

流入波形の観測誤差に関するダム操作上の評価

Evaluation on dam operation regarding observation error of inflow waveform

企画部 首席研究員 竹下 清

研究第一部 主任研究員 宮本 賢治

研究第一部 上席主任研究員（現(株)建設技術研究所 東京本社河川部） 富岡 浩

現行のダム管理では、貯水池に流入する洪水が貯水池に水平に貯留していくと仮定し、ダム直上で観測された一定時間内の貯水位差及びその間の平均ダム放流量から、ダム流入量を逆算することにより管理が行われている。しかし、このように算定している流入量は、貯水池上流端に流入した流量が、貯水池内を流動しながら時空間的に変形し、ダム直上に到達した波形である。これより、現行のダム管理で算定している流入量と貯水池上流端の流入量では、洪水波形や流入量のピークの生起時刻が異なっており、貯水池上流端の流入量によるダム管理と現行のダム管理方法を比較することによって、現行のダム管理方法の検証が必要である。

本稿は、ダム直上の貯水位から換算した現行の管理の流入量ハイドログラフとこれにピークの遅れや潰れを戻した貯水池上流端の流入量ハイドログラフについて洪水調節計算を行い、両者による貯留量や放流量の変化を分析したものである。

キーワード：ダム貯水池、洪水調節、ダム管理、洪水伝搬

In the current dam management, it is assumed that the flood flowing into the reservoir is stored horizontally in the reservoir, and the dam inflow amount is calculated from the difference of the water level within a certain time observed immediately above the dam and the average dam discharge amount during that time. Management is done by back calculation. However, the inflow amount calculated in this way is the waveform that flowed into the reservoir upstream end deformed spatio-temporally while flowing through the reservoir and reached directly above the dam. As a result, the flood waveform and the occurrence time of the peak of the inflow amount are different between the inflow amount calculated by the current dam management and the inflow amount of the upstream end of the reservoir, and the dam management by the inflow amount at the upstream end of the reservoir and the current. It is necessary to verify the current dam management method by comparing the dam management method.

In this paper, flood control calculation is carried out for the current amount of inflow of converted water from the reservoir level directly above the dam, and the inflow amount at the upstream end of the reservoir, which has returned the peak delay or collapse to this, the flood control calculation is performed, As shown in Fig.

Key words : dam reservoir, flood control, dam management, flood propagation

1. はじめに

現行のダム管理では、貯水池に流入する洪水が貯水池に水平に貯留していくと仮定し、ダム直上で観測された一定時間内の貯水位差及びダム放流量算定式から算定した平均放流量から、ダム流入量を逆算することにより管理が行われている。この手法は、貯水池内の洪水流量の連続性を用いて、ダム流入量及び放流量を簡易に推定している。しかし、図-1に示すように、現行のダム管理で算定している流入量は、貯水池内に流入した流量が、貯水池内を流動しながら時空間的に流量波形を変形し、ダム直上に到達した波形である。

藤原ら¹⁾は、温井ダム貯水池を対象に、貯水池内洪水解析を行い、遷移領域において水位が低下または上昇する区間が存在していること、流入量について解析値と実績値に誤差が生じること、水位が低下または上昇する区間は洪水中常に存在するものではなく、貯水池内で流動が活発になる時のみであることを明らかにしている。また、塚本ら²⁾は、草木ダム貯水池を対象に、準三次元貯水池洪水流動解析法を用いて貯水池の流動を解き、算定された洪水流量に基づくダムへの洪水流入量及びダムからの放流量を評価している。

