

東京大学 工学部 正会員 ○ 安藤 義久  
 東京大学 工学部 正会員 高橋 裕  
 東京大学 生産研 正会員 田明 功臣

1. はじめに

筆者らは、立陸地の水循環機構とその都市化による変化を究明する目的で、多摩丘陵に長池試験流域を設定し、水循環過程に沿って一貫した水文観測を行ない、自然流域における水循環機構について検討してきた。水収支による現象把握をふまえた日単位の水循環機構については既に発表済であるが、本稿では降雨時の1時間単位の水循環機構について述べる。

長池試験流域は、図1.に示すような流域面積4.4haの自然状態の小試験流域である。この流域を対象にして、降雨時の1時間単位の直接流出、地下水流出、地下水涵養機構などの水循環の部分機構を兼討し、更に流域単位の水循環機構を合成する。

2. 直接流出機構

長池試験流域における1時間単位の直接流出率は9%前後の値を示す<sup>3)</sup>ので、図2の日単位の水循環機構モデルと同様に、非浸透域に降る9.8%の降水が直接流出になると考えた。

3. 地下水流出機構

長池試験流域における地下水流出は、不圧地下水流出であり、地下水流出量 $Q_g$ と地下水貯留量 $S_g$ との関係式は、 $Q_g = C S_g$ で表され、タンク・モデルで表示すると図2.中に示すようになることは、すでに明らかにしてある。<sup>2)</sup> 降雨時の1時間単位についても同様なタンク・モデルで表されると考え、単位が合うように流出孔の係数を換算して、図6.中に示す地下水帯タンクで地下水流出機構を表す。

4. 樹冠遮断量と浸透量

流域面積の90.2%を占める浸透域は、雑木林となっており、降雨時の場合には、樹冠遮断を考慮する必要がある。後述する不飽和帯の水収支解析結果によると、降雨時の1時間単位の浸透量 $I$ は、降水量 $P$ の67%に相当するので、降水量 $P$ の23%が樹冠遮断量 $I_c$ となっている。

5. 不飽和帯の水収支解析

まず、流域全体を対象として、降雨時の1時間単位の水収支式①により不飽和帯の水分保留量変化 $\Delta M_s$ を算出する。

$$P - Q = \Delta M_s + \Delta H \cdot R_a + \Delta W_s + I_c \quad \dots \dots \text{①}$$

但し、 $\Delta H R_a$ : 地下水貯留量変化  $\Delta W_s$ : 地表水貯留量変化

図1. 長池試験流域の概要

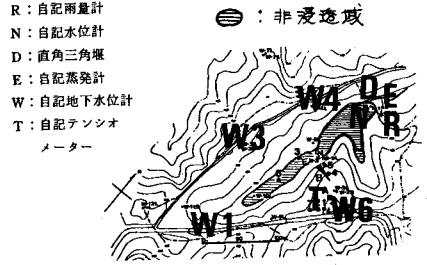


図2. 日単位の水循環機構モデル<sup>2)</sup>

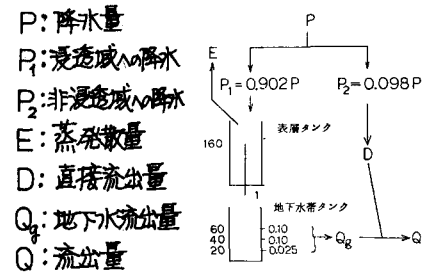


図3. 不飽和帯の水収支結果

4 June '78 P=36mm

- I: 浸透量
- $M_s$ : 不飽和帯水量
- G: 地下水涵養量
- $M_e$ : 超過保留量
- $M_n$ : 最小含水量
- $M_d$ : 土湿不度

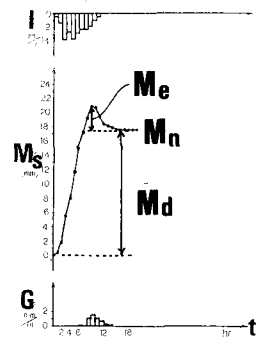
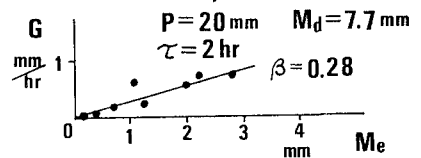


図4. 不飽和帯の超過保留量と地下水涵養量

11 May 1978



ついで、地下水帯を対象とした水収支式②により、地下水涵養量 $G$ を求める。

$$G - Q_g = \Delta H \cdot Pa \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

