

D-021

## 斜面防災のための基準値変動を考慮したセンサ値の飽和領域抽出 Extracting sensor data saturation with various standards in mud slide prevention

中小路 公通<sup>†</sup>  
Masamichi Nakakoji

原田 史子<sup>‡</sup>  
Fumiko Harada

島川 博光<sup>‡</sup>  
Hiromitsu Shimakawa

### 1. はじめに

降雨による斜面崩壊による被害が多発しており、防災のため斜面崩壊を検知することで近隣住民を安全に避難させる研究が行われている。斜面崩壊対策では、降雨時における斜面の情報をセンサネットワークにより取得し、分析することで斜面崩壊の兆候を検知している。しかし、この研究では自然などの影響による地盤内の変化を考慮しておらず、兆候検知の信頼性が高くはない。

本研究では、地盤乾燥時の間隙水圧に着目し、基準となる値を抽出することで地盤内の変化を考慮した分析手法を提案する。本手法により、従来手法よりも正確にデータの分析が可能になり、斜面崩壊検知システムの予測再現率を高められる。

### 2. 斜面崩壊予知の現状

#### 2.1 間隙水圧

斜面崩壊検知システムでは、間隙水圧データを分析することで、斜面崩壊を予知している [1]。間隙水圧とは地盤内の地下水による水圧のことである。間隙水圧はテンシオメータの水管を地中に刺すことで計測できる。本システムでは、土塊内の間隙水圧をリアルタイムに取得するため、センサネットワークを構成している。各センサノードにはテンシオメータが取り付けられている。間隙水圧は降雨時に一定雨量で飽和し、降雨が弱まるか止むとゆるやかに減少していく [?] [2]。斜面内の地中には雨水が浸透しにくい層がある。降雨時に、各地点において、雨水が浸透しにくい層の上にある土塊に水が浸透し間隙水圧が上昇する。土塊の砂粒の間が水で満たされると、間隙水圧が飽和する。したがって、間隙水圧は降雨時に図1のように変化する。

間隙水圧は一定雨量で飽和するため、間隙水圧の飽和を意味する値が存在する。この値を本研究では、飽和値と定義する。

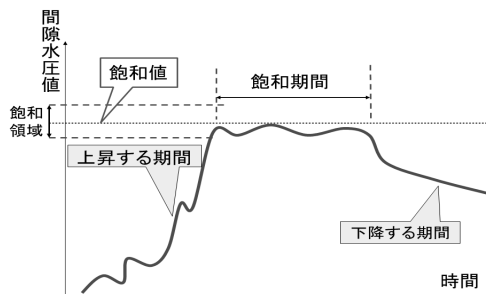


図1: 一般的な降雨時における間隙水圧の変化

土塊は重力を受ける物体と考えることができる。飽和の影響で土塊は重さを増す。土塊が受けた重力が土塊と雨水が浸透しにくい層との摩擦力を上回った時に斜面崩壊が発生する。よって、間隙水圧が飽和している時に斜面崩壊が起こる可能性が高くなる。

土塊の間隙水圧が飽和しているときはその土塊が崩壊に耐えていると言える。

#### 2.2 間隙水圧の基準値変動

地盤乾燥時の間隙水圧値を基準値と呼ぶ。なぜなら、地盤乾燥時の間隙水圧値がその地点が持つ間隙水圧の基準になるからである。

基準値は、地盤内の経年変化や降雨の影響で変動する。基準値の変動により、間隙水圧の飽和値も変動する可能性がある。そのため、基準値が高い値から低い値に変動した場合、飽和値も同様の変化をする場合がある。

飽和値に達したとみなせる領域を飽和領域といい、これは飽和しているときのセンサ値を予め観測して一意に定められるものである。現在のセンサ値が飽和領域に入ったときに飽和状態であると推定し、推定結果を崩壊予知に利用している。

基準値の変動を考慮していない既存手法では、高い間隙水圧値をもつ飽和領域を常に使用する。そのため、基準値が高い値から低い値に変動したさい、危険性の高いセンサ値を抽出することができない。既存手法では、このような基準値の変動に起因する問題を考慮していない。そのため、基準値の変動を考慮して危険性の高いセンサ値を同定し、飽和領域を抽出する手法が必要となる。

### 3. 基準値変動を考慮した飽和領域抽出

#### 3.1 手法の概要

斜面防災システムでは、間隙水圧が飽和状態にあるか否かを、現時点からさかのぼったある時点から、現時点までのセンサ値の変動が、図1の飽和期間のように、ある領域に含まれるかで判断すべきである。本研究では基

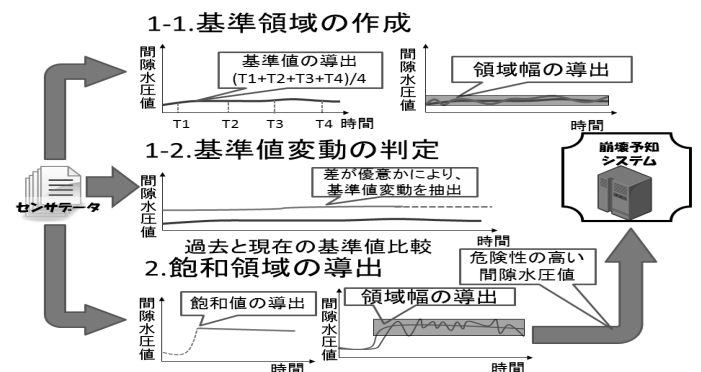


図2: 基準値変動を考慮した飽和領域抽出の概要図

<sup>†</sup>立命館大学 情報理工学部 情報システム学科

<sup>‡</sup>立命館大学大学院 理工学研究科 情報理工学専攻

準値の変動を考慮し、正確に飽和領域を抽出する手法を提案する。本手法の概要図を図2に示す。本手法では、地盤乾燥時に、基準値の変動の判定、および基準領域の作成をし、降雨時に飽和領域の作成をする。

