

土石流の1次元キネマティックウェーブモデル

筑波大学農林工学系 宮本邦明
株式会社ダイヤコンサルタント ○井戸俊介

1. はじめに

土砂の生産と流出プロセスの把握は流域管理上重要な課題である。宮本らはその手法として任意形状の三角形を要素とする流域地形モデル上に、表層崩壊による土砂生産とその流出モデルを組み込んだ土砂流出解析法¹⁾を構築している。そこでは、土砂の流出モデルとして土石流から掃流まで広い範囲にわたる流砂現象を同一の構成規則で説明している江頭ら²⁾の構成規則を採用し、キネマティックウェーブ法に適用している。しかし、先述の構成規則のキネマティックウェーブモデルへの適用性はこれまで示されていない。そこで、土石流の1次元キネマティックウェーブモデルの適用性について、数値シミュレーションにより検討を行った。

2. モデルの概要

数値シミュレーションに用いる計算モデルは、宮本らによる、土石流の構成規則として江頭らより提案されている式を用い支配方程式に侵食速度式を導入した場合の土石流のシミュレーション手法³⁾に、キネマティックウェーブモデルを適用することで作成した。式(1)および式(2)に土石流全体および砂礫の連続式を、式(3)に運動方程式を、式(4)に侵食速度式を、式(6)に式(3)および式(5)から得られたフラックスの計算式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = E \quad (1) \quad \frac{\partial(\bar{c}h)}{\partial t} + \frac{\partial(c_s M)}{\partial x} = Ec \quad (2) \quad 0 = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_0}{\rho_m} \quad (3)$$

$$\frac{E}{|u|} = \tan(\theta - \theta_c) \quad (4) \quad \tau_0 = \tau_{0y} + \rho_f f_b \bar{u}^2 \quad (5) \quad M = \left(\frac{-gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_0}{\rho_m}}{\frac{\rho_f f_b}{\rho_m h^2}} \right)^{1/2} \quad (6)$$

ここに、 h : 流槽深、 M : フラックス、 E : 侵食速度、 c : 砂礫の体積濃度、 c_s : 砂礫の輸送濃度、 c_* : 堆積層の砂礫濃度、 τ_0 : 河床勾配、 θ_c : 粒子濃度 c に対する平衡勾配、 ρ_f : 砂礫粒子間の間隙流体水あるいは泥水の質量密度、 ρ_m : 土石流の断面平均質量密度、 τ_{0y} : 河床面せん断応力、 τ_0 : クーロン摩擦応力、 f_b : 抵抗係数、 u : 流速である。

3. 計算条件

式(6)に示したフラックスの計算方法を用いて侵食・堆積のシミュレーションを行う。計算は、侵食過程(Case1)と堆積過程(Case2)の2ケースについて行った。侵食過程では初期河床勾配が $h_0/h < 1$ (h_0 : 集合流動層の厚さ)の領域(河床勾配 2°)から土石流の領域($h_0/h = 1$, 河床勾配 15°)へ変化する条件で、堆積過程ではその逆の土石流領域から $h_0/h < 1$ の領域へ変化する条件で行っている。表1に水路形状と給水・給砂条件を、表2に土石流の材料特性を示す。

表1 水路形状と給水・給砂条件

	Case1	Case2
水路長(m)	100	100
上流側の水路末勾配(%)	20	150
下流側の水路末勾配(%)	150	20
上流端から勾配変化点までの距離(m)	50	50
流入土石流流量(m ³ /s)	1500	1500
流入土石流の断面平均粒子濃度	0.0331	0.399
流入土石流の砂礫輸送濃度	0.399	0.0331

表2 土石流の材料特性

砂の質量密度(g/cm ³)	2.65
間隙流体の質量密度(g/cm ³)	1.00
砂の内摩擦係数(%)	34.0
静止堆積濃度	0.52
反発係数	0.85
粒子径(cm)	0.2

4. 計算結果および考察

図1は、キネマティックウェーブモデルによる河床位縦断の時間変化と、同じ条件でダイナミックウェーブモデルを用いて計算した結果³⁾を同一の図上に示し、各ケースについて並べて示したものである。図1からは、モデルによる河床位の時間変化には大きな差は見られないことが分かる。図2は、侵食速度縦断について、図3は勾配変化点到達前後の粒子濃度について図1と同様に示したものである。図2(a)から、同時刻における侵食速度はキネマティックウェーブモデルの方が小さいことが分かる。これは、図3(a)に見られるように、勾配変化点到達後の土石流の速度が、キネマティックウェーブモデルの方が速く計算されるため、より早く平衡勾配へと移行しているためである。堆積過程についてはほとんど差がないと言える。

5. おわりに

土石流の1次元キネマティックウェーブモデルを作成し、ダイナミックウェーブモデルによるものと比較した。その結果、河床の侵食・堆積の形状についてはほとんど差がないこと、また侵食速度・粒子濃度は、勾配変化点を境に差が生じるもののその程度が小さいことが示された。以上から、土石流のシミュレーションにキネマティックウェーブモデルを適用することで、ダイナミックウェーブモデルによるものと同程度の精度で解析が行えることが示された。

