

算貯水位と計算流入量の信頼性をもう一度評価してみることにした。

1. 操作規則等並びにダムコン仕様書によるダムへの流入量等の計算方法

ダムコン仕様書に記された貯水位の観測値とその処理方法の概要は以下のとおりである。

① 貯水位 1 次平滑化処理

貯水位はダムに設置された水位計により測定される。

水位計の機能的特性から得られる測定値の最小単位は cm である。

貯水位は 2s ごとに cm 単位で測定され、この値の 30 個の平均値を当該 1 min 間の平均貯水位としている。(以下、単位表示はすべて記号で行う。)

この理由は、短い波長の貯水位変化を均一化する目的もあるが、cm 単位で測定された値の 1 min 以内における発生頻度等を加味して、(例えば、1 cm を 9 回、2 cm を 21 回観測すればその間の平均値は 1.7 cm と言った具合に、) 発生頻度に基づく統計的な視点からの効果も期待し、cm にとどまることなく mm までの表示を可能とすることを期待したものと考えられる。

ダムコン仕様書では「1 min の平均貯水位は cm 単位または mm 単位のいずれかで取り扱われること」となっているが、ここでは、1 min の平均貯水位は処理値の統計的効果を期待して mm 単位で表示することとする。(mm 単位採用理由の詳細については、本稿の「3.1 次平滑化処理値の単位評価」において後述する。)

② 貯水位 2 次平滑化処理

次に、1 次平滑化処理による 1 min 間の平均貯水位の N 個の平均値を Nmin 間の平均貯水位として、移動平均により毎正 min ごとに求める。(N は移動平均数、1~10 程度)

本処理は通常 N=10 として実施されるが、波浪等による数分周期の貯水位の振動を除去するための処置とされている。

以上、1 次、2 次の平滑化処理により貯水位情報には約 5 min (1 次平滑化で 0.5 min, 2 次平滑化で 5.0 min) の時間遅れが生じていることになる。

③ 流入量の計算

次に、1 次平滑化、2 次平滑化処理を経て得られた貯水位 (貯水量) をもとに操作規則等の記載例によれば以下のような方法によって流入量が計算される。

(流入量)

第 2 条 規則第〇条に規定する流入量は、規則第〇〇

条に規定する水位の上昇又は低下の時間的割合から次式により算出するものとする。

$$Q = (V + q) / t \dots\dots\dots (1)$$

Q : 流入量 (単位 : m³/s)

t : 単位時間 (単位 : s)

V : 単位時間に増減した貯留量 (単位 : m³)

q : 単位時間内の積算全放流量 (単位 : m³)

(注・・・(1) 式において V はあらかじめ作成した貯水位 (H) と貯留量 (V) の関係を示した H-V カーブより求められる。この場合、貯水位の観測値は貯水池に設けた水位計から求められるが、通常、1 cm 単位で観測されたうえで同じ 1 cm 単位で処理される。)

また、ダムコン仕様書においては、(1) 式をベースにして、

- a. 貯水位変化毎に求める方法、
- b. 最小自乗法による方法、
- c. 時間間隔算出法による方法、

の 3 つの方法が提案されている。詳細についてはダムコン仕様書の記載内容 (3-2-3. ダム水文量演算処理) に譲ることとして、ここでは、それぞれの方法が流入量計算結果に及ぼす影響について分析考察するものとする。(本稿の「5. 流入量の計算と評価」で後述)

2. 数値実験用のデータ作成

数値実験用のデータは貯水位観測の実態と 1 次平滑化処理、2 次平滑化処理を念頭において以下のような方法で作成する。

2-1 流入量の正解値の定義

流入量のデータは三角波形と余弦波形の 2 種類で以下の式によった。

その 1, 三角波形

0 < t < 18000s の場合

$$Q_i = (1/18) t + 100 \dots\dots\dots (2-1)$$

18000sec < t < 36000s の場合

$$Q_i = 1100 - (1/18) (t - 18000) \dots\dots\dots (2-2)$$

ただし、Q_i = 正解の流入量 (t=0 で 100 m³/s, t=18000s で 1100 m³/s, t=36000s で 100 m³/s となる。), t = 時間 (s)。

その 2, 余弦波形

$$Q_i = 600 - 500 \cos (2 \pi / 36000 \times t) \dots\dots (3)$$

ただし、Q_i = 正解の流入量 (t=0 で 100 m³/s, t=18000s で 1100 m³/s, t=36000s で 100 m³/s となる。), 36000s = 10h 周期

(2-1), (2-2) 式及び (3) 式により、それぞれに

2s 毎の流入量 Q_{i2s} を計算する。

10 毎正 min ごとの Q_{i2s} を Q_{i0} と表示してこれを図-2-2, 図-3-2, 図-4-2, 図-5-2 に示している。(毎正 h が $Nh00 \text{ min}00s$ に対して, 10 毎正 min は $N \times 10 \text{ min}00s$ を意味する。ただし, $N=0, 1, 2, \dots, 9$ 等。)

