第３章　ダム操作の解析的考察

はじめに

ダム操作とは流入量の一部を貯留して放流量を低減させる、いわゆる、洪水調節操作のみならず、洪水を迎えるまでの事前放流操作、水位が洪水期制限水位に達した後洪水調節操作に至までの定水位操作、流入量が洪水流量を超えた後の洪水調節操作、流入量が計画流入量を超えて貯水位がサーチャージ水位を超えると予想される場合のただし書き操作、洪水がピークを越え低減傾向になった後上昇した水位を制限水位まで低下させるための事後放流操作がある。

もちろん、洪水調節ダムにおいては洪水調節操作がこれら一連の操作の中の中心的な存在であることに変わりはないが、その他の洪水調節操作を取り巻く前後の操作を無視した形ではダムの洪水調節操作は実現不可能であるとの認識が必要である。

洪水調節計画を立案する場合、当然のごとく水位は制限水位にあるとの仮定から検討が開始されるのが一般的であるが、多目的ダムの操作の現場においては渇水状態からそのまま洪水状態に移行するケースが多い。このとき、制限水位以下にある水位を制限水位にまで上昇させながら放流量を流入量に近づけていく操作は想像するより遙かに難しいことを認識しなければならない。

また、正確な流入量の把握が難しいことは第２章で述べたとおりであるが、この流入量をもとに放流量を決定することは、流入量を求めることと同様に難しいことは説明するまでもなく当然のことであろう。

このような観点から貯水池の面積が我が国のそれと比べると格段に大きいアメリカにおいては流入量の把握が困難であり、水位から直接放流量を決定するケースが多く見受けられる。（図－１－２参照）

また、洪水調節操作の過程で貯水位が上昇し、貯水位がサーチャージ水位を超えるか否かを予測して、洪水調節操作からただし書き操作への移行を行うべきか否かを判断することは大変に難しいことである。

このように、本来の洪水調節操作の前後における操作が、効果的な洪水調節を実現するための前提条件になっているにもかかわらず、操作規則の中においては十分に言及されていない部分があり、洪水調節操作における課題の見えな

い原因ともなっている。

以上のように、洪水時操作全体を眺めて見ると、従来の操作規則は洪水調節操作そのものに重点が置かれすぎた結果、洪水時操作全体から見た場合、十分にその目的を達していない嫌いがあるといえよう。

このような観点から、洪水の始まりから終わりまでを客観的に眺め、それぞれの段階の操作に要求される機能を満足するためにはどの様な操作が適当であるか、また、操作と操作の間の移行をどの様な客間的な情報に基づき実行するかと言った観点から操作全体を眺める必要がある。このような観点から先ず操作全体の定式化を試みることとする。

定式化に当たっては、既成概念にとらわれることなく、洪水調節は単に流入量の一部を貯留して放流量を低減させるという洪水調節機能のみならず、放流量をいかに流入量に近づけながら貯水位の上昇を防ぐか、いかにして洪水調節後の貯水位を低下させるか等々の視点から流入量、放流量、貯水位の関係を明らかにしていく必要がある。

３－１　ダム操作の一般式

ダム操作の解析においては、先ず、流入量の時間変化、放流方式、水の連続式の３つの式から放流量ならびに貯水量（貯水位）の時間変化を求めることから始めることとなる。基本式にすれば以下の通りである。

$$Q_i = fi(t) \quad \cdots\cdots (3-1)$$

$$Q_o = fo(Q_i, V) \quad \cdots\cdots (3-2)$$

$$\frac{dV}{dt} = Q_i - Q_o \quad \cdots\cdots (3-3)$$

解析の目的は、これら（３－１）、（３－２）、（３－３）式による連立方程式を解くことである。

（３－１）式は流入量のハイドログラフ、（３－２）式は放流方式、（３－３）

式は連続式である。

以上、（３－１）式は与えられるもの、（３－３）式は流量と水位の関係を制約する物理原則そのものであるから、人為的に操作が可能なものは（３－２）式のみということになる。この（３－２）式をどの様に決定するかがとりもなおさず操作ルールを決定することであると言える。

一般論であるが、この種の解析においては（３－１）式の流入量が不定型であり、関数として表現しにくい点がある。従って、解析的な分析もやりにくい面がある。ここでは流入量を時間の１次関数と仮定して、時間とともに増加・減少する状況を表現するとともに解析的にも簡略化することにより、これらの方程式系で表現される現象の解析的評価の範囲を拡大するよう配慮することとする。

つぎに、（３－２）式についてであるが、たとえば一定率一定量放流方式であれば、一定率の部分は流入量の関数、言い換えれば時間の関数であり、また、一定量放流についても広義の時間の関数であると言うことが出来る。

従って、これらのルールから来る放流量は流入量から簡単に求めることが出来るし、貯水量も単なる定積分によって時間の関数として求めることが出来る。

しかしながら、放流量が貯水量（または貯水位）によって決定されるとすれば一定率一定量方式の場合ほど単純なものではない。

ダムを操作する場合、単純に流入量を求めて、これから放流量を決定するのみであれば、結果としての貯水量のコントロールはあり得るが、積極的な貯水量のコントロールは不可能である。しかしながら、「ある貯水量になったときに放流量を幾らにするか」と言った形の操作は洪水時操作の様々な場面で求められることとなる。このような観点から放流量を貯水量の関数として決定する方法は、放流量と貯水位を関連づけながら、洪水をコントロールする重要な手段の１つとして考察する価値がある。

以下において、放流量と貯水位を関連づけながら、どの様に洪水をコントロールしていくかという立場から、放流量を決定する場合の関数の特性について考察することとする。

３－２　貯水量による放流関数が放流量に及ぼす影響

対象とする放流関数は以下の通りとする。

$$Q=K_1\sqrt{V}\ldots\ldots\ldots \quad (3-4)$$

$$Q=K_2V\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3-5)$$

$$Q=K_3V^2\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3-6)$$

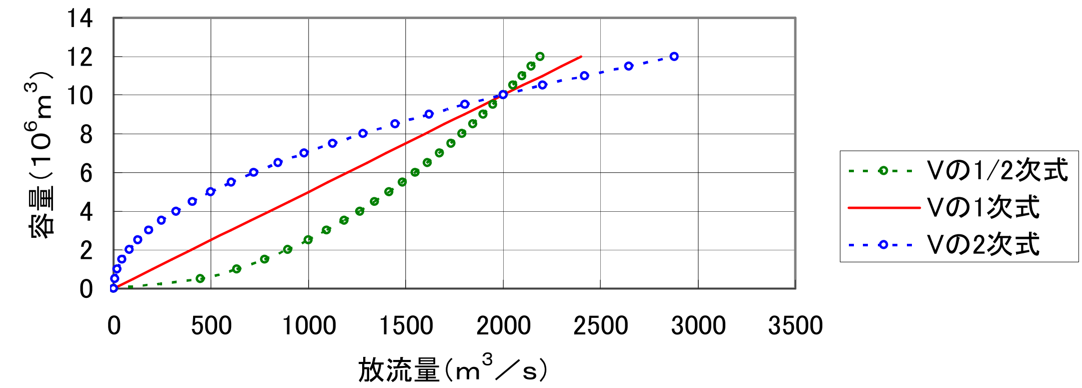
それぞれの放流関数を$V=0\,m^3$で$Q=0\,m^3/s$、$V=10000000\,m^3$で$Q=2000\,m^3/s$となるように設定すると、それぞれの式における定数Kが以下のようにもとめられる。

