

2. 治 水

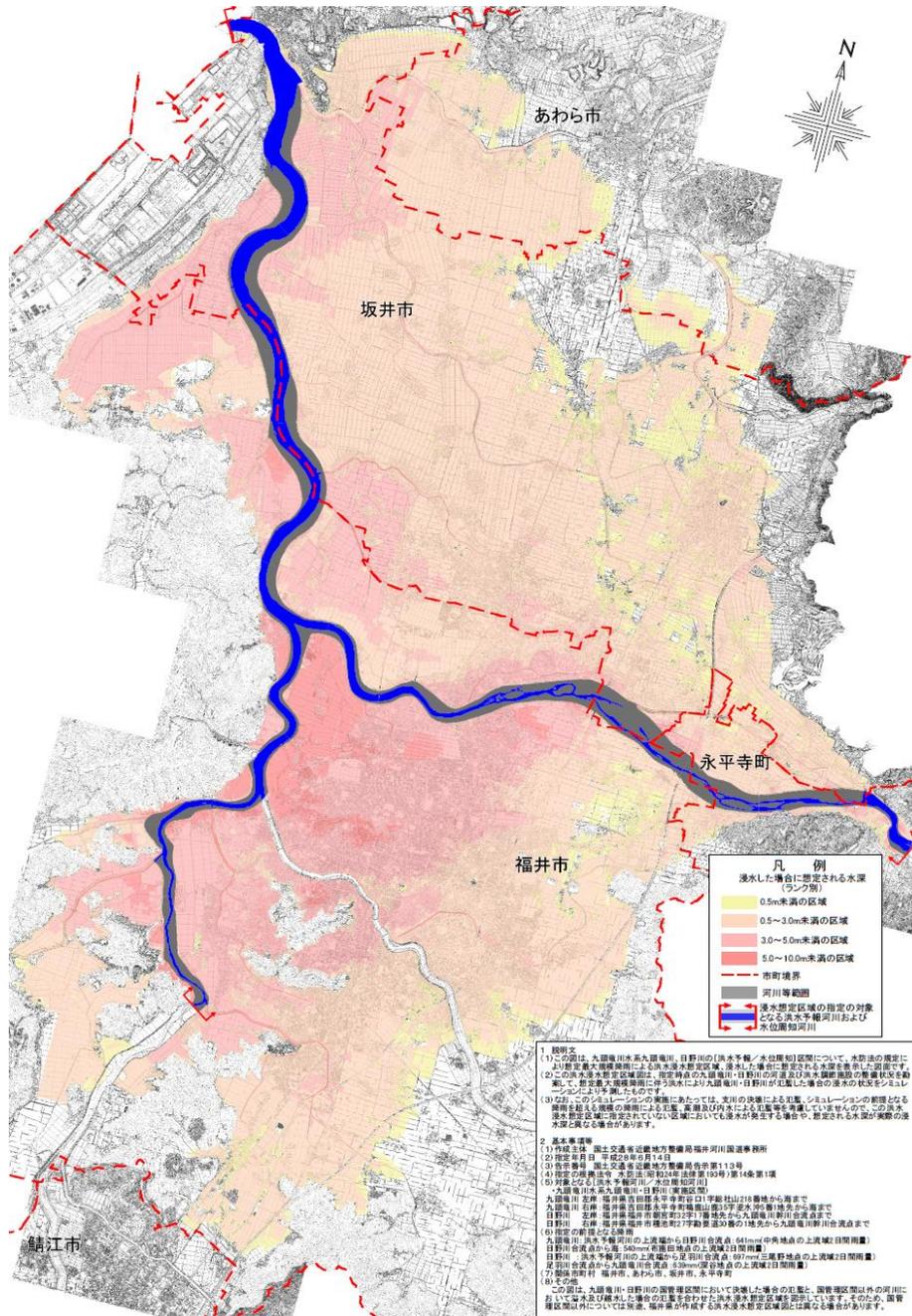
2.1 洪水浸水想定区域の状況

2.1.1 洪水浸水想定区域の状況

図 2.1-1 に示す「浸水想定区域図」は、九頭竜川水系九頭竜川・日野川の〔洪水予報／水位周知〕区間について、水防法の規定により想定最大規模降雨による洪水浸水想定区域と、当該区域が浸水した場合に想定される水深を示したものである。

この洪水浸水想定区域は、指定時点（平成 28 年 6 月 14 日）の河道および洪水調節施設の整備状況を勘案して、想定最大規模降雨に伴う洪水により九頭竜川・日野川がはん濫した場合に想定される浸水の状況を、シミュレーションにより求めたものである。

浸水想定区域には、流域の福井市（旧福井市、旧清水町）、永平寺町（旧永平寺町、旧松岡町）、坂井市（旧丸岡町、旧坂井町、旧春江町、旧三国町）を含む。



【出典：九頭竜川水系九頭竜川・日野川洪水浸水想定区域図，平成 28 年 6 月】

図 2.1-1 九頭竜川・日野川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）

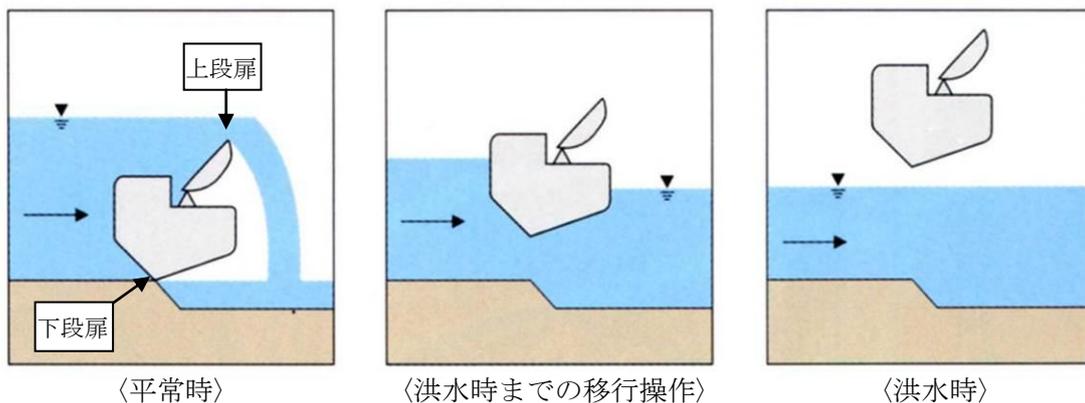
2.2 洪水時の管理計画

2.2.1 洪水時制御の運用計画

鳴鹿大堰では、出水時における貯水池への流入量 $500\text{m}^3/\text{s}$ を洪水時制御開始流量、さらに $2,600\text{m}^3/\text{s}$ を全開放流制御移行流量として設定し、洪水時のゲート操作を行い、洪水を安全に流下させる管理を行っている。

洪水時には、図 2.2-1 に示すとおり、平常時におけるオーバーフロー操作から、下段扉によるアンダーフロー操作に移行させ、洪水を安全に流下させるようゲート操作を行っている。

