

## 17. 霞川調節池における堰高の検討

Investigation on the Height of a Weir at Kasumi River Regulation Reservoir

技術支援課 杉原大介、高崎忠勝、岩屋隆夫

### 1. はじめに

霞川調節池(以下「調節池」という)は、平成 18 年度に完成したが、調節池上流部の霞川の河道は 1 時間 50mm の降雨に対応した改修が完成していないため、現在の調節池は、霞川の河道を暫定断面として運用されている。一方で、調節池に流入がある時の実際の降雨量や流量については、調節池供用後のデータが不足していることから十分に把握されていない。このことから今後は、実態に即した調節池の効率的な運用が必要とされる。

本報告では、調節池から約 500m 下流にある霞川水位観測所の水位データと西多摩建設事務所に設置されている青梅雨量観測所の雨量データを用いてタンクモデルを構築し、想定される降雨における霞川水位観測所の河川水位を推定する。推定した河川水位や過去の水位データをもとに不等流計算により、調節池付近における水位を計算し現在の堰高と比較及び考察した。

### 2. 霞川調節池の概要

霞川は、荒川水系入間川に合流する延長 15.8km の一級河川で、下流部の 10.3km は埼玉県管理となっており、この区間の改修には相当な期間を要することが予想される。一方、都が管理する区間(延長 5.5km)の流域の市街化は著しく、水害の早期軽減が求められている。このため埼玉県区間への流下量を調節するとともに都区間の改修を行うことが可能となるよう、都は管理する区間の下流部に霞川調節池を設置した。霞川調節池は、地下式二層構造、貯留

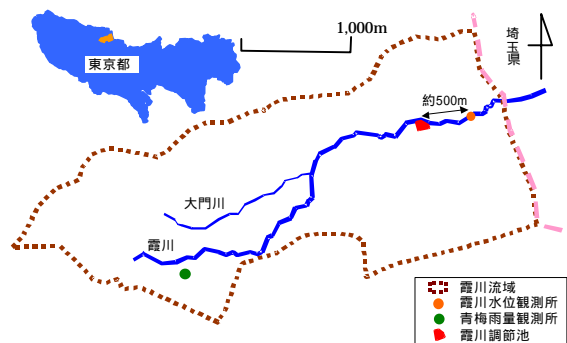


図 - 1 検討対象範囲

量 88,000m<sup>3</sup> の能力を有する。(図 - 1 参照)

### 3. 検討における目標と検討フロー

霞川の現在の流下能力は、1 時間 30mm の降雨に対応したものであるが、調節池を設置し、調節池上流の河道を改修することにより、調節池上流においては 1 時間 50mm の降雨に対応できる計画となっている(図 - 2 参照)。本報告では、1 時間 30mm の降雨時の調節池越流堤における河川水位を推定することを目標とし、以下の流れで検討する。

#### 1) 出水イベントの抽出

霞川調節池から約 500m 下流にある霞川水位観測所の水位データから、過去の出水時の流量を推定する。

#### 2) タンクモデルの構築

調節池供用前の流域の雨量データと 1) で推定した流量データからタンクモデルを構築し、霞川水位観測所における雨量と流量の関係を推定する。構築したタンクモデルを用いて 1 時間 30mm の降雨時の流量と水位を求める。

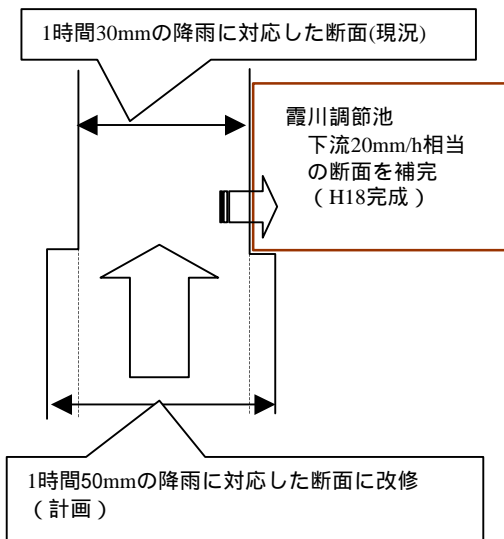


図 - 2 霞川調節池及び霞川の計画イメージ

### 3) 不等流計算により河川水位を推定

不等流計算により、2) で求めた霞川水位観測所における流量と水位を用いて、霞川調節池越流堤における水位を推定する。また現在の堰高と比較し考察する。

## 4. 検討結果

### 1) 出水イベントの抽出

#### 過去の出水データの抽出

2000年から2006年において調節池から約500m下流に位置する霞川水位観測所(以下「テレメータ」という)における水位データと青梅観測所の雨量データを整理し、解析に用いる出水イベントを抽出する。テレメータの水位データを解析等で用いる場合は、テレメータの水位が正しい値を示しているかを確認するためにテレメータの水位と観測水位を比較することが望ましい。しかし、現地において過去に水位観測を実施した記録がないため、ここではテレメータの水位が正しい値を示していることを前提に整理する。

解析では、数回の出水イベントを抽出する必要があるため、テレメータの水位データの中で、水位計感知点から1m以上水位が上昇した出水イベントをピックアップし、表-1の11出水イベントが抽出された。11出水イベントのうち、テレメータから約