これらより、現行のダム管理で算定している流入量と実現象の流入量では、洪水波形や流入量のピークの

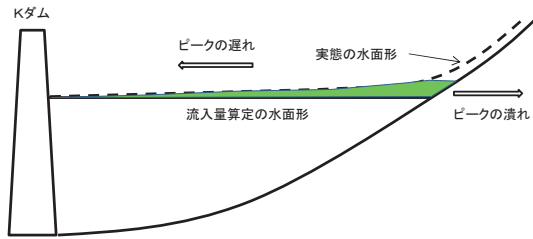


図-1 貯水池内の洪水波形の伝搬特性

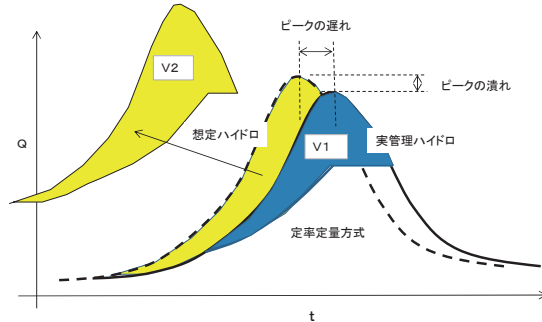


図-2 実管理ハイドログラフと貯水池上流端ハイドログラフのイメージ

生起時刻が異なっており、貯水池上流端の流入量によるダム管理と現行のダム管理方法を比較することによって、現行のダム管理方法の検証が必要である。

本稿は、5ダム（漁川ダム、草木ダム、川治ダム、温井ダム、鶴田ダム）を対象に、ダム直上の貯水位から換算した現行の管理の流入量ハイドログラフとこれにピークの遅れや潰れを戻した貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフについて洪水調節計算を行い、両者による貯留量や放流量の変化を分析したものである。

2. 貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフの作成

各ダム及び対象洪水毎について、ピーク遅れ時間及びピークの潰れを算定し、貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを算定する。

(1) 検討対象洪水の選定

検討対象洪水は、各ダムで平成16年以降に発生した洪水のうち、表-1に示す上位1洪水もしくは2洪水を対象とした。

(2) ピーク遅れ時間の算定

椿³⁾によれば、湛水域における洪水波の伝搬速度はきわめて大きく、水面は水平を保ったまま昇降すると考えてよいと記載されている。

本稿では、椿³⁾の考え方を踏まえ、次の3つの手法を用いてピークの遅れ時間を算定する。

表-1 各ダムの検討対象洪水

	洪水名	降雨要因	最大流入量 (m ³ /s)
漁川ダム	H26.09.11洪水	台風14号	686.9
草木ダム	H23.09.20洪水	台風15号	1464.5
	H25.09.15洪水	台風18号	938.8
川治ダム	H23.09.19洪水	台風15号	1144.4
	H27.09.09洪水	台風18号	1172.1
温井ダム	H16.09.07洪水	台風18号	561.2
	H17.09.06洪水	台風14号	584.1
鶴田ダム	H16.09.04洪水	台風18号	1793.0
	H23.07.06洪水	梅雨前線	2921.5

表-2 各手法のピーク遅れ時間の算定条件

	計算式及び計算条件
手法1：ダム高による遅れ時間の推定	$Tl = L / ((g(H/3))^{1/2}) / 3600$ L：貯水池延長、H：ダム高
手法2：波速による遅れ時間の算定	$Tl = L / ((gh)^{1/2})$ L：貯水池延長、h：平均水深 平均水深：5割容量相当水深で設定
手法3：Kleiz-Seddonによる遅れ時間の算定	$Tl = L / mv$ ここに、L：貯水池延長、m：断面形によって決まる定数、v：流速 定数(m)：4/3（三角形）を想定 流速：2.5m/s（草木ダム解析値 ²⁾ ）

表-3 各手法のピーク遅れ時間の算定結果

ダム名	ダム高 (m)	貯水池延長 (m)	湛水面積 (km ²)	平均水深 (m)	遅れ時間(分)		
					手法1	手法2	手法3
漁川ダム	45.5	2,000	1.1	13.5	2.7	2.9	10.0
草木ダム	140.0	4,000	1.7	32.7	3.1	3.7	20.0
川治ダム	140.0	5,000	2.2	49.2	3.9	3.8	25.0
温井ダム	156.0	2,000	1.6	63.1	1.5	1.3	10.0
鶴田ダム	117.5	10,000	3.6	19.0	8.5	12.2	50.0

手法1：ダム高から推定する方法

手法2：波速から推定する方法

手法3：Kleiz-Seddonの法則を用いて推定する方法
各手法のピーク遅れ時間の算定条件を表-2に、ピーク遅れ時間の算定結果を表-3に示す。ピーク遅れ時間は、洪水調節計算の計算ステップが10分間隔であるため、手法1～3の結果から10分刻みの値を使用する。