基準領域は間隙水圧がその領域に入っていれば、基準の状態にあると判断するための領域である。基準値の変動があれば、過去に得られた飽和領域を破棄し、次回以降の降雨時に新たな飽和領域を段階的に作成する。

地盤乾燥時か降雨時かの判定は、斜面防災システムの気象センサなどにより判定する。図2は、地盤乾燥時の基準領域の抽出手法と、同乾燥時にリアルタイムに基準値の変動を判定する手法、ある降雨時の飽和領域の抽出手法を示している。

センサから得られたデータにはゆらぎが存在しているため、ゆらぎを除去するためにフーリエ変換とローパスフィルタの適用を用いる。飽和領域の抽出のさい、間隙水圧の上昇期間も含めてフーリエ変換を行うと、正しく飽和領域を抽出できない。そのため、本手法では、基準領域を用いて、間隙水圧の上昇期間を除外している。これにより、正確に飽和領域を抽出できる。

これまでの斜面崩壊検知システムでは、基準値の変動を考慮していなかったため、誤った飽和領域で分析を行っていた。本手法では、基準値の変動を考慮することで、従来手法よりも正確に飽和領域を抽出できる。正確に飽和領域を抽出することで、斜面崩壊検知システムの予知再現率が向上する。

### 3.2 ゆらぎを含む領域幅の導出

飽和領域と基準領域を抽出するために、それぞれにセンサのゆらぎを含む領域幅を決定しなければいけない。領域幅は、センサの最大のゆらぎまでを含んだ幅とする。ゆらぎを含む領域幅はフーリエ変換とローパスフィルタを用い、図3のようにゆらぎを除去した間隙水圧データとフーリエ変換前のデータを比較することで決定する必要がある。同時刻のフーリエ変換前の間隙水圧データとフーリエ変換後の間隙水圧データの差分の最大値を領域幅とする。地盤乾燥時の間隙水圧データから基準領域を抽出する。基準領域の抽出のためには、上述の基準領域の領域幅以外に基準値を決定しなければならない。基準値は、地盤乾燥時において間隙水圧を取得している期間の平均値とする。期間は地盤乾燥時の現在から24時間さかのぼった時点までとする。過去の基準値と現在リア

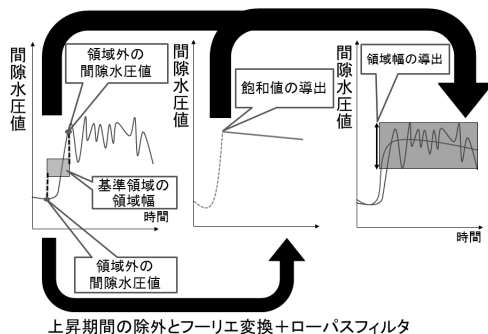


図3: ゆらぎを含む領域幅と飽和領域の導出

ルタイムで取得している間隙水圧データを比較することで、基準値の変動を抽出する。

まず、現在リアルタイムで取得している間隙水圧データから現在の間隙水圧の平均値を求め、基準値と比較する。二つの値と比べ、その差がある閾値を超えていなければ基準値は変動しておらず、閾値を超えていれば基準値は変動したと考える。基準値が変動したと判断したとき、現在の間隙水圧の平均値を新たな基準値とする。そのさい、得ていた飽和領域は破棄する。

### 3.3 飽和領域の切り出し

斜面崩壊検知システムから得られた降雨時の間隙水圧データを用いて、図3のように飽和領域を切り出す。

飽和領域の導出のためには、間隙水圧の上昇期間と下降期間を除外した後に、飽和値とゆらぎを含む領域幅を決定する必要がある。飽和値から領域幅を設定したものを飽和領域とする。

現在降雨時の間隙水圧値が飽和領域に入れば、飽和したと判定し、飽和領域から抜ければ、飽和していないとする。

はじめに、間隙水圧の上昇期間を除外するため、基準領域の領域幅を利用する。降雨時の各時点において、その時点の間隙水圧データから降雨開始前までの間隙水圧データを加算し、平均値を求める。その平均値に、基準領域の領域幅を加えた値を求める。もしも、当該時点の間隙水圧データがこの値を越えた値を示せば、それ以前が間隙水圧の上昇期間であると判定する。この値を適用し続け、この値に収まっている時を飽和している期間とみなす。その状態から、この値を下回った値を示せば、間隙水圧の下降期間であると判定する。

飽和値は、同じ基準領域を用いていたときの過去の降雨時の間隙水圧データおよび当該降雨時の間隙水圧データから最も高い間隙水圧値とする。なぜなら、間隙水圧値は降雨によって、正の方向に上昇し、飽和すると上昇が止まるからである。

飽和領域の抽出のためには、飽和値の他に間隙水圧データのゆらぎを含む領域幅が必要であるため、3.2の手法に従って領域幅を抽出する。

## 4. おわりに

本論文では、基準値の変動を考慮した飽和領域抽出手法を提案した。これにより、従来よりも高い信頼性を持つ警報の発令が可能になる。今後は、斜面崩壊検知システムから得られた間隙水圧データを用いて、手法の有用性を図る予定である。

## 参考文献

- [1] K.Kajimoto, Y.Yokota, F.Harada and H.Shimakawa, Sensor Network to Monitor Underground State Transition against Mud Slide Disaster, Proc. of the 12th WSEAS Intel. Conf. on COMPUTERS, pp.115-121, 2008.
- [2] 西垣誠, 小松満, 龍満弘誠, 豪雨時における斜面崩壊予測に関する基礎的研究, 土と基礎 55(6), pp.24-26, 2007.