3.5km離れた場所に位置する青梅観測所において前1時間に降雨が認められない(時間雨量0mm)のイベントを異常値としたところ5出水イベントが除外された。これにより表-1の備考のからの出水イベントが抽出された。は水位計感知点から1m未満であったがの次に高い水位を記録した降雨であることから比較の意味で出水イベントとして採用した。最も高い水位を記録したのは、2005年9月4日の降雨で、水位計感知点の下限値から1.39m上昇した。図-3~図-8は、からの出水イベントについて、テレメータの1分間隔の水位と青梅観測所の10分間雨量の推移を表したものである。

表 - 1 霞川水位観測所における水位上昇記録  
(水位計感知点から1m以上上昇)

出水イベント (年月日時)	最高水位 (A.P.+m)	雨量 (mm)	備考
1 2001/1/15 9:00	157.64	0	異常値
2 2006/2/4 13:00	155.80	0	異常値
3 2006/2/13 11:00	155.17	0	異常値
4 2006/1/30 11:00	155.15	0	異常値
5 2005/9/4 17:00	154.89	43	
6 2002/10/1 20:00	154.85	14	
7 2002/8/19 3:00	154.73	30	
8 2006/2/10 11:00	154.69	0	異常値
9 2002/7/10 23:00	154.65	19	
10 2004/10/9 18:00	154.57	6	
11 2000/7/8 4:00	154.12	18	

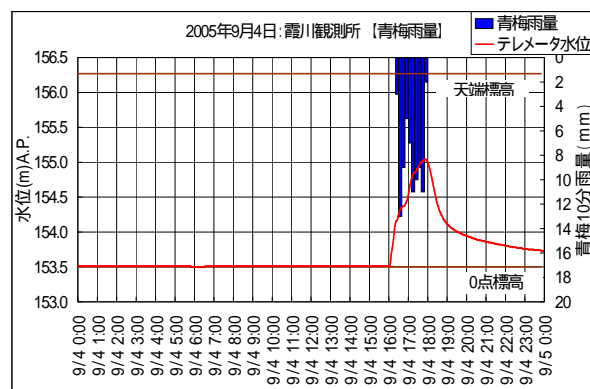


図 - 3 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
(2005年9月4日)

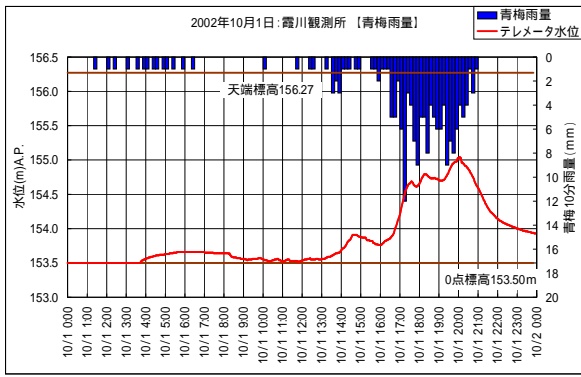


図 - 4 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( 2002年10月1日 )

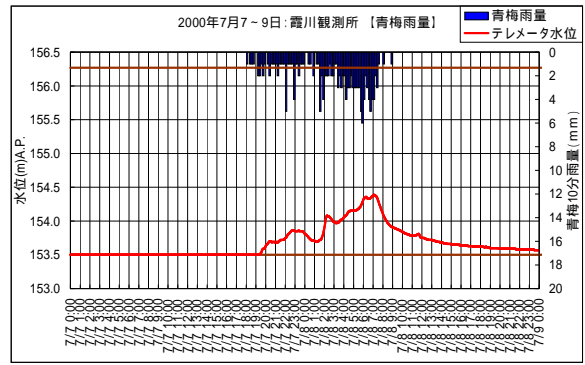


図 - 8 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( 2000年7月7~9日 )

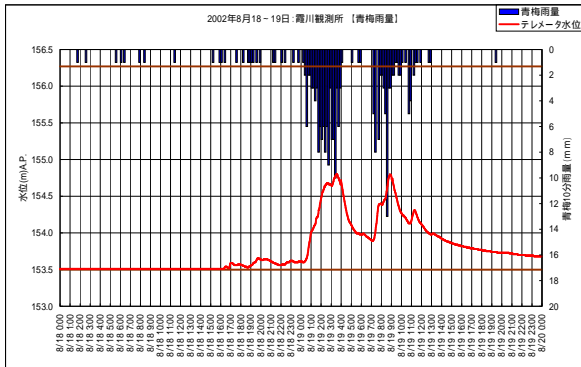


図 - 5 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( 2002年8月18~19日 )

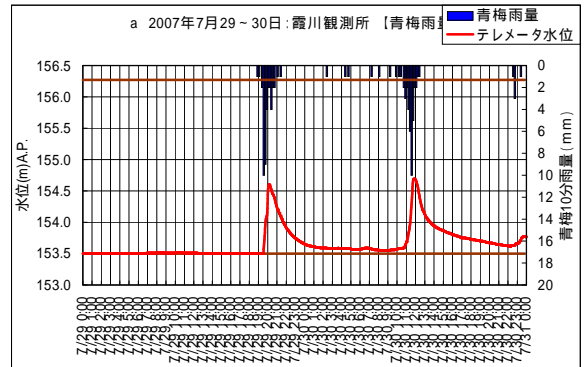


図 - 9 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( a 2007年7月29~30日 )

