

中央大学 学生員 大滝和男
 中央大学 正会員 檜山和男
 中央大学 正会員 江 春波
 中央大学 正会員 山田 正

1. はじめに

降雨の流出やそれによって引き起こされる災害を定量的に予測する為には、まず入力量となる降雨量を定量的に把握する必要がある。著者ら^[1]は、これまで地形性降雨を、任意形状への適用性の良い有限要素法により解析を行ってきた。本報告は、メッシュサイズや上層境界の設定位置について検討を行ったものである。なお、離散化の方法としては、3段階のテーラー・ガラーキン有限要素法を用いた。

2. 基礎方程式

風の場合は、非圧縮粘性流体を仮定し、ナビエ・ストークスの運動方程式と連続方程式を用いた。

$$u_{i,t} + u_j u_{i,j} + p_{,i} / \rho - \nu (u_{i,j} - u_{j,i}) = f_i \quad (1)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここに、 t : 時間に関する偏微分、 i : 水平方向座標に関する偏微分、 u_i : 流速、 p : 圧力、 ρ : 密度、 ν : 渦動粘性係数、 f_i : 物体力である。

一方、降雨の解析は、温かい雨に対する物理モデルであるケスラーモデル(図-1参照)を用いる。基礎方程式は、雲水量 c と雨水量 r に関する連続方程式である。

$$c_{t,i} + u_j c_{i,j} + v c_{,y} + AC + CC - EP - CV = 0 \quad (3)$$

$$r_{t,i} + u_j r_{i,j} + (v + V) r_{,y} - AC - CC + EP = 0 \quad (4)$$

ここに、 c : 雲水量、 r : 雨水量、 v : 鉛直方向の風速、 u : 水平方向の風速、 V : 雨水の鉛直落下速度、 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 : 凝結であり、これらの値は次式で与えられる。

$$AC = 10^{-8} (m - \alpha) \quad (5)$$

$$CC = 6.96 \times 10^{-4} E N_o^{1/8} c r^{7/8} \exp(10^{-4} y / 2) \quad (6)$$

$$EP = 1.93 \times 10^{-8} N_o^{1/8} c r^{13/20} \quad (7)$$

$$CV = v (A + B y) \quad (8)$$

$$R = 138 N_o^{-1/8} r^{9/8} \quad (9)$$

ここに、 α : 雲水の雨水への転換の臨界値 (0.5 g/m^3)、 E : 補足率 (1.0)、 A : 定数 ($3 \times 10 \text{ g/m}^4$)、 B : 定数 ($-3 \times 10 \text{ g/m}^5$)、 N_o : 定数 (10^{-7} m^{-4}) である。

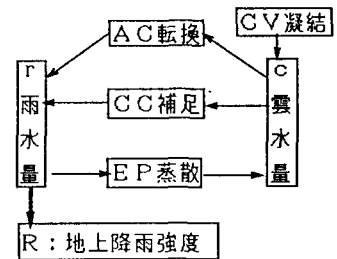


図-1 ケスラーモデル

3. 数値解析例

数値解析例として、図-2に示す山周辺の地形性降雨の解析例を示す。計算の対象範囲は、水平方向に70kmとして鉛直方向に $h=3\text{km}$ 、 4km 、 5km と変化させた。また、水平方向の要素幅は、1000mと500mの2通りとし、鉛直方向要素幅は100mとした(図-2は、水平方向の要素幅1000mの場合)。山の高さは、500mとし、レイノルズ数を1250(渦動粘性係数 $\nu=13.2\text{m}^2/\text{s}$)とした。微小時間増分量は、水平間隔1000mの要素分割においては5秒、水平間隔500mの要素分割においては2.5秒とした。なお、境界条件として、上流境界A-Bで水平風速 $u=3*y^{1/4}$ 、 $c=0(\text{g/m}^3)$ 与えた。また、上層境界A-Dで、 $r=0(\text{g/m}^3)$ 、 $v=0(\text{m/s})$ 、下層境界B-Cで $u=v=0(\text{m/s})$ 、下流境界C-Bで $P=0$ を与えた。