鳴鹿大堰の洪水時の操作を含む全体操作の概念図は図 2.2-2 に示すとおりである。



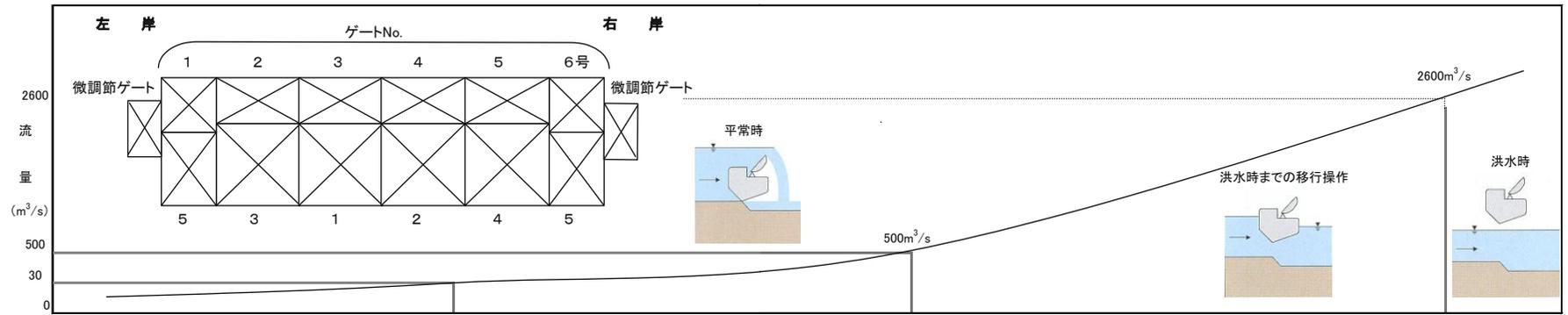
〈平常時〉
上段扉(微調節ゲート)によるオーバーフロー操作で、常時満水位を維持する。

〈洪水時までの移行操作〉
流入量が $500\text{ m}^3/\text{s}$ を越えた時は、下段扉によるアンダーフロー操作に移行する。

〈洪水時〉
洪水時には、すべてのゲートを全開にし、洪水を安全に流下させる。

【出典：九頭竜川鳴鹿大堰モニタリング調査報告書 平成17年3月】

図 2.2-1 鳴鹿大堰ゲート操作

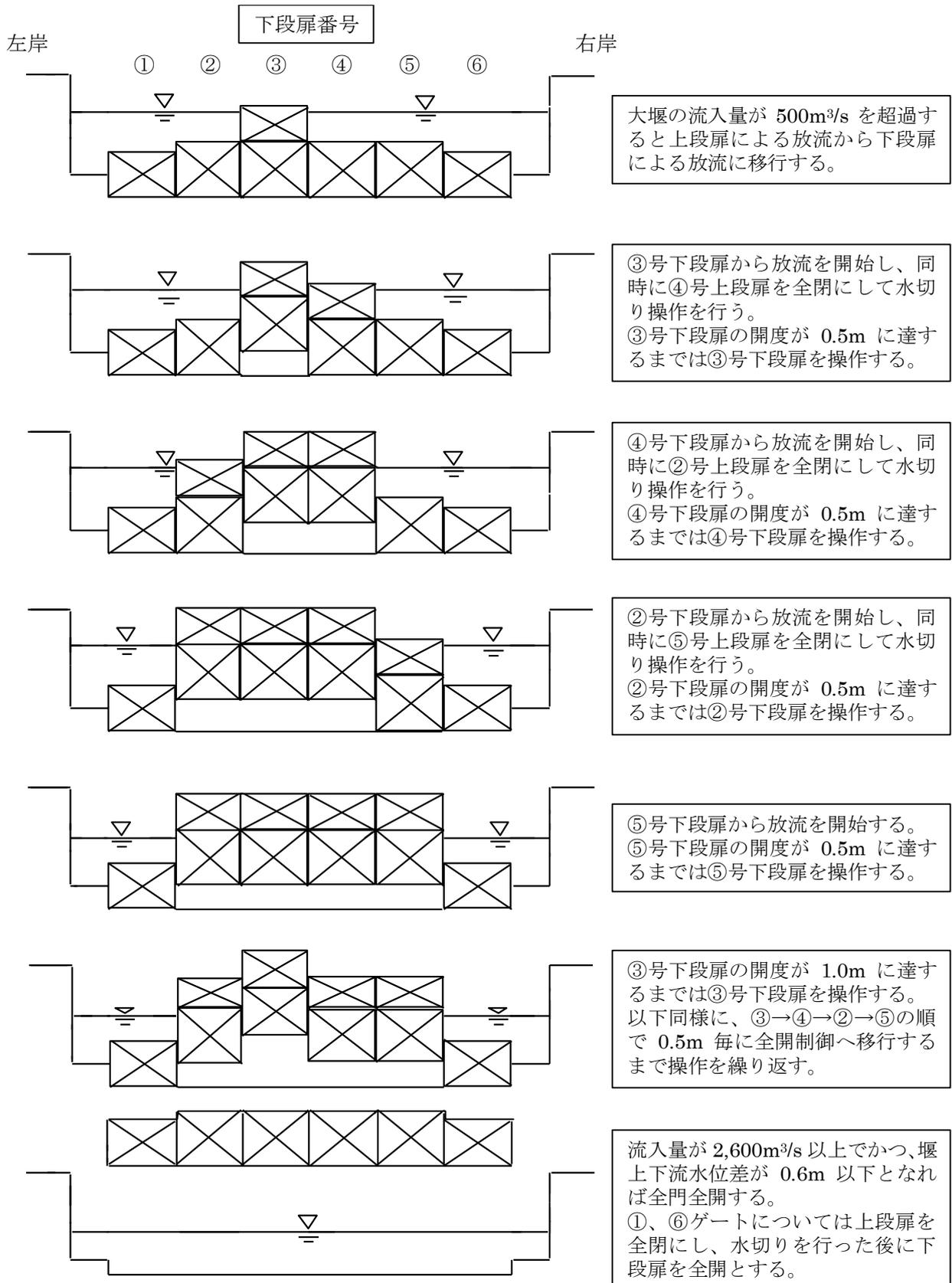


微調節ゲート	流量調節 No.1	No.2 全開	
主ゲート (流量調節ゲート)	上段扉	2号ゲート 100cm No.4, 150cm No.7, No.10	
	3号ゲート	全閉	
	4号ゲート	100cm No.5, 150cm No.8, No.11	
	5号ゲート	100cm No.3, 150cm No.5	
	下段扉 (洪水吐ゲート)	2号ゲート No.16, No.20	全開
	3号ゲート No.14, No.18	全開	
	4号ゲート No.15, No.19	全開	
	5号ゲート No.17, No.21	全開	
土砂吐ゲート	上段扉	100cm No.2	水切
	下段扉		全開
魚道ゲート	越流水深制御		貯水位がT.P.34.30m以下となれば魚道の機能はない

ゲート開度は、操作卓表示数字

【出典：鳴鹿大堰操作マニュアル 平成18年4月】

図 2.2-2 洪水時操作概念図



【出典：鳴鹿大堰操作マニュアル 平成18年4月】

図 2.2-3 下段扉の操作順序

2.3 洪水時の対応状況

2.3.1 出水の状況

平成 11 年 3 月の鳴鹿大堰暫定運用開始以降、平成 29 年までに 190 回の洪水警戒体制及び 379 回の予備警戒体制をとってきた（表 2.3-1）。下段扉の操作(流入量 500m³/s 以上)は平成 11 年から平成 29 年までの間に 118 回行われ、平成 11 年 3 月以降の最大ピーク流入量は平成 17 年 7 月 4 日の 2,419m³/s である（表 2.3-2）。

暫定運用開始から 19 シーズンの洪水期を経た現在まで、下段扉の全開操作を伴う流入量 2,600m³/s 以上の洪水は生じていない。

表 2.3-1 鳴鹿大堰暫定運用開始後の警戒体制

	予備警戒体制 の回数	洪水警戒体制 の回数	予備警戒体制 積算時間	洪水警戒体制 積算時間
H11 (3~12月)	10	7	63:10	134:15
H12 (1~12月)	15	7	120:40	70:20
H13 (1~12月)	8	3	100:20	54:40
H14 (1~12月)	34	17	204:50	269:00
H15 (1~12月)	19	7	131:25	192:05
H16 (1~12月)	33	14	307:15	276:20
H17 (1~12月)	24	9	160:10	124:55
H18 (1~12月)	21	10	179:00	401:55
H19 (1~12月)	13	5	82:45	58:50
H20 (1~12月)	7	3	55:30	29:15
H21 (1~12月)	19	8	161:55	164:20
H22 (1~12月)	29	14	262:25	620:50
H23 (1~12月)	37	17	240:20	375:30
H24 (1~12月)	26	13	163:40	393:30
H25 (1~12月)	28	16	193:50	282:30
H26 (1~12月)	13	9	94:00	216:40
H27 (1~12月)	8	12	26:05	329:35
H28 (1~12月)	11	5	94:30	75:40
H29 (1~12月)	24	14	122:25	316:25
合計	379	190	—	—