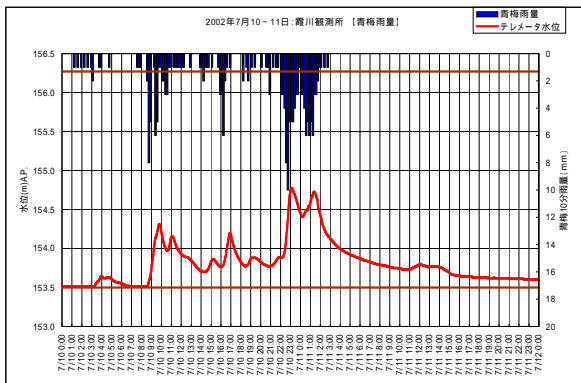


図 - 6 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( 2002年7月10~11日 )

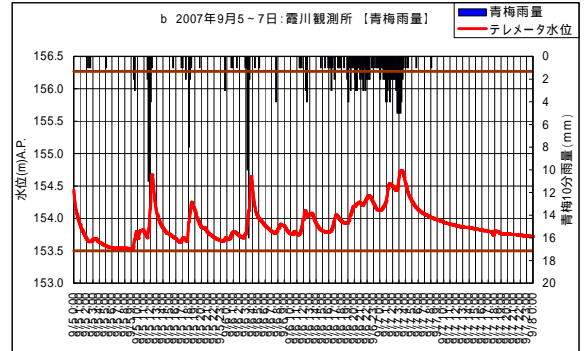


図 - 10 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( b 2007年9月5~7日 )

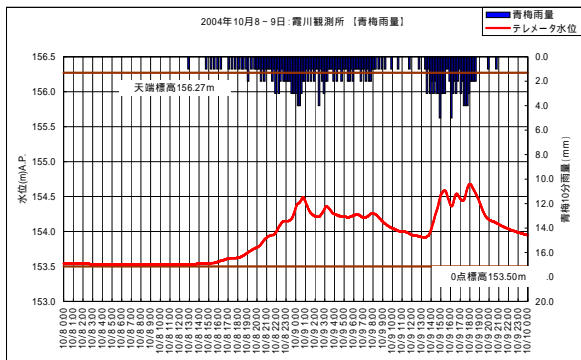


図 - 7 霞川水位観測所水位と青梅観測所雨量  
( 2004年10月8~9日 )

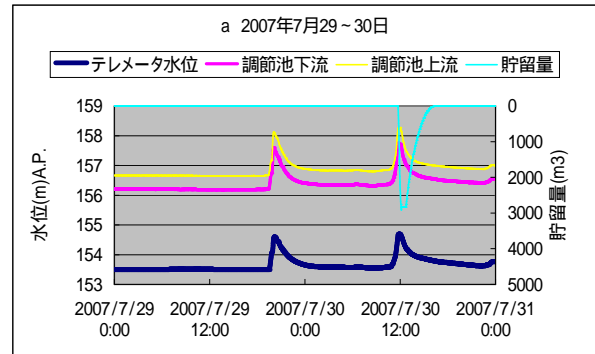


図 - 11 水位と調節池貯留量  
( a 2007年7月29~30日 )

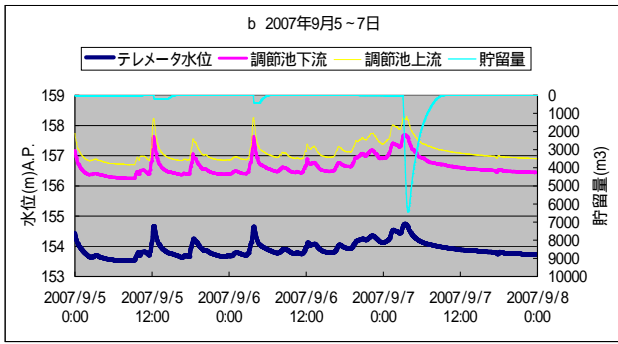


図 - 12 水位と調節池貯留量  
(b 2007年9月5～7日)

表 - 2 ～ の出水イベントの雨量・水位記録

出水イベント	時間最大雨量 (mm)	総雨量 (mm)	最大水位 (霞川水位観測所)	最大流量 (m³/s)
2005年9月4日	55	80	155.04	38.89
2002年10月1日	41	183	155.04	38.89
2002年8月19日	42	225	154.80	29.31
2002年7月10日	37	208	154.77	28.21
2004年10月8日	20	236	154.68	25.03
2000年7月7日	24	159	154.39	16.07
a 2007年7月29日～30日	30	89	154.69	25.37
b 2007年9月5日～7日	27	237	154.74	27.13

