

由良川大野ダムの洪水調節効果について

石原藤次郎・石原 安雄・高埴 琢馬

ON THE EFFECTS OF FLOOD CONTROL BY THE ONO DAM IN YURA RIVER

by Dr. Eng. Tojiro ISHIHARA, Dr. Eng. Yasuo ISHIHARA and Takuma TAKASAO

Synopsis

The regulation of the outflow for flood control by a reservoir located in the valley farther upstream must be carefully planned to determine the available method of the gate operation, on the basis of the flood flow expected to occur with any given frequency at not the dam site but the area planned to decrease flood damage. In this determination, it is necessary to find the behavior of runoff from every subdivision of a river basin under various meteorological circumstances. The dimension of drainage area of small watershed from which the flood hydrograph can be reliably estimated by the use of the average rainfall over its area is discussed by a new method of runoff analysis based upon the method of characteristics and it is found, in YURA River, that it is less than 300~400 km² in area. Moreover, the effects of channel storage in the reach from the ONO Dam to FUKUCHIYAMA, having about 42 km long, on natural and controlled flood flows are evaluated by using authors' analog computer for flood routing and the amount of reduction of flood crest at the downstream point is found to be less by about 100 m³/sec than that at the dam, 1000 m³/sec. Taking account of these results, it is disclosed that the successful way of flood control at the ONO Dam is to regulate the outflow with a constant ratio to the inflow, but that the gates of the dam must be carefully operated to avoid a total flow downstream in excess of the maximum safe flow by adding inflows to the stream below the dam under special rainfall condition.

1. 概 説

わが国は毎年のように豪雨に見舞われ、甚大な洪水災害を受けていることはいまさらいうまでもないが、その惨状は容易ならざるものがある。とくに近来は大出水が頻発して大水害をもたらしているのにかんがみ、政府は重要施策の一つとして、治山、治水対策を大きくとりあげ、かなりの努力を払っている。

古来、わが国の治水施設の根幹をなしてきたものは河川堤防であつて、その方針は今日においても変わっていないようである。しかし最近、出水量が増大したこと、域流開発の進展に伴ない堤防のかさ上げが必ずしも得策でないこと、水資源開発を兼ねることができるとなどのために、洪水調節を含む多目的ダムが各所で計画され、建設されるようになった。

ところで、堤防を築造すると、構造上の欠陥さえなければ、上流流域にどのような豪雨があつても該地区における流量が計画高水流量以下のときは完全に水害を防止することができる。一方、河川の上流部に築造された洪水調節池では、残流域からの出水状況によって、その調節効果がかなり変化すると考えられる。す

なわち、堤防と洪水調節池との防災機能にはかなり相違があるのであつて、洪水調節用貯水池を計画しその洪水調節効果を論ずる際には、こうした点について十分な考慮を払わなければならない。

とくにわが国における洪水調節池は、国土の狭小、流域開発の進展、莫大な人口などのために、防災対象地区からはなれて上流の山間部に設けられることが多い。したがつて、残流域からの出水状況によつて洪水調節効果が大きく変化し、洪水調節を行なう際に大きな障害となつている。本文はこうした点について若干の考察を進めるとともに、由良川大野ダムを具体例として、その洪水調節方式および洪水調節効果を検討したものである。

2. 堤防および洪水調節池の治水機能と洪水調節計画

由良川大野ダムの洪水調節効果について述べるまえに、河川における堤防および洪水調節池の治水機能について検討しよう。

(1) 堤防の治水機能

河川の中流および下流部における洪水防禦施設の主体をなすものはいうまでもなく堤防であつて、その構造上の強度および高さなどは該地点における計画高水流量を対象として計画され施工されている。換言すると、上流流域における各支川からの出水が合流して該地点に流下したときの最大洪水流量を対象とするわけである。一般に、計画高水流量は過去における洪水の最大流量を統計的に処理し、ある超過確率 W_1 をもつ高水流量 Q_{p1} を基準として定められている。したがつて、上流における各支川の出水状況がどうであろうとも、それらが合流した後の最大流量が計画高水流量を越えなければ、少なくとも堤内地における洪水災害は防止されるはずである。すなわち、堤防の治水機能はその地点を流下する洪水の最大流量のみによつて決められることになる。