【参考文献】

- 1) 宮本邦明、井戸俊介：任意3角形平面要素を用いた土砂流出解析法、砂防学会誌Vol.55, No.6, pp.33-39
- 2) 江頭健台・芦田和男・矢島啓・高齋享一郎：土石流の構成則に関する研究、京都大学防災研究所年報第32号, B-2, pp.487-501
- 3) 宮本邦明、伊藤隆彰：支配方程式に侵食速度式を導入した場合の土石流シミュレーション手法、砂防学会誌Vol.55, No.2, pp.24-35

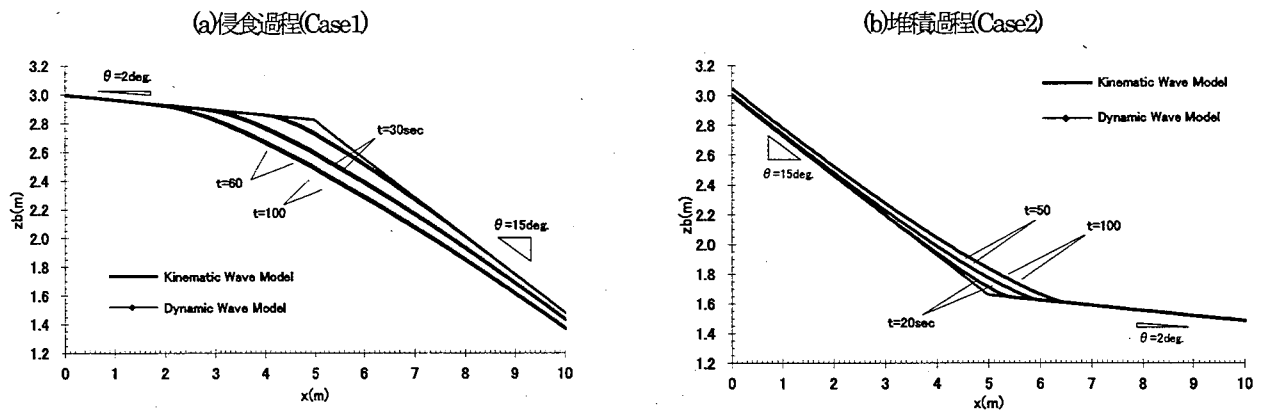


図1 河床位の時間変化

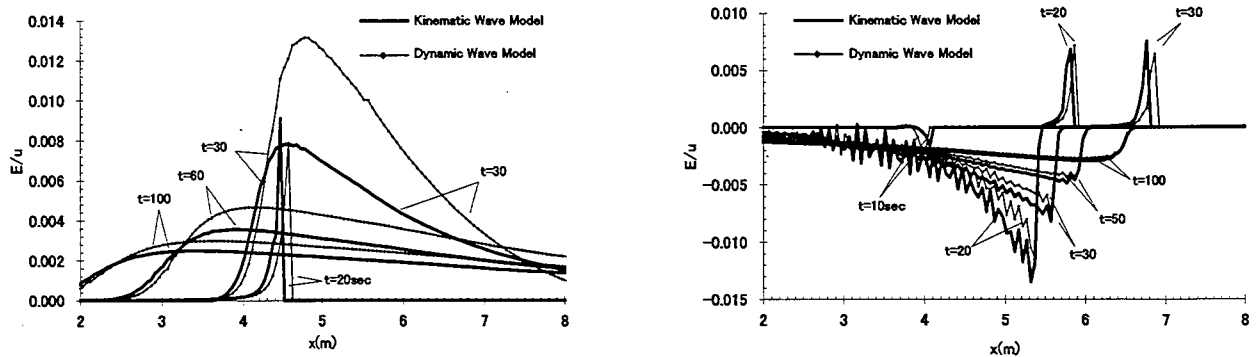


図2 侵食速度の時間変化

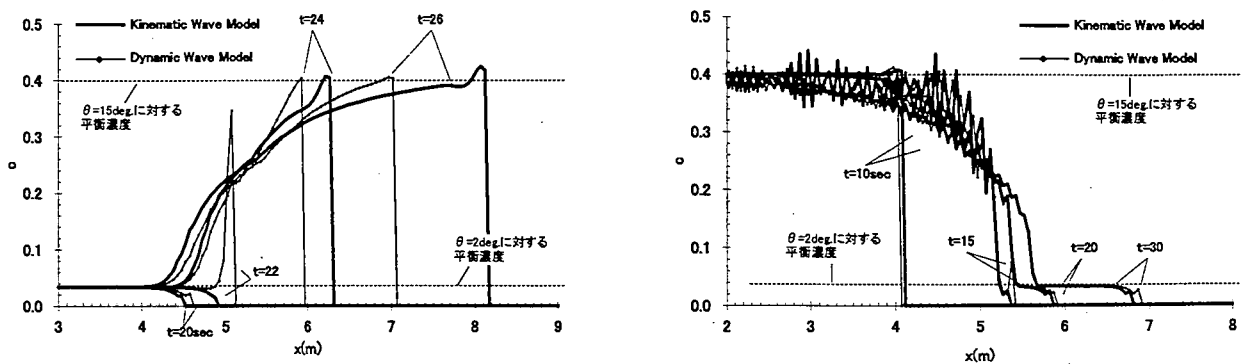


図3 勾配変化点到達前後の粒子濃度の時間変化