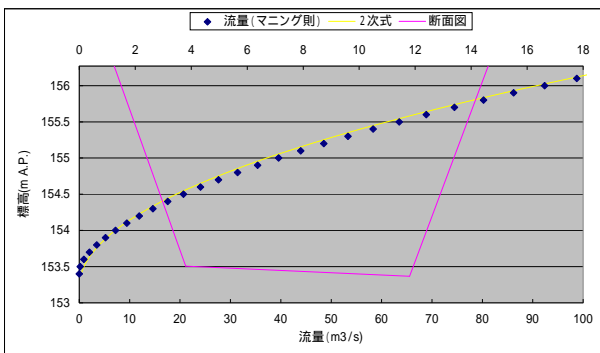


図 - 13 霞川水位観測所における水位 流量曲線

から の出水イベントについて、降雨量の増加とともに水位が上昇する傾向にある。また表 - 2 のとおり、最も大きい時間最大雨量を記録したのは、2005年9月4日で55mm/h、最も大きい総雨量を記録したのは、2004年10月8日で236mmであった。一方、最も高い水位を記録したのは、2005年9月4日であった。水位の上昇は、総雨量よりも時間最大雨量の大きさの影響を受ける傾向にある。

図 - 9・図 - 10 は、霞川調節池が供用してから調節池に流入があったときの出水イベントで、図 - 11・図 - 12 はその時の調節池上流端水位・下流端水位・テレメータ水位と調節池貯留量を時系列で示し

たものである。テレメータ水位が154.7m(A.P.)前後である時に、調節池への流入が起きている。2007年7月29～30日は、27分間で約2,900m³の貯留量(1.8m³/s)、2007年9月5～7日は、46分間で約6,400m³の貯留量(2.3m³/s)を記録している。表 - 2 のとおり から の出水イベント時の最高水位は、154.7m(A.P.)よりも高いことから、この時に調節池があった場合、調節池への流入があると考えられる。

### 最大流量の算定

後述する不等流計算により河川水位を計算するが、その計算の初期値として流量の値を必要とする。河川における流量の算出は、洪水時に水位と流量を観測し、水位 - 流量曲線(H-Q 式)を求めることが一般的であるが、当該地においては、過去に流量観測を実施したことがないため、理論式であるマンニング則を用いて、霞川水位観測所における水位 - 流量曲線(H-Q 式)を作成した。H-Q 式作成には、霞川水位観測所の断面データ、現況勾配(1/200)、計画粗度(0.03)を採用し、図 - 13 のとおりの水位と流量となり、2次式により H-Q 式を求めたところ式(1)を得た。

$$Q = 11.742 \times (H - 153.22)^2 \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

ここで、Q は流量(m³/s)、Hは水位(m A.P.)である。当該地は、計画降雨 30mm/h に対応した断面であるが、計画高 155.5m(A.P.)を式(1)に入力すると高水流量 61.1m³/s となる。計画降雨 50mm/h・流出係数 0.5 の時の計画高水流量が 80m³/s であることから、作成した H-Q 式は、計画上の数値と大きな乖離がないことを確認した。式(1)を用いて表 - 2 のとおり出水イベント ～ 、a、bにおける最大流量を得た。最も大きい流量となったのは、2005年9月4日、2002年10月1日で38.89m³/sであった。

### 2) タンクモデルの構築

～ の出水イベントにおける雨量と流量データを用いて、図 - 14 に示した3段のタンクモデルを用いて降雨流出モデルを構築した。短期流出特性の解

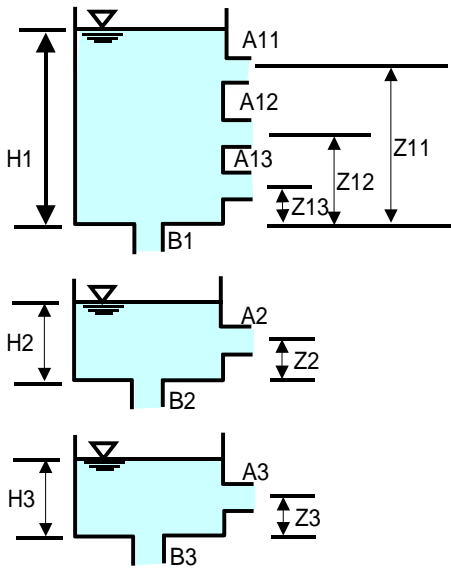


図 - 14 使用したタンクモデル

析においては3段のタンクモデルが使われることが多く、本モデルにおいても水理公式集((社)土木学会、平成11年度版)の中で紹介されているものを採用した。計算は、最上段タンクに10分間雨量(mm/10min)を入力し、タンク側方からの総流出量(mm/10min)を流量とした。総流出量は、式(2)により流量に換算する。

$$Q = \left( q \times \frac{10^{-3}}{600} \right) \times \left( A \times (10^3)^2 \right) = \frac{q}{0.6} A \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここで、Qは流量(m<sup>3</sup>/s)、qは総流出量(mm/10min)、Aは流域面積(km<sup>2</sup>)である。

値を決める必要のあるモデル定数は、流出孔の大きさ(A11、A12、A13、A2、A3)、流出孔の高さ(Z11、Z12、Z13、Z2、Z3)、浸透孔の大きさ(B1、B2、B3)、初期貯留高(H1、H2、H3)の計16個である。