【出典：鳴鹿大堰警戒体制一覧表】

定期報告書(案)

2. 治水

表 2.3-2 洪水時対応の実績（下段扉の操作（流入量500m³/s以上））

No.	年	月日	ピーク流入量 (m ³ /s)	下段扉操作	No.	年	月日	ピーク流入量 (m ³ /s)	下段扉操作
1	平成11年	9/15~9/16	1,625	②~⑤号下段扉操作	66	平成23年	4/9	603	②~⑤号下段扉操作
2	(3~12月)	9/21~9/23	964	②~⑤号下段扉操作	67		4/23~4/24	551	②~④号下段扉操作
3	平成12年	4/10~4/11	586	②~⑤号下段扉操作	68		4/27~4/28	852	②~⑤号下段扉操作
4		9/12	664	②~⑤号下段扉操作	69		5/10~5/13	1,402	②~⑤号下段扉操作
5	平成13年	6/27	520	②~⑤号下段扉操作	70		5/29~5/30	741	②~⑤号下段扉操作
6		6/30~7/1	725	②~⑤号下段扉操作	71		7/7~7/8	2,273	②~⑤号下段扉操作
7	平成14年	1/16~1/17	532	②~⑤号下段扉操作	72		8/19	748	②~⑤号下段扉操作
8		5/1	544	②~⑤号下段扉操作	73		9/17~9/18	698	②~⑤号下段扉操作
9		7/10~7/11	2,198	②~⑤号下段扉操作	74		9/21~9/23	1,831	②~⑤号下段扉操作
10		7/16	932	②~⑤号下段扉操作	75	平成24年	3/6	616	②~⑤号下段扉操作
11		7/17~7/18	538	②~⑤号下段扉操作	76		4/3~4/4	695	②~⑤号下段扉操作
12		7/19	677	②~⑤号下段扉操作	77		4/11~4/12	769	②~⑤号下段扉操作
13	平成15年	4/8~4/9	514	②~⑤号下段扉操作	78		7/21	783	②~⑤号下段扉操作
14		4/20	550	②~⑤号下段扉操作	79	平成25年	3/19	576	②~⑤号下段扉操作
15		4/24~4/27	916	②~⑤号下段扉操作	80		4/7	541	②~⑤号下段扉操作
16		8/9	644	②~⑤号下段扉操作	81		6/19	715	②~⑤号下段扉操作
17	平成16年	2/22~2/23	885	②~⑤号下段扉操作	82		7/14	506	②~⑤号下段扉操作
18		4/27~4/28	612	②~⑤号下段扉操作	83		7/15	552	②~⑤号下段扉操作
19		5/16~5/18	1,338	②~⑤号下段扉操作	84		7/18	552	②~④号下段扉操作
20		5/18	644	②~⑤号下段扉操作	85		7/29~7/31	2,250	②~⑤号下段扉操作
21		6/21~6/22	1,045	②~④号下段扉操作	86		8/1~8/2	951	②~⑤号下段扉操作
22		7/18~7/19	1,523	②~⑤号下段扉操作	87		9/4~9/5	963	②~⑤号下段扉操作
23		8/31	1,348	②~⑤号下段扉操作	88		9/16~9/17	1,504	②~⑤号下段扉操作
24		9/8	718	②~⑤号下段扉操作	89	平成26年	3/30~3/31	1,019	②~⑤号下段扉操作
25		9/30	825	②~⑤号下段扉操作	90		7/10	594	②~④号下段扉操作
26		10/20~10/21	2,259	②~⑤号下段扉操作	91		7/20	555	②~⑤号下段扉操作
27	平成17年	6/29	872	②~⑤号下段扉操作	92		8/10~8/12	2,102	②~⑤号下段扉操作
28		7/1~7/2	944	②~⑤号下段扉操作	93		8/15~8/16	624	②~⑤号下段扉操作
29		7/4~7/5	2,419	②~⑤号下段扉操作	94		8/16~8/18	782	②~⑤号下段扉操作
30		8/12~8/13	1,008	②~⑤号下段扉操作	95	平成27年	3/19~3/20	959	②~⑤号下段扉操作
31		8/15~8/16	999	②~⑤号下段扉操作	96		4/1~4/2	670	②~⑤号下段扉操作
32		9/7	738	②~⑤号下段扉操作	97		4/3~4/7	1,064	②~⑤号下段扉操作
33	平成18年	3/17	796	②~⑤号下段扉操作	98		4/15~4/16	599	②~⑤号下段扉操作
34		4/11~4/13	864	②~⑤号下段扉操作	99		4/20~4/22	1,035	②~⑤号下段扉操作
35		4/20~4/21	683	②~⑤号下段扉操作	100		6/27	561	②~⑤号下段扉操作
36		5/7	608	②~⑤号下段扉操作	101		7/1	599	②~⑤号下段扉操作
37		5/11	668	②~⑤号下段扉操作	102		7/23~7/24	663	②~⑤号下段扉操作
38		7/16~7/21	2,232	②~⑤号下段扉操作	103		9/10	611	②~⑤号下段扉操作
39		7/24	518	②~⑤号下段扉操作	104		10/2	886	②~⑤号下段扉操作
40	平成19年	3/25	696	②~⑤号下段扉操作	105		12/11~12/12	886	②~④号下段扉操作
41		5/25	710	②~⑤号下段扉操作	106	平成28年	2/14~2/15	913	②~④号下段扉操作
42		6/22	703	②~⑤号下段扉操作	107		4/7~4/8	773	②~⑤号下段扉操作
43		6/29~6/30	1,442	②~⑤号下段扉操作	108		6/25	599	②~⑤号下段扉操作
44		7/15	674	②~⑤号下段扉操作	109		9/20~9/21	1,527	②~④号下段扉操作
45	平成20年	6/29~6/30	933	②~⑤号下段扉操作	110	平成29年	4/7	816	②~⑤号下段扉操作
46		7/8	596	②~⑤号下段扉操作	111		4/18	1,025	②~⑤号下段扉操作
47		8/28~8/29	589	②~④号下段扉操作	112		7/4	807	②~⑤号下段扉操作
48	平成21年	1/31	589	②~⑤号下段扉操作	113		8/8~8/9	1,810	②~⑤号下段扉操作
49		2/14	602	②~⑤号下段扉操作	114		8/25	1,301	②~⑤号下段扉操作
50		5/17	636	②~⑤号下段扉操作	115		9/7	525	②~④号下段扉操作
51		6/23	670	②~⑤号下段扉操作	116		9/18	717	②~⑤号下段扉操作
52	平成22年	2/26~2/27	1,257	②~⑤号下段扉操作	117		10/22~10/24	1,861	②~⑤号下段扉操作
53		3/2	539	②~⑤号下段扉操作	118		10/29	531	②~④号下段扉操作
54		3/16~3/17	748	②~⑤号下段扉操作					
55		3/21	677	②~⑤号下段扉操作					
56		4/2	583	②~⑤号下段扉操作					
57		4/12~4/13	705	②~⑤号下段扉操作					
58		4/22~4/23	564	②~⑤号下段扉操作					
59		5/24	551	②~⑤号下段扉操作					
60		6/27	590	②~⑤号下段扉操作					
61		7/3~7/4	1,323	②~⑤号下段扉操作					
62		7/13~7/15	734	②~⑤号下段扉操作					
63		7/15~7/16	583	②~⑤号下段扉操作					
64		9/16	770	②~⑤号下段扉操作					
65		11/1~11/2	551	②~⑤号下段扉操作					

