

既存ダム群の洪水調節機能向上のための 新しい放流方法の提案

A STUDY ON NEW DETERMINATION METHOD OF DAM RESERVOIR DISCHARGE
FOR FLOOD CONTROL CAPACITY IMPROVEMENT OF EXISTING DAM
RESERVOIR

下坂将史¹・呉修一¹・戸谷英雄²・山田正³・吉川秀夫⁴

Masashi SHIMOSAKA, Shuichi KURE, Hideo TOYA, Tadashi YAMADA and Hideo KIKKAWA

¹ 学生員 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

² 正会員 河川環境管理財団 研究第4部 部長 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

³ フェロー会員 工博 中央大学理工学部教授 土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁴ 正会員 工博 河川環境管理財団 研究顧問 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

A new method of flood control by gate operation based on runoff characteristics of a basin is proposed in this paper. This method is based on an anticipatory release approach and the idea that there is no risk in reducing reservoir levels if the amount of anticipatory release is equal to the amount of inflow which will flow into the dam for certain from the rainfall that has already fallen. In this method, rainfall prediction or weather forecasting will not be necessary for flood control. The amount of anticipatory release will be calculated by the real time inflow into the reservoir or accumulated rainfall. And reservoir levels will certainly be restored to their former condition, because the amount of discharge is based on the area under the recession part of the hydrograph.

Key Words: *Anticipatory release, runoff characteristics, soil and topography characteristics*

1. はじめに

著者らは、我が国における戦後の経済発展の成果の裏には河川整備とダム建設に伴う流域の治水能力と洪水調節機能の向上、及びこれによるダメージポテンシャルの減少が基本になっていると考えている。事実、国内の多くの地域において過去に発生した洪水においてはダムの存在が大いに役に立ち、尊い人命を救い、人的被害及び資産の損害の軽減に貢献してきた。一方、社会構造の変化や開発予算の打ち止まりあるいは低下傾向、さらに国民の環境・景観意識の増大等、高度経済成長期にはなかった新しい考え方が一般化しつつある。また、かつての洪水常襲地帯における宅地開発、流域の土地利用の変化、降雨形態の変化等があり、既存ダム群の従来通りの運用だけでは頻発する豪雨災害に必ずしも対応できなくなりつつあることも事実である。近年増加傾向にある大規模な出水に対応するためには、ダム貯水池からの放流操作に関して今まで以上に効率的な操作を行うことで、ダムの有する洪水調節機能を最大限に発揮する必要がある。

ダム貯水池からの出水時の放流操作に関して、今村¹⁾は異常洪水時のダム操作手法として、ただし書き操作開始時期の判断を客観的に行うために、異常洪水のある時

点におけるダム流入量・放流量、貯留量や下流河川における河道特性から求まる水理量である限界流入量を指標とした判断基準を設定する放流方法を提案している。この限界流入量に到達した段階で異常洪水操作に移行すれば、下流の水位上昇量をある限度以下とする放流が可能である。これにより、超過洪水の処理に対するダム管理者の経験的な判断を軽減することが可能となることを示している。裏戸²⁾は、ダムの洪水調節方式の一つである一定率一定量放流方式の洪水調節図と貯水量と放流率の関係図を用い、現空き容量と基準流入波形より算定する現放流量を継続した場合の調節容量との関係放流量を設定することで、限られた貯水容量を最大限活用して洪水調節効果を高めようとする手法を提案している。

一方、著者ら³⁾はダム流域におけるハイドログラフの遞減特性を用いる事前放流量の決定手法を提案した。その放流方法とは現在までに降った降雨のうち確実にダム貯水池へ流入する量を実際に流入する以前に放流するという方法であり、降雨の予測を行うものではない。この事前放流によりダムが大きな治水容量を持った状態で洪水調節を行う事が可能になる。また、事前放流量の総量は洪水の遞減部の積分値としているため、洪水終了後には利水容量は確保され利水上支障のないことを示した。

ところで、我々は洪水の発生要因である降雨情報を得ることにより、ダム貯水池への流入量を実際に流入が開始する前に算定することが可能である。また、ダムのゲート操作を行う際には、当然ながらダム下流懸案地点あるいは懸案地区に対してどのような洪水調節を行う事が最も適切かを考えなければならない。そこで本論文では、ダム上・下流域における降雨データを用いた事前放流による洪水調節手法を提案し、その有用性を検証した。さらに本論文は、流域の洪水流出特性に着目し得られた知見を残流域からの流出量の推定及びダム貯水池操作に応用し、その治水・利水効果の定量的評価を行う事を目的としている。