(2) 洪水調節池の治水機能

一度堤防が築造されるとその周辺地区の開発は一段と進展する。それに応じて人口が増して防災対象地区の経済的価値も高まるので、洪水の危険性を一層少なくすることが要求され、より小さい超過確率 W_2 の高水流量 Q_{p2} を対象としなければならなくなるだろう。しかしこのような場合には該地区における土地の利用度はかなり高度化しているので、堤防をかさ上げして洪水に対処するよりも、上流に貯水池を築造して洪水調節を行なう方が経済的に有利である場合が多いと考えられる。また堤防のかさ上げを行なわないときは行なつたときに比較して万一の破堤時の水害を軽減したことになり、さらに貯水池を多目的に使用して水資源開発を兼ねさせればダムの経済性が増大する。したがつて、洪水調節池の効用が注目され、近時各所で建設されているわけである。しかし、河川流域全域にわたつて、開発がかなり進んでいるわが国においては、このような貯水池は防災対象地区のかなり上流に建設される場合が多いこととくに留意しなければならない。

さて、上述したように、洪水調節池は下流部の高水流量 Q_{p2} を Q_{p1} に調節するために設けるわけであるが、この場合、超過確率 W_2 の高水流量 Q_{p2} という表現の中には、各支川の出水状況を規定するすべての要素を含むと考えるべきである。しかるに、前述したように洪水調節池はそうした支川の一つに設けられることが多いので、同一の Q_{p2} に対しても各支川の出水状況によつては Q_{p2} を Q_{p1} に調節することができないばかりでなく、かえつて下流部の洪水流量を増大させる可能性もある。すなわち、洪水調節池の治水機能は、貯水池が築造される支川の出水量 q_p のみによつて決まるものではなく、防災対象地区までの残流域における出水状況にも関係するわけである。

(3) 洪水調節効果に対する考え方

以上、堤防および洪水調節池の治水機能を明らかにしたが、両者にはかなりの相違があることがわかつた。このような点を考慮すると、洪水調節計画に対する考え方としてつぎの三つのものが考えられるだろう。

1. 過去の実績を対象とする場合。これはいわゆる既往最大主義といわれるものであつて、対象とした出水状況に対しては Q_{p2} を Q_{p1} に調節することは可能であるが、他の出水状況の場合に対する考慮が払われておらず、常に不安が残るうに科学的根拠に乏しい。

2. ダム地点における確率高水流量 q_p を対象とする場合。ダム地点と対象地区とが比較的近く、その間の残流域が少ない場合には、合理的でかつ洪水調節効果をもつとも確実であるが、残流域が大きくなると不確実となり防災の見地からすると必ずしも好ましい考え方とはいいいにくい。

3. 超過確率 W_2 の高水流量 Q_{p2} を対象とする場合。水系全体の治水事業は、それを下流の防災対象地区から眺めたときに、同一の考え方に基づき、同一の安全度でもつて計画されていることが望ましいはずである。しかるに、前述したように、堤防と洪水調節池との治水機能が異なっている。したがつて、どのような基準に基づいて両者の治水効果を検討するのがもつとも合理的であるかということが問題となる。上述の2. の場合は洪水調節池の治水機能を基準とした考え方である。さて、多くの場合、防災対象地区は堤防によつて防護されている下流地区であり、またこうした地区での水害は、たとえ上流地区における各支川の出水状況がどうであろうとも、堤防が決潰するかどうかによつて決まるといつても過言ではない。したがつて、防災の見地からすると、対象地区を直接防護している堤防の治水機能を基準として、水系全体の治水効果を考えるのがもつとも妥当であろう。堤防の治水効果はその地点を流下する洪水の最大流量によつてきまり、最大流量は超過確率によつて表現することができるが、この場合の確率の中には上流流域における出水状況に関するすべての要素が含まれている。したがつて、貯水池の洪水調節計画を立てる場合には、貯水池がないとしたときの流出量が Q_{p2} であるような各種の出水状況に対して、その調節効果を検討しなければならない。この場合、可能なすべての出水状況の推定法には問題が残るが、堤防と洪水調節池との治水効果を同一の基準に基づいて検討したことになるわけである。