$$K_1=2000/\sqrt{10000000}$$

$$K_2=2000/10000000$$

$$K_3=2000/10000000^2$$

これら、（３－４）～（３－６）式をQ～V座標に示すと図－３－１の通りである。



図－３－１　容量関数と放流量の関係

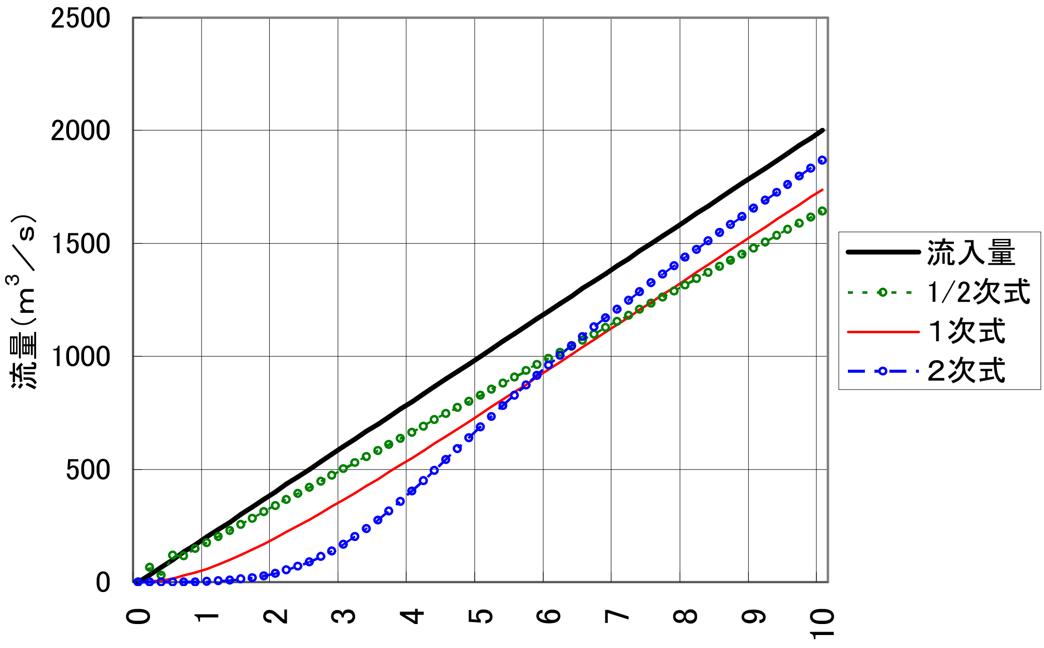
これらの放流式に対して、流入量を$Q_i=(1000/18000)\times t$として、数値計算により放流量の時間変化を計算すると図―３－２の通りとなる。

この図－３－２から明らかなように、

・放流関数がVの１／２次式の場合、放流量は流入量に対して一定率を放流することとなっている。

・放流関数がＶの１次式の場合、放流量は流入量に対して一定の時間遅れの線に漸近する形となっている。

・放流関数がＶの２次式の場合、放流量は流入量に対して漸近していく形となっている。



図－３－２　Ｖの次数による特性比較

このようなことから、（３－４）、（３－５）、（３－６）式をうまく使い分ければ、様々な機能が要求されるダムの操作に応用できる可能性がある。

既述の通り、洪水の始まりから終わりまでをハイドログラフにより示すと図―１－１の通りである。

洪水前放流は下流河川の（水位上昇速度に留意しながら）放流量が流入量に近づいていく操作であり、従って、Ｖの２次式が適用できる。

定水位操作は流入量と同じ量を放流することとなるが、定水位操作固有の課題があるため詳細は第５章においてまとめて後述することとする。

一定率による洪水調節はＶの１／２次式を採用すれば水位のみによって一定

率放流を実現することが出来る。(注：放流の初期段階で放流量が乱れているが、この点については第６章、６－５で言及することとする。)

ただし書き操作は下流河川の水位上昇速度に留意しながら放流量を流入量に近づけて貯水位の上昇を抑える操作であるから、洪水前放流と同様にＶの２次式が適用できる。

以上を概括すれば定水位操作を除き流入量に頼ることなく、それぞれの放流関数の定数をコントロールしながら、貯水量（貯水位）のみによって洪水時操作のそれぞれの目的に応じた操作を実行できる可能性があると言うことが出来る。(第５章において言及するが定水位操作も流入量に頼らず貯水量のみによって実現可能である。)

３－３　Ｖの１次式による放流関数の解析的特性分析

放流関数と放流量の関係を解析的立場から分析すれば、それぞれの特性をより的確かつ明瞭に説明できると考えられるので、微分方程式の解析により考察を展開することとする。

微分方程式的には（３－１)、(３－２)、(３－３）式において具体的な数式を当てはめて解析すればよいこととなる。

先ず、(３－１）式の流入量であるが、流入量は不確定的であり関数化することは難しいが、方程式を解くためには関数化することが不可欠である。この場合、流入量の関数の条件としては流入量の増加と減少を的確に表現できること、また、解析の簡便化という、相反する条件を考慮して、時間ｔの１次関数を考える。

$$Q_i = a\,t + b \quad \ldots\ldots (3-7)$$

つぎに、放流関数であるが、解析の可能性のあるものとしてはＶの１次式であるが、(３－８）式のような関数を考える。

$$Q_o = c\,V + d \quad \ldots\ldots (3-8)$$

（３－３）式は連続式であるから、(３－７)，(３－８）式と連立させてＱ。を時間の関数として求めることとする。

（３－８）式の両辺をｔで微分し、（３－３）式並びに（３－７）式を代入すると（３－１０）式が得られる。

$$\frac{dQ_o}{dt} = c\frac{dV}{dt} = c(Q_i - Q_o) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-9)$$

$$\frac{dQ_o}{dt} + cQ_o = c(at + b) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-10)$$

（３－１０）式の、一般解は（３－１１）式のとおりである。

$$Q_o = Ae^{\alpha t} + at + b + B \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-11)$$

