

中央大学 学生員 水野健一
 中央大学 学生員 森 俊樹
 中央大学 学生員 金子賢一
 中央大学 正会員 櫻山和男

1. はじめに

降雨によって引き起こされる災害には、洪水や土石流などがあるが、原因となる降雨量を正確に把握することができれば、これらの災害を予測する時に役立つであろう。そこで、本研究は温かい雨に対する地形性降雨の物理モデルであるケスラーモデルに基づいて、降雨量の三次元有限要素解析を行うものである。また、流れ場の解析にはポテンシャル流れの方程式を用い、要素としては8節点六面体要素を用いる。

2. 基礎方程式

本解析に用いる温かい雨に対する物理モデルであるケスラーモデルは、空気中の水粒子を、雲水量（周りの空気に対して相対的に降下しない粒子）と雨水量（周りの空気に対して相対的に降下する粒子）に分けて、それぞれの保存式を連立させて解くものである。基礎方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -u \frac{\partial m}{\partial x} - v \frac{\partial m}{\partial y} - w \frac{\partial m}{\partial z} - AC - CC + EP + CV \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -u \frac{\partial M}{\partial x} - v \frac{\partial M}{\partial y} - (w + V) \frac{\partial M}{\partial z} + AC + CC - EP \quad (2)$$

ここに、 m : 雲水量 (g/m^3)、 M : 雨水量 (g/m^3)、 u, v : 空気の水平方向流速 (m/s)、 w : 空気の鉛直方向流速 (m/s)、 V : 降雨粒子の落下速度 (m/s)、 AC : 雲水の雨水への転換、 CC : 雨水による雲水の捕捉、 EP : 雨水の蒸散、 CV : 凝結である。

$$V = -38.3 N_0^{-1/8} M^{1/8} \exp(kz/2)$$

$$AC = k_1(m - \alpha)$$

$$CC = k_2 E N_0^{1/8} m M^{7/8} \exp(kz/2)$$

$$EP = k_3 N_0^{7/20} m M^{13/20}$$

$$CV = w(A + Bz)$$

$$R = 138 N_0^{-1/8} M^{9/8}$$

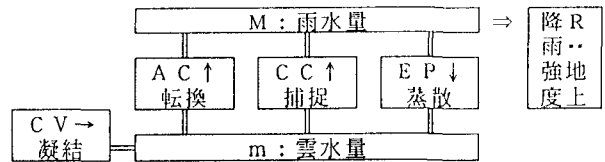


図-1 ケスラーモデル

ここに、 N_0 : 定数 (1×10^7)、 k_1 : 定数 (1×10^{-3})、 k_2 : 定数 (6.96×10^{-4})、 k_3 : 定数 (1.93×10^{-6})、 k : 定数 (1×10^{-4})、 α : 雲水の雨水への転換の臨界値 ($0.5 \text{g}/\text{m}^3$)、 E : 捕捉率 (1.0)、 A : 定数 (3×10^{-3})、 B : 定数 (-3×10^{-7})、 R : 地上での降雨強度 (mm/hour) である。

3. 有限要素方程式

基礎方程式である (1) 式、(2) 式に有限要素法を用いて離散化を行うと、有限要素方程式は次式のようにになる。

$$\mathbf{M}_{\alpha\beta} \dot{m}_\beta + \mathbf{K}_{\alpha\beta\gamma j} u_{j\beta} m_\gamma + \mathbf{M}_{\alpha\beta} AC_\beta + \mathbf{M}_{\alpha\beta} CC_\beta - \mathbf{M}_{\alpha\beta} EP_\beta - \mathbf{M}_{\alpha\beta} CV_\beta = 0 \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_{\alpha\beta} \dot{M}_\beta + \mathbf{K}_{\alpha\beta\gamma j} u_{j\beta} M_\gamma + \mathbf{K}_{\alpha\beta\gamma j} V_\beta M_\gamma - \mathbf{M}_{\alpha\beta} AC_\beta - \mathbf{M}_{\alpha\beta} CC_\beta + \mathbf{M}_{\alpha\beta} EP_\beta = 0 \quad (4)$$

$$\mathbf{M}_{\alpha\beta} = \int_{\Omega} (N_\alpha N_\beta) d\Omega, \quad \mathbf{K}_{\alpha\beta\gamma j} = \int_{\Omega} (N_\alpha N_\beta N_{\gamma j}) d\Omega$$

