

ウェーブレット解析を用いた地中音に関する研究

建設設計工学研究室 山田 圭介

指導教官 宮木 康幸

1. はじめに

我が研究室では、数年前から CCD カメラを用いた斜面監視システムを開発している。この特徴として、(1)比較的広い面積を監視することが可能、(2)無人での自動監視が可能、などが挙げられる。しかし、欠点としては、(1)斜面の地表だけが監視の対象となっているため、地表の変動があるまで異常を検知できない(2)夜間や気象条件などの外的な影響を受けやすい、などが挙げられる。

そこで、平成 12 年度から音響的手法を用いた地すべり予測システムが考えられた。音響的手法の利点としては、地表面の変動が現れる前に斜面の内部変動の音を計測して、地すべりを地表面観測よりも早く検知できることが考えられる。

2. 研究概要

昨年度の研究では地中音の一つとして、草の根が斜面の微弱な変動によって切れる時に発生すると考えられる根切れ音について注目した。その結果、それを判別できるセンサの有効範囲は 2m という結論に至った。しかし実際の地すべり現場の規模を考えると、この有効範囲では実用性が低いと考えられる。

そこで今年度は、このセンサの有効範囲の拡大を研究目標として取り上げた。そのための改善点として、大きく分けて 3 つの項目に着目し、実験、解析結果からその有効性を確認し、有効だと考えられる項目を取り入れて再度実験を行い、有効範囲拡大の確認を行った。

大きな改善点としては、根切れ音の判別手段として昨年まで用いられてきた FFT 解析(高速フーリエ変換)をウェーブレット解析に変える

ことである。これは根切れ音の性質が時刻によって変わらない場合は、観測時間全体に窓関数を設定するフーリエ変換が有効であると考えられるが、根切れ音は時刻によりその性質が変化することが多いので、その着目している時刻に窓関数を設定できるウェーブレット解析が好ましいと考えられるためである。このような理由からウェーブレット解析を用いて、根切れ音などの地すべり時の現象を特定し、さらに有効範囲拡大につながるかどうかを検討した。その他の 2 つの改善点として、センサの地中に設置する時の深さ、そして根切れ音とノイズとの判別方法の改善について検討を行った。

3. 使用する測定機器、解析ソフト

測定方法は、振動センサからのアナログ信号をアンプにより増幅し、A/D コンバータによってデジタル信号に変換し、ハードディスクに記録する方法を用いた。

ウェーブレット解析ツールとしては「Time2Wave」という市販のソフトを用いた。ウェーブレット解析は大きく分けて連続ウェーブレットと離散ウェーブレットの 2 種類がある。連続ウェーブレットは時間経過による変化を視覚的に解析するのに適しており、離散ウェーブレットは周波数の分解能が粗いが解析時間が早く、また、順変換/逆変換を行うことができるという性質がある。

今回の根切れ音の解析は、詳細な周波数の調査を必要とすることがあるため、本研究では周波数分解能の高い連続ウェーブレットを用いた。

4.改善点について

4.1 ウェーブレット解析の導入

昨年度，有効範囲が2mと判定された同じ実験データについて，改めてウェーブレット解析を行い，ウェーブレット解析の有効性を調べた．当時の実験条件を図1に示す．センサと植物の距離を0.5～4mに変化させ，根切れ音がノイズに埋もれることなく検出できる距離を調査したものである．

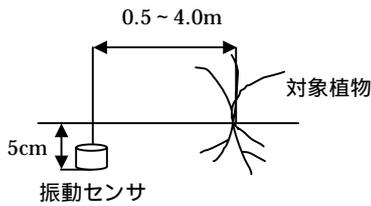


図1 実験条件

昨年度はそれぞれの距離のデータ全体についてFFT解析を行い，卓越周波数の電圧値と距離の関係を調べた．それを図2に示す．また4m時のデータについて，今年度用いたウェーブレット解析の結果を図3に示す．