（３－１１）式を（３－１２）式に代入して、未定係数法を適用すると次の関係が得られる。

$$\alpha = -c \qquad B = -\frac{a}{c} \quad \cdots\cdots (3-12)$$

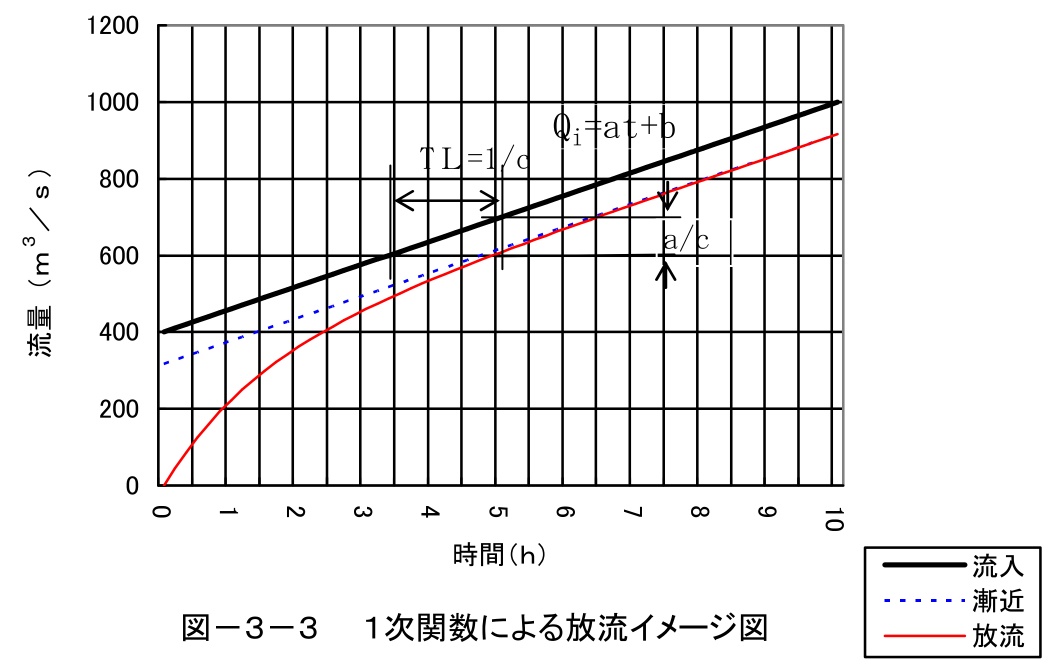
さらに、（３－１１）式における境界条件を　ｔ＝０　で　$Q_o = q_0$　とすると、（３－１３）式が得られる。

$$Q_o = \left\{q_0 - \left(b - \frac{a}{c}\right)\right\}e^{-ct} + at + b - \frac{a}{c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-13)$$

（３－１３）式は時間方向に直線的に変化する流入量（ａｔ＋ｂ）に平行な値（ａｔ＋ｂ－ａ／ｃ）に漸近する関数であることを示している。

ここで、ａ＝１／６０、ｂ＝４００，ｃ＝１／４８００，ｄ＝０として、（３－７）式と（３－１３）式を図示すると図－３－３のとおりである。また、流入量（（３－７）式）と漸近していく関数（（３－１３）式）との関係は図－３

－３　に示すように流量にして（ａ／ｃ）の差がある。



図－３－３　１次関数による放流イメージ図

これを時間軸の偏差に直すと　ＴＬ＝（ａ／ｃ）／ａ＝１／ｃ　となり、時間軸方向の偏差は時間ｔや流入量の時間変化ａに関係なく、一定値　１／ｃ（＝ΔＴ）となる。

この式から明らかに（３－８）式のようなＶの１次関数として放流量を決定する場合、時間ｔや流入量の時間変化ａに関係なく、放流量は流入量に対して１／ｃ（＝ΔＴ）という一定の時間遅れの線に漸近する関数であることを示している。（ちなみに図－３－３においてはΔＴ＝４８００ｓｅｃとしている。）

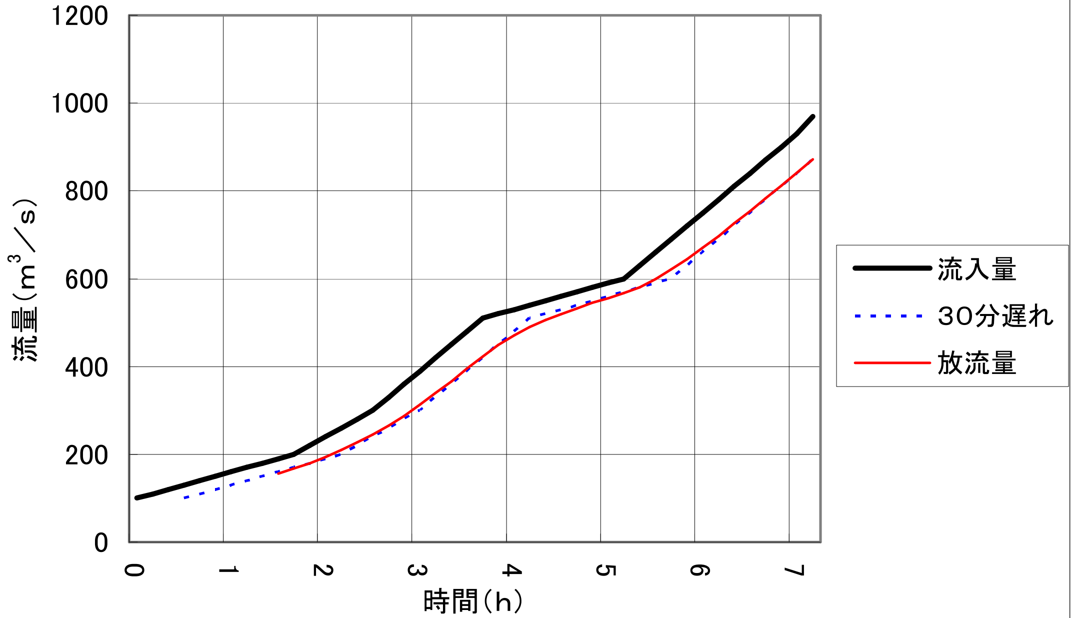
見方を変えれば（３－８）式の放流関数においてｃの値を適切にコントロールすれば、流入量を計算することなく、貯水位（容量）情報のみによって時間遅れ　１／ｃ　（＝ΔＴ）の遅らせ操作が実行可能であることを示している。

即ち、河川法で言う一類の利水ダムで義務づけられている３０ｍｉｎの遅らせ操作も（３－８）式においてｃ＝１／１８００とすれば、流入量を計算することなく、水位（容量）のみによって遅らせ操作を実行することができる。