こうして、求めた $\Delta Ms$ と $G$ を用い、不飽和帯を対象とした水収支式③により、浸透量 $I$ を算出する。

$$I - G = \Delta Ms \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

こうして得た不飽和帯の水収支結果を図3. に例示する。降雨終了後、6~12時間で不飽和帯水分量 $M_s$ は安定状態になっているが、これが最小含水量 $M_n$ 状態と考えられる。この $M_n$ と降雨前の水分量との差が土壌不足 $M_d$ である。 $M_s$ が $M_n$ 以上の時の超過分を超過保留量 $M_e$ とする。

### 6. 地下水涵養機構

図3をみると地下水涵養量 $G$ と超過保留量 $M_e$ との間に、

$$G(t) = \beta M_e(t - \tau) \quad \dots \dots \textcircled{4}$$

のような関係式が成り立つことが推察される。ここで、 $\beta$ は定数であり、 $\tau$ は時間を表し、 $\tau$ は遅れ時間を示す。

各降雨について、図4に示すように $M_e$ と $G$ との相関図を描くと、図のように、 $G$ と $M_e$ の間には、④式の関係が成り立っていることが分かった。地下水涵養機構の定数 $\beta$ と $\tau$ の一覧を表1. に示すが、 $\beta$ は0.15~0.45の範囲にあり、平均値は0.28であり、 $\tau$ は0~4 hrの範囲にあり、平均値は1.8 hrである。

④式をタンク・モデルで表示すると、図5. のようになる。

### 7. 水循環機構

以上、述べてきた水循環の各過程の部分機構を合成して、図6に示す降雨時の1時間単位の水循環機構モデルを構築した。不飽和帯タンクの底の浸透孔の定数は、平均値の $\beta = 0.28$ 、 $\tau = 2$  hrを用いた。降雨 $P$ は、非浸透域に降る $P_2 = 0.098 P$ は直接流出となり、浸透域に降る $P_1 = 0.902 P$ の内、 $I_c = 0.23 P$ は樹冠に遮断され、残りの $I = 0.67 P$ が土中に浸透する。 $I$ は土壌不足を漸たした後、 $G(t) = \beta M_e(t - \tau)$ という式に沿いつまじり、地下水涵養量 $G$ は超過保留量 $M_e$ に比例し、時間遅れ $\tau$ をもち、地下水に涵養される。地下水貯留量 $S_g$ の2乗に比例する地下水流出 $Q_g$ に、直接流出量 $D$ が加わり、流出量 $Q$ となる。

こうして得た、降雨時の1時間単位の水循環機構モデルによる、流量 $Q$ と地下水貯留量 $S_g$ の計算値と実測値を比較した結果を図7. に例示するが、計算値と実測値はよく対応しており、モデルの妥当性が示されたといえる。

### 参考文献

- 1) 安藤・虫明：丘陵地における直接流出の生成領域，第16回水害シンポジウム。
- 2) 安藤・虫明・内田：丘陵地の小流域流域における水循環機構について，第23回水理講演会論文集，1979。
- 3) 安藤・虫明：丘陵地の自然状態の小流域流域における水循環機構，第24回水理講演会論文集，1980。

図5. 地下水涵養機構のタンクモデルによる表示

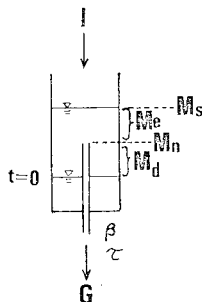


表1. 地下水涵養機構の定数

No.	P (mm)	$\tau$ (hr)	$\beta$ (hr <sup>-1</sup> )
1	13	3	0.20
2	15	4	0.15
3	18	3	0.20
4	23	1	0.35
5	42	0	0.20
6	55	3	0.35
7	29.5	1	0.45
8	4.5	0	0.18
9	20	2	0.28
10	36	1	0.38
11	25.5	2	0.30
12	4.0	1	0.27
平均		1.75	0.28

図6. 降雨時の1時間単位の水循環機構モデル

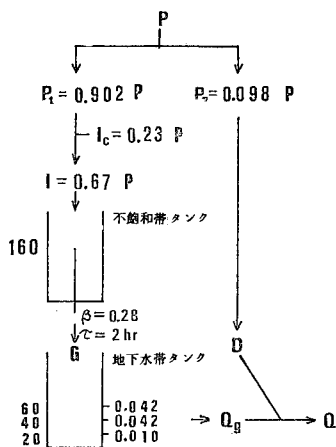


図7. 降雨時の水循環機構モデルによる計算値と実測値