2. 本研究で提案するダム貯水池からの放流量決定手法

本研究で提案するダム放流量算出に関する考え方を下記に示す。ダム貯水池における流入量、放流量に関しては式(1)に示す連続式が成立する。

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V \quad (1)$$

ここに、 V ：現時点(=時刻 t)以降に確実にダム貯水池に流入する総流入量[m^3]、 Q_{IN} ：ダム貯水池への流入量[m^3/s]、 Q_{OUT} ：ダム貯水池からの放流量[m^3/s]である。

これは著者らが従来から提案している考え方であり、ある時刻における流入量や降雨量などのダム貯水池における水文諸量から、その後最低限貯水池へ流入する総流入量を算出し、それに見合う流量を事前放流量とする。事前放流としては降雨終了後に確実に流入する量だけを放流するものであり、洪水終了後にはダム貯水池は最低でも夏季制限水位までは回復することができる。この放流方法はいかなるダム流域においてもその流出特性を明らかにすることで適用することができる最も単純且つ合理的な放流方法と言える。

ここで、放流量の算出においては V の表し方によって以下に示す3通りの手法が考えられる。

0. 流出計算により算定する手法

1. 時々刻々の流入量 $Q_{IN}(t)$ の関数で表す手法：

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(Q_{IN}(t)) \quad (2)$$

2. 時々刻々の累積降雨量の関数 $R(t)$ で表す手法：

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(R(t)) \quad (3)$$

本研究では、1の手法を逓減特性方式、2の手法を総降雨量方式と定義する。また、1の手法は著者ら^{3),4)}によって提案された事前放流量決定手法であり、放流量は(4)式で決定される。

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dQ_{IN}} \cdot \frac{dQ_{IN}}{dt} \quad (4)$$

この(4)式を用いるとともに、流域における V と Q_{IN} の関係を事前に作成しておくことで、事前放流量を決定できることを著者らは示している。逓減特性方式では、流入量の立ち上がり時を時刻 $t=0$ と定義する。しかしながら、 V の算定に関しては上記のように Q_{IN} のみが利用できるわけではなく、時々刻々の降雨量を用いる事も可能である。以下に累積降雨量から V を算出する理論を記す。

(1) ダム貯水池における時々刻々の累積降雨量を用いた放流量の決定方法

ここでは、時々刻々の降雨データ(累積降雨量)を基に放流量を決定する総降雨量方式について述べる。現行のダム操作規則による放流操作は、時々刻々の流入量データを基に行っているが、洪水の発生要因である降雨の情報を得る事により、ダム貯水池への流入量を実際に流入が開始する前に算出することが可能である。これにより、さらに効率的な流量制御を行える可能性がある。式(3)を時間 t で微分し、式(5)の $dR/dt=r(t)$ の関係を用いると式(6)が得られる。

$$R(t) = \int_0^t r(t) dt \quad (5)$$

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot \frac{dR}{dt} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (6)$$

ここに、 $R(t)$ ：ダム流域において降雨が開始した時刻から現時点までの累積降雨量 [mm]、 $r(t)$ ：時々刻々の降雨量 [mm/h] である。この総降雨量方式では、降雨開始時を時刻 $t=0$ と定義する。

ダム貯水位に関しては式(7)より算出可能であり、利水容量の安全性も同時に確認できる。

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (7)$$

ここに、 $A(h)$ ：湛水面積[m^2]、 h ：貯水位[m]である。

(2) 上・下流域の降雨データを用いた放流量の決定手法

ダム上・下流の水文観測データをリアルタイムで活用することで、さらに効率的な洪水調節を行うことができる。本研究では、1つの例として利根川水系最大の支川である渡良瀬川上流に唯一存在する草木ダム(流域面積：254 km^2)の洪水調節に着目した。図-1には渡良瀬川流域及び草木ダムの位置を示す。草木ダム上流16km地点に位置する足尾砂防ダムにおける降雨データをダム上流域の情報として、またダム下流42km地点における降雨データをダム下流域の情報として放流操作に組み込んだ。図-2に足尾砂防ダム、草木ダム、足利懸案地点における累積降雨量と総直接流出量の関係を示す。足尾砂防ダムから草木ダムまでの到達時間は過去の流量観測データから約1時間、また足尾砂防ダムで観測された流量の約3.3倍が平均して草木ダムに流入してきている(式(8))。



