

裸地斜面におけるリル網の平面形態解析

山口大学工学部 藤原輝男

山口大学工学部 深田三夫

山口大学大学院○本吉文明

1. まえがき

裸地斜面に生じたリル網からの流出土砂量は斜面全体の流亡土砂量の大半を占めると言われているが、このリルの形は自然のおりなす幾何学模様の一つとして非常に興味深いものである。最近フラクタル幾何学など、新しい数学的な概念を用いて自然界の複雑な形態を数量化する試みがいくつかなされつつあるが、フーリエ解析も時間、空間的な変動現象の解析、数量化に使われてきた手法である。本報告ではこのフーリエ解析を用いて、時々刻々に変化するリルの平面形態を数量化する事を試みるとともに、形態変化と流出土砂量との関係についても考察をおこなった。

2. 実験方法

幅2.4m、長さ5.45m、深さ0.95mのまの土層を屋外に設置し、勾配 10° に整形した斜面に模擬降雨を与えて侵食実験をおこなった。与えた降雨量は約30mm/h～約100mm/hの範囲の8通りで、約10分おきに流出量、流亡土砂量を測定するとともに、時間とともに発達するリルの形態を斜面上部にセットしたカメラによって撮影した。この写真を引き伸ばした後、デジタイザによってリルの外周の座標値をコンピュータに入力して解析をおこなった。

3. 解析方法

(1) P表現表示

リルの形態の複雑さを表現する一つの方法は、その外周の曲がり具合を何らかの数学的な方法で表現することである。外周に沿う各点で曲率の変化なども考えられるが、ここでは周上の各点での接線の傾きを考え、それが周上に沿ってどのように変化していくかを考えることにした。そこで周上に沿ってほぼ等間隔に座標データを入力し、更に入力し終わった時点で全長を n (=512)等分して、 n 対の補正された等間隔の座標データを作成した。隣接する2点のデータから余弦($\cos \theta$)を定義してこれを周の長さ(x 座標)の関数として y 座標で表現し、これを一次元の空間波形とみなして解析を行った。以後これをP(hase)表現と呼ぶ。なお、リルの発達の初期の段階では分、合流を繰り返しており、一つのリルの周囲が一連続曲線と見なせないことがあるが、このような場合には外周のみを追跡した。また一回の実験でできるリルの本数は大体4～5本であったがそれぞれについてP表現を求めた。

(2) P表現表示のフーリエ解析

(a) フーリエ係数

(1)のようにして発達の各段階に応じて、個々のリルの平面形態のP表現を求める。さらにこの波形をフーリエ解析によって成分波に分解するのであるが、全長(L)を51

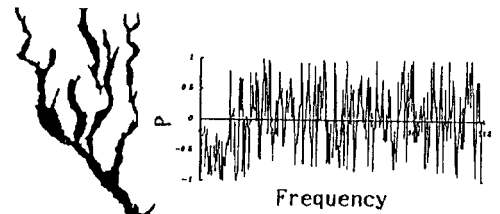


Fig.1 P表現表示の一例

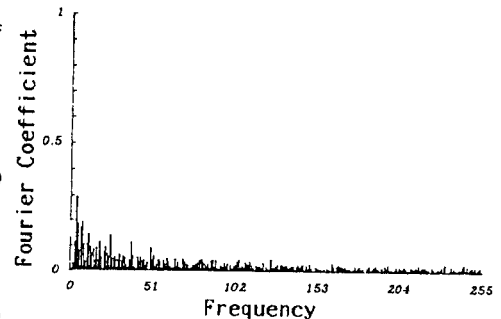


Fig.2 フーリエ係数

2等分したので $L/1 \sim L/256$ の長さが一周期となるような256個の基本周期関数で表されることになる。それぞれの周期関数の振幅がフーリエ係数であるが、形態によってこのフーリエ係数の分布も異なると考えられる。例えば直観的に単純な図形ほど分布は一ヶ所で振幅は大きく、しかも低周波数域に集中し、形態が複雑になるほど振幅は小さく、フーリエ係数の分布は広がると考えられる。Fig.1はリルとその外周のP表現表示の一例である。