(3) ピーク潰れの算定

a) ピーク潰れの算定方法

ピークの潰れは、ダム設計基準改訂(1971)⁴⁾の異常洪水の際のダムの貯留効果を算定する簡便式を使って推定する。図-3に示すように、ダム上流部の流入量ハイドログラフの頂部を放物線と仮定し、(1+a)Qの内、貯水池に貯留される流量をΔQとすると貯水池の水位上昇高との関係は次のようになる。

$$2 \Delta Q T / 3 = A \Delta h \quad (1)$$

aQの全量が貯水池に貯留されるとすると

$$2 a Q T / 3 = A \Delta h \quad (2)$$

$$a = (3A \Delta h) / (2QT) \quad (3)$$

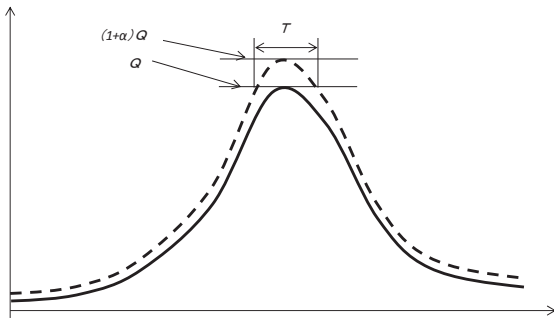


図-3 ピーク潰れの概念図

表-4 各ダムの α (最大、最小、平均) の算定結果

漁川ダム				
湛水面積 A (km ²)	ピーク流量 (m ³ /s)	α 最大	α 最小	α 平均
1.1	686.85	0.20	0.01	0.07

草木ダム				
湛水面積 A (km ²)	ピーク流量 (m ³ /s)	α 最大	α 最小	α 平均
1.7	1464.49	0.15	0.01	0.05

川治ダム				
湛水面積 A (km ²)	ピーク流量 (m ³ /s)	α 最大	α 最小	α 平均
2.2	1144.38	0.24	0.01	0.08

温井ダム				
湛水面積 A (km ²)	ピーク流量 (m ³ /s)	α 最大	α 最小	α 平均
1.6	561.17	0.36	0.02	0.12

鶴田ダム				
湛水面積 A (km ²)	ピーク流量 (m ³ /s)	α 最大	α 最小	α 平均
3.61	1793	0.25	0.01	0.09

表-5 流入量ハイドロの作成条件

作成条件	
遅れ時間	漁川ダムの遅れ時間：10分 草木ダムの遅れ時間：10分と20分の2ケース 川治ダムの遅れ時間：10分と30分の2ケース 温井ダムの遅れ時間：10分 鶴田ダムの遅れ時間：10分と50分の2ケース
潰れの割戻し	・潰れの割戻しはピーク時刻を含む30分間とする ・ α は最大値、最小値、平均の3ケース
洪水の上昇期間	実管理の流入量を設定
洪水の減水期間	低減関数： $Q = a \cdot b^{-t}$ ・ピークから30分後から指数関数より算定される低減波形を適用 ・指数関数のaは各洪水の流量逓減状況に応じて設定。指数関数の洪水の逓減状況を評価する定数bは、洪水全体のボリュームが等しくなるように調整

