

## 加速度の信号処理による斜面崩壊場の土砂挙動に関する研究

群馬大学大学院 学生会員 ○岡田 崇  
 群馬大学大学院 正会員 松本 健作  
 数理設計研究所 正会員 玉置 晴朗  
 防災科学研究所 正会員 酒井 直樹  
 群馬大学大学院 正会員 清水 義彦

### 1. 序論

近年の集中豪雨や地震により頻発している土砂災害の被害報告を受け、早期避難対策の確立が急務となっている。現在はハード面対策の予算は年々減らされていく傾向にあり、実用的で、安価な避難対策が求められている。斜面崩壊の直前予測は実用化されているものもあるが、早期予測の確立には依然課題を残しているのが現状である。当研究室では数年前より、加速度の計測とその信号処理によるヘルスマonitoringに関する基礎的な取り組みを行ってきた。そこでこれまで行ってきた計測および診断技術を斜面崩壊の早期予測に応用することを目的とした基礎的な取り組みを試みた。室内大型実験による斜面崩壊場に加速度センサを埋設し、その振動特性と斜面崩壊の相関性を検討することで、土砂内部の挙動およびその崩壊の前兆現象の検出を試みる。

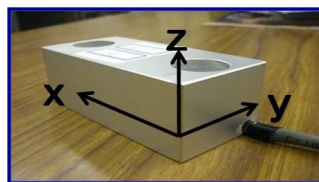
### 2. 実験概要

加速度センサについては、外観を写真—1、諸元を表—1に示す。このセンサを防災科学研究所と消防研究センターとの協同研究によって行われた崩壊実験場に埋設した。設置状況は、写真—2のように斜面下端から1.5mの位置に左からCh1、Ch4、5.5mの位置に左からCh2、Ch3の4器である。斜面の概要は表—2に示す。図—1のようにセンサの設置方向は、斜面横断方向がX軸、接線方向がY軸、法線方向がZ軸である。崩壊実験は表—2に示す。斜面に天井の散水器により50mm/hの連続降雨を発生させ、崩壊までのデータを計測した。今回の実

験斜面は30度と40度の2種類である。また、斜面災害を監視目的とする落錘パルス伝播特性検証も行い、時間とともに累積していく土砂内部の水分量の変化と落錘振動の伝達の相関性を検証した。

表—1 加速度センサの諸元

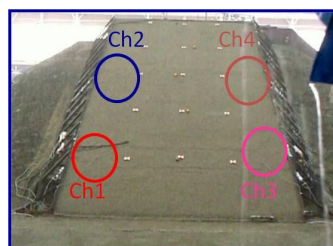
|          |        |
|----------|--------|
| 計測原理     | 静電容量型  |
| 計測軸      | 3軸     |
| sampling | 1600Hz |
| レンジ      | ±1.5G  |
| A/D変換    | 12bit  |
| サイズ(cm)  | 3×3×8  |



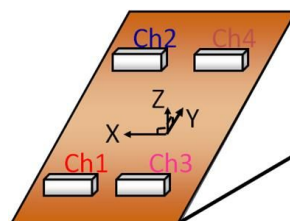
写真—1 加速度センサの外観

表—2 実験斜面の諸元

|      |         |
|------|---------|
| 斜面幅  | 4m      |
| 方面長  | 10m     |
| 斜面厚  | 1m      |
| 土砂堆積 | 40m     |
| 傾斜角  | 30度 40度 |
| 散水強度 | 50mm/h  |
| 給水強度 | 15mm/h  |



写真—2 実験斜面の外観



図—1 センサの埋設方向



写真—3 センサの埋設方向

### 3. 解析方法

Wavelet 変換は解析データの時間情報を残しながら、周波数解析ができる手法である<sup>1)</sup>。Wavelet 変換の基礎式を式(1)に示す。下記のスケールパラメータ  $a$  により基本となるマザーウェーブレットを縮小・拡大させることで、低周波や高周波のウェーブレットを形成し、またそれをパラメー

