

降雨量・融雪量の確率年に基づく斜面リスク評価に関する研究

中央大学大学院 学生員 ○富澤 彰仁
中央大学大学院 学生員 呉 修一

中央大学大学院 学生員 新谷 勇樹
中央大学大学院 フェロー会員 江花 亮
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

わが国の地形は山地と丘陵地帯が国土の70%を占めており、自然の斜面が多く平坦な土地は少ない¹⁾という特徴を有している。したがって、新たに道路等の建設計画を図ると必然的に山際や山間部のような不安定な自然斜面や切土斜面を利用せざるを得ない。また、山間部の道路は斜面崩壊を防ぐために各種擁壁を設置するが、擁壁の種類や、寸法、工法に関して指針はあるものの、県道や市道では担当する技術者の判断に任せられるところが多いというのが現状である。日本に多い自然斜面は時間による風化や、台風、地震、豪雪などの自然災害により、人為的な理由によるものでなくとも自然に斜面崩壊や地滑りが発生している。また、土砂災害は梅雨期から台風期の豪雨によって発生する事が多く、土砂災害に対する警戒・避難態勢も、連続降雨量などの降雨を対象として構築されている。しかしながら、寒冷地帯では融雪に起因する土砂災害が度々発生し、多くの人命・財産が失われているにも関わらず、融雪の効果は考慮されていない。本研究は、水文・気象・地質特性の観点から降雨及び融雪流出が擁壁・斜面崩壊に与える影響を定量的に評価することを目的とし、評価方法として斜面崩壊に関するリスクを損失の期待値として評価する概念の提案を行う。

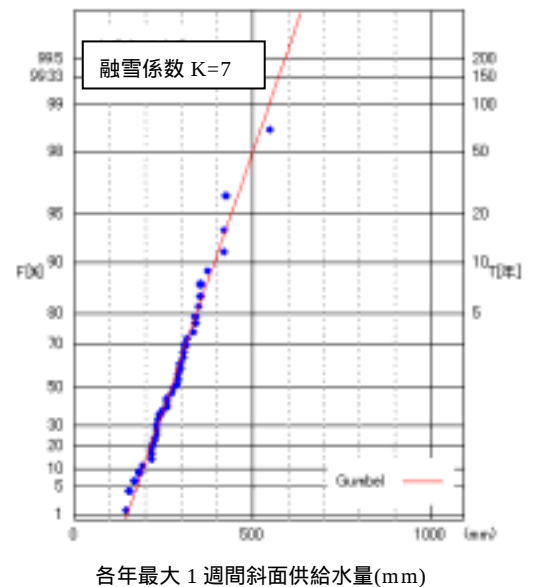


図-1 年最大斜面供給水量の確率年 (K=7)

2. 設計外力の確率年評価

わが国の土砂災害は主に梅雨期から台風期の豪雨によって発生する。例えば河川治水計画では、降雨量や流量を評価するために、確率年の概念を用いている。災害を引き起こし得る外力としてどのようなものがあり、それらをどのように評価するかといった問題は非常に重要である。寒冷地域において融雪は無視できない外力の一つでありながら、外力として評価された例は少ない。本論文では、降雨量に加え融雪量を確率年の概念を用い評価する。融雪量の算出には Degree・Day 法を用い、融雪係数 $k=7$ とした。対象とする地点は、東北地方において過去に融雪流出による地下水位の上昇が原因で土砂災害が発生した地点を対象とし、土砂災害発生地点近くの気象観測所のデータを用いた。1週間に生じる降雨量と融雪量の和を斜面災害を引き起こす外力と定義し、その年最大値を頻度解析に用い、確率分布には極値分布である Gumbel 分布を用いた。求めた結果を図-1に示す。図-1より、対象地点における例えば100年確率の外力に対応するのは、約550mmの降雨量・融雪量であることがわかる。以上のように設計外力と、その外力が発生する再現期間の関係を求めることで、考慮すべき外力の定量的な評価が可能となる。

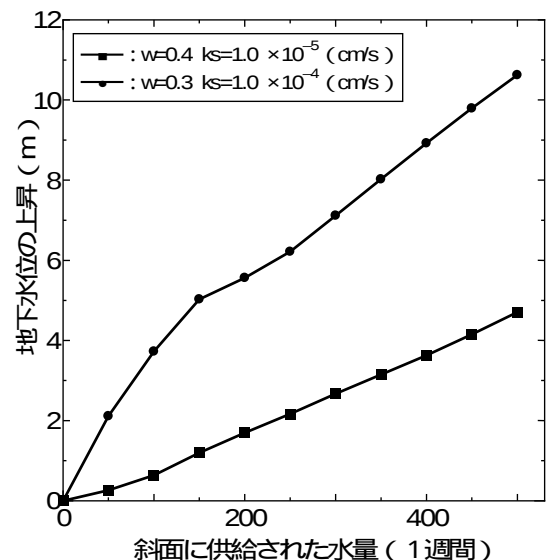


図-2 土壌パラメータごとの作用外力と斜面内の地下水位の関係

3. 浸透流計算を用いた地下水位の評価

土砂災害は台風や豪雨時など、ある程度短い期間に集中して斜面に水が供給されたときに発生することが多い。これは地中に水が浸透し、土粒子の間隙が水で満たされ飽和状態になると、浮力が発生し垂直応力がその分差し引かれ、摩擦抵抗が減少するからである。一方、山間部において切り土等を行い道路を建設する際、斜面が崩壊するのを防ぐために擁壁を設置する。擁壁には通常水抜き孔が設置され、これは擁壁の背面に溜まる水を外に排除する役割を持つ。しかし、水抜き孔の内部で細粒土砂が固結し、目詰まりを引き起こす等、水抜き孔が正常に機能しない例が数多く報告されている²⁾。ここでは、水抜き孔は機能しないとして斜面浸透流解析を行う。浸透流解析には、Richardsの式に基づく二次元飽和不飽和浸透解析を用いる。解析対象とする斜面は、過去に擁壁崩壊を起こした斜面を対象とし、崩壊