つぎに、図－３－４は流入量が折れ線状態で表現されている場合、Ｖの１次式による放流関数により放流を継続した場合の放流量の履歴を示している。

流入量に対して３０分遅れの線を破線によって示しているが、放流量の計算

結果は顕著に水理学的特性を示しながら３０分遅れの破線に追随している状況が確認できる。



図－３－４　遅らせ操作結果図

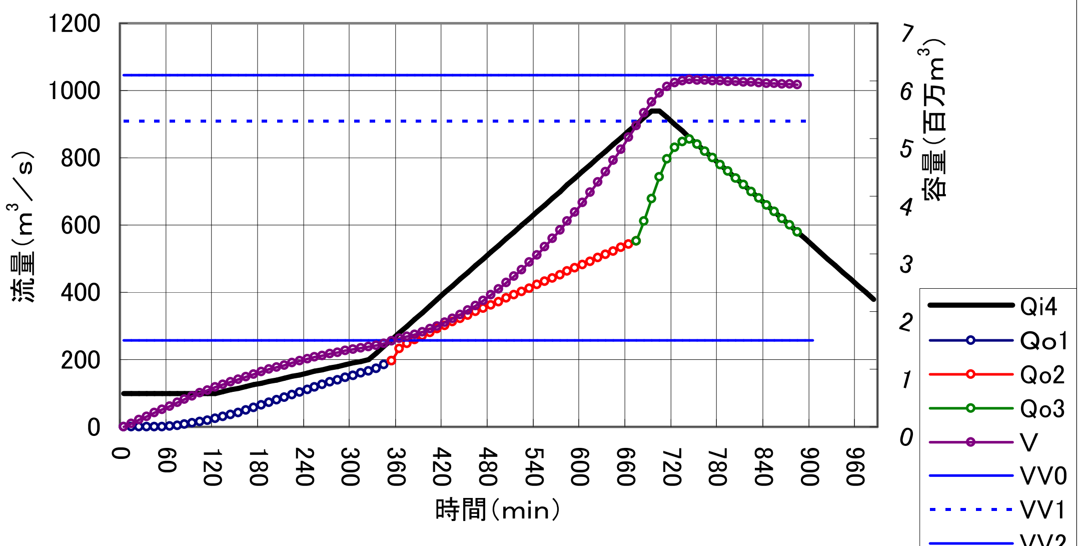
以上、放流関数がＶの１次式である場合、流入量を時間の１次関数とすると、これによって決定される放流量のハイドログラフは流入量に対してある一定の時間遅れの線に漸近していくことが判った。このようなことから類推すれば、放流関数がＶの１／２次式であれば、放流量は時間経過とともに流入量から遠ざかり、また、放流関数がＶの２次式であれば放流量は時間経過とともに流入量に時間的に近づいていくのではないかと言うことが予見できる。このことは、先の、数値解析の結果（図－３－２）とも一致している。

３－４　洪水時操作を異なった角度から見てみる

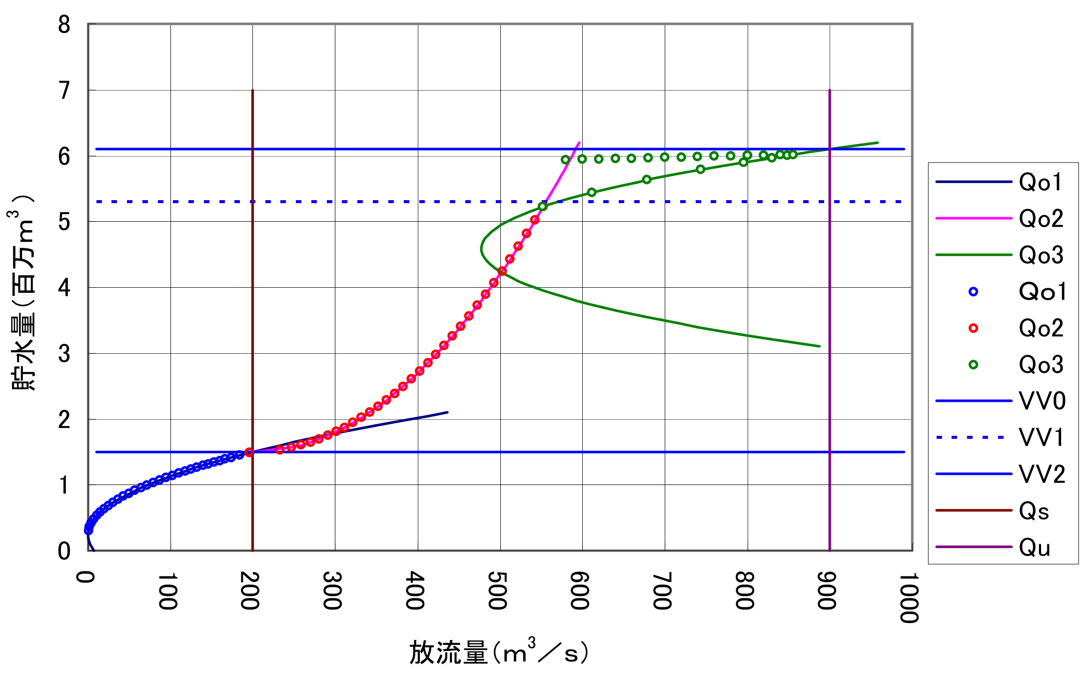
通常、我々は洪水時操作を時間と流量の関係で見ることに慣れているが、これを流量と貯水量の関係で整理するとどの様な見方になるかについて考えてみることとする。

図－３－５－（１）は、一連の洪水前放流、洪水調節、ただし書き操作について、洪水時操作における流入量、放流量、貯水量を、それぞれ縦軸に表示した通常の洪水時操作であり、洪水の始まりから終わりまでを示している。

　これに対して、図－３－５－（２）は、それぞれの洪水前放流、洪水調節、ただし書き操作を縦軸に貯水量、横軸に放流量として、その相関図を示したものである。



図－３－５－（１） 洪水調節図



図－３－５－（２） 水位－放流方式

逆に、図－３－５－（２）の関係からそれぞれの時間における貯水量に基づ

き放流量を決定していくと、図－３－５－（１）に示すような放流が実現できるわけであり、図－３－５－（２）は言い換えれば、それぞれの操作のルールであると言うことができる。

従って、貯水量と放流量の関係をあらかじめ図－３－５－（２）のように定めておけば貯水量と放流量を関連づけたかたちでコントロールすることができることとなる。

また、放流量の時間変化特性などについても、それぞれの放流関数の定数を選択することにより、ある程度のコントロールが可能になる。

このような、貯水量（貯水位）と放流量の関係から実施するダムの操作方式は従来から実施されてきた一定率一定量放流方式などの流入量を主な情報とした操作方式に対して様々な点で優位性を発揮する場合がある。

この貯水量（貯水位）をもとに放流量を決定する方法を「水位放流方式」と定義する。

洪水調節計画ならびにダムの立地は多種多様であり、その操作方法についても必ずしも一つの切り口のみから、その優位性を論じることはできない。

従って、それぞれの計画並びにダムの立地条件に照らして最も適切な方法を選択できるような操作方法が考えられてしかるべきであると言える。

この点については、それぞれの目的に対応した操作の課題として、次章以降で具体的な操作への適用性というかたちで言及することとするが、本章では水位から放流量を決定する方法の可能性を中心に解析的に考察することとする。