キーワード Wavelet 解析、加速度センサ、FFT 解析、崩壊実験、微弱兆候

連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学大学院 工学研究科 環境創生工学領域専攻

TEL 0277-30-1640 E-Mail : takashi@ce.gunma-u.ac.jp

タ  $b$  により平行移動させることで、解析データとの位相を検証する。位相が近いと、Wavelet 係数は高く、位相が離れる Wavelet 係数は低くなる。

$$(W_{\psi}f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (1)$$

$b$  : トランスレートパラメーター

$a$  : スケールパラメーター

$f(x)$  : 解析信号  $\Psi(x)$  : マザーウェーブレット

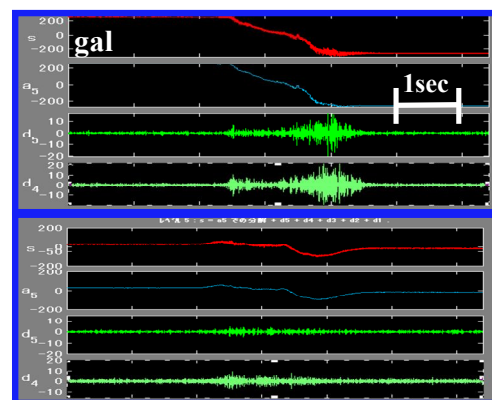
#### 4. 崩壊時の加速度変化の解析結果

図一2 は崩壊時の加速度信号に Wavelet 変換を行った結果である。横軸が時間(sec)、縦軸が加速度(gal)である。1 段目が原信号、2 段目が approximation (近似値)、3、4 段目が detail (詳細) である。approximation と detail を足し合わせたものが原信号である。approximation で加速度センサの姿勢変化を検証、detail でどんな周波数があるのかを検証する。斜面下部に設置した Ch3 の原信号は下方向に変化しているの、これは加速センサが斜面に向かって前方に回転したことを表している。また detail をみると、崩壊の瞬間、崩壊の 1 秒後に高周波成分を確認することができた。この要因としては、斜面下部で大きな亀裂が起きて崩壊したため、土砂の挙動が激しく、これを高周波成分として検知したと考えられる。これにより、高周波成分の検証から亀裂発生を推定できる可能性がある。次に斜面上部に設置した Ch4 は原信号にも detail にもほとんど変化ないことが分かる。これは、崩壊のパターンが上部の土砂が並行移動しながら下部の土砂に堆積するようなものであったため、センサの姿勢変化が起こらなかったと考えられる。また、detail を除去するので加速度センサの微小姿勢変化を検知することができ、崩壊の予兆である土砂挙動を捉えることができる可能性を示せた。今回の実験では、崩壊の 90 分前に土砂の微小変化を捉えることができた。

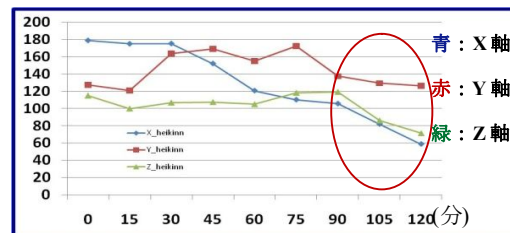
#### 5. 落錘パルス実験の解析結果

パルス実験は 30kg の錘を 80cm の高さから落とすことにより発生する振動を計測した。計測された周波数はおよそ 50Hz、加速度はおよそ 40gal で

あった。図一3 は各時間におけるパワースペクトルの最大値を表したのである。横軸が時間(分)、縦軸が加速度のパワースペクトル(PS)である。この図一3 をみると、全体的に計測開始から 90 分後にパワースペクトル値が下がり始めていることが分かる。これは、加速度センサの姿勢変化開始時刻と一致しており、振動の伝播特性と崩壊兆候に相関性があることが示唆された。



図一2 ch3(図上)、ch4(図下)の離散 Wavelet 図(崩壊時)



図一3 パルスの PS 値の経時変化

#### 6. 結論

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- I. Wavelet 解析を行うことで、崩壊時における加速度特性について、設置位置による顕著な違いが検出できること、センサ周辺の土砂内部の挙動に関する有益な知見を得ることができる可能性があることを示すことができた。
- II. Wavelet 解析によって崩壊の前兆現象としての微弱なセンサの姿勢変化前の、更に微弱な兆候を捉えることができ、より詳細に、より早期に崩壊の予知を行える可能性があることを示すことができた。
- III. 落錘実験を行い、計測したデータに FFT 解析をすることにより、現象とパルスの伝播特性の間に相関性がみられることを明らかにすることができた。

#### 参考文献

- 1) 榊原進：ウェーブレットビギナーズガイド、東京電気大出版局