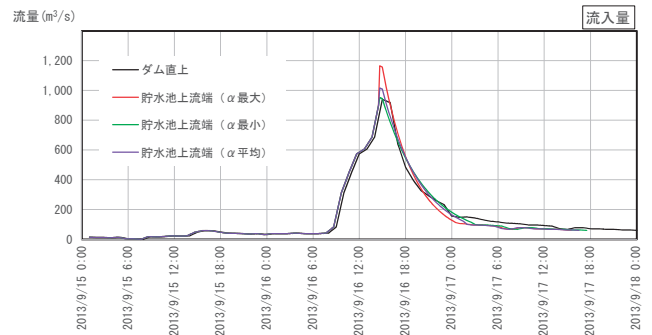


図-4 草木ダム 流入量の算定結果 (H25.9.15) 遅れ時間 20分

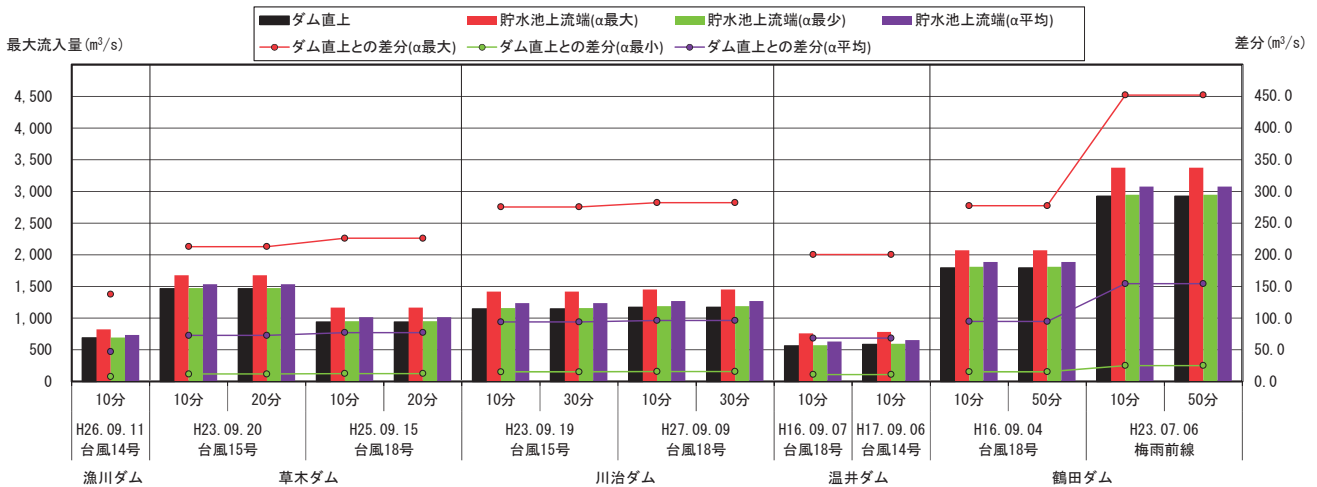


図-5 各ダムの最大流入量の比較結果

ここに、A：湛水面積 (m²)、 Δh ：水位上昇量 (m)、 α ：ピーク時の流量差の率

ここでは、 $\Delta h = 0.05 \sim 0.3m$ 、 $T = 1.0 \sim 3.0hr$ の範囲の α を算定した。

b) ピーク潰れの算定結果

各ダムの対象洪水毎の α (最大、最小、平均) を算定した。表-4に各ダムの α (最大、最小、平均) の算定結果を示す。 α の値は0.01～0.36の間となった。

(4) 流入量ハイドロの作成

各対象洪水の現行管理の流入量ハイドログラフを用いて、上記で検討した遅れ時間と潰れを割り戻した貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを作成する。

貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフの設定は、現行管理の流入量ハイドログラフを遅れ時間分ずらし、ピーク時刻を含む30分間の流量の潰れの割り戻しを行う。ピーク時刻の30分後以降は、指数関数より算定される低減波形を適用し、洪水全体のボリュームが等しくなるように調整する。

表-5に貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフの作成条件、図-4に草木ダムの流入量の算定結果の例、図-5に各ダムの最大流入量の比較結果を示す。図-5に示すように、最大流入量が約7.0～450m³/sの範囲で上昇した。

3. 流入波形の違いによる洪水調節計算の実施

現行管理の流入量ハイドログラフ及び上記で作成した想定流入量ハイドログラフに対し洪水調節計算を行う。洪水調節計算の計算条件を表-6に、草木ダムの洪水調節計算結果の例を図-6に、洪水調節計算結果

表-6 洪水調節計算の計算条件

計算条件	
対象洪水	<ul style="list-style-type: none"> ・漁川ダム：H26.09.11(台風14号)洪水 ・草木ダム：H23.09.20(台風15号)洪水 H25.09.15(台風18号)洪水 ・川治ダム：H23.09.19(台風15号)洪水 ・H27.09.09(台風18号)洪水 ・温井ダム：H16.09.07(台風18号)洪水 ・H17.09.06(台風14号)洪水 ・鶴田ダム：H16.09.04(台風18号)洪水 ・H23.07.06(梅雨前線)洪水
洪水調節方法	<ul style="list-style-type: none"> ・漁川ダム：定率・定量操作 $Q_{out} = (Q_{in} - 60) \times \frac{240}{540} + 60$ ・草木ダム：定率・定量操作 $Q_{out} = (Q_{in} - 500) \times 0.1 + 500$ ・川治ダム：定量操作 $Q_{out} = 400$ ・温井ダム：定率・定量操作 $Q_{out} = (Q_{in} - 400) \times 0.28 + 400$ 400m³/sから一定開度操作(暫定操作) ・鶴田ダム：定率・定量操作 $Q_{out} = (Q_{in} - 600) \times 0.5 + 600$
H~V関係	計画時のH~V関係
流入量ハイドロ	10分間隔データとする