Q_{i0} は, 三角波形, 余弦波形における 10 毎正 min ごとの正解値である。

これら, 2つの種類の波形を採用した理由は, 今後考察の対象とする流入量の計算システムが三角波形に見られるように直線的変化をする流入量や(ピーク時等に見られるような)流入量の急激な変化にどの様に対応できているか, または, 余弦波形のような徐々に変化する流入量にどのように対応できているか等の特性を明らかにしようとする目的のためにしたものである。

2-2 貯水位の正解値の定義

ここで, 三角波形, 余弦波形について, 放流量を $100 \text{ m}^3/s$ の一定量として, 2s ごとの貯水量 V_{2s} を計算する。

V_{2s} は, (2-1), (2-2) 式及び (3) 式より求めた, 2s 毎の流入量 Q_{i2s} と放流量 Q_{o2s} (ここでは $100 \text{ m}^3/s$ の一定値) から 2s 毎に計算して求める。

2s 毎の貯水位 H_{2s} は V_{2s} より H-V カーブより求める。この際, V_{2s} は, 計算を簡略化するために貯水池面積を 1 km^2 として高さ方向に一定とする H の 1 次関数とする。

貯水位の正解値は H_{2s} を 10 毎正 min ごとに H_0 で示す。

正解の流入量と貯水位は現場においては実際に把握することができないため, このような方法で検討を開始するにあたって, 先ず 2s 毎の正解流入量 Q_{i2s} と (正解貯水量 V_{2s}) 正解貯水位 H_{2s} の作成から始めることとしたものである。

以上のとおり計算した Q_{i0} 及び H_0 がそれぞれ流入量並びに貯水位の 10 毎正 min 毎の「正解値」であり, 以下で試行計算する様々な貯水位や流入量のケース別計算値の評価の基準となるものである。

2-3 貯水位の観測値の誤差要因

計算に用いる観測値の H_{2s} は, 前述したとおり, 貯水位観測値の最小単位が cm であることから, 全て cm 単位で Round-up 処理することとする。

貯水位の計算誤差は, 観測値の最小単位を cm にしたうえで 1 次平滑化, 2 次平滑化など計算処理によるものほか波浪などの貯水面の攪乱によりおこるものと 2 通りを考える。

波浪などの貯水面の攪乱の影響をどの様に計算上で実

現するかについては, 先ず, (4) 式により貯水池の波動成分を計算する。

$$wdH = 1.0 \cos(2\pi / 1100 \times t) + 1.0 \cos(2\pi / 150 \times t) \dots \dots \dots (4)$$

ただし, wdH = 波動による偏差 (cm), 1.0 = 変位 (cm), 1100 = 縦波の周期 (s), 150 = 横波の周期 (s)

(4) 式による 2s 毎の波動成分の計算値 (wdH_{2s}) を Round-up する前の H_{2s} に加えて, 2s 毎の波動時水位 ($wH_{2s} = H_{2s} + wdH_{2s}$) を計算する。その結果を cm 単位で Round-up したものが波動を考慮した場合の貯水位の観測値になる。

(本稿では, 波動成分の計算式の一例として (4) 式を設定したが, 貯水池の波動特性は貯水池ごとに異なるから, それぞれの貯水池で検討する場合には貯水池ごとにその特性を分析して適切な式とその係数を設定する必要がある。)

以上, 三角波形と余弦波形の 2つの波形について, 貯水池に波動変動が無い場合 (H_{2s}) とある場合 (wH_{2s}) の 2s 毎の観測貯水位 (cm 単位で Round-up) の計算方法について説明した。

3. 1 次平滑化処理値の単位評価

1 次平滑化処理は 2s 毎に観測した貯水位 (H_{2s} と wH_{2s} , cm 単位で Round-up) を毎正 min ごとに 30 個を平均して, 1 min 間の平均貯水位を計算するものである。

この時, ダムコン仕様書の表現としては「1 分間の平均貯水位は cm 単位または mm 単位のいずれかで取り扱われる。」となっているが, このことについて若干の考察を加えてみることにする。

つまり, 貯水位は cm 単位で観測されるが, これを 1 min 毎に 30 個平均して 1 次平滑化処理した場合の最小単位はどの様に評価すべきかについて考えて見る。

いま, 仮に貯水位が完全に (mm 単位以下で) 観測された場合の H_{2s} を 1 次平滑化処理した場合の値を H_p とする。

次に実際の観測値 (cm 単位) である H_{2s} を 1 次平滑化処理した場合の値を cm 単位で Round-up した場合の値を H_{cm} とする。さらに, 同じ 1 次平滑化処理した場合の値を mm 単位で Round-up した場合の値を H_{mm} とする。

