

横流入が流出に及ぼす影響に関する基礎的研究

中央大学大学院 学生会員 ○内藤 ゆりか
中央大学理工学部 正会員 岡部 真人

中央大学大学院 学生会員 青木 慶
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

水資源確保及び災害対策等に際し、降雨流出現象の解明が必要だが、降雨流出現象は土地利用形態・被覆状態・土壌特性の分布等、様々な要素を有し複雑である。そのため、流出解析において流域特性や降雨特性を考慮する事は必須である。横流入は実河川に沿って連続的に発生しているが、流出解析の際にどの程度連続性を考慮すべきか明確に定義する事は困難である。そこで本稿では基礎的研究として、横流入のうち、土壌からの不飽和浸透流が流出高に与える影響を評価した。

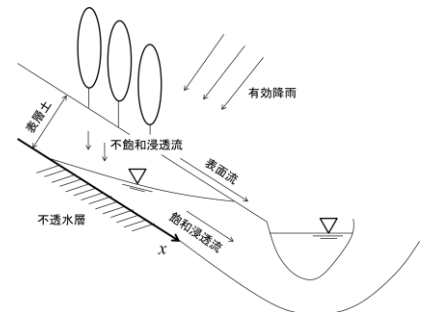


図-1 横流入の概要

2. 単一斜面における降雨流出の基礎式及び河道計算式

2 - 1. 単一斜面における降雨流出の基礎式

著者らは従来から図-1 に示す単一斜面における降雨流出の基礎式の導出を行っている。(1)式は斜面流下方向を対象とし一般化された単一斜面からの降雨流出を表す基礎式となる。表面流と中間流を連結する鉛直浸透流に関しては、Green-ampt 理論に基づく鉛直浸透流を用いる。表面流に関しては高棹タイプと Horton タイプの表面流の発生機構を考慮する。以上、(2)式に示す表面流、中間流、鉛直浸透流および湛水深に関する 4 元連立常微分方程式を(3)式条件のもと解くことにより、土壌・地形特性と降雨強度の関係から表面流の発生を表現可能な降雨流出計算が行える。

$$\frac{dq_*}{dt} = a_0 q_*^\beta (r(t) - q_*) \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dq_s}{dt} = a_s q_s^\beta (r(t) - q_0 - q_s) & \dots\dots\dots \text{表面流} \\ \frac{dq_m}{dt} = a_0 q_*^\beta (q_0 - q_s) & \dots\dots\dots \text{中間流} \\ \frac{dq_0}{dt} = (r(t) - q_0) \frac{q_0 - K_s}{h_s + h_k} - \frac{q_0}{(\theta_s - \theta_l) K_s (h_s + h_k)} & \dots\dots \text{鉛直浸透流} \\ \frac{dh_s}{dt} = r(t) - q_0 & \dots\dots\dots \text{湛水深} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} (h > D): & q_* = q_0 = q_*|_{h=D} \\ (0 \leq h \leq D, \quad r(t) < k_s): & q_0 = r(t) \\ & q_T = q_s + q \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 v ：断面平均流速[mm/h]、 h ：水深[mm]、 r ：有効降雨強度[mm/h]、 m ：流出パラメータ(抵抗則)、 L ：斜面長[mm]、 D ：表層土層厚、 γ ：土壌の透水性を表す無次元パラメータ、 k_s ：飽和透水係数、 w ：有効空隙率、 i ：斜面勾配、 q_* ：飽和・不飽和側方流に関する流出高[mm/h]、 q_s ：表面流に関する流出高[mm/h]、 q_T ：全流出高[mm/h]、 q_0 ：鉛直浸透流[mm/h]、 h_s ：湛水深[mm]、 h_k ：湿潤線での毛管負圧[mm]、 t_p ：湛水開始時刻である。 t_p 湛水開始時刻に関しては土壌特性から決定される。表面流はマニング則をとり、抵抗則 $m=2/3$ 、 $\alpha=i^{1/2}/n^*$ で表され、表面流に関する流出パラメータ a_s および β_s が決まる。ここで、 n^* は斜面表層における Manning の粗度係数である。

2 - 2. 河道計算式

河道計算は(4)式に示す一次元不定流計算を用いる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (4)$$

キーワード 降雨流出, 横流入, 空間分布

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 Tel:03-3817-1805 FAX:03-3817-1803