キーワード：確率年 融雪量 浸透流計算 斜面リスク評価

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL 03-3817-1805 E-mail: tomizawa@civil.chuo-u.ac.jp

後の調査から斜面長 $L=24(\text{m})$, 土層厚 $D=17(\text{m})$, 斜面勾配 $i=45^\circ$ の単一斜面とする。土壌に関する各パラメータは、有効空隙率 $w=0.30, 0.40$ とし、それぞれに対して飽和透水係数 $K_s=1.0 \times 10^{-2}, 1.0 \times 10^{-3} (\text{cm/s})$ として、パラメータに幅を持たせて計算を行った。斜面に供給される水量としては、降雨量と融雪量を想定し、1週間における累積の降雨・融雪量が $50\text{mm} \sim 500\text{mm}$ となるようにし、日平均降雨・融雪量を各日に与えた。ここで、水抜き孔が機能しないと仮定し斜面流下方向末端での境界条件は不透水条件とした。図-2 に求めた結果を示す。これより、外力と地下水位の関係が明らかになり、対象とする地点で何らかの土壌パラメータを決定することができれば、そのパラメータに対応する外力と地下水位の関係を決定することができる。

4. 斜面崩壊に関するリスク評価

4-1. 斜面崩壊率の算定

斜面の安定性には、土の強度特性や作用外力に代表される不確実性が含まれている。このため斜面崩壊を完全に抑制することはできない。このような現状の中で、新設する擁壁や既存の斜面及び擁壁を定量的に評価するためには、その斜面及び擁壁の持つ機能を定義し、その機能が失われたときにどのような損失が生じるかを考慮する必要がある。本研究では斜面崩壊に関するリスクを損失の期待値として定義する。つまり斜面が崩壊する生起確率と、崩壊時に生じる損失の積としてリスクを評価する。ここで斜面の崩壊率を次のように定義する。斜面安定計算から安全率が1となるような地下水位を求め、前章における浸透流解析の結果からその地下水位に対応する作用外力が決定される。次に2章で求めた外力と再現期間の関係からその外力の発生する確率を求める。ここで再現期間 T は非超過確率 P を用い $T=1/P$ として決定されることから、超過確率は $1-P$ となり、この超過確率を決定された作用外力に対する斜面の崩壊率と定義する。

4-2. 斜面崩壊のリスク評価

斜面崩壊のリスクを評価するためには、その生起確率と同時に損失も定義しなければならない。さらに、前述の水抜き孔の機能に関する評価も無視することはできない。ここでは水抜き孔や斜面崩壊に伴う損失の評価方法に関する概念を式(1)に示す。また、水抜き孔に関して以下の事象に場合分けを行った。

$$R = C(P_A \cdot P_{C_A} + P_B \cdot P_{C_B} + P_C \cdot P_{C_C}) \cdots (1)$$

事象A: 水抜き孔が完全に塞がっている
事象B: 水抜き孔が一部塞がっている
事象C: 水抜き孔が塞がっていない

ここで、 R : 斜面崩壊のリスク(円)、 C : 斜面崩壊に伴う被害額(円)、 P_A, P_B, P_C : 各事象における斜面の崩壊率、 $P_{C_A}, P_{C_B}, P_{C_C}$: 各事象の生起確率となる。被害額及び各事象の生起確率の定義に関しては、費用便益分析マニュアルや災害実績データを用いさらなる検討が必要であるが、斜面崩壊に関するリスクをこのように定量的に評価することにより、対象とする斜面・擁壁の保全や管理に関して投資対効果の観点から最適な斜面補強を実施することが可能となる。

5. まとめ

本論文は、水文・気象・地質特性の観点から降雨及び融雪流出が擁壁・斜面崩壊に与える影響を定量的に評価することを目的とし、評価方法として斜面崩壊に関するリスクを損失の期待値として評価する概念の提案を行う。以下に得られた知見を列挙する。

- (1) 擁壁崩壊の発生地点において確率年の概念を用い外力を評価した。その結果 100 年確率の外力に対応するのは、約 550mm の降雨量・融雪量であることがわかった。
- (2) 土壌パラメータに幅を持たせて浸透流計算を行うことで、何らかの土壌パラメータを決定することができれば、そのパラメータに対応する外力と地下水位の関係が決定されることを示した。
- (3) 斜面の崩壊をリスク評価の概念を用いることで、投資対効果の観点から斜面補強や、擁壁の施工を実施可能なことを示した。

参考文献

- 1) 株式会社 産業技術サービスセンター: 斜面防災・環境対策総覧, 斜面防災・環境対策技術総覧編集委員会編集, pp.27-40, 2004
- 2) 日外勝仁: 地すべり地における地下水排除工の目詰まりについて, 日本応用地質学会北海道支部研究発表会要旨集 pp.18-19, 2005
- 3) 三木博史: リスク工学の基礎理論と実務への応用に関する講習会テキスト, 地盤工学会, pp.31-44, 2004