以上をまとめて表示すると「表-1 貯水位観測値の 1 次平滑化処理」とおりである。

ここで, H_p と H_{cm} , H_{mm} の関係を直接比較することは, 比較するそれぞれの値が偏差に対して相対的に大

表-1 貯水位観測値の1次平滑化処理

番号	最小測定単位と間隔	1次平滑化処理単位	表記
1	cm 2 s 毎	cm 30 個	H cm
2	cm 2 s 毎	mm 30 個	H mm
3	mm 以下 2s 毎	mm 以下 30 個	Hp

表-2 貯水位2次平滑化処理と表記

番号	1次平滑化	2次平滑化	時間修正	表記
1	H mm	なし 10 毎正 min	なし	H1
2	H mm	あり N=10	なし	H2
3	H mm	2次関数近似 N=7	5 min	Hq

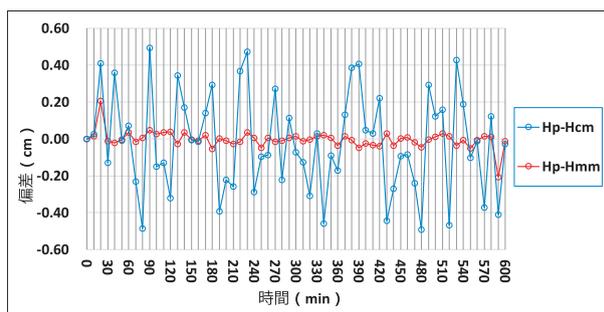


図-1 貯水位偏差比較 (cm-mm)

大きく、図示してもそれぞれの差を明確に示すことが出来ない。そこで、Hp-Hcm と Hp-Hmm を計算して10 毎正 min ごとに表示してみた。(図-1 貯水位偏差比較 (cm-mm))

この結果、Hp-Hmm の偏差は Hp-Hcm の偏差より著しく小さいことが判る。このことは、1次平滑化処理した場合(30 個の平均)の統計的効果が認められ、表示単位は cm より mm で処理することの合理性を示しているものと言える。

従って、以降の本稿の考察においては、観測値の最小単位は cm であるが1次平滑化以降の単位は mm として進めていくこととする。

4. 2次平滑化処理値の評価

ダムコン仕様書における2次平滑化処理は1次平滑化した貯水位の10 min 間の平均値を用いることとしている。

貯水位の観測値を1次平滑化処理し mm 単位で表示した値(Hmm)を10 毎正 min ごとに表示した値をH1とする。H1は後述の2次平滑化後の貯水位H2との比較評価のために仮に計算したものである。

次に、1次平滑化処理し mm 単位で表示した値(Hmm)を2次平滑化処理(N=10)し、10 毎正 min ごとに表示した値をH2とする。この値がダムコン仕様書に記載された流入量計算処理手続きにおいて採用される貯水位となる。(ここで、H2には約5 min の時間遅れが生じているが、ダムコン仕様書においては修正されことなく流入量計算に移行している。)

以上、貯水位の2次平滑化についてまとめると、「表

-2 貯水位2次平滑化処理と表記」に示すとおりである。

H1, H2 をそのまま図示すると、貯水位の絶対値に対して相対的な差が小さく、それぞれの特性を明確に表示できにくいため、貯水位の正解値(H0, 2-2で定義)との差H0-H1, H0-H2として図-2-1, 図-3-1, 図-4-1, 図-5-1に示している。(これらの図面は、流入波形が三角波形(直線型または急変型)であるか余弦波形(漸変型)であるか、貯水位が波浪の影響を受けているか否か等のそれぞれの背景に対して、評価対象とされる貯水位(H1, H2及び後述のHp)がどのような応答をしているかを明らかにするために示したものである。これらの背景に基づくそれぞれの図面を以下の考察の結果と重ね合わせながら参考としていただきたい。)

以上から次のようなことが言える。

- ① H0-H2について、2次平滑化することにより、H0-H1に対して若干の貯水位の消波効果は認められる。(図-2-1と図-3-1, 図-4-1と図-5-1の比較。)
- ② しかしながら、H2については時間遅れの修正(約5 min)がなされていないため、H2の正解値(H0)との差が大きくなる。(図-2-1, 図-3-1, 図-4-1, 図-5-1におけるH0-H2とH0-H1の比較)

5. 流入量の計算と評価

流入量の計算はダムコン仕様書に従って、前記のH2を用いて(1)式を基本として、前記した、a. 貯水位変化毎に求める方法、b. 最小二乗法による方法、c. 時間間隔算出法による方法の3つの方法を準用して行うものとする。

a. 貯水位変化毎に求める方法については、平水時において、流入量が小さく、貯水位の変化も安定している(放流量と流入量の差が小さい)状況で採用される場合が多いものと想定される。