３－５　限界流入量方式（下流河道の水位上昇速度をコントロールしながら放流量を流入量に近づけ、水位を一定の目標に近づけるための操作）

ダムの操作では対象とする流入量に対しては、放流量をコントロールしながら下流河道の水位上昇速度のコントロール、貯水位のコントロールを行うこととなる。

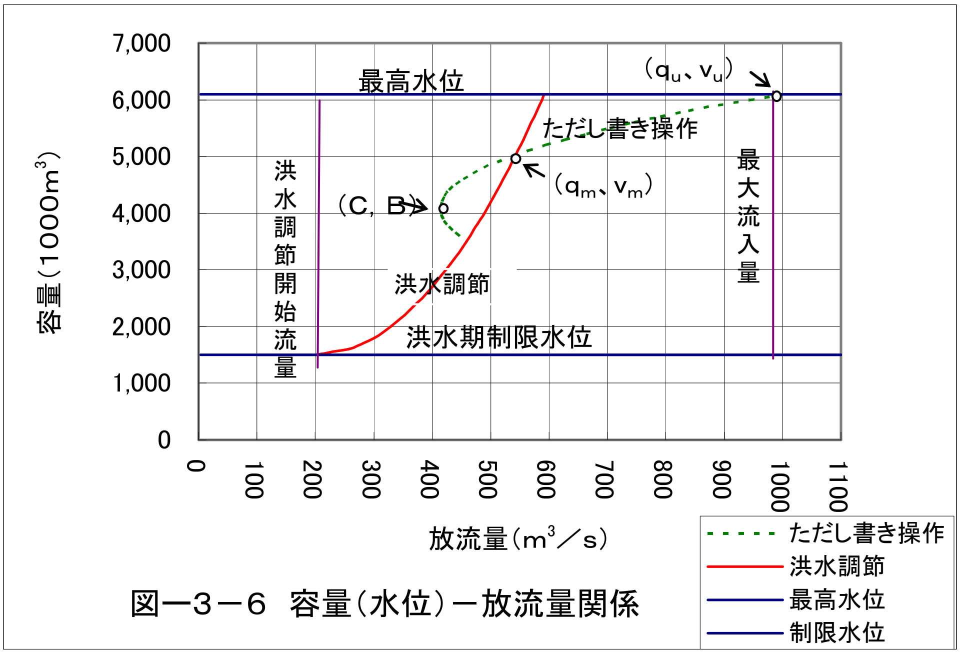
ここでは、現在の操作（たとえば洪水調節操作）から次の操作（たとえばただし書き操作）へ移行するとき、下流河道の水位上昇速度の許容値を制約条件とした場合の判断方法とその後の放流量の決定方法を考える。

操作を構成する要素としては、下流河道の水位―流量関係（Ｈ－Ｑカーブ）、

河道の水位上昇速度の許容値、次の操作で目標とする最大放流量と貯水量（貯水位）を考える。

また、時間とともに変化する要素として、流入量、放流量、貯水位を考える。

操作は貯水位と放流量を同時に管理する操作であるから、図－３－６に示すような放流量を横軸、貯水量（貯水位）を縦軸にしたＨ－Ｑ座標の中で考えると判りやすい。



図ー3ー6　容量（水位）ー放流量関係

この中で、現在の操作（実線－ここでは洪水調節）と次の操作（破線－ここではただし書き操作）の２つの放流関数（放流量決定のためのルール）を考える。

考え方としては、

①図－３－６において、貯水量と放流量が（q_m，v_m）で、現在の操作を実行中である時、仮に、当該洪水の上限流入量と目標最高水位（q_u，v_u）に対して、次の操作に移行するとした場合、下流河道の水位上昇速度が許容値（H_c）以内に押さえられれば現在の操作を継続するものとするが、押さえられないようになる段階では次の操作に移行しようとする考え方である。

②なお、次の操作に移行する時点で下流河道の水位上昇速度が時間方向に極値であるという制約条件を付けて水位上昇速度を極力許容値（H_c）以内に制御できるように配慮した。

ここで、次の操作による放流量を貯水量（Ｖ）の２次関数により決定するものと仮定して（３－１４）式のような放流関数を考える。

以上のようなシナリオに沿って定式化に関する考察を展開する。

$$Q_o = A(V-B)^2 + C \qquad (3-14)$$

ここで、Q_o＝放流量、　Ｖ＝貯水量、　Ａ，Ｂ，Ｃ＝定数（現在の操作中の操作諸元（q_m，v_m）をふまえ、操作間隔毎に仮の値が設定される。）

水位上昇を考える下流河道の基準点の水理特性（Ｈ－Ｑカーブ）を（３－１５）式のように考える。

$$Q_o = K(H-h_0)^2 \qquad (3-15)$$

ここで、Ｋ＝河道定数、Ｈ＝河道水位、h_0＝水位計の基準高

先ず、①の条件について考察してみる。

（３－１４）式のただし書き操作の放流関数により放流した場合、（３－１５）式に示す下流河道のＨ－Ｑカーブ、並びに水の連続式（３－３）式と併せて、下流河道の水位上昇速度は以下のように数式化される。

$$\frac{dH}{dt} = \frac{A(V-B)}{K(H-h_0)} = \frac{A\sqrt{Q_o - C}}{\sqrt{A}K\sqrt{\frac{Q_o}{K}}}(Q_i - Q_o)$$

$$= \sqrt{\frac{A}{K}}\sqrt{\frac{Q_o - C}{Q_o}}(Q_i - Q_o) \quad . \; . \; . \quad (3-16)$$

いま、下流河道の水位基準点における水位上昇速度の限度をH_cとすると、（３－１７）式が満足される限り、次の操作に移行することなく現在の操作を継続することとする。

$$\frac{dH}{dt}=\sqrt{\frac{A}{K}}\sqrt{\frac{Q_o-C}{Q_o}}(Q_i-Q_o)\quad \leq H_c \qquad より$$

$$Q_i \leq \frac{H_c\sqrt{K}}{\sqrt{A}}\sqrt{\frac{Q_o}{Q_o-C}}+Q_o=Q_{ic} \quad .\ .\ .\ .\ (3-17)$$

（３－１７）式の右辺（Q_{ic}）を、次の操作に移行するか否かを判断する指標として「限界流入量」と定義する。

ここで、（３－１７）式の左辺の流入量が右辺と等しくなる前に（３－１４）式に基づいて放流すれば、ただし書き操作へ移行する時点（q_m，v_m）における下流河道の水位上昇速度はH_c以下に押さえられることとなる。

次に②の制約条件について考えてみる。

いま、同じ、図―３－６において、（q_u，v_u）.（q_m，v_m）を通り（C，B）を頂点とする２次関数を考え、これらの３点のうち先の２点を固定して頂点（Cの値）の位置を操作することにより、ただし書き操作へ移行する時点｛(v_m，q_m）点｝における下流河道の水位上昇速度の時間的な変化特性をある程度コントロールする事が可能である。つまり、ただし書き操作への移行点（(q_m，v_m）点）で、下流河道の水位上昇速度が時間的に極値となるような放流関数を定めることを考えると、次のように展開することが出来る。

