

豪雨・地震時における斜面の安定性評価システムの構築

中部大学大学院 学生会員 ○浅野 憲雄
中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫 山田 公夫

1. はじめに

危険斜面の抽出には、降雨や地震外力の大きさという点から既往外力から外挿される予測評価の信頼性やリアルタイム予測の実施において統計手法には限界がある。一方、力学的な方法として極限平衡法や有限要素法による方法は、多くの斜面について繰り返し計算や断面の要素分割などは非現実的であり、広域の斜面を管理する場合では不向きである。本研究では、豪雨や地震時の多くの自然斜面の中から危険性を有する斜面を抽出するために、簡便な力学的アプローチにより、同時に多くの斜面の安定計算が可能で GIS 上での管理や危険予測が可能な方法の提案を目的としている。

2. 提案する斜面安定解析計算のつり合い式

本解析法は、地危険斜面抽出法として半無限斜面の滑り計算に基づく力学的アプローチによる考え方を用地下水位上昇や降雨による斜面表面からの浸潤による飽和層の拡大、水平震度による地震力を考慮した安定計算が容易にできる特徴を有している^{8),9)}。半無限斜面のすべり面計算と同様に斜面に平行に土塊がすべりだすとき(図1)、ある崩壊長さ(破線で示す水平面)での力のつり合いが崩れて土塊がすべ

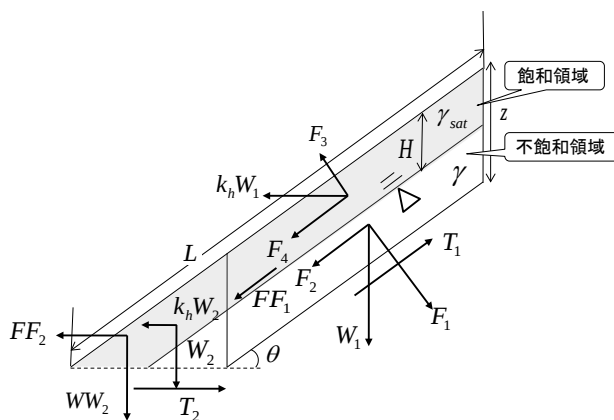


図1 提案法における斜面内の力のモデル化

り飛び出す簡便なモデル化を行った。斜面の崩壊長さを L 、崩壊深さ z とする。地震力として水平震度 k_h に重量を乗じた力を考慮し、傾斜している底面でのせん断強度 T_1 よりも大きな力が作用し、左下への力 (FF_1) が発生した場合、法先の水平面(破線部)でのせん断強度 (T_2) と外へすべり出す力 (FF_2) との力のつり合いから安全率を計算する。この関係より安全率 Fs は式(1)のように表わされ、分母、分子とも崩壊深さ z の2次関数の形となる。

$$Fs = \frac{\textcircled{1}z^2 + \textcircled{2}z + \textcircled{3}}{\textcircled{4}z^2 + \textcircled{5}z + \textcircled{6}} \quad (1)$$

1) 浸潤による飽和層厚 $H \leq$ 崩壊深さ z のとき、

- ① $\gamma(D \sin \theta + \cot \theta / 2) \tan \phi$
- ② $\{c \cot \theta + H(\gamma_{sat} - \gamma)\} \cot \theta + \{DH(\gamma_{sat} - \gamma) + E\gamma\} \sin \theta + c \tan \phi$
- ③ $\{EH(\gamma_{sat} - \gamma) - cL\} \sin \theta + H^2 \cot \theta (\gamma_{sat} - \gamma) / 2 \tan \phi$
- ④ $(\cos \theta + k_h \sin \theta) D \gamma$
- ⑤ $(\cos \theta + k_h \sin \theta) \{DH(\gamma_{sat} - \gamma) + \gamma E\} + c(\cot \theta + k_h)$
- ⑥ $(\cos \theta + k_h \sin \theta) \{EH(\gamma_{sat} - \gamma) - cL\}$