※ピーク流入量は、堰諸量データの全流入量(日最大値)の洪水期間内における最大値

運用開始以降の最大のピーク流入量を記録した洪水

流入量1,500m³/sを超える洪水(平成25年~平成29年)

【出典：鳴鹿大堰 出水記録】

2.3.2 洪水時の体制の状況

鳴鹿大堰では、平常時には堰上流水位 T.P+34.30～34.95m で管理がおこなわれているが、出水の際には、下段扉を操作することで、堰上流水位を低下させ、洪水を安全に流下させている。

これまでに最も下段扉の操作回数が多かったのは、平成 22 年の 14 回で、少なかったのは平成 11 年、12 年、13 年の 2 回である。(図 2.3-1 参照)

また、各年の下段扉操作回数および平成 11 年から平成 29 年までの月別の下段扉操作回数を図 2.3-2 に示す。月別の操作回数は、融雪出水が発生する 4～5 月、梅雨時期の 6～7 月、台風が発生する 9 月に多い。

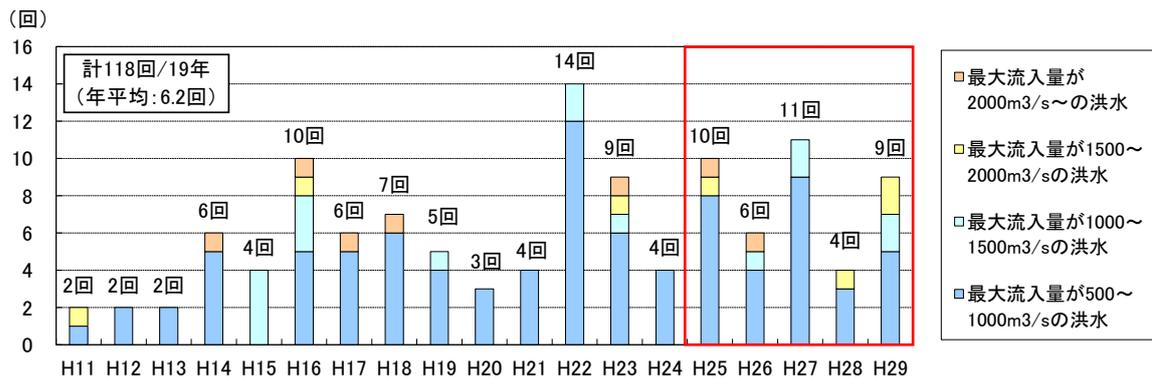


図 2.3-1 年別洪水操作回数 (平成11年～平成29年)

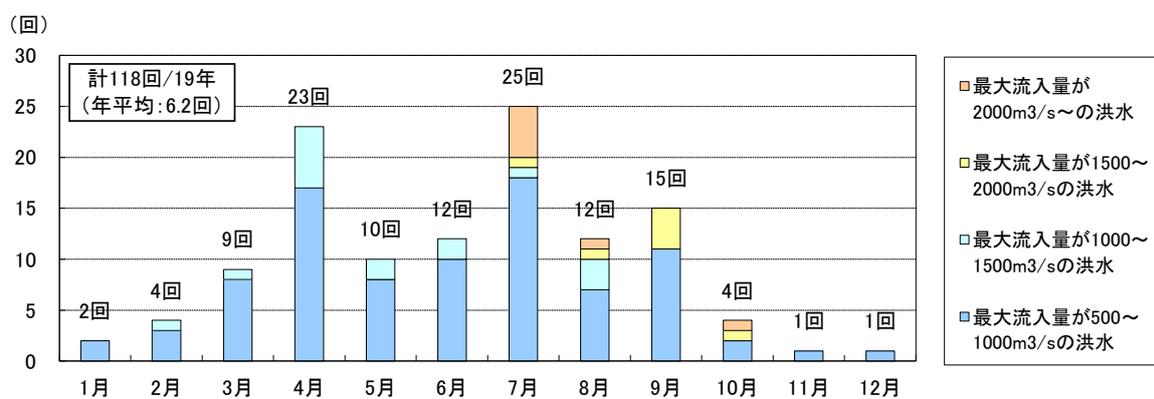


図 2.3-2 月別洪水操作回数 (平成11年～平成29年)

定期報告書(案)

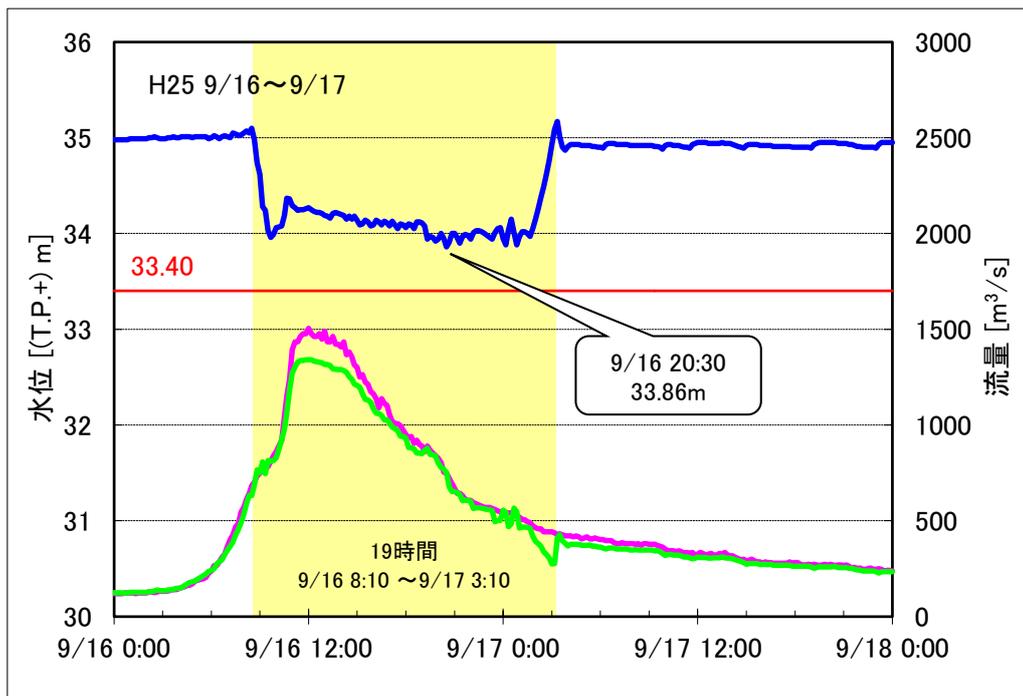
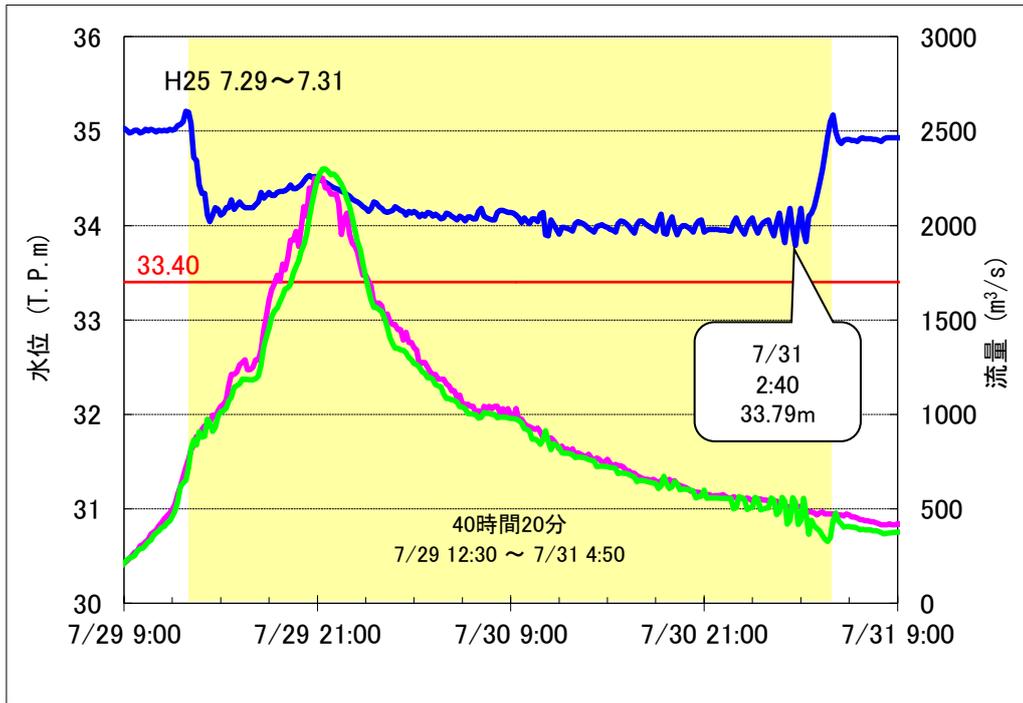
2. 治水