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{dH}{dt}\right)=0 \qquad より \qquad C=\frac{2Q_o^2\left(1-\frac{dQ_i}{dQ_o}\right)}{Q_i+Q_o-2Q_o\frac{dQ_i}{dQ_o}} \quad .\ .\ .\ (3-18)$$

（３－１８）式は、現在の操作から次の操作へ移行する過程で（３－１４）式を操作の上でより適切な放流関数とするためのＶの２次関数の頂点の座標であると言える。

前述のように、（３－１８）式によりＣを決定すれば（次の操作の放流関数の

頂点を決定すれば、）現在の操作から次の操作への移行点（q_m，v_m）での下流河道の水位上昇速度は時間において極値となっている。

また、この放流関数（３－１４）式は、（q_u，v_u）、（q_m，v_m）を通り　Q_o＝Ｃに接するから、これらの関係よりＡ，Ｂの値が次のように求められる。

$$A=\left(\frac{\sqrt{q_u-C}-\sqrt{q_m-C}}{v_u-v_m}\right)^2 \quad ..... \quad (3-19)$$

$$B=\frac{v_m\sqrt{q_u-C}-v_u\sqrt{q_m-C}}{\sqrt{q_u-C}-\sqrt{q_m-C}} \quad ... \quad (3-20)$$

以上、現在操作から放流量が流入量に追いついていく次の操作に移行するための条件の確認と放流関数の設定方法を述べた。

（３－１４）から（３－２０）式までの展開は

①利水運用の状態から事前放流に移行するとき（放流開始時期）の判断。（第４章）

②洪水調節操作からただし書き操作に移行するときの判断。（第７章）

に際して、適用することができる。

３－６　誘導関数による水位の管理手法

洪水にならない洪水が発生した場合においても場合によっては洪水の体制をとるための放流を行う場合がある。このような場合、放流を開始したものの洪水にならなかった場合で、水資源の確保を図るために貯水位を洪水期制限水位にまで上昇させる必要がある場合がある。

また、ただし書き操作に入ったものの貯水池容量を十分に活用することなく洪水調節を終了するケースがある。このような場合、もう少し貯水池容量を有効に活用して放流量を減少させることが出来ないかとの批判（注文）を聞く場合がある。

このような２つのケースにおいて有効な手法を考察するものである。

この手法を適用する条件としては以下に示すような状況下に限定しなければ

ならない。

「降雨が殆ど終了し、今後も降雨の可能性が少ないこと。流入量がピークを過ぎて低減状態にあること。」

さらに、流入量の低減は単位時間あたり一定量（直線的に低減する。）であると仮定する。

このような条件の中で貯水池の管理状況を以下の通り仮定する。

流入量：Q_i，１時間あたりの流入量の低減量：dQ_i，現在の貯水量：v_s，目標とする放流量：Q_o（一定量），目標とする貯水量：v_u

これらの設定の中で貯水量がv_uに達したときには$Q_i = Q_o$となっておく必要がある。

また、放流量Q_oがQ_iと等しくなるまでの時間Ｔ（ｓｅｃ）は以下の通りとなる。

$$T = (Q_i - Q_o) / (dQ_i / 3600) = \frac{3600 \times (Q_i - Q_o)}{dQ_i} \quad ...(3-21)$$

従って、一定量の放流量Q_oを放流して$Q_i = Q_o$となるまでに貯留される容量Ｖは以下の通りとなる。

$$V = \frac{1}{2}(Q_i - Q_o) \times \frac{3600}{dQ_i} \times (Q_i - Q_o) = \frac{1800}{dQ_i} \times (Q_i - Q_o)^2 \quad ...(3-22)$$

このＶの値は空き容量（$v_u - v_s$）と等しくなるという条件から以下の式が誘導される。

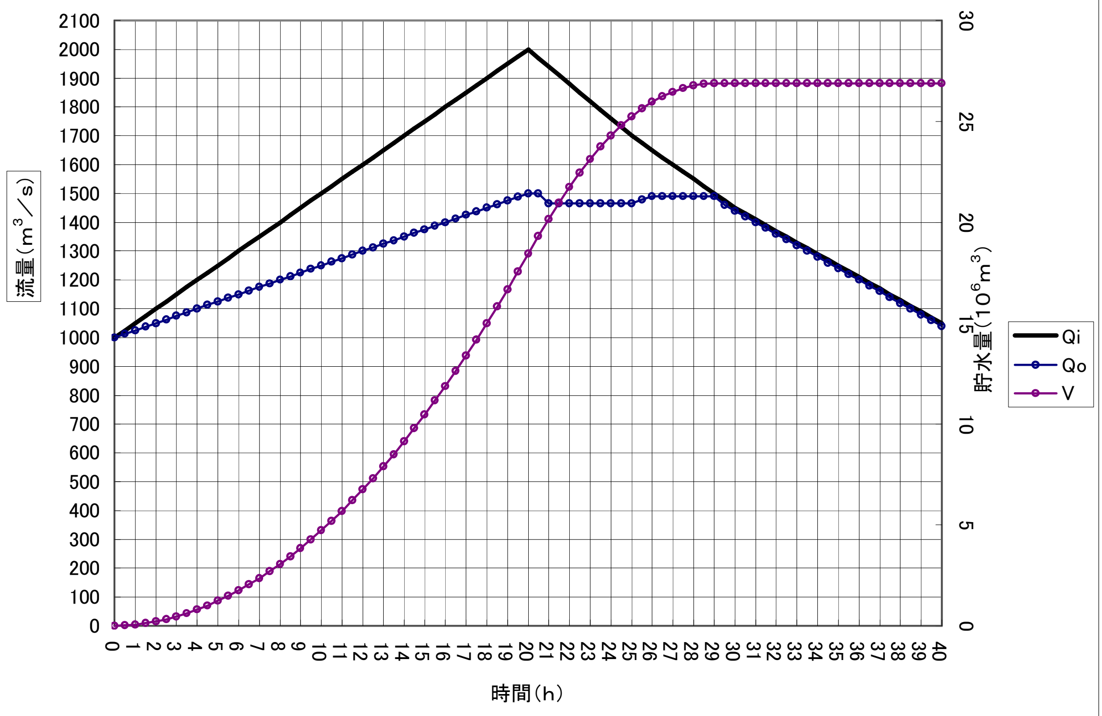
$$(v_u - v_s) = \frac{1800}{dQ_i} \times (Q_i - Q_o)^2 \quad ....(3-23)$$