また、時間方向の離散化にはランピングパラメータを用いた、3段階の陽解法を用いる。

4. 数値解析例

今回の解析には、図-2 に示す高さ 2000m の山周辺の地形性降雨の解析を行った。計算条件として、水平方向流速が 20m/s となるようにポテンシャル流れを与えて解析を行った。また、降雨の境界条件は風上で雲水量、雨水量ともに 0 及び上層境界で雨水量を 0 とした（図-3 参照）。図-4 に中心断面における計算された流速分布図を示す。また、図-5 と図-6 に定常状態に達した状態での雲水量と雨水量の分布図を示す。図より、山頂付近で降雨量が大きいことがわかる。

5. おわりに

本報告において、三次元の地形性降雨の有限要素解析の手はじめとして、ポテンシャル流れに基づく解析手法を示した。今後は、流れ場を非圧縮粘性流体として取り扱い、より実地的な解析を行う予定である。

参考文献

[1] 檜山和男、江春波、山田正：地形性降雨の有限要素解析（第 6 回計算力学シンポジウム報文集）

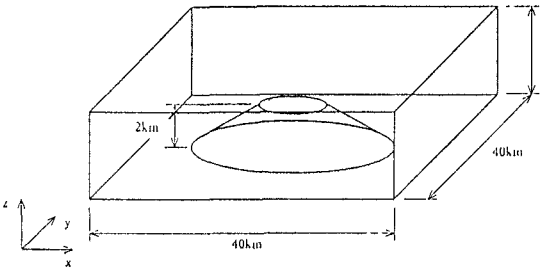


図-2 解析モデル

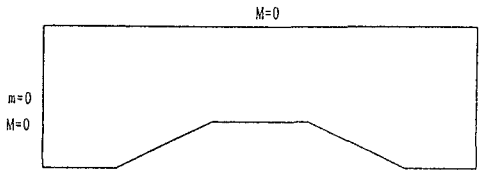


図-3 境界条件

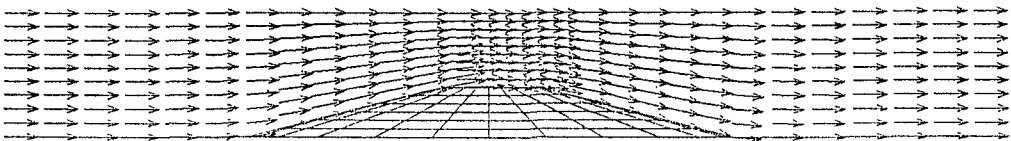


図-4 流速図 (y=20km)

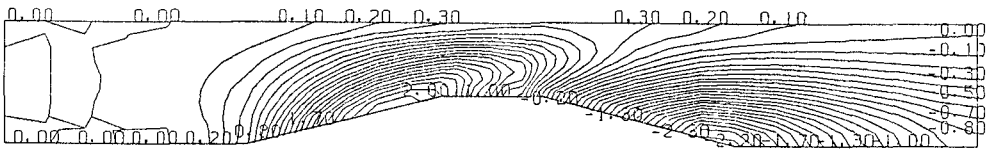


図-5 雲水量 (g/m³)

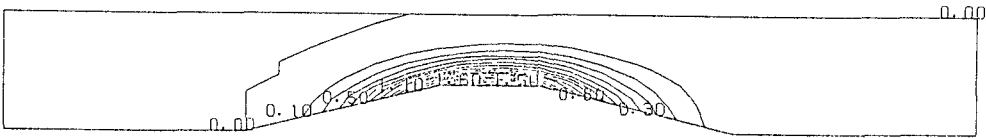


図-6 雨水量 (g/m³)