

台地流域における鉛直・水平スケールとピーク流出特性の関係

The relation of peak discharge characteristics and horizontal-vertical length scale in upland field

○辻 英樹* 塩沢 昌* 吉田 修一郎* 西田 和弘*

○Hideki TSUJI, Sho SHIOZAWA, Shuichiro YOSHIDA, Kazuhiro NISHIDA

1.はじめに

台地流域における地下水経由の降雨流出特性は、流域の鉛直および水平スケールに依存する。鉛直スケールとは鉛直不飽和流における地表面から地下水面までの距離であり、水平スケールとは水平地下水流における分水嶺から浸出面までの距離である(Fig.1)。台地流域における降雨の流出ピークはスケールが大きいほど緩和されると考えられるが、鉛直スケールと水平スケールでは影響が異なると予想される。

本研究では飽和・不飽和流の物理則に基づく数値実験を行い、台地流域における鉛直・水平方向のスケールとピーク流出時における流域の降雨流出特性の関係を明らかにした。

2.方法

1)数値計算モデル

入江ら(1999)による鉛直不飽和流と水平地下水流を連立した準二次元流数値計算法を用いた。この数値計算法では、鉛直不飽和流に Richards 式

$$C \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \right\} \quad (1)$$

を用いる。ここで C :水分容量[L⁻¹], h :マトリックスポテンシャル[L], t :時間[T], z :鉛直下向き座標[L], k_z :鉛直方向の透水係数[L T⁻¹]である。また、水平地下水流は鉛直方向に静水圧分布を仮定した Darcy 式

$$Q_x = -T \frac{\partial h_d}{\partial x} \quad (2)$$

を用いる。ここで Q_x :単位幅あたりの x 方向の流量[L² T⁻¹], T :透水量係数[L² T⁻¹], h_d :不圧帯水層の水深[L], x :分水嶺からの水平距離[L]である。(1)式と(2)式は、地下水面における連続式

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} = R \quad (3)$$

で連立される。ここで R :地下水涵養フラックス[L T⁻¹]である。(1)~(3)式が同時に成立するように、(1)式の鉛直不飽和流計算の下端境界条件

に適当な R を与えながら、反復計算によって各時間ステップの土壌水分分布を決定した。境界条件は地表面に降雨、分水嶺と不透水面上にゼロフラックス条件、浸出面に水深 0 を与えた。

2)土壌の水分特性

流域における土壌の水分特性は3条件に設定し、土壌の水分特性曲線と透水係数の関数は千葉県銚子市赤塚町の台地畑土壌、UNSODA データベースにおける Sandy loam, および Mehta(1994)による黒ボク土のものを用いた。流域内における土壌の水分特性は均一であるとした。

3)流域スケールの設定

流域の地形は図1のような長方形断面形状で不透水層は水平に分布しているものとした。地下水流の分水嶺から浸出面までの距離(l)を 50 m, 不透水面から地表面までの高さ(h)を 6 m とした地形を標準形に設定した。鉛直スケールを変える場合は、 l を固定して定常流時における不飽和領域の厚さの平均値 \bar{h}_u を標準形における厚さから 1.4 倍ずつ拡大した。水平スケールを変える場合は分水嶺から浸出面までの距離 \bar{h}_u を固定して、 l を標準形における距離から 1.4 倍ずつ拡大した。

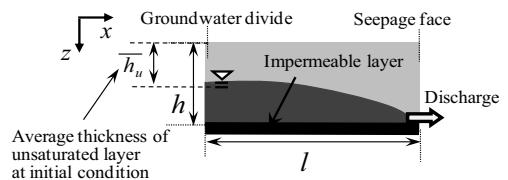


Fig.1 数値実験で設定した地形

Geography for numerical experiment

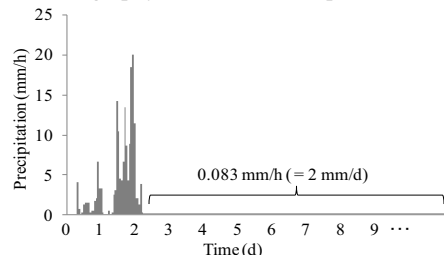


Fig.2 数値実験に与えた降雨

Precipitation data for numerical experiment

[所属]*東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agric. and Life Sciences, The Univ. of Tokyo
[キーワード]流域スケール, 降雨流出特性, ピーク流量

4)降雨条件と初期条件

流域に与える降雨は2009年8月31日に銚子市において観測されたイベントとした(Fig.2). 降雨イベント後も2 mm/dの降雨を地表面から与え続け、計1年間の流出シミュレーションを行った. 降雨イベント前における土壌水分分布は年平均的な状態であることを想定し、日本の平均浸透フラックス(2 mm/d)を地表面から与え続け、定常流となった状態を初期条件とした. ただし、今回設定した計算条件においては、降雨が地表面から浸潤せずに地表流が発生することはない.