（３－２３）式よりQ_oを求めると次の通りである。

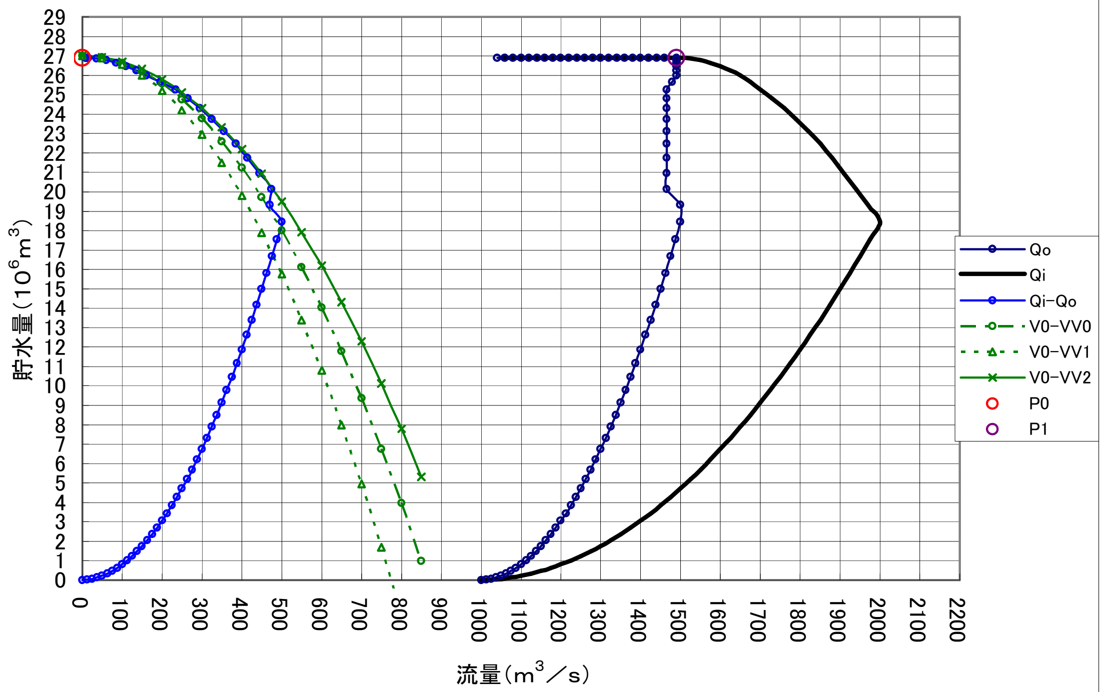
$$Q_o = Q_i - \sqrt{\frac{(v_u - v_s)}{1800} dQ_i} \quad ....(3-24)$$

つまり、$V = v_s$の状態で（３－２４）式によりQ_oを決定して、これを放流すればdQ_iの設定が正しければ$Q_i = Q_o$となった状態で$V = v_u$となっているはずである。

これらの関係について、時間を横軸にとってハイドログラフに流入量、放流量、貯水量の関係で示すと図－３－７－（１）の通りである。



図－3－7－(1)　洪水調節ハイドログラフ



図－3－7－(2) Q-V カーブ

一方、これらの関係について、流量を横軸にとり、縦軸を貯水量として示す

と図－３－７－（２）の通りとなる。

図から見てQ_i＝Q_oとなった時点でＶ＝v_uとなっていることが判る。一方、同じ式について（Q_i－Q_o）とＶの関係について同じ図－３－７－（２）の中に示してみた。

これによれば、ｄQ_iを設定すれば（３－２３）式より（v_u－v_s）は（Q_i－Q_o）^{2}に比例することとなる。

いま、ｄQ_iについて４０ｍ^3／ｓ／ｈ、５０ｍ^3／ｓ／ｈ、６０ｍ^3／ｓ／ｈの３通りを設定して、（３－２３）式に基づいて（v_s＝Ｖとしている。）Ｖと（Q_i－Q_o）の関係をｖ０－ｖｖ０、ｖ０－ｖｖ１、ｖ０－ｖｖ２　として、図示している。

このことから、あらかじめｄQ_iを仮定してＶと（Q_i－Q_o）の関係として示しておけば、（３－２４）式に基づいて放流を行った場合、ｄQ_iの設定が正しければＶと（Q_i－Q_o）の関係は常に仮定されたＶ～（Q_i－Q_o）曲線の上を通ることとなる。逆に、ｄQ_iの設定が間違っていれば（設定したものからずれてくれば）、その段階でのｄQ_iの設定に基づきQ_oを改めて（３－２４）式より計算し直せば新たなＶ～（Q_i－Q_o）曲線の上を通ることとなる。つまり、これらのＶ～（Q_i－Q_o）曲線は目標とするv_uに対して操作が適切でない場合にはその間違いを指摘するとともに、新たに設定されたQ_oがv_u（この場合は２７０００００００ｍ^3）に対して誘導していくこととなる。

従って、これらのＶ～（Q_i－Q_o）曲線を「誘導関数」と定義する。

　いま、図－３－７－（２）において、１時間あたりQ_iの低減量ｄQ_iを21時時点で60ｍ^3／ｓと仮定して流入量を設定する。つぎに、v_u＝２６９００００００ｍ^{3}と設定すればQ_oは（３－２４）式に基づいて約１４９０ｍ^3／ｓと１次的に計算される。

その後は、ｄQ_iの動向を監視しながら、ｄQ_iの値に変化がある場合においてはそれぞれの時点において（３－２４）式に基づいて計算を継続し、適宜放流量を修正していくこととなる。

従って、当初予測した流入量の低減量ｄQ_iが変化して、誘導関数から脱線を確認した段階で、そのときの条件にもとづき改めてQ_oを計算し直しこれにもとづき操作をすれば新たに設定した低減量ｄQ_iに基づく誘導関数の上を通るこ

ととなる。

以上の通り、この方法をとれば、変化する水文状況に対して迅速に対処することが可能である.

この方法は

- 洪水前放流で流入量の低減過程で水位を洪水期制限水位に近づけていく場合。
- ただし書き操作において流入量が低減傾向になり水位をサーチャージ水位に近づけながら放流量を減少させる場合。

の２つのケースにおいて適用できる。

・なお、洪水前放流あるいはただし書き操作放流から当該（３－２４）式による放流へ移行するタイミングはそれぞれの前段の放流が当該（３－２４）式による放流量より上回った段階で乗り移るものとする。

３－７　目標水位を定めて「流入量」＝「放流量」を目指す操作

いま、現状の放流量をq_m、貯水量をv_mとする。この状態からたとえば目標とする貯水量をv_u、流入量をQ_iとすると、以下の２つの式について考えてみる。

$$Q_o = q_m + (Q_i - q_m) \times \frac{(V - v_m)}{(v_u - v_m)} \quad .\ .\ .\ .(3-25)$$

$$Q_o = q_m + (Q_i - q_m) \times \frac{(V - v_m)^2}{(v_u - v_m)^2} \quad .\ .\ .\ .(3-26)$$

これら、（３－２５）、（３－２６）式いずれにおいても、$V = v_m$のときには$Q_o = q_m$　、$V = v_u$のときには$Q_o = Q_i$　となる。