図-1 渡良瀬川流域及び解析対象ダムの位置関係

$$Q_{IN}(t) = 3.3 \times Q_{足尾}(t-1) \quad (8)$$

よって足尾砂防ダムにおける現時点の累積降雨量から図-2 の関係を用いて現時点以降の流入量を時々刻々算出し続け、その流量の 3.3 倍に見合う量を 1 時間後の草木ダムへの流入量とする。また、式(6)における dV/dR も足尾砂防ダムにおける現時点の累積降雨量と図-2 の関係から決定することができる。草木ダムからの放流量は式(9)で表現される。つまり、

$$Q_{OUT}(t) = 3.3 \times Q_{足尾}(t-1) + 3.3 \times \left(\frac{dV}{dR} \right)_{足尾} \cdot r(t)_{足尾} \quad (9)$$

また、下流懸案地点及び低減目標水位の定め方は非常に重要であり、本研究では、一例としてダム下流 42km 地点を懸案地点に定め、危険水位を低減目標水位とした。低減目標水位以下で流下可能な流量を最大可能放流量とし、事前放流量に上限を加える。可能放流量の算出方法に関しては後述する。

(3) 総降雨量方式及び逓減特性方式を用いた事前放流量の算出結果

足尾砂防ダム及び足尾懸案地点における流量データが得られた 1998 年 9 月 16 日の台風 5 号に伴う洪水に対して事前放流量を算出した。なお、このときのダム貯水池へのピーク流入量は $1347 \text{ m}^3/\text{s}$ で、既往 2 番目の大きさである。放流量の決定には逓減特性方式及び総降雨量方式の両手法を用いた。図-3 に逓減特性方式と総降雨量方式を用いて算出した放流量、現行の操作規則通りの放流量及びその時の貯水位の比較を示す。ここで、算出した放流量が実際の流入量を上回っているが、この事前放流は超過洪水を想定しており、後から確実にダム貯水池へ流入する流量のみを放流し治水容量を増大させておくことで、事前放流の最中にさらに多くの雨が継続して降る場合にその治水能力を発揮する。また、ダム下流河川での水位上昇率やゲートの放流能力を考慮し、ローパスフィルタなどをかけることでピーク値をコントロールすることが可能である。後述するが本論文では可能放流量という概念を用いることで放流量に制限をかけることと流入量が $500 \text{ m}^3/\text{s}$ に達してからは現行の操作規則に切り替える方