以下においては、以上のような考え方に基づいて、大野ダムの洪水調節効果を検討していくつもりである。

3. 大野ダムの概要

大野ダムは Fig. 1 に示すように、京都府北桑田郡美山町榎原にあり、その集水面積は 350 km² である。本ダムは、出水期に有効貯水容量約 21000000 m³ を用いて洪水調節を行なうとともに、出水期は自流水、非出水期は利用水深 18 m の貯水池式発電を行なう多目的ダムである。このように大野ダムは洪水調節を主目的としているが、その防災対象地区は約 42 km 下流の福知山盆地である。計画に

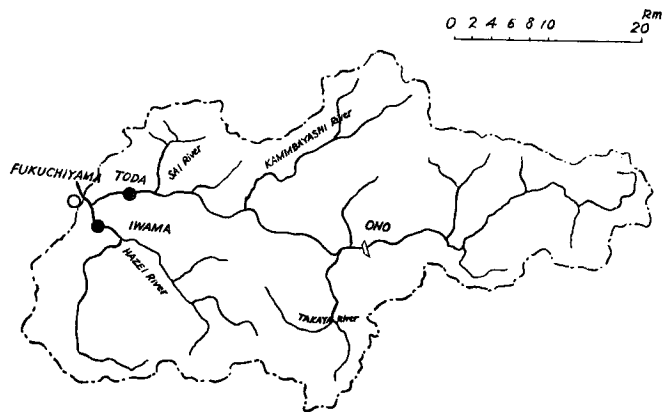


Fig. 1 The map of YURA River basin

よると、ダム地点における高水流量 2400 m³/s を 1000 m³/s 調節して 1400 m³/s として放流し、福知山市付近での最大流量 $Q_{p2}=6500$ m³/s を $Q_{p1}=5600$ m³/s に低減させることになつている。しかし、福知山における集水面積は 1320 km² で大野ダム上流流域の約 4 倍あり、その間に高屋川、上林川、土師川などのかなり大きな支川が流入している。したがつて、これらの支川からの出水状況によつて洪水調節効果が変わることが予想されるので、その検討が必要なわけである。

なお、ダム本体は Fig. 2 に示すように¹⁾、高さ 61.4 m の重力式コンクリートダムであつて、洪水調節のために放水管余水吐 3 門と堤頂越流余水吐 3 門が設けられている。放水管の放水能力は洪水時満水面 EL 175.0 m に対して全開時 1 門当り約 300 m³/s であり、また堤頂越流余水吐は越流水深 8 m に対して全開時 1 門当り約 400 m³/s である。

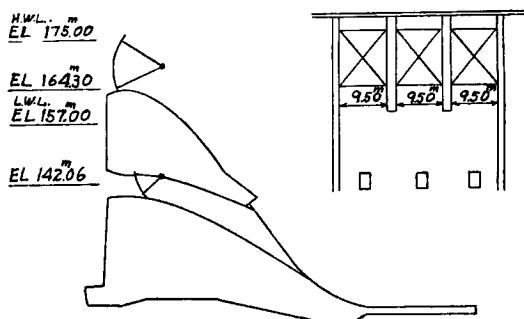


Fig. 2 The ONO Dam

上述したように、大野ダムによる洪水調節

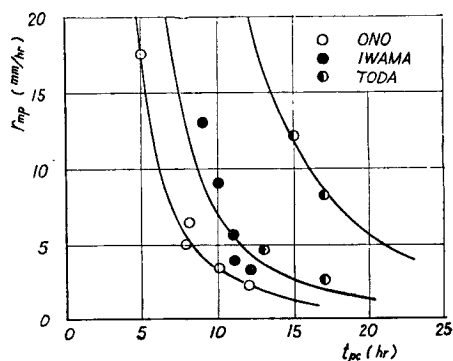
効果は残流域からの出水状況によつてかなり変化することが予想されるが、以下においては問題を簡単にするため、下流懸案地点として福知山市のみを考え、福知山市に対する洪水調節効果について考察することにする。

