

D-042

# 防災センサネットワークでの同特性データを利用した維持負担軽減 Utilizing Similar Behavior of Data Items in Mud Slide Sensor Network to Reduce Maintenance Efforts

加藤 和弥<sup>†</sup>  
Kazuya kato

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

我が国では毎年、降雨を原因とする土砂災害が深刻な被害をもたらしている。土砂災害対策では斜面崩壊を予測し、適切な警告を発令することが重要である。斜面に無線センサネットワーク（以下 WSN）を構築し、地盤内のデータを収集し分析することで、斜面崩壊の危険性を予測するシステムが研究されている [1]。WSN により構築されたシステムでは、電池切れや物理的な故障によってセンサノードの動作が停止した場合、人間がセンサノードの保守管理業務のために現場に赴く必要があり、大規模な WSN を使用したシステムになるほど、人的負担が大きい。

本論文では、センサノードが取得したデータを分析し、同じ特性を持ったセンサノードのグループを作ることで、人的負担を削減する手法を提案する。データ間の相関関係を分析することで類似性・規則性を見つけ、データをグループ化できる。これにより、あるセンサノードが停止しても、グループ内の他のセンサノードで代替することで、早急な修復作業をする必要がなくなり、人的負担を軽減できる。また、各グループの代表となるデータを選出し、データ分析を代表値のみで行うことで人的負担を軽減できる。

## 2. 斜面防災システム

### 2.1 斜面防災システムの現状と課題

我々は、斜面防災システムを構築している [1]。この斜面防災システムは WSN により取得された間隙水圧の変化を分析することで、斜面崩壊を検知するシステムであり、無線および有線のセンサネットワークがそれぞれ取得した間隙水圧と降水量を利用している。間隙水圧とは土砂の隙間の地下水による圧力である。

現状では、各センサノードから取得されたデータの分析には人間に頼っている部分があるため、人的負担が掛かる。また、斜面防災システムは斜面崩壊の発生が予測される急斜面に構築するため有線での電力供給は難しく、多くのセンサノードは電池駆動である。そのため、定期的に電池交換作業などの保守管理をする必要があり、人的負担が大きい。そして、1つのセンサノードが不具合を起こした場合、人間が現場に赴き早急に対処する必要がある。この修復作業は定期的な保守管理作業とは異なりシステム管理者にとって想定外の作業であるため、現場に赴く人的負担が大きくなる。本研究ではこれらの人的負担を運用コストと定義する。

斜面防災システムは道路全体の被害を予防するため、道路が面する崩壊の危険性がある斜面全体で、大規模か

つ広範囲に運用されることになる。システムの大規模化で不具合の発生が増加することによる運用コストの増加を抑制するため、運用コストの削減が必要になる。

### 2.2 データの冗長性判断の必要性

運用コストを削減するための手法としてセンサノードの通信経路についてシミュレートしたり [3]、事前に最適な配置を決めることで、センサノードの耐故障性を向上させる手法 [4] が研究されている。

しかし、斜面防災システムが使用している間隙水圧値は地盤の形状・性質に強く影響されるため、事前にその特性を把握できない。よって、既存研究 [3]、[4] による耐故障性に優れた配置はデータの冗長性を含む。

冗長性のあるデータを処理することは管理コストの無駄である。よって、各データを解析し、センサノードの必要性を判断することが必要になる。このような冗長なセンサノードを検出することで運用コストを削減できる。

## 3. 負担軽減手法

### 3.1 維持負担軽減手法の概要

本論文では、土壌雨量と間隙水圧の関係性に基づいてセンサノードのデータをカテゴリ化することで冗長なセンサノード群を検出し、データを分析する人的負担と想定外の作業で現場に赴く人的負担を軽減する手法を提案する。これらの人的負担の削減により、運用コストの削減を図る。概要を図 1 に示す。

斜面防災システムは間隙水圧と降水量を解析することで斜面崩壊を検知している。間隙水圧  $U_w$  はテンシオメータと呼ばれるセンサの水管を地中に刺すことで計測されており、降水量は有線のセンサネットワークにより測定されている。また、複数のテンシオメータを計測したい斜面上の各深度に設置し、これを一つのセンサノードとする。これらにより、斜面防災システムのセンサネットワークが構築されている。

土壌雨量  $S_T$  は地下水の入水量から流出量を除いたものとしてタンクモデル [2] により定義されている。過去

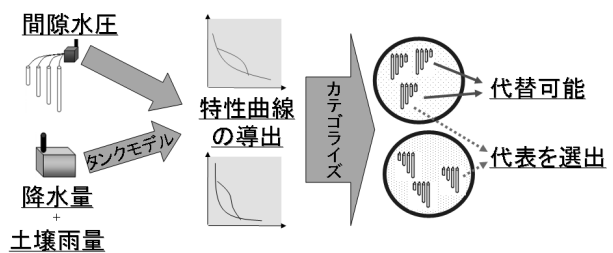


図 1: 維持負担軽減手法の概要

<sup>†</sup>立命館大学 情報理工学部

<sup>‡</sup>立命館大学大学院 理工学研究科

の  $S_r$  と  $U_w$  のデータから得られた  $S_r$  と  $U_w$  の関係性によって、テンシオメータが埋められている地点の地質の特性を表現できる。関係性とは、ある地点における降雨毎の  $S_r$  に対する  $U_w$  の変化であり、特性とは土壌の状態からある地点における雨水の浸透しやすさに由来する。

