

地中音による地すべり予測に関する基礎研究

建設設計工学研究室 土佐 啓幸
指導教官 宮木 康幸
鳥居 邦夫

1. はじめに

日本は国土の約 8 割近くが山地で占められており、昔から種々の自然災害の中でも、山地に由来する災害の比率が高い。最近は土砂災害が著しく目立つようになり、日本全国の各地に危険箇所が数多く存在するため、斜面監視体制の開発や強化が必要とされ、現在、日本では様々な方法を用いた斜面監視を行っている。

我が研究室では、CCD カメラを用いた斜面監視システムを開発している。このシステムの特徴として、

- ・ 比較的広い面積を監視することが可能。
- ・ 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、

- ・ 斜面の地表だけが監視の対象となっている。
- ・ 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、地すべりを予測できることが考えられる。

2. 研究概要

昨年度の地すべり現場計測において、センサを単管パイプに取り付けた場合のノイズ対策として、スポンジを表面に巻いた三角コーンを上からかぶせて使用していた。しかし、この対策方法では、気象、特に降雨の影響により地中音から地すべり予測を行うことは困難であることがわかった。そこで、今年度はセンサをよ

り着目する音源に近づけ、ノイズから遠ざけるために、単管パイプを用いずに、センサを地中に直接埋めることを考えた。また、どの位の深さまでセンサを地中に埋めることによって、降雨の影響をノイズレベルにまで抑えることができるか、実験により検証した。

次に、昨年度の模型実験において、地すべりの誘因である地下水流の変化をセンサで捉えられるかを検討した。その結果、水平方向に流速を変化させると、100Hz 以下の周波数領域で変動することがわかった。今年度は、地表面もしくは地中に変動が現れた場合に、植物の根が切れる音が発生することに着目し、この根切れ音の特性を調べ、地すべりの予測につながるかどうかを検討した。

3. 計測機器について

本研究で使用する計測機器を図 1 に示す。感知した振動をセンサは電圧の変化としてとらえる。この電圧はアナログ信号となり、アンプにより増幅し、A/D コンバータによってデジタル値に変換し処理され、ハードディスクに記録している。

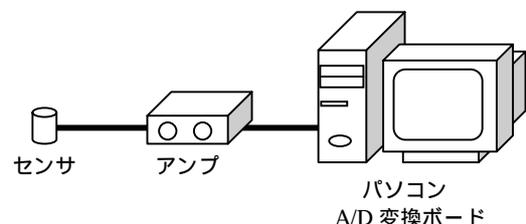


図 1 計測機器

4. 計測方法の改善

昨年度の現場計測より，従来の計測方法では，気象，特に降雨の影響によって地中音から地すべり予測を行うことは困難なのではないかということがわかった．

4.1. 新しい計測方法の提案

今年度は，センサをより着目する音源に近づけ，地上から発せられるノイズから遠ざけるために，樹木や単管パイプなどのセンサを取り付ける媒体を介せずに，センサを地中に直接埋めることを考案した．この計測方法を図2に示す．

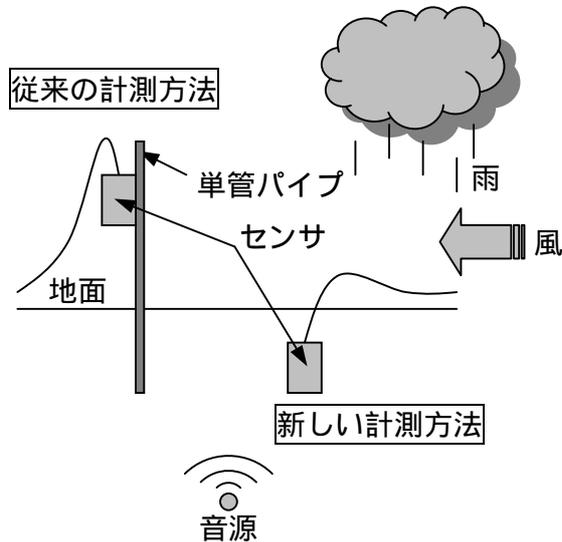


図2 新旧計測方法

4.2. 降雨の影響について

“降雨の音を拾って地中音の判別をすることが困難である”という従来の計測方法の最大の問題点について，センサを直接地中に埋めるといふ新たな計測方法で，どの位の深さまで地中に埋めたら，降雨音の影響をノイズレベルにまで抑えられるか実験により検証した．実験状況を図3に示す．

