

1. はじめに

Kinematic wave 法による流出モデルは、斜面の最小単位を矩形平面とすることが多い。実際の斜面形は等高線の形から、平行直線型、凹型（谷型、収束型）、凸型（尾根型、発散型）に大別できるので、矩形平面に加入して、円錐面の一部である収束型斜面と発散型斜面を用いたものもある。現実の斜面との幾何学的対応ということでは意味があるが、流出解析の目標である実測値との適合という点では、パラメータの最適化等からみて実用上の利点は少ない。土石流、崩壊、表面侵食等の土砂生産現象をみると、凹斜面における雨水集中が防災上重要な問題である。ここでは、この3種類の斜面における表面流の集中機構をkinematic waveにより比較し、凹斜面の意義を考察する。

2. 斜面形とkinematic wave

斜面形を図-1のように、矩形平面と円錐面の一部を切りとった曲面の3つのタイプに分け、水みちの発生や土層内の中間流の存在は考慮せず、表面流のみを考えることにする。図-1のような斜面におけるkinematic waveについては、金丸、Woolhiser, Singh, 高棹等の研究がある。

Woolhiser等のタイプの基礎方程式であらわすと、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r(t) + K(z, t) \quad (1) \quad z = \alpha h^m \quad (2)$$

となり、 $K(z, t)$ は表面流流下に伴う斜面形による集中または発散をあらわす項で、矩形平面では $K(z, t) = 0$ であり、収束型円錐面および発散型円錐面では各々次のようになる。

$$K(z, t) = \frac{(1-r)x}{L - (1-r)x} \quad (3) \quad K(z, t) = \frac{(r-1)z}{rL + (1-r)x} \quad (4)$$

(1), (2) 式は特性曲線法により解ける場合もあるが、本数値実験では、kinematic shock wave が発生しても解が求められる方法の1つであるBrakensiekのスキームを用いた。

降雨終了後の減水時については、変数分離法を用いれば解析的に解くことができる。Singhは矩形平面および収束型円錐面の解を各々次のように求めている。

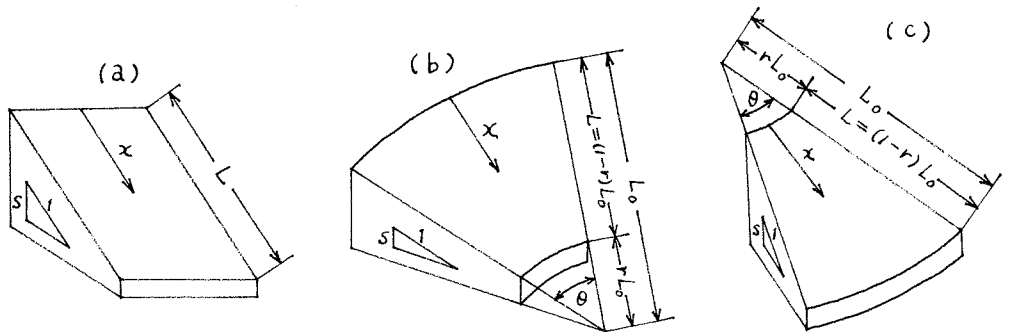


図-1 斜面形状

$$h = h_0 \left\{ \frac{x}{L + \alpha m (t - t_0) h_0^{m-1}} \right\}^{\frac{1}{m-1}} \quad (5)$$

$$h = h_0 \left[\frac{r^{\frac{m-1}{m}} \left\{ L_0^{\frac{2m-1}{m}} - (L_0 - x)^{\frac{2m-1}{m}} \right\}}{(L_0 - x)^{\frac{m-1}{m}} \left\{ L_0 \left(1 - r^{\frac{2m-1}{m}} \right) + \alpha (2m-1) (t - t_0) h_0^{m-1} \right\}} \right]^{\frac{1}{m-1}} \quad (6)$$