2.3.3 洪水時操作効果

前回の定期報告（H25 年度）以降に、下段扉の操作(流入量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 以上)を伴った洪水は、40 洪水あり、このうちピーク流入量が $1,500\text{m}^3/\text{s}$ を越えた主要 6 洪水について、鳴鹿大堰の流入量、放流量、堰上流水位の経時変化を図 2.3-3 に示した。

平成 25 年は、流入量が $1,500\text{m}^3/\text{s}$ を超える洪水が 2 回発生しており、うち 1 回は 5 年間（平成 25 年～平成 29 年）で最大、かつ鳴鹿大堰管理開始以降第 2 位となる、ピーク流入量 $2,285\text{m}^3/\text{s}$ の洪水を記録したが、いずれの洪水でも適切な操作により大堰上流水位を低下させ、洪水を安全に流下させている。

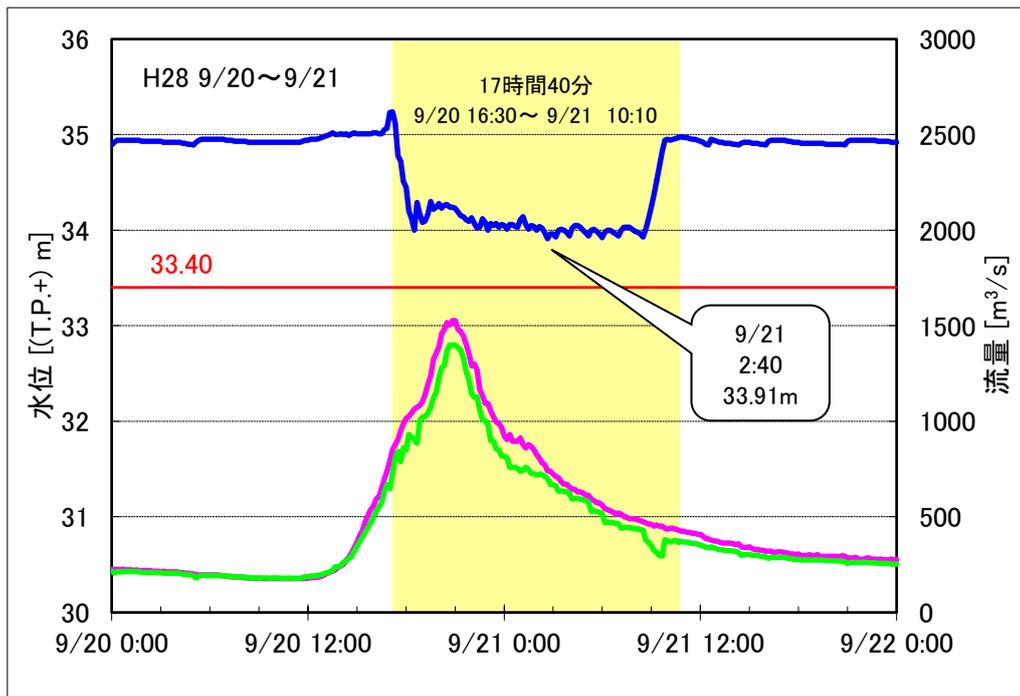
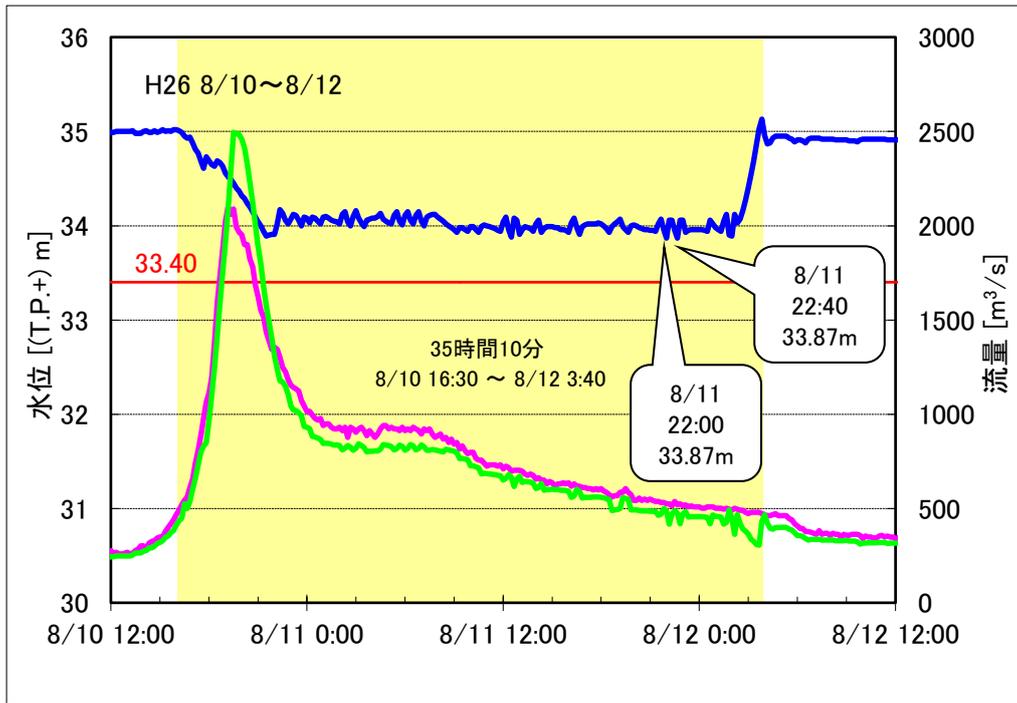
なお、鳴鹿大堰暫定運用開始以降、最大のピーク流入量($2,419\text{m}^3/\text{s}$)を記録した平成 17 年 7 月 4 日の洪水においても洪水を安全に流下させた。