タンクモデル定数は、式(3)の最小二乗誤差LS(Least-square)の値を最小とするモデル定数をSCE-UA法によって探索した。最小二乗誤差は流出モデルの適合性の判定に広く使われている。SCE-UA法は、効率的な自動最適手法として、多くの事例が報告されている。

$$LS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{Oi} - Q_{ci})^2 \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

ここで、Q<sub>o</sub>は観測流出高(mm/10min)、Q<sub>c</sub>は計算流出高(mm/10min)、Nは計算回数(解析期間/10min)である。

SCE-UA法による探索に際して事前に探索範囲を設定する必要がある。表-3に示した探索範囲を設定し、出水イベント毎にモデル定数を探索した結果、表-4の同定値となった。出水イベント毎にピーク流出高(mm)と総流出高(mm)について整理したものが表-5であり、SCE-UA法により探索した計算値は、観測値を良好に再現している。表-4の平均値とは、出水イベント毎に得られた同定値の平均をとったものであるが、同平均値を表-6のとおり本モデルのモデル定数として設定した。

表 - 3 探索範囲

定数	単位	探索範囲	定数	単位	探索範囲
A11	day <sup>-1</sup>	0.05~15	Z11	mm	15~50
A12	day <sup>-1</sup>	0.005~0.6	Z12	mm	9~15
A13	day <sup>-1</sup>	0.005~0.45	Z13	mm	2~9
A2	day <sup>-1</sup>	0.005~0.45	Z2	mm	0.5~3
A3	day <sup>-1</sup>	0~0.15	Z3	mm	0.5~4
B1	day <sup>-1</sup>	0.005~0.45	H1	mm	0~15
B2	day <sup>-1</sup>	0.005~0.3	H2	mm	0~30
B3	day <sup>-1</sup>	0~0.1	H3	mm	0~1000

表 - 4 出水イベント毎に同定したモデル定数

	2005/9/4	2002/10/1	2002/8/18	2002/7/10	2004/10/8	2000/7/7	平均値
A11	0.471	0.295	1.218	0.761	0.773	0.735	0.709
A12	0.005	0.005	0.005	0.035	0.452	0.385	0.148
A13	0.005	0.005	0.005	0.005	0.013	0.005	0.006
A2	0.120	0.118	0.095	0.093	0.110	0.067	0.101
A3	0.006	0.006	0.008	0.005	0.008	0.004	0.006
B1	0.244	0.187	0.279	0.151	0.208	0.279	0.225
B2	0.206	0.196	0.206	0.192	0.138	0.172	0.185
B3	0.000	0.006	0.012	0.006	0.001	0.010	0.006
Z11	41	34	30	31	40	21	33
Z12	9	10	15	14	15	15	13
Z13	4	9	7	9	9	9	8
Z2	1	2	3	2	3	3	2
Z3	4	1	1	1	1	1	1
H1	1	6	5	0	6	6	4
H2	0	0	1	2	0	0	0
H3	20	15	10	18	12	24	17

表 - 5 出水イベント毎のピーク流出高と総流出高

	ピーク流出高(mm)		総流出高(mm)	
	観測値	計算値	観測値	計算値
2005/9/4	3.12	3.05	50.1	49.8
2002/10/1	3.10	2.75	84.7	84.6
2002/8/18	2.36	2.41	119.0	117.5
2002/7/10	2.25	2.09	118.0	117.9
2004/10/8	2.01	1.80	168.7	168.5
2000/7/7	1.29	1.24	71.4	70.8



表 - 6 モデル定数

定数	単位	同定値	定数	単位	同定値
A11	day <sup>-1</sup>	0.709	Z11	mm	33
A12	day <sup>-1</sup>	0.148	Z12	mm	13
A13	day <sup>-1</sup>	0.006	Z13	mm	8
A2	day <sup>-1</sup>	0.101	Z2	mm	2
A3	day <sup>-1</sup>	0.006	Z3	mm	1
B1	day <sup>-1</sup>	0.225	H1	mm	4
B2	day <sup>-1</sup>	0.185	H2	mm	0
B3	day <sup>-1</sup>	0.006	H3	mm	17

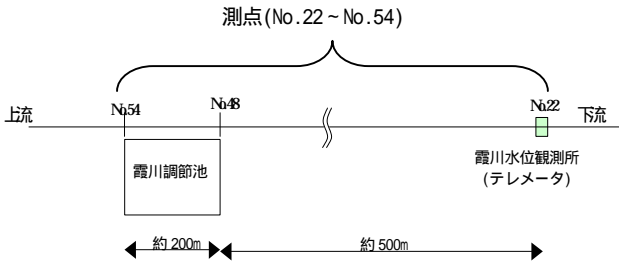


図 - 15 不等流計算における河川断面の位置図

### 3) 不等流計算により河川水位を推定

#### 1) 不等流計算の準備

不等流計算により、2) で求めた霞川水位観測所における流量と水位を用いて、調節池越流堤(No.48 ~ No.54)における水位を推定する。不等流計算には、HEC-RAC を用いた。HEC-RAC<sup>2)</sup>は、米国陸軍工兵隊・水工学センターが開発したもので、不等流計算のソフトウェアとして、広く用いられている。不等流計算では、河川の断面のデータを入力する必要があるが、計算では、図 15 のとおり霞川調節池の上流端から霞川水位観測所まで、約 40m 間隔で 18 箇所の現況断面を入力した。