同様に発散型円錐面について解くと、

$$h = h_0 \left[\frac{(r L_0 + x)^{\frac{2m-1}{m}} + (r L_0)^{\frac{2m-1}{m}}}{(r L_0 + x)^{\frac{m-1}{m}} \left\{ L_0 \left(1 + r^{\frac{2m-1}{m}} \right) + \alpha (2m-1) (t - t_0) h_0^{m-1} \right\}} \right]^{\frac{1}{m-1}} \quad (7)$$

となる。 t_0 および h_0 は減水開始時刻およびそのときの x 地点における水深である。(5), (6), (7)式の各係数に実際の数値を代入すると、収束型円錐面の減水が速いことが容易にわかる。

3. 数値実験結果

斜面長100m, $\alpha = 2.236$ ($S = 0.2$, 粗度係数=0.2), $m = 5/3$ とし, 降雨強度10mm/hr, 降雨継続時間4時間の場合について, 各斜面上での水面形と斜面下端でのハイドログラフを図-2以下に示す。図-2は斜面下端における単位幅当りの流量を, 矩形平面と $r=0.5$ の収束型円錐面および発散型円錐面について示したものである。収束型円錐面では最大流量が矩形平面の約1.5倍(水深では約1.3倍)になる。ところが斜面長および面積を同じにすると, 各斜面からの総流量のハイドログラフは, 図-3のようにほとんど差がなくなる。したがって, 流出解析のためには斜面形を複雑にすることがあまり意味のないことと思われる。最大流量時の斜面上の水面形についてみると, 図-4のように斜面形による差がみられる。発散型円錐面では矩形平面との差が小さいが, 収束型円錐面では, r の値が小さくすると急激に斜面下部での水深が増加する。したがって, 凹型斜面では矩形平面等の斜面よりも限界掃流力を上まわりやすく, またその継続時間が長いし, 土石流発生条件も満たしやすいことが, kinematic wave理論から説明できる。

4. あとがき

自然斜面では水みちや中間流を考慮する必要があり, またモデル斜面との対応方法が問題である。室内実験や地形解析も並行させ検討中である。

(参考文献)

- 1) 金丸昭治: 土木学会論文集才73号(1961)
- 2) Singh, V. P.: J. Hydrology, 27(1975)
- 3) 高棟琢馬, 椎葉花晴: 京大防災研年報才24号B-2(1981)
- 4) Mahmood, K. & Yevjevich, V.: Unsteady Flow in Open Channels(1975)

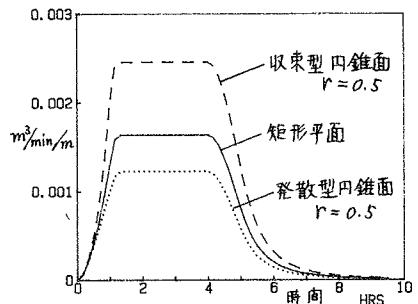


図-2 単位幅当りのハイドログラフ

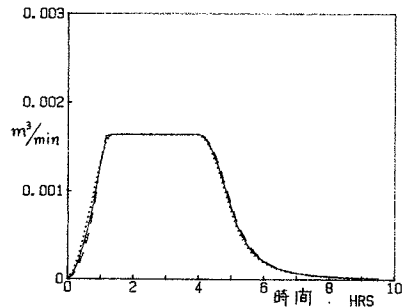


図-3 斜面下端のハイドログラフ

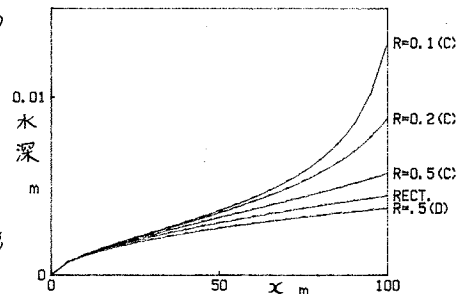


図-4 最大流量時の水面形