(b) パワースペクトル

(a)で求めたフーリエ係数の分布の度合いを表現するのにパワースペクトルの考え方がある。本報告で表現したパワースペクトルは、通常の時系列波形のパワースペクトル表記方法にだいたい従ったが意味は同じでない。即ちx軸を空間波数 k (L/k の長さを周期とするような基本波形)にとった定時刻での空間波形であるから時系列波形のパワースペクトルのようにエネルギーの強さの分布を表すものではない。フーリエ係数と同じように直観的に単純な形をしているパターンほどスペクトルの成分が $k=0$ の付近に集中しており、複雑に曲折しているパターンほど大きい k のところまでスペクトルの非零の成分が広がることが予想される。

4. 結果および考察

Fig.1に示したリル例のP表現表示のフーリエ係数をFig.2に、そしてパワースペクトル表示をFig.3に示した。またFig.4には一実験例について一つの斜面上に発生したそれぞれのリルの平面形態パワースペクトルが時間的にどのように変化していくかを示した。そしてFig.5は8ケースの実験それぞれについて斜面からの全流出土砂量の経時変化を、またFig.6にはリルの平面面積の経時変化を表した。

以上、傾向をまとめると①直観的に感じるリル形態の複雑さと、P表現の波形は対応しており、形態の情報はP表現によって表わされる。②フーリエ係数の低域帯での周波数と、リル分岐数は密接な関係があると推察された。③フーリエ解析はリル形態の複雑さを表現し、評価する一手法として有効である。④流出土量はあるピークを境に減少し一定値におちつく傾向があり、平面形態のパワースペクトルの経時変化に対応している。⑤侵食面積の時間的変化はある時間を境に一定値におちつく。④のことを考え合わせればリル侵食はある時間経過後は平面よりも深さ方向に進んでいると考えられる。

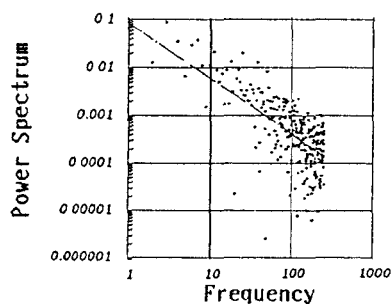


Fig.3 パワースペクトル

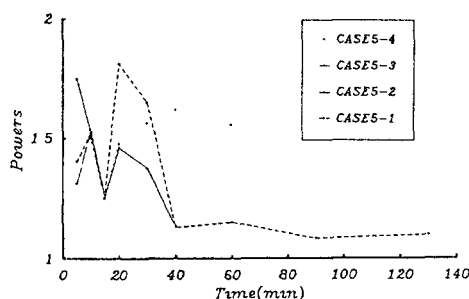


Fig.4 時間-パワースペクトルの関係

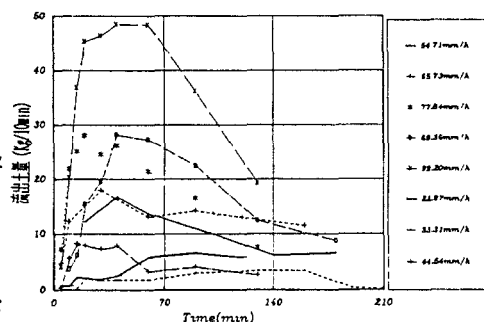


Fig.5 時間-土砂量の関係

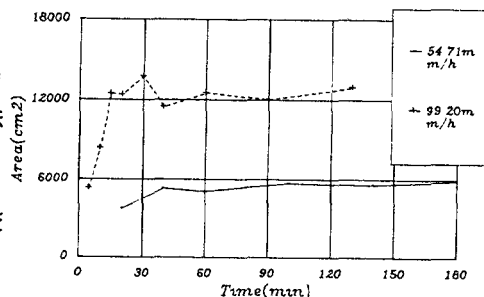


Fig.6 時間-リル面積の関係