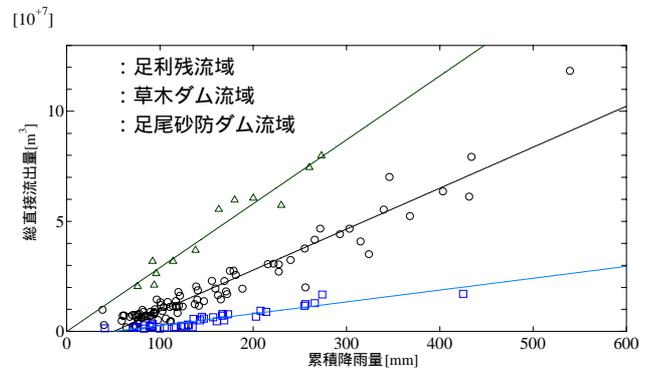


図-2 足尾砂防ダムと草木ダム及び足尾残流域における総降雨量 R と総直接流出量 $V(R(t))$ の関係

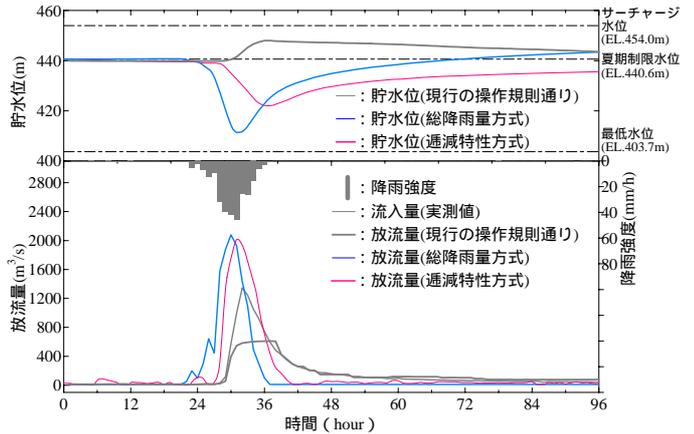


図-3 逓減特性方式と総降雨量方式を用いて算出した放流量及びその時の貯水位の比較

法を提案している。以上により、実際の流入量よりも放流量が大きくなることをさける事が可能となる。

逓減特性方式と総降雨量方式の 2 つの方法を比較すると、逓減特性方式に比べ総降雨量方式では 1 時間早く、またより多量を放流できている。これは、草木ダム上流 16km に位置し、草木ダムまでの洪水到達時間が約 1 時間である足尾砂防ダムにおける累積降雨量と総直接流出量の関係から草木ダムへの流入量を算定しているためである。

3. 事前放流を用いた洪水調節手法

草木ダム流域において 2001 年 9 月 8 日～13 日(台風 15 号、既往最大の放流量 $906 \text{ m}^3/\text{s}$ を記録)の洪水に対して、上述した逓減特性方式及び総降雨量方式を用いて事前放流を行う洪水調節を適用した。図-4 に流入量、放流量、貯水位の時系列を示す。草木ダムにおいては、流入量が $500 \text{ m}^3/\text{s}$ に達した時点で式(10)に基づき、洪水調節を開始する。

$$Q_{OUT} = (Q_{IN} - 500) \times 0.1 + 500 \quad (10)$$

この出水の例に見られるように、現行の操作規則では、降雨継続時間が長く、ダム貯水池の容量を超えるような出水の際に放流量 = 流入量とする"ただし書き操作"を行わざるを得ない。それに対して本研究で提案する洪水調