#### 2) 不等流計算による河川水位の再現性の確認

不等流計算による河川水位の再現性を確認するために、霞川調節池供用後(2007年4月以降)に、調節池に流入があった出水イベント a、出水イベント b について計算し、図 - 16、図 - 17、表 - 7 のとおりとなった。

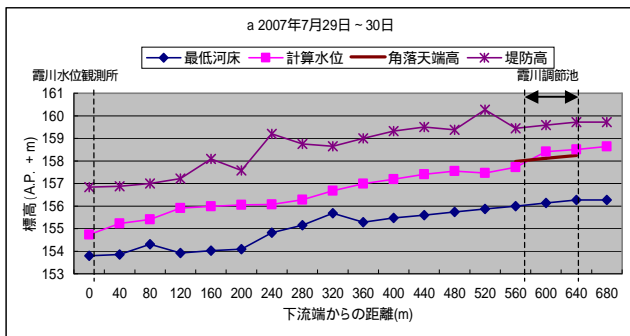


図 - 16 不等流計算による河川水位 (a 2007年7月29~30日)

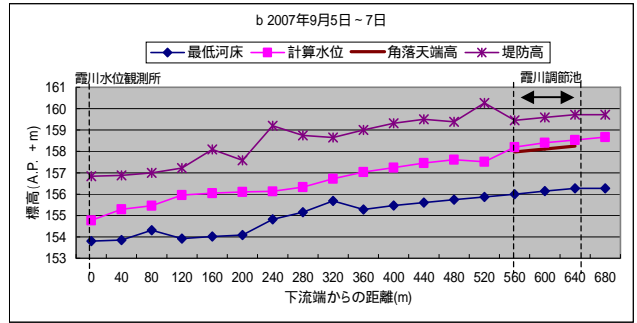


図 - 17 不等流計算による河川水位 (b 2007年9月5~7日)

表 - 7 不等流計算による河川水位比較表

River Sta	通加距離	越流堤頂	角落天端高	a 2007年7月29日 ~ 30日		b 2007年9月5日 ~ 7日	
				観測水位	計算水位	観測水位	計算水位
22	0		+0.125	観測水位 (実績)	154.73	までの距離 (実績)	154.77
24	40			155.23 (m)		155.29 (m)	
26	80			155.41		155.46	
28	120			155.91		155.96	
30	160			155.99		156.05	
32	200			156.05		156.1	
34	240			156.07		156.13	
36	280			156.28		156.33	
38	320			156.68		156.72	
40	360			156.99		157.03	
42	400			157.19		157.24	
44	440			157.41		157.46	
46	480			157.55		157.61	
48	520	157.72		157.76	157.46	157.7	157.51
50	560	157.85	157.975	157.72	0.255	158.2	-0.225
52	600	157.99	158.115	158.41	-0.295	158.41	-0.295
54	640	158.12	158.245	158.51	-0.265	158.53	-0.285
56	680	158.25		158.27	158.64	158.31	158.67

調節池下流端 (No.48) における計算水位は、観測水位の最大値より、0.30m~0.19m 小さい値となったが、調節池越流堤における水位は、角落天端高よりも約 0.23m~0.3m 高く、調節池に流入があることを示す値となり、不等流計算による河川水位の再現性を確認することができた。

#### 3) 過去の出水における河川水位

不等流計算の再現性を確認することができたことから過去の出水 (出水イベント ~ ) における河川水位を計算し、図 - 19~図 - 23、表 - 8 のとおりとなった。

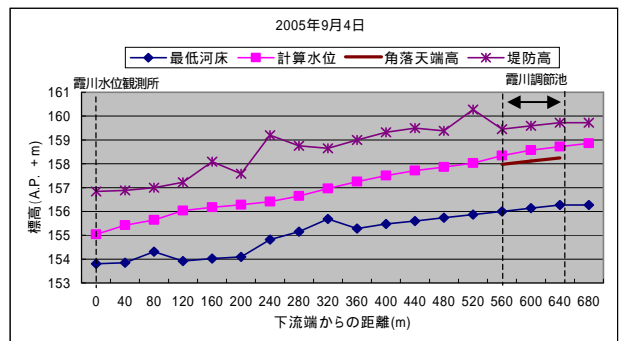


図 - 18 不等流計算による河川水位 ( 2005年9月4日)

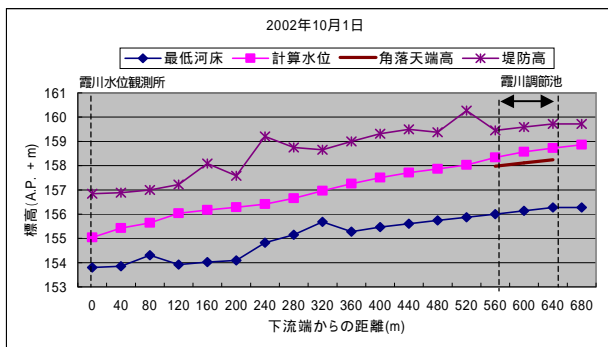


図 - 19 不等流計算による河川水位  
( 2002年10月1日)