- : 堰上流水位
- : 洪水時確保水位
- : 全流入量
- : 全放流量
- : 下段扉操作時間
- : 洪水時最低水位

【出典：九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成25年次報告書 平成26年2月】

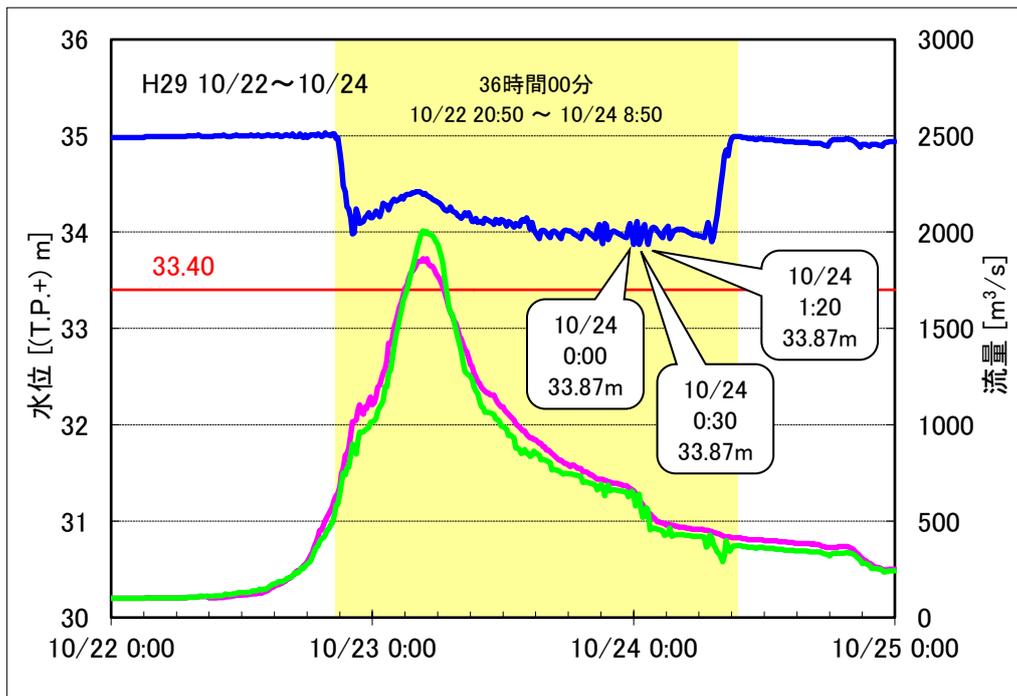
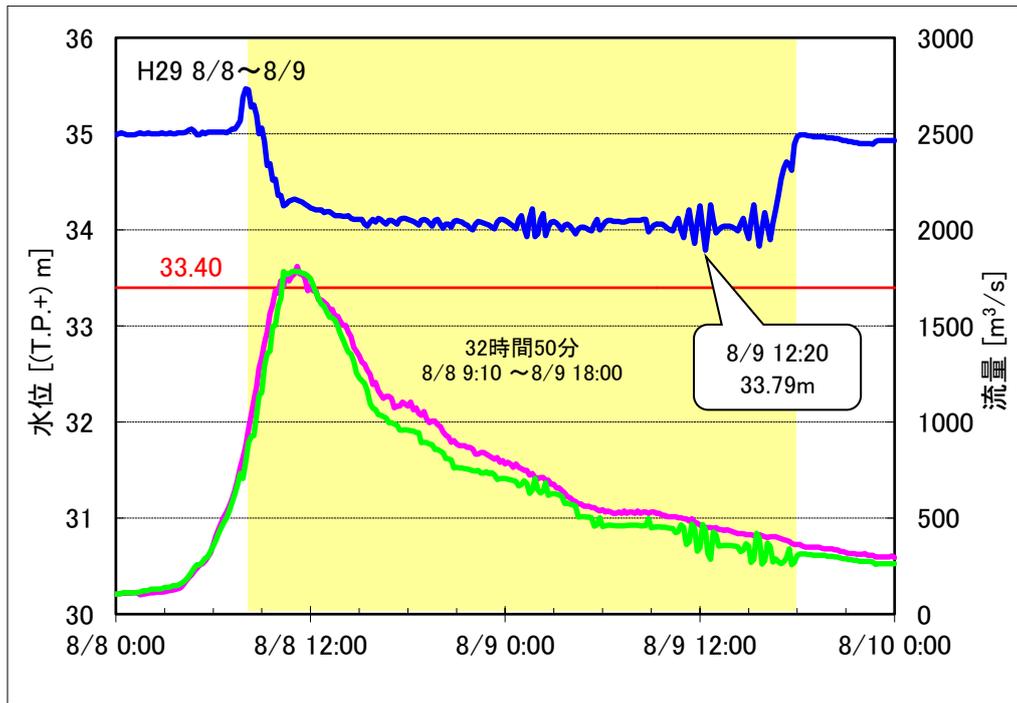
図 2.3-3 (1) 洪水前後の鳴鹿大堰の諸量 (平成25年)



- : 堰上流水位
- : 洪水時確保水位
- : 全流入量
- : 全放流量
- : 下段扉操作時間
- : 洪水時最低水位

【出典：九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成26年次報告書 平成27年2月
九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成28年次報告書 平成29年3月】

図 2.3-3 (2) 洪水前後の鳴鹿大堰の諸量 (平成26年、28年)



- : 堰上流水位
- : 洪水時確保水位
- : 全流入量
- : 全放流量
- : 下段扉操作時間
- : 洪水時最低水位

【出典：九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成29年次報告書 平成30年2月】

図 2.3-3 (3) 洪水前後の鳴鹿大堰の諸量 (平成29年)

定期報告書(案)

2. 治水

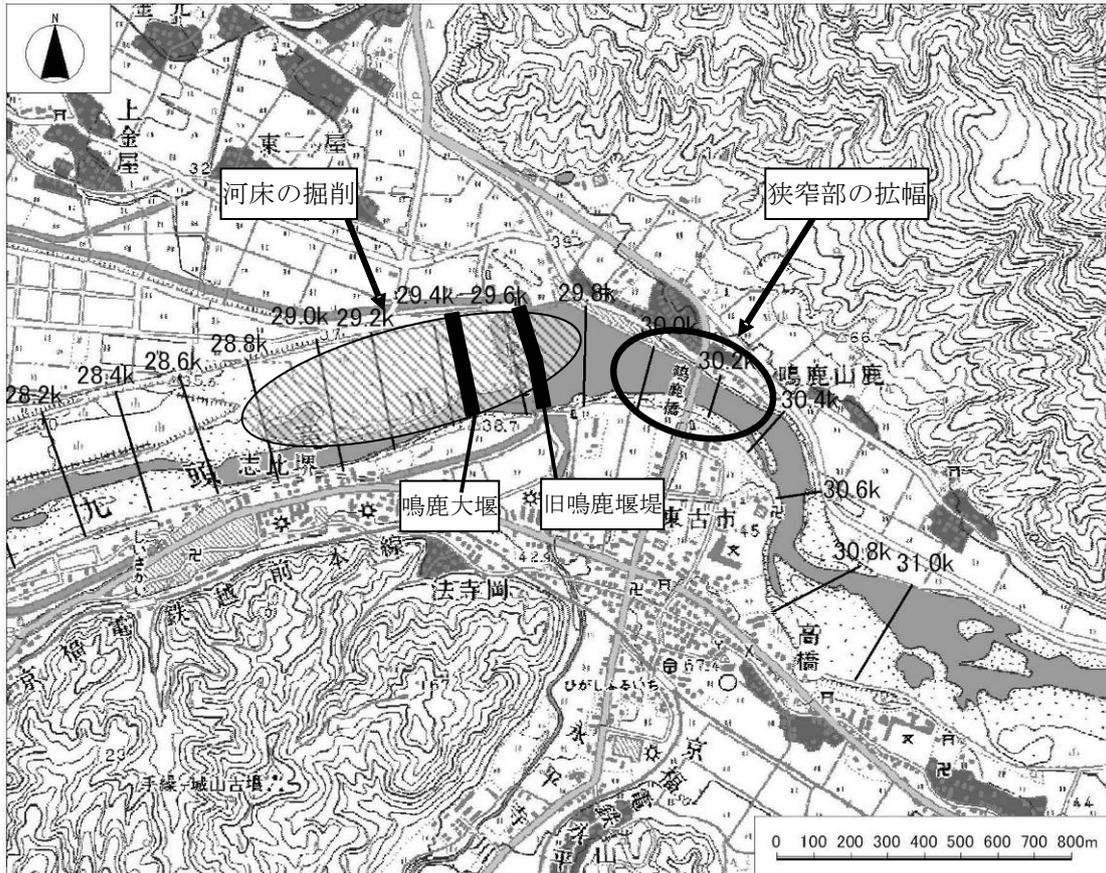
2.4 洪水時の水位低減効果

2.4.1 堰建設事業前後による水位低減効果

(1) 評価の考え方

鳴鹿大堰建設事業は、可動堰の設置、旧鳴鹿堰堤の撤去、河道の掘削、狭窄部の拡幅により洪水を安全に流下させる能力の増大に寄与している。(下図参照)