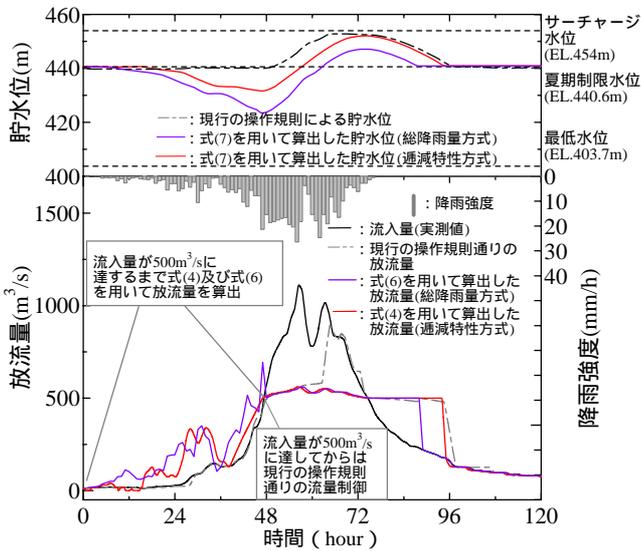


図-4 透減特性方式及び総降雨量方式を用いて事前放流を行った洪水調節と
 現行の操作規則通りに行った洪水調節との比較

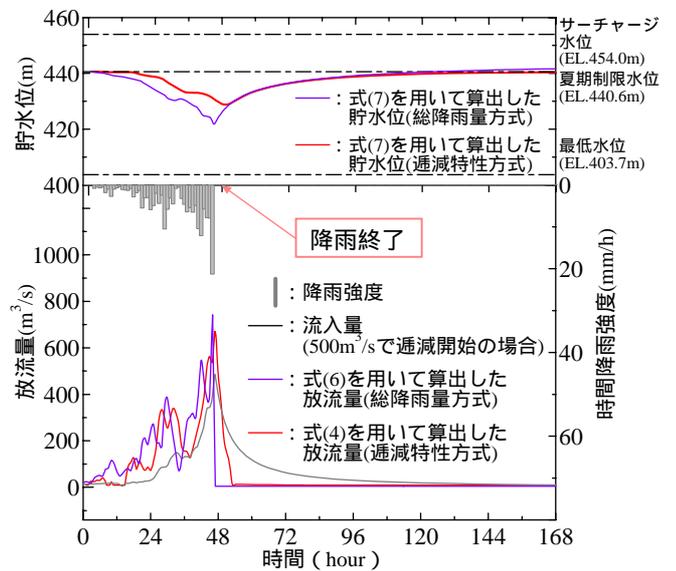


図-5 流入量が500m³/sで降雨が終了した場合の透減特性方式及び
 総降雨量方式を用いて算出した放流量とそのときの貯水位

節手法は、前述した手法に基づき事前放流を行い、流入量が500 m³/sに達した後は現行の操作規則通り洪水調節を行うことでただし書き操作を回避している。また、図-5では事前放流を行った直後に降雨が終了した場合を想定しており、洪水終了後にダム貯水位は夏期制限水位まで回復していることから利水上の安全性を保った上での事前放流が可能であることを示している。

4. ダムからの可能放流量の算定

草木ダムからの可能放流量とは、足利懸案地点において草木ダムからの放流量と足利残流域(441km²)からの流量の総量が、危険水位以下で流下可能になる草木ダムからの流量と定義した。ここで、残流域からの流出量の算定に関しては以下に示す2つの方法が存在する。

1. 既存の水文データを用い残流域における累積降雨量と直接流出量の関係を作成する
2. 残流域からの流出量を流出計算より算定する

1.の方法は水文データの充実した流域において図-2に示すような累積降雨量と総直接流出量の関係を事前に作成しておき、回帰直線を用い残流域からの流出量を算定する方法である。また、2.の方法は流出計算を行うことで残流域からの流出量を算定する。

本論文では、残流域からの流出量を流出計算から算出し、横流入量として河道部における不定流計算を行った。著者ら⁵⁾は、土壌・地形特性と降雨強度の関係から表面流、鉛直浸透流、飽和・不飽和側方流に関する多層流れを表現可能な単一斜面における降雨流出計算手法を提案している。斜面流下方向流れに関して断面平均流速を水深のべき乗形式で表現するとともに、流れを Kinematic Wave として取り扱い、集中化を行いつつ、(11)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(12)式の条件のもと解くことで、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。

$$\begin{cases}
 \frac{dq_s}{dt} = a_s q_s^{\beta_s} (r(t) - q_0 - q_s) & \dots \dots \dots \text{表面流} \\
 \frac{dq_m}{dt} = a_0 q_s^{\beta} (q_0 - q_s) & \dots \dots \dots \text{中間流} \\
 \frac{dq_0}{dt} = (r(t) - q_0) \frac{q_0 - k_s}{h_s + h_k} - \frac{q_0}{(\theta_s - \theta_i) k_s} \frac{(q_0 - k_s)^2}{(h_s + h_k)} & (11) \\
 \dots \dots \dots \text{表面流から表層土中への鉛直浸透流} \\
 \frac{dh_s}{dt} = r(t) - q_0 - q_s & \dots \dots \dots \text{湛水深} \\
 \beta = \frac{m}{m+1}, \quad \beta_s = \frac{m_s}{m_s+1}
 \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 (h > D): & q_s = q_0 = q_s|_{h=D} \\
 (0 \leq h \leq D), r(t) < k_s: & q_0 = r(t)
 \end{cases} \quad (12)$$

$$q_T = q_s + q_m$$

ここに、 h : 水深[mm], r : 有効降雨強度[mm/h], m , m_s : 流出パラメータ(抵抗則), D : 表層土層厚, k_s : 飽和透水係数 q_s : 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, h_s : 湛水深, h_k : 湿潤線での毛管負圧[cm], θ_s : 飽和含水率, θ_i : 残存含水率である。基本式は全て常微分方程式であり解は瞬時に求まる。残流域の土壌・地形特性としては空間的に一様とし、表層土層厚 $D=20\text{cm}$, 斜面長 $L=10\text{m}$, 斜面勾配 $i=30^\circ$, 飽和透水係数 $k_s=0.01\text{cm/s}$, 有効空隙率 $w=0.3$, 湿潤線での毛管不圧 $h_k=30\text{cm}$, 初期流出高 0.2mm/h とした。降雨として1998年9月16日に発生した台風5号(総降雨量270mm, ピーク降雨強度29mm/h)を与えた。図-6に足利残流域からの流出量の実測値と計算値の比較を示す。透減部において差が見られるが、ピーク値は再現できている。このように残流域における流出量の算定手法には過去の水文データから事前に作成した関係を用いる場合と流出計算から算定する方法があり、残流域からの流出量の算定が行えることを示