図2に示すFFT解析を用いた解析結果では，3m以上にセンサと植物の距離が離れると，ノイズに根切れ音が埋もれてしまい検出できないと判定された．しかし図3に示す今年度用いたウェーブレット解析では，4mのデータからも，ノイズに埋もれることなく，根切れ音を検出することができた．このことから，ウェーブレット解析はFFT解析よりも根切れ音の解析に有効であると考えられる．

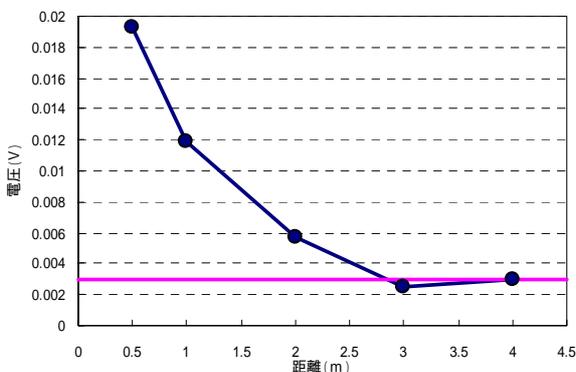


図2 FFT解析結果

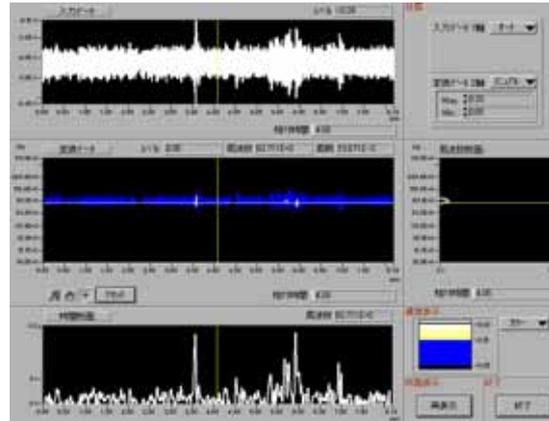


図3 4m時のウェーブレット解析結果

4.2 センサの深さについて

センサの有効範囲を拡大するには，ノイズと根切れ音の区別をはっきりさせる必要がある．そのためにはセンサをどのような状態で設置すればよいのか，センサを地中に埋める際の深さの影響について検討した．

実験条件を図4に示す．

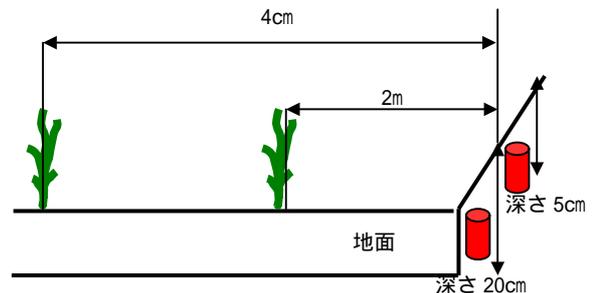


図4 実験状況

センサを2つ用意し，センサの深さを5cm,20cmとして地中に埋めた．そしてセンサから2,4mとそれぞれ離れた地点での根切れ音を測定した．

2mの時の実験結果を図5，図6に，4mの時の実験結果を図7，図8に示す．

2mの解析結果を見てみると，センサの深さによらず，根切れ音の判別が容易に行えることがわかる．しかし4mの距離になると，センサを深く埋めた方が，根切れ音の波形の振幅が大きくその判別が正確に行えることがわかった．