ここでは、洪水時の流入量計算を想定しており、貯水位の変化は顕著である。従って、計算単位時間tが変動して、計算背景を統一できにくいこともあり、ここでは対象としない。(1)式においてt=10 min と固定して計算すると、これは、c. 時間間隔算出法である。

その結果を10 毎正 min ごとにQi1として表示する。

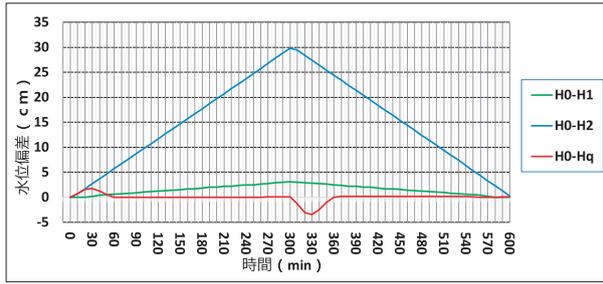


図-2-1 貯水位計算誤差 (三角波, 波無し)

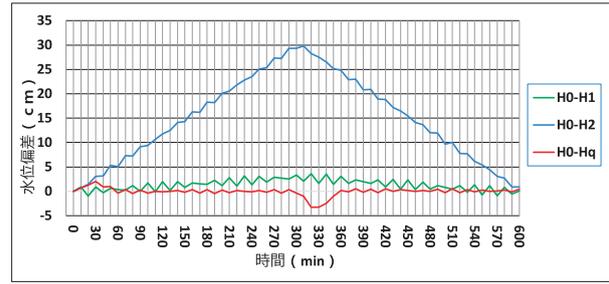


図-3-1 貯水位計算誤差 (三角波, 波有り)

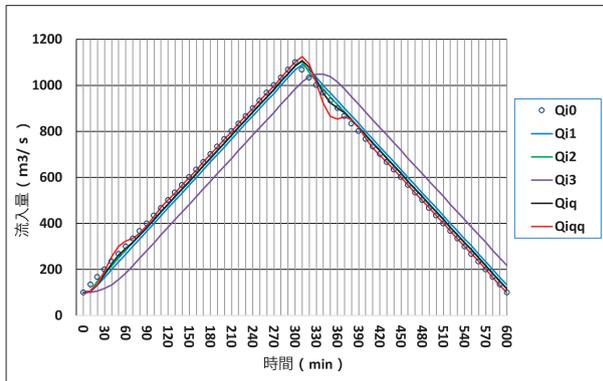


図-2-2 計算流入量 (三角波, 波無し)

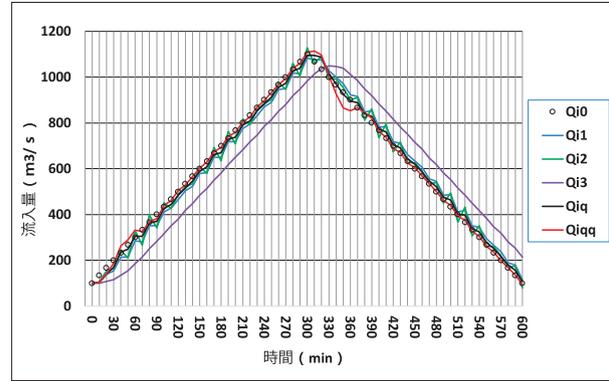


図-3-2 計算流入量 (三角波, 波有り)

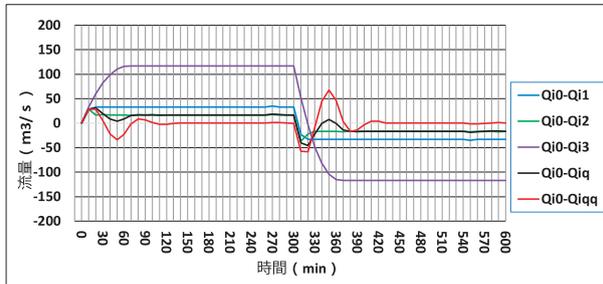


図-2-3 流入量計算誤差 (三角波, 波無し)

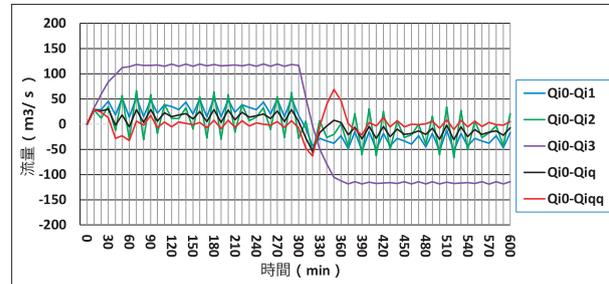


図-3-3 流入量計算誤差 (三角波, 波有り)