のまとめを表-7に示す。

表-7に示すように漁川ダム及び川治ダムを除き、最大流入量が現行管理の流入量よりも増加するため、最大放流量は増加している。

貯留量は鶴田ダムを除き、現行管理の流入量よりも最大流入量が増加しているため、貯留量は増加している。鶴田ダムでは、操作規則どおりの洪水調節操作を行うことで、流入量の増加量よりも放流量増加量の方が大きくなるため、貯留量が減少した。

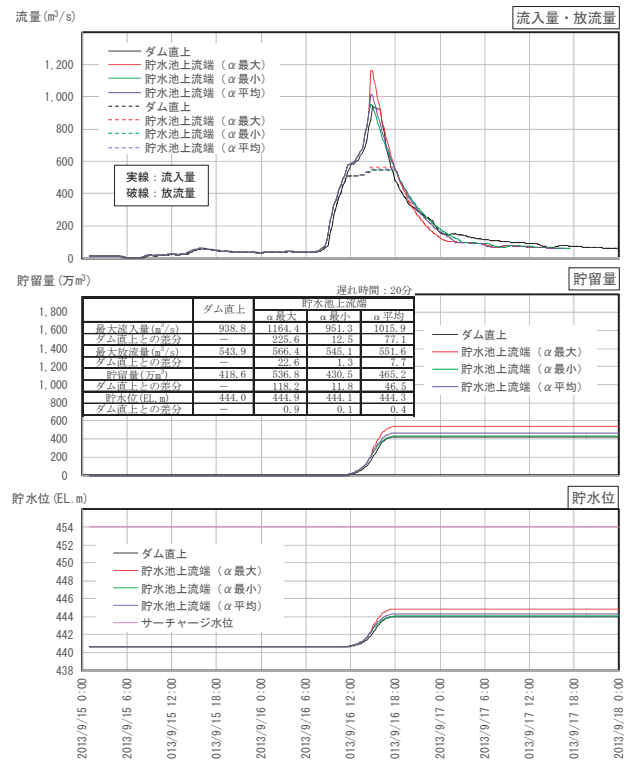


図-6 草木ダム 洪水調節計算結果 (H25.9.15) 遅れ時間20分

表-7 洪水調節計算結果のまとめ

ダム名	洪水調節容量 (万m ³)	洪水名	遅れ時間	最大流入量 (m ³ /s)				最大放流量 (m ³ /s)				貯留量 (万m ³)			
				貯水池上流端				貯水池上流端				貯水池上流端			
				ダム直上	α最大	α最少	α平均	ダム直上	α最大	α最少	α平均	ダム直上	α最大	α最少	α平均
漁川ダム	1,190	H26.09.11 台風14号	10分	686.9	824.4	694.5	733.8	300.0	300.0	300.0	300.0	325.2	370.5	331.4	336.8
			20分	1464.5	1677.0	1476.3	1537.1	596.4	617.7	597.6	603.7	924.1	1031.0	973.9	982.9
草木ダム	2,000	H23.09.20 台風15号	10分	1464.5	1677.0	1476.3	1537.1	596.4	617.7	597.6	603.7	924.1	1042.2	982.9	979.6
			20分	1464.5	1677.0	1476.3	1537.1	596.4	617.7	597.6	603.7	924.1	1042.2	982.9	979.6
H25.09.15 台風18号	10分	938.8	1164.4	951.3	1015.9	543.9	566.4	545.1	551.6	418.6	537.0	431.7	464.8		
														20分	938.8
川治ダム	3,600	H23.09.19 台風15号	10分	1144.4	1419.4	1159.6	1238.3	400.0	400.0	400.0	400.0	810.6	963.7	885.4	901.7
			30分	1144.4	1419.4	1159.6	1238.3	400.0	400.0	400.0	400.0	810.6	1003.8	884.1	887.6
H27.09.09 台風18号	10分	1172.1	1453.8	1187.7	1268.3	400.0	400.0	400.0	400.0	2871.1	3016.2	2880.2	2923.1		
														30分	1172.1
温井ダム	4,100	H16.09.07 台風18号	10分	561.2	761.2	572.3	629.5	440.3	490.3	443.1	457.4	50.3	86.9	53.5	63.1
			10分	584.1	784.1	595.2	652.4	446.0	496.0	448.8	463.1	170.5	208.3	170.2	178.3
H17.09.06 台風14号	10分	1793.0	2069.9	1808.4	1887.6	1196.5	1335.0	1204.2	1243.8	1187.5	1023.6	1037.0	1025.7		
														50分	1793.0
鶴田ダム	7,500	H16.09.04 台風18号	10分	2921.5	3372.8	2946.6	3075.6	1760.8	1986.4	1773.3	1837.8	2185.0	2109.4	2050.0	2070.1