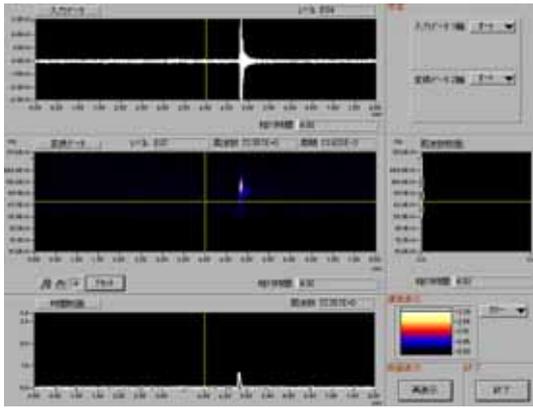


図5 2m時の根切れ音（深さ5cm）

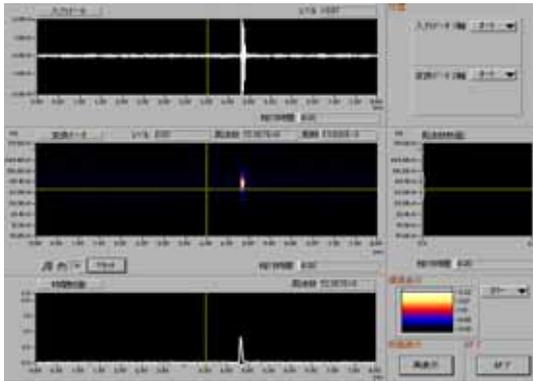


図6 2m時の根切れ音（深さ20cm）

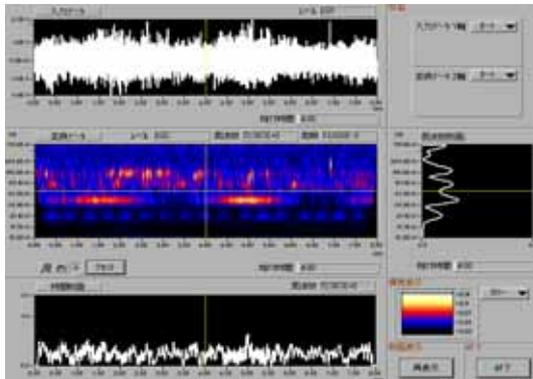


図7 4m時の根切れ音（深さ5cm）

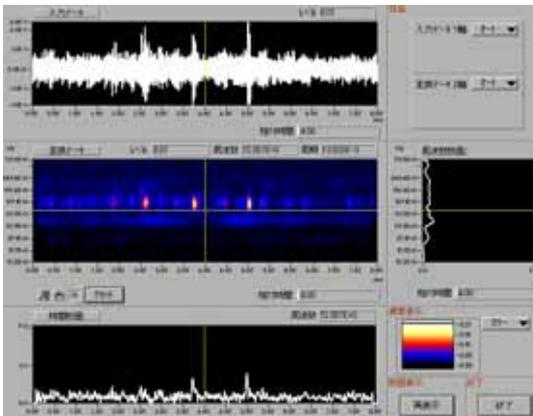


図8 4m時の根切れ音（深さ20cm）

またセンサの深さが浅い場合に比べて、周囲のノイズを抑えることができ、根切れ音とノイズの判別がしやすいと考えられる。

4.3 判別方法の改善

昨年度は根切れ音検知の判定基準として、ノイズ、根切れ音それぞれのFFT解析値の最大電圧値を比較し、判別可能かを決定していた。

今年度はノイズと根切れ音それぞれの周波数特性を調査し、より根切れ音とノイズとの差がでる周波数帯に着目し判別することで、センサの判別距離が伸びるかを実験により調べた。実験状況を図9に示す。