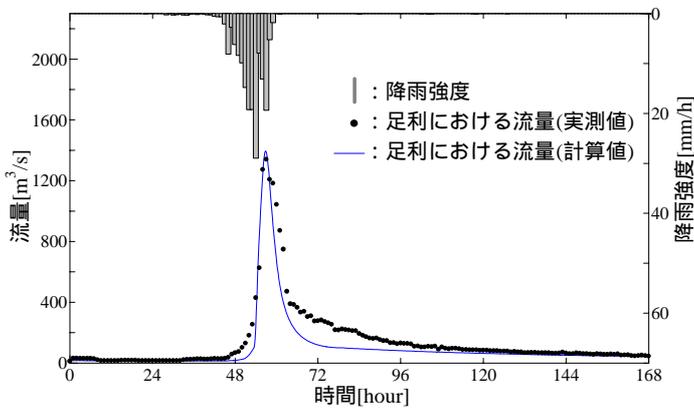


図-6 足利残流域からの実測の流出量と再現計算により算出した
した。

5. 下流域における洪水水位低減効果

事前放流を行ったダムゲート操作が、草木ダム下流の渡良瀬川においてどのように応答するかその洪水水位低減効果を調べるために可能放流量を考慮しダム放流量に上限を加えた放流方法を1998年の実測の洪水の流入量を2倍とした仮想的な超過洪水に適用した。適用結果を図-7に示す。草木ダムからの可能放流量の算定に関しては、式(13)に示すように、足利懸案地点における危険水位に相当する流量から2時間先の足利残流域からの流入量と基底流量を毎時引いた値とした。ここで、既存資料より危険水位相当流量を2712 m³/s、基底流量を10 m³/sと定義した。Q_{out足利}は4章で述べたように流出計算により算出した。

$$Q_{OUT可能}(t) = 2712 - Q_{out足利}(t-2) - 10 \quad (13)$$

洪水制御手法としては、式(4)および式(6)の逓減特性方式と総降雨量方式により放流量を算出し流入量が500 m³/sを超えてからは現行の操作規則と同じ1割放流を行った。事前放流により、総降雨量方式を用いた場合には17m、逓減特性方式を用いた場合には4m ダム貯水位を下げた状態で流量制御を開始しており、洪水のピークを低減している。現行の操作規則どおりの放流方法ではただし書き操作に最も早く移行しているが、逓減特性方式、総降雨量方式を用いた放流ではただし書き操作への移行を遅らせていることがわかる。下流懸案地点においても安全に流下可能な量を放流の最大値としているため洪水制御に非常に有効である。また、洪水終了後のダム貯水位をみると利水容量を確保していることがわかる。

この放流を行った場合の洪水水位低減効果を見るため、図-8に示す利根川河道網を対象として不定流計算を行った。図-8は不定流計算の対象とした利根川河道網の図であり、国土交通省関東地方整備局の管内図に掲載されている河川(52河川)を示している。解析を行う河道は1/40万の地形図上で河川として認識できる最上流地点から河口地点までとした。横断河床形状は、横断形状の実測値が存在する河道部には実測横断河床形状を、実測値が無い河道部には擬似横断河床形状を用いた。ここ