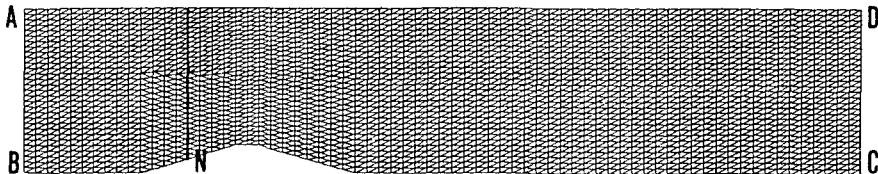


図-2 有限要素分割

図-3は、上層境界4 kmの場合の山の中腹部N（図-2参照）地点の鉛直方向風速を示したものである。図より、水平方向の要素分割1000mの場合と500mの場合では、差異がほとんどないことがわかる。図-4は、上層境界位置を変化させた場合の地上での降雨強度の最大値を示したものである。また、図-5は、各ケースにおける10000秒後の地上降雨強度の分布図である。これらの結果から、上層境界の設定位置を高くすることによって降雨強度が大きくなることがわかる。また、メッシュサイズによる計算結果の差異は、ほとんどみられていない。

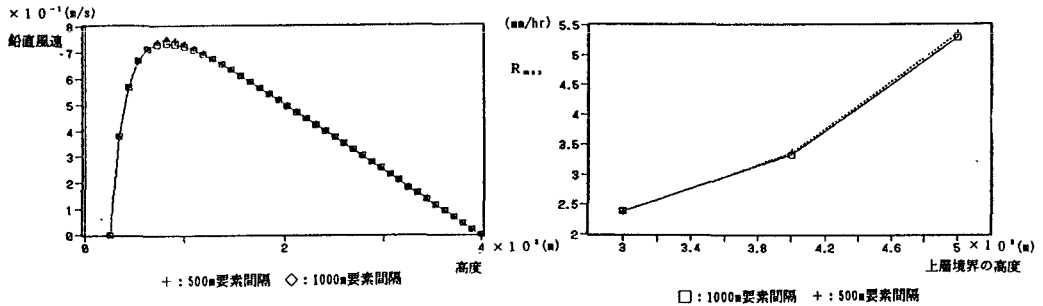


図-3 N点の鉛直方向風速分布

図-4 上層境界と地上降雨強度の最大値の関係

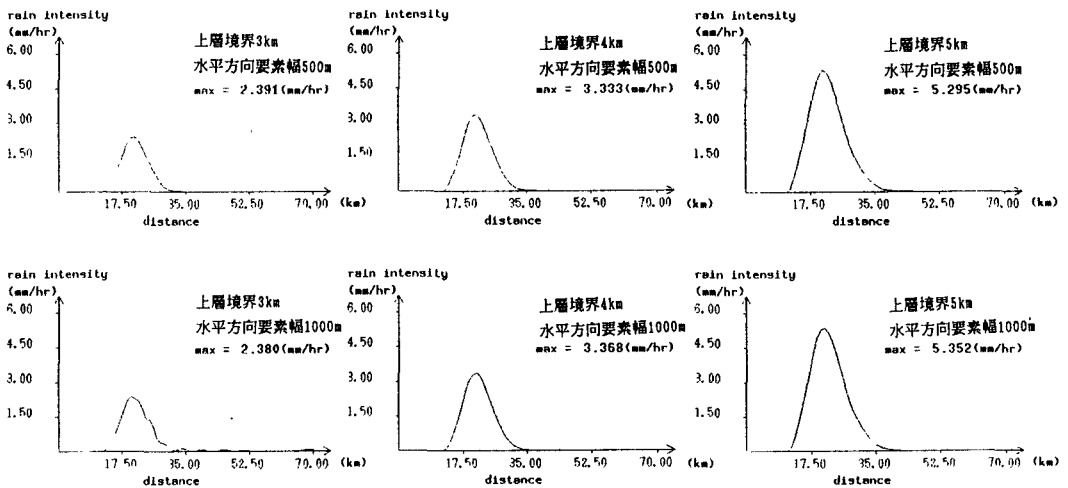


図-5 各ケースにおける地上降雨強度分布

4. おわりに

本報告においてメッシュサイズと上層境界の設定位置についての検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 上層境界を高く設定するほど地上での降雨強度が大きくなる。
- 2) 水平方向1000m間隔の要素分割と500m間隔分割による結果は、降雨量、風速分布ともに、ほぼ同様な結果を得た。

今後、より詳細な検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 檜山和男、江春波、山田正：温かい雨に対する地形性降雨の有限要素解析、計算力学シンポジウム報告文集
- [2] E. Kesler: Models of microphysical parameters and processes, Meteorological Monographs, Vol. 10, pp. 26-31, 1969