(1) 集水面積と出水の形態

さて、出水をもたらす豪雨は時間的にも地域的にもある分布をなして降る。しかし流域面積がある程度小さいときには、流域全体に一樣に降雨があるものとして流出問題を取り扱うことができ、各支川からの出水と降雨との間には一定の関係があると考えてよいだろう。このような場合には、ダム地点における高水流量 q_p の超過確率は懸案地点における高水流量 Q_p の超過確率 W に等しいので、貯水池の洪水調節効果は q_p についてだけ検討すれば十分である。流域面積が大きくなると、流域平均降雨から各支川の出水状況を推定することが困難となると考えられるので、どの程度の大きさの流域を単位として出水状況の変化を考えるのが合理的であるかという問題が生じてくる。この問題は雨水流出機構に関する本質の問題の一つであり、また hydrometeorology の問題とも関連した重要課題であるが、現在のところほとんど解明されていない。

そこで、一つの目安として石原・高樺の方法²⁾によつて、最大流出量に直接関係する降雨期間 t_{pe} とその間の平均有効降雨 r_{mp} との関係を、大野ダム上流流域 (350 km², 大野)、土師川流域 (336 km², 岩間) および土師川を除く上流流域全域 (984 km², 戸田) について求めた結果が Fig. 3 である。この方法は中間流をも考慮した特性曲線法による流出理論であつて、流域内の降雨の地域分布が一樣と考えてよい場合の雨水流出機構の本質を究明したものといえるだろう。また、流域平均降雨は Thiessen 法によつて各時間ごとに計算した。Fig. 3 をみると、大野上流流域および岩間上流流域では実測値と理論的關係とがよく一致しているが、流域面積の大きい戸田上流流域に関するものは両者が一致しているとはいいいにくい。このことは、少なくとも由良川流域においては、300~400 km² までの集水面積をもつ支川では降雨の地域的分布を考慮する必要はないが、これに反して、さらに大きい集水面積の流域を対象とするときには地域的分布を考慮しなければならないことを意味するものと考えてよいだろう。

したがつて、由良川の各支川からの出水状況を考察するときには、その集水面積が 300~400 km² までの

Fig. 3 The relations between r_{mp} and t_{pe}

ものを、一つの単位として取り扱えばよいことになる。

(2) 出水形式の推定

由良川流域では、300~400 km² 程度を限度として流域を分割し、各種の降雨条件についてそれぞれの小流域からの出水を推定して、各出水状況に対する洪水調節効果を検討すればよいことがわかった。

ところで、出水に直接関係する降雨の時間的、地域的分布の状態は、原理的には気象状況から算定することができるとはするが、現在のところかなり困難である。換言すると、各支川流域ごとの降雨状況のあらゆる組み合わせを科学的に定めることがむづかしいわけであつて、このような場合には、過去の実績によるのがもっとも普通の考え方である。しかし、由良川流域においては、福知山市における洪水流量が基本高水の流量 6500 m³/s と同程度になつた出水記録は、6500 m³/s の基準となつた昭和 28 年 9 月の 13 号台風時のものがあるに過ぎないので、過去の実績から直接に所要の出水状況を知ることも困難である。そこでここではつぎのような近似的方法によつて間接的に出水状況の推定を行なうことにした。

さて、過去の多数の降雨記録を検討した結果、かなり大きい出水をもたらすような降雨の継続時間は余り変化せず、ただ大出水のときは降雨の強度が大きくなつていくことが認められた。このことは、台風時の降雨継続時間は台風の進行速度によつて、また降雨強度はその経路と大きさによつて定まると考えられることから、容易に理解されるだろう。したがつて、上述の目的に対して、過去においてある程度以上の洪水をもたらした豪雨の地域的、時間的分布形式をそのまま採用してよいと考えられ、さらに、降雨と流出との間には単位図を介してほぼ 1 : 1 に対応していると考えてよいから、結局のところ、過去の出水記録をそのまま採用し、その最大流量が $Q_{p2}=6500 \text{ m}^3/\text{s}$ となるように hydrograph の縦距（流量）を何倍かしたものをもつて、所要の出水状況に対する hydrograph としてよいことになる。