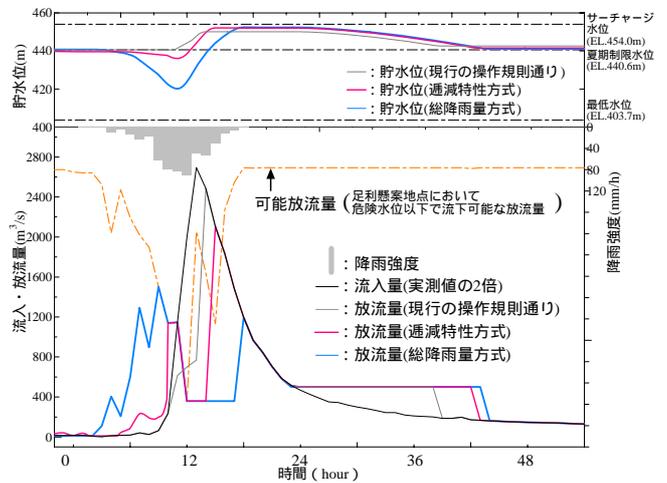


図-7 逓減特性方式と総降雨量方式を用いて事前放流を行った洪水調節と現行の操作規則との比較

で、擬似横断河床形状とは地形図から読み取った堤防幅と低水路幅をもとに決定した複断面形状のことである。実測横断河床形状、擬似横断河床形状を適用した河道はそれぞれ実河道区間、擬似河道区間として図-8に示している。

草木ダム下流の懸案地点として草木ダムから22km下流地点の高津戸と42km下流の足利とした。この2懸案地点において事前放流を行った流量制御の水位・流量をダムによる制御のない場合、現行の流量制御を行った場合と比較した。河道部の流況再現では連続式及び不定流の基本式(サン・ヴナン式)を用いて計算している。連続式および運動量保存式を式(14)と式(15)にそれぞれ示す。ここに、A:通水断面積[m²]、Q:流量[m³/s]、q:側方流入流量[m³/s]、α:エネルギー補正係数(1.0)、h:水位[m]、g:重力加速度、n:Manningの粗度係数、R:径深[m]である。水位計算点と流量計算点を交互に配置するスタッガート法で差分化し、陰解法6点アボットスキームによって解いている。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (14)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (15)$$

河道の粗度係数は渡良瀬川に関しては2001年と2002年の洪水の痕跡調査からセグメントごとに算出した値を与えた。渡良瀬川以外の河道に関しては上流部、中流部、下流部の3種類に分け、それぞれ上流部に0.03、中流部に0.025、下流部に0.02の値を与えている。

草木ダム上流の上流端境界条件は草木ダムにおける実測流入量を与え、草木ダム上流以外で渡良瀬川流域の上流端境界条件にはダム下流の実測流量のうち草木ダム放流量を差し引いた流量を集水面積に応じて与えた。渡良瀬川以外の上流端境界条件には、草木ダムでの実測流入量の流出高を集水面積倍した流量のハイドログラフを与えた。下流端境界条件は下流端にあたる江戸川河口と利根川河口のそれぞれに、芝浦、鹿島で実測された潮位の時系列を与えた。

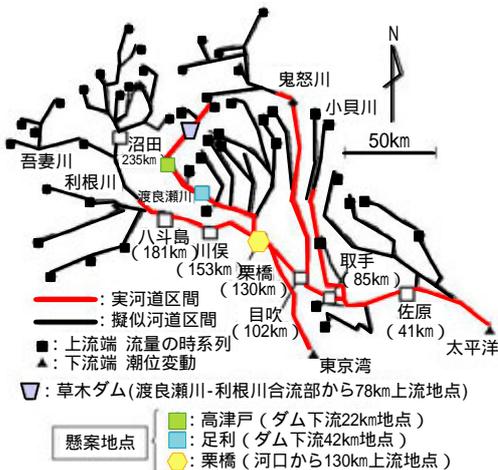


図-8 不定流計算に用いた利根川河道網と洪水水位比較地点

この放流操作を行った際の、ダム下流 22km 地点の高津戸と、ダム下流 42km 地点の足利における水位のハイドログラフを図-9, 10 に示す。図-9 においては、総降雨量方式を用いた場合には 190cm、逓減特性方式を用いた場合には 70cm ピーク水位を低減することができる。現行の操作規則と比較すると総降雨量方式を用いた場合には 160cm、逓減特性方式を用いた場合には 40cm 低減できる。図-10 においては、総降雨量方式を用いた場合では 120cm、逓減特性方式を用いた場合には 40cm 低減することができ、さらに現行の操作規則と比較すると総降雨量方式を用いた場合には 108cm、逓減特性方式を用いた場合には 28cm 低減できることを示した。

