

分布定数系流出モデルを用いたダムの洪水制御能力の検討

中央大学大学院	学生会員	田名辺 剣児
中央大学大学院	学生会員	織田 賢太
中央大学理工学部	フェロー会員	山田 正

1. はじめに

治水・利水のみでダムの有効性を検討することは非常に重要であり、様々な研究機関で流量・水位予測が行われ、ダムの有効性が評価されている。そこで本研究では物理的に導出された分布定数系流出モデルを用いてダムの有効性を検討することを目的とし、ダム制御の有無、流出パラメータを変化させ降雨流出計算を行い、水位・流量ハイドログラフの比較検討を行った。

2. 単一斜面における降雨流出の基礎式

著者らは従来から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。以下に著者らの理論の概要を記す。(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、山田が従来から提案している 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。

$$\frac{dq_s}{dt} = a_s q_s^\beta (r(t) - q_s) \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dq_s}{dt} = a_s q_s^\beta (r(t) - q_s) \quad \dots\dots\dots \text{表面流} \\ \frac{dq_m}{dt} = a_m q_m^\beta (q_0 - q_m) \quad \dots\dots\dots \text{中間流} \\ \frac{dq_0}{dt} = (r(t) - q_0) \frac{q_0 - K_s}{h_s + h_k} - \frac{q_0}{(\theta_s - \theta_r) K_s (h_s + h_k)} \quad \dots\dots \text{鉛直浸透流} \\ \frac{dh_s}{dt} = r(t) - q_0 \quad \dots\dots\dots \text{湛水深} \end{array} \right. \quad (2), \quad \left\{ \begin{array}{l} (h > D): \quad q_s = q_0 = q_m|_{h=D} \\ (0 \leq h \leq D, \quad r(t) < k_s): \quad q_0 = r(t) \\ q_T = q_s + q_m \end{array} \right. \quad (3)$$

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_s : 飽和・不飽和側方流に関する流出高[mm/h], q_m : 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, h_s : 湛水深, h_k : 湿潤線での毛管負圧[cm], 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 Manning 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。基本式は全て常微分方程式であり解は瞬時に求まる。また詳細については文献 1),2)などを参照されたい。

3. 利根川上流域における降雨流出計算

3.1 目的

本論文では実流域においてダムの洪水制御能力が降雨流出に与える影響がどの程度かを解明することを目的として降雨流出計算を行った。

3.2 計算条件

- ・実流域として利根川水系奥利根流域(流域面積 1670km²), 吾妻川流域(流域面積 1360km²), 烏神流流域(流域面積 1810km²), 残流域(流域面

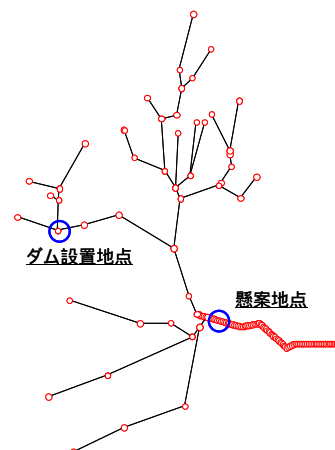


図-1 流出計算に用いた河道網

キーワード 分布定数系流出モデル, 飽和透水係数, 降雨流出

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

積 270km²) を対象とし, 31 のサブ流域に分割し河道効果を考慮した一次元不定流計算を行った. 対象流域を図-1 に示す.

・サブ流域の土壤地形特性として斜面長 $L=30\text{m}$, 表層土層厚 $D=20\text{cm}$, 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 0.1mm/h を各サブ流域に一樣に与えた. ここで流出パラメータは実測流量ハイドログラフの低減部から求めた解析解を用いた.

・仮定したダム流域の流域面積は 708km^2 , 降雨データは平成 10 年台風 5 号の実測降雨量を用いて各流域に分布させて与えた.

3.3 ダムの洪水制御能力の検討

ダムの洪水制御能力が降雨流出に与える影響を定量的に評価するため, ダムを考慮しない流出計算結果とダムの地点において $1500\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量をピークカットすることによりダムを考慮した場合の流出計算結果の比較を行う. ここで流出計算結果として図-1 の懸案地点における流量・水位ハイドログラフを用いる. 与えた降雨のハイドログラフの一例を図-2, ダム地点における流量のピークカットの有無を示す流量ハイドログラフを図-3, 求めた結果の一例を図-4, 5 に示す. ここで飽和透水係数 k_s の値を $0.04, 0.05, 0.06\text{cm/s}$ の常識的な値の 3 ケースで計算し, それぞれのケースの流量・水位ハイドログラフを示す. これにより, ダムを考慮しない場合の計算結果と実測流量のピーク流量はほぼ一致し, ダムを考慮した場合とダムを考慮しない場合のピーク流量・水位の差異は最も実測流量に近い飽和透水係数 k_s が $k_s=0.06\text{cm/s}$ のケースで $1360\text{m}^3/\text{s}, 38.7\text{cm}$ となり, どのケースにおいてもダムを考慮した場合とダムを考慮しない場合のピーク流量・水位の差異が $1000\text{m}^3/\text{s}, 30\text{cm}$ 以上になることを示した.