水の流量は，70ml/secとした．これは，水がきれいにシャワー状になる最低流量である．これを時間降雨量に換算すると約 1000mm という，猛烈な雨となる．

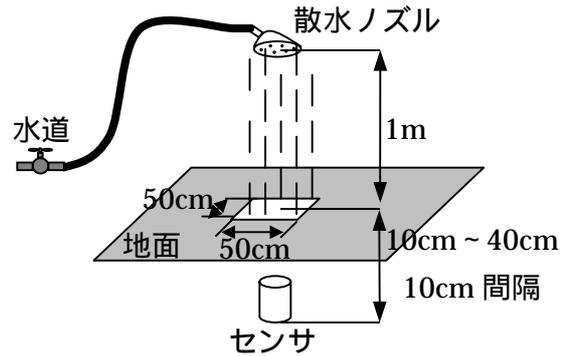


図3 実験状況

センサは，10cm ,20cm と 10cm 間隔で 40cm まで埋め，その深さでの降雨音を計測し，FFT解析を行った．また，今回の実験では，センサを 40cm の深さに埋めたときに簡単な防音対策として，センサ真上の地面に現場計測のときに使用していた三角コーンを用いて，降雨音の計測も行った．実験結果を図4に示す．

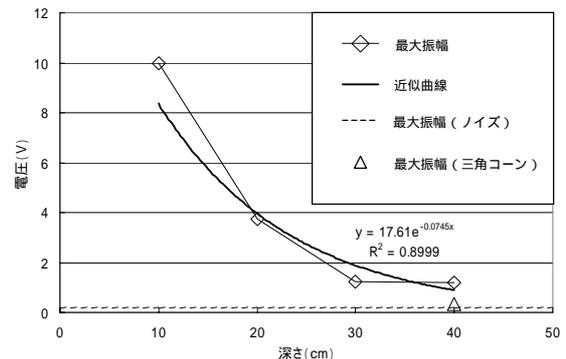


図4 最大振幅

このグラフは，各深さにおける降雨音の最大振幅をプロットしたものである．

近似曲線よりノイズと同等の最大振幅となる深さを推定すると，

$$y = 17.61e^{-0.0745x}$$

ノイズの最大振幅は，0.192919V である．

$x = 60$ を代入すると，

$$y = 17.61e^{-0.0745 \times 60} = 0.201587 \approx 0.192919$$

となる．

したがって，地中に 60cm の深さでセンサを

埋めることによって、降雨の影響はほぼなくなるものと考えられる。また、三角コーンを防音対策として用いると、さらに降雨の影響を少なくすることができる。

5. 草の根切れ音について

地すべりの前兆現象として、頭部において亀裂が入ったり、末端部でせり出したりといった現象がある。そこで、草や木の根が断ち切られて音が発生することが考えられる。

本研究では、この植物の根切れ音に着目し、その特性を調べ、地すべりの予測につながるかどうかを検討した。

5.1. 根切れ音の特性

地中を伝わる草の根切れ音の特性を調べるために実験を行った。実験状況を図5に示す。

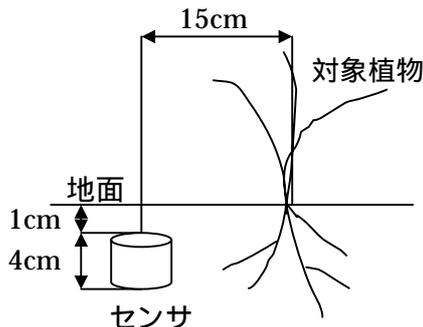


図5 実験状況

高さ約30cmの3種類の植物(図6参照)を地面から抜き、それぞれの波形についてFFT解析を行った。解析結果を図7に示す。



図6 対象植物

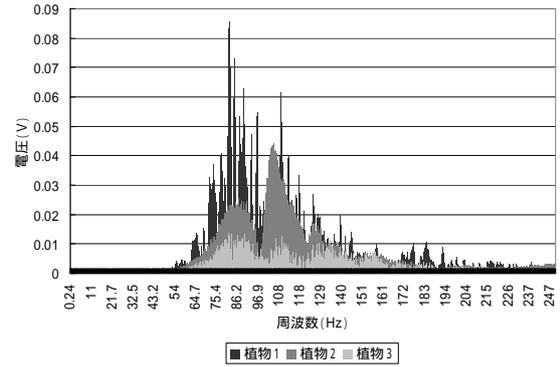


図7 FFT解析結果

それぞれの植物の根切れ音について比較すると、80Hz付近と100Hz付近で共通して卓越することがわかる。これは、平成12年度に行われた地すべり現場において計測された根切れ音と思われる音の特性と非常によく似ている(図8参照)。