			50分	2921.5	3372.8	2946.6	3075.6	1760.8	1986.4	1773.3	1837.8	2185.0	2120.4	2051.1	2069.8
H23.07.06 梅雨前線	10分	1793.0	2069.9	1808.4	1887.6	1196.5	1335.0	1204.2	1243.8	1187.5	1023.6	1037.0	1025.7		
														50分	1793.0

4. ダム及び下流河川への影響分析

洪水調節計算結果より、現行管理の流入量ハイドログラフと貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフのダム及び下流河川への影響を分析する。

現行の管理方法（ダム直上で観測された貯水位による管理）を用いて、洪水時のダム管理を行う上で問題となるのは、実現象の流入量（貯水池上流端からの流入量）を用いた管理と比較して、ダムの貯留量及び放流量が大きく異なることである。

本稿では、ダムの貯留量の変化と放流量の変化に着目し、ダム及び下流河川への影響を分析する。

(1) ダムへの影響分析

現行管理の流入量ハイドログラフと貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いて洪水調節計算を行い、各ダムの対象洪水毎の貯留量を比較する。図-7に各ダムの貯留量の比較結果を示す。

図-7に示すように、各ダムの洪水調節容量と比較すれば、鶴田ダムを除いてどのダムも貯留量の増加量は小さい。また、鶴田ダムでは、現行管理の流入量ハイドログラフの洪水調節計算結果よりも貯留量が減少しているが、最大流入量の増加により最大放流量が増加したため、貯留量が減少している。なお、鶴田ダムの洪水調節容量と比較すれば、貯留量の減少量は小さい。

以上より、現行管理の流入量ハイドログラフを用いて管理を行った場合、貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いた場合よりも貯留量が大きくなるが増加量は小さい。これより、現行管理の流入量ハイドログラフを用いて、ダム管理を行うことによる貯留量への影響は小さいといえる。

(2) 下流河川への影響分析

現行管理の流入量ハイドログラフと貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いて洪水調節計算を行い、各ダムの対象洪水毎の放流量を比較する。図-8に各ダムの最大放流量の比較結果を示す。

図-8に示すように、漁川ダム及び川治ダムでは、貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いた場合においても、最大放流量は変化しておらず、草木ダム及び温井ダムでは、貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いた場合、最大放流量が増加するが、増加量は小さい。しかし、鶴田ダムでは、H23.07.06（梅雨前線）洪水で最大放流量が約 $200\text{m}^3/\text{s}$ 増加している。鶴田ダムについては、最大放流量の増加量が大きいため、下流河川への影響を考察する。

(3) 鶴田ダムの下流河川への影響

ダム放流量の下流河川への影響を想定するため、現行管理の流入量ハイドログラフと貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフに下流河川の観測水位の重ね図を作成し、ピーク発生状況の比較を行う。対象は鶴田ダムとし、下流水位観測所はダムから下流7km地点にある「宮之城」とする。図-9に鶴田ダムの流入量と下流宮之城水位観測所水位の重ね図を示す。

貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフでは、下流河川の水位のピークの生起時刻と想定流入量ハイドログラフのピークの生起時刻が、検討対象洪水2洪水ともに大きな相違はないといえる。

(4) ダム地点の流出波形が下流基準点に与える影響

鶴田ダムの2洪水はいずれも台風によるものだが、大きな出水要因は広範囲に降雨をもたらす台風性のものが多く、そのような場合はダム地点と下流基準点との洪水の流出時間には大きなずれはない。

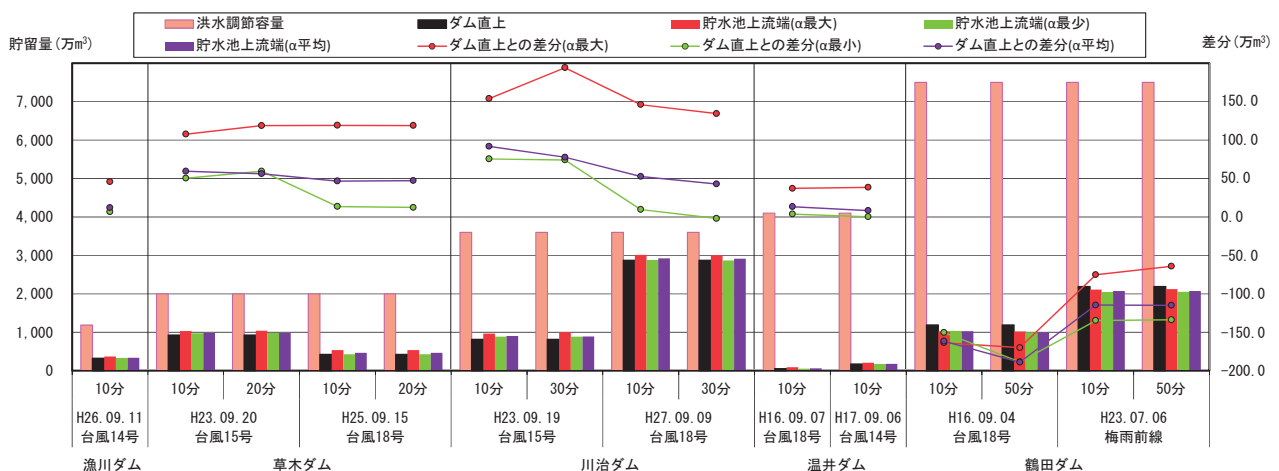


図-7 各ダムの貯留量の比較結果

図-10に示すようにダムの限られた洪水調節容量で下流基準点に調節効果を出すには、ピーク前の流入量をカットするのが効果的であり、逆にこの時期の放流量を増加させると下流基準点のハイドログラフのピークに重なり洪水を増幅させる危険があることになる。

したがって、現行管理の流入量ハイドログラフと貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いた洪水調節計算結果より、ダムの貯留量の差分が小さいため、最大放流量がより小さくなる現行の管理方法（ダム直上で観測された貯水位による管理）の方が有効であるといえる。

5. おわりに

本稿では、現行管理の流入量ハイドログラフとこれにピークの遅れや潰れを戻した貯水池上流端の想定流

入量ハイドログラフについて洪水調節計算を行い、両者による貯留量や放流量の変化を分析した。結果として、現行管理の流入量ハイドログラフと貯水池上流端の想定流入量ハイドログラフを用いた洪水調節計算結果より、ダムの貯留量の差分が小さく、最大放流量がより小さくなる現行の管理方法（ダム直上で観測された貯水位による管理）の有効性を示した。

参考文献

- 1) 藤原圭吾,阿部智,福田託朗：洪水時における温井ダム貯水池内流動解析（中間報告）
- 2) 塚本洋祐,福岡捷二,大山修：草木ダム貯水池の洪水流動を考慮した洪水流入量,放流量の評価方法に関する研究,河川技術論文集,第22巻,2016年6月
- 3) 椿東一郎：水理学Ⅱ,森北出版,1974年
- 4) 日本大ダム会議：ダム設計基準,改訂,1971年