(Qi1 は、後述の Qi2 の比較対象として取り扱う。)

b. 最小二乗法による方法については、(1) 式において $t=10 \text{ min}$ として毎正 min ごとに計算する。この結果 (Qi1) をさらに 10 個毎に 1 次近似して $t/2$ (約 5 min) の遅れ時間修正をする。その結果を 10 毎正 min ごとに Qi2 として表示する。

c. 時間間隔算出法による方法については、(1) 式において $t=10 \text{ min}$ (Qi1) とするほか、 $t=60 \text{ min}$ として 10 毎正 min ごとに計算し、これを Qi3 として表示する。

この方法は、公表されているリアルタイムダム情報で貯水位の波動等変動の影響を除去するために幾つかのダムで見受けられることから参考のために採用したものである。

以上のケースはまとめて「表-3 流入量計算処理と表記」に示すとともに、図-2-2、図-3-2、図-4-2、

表-3 流入量計算処理と表記

番号	単位時間	採用貯水位	時間修正	表記
1	10 min	H2	なし	Qi1
2	10 min	H2	1 次関数近似 N=10 5 min	Qi2
3	60 min	H2	なし	Qi3
4	10 min	Hq	なし	Qiq
5	10 min	Hq	2 次関数近似 N=7 5 min	Qiqq

図-5-2 に示している。

また、これらの図ではそれぞれのケースの計算特性の差を明確に示すことができにくいので、流入量の正解値 (Qi0) との差、Qi0-Qi1, Qi0-Qi2, Qi0-Qi3 を図-2-3、図-3-3、図-4-3、図-5-3 にそれぞれに示している。(これらの図面は、流入波形が三角波形 (直線型または急変型) であるか余弦波形 (漸変型) であるか、貯水位

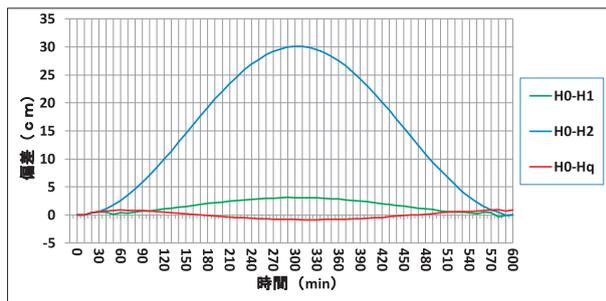


図-4-1 貯水位計算誤差 (COS, 波無し)

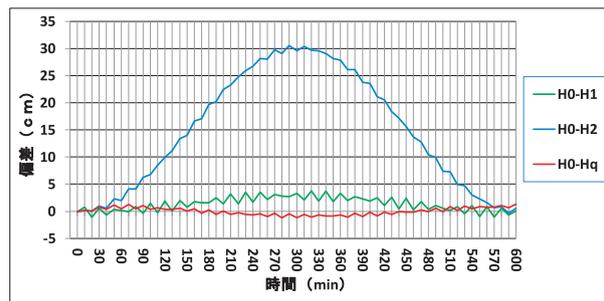


図-5-1 貯水位計算誤差 (COS, 波有り)

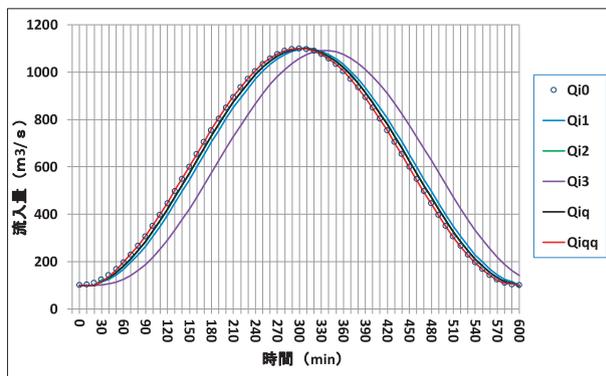


図-4-2 計算流入量 (COS, 波無し)

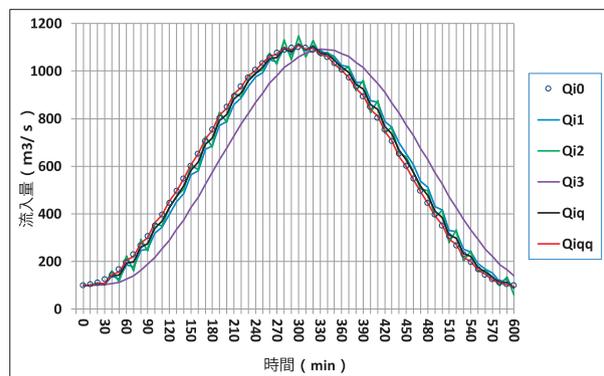


図-5-2 計算流入量 (COS, 波有り)