5. 河道貯溜効果の検討

このようにして定められたいろいろの出水状況に対する大野ダムの洪水調節効果を検討する前に、大野ダムによつて洪水を調節した場合、下流の対象地点である福知山市において何時間後にどの程度の効果となつて現われるかを知らなければならない。そのために、河道用洪水追跡器⁹⁾を使用した⁹⁾が、その概要はつぎのとおりである。

Fig. 4 に示すように、大野ダム、福知山間を七つのブロックに分け、また残流域を四つの支川で代表させた。各支川からはそれぞれの出水量に比例し、しかも福知山市における流量が計画高水流量と同程度となるように図示の一定流量を流入させ、ダム地点で各種の洪水流を流入させたときの福知山市における最大流量を計算した。その結果を一括表示したものが Table 1 である。

すなわち、大野貯水池への流入洪水流量が 2680 m³/s のとき、これを 900, 1130, 1330 および 1480 m³/s だけ調節しても下流の福知山市においては、それぞれ 810, 1030, 1200 および 1330 m³/s の調節効果しかなく、したがつて河道貯溜の効果によつて 90, 100, 130 および 150 m³/s だけ調節効果が減殺されることを示している。換言すると、たとえば福知山市において 1000 m³/s の調節効果をもたせるためには、大野ダムにおいてはそれより約 100 m³/s 多い 1100 m³/s の洪水調節を行なわねばならないわけである。

なお、この場合の洪水の流達時間はいずれの場合も 3 時間程度であつたが、これは過去の洪水時の実績とほぼ一致している。

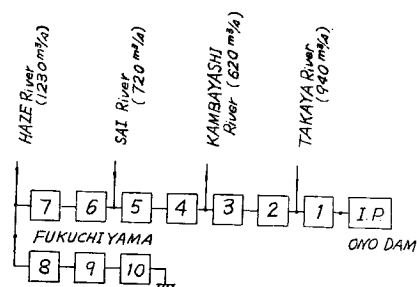


Fig. 4 A block diagram of the analog computer for YURA River

Table 1 The effects of channel storage on natural and controlled flood flows in the YURA River

flood flow at ONO	natural	controlled			
maximum discharge (m^3/s)	2680	1780	1550	1350	1200
reduced discharge at the dam (m^3/s)	—	900	1130	1330	1480
increment of discharge at FUKUCHIYAMA (m^3/s)	2130	1320	1100	930	800
synthetic effect of flood control (m^3/s)	—	810	1030	1200	1330
decrease of control effect (m^3/s)	—	90	100	130	150

6. 大野ダムの洪水調節効果

さて、前述したように貯水池による洪水調節計画は防災対象地区における洪水流量を低減させるよう計画されねばならない。いまの場合、福知山市における基本高水の流量 $Q_{12}=6500 \text{ m}^3/\text{s}$ を洪水調節によつて $Q_{pl}=5600 \text{ m}^3/\text{s}$ に低減さすことを目標にしている。すなわち $900 \text{ m}^3/\text{s}$ の調節効果があればよいわけである。しかしながら、前節で述べたように $900 \text{ m}^3/\text{s}$ の調節効果を確保するためには、大野ダムではそれより3時間前に約 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水調節を行なわねばならない。こうした関係を昭和28年9月の13号台風時の洪水について計算した例が Fig. 5 である。すなわち、福知山市における hydrograph の最大流量 $6500 \text{ m}^3/\text{s}$ から $900+100=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ を差し引いた $5500 \text{ m}^3/\text{s}$ のところで水平線を引くと、その上部の部分が大野ダムで洪水調節を行なうべき流量となる。したがつて、この部分の流量をそれより3時間前の大野地先における hydrograph から差し引いた残部が、大野ダムから放流してよい hydrograph となるわけである。

そこで、4.(2) で述べた理由によつて、過去10年間のうち比較的大きな出水であつた昭和34年8月および昭和34年9月の洪水について、福知山市における最大流量が $6500 \text{ m}^3/\text{s}$ となるよう拡大し、Fig. 5 の場合と同様なる計算を行なつた。さらに、Fig. 3 からわかるように、洪水予報のための時間的余裕が少ないため、一定の基準を定めて洪水調節操作を行なうことが望ましい。そこで、上で求められた結果を各出水について各時刻の流量をその最大流量で割り、無次元化して図示すると Fig. 6 のようになる。この図からピーク時のもつとも小さい調節率を求めると 0.583 である。すなわち、ピーク時のみを対象とした場合に、流入量の 0.583 倍の放流量とすれば福知山市における流量は、どの形の出水に対しても $5600 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えないわけである。