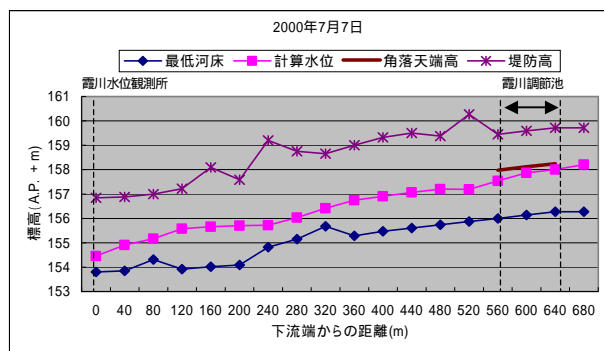


図 - 23 不等流計算による河川水位  
( 2000年7月7~9日)

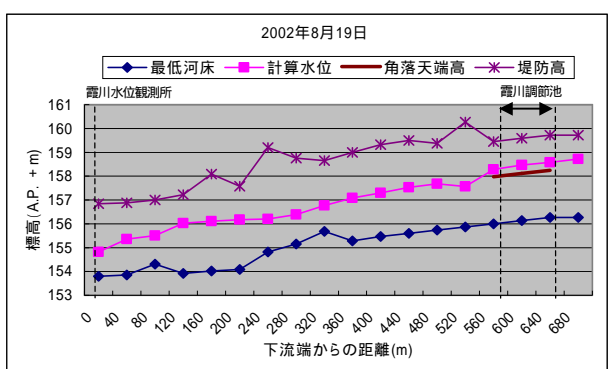


図 - 20 不等流計算による河川水位  
( 2002年8月18~19日)

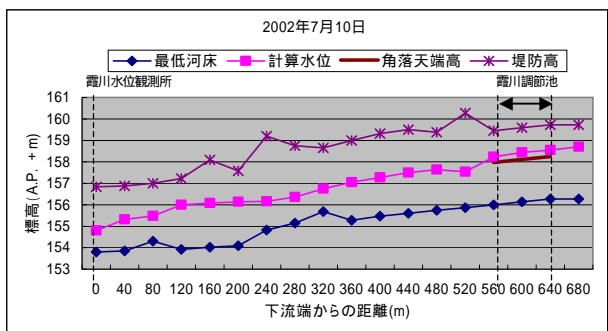


図 - 21 不等流計算による河川水位  
( 2002年7月10~11日)

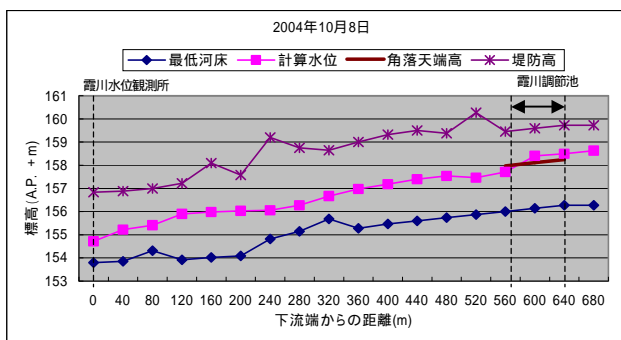


図 - 22 不等流計算による河川水位  
( 2004年10月8~9日)

表 - 8 不等流計算による河川水位比較表(2)

River Sta	追加距離	2005年9月4日	2002年10月1日	2002年8月19日	2002年7月10日	2004年10月8日	2000年7月7日
22	0	155.04	155.04	154.82	154.8	154.72	154.45
24	40	155.42	155.42	155.36	155.32	155.22	154.91
26	80	155.64	155.64	155.51	155.48	155.41	155.17
28	120	156.03	156.03	156.03	156	155.9	155.58
30	160	156.17	156.17	156.11	156.08	155.98	155.66
32	200	156.28	156.28	156.17	156.14	156.03	155.7
34	240	156.41	156.41	156.2	156.16	156.06	155.72
36	280	156.65	156.65	156.39	156.36	156.27	156.03
38	320	156.96	156.96	156.77	156.75	156.67	156.42
40	360	157.25	157.25	157.08	157.05	156.98	156.75
42	400	157.5	157.5	157.3	157.27	157.18	156.91
44	440	157.71	157.71	157.53	157.5	157.4	157.07
46	480	157.86	157.86	157.68	157.64	157.54	157.2
48	520	158.03	158.03	157.87	157.84	157.74	157.49
50	560	158.34	158.34	158.28	158.24	158.14	157.84
52	600	158.57	158.57	158.47	158.44	158.34	158.07
54	640	158.72	158.72	158.58	158.55	158.45	158.1
56	680	158.86	158.86	158.72	158.7	158.63	158.21

出水イベント ~ については、調節池堰付近の水位は、越流堤よりも高くなり、調節池があった場合、流入が起こる結果となった。出水イベント ~ は、テレメータの水位データの中で、水位計感知点から1m以上(154.5m(A.P.)以上)の水位上昇があった出水イベントであるが、2007年7月29~30日と2007年9月5~7日に調節池に流入があった時には、テレメータ水位は、154.7m(A.P.)前後であった。このことから、本解析で得た河川水位は、実現象と整合がとれていることが分かった。