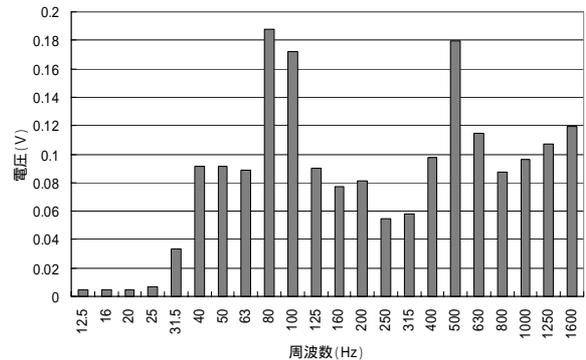


図8 現場計測結果

したがって、草の根切れ音から地すべり予測を行うことは、一つの判断基準として、有効なものではないかと考えられる。

根切れ音は、ノイズと比較すると衝撃波に近い。したがって、波形は矩形波に似ているため、傾きを求めると無限大に近い大きな値になることが考えられる。そこで、ノイズおよび、植物1～植物3それぞれの波形について傾きを求め、その最大値を表1に示す。

表 1 傾きの最大値 単位: V/sec

植物 1	植物 2	植物 3	ノイズ
1.72×10^4	7.44×10^3	2.25×10^3	3.41×10

表を見ると、ノイズと植物では傾きが比べものにならないほど大きくなっていることがよくわかる。したがって、波形より根切れ音とノイズの区別を行う際には、非常に有効な手段ではないかと考えられる。

5.2. センサの計測有効範囲

音源からセンサまでの距離を変化させ、草の根切れ音と確認できる有効範囲を実験により検証した。実験状況を図 9 に示す。

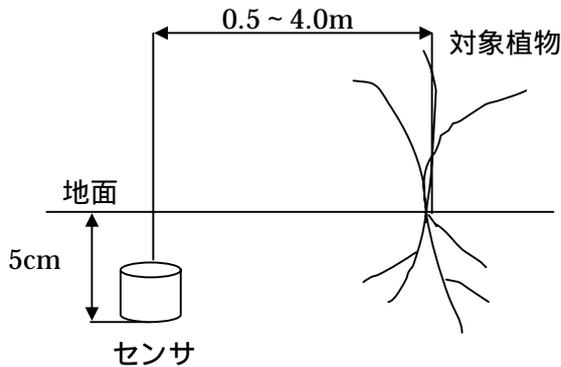


図 9 実験状況

高さ約 30cm の同種類の植物とセンサまでの距離を、0.5m、1.0m、2.0m、3.0m、4.0m と離していき、それぞれの植物の根切れ音を計測し、FFT 解析を行った。解析結果を図 10 に示す。

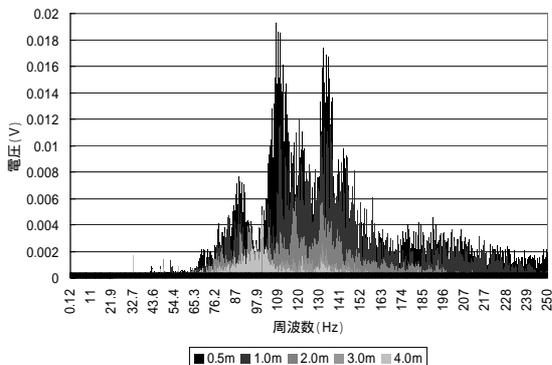


図 10 FFT 解析結果

グラフより、2.0m までは草の根切れ音の特徴がわかり、判別可能であるといえる。

それぞれの FFT 解析値について、その最大値と距離の関係について示したグラフを図 11 に示す。

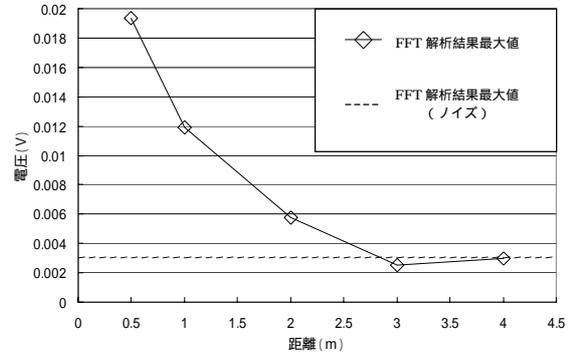


図 11 FFT 解析値の最大値と距離の関係

グラフより、3m 以上になるとノイズと変わらない値になっていることがわかる。したがって、草の根切れ音と確認できるセンサの有効範囲は半径 2m 以内が妥当であると考えられる。