一方、福知山盆地においては、未だ十分な堤防が築造されておらず、計画高水流量 $5600 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量が流れた場合には相当の災害をおこすと考えられる。また、当地区における無害流量は $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、これに対する大野地先の流量は $300 \text{ m}^3/\text{s}$ といわれている。したがつて、大野ダムにおける洪水調節方式としてはいわゆる一定率方式が最良のものと考えられる。

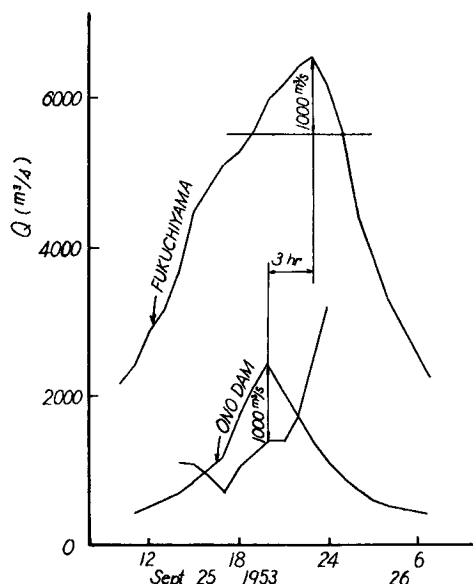


Fig. 5 An example of computation for flood control

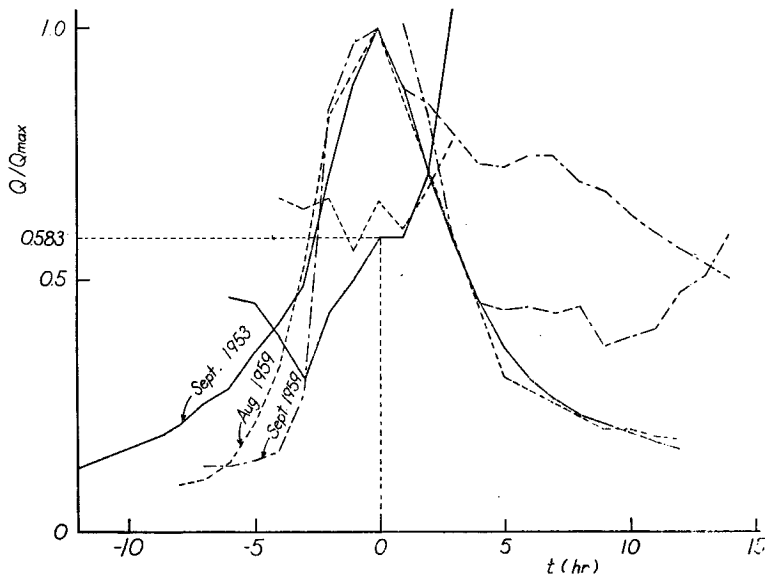


Fig. 6 Dimensionless hydrographs at ONO

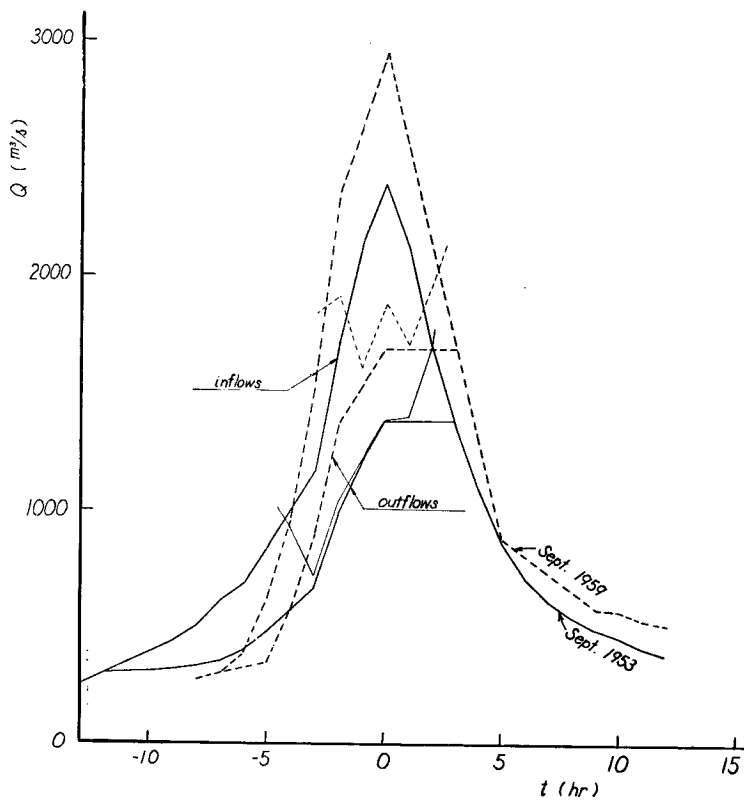


Fig. 7 Controlled hydrographs

そこで、上で求めた調節率 0.583 を貯水池への流入量が $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上となつたときから適用し、ピーク後は一定流量に保つた場合の hydrograph を示したものが Fig. 7 であつて、昭和28年9月および昭和34年9月の出水形式の洪水に対しては、福知山市における洪水流量を $5600 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下とすることが可能である。なお、この場合に必要な貯水池容量は両者とも 21000000 m^3 であつて、大野ダムの洪水調節用容量と一致した。

しかしながら、Fig. 6 からわかるように昭和34年8月の出水形式の洪水に対しては、上述のような調節方式では効果がない。この出水は前線と台風とが重なつた場合のものであつて、下流の残流域に上流流域よりかなり後で豪雨が降つたときの出水形式である。したがつて、ある程度の出水の予知が可能と考えられるので、上述の方式とは別に、降雨の状況を勘案しながら洪水を調節しなければならない。この場合の調節効果は各支川からの出水予報の精度にかかつていゝといえるが、由良川流域における水文学的研究はかなり進んでいるので、洪水調節で要求される精度での出水の予知は可能であろう。