そこで、過去5年間に発生した実績最大流入量を記録した洪水に対して、堰建設事業前後の水位を比較し、堰建設事業による水位低減効果を評価するものとした。



【出典：九頭竜川鳴鹿大堰モニタリング調査報告書 平成17年3月】

図 2.4-1 鳴鹿大堰建設事業区間位置図

(2) 堰建設事業前後の水位算定方法

堰建設事業前後の洪水時の水位は、以下のとおり算定するものとした。

- ① 堰建設事業前後における同規模洪水・同地点の実績水位が存在しないことから、不等流計算により堰建設事業前後の水位を算定するものとした。
- ② 河道断面特性は、実測横断測量断面の存在状況を考慮し、堰建設事業前後の直近断面より設定するものとした。
- ③ 対象洪水は、前回の定期報告（平成 25 年度）以降に発生した実績最大流入量 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水である平成 25 年 7 月 29 日洪水とした。
- ④ 堰建設後の計算区間は、堰建設事業区間下流において実績水位が存在する五松橋地点(27.2k)の対象洪水毎の実績水位を出発水位とし、27.2k～堰上流 31.2k とした。また、堰建設前は、対象洪水の実績水位が存在しないため、中角地点(18.4k)の H1 年（堰建設前）の H-Q 式と対象洪水の実績最大流入量から算定した水位を出発水位とし 18.4k～堰上流 31.2k とした。（図 2.4-2 参照）
- ⑤ 粗度係数（低水路、高水敷）は、計画粗度係数（工実）を採用するものとした。（堰建設事業後は、計算水位が堰下流地点・堰上流地点の実績水位と合致することを確認する。堰建設事業前は、堰建設事業後と同じ粗度係数を採用するものとした。）
（下図参照）

なお、評価対象区間は、堰建設事業区間の最下流端 28.4k～堰上流 31.2k とした。

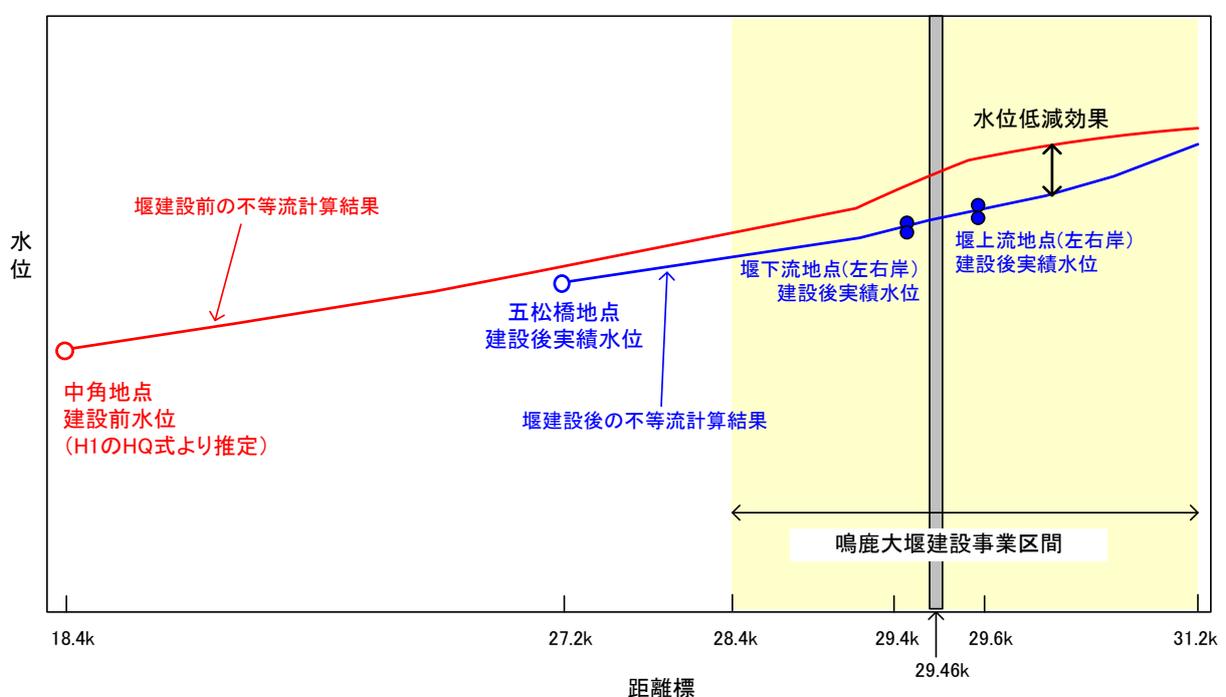


図 2.4-2 水位低減効果算定の模式図

定期報告書(案)

2. 治水

以上を踏まえ、堰建設事業による水位低減効果算定にあたっての計算条件は以下のとおりである。

表 2.4-1 水位低減効果算定の計算条件

	鳴鹿大堰建設 前	鳴鹿大堰建設 後
対象区間	18.4k～31.2k	27.2k～31.2k
河道断面	18.4k～29.4k H1 測量	27.2k～31.2k H23 測量
	29.6k～31.2k H9 測量	
粗度係数	計画粗度係数 (工実) 低水路：0.035 高水敷：0.060	
出発水位	中角地点(18.4k)のH1年(堰建設前)のH-Q式と対象洪水の実績最大流入量から算定した水位を出発水位として設定	五松橋地点(27.2k)の対象洪水毎の実績水位を出発水位として設定
流量	対象洪水時の実績最大流量を設定した H25.7洪水 2,234 m ³ /s	

(3) 水位低減効果の算定結果

(2)により算定した平成25年7月洪水時の計算水位縦断図を図2.4-3に示す。また、堰建設事業後の実績水位と計算水位の比較を表2.4-2に示す。

実績水位と計算水位の誤差は最大20cm程度であり、実績水位を概ね再現できていると考えられる。

表 2.4-2 実績水位と計算水位の比較

洪水	堰下流地点			堰上流地点		
	実績(m)	計算(m) (29.4k)	誤差(m)	実績(m)	計算(m) (29.6k)	誤差(m)
平成25年 7月	左岸：32.84 右岸：33.02	32.97	左岸：0.13 右岸：-0.05	左岸：34.17 右岸：34.50	34.29	左岸：0.12 右岸：-0.21