6. 木の根切れ音について

センサの有効範囲が半径 2m 以内では、実際の地すべり現場の規模を考えると、これをカバーするために、非常に多くのセンサが必要になることが想像される。そこで、木の根切れ音に着目し、草と比較して、根の太さや強さの違いから、エネルギーが非常に大きいため、センサの有効範囲が広がるのではないかと考え、これを検証した。実験状況を図 11 に示す。

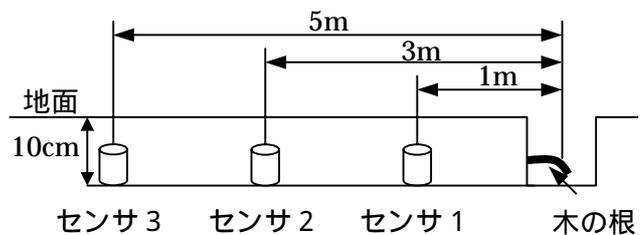


図 12 実験状況

3種類の木の根（図13参照）を地面から引き抜き、それぞれの波形についてFFT解析を行った。白い円は、根を引き抜いた際の破断箇所である。

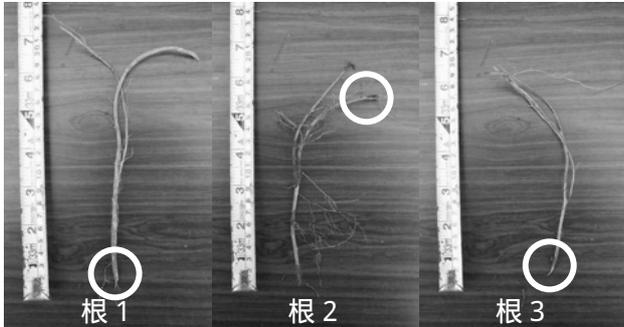


図13 木の根

また、表2に木の根の太さと、引張強さについて、表3に本研究で用いた草の根の太さと、地中から引き抜くときの強さを示す。

表2 木の根の太さおよび引張強さ

根 No.	1	2	3
破断面の太さ (mm)	3	2.8	2.4
強さ (N)	235	176	176

表3 草の根の太さおよび引張強さ

根の太さ	太くても 0.2mm ~ 0.1mm 位
強さ	平均 30N

各根の解析結果について、似た結果が得られたため、根2の解析結果を図14~16に示す。

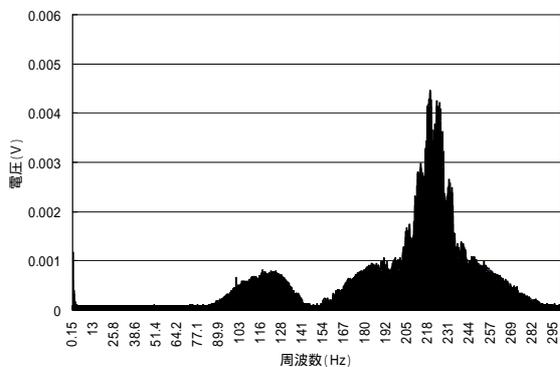


図14 FFT解析結果 (1m)

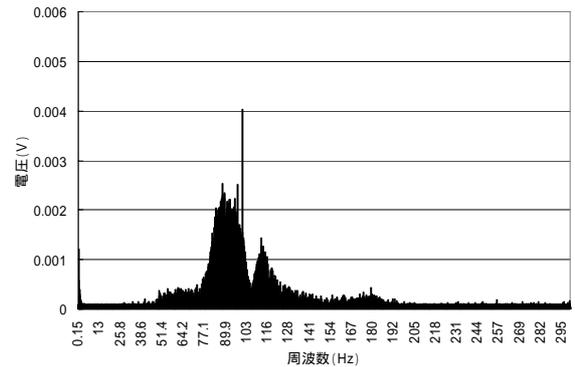


図15 FFT解析結果 (3m)