2) 浸潤による飽和層厚 $H >$ 崩壊深さ z のとき

- ① $\gamma_{sub}(D \sin \theta + \cot \theta / 2) \tan \phi$
- ② $\{c \cot \theta \cot \theta + E\gamma_{sub} \sin \theta + c\} \tan \phi$
- ③ $-cL \sin \theta \tan \phi$
- ④ $(\cos \theta + k_h \sin \theta) D \gamma_{sub}$
- ⑤ $(\cos \theta + k_h \sin \theta) \gamma_{sub} E + c(\cot \theta + k_h)$
- ⑥ $-cL(\cos \theta + k_h \sin \theta)$

ここに、 $D = -\cos \theta \{1 + k_h \cot \theta + (k - \cot \theta) \tan \phi\}$

$$E = L \cos \theta \{(\sin \theta + k_h \cos \theta) - (\cos \theta - k_h \sin \theta) \tan \phi\}$$

崩壊斜面長: L (m), 崩壊斜面深さ: z (m), 斜面傾斜角: θ° , 土の飽和単位体積重量: γ_{sat} (kN/m³), 湿潤単位体積重量: γ (kN/m³), 水中単位体積重量 γ_{sub} (kN/m³), 粘着力: c (kN/m²), 内部摩擦角 ϕ である。

3. GIS を用いた斜面の安全性評価

本研究では、斜面の形状毎に分割された単位斜面 (10m の DEM データ) を使って作成された岐阜県林政部治山課のメッシュを用いた。また崩壊長さ 10m とした場合について計算を行った。図2示すように

キーワード 自然斜面 斜面安定解析 豪雨 地震 GIS

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200 中部大学工学部都市建設工学科 TEL 0568-51-1111

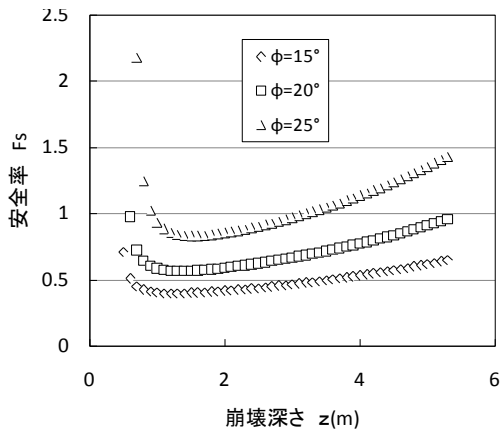


図2 崩壊深さによる安全率の変化

崩壊長さを固定することで最小安全率となる崩壊深さは最小となる極値を持つことから、式(1)の極値問題として①～⑥の係数から容易に得られ、最小安全率 F_s を求めることができる。

4. 豪雨および地震時の斜面安定性

豪雨時に地表から雨水が浸透し飽和層が増加していく際の安全率の変化を評価した結果を図3に示す。ここでは強度定数や浸透性は全斜面一律一定としている。不飽和層で $c=5\text{kN/m}^2$, $\phi=20^\circ$, 飽和層で $c=2.5\text{kN/m}^2$, $\phi=20^\circ$ と仮定して解析を行った。豪雨により2m深の浸潤飽和した時の安全率による安定斜面、不安定斜面の評価結果である。なお、崩壊長さは10mとした。全単位斜面メッシュ23868個に対して評価した結果、2mのとき1.1%の崩壊斜面数の増加があり、山の麓での崩壊が高い傾向が得られた。また、図中には地すべり報告があった箇所を示しているが、強度定数の仮定の問題は残っているが、評価結果と一致するところが多い傾向にある。図4は先行降雨により表層2mが飽和状態である場合に、地震時の慣性力（水平震度） $k_h=0.2$ を受けた場合の崩壊危険性のシミュレーションした結果を示す。麓付近だけでなく山岳中心部にも崩壊の傾向が現れ、崩壊斜面の割合は24.1%に上昇した。豪雨と地震の外力を変化させることにより、危険な斜面の割合や位置的傾向を読み取ることができる。