) 1時間30mmの降雨時の河川水位

1時間30mmの降雨の波形は、河川計画で広く用いられている中央集中波形とした。降雨強度式は、式(4)を用いた。

$$r = \frac{700}{\frac{2}{t^3} + 8.0} \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

ここで、rは降雨強度(mm/h)、tは到達時間(min)、である。これにより、10min間隔の中央集中型

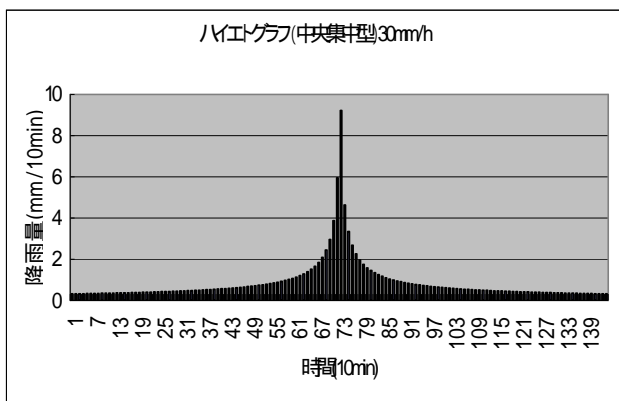


図 - 24 ハイエットグラフ(中央集中型)30mm/h

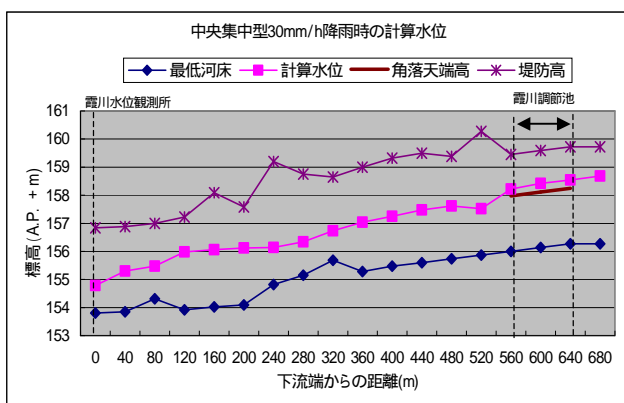


図 - 25 不等流計算による河川水位  
(中央集中型)30mm/h

表 - 9 不等流計算による河川水位比較表(3)

River Sta	追加距離	越流堤頂	角落天端高 + 0.125	中央集中30mm	
				計算水位	角落天端
22	0			154.78	までの距離
24	40			155.3	(m)
26	80			155.47	
28	120			155.98	
30	160			156.06	
32	200			156.12	
34	240			156.14	
36	280			156.34	
38	320			156.73	
40	360			157.04	
42	400			157.25	
44	440			157.48	
46	480			157.62	
48	520	157.72		157.52	
50	560	157.85	157.975	158.22	-0.245
52	600	157.99	158.115	158.42	-0.305
54	640	158.12	158.245	158.54	-0.295
56	680	158.25		158.68	

1 時間 30mm の降雨の波形は図 - 24 のようになり、計算水位は図 - 25、表 - 9 のとおりとなった。中央集中型 30mm/h 降雨時の計算水位は、霞川調節池越流堤において、現在の角落天端高から約 0.25m ~ 0.3m 高い水位となった。このことから、中央集中型 30mm/h 以下の降雨において、霞川調節池に流入がないようにするためには、現在の角落天端の高さから約 0.3m 高上げする必要がある。

## 5. まとめ

既存の雨量データ、水位データ、河川断面データを基礎データとして、タンクモデルと不等流計算を用いることで、過去の出水や計画降雨における河川水位を推定することができた。ただし、本解析で用いた水位データや流量は、観測により得たものではないので、実際のものとは異なる可能性がある。今後、効率的な調節池運用に向けてより精度の高い河川水位を推定するためには、テレメータ水位と実水位や流量の関係を把握する必要があり、そのためには現地における流量等の観測が必要とされる。以下 4 点を本報告のまとめとしたい。

2007 年 7 月 29 ~ 30 日と 2007 年 9 月 5 ~ 7 日のデータから、テレメータ水位が、154.7m(A.P.) 前後のときに調節池に流入があった。各出水イベントについて、3 段のタンクモデルで、SCE-UA 法によりモデル定数を同定することで、観測値を良好に再現することができた。不等流計算のソフトウェア HEC-RAC を用いて、調節池に流入があった河川水位を計算することで、調節池への流入を良好に再現することができた。HEC-RAC を用いて計算した結果から 1 時間 30mm の降雨時の水位は、調節池越流堤において、現在の角落天端高から約 0.25m ~ 0.3m 高い水位と推定された。

## 参 考 文 献

- 1) 高崎忠勝、杉原大介、岩屋隆夫：野川流域の長期流出特性、都土木技術センター年報、49-55、2007
- 2) 早川博（北見工業大学工学部土木開発工学科助教授）：海跡湖に注ぐ河川流域の土砂動態に関する研究(2)、(財)北海道河川防災研究センター、研究所紀要( )、平成 18 年 10 月発行