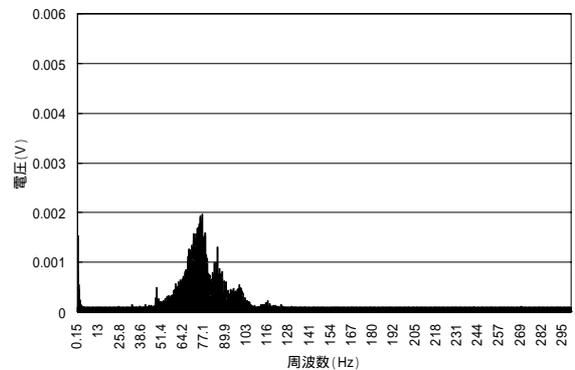


図16 FFT解析結果 (5m)

解析結果より、木の根からセンサまでの距離が短いと高い周波数が卓越し、離れるにつれ、低い周波数が卓越することがわかる。

それぞれのFFT解析値について、その最大値と距離の関係について示したグラフを図17に示す。

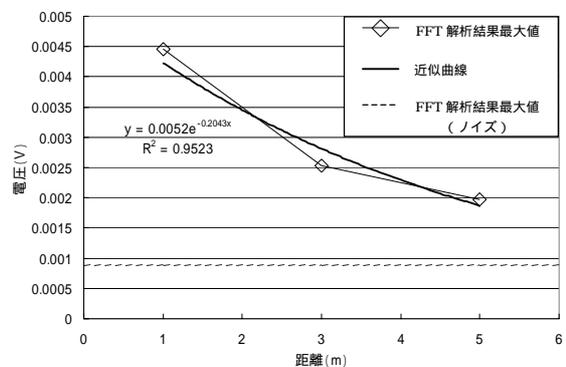


図17 FFT解析値の最大値と距離の関係

ノイズと区別がつくセンサの有効範囲は、グラフより、半径 5m 以上でも有効であることがわかる。

近似曲線より、ノイズと同等の最大値となる距離を推定すると、

$$y = 0.0052e^{-0.2043x}$$

ノイズの FFT 解析値の最大値は 0.00089V より、 $x=9$ を代入すると、

$$y = 0.0052e^{-0.2043 \times 9} \\ = 0.000827 \approx 0.00089$$

となる。

したがって、センサの有効範囲は半径 9m 以内が妥当であると考えられる。

地すべりを予測する際には、木の根切れ音に着目することにより、一つのセンサが負担する面積が広がるため、現場を広範囲に計測することができる。

7. まとめ

今年度の研究成果を以下に示す。

7.1. 降雨音の影響について

センサを直接地面に埋めるという新しい計測方法により、着目する音源に近づけることができた。また、「降雨音の影響によって地中音から地すべり予測を行うことは困難」という、従来の計測方法の最大の問題点が、センサを地面から 60cm 程度の深さまで埋めることによって、降雨の影響をノイズレベルにまで抑えられる。また、三角コーンを防音対策として用いると、さらに降雨の影響を少なくすることができる。

7.2. 草の根切れ音について

草の根切れ音について、80Hz 付近と 100Hz 付近で卓越していることがわかった。これは、平成 12 年度に行われた地すべり現場において計測された根切れ音と思われる音と特性が非

常によく似ている。したがって、草の根切れ音から地すべり予測を行うことは、一つの判断基準として、有効なのではないかと考えられる。

また、根切れ音は、ノイズ等と比較すると衝撃波に近いので、この 2 つの波形は傾きの大きさが比べものにならないほど異なった。したがって、波形から根切れ音とノイズの判別を行う際には、非常に有効な手段ではないかと考えられる。

最後に、草の根の根切れ音と確認できるセンサの有効範囲は半径 2m 以内である。

7.3. 木の根切れ音について

木の根切れ音は草の根切れ音と比較して、根の太さや強さの違いから、エネルギーが非常に大きく、センサの有効範囲が広がり、今回の実験では、ノイズとの区別ができるセンサの有効範囲は半径 9m 以内であることがわかった。地すべりを予測する際には、木の根切れ音に着目することにより、一つのセンサが負担する面積が広がるため、現場を広範囲に計測することができる。

参考文献

- 1) Gazi Jubayet Jalil: 音響的手法の地滑り予知システムへの応用に関する基礎研, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 平成 13 年
- 2) 丹羽 康修: 地中音による地すべり予知システムの開発のための振動基礎研究, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 平成 14 年
- 3) 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, 長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文, 平成 15 年