

仮想降雨イベントと数値解析による斜面崩壊リスクマップ作成

○東北大学工学部建築・社会環境工学科
東北大学大学院工学研究科
東北大学大学院工学研究科
東北大学災害科学国際研究所
東北大学災害科学国際研究所

学生会員 佐々木 駿
学生会員 外里 健太
学生会員 Nilo Dolojan
正会員 森口 周二
正会員 寺田 賢二郎

1. はじめに

本研究では、過去の観測データに基づく仮想降雨イベントと斜面安定解析を用いた斜面崩壊リスク評価手法を提案する。まず、過去の降雨データに対して固有直行分解を適用することで対象地域の降雨特性を分析結果に基づいて降雨モデルを作成する。そして、作成した仮想降雨イベントに対して斜面安定解析を行うことで豪雨による斜面崩壊のリスクの可視化・評価をする。

2. 斜面安定解析手法

降雨による斜面崩壊の主な原因は、雨水が土壌へ浸透することによる土塊重量の増加と間隙水圧変化によるせん断抵抗力の低下である。本研究ではDolojan¹⁾の手法を参考に、地盤内への雨水の浸透を表現可能なGreen-Amptモデルを用いて降雨による浸透量を解析する。その後、無限長斜面の仮定のもとで土塊によるせん断力と地層のせん断抵抗力の比によって安全率を算出する極限平衡法を適用して斜面安定解析を行う。

3. 降雨モデル

3.1 降雨モデルの作成

図-1に示す宮城県丸森町の地形図と2006年から2020年までの累積雨量分布図から、丸森町には降水分布に空間的な特徴が存在することが推察される。この過去データに対して現象を構成する特徴的な「モード」を取り出すために固有直行分解を適用し、任意の降雨ケースを次のように分解する。

$$\mathbf{x}_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \mathbf{u}_j \quad (i = 1, \dots, m) \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{x}_i$ は*i*番目の時刻での降水量のデータが並ぶ行列、*m*は固有直行分解に用いた降雨分布の数であり、本研究では対象地域に10mm/h以上が観測されたデータを対象としている。 $\mathbf{u}$ は空間モード、 α はモード係数、*n*はモード数である。

図-2, 3にモード分解の結果を示す。累積寄与率と再構築誤差から、ごく少数のモードが多く多くの情報を持つことが分かる。そこで本研究では全572モードの内、上位5つのモードまでを用いることで5次元に圧縮して表現し、任意の降雨ケースを次式のように考える。

$$\hat{\mathbf{x}}_i = \alpha_{i1} \mathbf{u}_1 + \alpha_{i2} \mathbf{u}_2 + \alpha_{i3} \mathbf{u}_3 + \alpha_{i4} \mathbf{u}_4 + \alpha_{i5} \mathbf{u}_5 \quad (2)$$