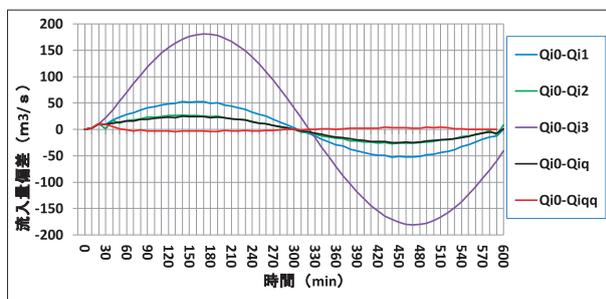


図-4-3 流入量計算誤差 (COS, 波無し)

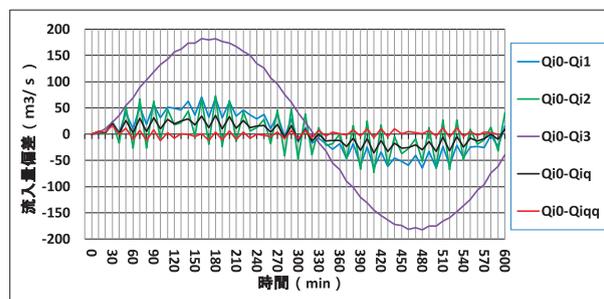


図-5-3 流入量計算誤差 (COS, 波有り)

が波浪の影響を受けているか否か等のそれぞれの背景に対して、評価対象とされる計算流入量 (Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3} 及び後述の Q_{iq} , Q_{iqq}) がどのような応答をしているかを明らかにするために示したものである。これらの背景に基づくそれぞれの図面を以下の考察の結果と重ね合わせながら参考としていただきたい。

以上から次のようなことが言える。

① ダムコン仕様書による流入量 (Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3}) 計算においては、計算の基礎となる2次平滑化後の貯水位 H2 は時間遅れ修正がなされていないため、全ての流入量計算において相応の影響を及ぼしている。(図-2-2, 図-3-2, 図-4-2, 図-5-2)において (Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3}) に相応の時間遅れが認められる。また、図-2-3, 図-3-3, 図-4-3, 図-5-3)において相応の計算誤差が認められる。特

に Q_{i0} - Q_{i3} の値が著しい等。)

② Q_{i1} は流量計算の段階で時間修正がなされていないため、約 10 min (流入量計算過程で 5 min, 貯水位 2 次平滑化過程で 5 min) の時間遅れがあり、このための流入量の計算誤差が発生している。(図-2-2, 図-3-2, 図-4-2, 図-5-2, 及び、図-2-3, 図-3-3, 図-4-3, 図-5-3)

また、相応の波動変動による影響を受けている。(図-3-3, 図-5-3 等の Q_{i0} - Q_{i1})

③ Q_{i2} は流入量計算の段階で時間遅れ修正がなされており、結果、時間遅れは約 5 min に短縮され、このために流入量の計算段階での時間遅れによる計算誤差が縮小している。(図-2-2, 図-4-2, 図-2-3, 図-4-3)の Q_{i2} , Q_{i0} - Q_{i2})

波動変動による影響は Q_{i1} と比べると外挿による

時間遅れ修正の影響を受けて増幅している。(図-3-3, 図-5-3の $Q_{i0}-Q_{i1}$ と $Q_{i0}-Q_{i2}$ の比較)

- ④ Q_{i3} は波動変動による影響は著しく縮小されている。(図-2-2と図-3-2, 図-4-2と図5-2の Q_{i3} 等)

しかしながら, 約 35 min (流入量計算で 30 min, 貯水位 2 次平滑化で 5 min) の時間遅れがあり, このために流入量計算誤差が著しい。(図-2-2, 図-4-2の Q_{i3} 及び図-2-3, 図-4-3の $Q_{i0}-Q_{i3}$)

以上はダムコン仕様書による流入量計算に基づく考察である。どの方法をとってもそれぞれに少なからず課題が残されているといえることができる。

6. 流入量等の計算方法の改善について

流入量等の計算に関する従来方法については, それぞれの方法に対して少なからず課題が残されていることが流入量等の正解値 (H_0 , Q_{i0}) との比較で明らかになった。

ここでは, これら明らかにされた課題を解消するために以下のような方法を提案し, ダムコン仕様書による方法について行ったのと同じ方法により評価することとした。

具体的な改善策は以下のとおりである。

- ① ダムコン仕様ではなされていない貯水位の 2 次平滑化処理段階で発生した時間遅れ (約 5 min) の修正を行う。
- ② 流入量計算結果に対してさらに流量段階での平滑化と時間遅れの修正 (5 min) を行う。
- ③ 貯水位, 流入量変化の平滑化に対して柔軟に対応できる 2 次関数近似法を採用する。
- ④ 長周期 (10 min 以上) の貯水位の波動変動に効果的に対処するために平滑化計算のデータ単位を長く (10 min 間隔で 60 min, 7 個程度) する。