4. まとめ

- (1)実流域においてダムの洪水制御能力をダムの有無, 実測流量より比較検討した結果, ダムを考慮しない場合の流出計算結果と実測流量のピーク流量がほぼ一致し, 分布型定数系流出モデルの妥当性を示した.
- (2)飽和透水係数 k_s の値を様々な値に変化させて, ダムを考慮した場合と考慮しない場合の流出計算結果を比較した結果, ピーク流量・水位の相違は最も妥当性がある飽和透水係数 $k_s=0.06\text{cm/s}$ のとき $1360\text{m}^3/\text{s}, 38.7\text{cm}$ になることを示した.
- (3)ダムを考慮した場合とダムを考慮しない場合のピーク流量・水位の差異が $k_s=0.04, 0.05, 0.06\text{cm/s}$ の 3 ケースにおいてそれぞれ $1000\text{m}^3/\text{s}, 30\text{cm}$ 以上になることを示した.

参考文献: 1)山田正: 山地流出の非線形性に関する研究, 土木学会水理講演会論文集, Vol. 47, pp. 259-264, 2003.

2)呉修一, 山田正: 降雨流出における斜面と河道の効果に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol. 50.

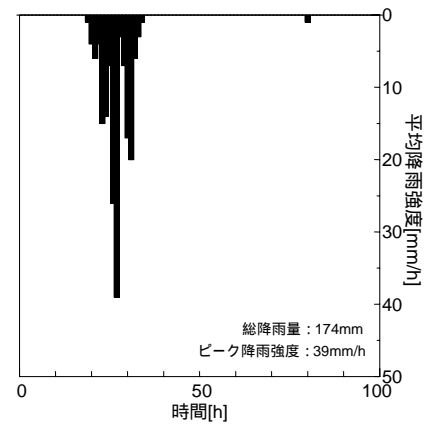


図-2 ハイエトグラフの一例

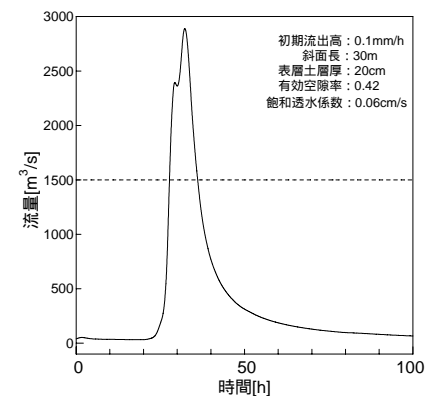


図-3 ダム地点のハイドログラフ

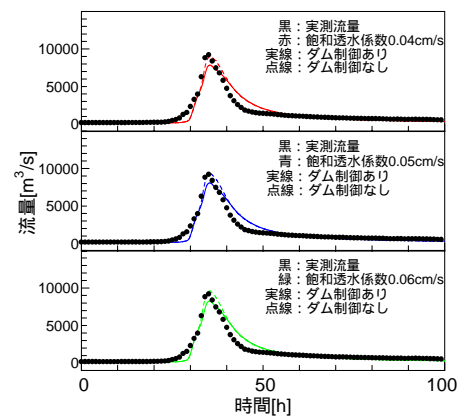


図-4 対象流域における流量ハイドログラフ

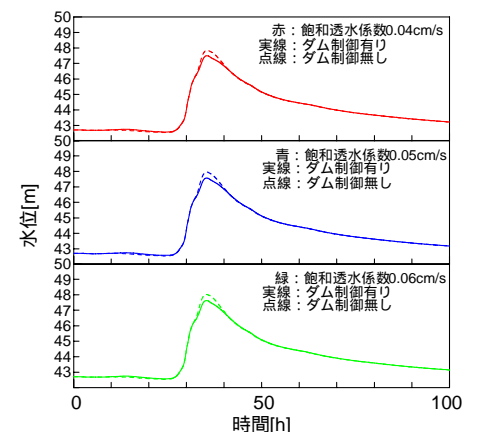


図-5 対象流域における水位ハイドログラフ