ここに、 $\hat{\mathbf{x}}_i$ は5次元で表現した降雨データである。図-4に示すように、上位5つのモードを用いて再構築した累積雨量分

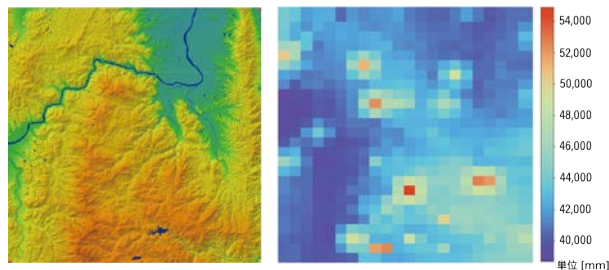


図-1 対象地域の地形図と累積雨量

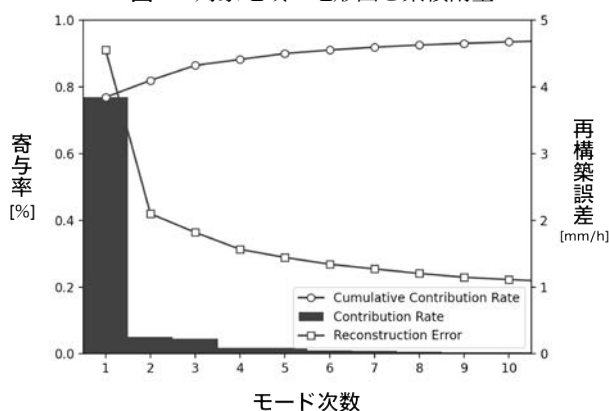


図-2 寄与率

布と実際の累積雨量分布を比較しても概ね一致していることが確認できる。

仮想降雨イベントを作成するには式(2)におけるモード係数の組み合わせを過去のデータに基づいて適切に選出する必要がある。図-5に示すように、第1モード係数と降雨強度（時間雨量）には比例関係が見られることから第1モード係数はこの関係を用いて選出する。なお、本研究では1回の降雨イベントの期間、降雨強度の時間変化、対象領域に対する総雨量には仮定を設け、その範囲内で仮想降雨イベントを作成した。他4つのモード係数については降雨の時間的連続性を考慮し、過去データから求められるマハラノビス距離実績を用いて確率密度分布を作成し、それに従って選出する。

3.2 降雨モデルの検証

降雨モデルを用いて作成した仮想データ行列 $\mathbf{X}_v$ に対して式(3)を適用し、仮想降雨データのモード係数と過去のモード係数実績を比較する。

$$\mathbf{A}_v = \mathbf{U}^{-1} \mathbf{X}_v \quad (3)$$

ここに、 $\mathbf{A}_v$ は仮想降雨データのモード係数行列、 $\mathbf{U}$ は過去データの空間モード行列である。図-6、表-1に示すように、仮

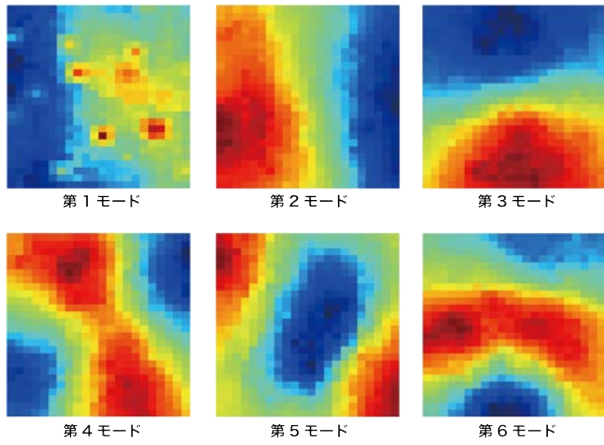


図-3 上位モードの空間構造

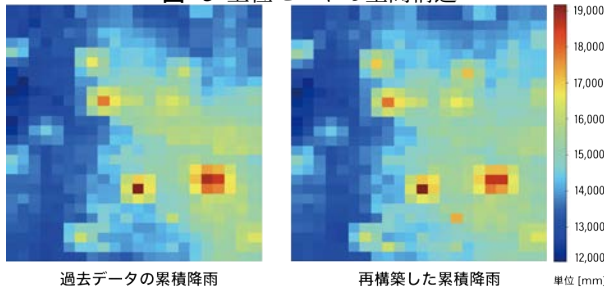


図-4 実雨量と再構築雨量

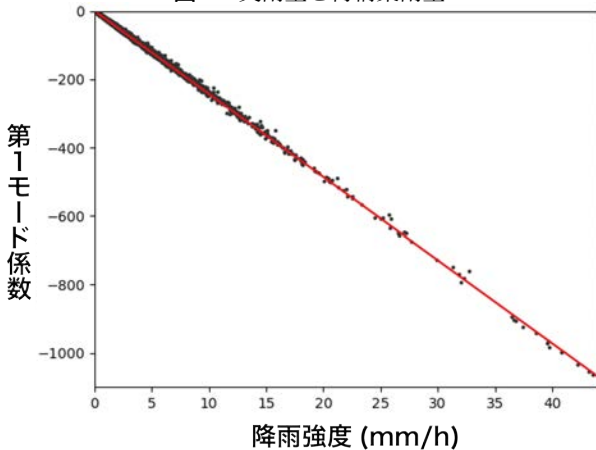


図-5 第1モード係数と降雨強度

表-1 仮想降雨データのモード係数の平均及び標準偏差

モード次数	2	3	4	5
平均値（実績値）	5.13	2.13	-0.54	3.51
平均値（仮想データ）	5.32	2.72	-0.52	1.93
標準偏差（実績値）	39.7	37.7	23.8	23.4
標準偏差（仮想データ）	46.3	42.1	21.9	27.5