5. おわりに

斜面の危険度評価法について検討した結果、次の知見を得た。(1)崩壊長さを一定とすると最小安全率となる崩壊 z 深さが決まり、最小安全率を容易に計

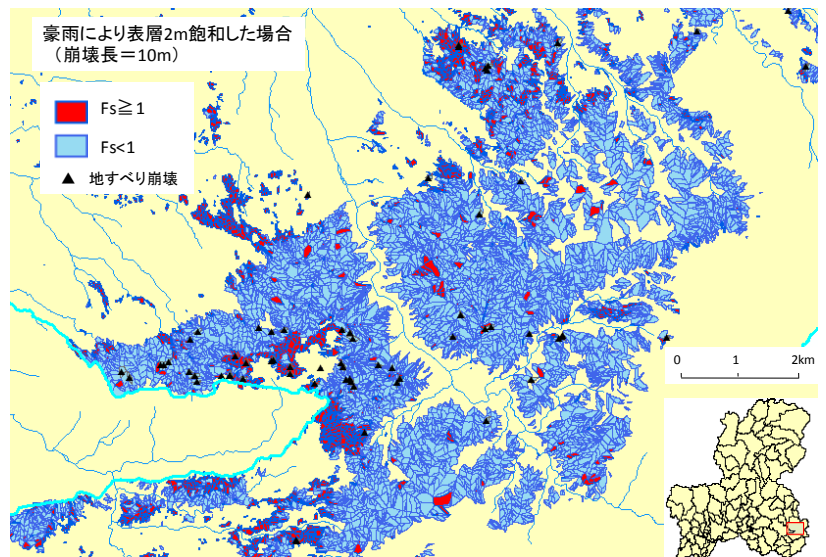
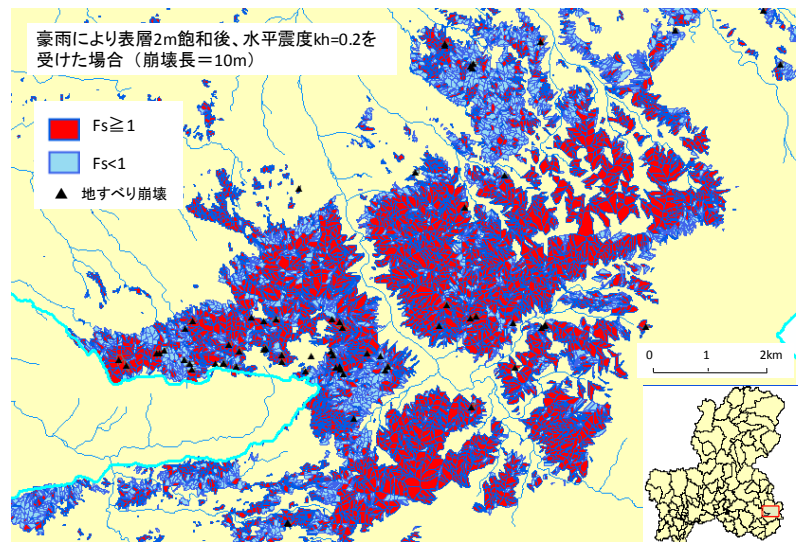


図3 豪雨により表層飽和2mの場合の安定性

図4 豪雨により2m表層飽和後に地震力（水平震度 $k_h=0.2$ ）が作用した場合の安定性

算できる。(2)地すべり個所との比較の結果、概ね危険個所の評価が可能である。(4)豪雨や地震外力を容易に安定計算に考慮することだけでなく、一度に多くの斜面の安定評価が可能で、GISでの斜面管理に有効である。また雨量と浸潤飽和層厚の関係、強度定数の分布について今後検討していく予定である。

謝辞 平成19-21年度科学研究費 基盤研究(C)

No.19560498 及び中部大学 特別研究(A)の援助を受けた。また、単位斜面メッシュは、岐阜県林政部治山課にご協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 杉井俊夫・伊藤智則：自然斜面における危険斜面抽出法の開発の試み，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，III-29，pp.57-58，2009。
- 2) 杉井俊夫，山田公夫，浅野憲雄：地震時における山地災害危険度評価法に関する検討，総合工学(中部大学総合工学研究所紀要)，pp.93-98，2010。