同定された関係性から特性曲線を作成し、特性曲線についてデータ間の相関関係を分析することで類似性・規則性を見つけ、 $U_w$  のデータ群をカテゴライズしグループ分けできる。これにより、グループ内の一部のセンサノードが使用不可能になったさいに同一グループ内の他のセンサノードのデータで代替することが可能になる。よって、任意のセンサノードが使用不可能になっても同グループ内に使用可能なセンサノードがあれば、故障対策のための早急な修復作業の必要は無いため、維持負担を軽減できる。

### 3.2 降雨特性曲線の導出

あるテンシオメータで得られるデータの特性を表現するために、降雨特性曲線について定義する。

タンクモデル [2] を用いて、地中のある位置に流入する水量と、そこから流出する水量が定義できる。その位置の土壤雨量  $S_r$  は、 $S_r = (\text{入水量} - \text{流出量})$  で与えられる。過去の各計測点における  $S_r$  と  $U_w$  の値を 2 次元平面上にプロットし、それらに対する近似曲線を求めることにより、図 2 のような S 字状のグラフを求める。これを降雨特性曲線と定義する。この曲線は各テンシオメータの特性を表しており、ヒステリシスを持つ。

### 3.3 特性曲線によるカテゴライズ

冗長性を持ったデータ群を抽出するため、降雨特性曲線を各テンシオメータから得られるデータごとに作成し、2 データ間の類似性を判定することでカテゴライズする。

降雨特性曲線はヒステリシスを持つため、2 つのデータの類似性を求めるにあたって上昇分・下降分の 2 本の線に対して相関関係をそれぞれ求める。これらのうちより小さい方を類似性の判定基準に用いる。

カテゴライズの手法として、求めるシステムの精度に応じた類似度の閾値をユーザに入力してもらい、データが閾値より高い類似性を持つ 2 テンシオメータを同じグループとするような手法が考えられる。

### 3.4 カテゴリーによる維持負担軽減

斜面防災システムのカテゴライズによる維持負担軽減について述べる。

テンシオメータのデータ群をカテゴライズし、各グループの代表となるテンシオメータを選出する。グループ内のデータ分析をこのテンシオメータのデータのみで行うことで、データ分析のための人的負担を軽減できる。また、センサノードが故障しても同一グループ内の他のセンサノードで代替できることが予め把握できるため、あるノードが故障しても早急に現地に向かい、対応する必要がなくなる。同一グループ内の正常なセンサノードの数が著しく少なくなった場合に修理するだけで良い。

以上から、センサノードのカテゴライズを利用して運用コストを削減できる。

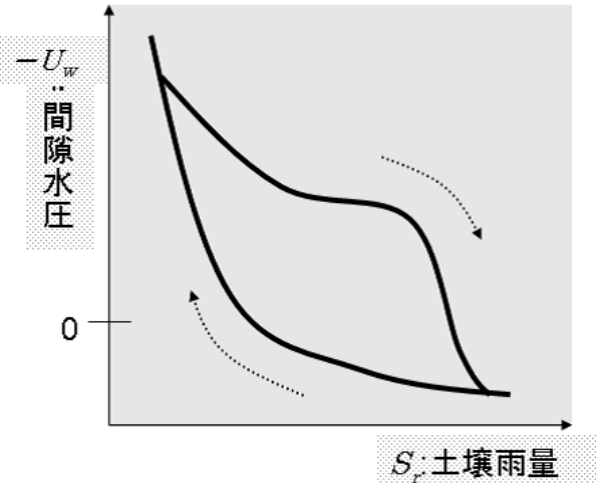


図 2: 一般的な降雨特性曲線

## 4. 評価

本手法は既存手法とは異なったアプローチから、運用コストの削減が見込める。

まず、センサノードの消費電力に着目し、通信路を選定することでセンサネットワーク全体の稼働時間を伸ばす手法 [3] は、定期的な保守管理のインターバルを長くすることで、運用コストを削減する。対して、本手法は代替可能なセンサノード群の一部が電力不足などに使用できなくなったとしても、システム全体の運用には問題がないことに着目し、センサノードの保守管理のために不定期的に現地に赴く頻度を減らすことで人的負担を減らし、運用コストを削減する。

また、事前にセンサノードの配置をシミュレートする手法 [4] は、センサノードの耐故障性が高い配置を見つけることで運用コストを削減するが、この配置ではデータに冗長性が生まれる。そして、本手法ではデータの類似性・規則性によってカテゴライズすることでデータの冗長性を見つけ出し、運用コストを削減する。

## 5. おわりに

本論文では、WSN により構築された斜面防災システムでの同特性データを用いた運用コストの削減手法を提案した。今後は、本手法を用いてデータをカテゴライズした場合と、そうでない場合の運用コストを、シミュレータを用いて比較し、本手法の有用性を実証する。

## 参考文献

- [1] 深川良一, "センサーネットワークを利用した次世代型斜面防災システムの構築.", 立命館大学 総合理工学研究機構 防災システム研究センター, 2008.
- [2] 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斉藤清, "土壤雨量指数.", Tenki, vol.48, no.5, pp.349-356, 2000.
- [3] 内藤 克浩, 竹島 公貴, 森 香津夫, 小林 英雄, "電源残量に基づくセンサネットワーク用ルーチングプロトコルの研究.", 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.37, pp.49-54, 2007.
- [4] 斎藤 洋, 南 裕也, "センサネットワークの性能尺度とその評価.", 電子情報通信学会技術研究報告, vol.102, no.693, pp.129-132, 2003.