6. まとめ

本論文では、累積降雨量と総直接流出量に着目した極めて効率的かつ合理的なダム放流量の決定方法を提案した。得られた知見を下記に列挙する。

- 1) 累積降雨量と総流入量の関係からある時刻以降に最低限ダム貯水池に流入する総流量を算出し、それを事前放流するダムからの放流量決定手法を提案した。
- 2) 上・下流域の降雨・水位情報を基に更に効率的且つ合理的なダム放流操作を可能にするために、総降雨量方式を用いてダム放流量を算出した。その結果、現況のダム操作よりも 1 時間早い流量制御が可能になり、効率的な事前放流を行えることを示した。
- 3) 著者らが従来から提案している土壌・地形特性に基づく降雨流出計算手法を用い、ダム下流の足利残流域からの流出量を算定し、足利懸案地点において草木ダムからの放流量と足利残流域からの流出量の総量が危険水位以下で流下可能となる草木ダムからの流量として可能放流量を算出できることを示した。
- 4) 逓減特性方式、総降雨量方式を用いた事前放流方法を仮想的な超過洪水に適用することで、ただし書き操作への移行時間を遅らせるとともに、下流懸案地点において現行の操作規則に従った放流よりも洪水水

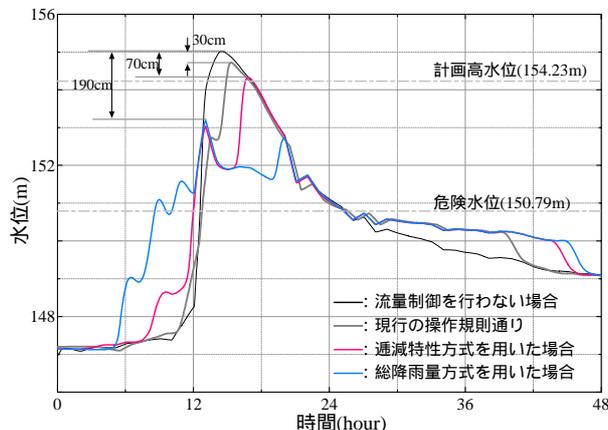


図-9 高津戸(ダム下流 22km)における水位のハイドログラフ

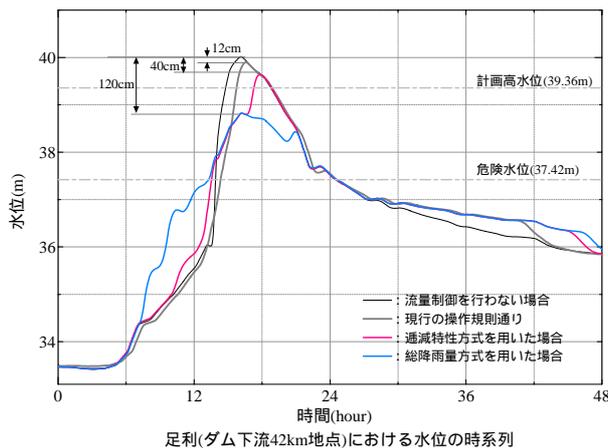


図-10 足利(ダム下流 42km)における水位のハイドログラフ

位低減効果を得られることを示した。

謝辞：本研究の遂行に当り貴重なデータを提供して頂いた独立行政法人水資源機構草木ダム管理事務所に深甚なる感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 今村瑞穂：ダム貯水池による洪水調節の合理化に関する 2, 3 の考察, ダム工学, Vol.8, No.2, pp.102-116, 1998
- 2) 裏戸勉：ダムによる洪水調節方法の合理化について, 松江高専研究紀要, 第 36 号, pp.37-44, 2001
- 3) 戸谷英雄, 秋葉雅章, 宮本守, 山田正, 吉川秀夫：ダム流域における洪水流出特性から可能となる新しい放流方法の提案, 土木学会論文集 BVol.62, No.1, pp.27-40, 2006.
- 4) 秋葉雅章, 腰塚雄太, 宮本守, 戸谷英雄, 佐藤直良, 山田正：流出特性に応じたダム放流量の決定方法とその洪水水位低減効果に関する研究, 河川技術論文集, 第 10 巻, 2004
- 5) 呉修一, 山田正, 吉川秀夫：表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol.49, pp.169-174, 2005
- 6) 呉修一, 腰塚雄太, 山田正：ハイドログラフの逓減特性を用いた流出特性の抽出, 土木学会水工学論文集, Vol.48, pp.13-18, 2004.
- 7) 利根川ダム統合管理事務所：利根川上流ダム群の概要 (2007.9.30受付)