想降雨データから実イベントのモード係数と類似したデータを取得できていることが確認できる。

4. 仮想降雨イベントを入力とした斜面崩壊リスク評価

図-7は、対象範囲に空間的に一様に降る雨と、降雨モデルを用いて作成した空間的ばらつきをもつ2種類の雨に対して斜面安定解析を適用し、各安全率の算出結果を示している。一様な雨を入力とした場合、安全率が1を下回る地点は377,889地点であるのに対し、仮想降雨イベントでは414,490

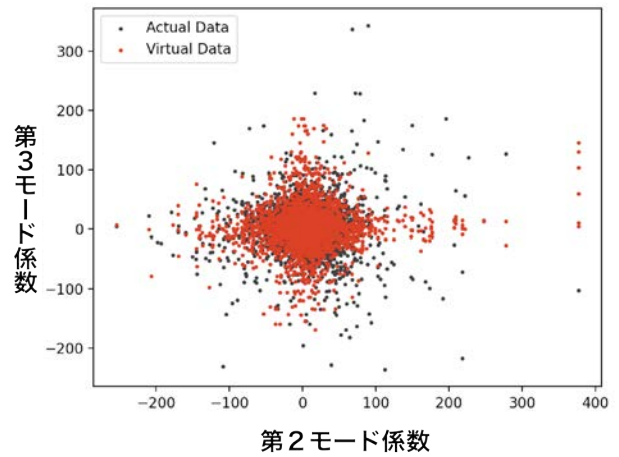
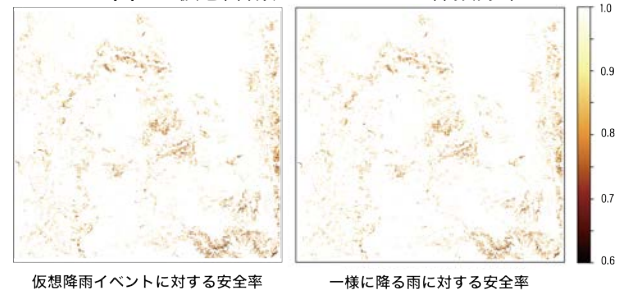


図-6 仮想降雨データのモード係数分布



仮想降雨イベントに対する安全率

一様に降る雨に対する安全率

図-7 各安全率の空間構造

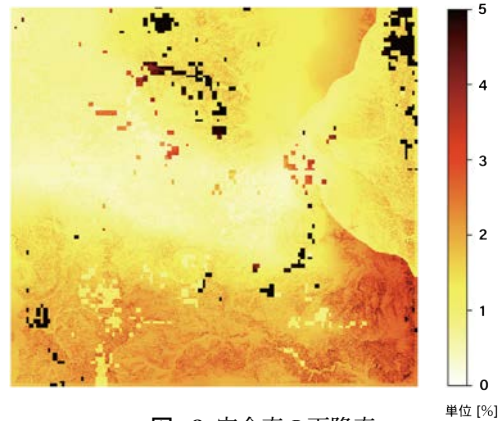


図-8 安全率の下降率

地点観測しており、空間的に危険範囲が9.7%広がる結果となった。また、図-8は、一様な雨の条件で得られた安全率に対する仮想降雨イベント用いた条件の安全率の下降率の分布を示している。この図より、仮想イベントを用いた方が安全率の値自体も低くなり、局所的には5%程度の低下が確認できる。

5. まとめ

過去の観測データに基づく仮想降雨イベントと斜面安定解析を用いた斜面崩壊リスク評価手法を提案し、宮城県丸森町を対象として具体的な評価の結果を示した。その結果、一様な雨を入力とした斜面崩壊リスク評価では危険地域を過小評価しうる可能性を確認した。

参考文献

- 1) Nilo Lemuel J. Dolojan : Hydrologic-geotechnical Modelling for Shallow Landslide Risk Analysis, Tohoku University, 2021.