また、過去の実績からして、大野地先での洪水波がいわゆる二山洪水となる確率はほとんどなく、かえつて昭和34年8月の出水形式となる確率が大いゝ。したがつて、通常一定率調節の場合に行なわれているように、ピーク後流入量と放流量が等しくなつた後はゲートを全閉して放流に努めるという操作法よりも、少なくともある期間の間は流入量と放流量とを等しくするようなゲート操作を行なうべきである。

7. 結 論

以上、由良川大野ダムの洪水調節効果を検討した結果を述べたが、えられた成果を要約するとつぎのようである。

1. 貯水池による洪水調節は下流の防災対象地区における洪水流量を基準とし、可能なあらゆる出水状況を考慮して計画されなければならない。
2. 流域平均降雨を用いて出水解析を行なうことができる集水面積は、由良川においては $300 \sim 400 \text{ km}^2$ が限度である。
3. 計画高水流量と同程度の出水を対象とする場合、大野ダムでの洪水調節効果は福知山市付近において約 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 減殺され、約3時間後に現われる。
4. 大部分の出水状況に対しては、流入量が $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えてから 0.583 の一定率調節方式によつて所期の洪水調節効果が期待できる。
5. 特殊な気象条件の場合には、一定率調節方式では効果がない場合があり、洪水予報に基づいた調節操作を行なうことが肝要である。

なお、本研究は京都府の委託によつて行なつた研究の一部であり、種々御援助を賜つた関係諸機関に謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 建設省大野ダム工事事務所：大野ダム説明書，昭.25.1.
- 2) 石原藤次郎，高棹琢馬：単位図法とその適用に関する基礎的研究，土木学会論文集，第60号・別冊(3—3)，昭.34.3.
- 3) 石原藤次郎，石原安雄：洪水追跡用アナログ・コンピュータについて，土木学会論文集，第24号，昭.30.4，pp. 44~57.