6-1 2 次関数近似法による貯水位の計算方法と評価

貯水位の計算方法は, ダムコン仕様書で採用されている 10 毎正 min の H_2 (表-2) をもとにこれを N 個 (この場合は 7 個, 60 min) 2 次関数近似を行い, さらに, 5 min の時間修正を行うものである。表-2 に H_q とし追加表記している。

この結果 (H_0-H_q) を表-2-1, 図-3-1, 図-4-1, 図-5-1 に追加して表示している。これらの結果を見ると, 三角波形で流量が急変するピーク付近で一時的に整合度合いが悪くなるが, ほぼ時間遅れによる誤差は解消されており, 消波効果もある程度認められ, 特に, 余弦波形における流入量計算誤差の改善に対する効果が期待される。

6-2 流入量の計算方法と評価

貯水位は H_q を利用して (1) 式により $t=10$ min として Q_{iq} を計算し, この結果 (Q_{iq}) を, 再度, N 個 (この場合は 7 個, 60 min) 2 次関数近似により処理し, 5 min の時間修正を行いこれを Q_{iqq} と表示する。

2 次関数近似計算時間を 60 min としたのは, 20 min 程度 (1100s) の周期の波を消去するためには少なくともこの程度の平滑化時間が必要と考えたからである。

これらの結果 Q_{iq} と Q_{iqq} を表-3, 図2-2, 図-3-2, 図-4-2, 図-5-2 に, さらに $Q_{i0}-Q_{iq}$ と $Q_{i0}-Q_{iqq}$ を図-2-3, 図-3-3, 図-4-3, 図-5-3 に追加表示している。

これらの結果, Q_{iq} は 5 min の時間遅れがあるものの, Q_{iqq} の時間遅れは殆ど解消されていることが判る。(図-2-2, 図-4-2の Q_{iq} と Q_{iqq})

Q_{iq} は 5 min の時間遅れがあり, Q_{i2} と殆ど重なり, 時間遅れにおいてはほぼ同じレベルであるが, 消波効果と言った面から見ると Q_{iq} の方が勝っている。(図-2-2, 図-4-2 及び図-3-3, 図-5-3)

波浪の影響は Q_{i3} 程ではないが Q_{iqq} では可成りの消波効果を発揮している。

(図-3-3, 図-5-3の Q_{i3} と Q_{iqq})

しかしながら, 流量が急変する場合の計算値の正解値への順応効果は著しく阻害されている。この点については, 三角波形は, 単に直線のみを組み合わせて, 流量の増加から減少 (または減少から増加) は, 鋭角に変化するよう表現されているが, 実際は (直線と余弦関数の組み合わせ的な) もう少し緩やかに変化するものと考えられる。

このような観点から, この種の誤差はある程度は回避されるものと考えられる。(図-2-2, 図-4-2 等の Q_{iqq})

まとめ

操作規則等によるダム貯水池の水位或いは流入量の計算に対しては, その正解の値が無い。そのために, これまで様々に考えられる方法論に対する評価が不可能であった。

そこで, 最初に正解の流入量 (Q_{i0}) と放流量 (Q_{o0}) を設定してこれに基づき正解の貯水量 V_0 (貯水位 H_0) を計算した。

正解の貯水位 (H_0) を cm 単位で Round-up した値を観測値と見做して, 1 次, 2 次の平滑化処理を行い, これと放流量 (Q_{o0}) から, 定められた方法論に従って流入量 (Q_{i1} , Q_{i2} , Q_{i3} , Q_q , Q_{qq}) を計算し, これらの

計算流入量と Q_{i0} とを比較することによって、それぞれの方法論の妥当性を評価しようとしたものである。

それぞれ計算背景の異なる図面を照合しながら、それぞれの背景の変化（三角波形か余弦波形か？または、波有りか波無しか？等）による計算放流量等に及ぼす影響を比較しながら下記の項目別評価の考察を再確認していただきたい。

- ① 操作規則等による水位計算方法によれば、1次平滑化の結果（H1）を受けて2次平滑化処理をした計算貯水位（H2）には時間遅れ（約5 min）があり、計算貯水位と正解の貯水位との差（ H_0-H_2 ）が大きくなる。

この値において2次関数近似による時間修正を試みたが（ H_0-H_q ）、従来方法と比較した場合その改善効果は顕著であり、貯水位の波動解消においても一定の効果を期待することが出来る。

一方、2次関数近似法によれば、三角波形のピーク付近に見られるように、流量が急変する場合において、著しく正解値との整合性を欠く部分が出てくる。

しかしながら、これらは波形全体から見れば限定的であり、より現実的な波形に近い余弦波形においてはこのような現象は認められない。このようなことから、実操作におけるこれらの弊害は限定的であると思なすことが出来るものと判断される。

- ② 操作規則等による流入量計算においては、2次平滑化処理をした水位（H2）による流入量計算をした結果（ Q_{i1} ）とこれを1次関数近似処理をした結果（ Q_{i2} ）との比較を行った。