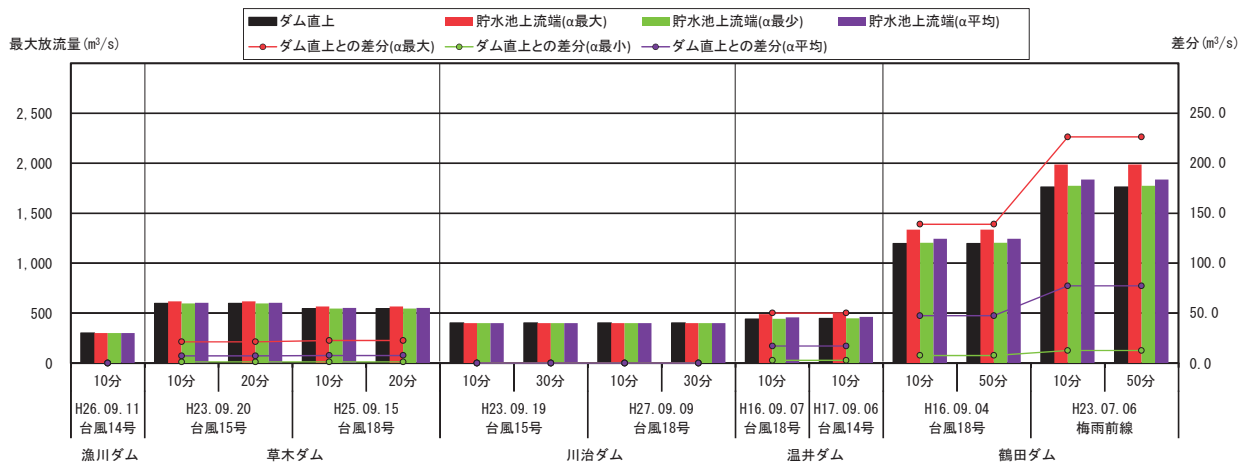


図-8 各ダムの放流量の比較結果

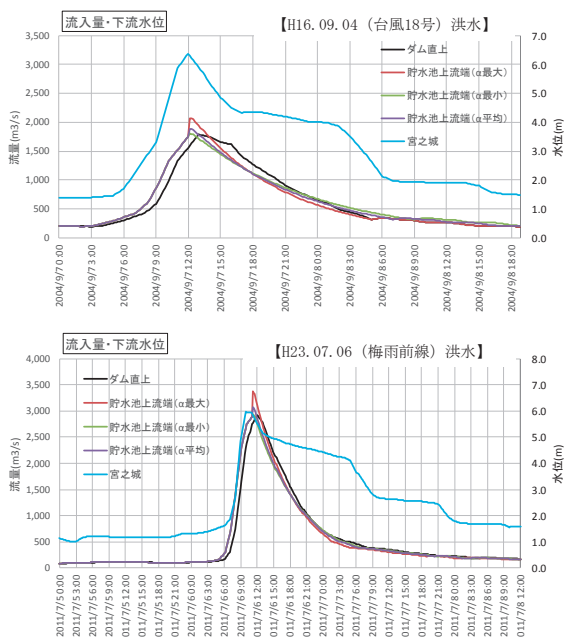


図-9 鶴田ダムの流入量と下流宮之城水位観測所水位の重ね図

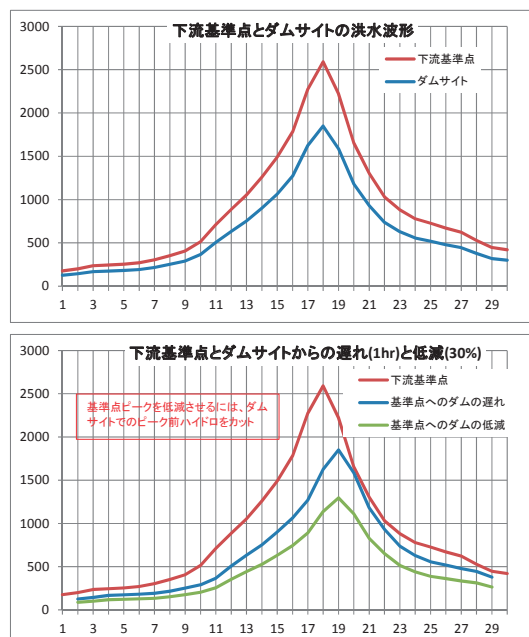


図-10 ダム地点の流出波形が下流地点に与える影響の概念図