ここに、 Q ：流量[m³/s]、 α ：流速分布形状による補正係数(=1)、 A ：通水面積[m²]、 g ：重力加速度[m²/s]、 h ：水位[m]、 n ：河道における Manning の粗度係数、 R ：径深[m]、 q ：横流出[m²/s]である。

3. 計算条件の概要

本稿では河道長 70[km]、流域面積 250[km²]の仮想的な一河川流域を考え、横流入が流出に与える影響がどの程度かを解明する事を目的とし河道流出計算を行った。斜面の土地地形特性として斜面長 $L=30$ [m]、表層土層厚 $D=20$ [cm]、有効空隙率 $w=0.42$ 、斜面勾配 $i=15^\circ$ 、抵抗則 $m=4$ 、初期流出高 0.1[mm/h]を斜面に一樣に与え、等間隔に同流量の横流入を与えた。

4. 結果

4 - 1. 横流入の有無が流量ハイドログラフに与える影響

横流入の有無がハイドログラフに与える影響を評価するため、横流入を与えた流出計算結果と上流端のみに流量を与えた流出計算結果から、横流入の有無によるハイドログラフの差異を比較する。図-2 は、横流入の空間分布が密である程、ハイドログラフの立ち上がりが早く、ピーク流出高が低い事を示している。表-1 は、横流入の有無によりピーク流出高が 2 割近く増減し得る事を示し、流出解析における横流入の考慮の必要性を示す。

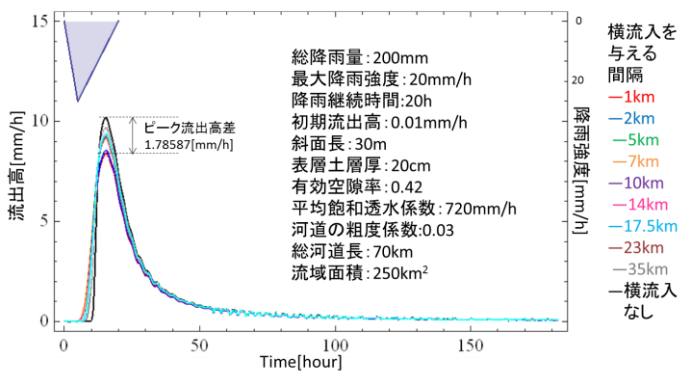


図-2 横流入の有無と流出高の関係

表-1 ピーク流出高とピーク流出高を占めるピーク流出高差の割合

	ピーク流出高 [mm/h]	ピーク流出高差/ピーク流出高(百分率)
横流入なし(上流端にのみ流量を与えた)	10.1812	17.5%
横流入あり(上流端から1km地点ごとに流量を与えた)	8.3953	21.3%

4 - 2. 斜面表層の粗度係数が横流入を考慮した流出解析へ与える影響

斜面の土地特性が横流入に与える影響を評価するため、土地特性の一つとして透水係数を変化させ、上述の計算を行った。図-3 において、透水係数が小さい程、横流入を与える間隔の広がりにつれて、河道におけるピーク流出高の増加が大きい。つまり、透水係数が小さいほど、横流入の有無が流出結果に影響する。また、目視により間隔 6[km]付近から、ピーク流出高の傾きが緩くなっている。間隔が 6[km]以下の場合、河道末端と横流入との距離が近いために、下流端に与えた水位条件に下流が影響を受け、下流から 6[km]付近までの横流入が、流量も小さいために、流出高への影響が小さいためだと考える。

5. まとめ

横流入の有無により河道末端のピーク流出高に 2 割近くの差異がある事を示した。透水係数が小さいほど横流入の有無が流出結果に影響を与える事を示した。下流から 6 [km]付近までの横流入は流出高への影響が小さいと示した。

参考文献:

- 1) 呉修一、山田正：斜面流出における斜面と河道の効果に関する研究、水工学論文集、Vol.50、pp.337-342、2006
- 2) 山田正：山地流出の非線形性に関する研究、水工学論文集、Vol.47、pp.259-264、2003

キーワード 降雨流出、横流入、空間分布

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 Tel:03-3817-1805 FAX:03-3817-1803

図-3 同間隔毎に横流入を与えた場合の
間隔幅とピーク流量高の関係