その結果、 Q_{i1} に対して Q_{i2} は5 minの時間遅れ修正を受けて正解値との誤差は相応に解消されているものの、H2計算過程の時間遅れの影響は背負ったままになっている。また、1次関数近似法による時間遅れの修正処理をすることによって、 Q_{i2} は Q_{i1} に対して波動変動の影響が増幅されていることがわかる。

次に、 Q_{i3} は波動変動の消去を狙って、 $t=60$ minとして流入量を計算したものと想定される。この場合、波動消去効果は期待できるが、 $t/2$ の時間遅れによる流入量の計算誤差が大きくなる。

リアルタイムダム情報では、流入量、放流量、貯水量が10 min間隔で公表されている。これらの情報のうち流入量と放流量から $t=10$ min間隔として貯水量を計算して前記公表された貯水量と比

較すると合わないケースがある。この場合、公表された流入量は Q_{i3} と同じ方法で計算された可能性がある。

このようにして計算された約30 min遅れの流入量で洪水時ダムの操作がなされているとは思はないが、仮になされているとすれば洪水時のダム操作に及ぼす様々な悪影響が懸念される。

それぞれのダムでシステムの内容と当該情報の操作への適用状況について確認の必要がある。

- ③ 以上、操作規則等に基づく流入量等の計算と評価を踏まえて、2次関数近似法による貯水位並びに流入量の計算方法の改善を提案した。

貯水位の2次平滑化（H2）までは従来方法と同じ手続きである。

2次平滑化までに5 minの時間遅れがある。（この際、1次平滑化による30secの時間遅れについては影響が微小であると思なして今回は無視することとする。）

そのうえで、10毎正 min毎のH2の値7個で2次関数近似を行い5 minの時間修正を行う。（ H_q ）

その結果、三角波形で流量急変の個所で一部追従できない部分もあるが、余弦波形のような流量が漸変する部分での真値との整合性は相応の改善を確認することが出来た。

さらには、データ数を7個、60 minとすることによりある程度の消波効果も期待することが出来ることが確認された。

- ④ 次に、 H_q により流入量計算 Q_{iq} を（1）式により実施した。流入量計算段階での時間遅れの修正を行っていないから、 Q_{i2} と同程度の約5 minの時間遅れがあるものの、 Q_{i2} と比較しても相当の消波効果を期待できることがわかる。

さらに、10毎正 min毎の Q_{iq} の7個（60 min）のデータにより、計算流入量による2次関数近似と時間遅れ修正を行い Q_{iqq} を計算した。

Q_{iq} と Q_{iqq} を比較すると、 Q_{iqq} の時間遅れはほぼ解消され、消波効果も Q_{iq} に比して若干ではあるが改善されている。

しかしながら、流入量の急変する部分では流入量に追従できない傾向が拡大している。これを、余弦関数波で見ると計算流入量は流入量の正解値によく追従していることがわかる。

実際の洪水波形の増加から減少（または減少から増加）する部分は、鋭角的なものではなく、どちらかと言えば余弦関数的なものであることから、

計算流入量の正解値に対する追従性についての問題は本システムの特性を事前に認識したうえで対処すれば、実務上の支障は限定的となるものと考えられる。

- ⑤ 本検討においては、流入波形を三角波形、余弦波形とし、貯水池の波動特性としては縦波周期 1100s、横波周期 150s、波高をそれぞれ 1.0 cm としている。

平滑化時間を長くすれば消波効果は期待できるが、流入量の急激な変動への追従性に課題が残る。逆に、平滑化時間を短くすれば消波効果は減退するが、流入量の変動への追従性は改善される。

従って、本システムの適用にあたっては、ダムに流入するハイドログラフの特性、貯水池内の波動特性等を十分に確認し、平滑化時間を 60 min にするか、100 min にするか等計算条件を慎重に検討のうえ実施する必要がある。

- ⑥ 実際には把握することのできない流入量の正解値からスタートして貯水位を計算し、この貯水位をもとにして定められた計算システムにより流入量

を計算し、正解値と計算値を比較することにより当該計算システムの妥当性を評価するという方法を実施した。

2次関数近似法についてはその考え方としてはいくつかの論文も発表されている。

しかしながら、評価の対象となる正解値が無いためにこの方法論の工学的な評価を行うことが不可能であった。

その後、Excel による解析方法にも工夫を加え、これまでの考察より幅広い考察を展開することができたものである。

従って、このシステムはパソコンで十分に処理可能な課題であり、現場のダムコンで十分に処理可能なレベルのものであることを付記しておく。

参考文献

- 1) ダムの管理 例規集 平成 18 年版
国土交通省河川局河川環境課 監修
財団法人 ダム水源地環境整備センター
- 2) ダム管理用制御設備標準設計仕様書・同解説
平成 28 年 8 月
国土交通省