) 指数分布を用いた場合

一年間の降雨記録を用いて、降雨量を小さい順に並べ直し、ある間隔で区切ることにより図1のような度数分布が得られたとする。この図を見てわかるとおり、この度数分布を指数分布の確率密度関数に置き換えることができる。ここで仮に、この

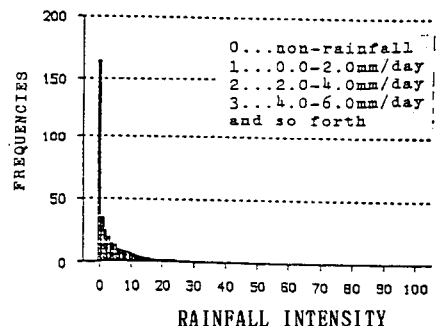


図1. 一年間の降雨記録

指数分布の密度関数を $f(x)$ とすると、降雨の影響を考慮した一年間での破壊確率 P_f は、次式によって定義される。

$$P_f = \int_0^{\infty} f(x) P_R(x) dx \quad (9)$$

また破壊確率の経年変化については、極値分布を用いた場合と同様、

$$P_f(N) = 1 - (1 - P_f)^N \quad (8)$$

によって求めることとする。

3. 適用例 以上の定式化によって得られた手法を、図2に示すような仮想斜面に対して適用した結果を以下に示す。

また解析に用いた土の物性値を表1に示す。粘着力 c' および内部摩擦角 $\tan \phi'$ の変動係数は、 c' について0.4、 $\tan \phi'$ について0.2を仮定した。

そして次に、浸透流解析を行い、それによって定まった地下水位線を用いて、図2で仮定したすべり線に沿った破壊確率を算定した。日降雨量の変化に対する破壊確率の変化状況を図3に示す。

上記の解析結果を用いて、(1)式(極値分布を用いた場合)と(9)式(指数分布を用いた場合)によって一年間での破壊確率を求めた結果、極値分布を用いた場合 $P_f=0.07081$ 、指数分布を用いた場合 $P_f=0.04065$ となった。

これよりほぼ同程度の破壊確率が得られているが、極値分布を用いた場合の方が若干、大きな値となっていることがわかる。これは指数分布の確率密度関数は、すべての降雨強度レベルの降雨記録から誘導したものであるため、降雨強度の小さい雨の方が、その発生確率が高くなっており、極値分布の場合は逆に、降雨強度の大きい雨の方が、その発生確率が高くなるためである。したがって、極値分布を用いた場合が、降雨の影響を考慮した破壊確率の上限值、指数分布を用いた場合が、その下限値を表していると考えて良いと思われる。

次に(8)式を用いた破壊確率の経年変化を図4に示す。

ここで仮に破壊確率が0.5($P_f = 0.5$ は $F_s = 1.0$ に対応している。すなわち従来の安定解析法において、安定と不安定を区別する境界値に対応していることとなる。)を超えた場合を危険状態であると仮定すると、(1)式を用いた場合、9.4年後に危険な状態となり、(9)式を用いた場合は、16.7年後となる。したがって安全側を採用すると、この仮想斜面が危険な状態となるのは、9.4年後ということになる。

4. 結論 提案した手法により、降雨の影響を考慮した一年間での破壊確率、および経年に伴う破壊確率の変化を合理的に算定することができた。

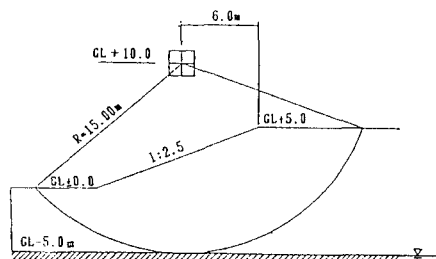


図2. 仮想斜面

表1. 物性値

	平均値	変動係数
粘着力 c'	1.5(t/m ²)	0.4
内部摩擦角 $\tan \phi'$	$\tan 10^\circ$	0.2
透水係数 k	5.0×10^{-4} (cm/sec)	

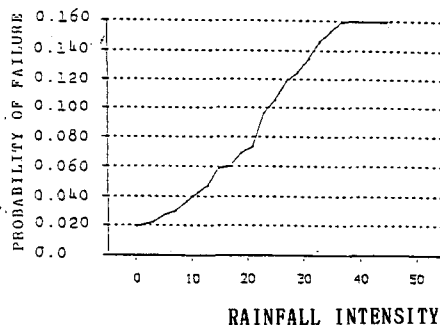


図3. 降雨強度と破壊確率

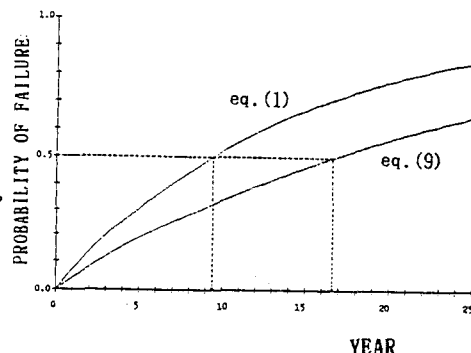


図4. 破壊確率の経年変化