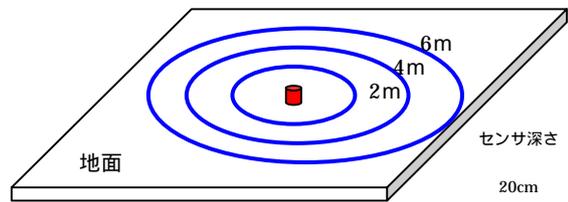


図9 実験状況

センサから2, 4, 6mとセンサを中心に円心状に離れた地点でそれぞれ10個ずつ根切れ音のデータを測定した。

解析結果から根切れ音の発生時刻に着目し、根切れ音の卓越周波数帯の上限周波数、下限周波数をそれぞれ求め、距離との関係をまとめたものを図10に示す。

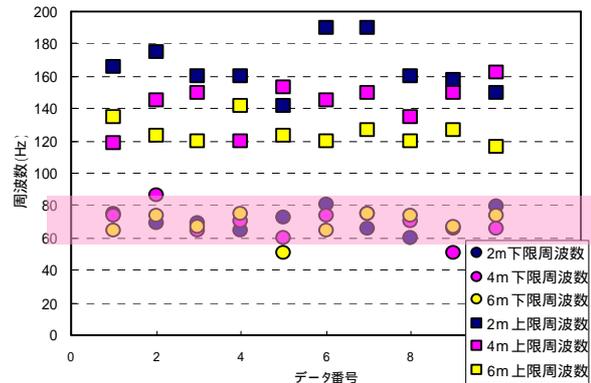


図10 根切れの音周波数分布

大学構内で今まで確認できたノイズに共通しているのは100Hz付近以上の周波数帯にノイズが集中していることである。

このためノイズが最も卓越している 100Hz 付近を避け、それより下の周波数の根切れ音に着目することで、さらにセンサの判別距離、精度を伸ばすことができると考えた。具体的にその着目すべき周波数は図 10 より、根切れ音の周波数特性から 60Hz~80Hz 付近が妥当だと考えた。

4.4 改善後の判別距離について。

解析手法の変更、センサを埋める深さ、判別方法の改善を踏まえて、4m よりもさらに距離を伸ばして、去年の有効範囲 2m の 4 倍以上の距離での根切れ音の観測を想定し、実験を行った。センサの設置状況を図 11 に示す。また 9m 時の実験結果を図 12 に示す。

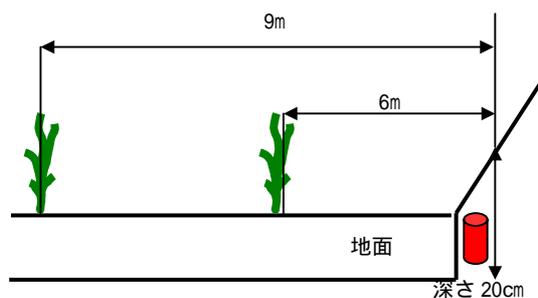


図 11 実験状況

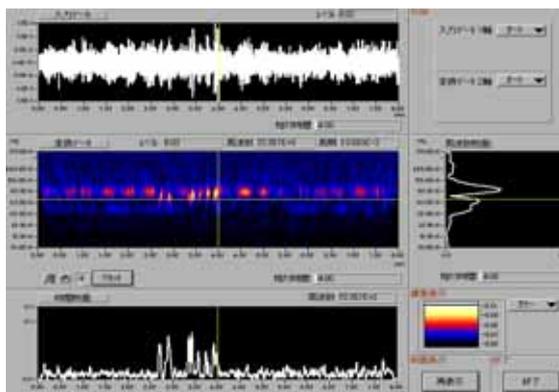


図 12 9m 時の根切れ音

図 12 の 70Hz 付近に着目した時間断面を見てわかるように、すべての改善点を考慮した実験において、9m でも十分に根切れ音を判別できた。

5. 結論

ウェーブレットの導入、センサを埋める深さを 20cm にする、60Hz~80Hz の周波数帯でノイズと根切れ音の判別を行うという 3 つの改善を行うことで、センサの有効範囲は草のような細い根の根切れ音に注目した場合、9m でも十分に根切れ音を判別することができることがわかった。またこれは木の根のような太い根の根切れ音に着目することで、更なる有効範囲の拡大が期待できる。

また、ウェーブレット解析を用いることで、時間周波数解析が可能となり、これにより時刻による変化パターンからも根切れ音の現象を確認できる可能性が出た。

6. 今後の課題

来年度以降の課題を以下に示す。

- (1) 実際の地すべり現場での観測データの収集。
- (2) 降雨時など気象条件に対応できる観測方法の開発

参考文献

- 1) 榊原 進：ウェーブレットビギナーズガイド（1995）東京電気大出版局
- 2) 新井 康平：ウェーブレット解析の基礎理論（2000）森北出版株式会社
- 3) E. クライツィグ：フーリエ解析と偏微分方程式（1987）培風館
- 4) 上畑 吉紀：模型実験を用いた地中音による地すべり予測に関する基礎研究（2003）長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文
- 5) 土佐 啓幸：地中音による地すべり予測に関する基礎研究（2004）長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文