3.数値実験の結果

Fig.3~Fig.5では、例として千葉県銚子市の土壌に対する結果を示す. Fig.3(a),(b)のように、鉛直・水平スケールの拡大に伴い、ともにピーク流出高の低減とピークの発生時刻の遅延が見られる.

Fig.4のように、ピーク流出高の初期流出高(定常流時)からの増分は水平スケールに対しておよそ反比例し、鉛直スケールに対してはおよそ1/2乗に反比例した. すなわち、水平スケールを拡大した方が鉛直スケールを拡大した場合に比べて、ピーク流出高の低下は著しい.

Fig.5のように、ピーク流出の発生時刻の遅れは鉛直・水平スケールに対して直線的に増加し、流域を鉛直方向に拡大した方が水平方向に拡大した場合に比べて遅れが著しい. Fig.5の直線の傾きをピーク遅れの影響を表す伝達速度と見ると、伝達速度は水平地下水流で8.5 m/d、鉛直不飽和流で0.11 m/dとなり、鉛直不飽和流のピーク遅れの影響は水平地下水流に比べて80倍大きくなった.

以上の傾向はSandy loam・黒ボク土に対しても同様であり、水平地下水流に対する鉛直不飽和流のピーク遅れの影響はSandy loamでは43倍、黒ボク土では60倍であった. この結果は、流域の地形を鉛直方向に拡大した場合に比べて水平方向に拡大した場合のほうが、台地流域におけるピーク流出の緩和効果が大きいことを表している.

[引用文献]

入江 光輝, 鈴木 伴征, 石川 忠晴(1999), 水工学論文集 43, 181-186

Mehta(1994) 東京大学博士論文

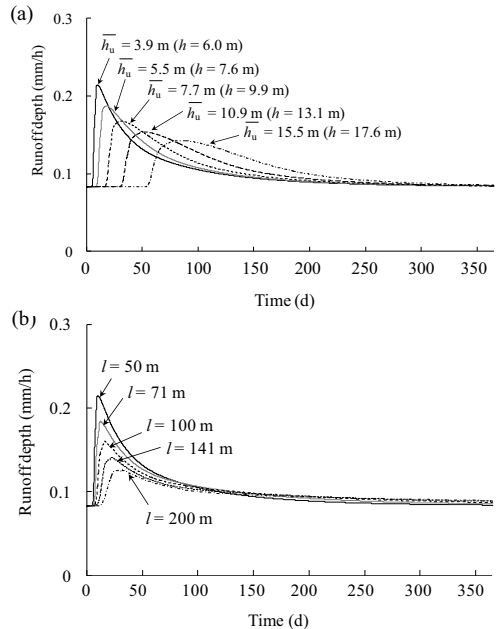


Fig.3 流出ハイドログラフに対する (a)鉛直スケール,(b)水平スケールの影響 (a)Vertical (b)horizontal length scale and runoff hydrograph

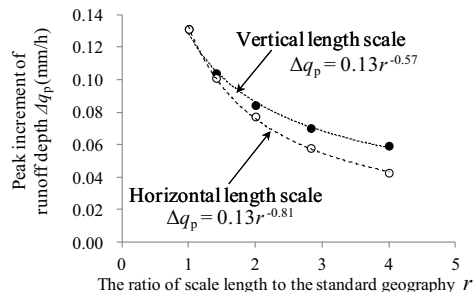


Fig.4 ピーク流出高の初期流出高からの増分と標準地形に対するスケールの比との関係

The ratio of scale length to the standard geography and peak increment of runoff depth from initial value

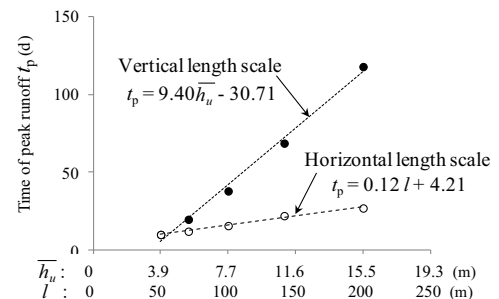


図5 ピーク流量の発生時刻と鉛直スケール(\bar{h}_u)・水平スケール(l)との関係

Fig.5 The relation of vertical-horizontal length scale and the time of peak runoff