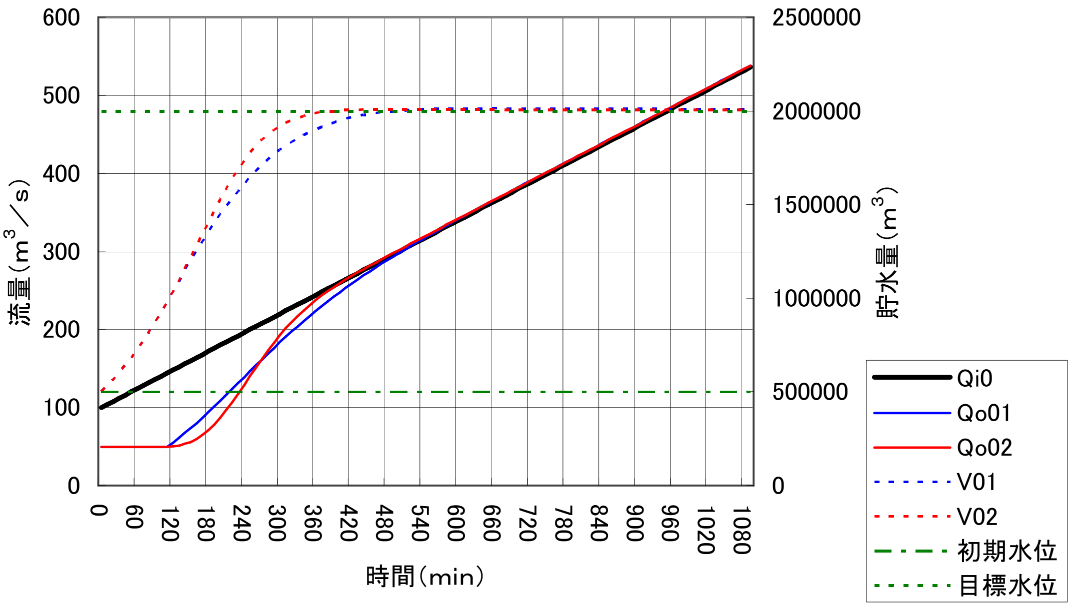
いわゆる定水位操作関数の条件を満たしていると言うことができる。

いま、$q_m = 50 m^3/s$、$v_m = 500000 m^3$、$v_u = 2000000 m^3$と仮定して一定の流入量に対して目標とする貯水量と流入量に対してＶとQ_oの挙動を計算して図－３－８に（３－２５）式によるものをQ_o０１、Ｖ０１、（３－２６）式によるものをQ_o０２、Ｖ０２として示してみた。

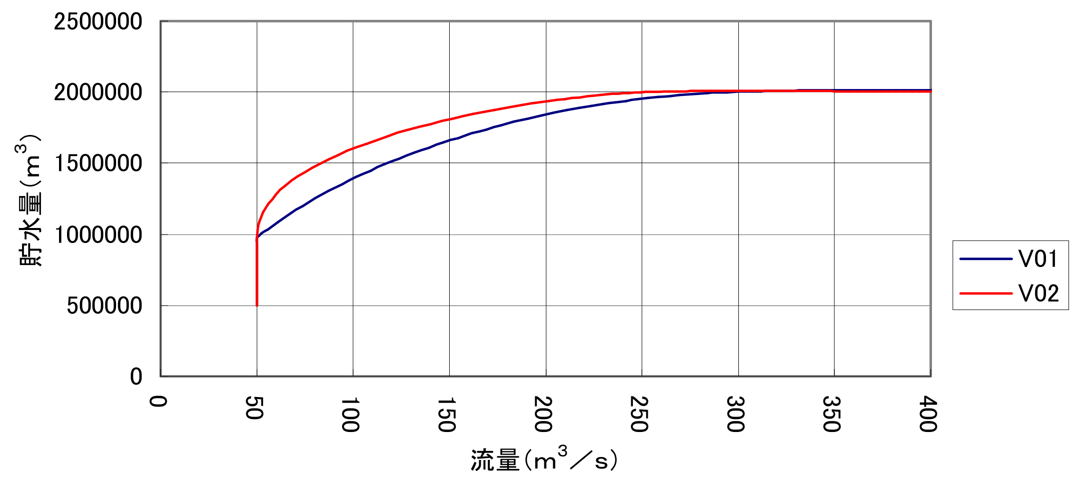
この図より明らかにいずれの関数も定水位操作関数の条件を満たしている。（３－２５）式に比べて（３－２６）式の収束状況が早いことがわかる。２次

関数と１次関数の違いであり当然と言えば当然の結果と言える。

これらの関数の課題は流入量Ｑ$_i$が放流量決定の基本となっていることであり、従って、流入量計算に当たって課題となる事項、たとえば、波動変動の影響を受けやすいなどの課題をすべて引きずっていると考えるのが妥当であろう。



図－３－８－(1)　定水位操作(その2)



図－３－８－(2)　定水位操作関数(その2)のQ－V関係

しかしながら、第５章　５－５，５－６．で後述するように、任意の貯水量と放流量の状態から目標貯水量に向かって定水位操作への誘導を実現するとい

う優れた特性を備えており、定水位操作関数である（５－１９）式の課題の回避に当たって効果的に活用することができるものと期待される。

３－８　まとめ

以上、貯水位（貯水量）から放流量を決定する場合における放流量の水理特性についての一般論とともに放流量並びに貯水量を管理する場合における方法論に対して、解析的な立場からの考察を紹介した。

その結果は、貯水位による放流量を決定する方法には、操作の安定性、条件付き操作の可能性を確認することが出来た。

条件付き放流量の決定方法としては、ここでは、下流下道の水位上昇速度をコントロールしながら貯水位も管理する方法（限界流入量法)、流入量＝放流量を目指しながら貯水位を特定の水位にコントロールしていく方法（誘導関数法）さらには、任意の放流量と貯水位の状態から目標水位を定めて放流量が流入量に近づいていく操作（つなぎの操作または定水位操作の一種）の３つの方法を紹介した。

この３つの方法は洪水時操作の複数のプロセスにおいて適用するものであることから、あらかじめ、まとめて本章において紹介することとしたものである。

その他の操作方法としては、貯水位により流入量の一部を貯留する操作（一定率放流)、波動変動に攪乱されずに貯水位を一定に維持する操作、その他については本章以降それぞれの章において具体的な操作への適用というかたちで紹介することとする。

蛇足ではあるが、流入量の計算過程で貯水位の観測の誤差が増幅されて流入量の把握精度に課題があるという状況のなかで、これらの過程を省略して貯水位（貯水量）から直接放流量を決定する（水位放流方式）ことにより操作の安定度向上をはかることが出来る可能性がある。

この様な観点から、すべての操作を水位のみによって行うという姿勢で以降の考察を展開できればと考えている。

目次に戻る