斜面崩壊場における落錘パルスの伝播特性に関する基礎的研究

群馬大学大学院	学生会員	中村公紀
群馬大学大学院	正会員	松本健作
数理設計研究所	非会員	玉置晴夫
数理設計研究所	非会員	矢沢正人
群馬大学大学院	正会員	清水義彦

1. はじめに

斜面崩壊のメカニズム解明に関する研究は、これま でに様々な試みがなされている。しかし、その現象の 複雑さゆえに、実際の斜面において、いつ、どのよ うな崩壊が発生するかを早期に予測することは、現 在ではまだ困難な状況にあると言える。

斜面の状態を表す指標に、土中の振動の伝播特性 がある。土中の振動伝播については既にいくつかの 研究がなされているが、降雨によって土中水分が変 化する状況において、この伝播特性がどのような変 化を示すか、大型降雨実験施設を用いた崩壊実験場 において検討された例は少ない。

そこで本研究では、斜面崩壊場における降雨によ る土砂の質的変化を落錘パルスの伝達特性を調べる ことで推定可能であるか検討を行った。

2. 実験概要

写真 - 1 に落錘の様子を示す。10kg の鉄製円柱を 3 個連結して錐を作成し、地上 80cm から落下させ起 振させた。連続 5 回の落錘を 1 セットとして降雨開 始から斜面崩壊が発生するまで 15 分毎に行い、計 9 セット実施した。写真 - 3 に各センサー位置を、写 真 - 4 に落錘位置と ch5 の設置位置を示す。落錘は、 写真 - 4 の斜面左下の位置(B)から 6m 離れている (A)の位置で行った。また、斜面に 4 箇所(ch1~ ch4)、落錘位置の直近に 1 箇所(ch5) 加速度センサー を埋めて計測を行った。表 - 1 は、加速度センサー の諸元である。ここで、写真 - 2 より斜面横断方向 を X 軸、斜面方向を Y 軸、斜面法線方向を Z 軸とし た。

散水強度は 50mm/h、給水強度は 15mm/h とした。 3. 解析手法 得られたデータに対して、スペクトル解析と Wavelet 解析を行った。以下に Wavelet 変換の概要を説明する。 Wavelet 変換の基礎式を式(1)に示す。ここで、f(x)が解





写真 - 1 落錘の様子

写真 - 2 加速度センサー





各センサーの設置位置

落錘位置と ch 5 の設置位置

$$\begin{aligned} & (W_{\psi}f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} f(x) dx & \vec{x}(1) \\ & f(x):解析信号 & (x):マザーウェーブレット \\ & a: スケールパラメータ \\ & b: トランスレートパラメータ \end{aligned}$$

キーワード 斜面崩壊 落錘パルス Wavelet 解析 スペクトル解析 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 環境デザイン工学専攻 TEL 0277 - 30 - 1640 Mail nakamura@ce.gunma-u.ac.jp 析信号、 (x)がマザーウェーブレット、a がスケール パラメータ、b がトランスレートパラメータ。

スケールパラメータ a で解析単位となるマザーウェ ーブレット関数の波形の周波数を変化させ、トランス パラメータ b によって、その波形を時間軸上で変化さ せ時間—周波数平面での値を算出している。また、マ ザーウェーブレット関数との相関性の強さをウェーブ レット係数という。

解析信号とマザーウェーブレットの位相が一致する とウェーブレット係数が大きく、反応も大きくなる。 位相が一致しないとウェーブレット係数が小さく、反 応も小さくなる。

4. 解析結果および考察

各 ch の 3 軸方向のパワースペクトルの最大値の平均 を図 - 1 に示す。3 軸方向の各 ch のパワースペクトル の最大値の平均の経時変化を図 - 2 に示す。図 - 1,図 - 2 の縦軸の値は、落錘位置から一番近い ch5 のパワ ースペクトルの値を基準として、除することで無次元 化した。図 - 2 は、Z 軸(斜面法線方向)だけ縦軸が右 になる。

図 - 1 より、落錘位置から近い ch ほどパワースペク トルが大きくなる。しかし、ch2 は、鉄板が近くにあ り、振動を妨害して値が小さくなった。

図 - 2 の X 軸 (斜面横断方向)は、時間が経過する につれ減少している傾向にある。Y 軸(斜面方向)は、 降雨開始から大きく変化しているが、時間経過につれ 増加している傾向にある。Z 軸は、崩壊の45分前から 大きな挙動を示している。

ch2のY軸の落錘パルスの振動波形を図-3に示す。 上の図が原信号、下の図が連続Wavelet mapである。 上の図は縦軸がgal、下の図は縦軸がスケールパラメー タ、上下とも横軸が時間(秒)である。降雨開始から、0、 45、90、120分後の図である。図-3中にある黄色の丸 に注目すると、降雨開始直後である0分では、振動波 形が大きく、マザーウェーブレットとスケールの位相 が合い反応が大きくなっている。しかし、時間が経過 していくと徐々に振動波形は小さくなっていき、反応 も小さくなっていき、降雨による土中水分の増加がパ ルスの伝播特性に変化をもたらしていることが確認で きた。

5. まとめ

- (1) 落錘パルスの波形振動にスペクトル解析、 Wavelet 解析を行うことで、落錘パルスの変 化を捉えることができた。
- (2) 土中の水分量の変化とパルスの伝播特性の 変化には、相関性がみられることが確認でき



各 Ch のパワースペクトルの最大値の平均値



パワースペクトルの各軸の最大値の経時変化



図 - 3 ch_2のY軸の連続 wavelet map