※実績水位は、堰諸量データ(10分ピッチ)の全流入量最大時の水位

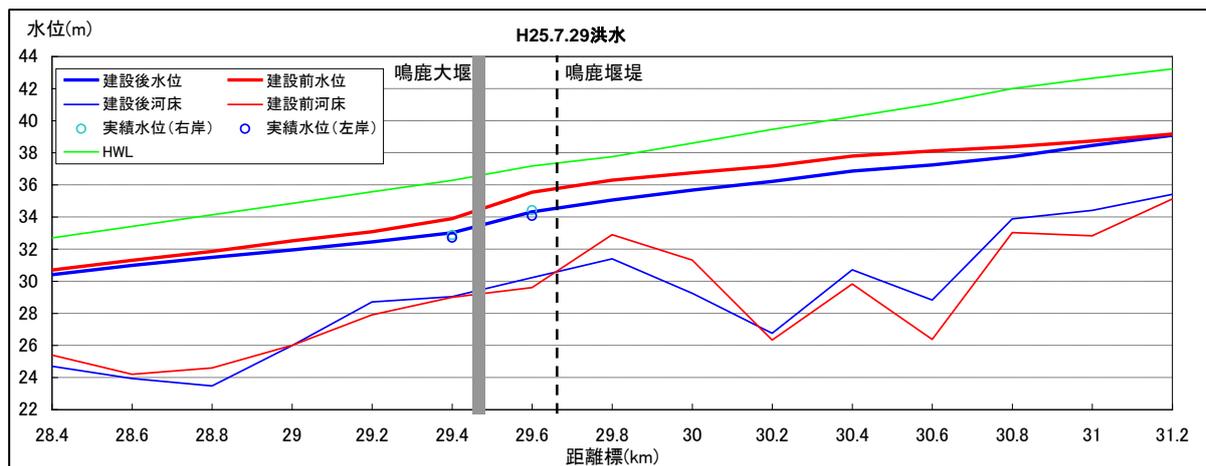


図 2.4-3 水位縦断面図

対象洪水の鳴鹿大堰建設事業前後による堰下流および上流区間 28.4k～31.2k の断面毎の水位低減効果を表 2.4-3 に示す。

旧鳴鹿堰堤上流である 29.6k～30.4k においては、1.0m 以上の水位低減効果が得られている。

表 2.4-3 事業対象区間における水位低減効果 (H25.7洪水)

距離標	HWL (T.P.m)	建設前水位 (T.P.m)	建設後水位 (T.P.m)	水位低減効果 (m)
28.4k	32.69	30.67	30.37	0.30
28.6k	33.41	31.26	30.94	0.32
28.8k	34.13	31.82	31.44	0.38
29.0k	34.85	32.48	31.91	0.57
29.2k	35.56	33.05	32.41	0.64
29.4k	36.28	33.86	32.97	0.89
29.6k	37.00	35.52	34.29	1.23
29.8k	37.76	36.28	35.02	1.26
30.0k	38.60	36.74	35.64	1.10
30.2k	39.45	37.14	36.17	0.97
30.4k	40.24	37.75	36.82	0.93
30.6k	41.03	38.06	37.20	0.86
30.8k	42.00	38.34	37.72	0.62
31.0k	42.65	38.68	38.41	0.27
31.2k	43.23	39.13	39.06	0.07

定期報告書(案)

2. 治水

表 2.4-3 に示した計算断面のうち、水位低減効果が大きく、また堤内地に家屋等が存在している地点として、堰下流の 29.0k、堰上流の 30.0k、30.2k、30.4k を抽出し、対象洪水における断面別水位低減効果を図 2.4-5 に示した。

対象洪水ではいずれの地点においても、大堰建設前水位および建設後水位が HWL を超過することはないが、堰上流では、建設前の河道では水位が堤内地盤高より 1m 以上高くなる。鳴鹿大堰事業における河川改修により、当該区間の洪水時水位を低減し、治水安全度向上に寄与しているといえる。

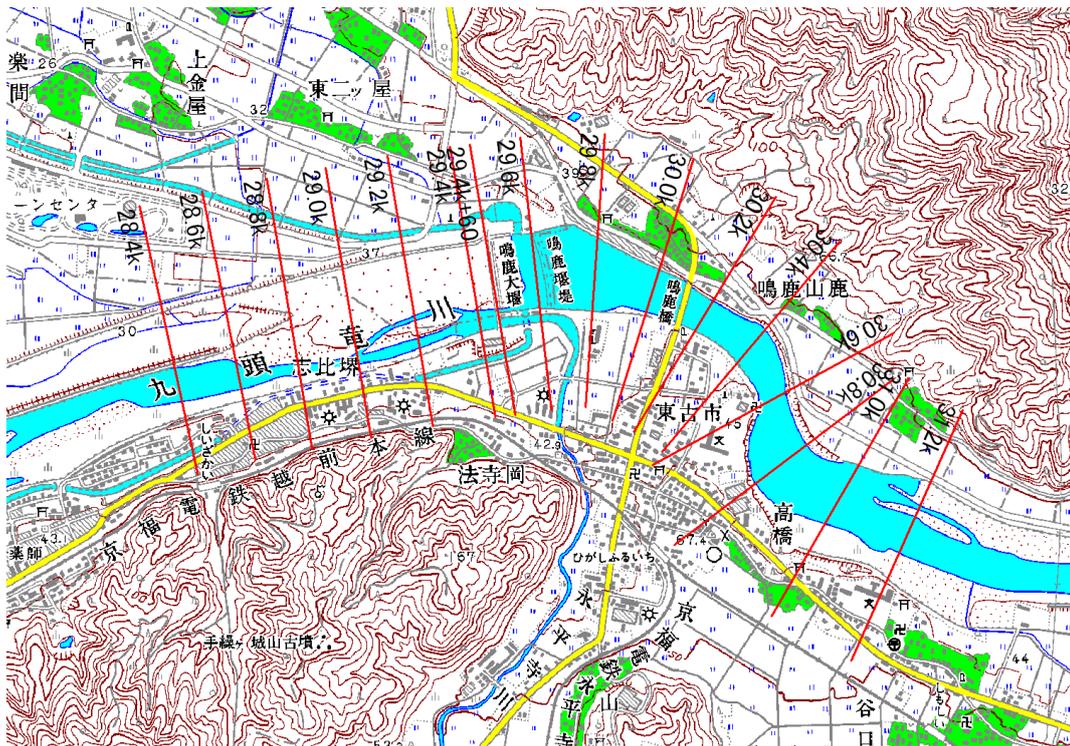


図 2.4-4 測線の位置図

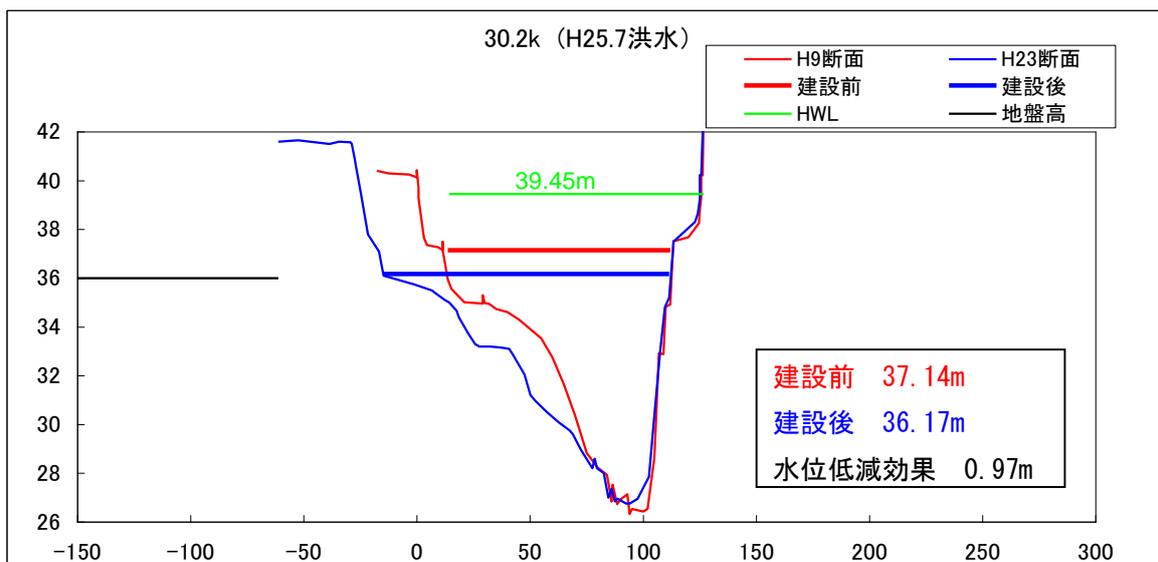
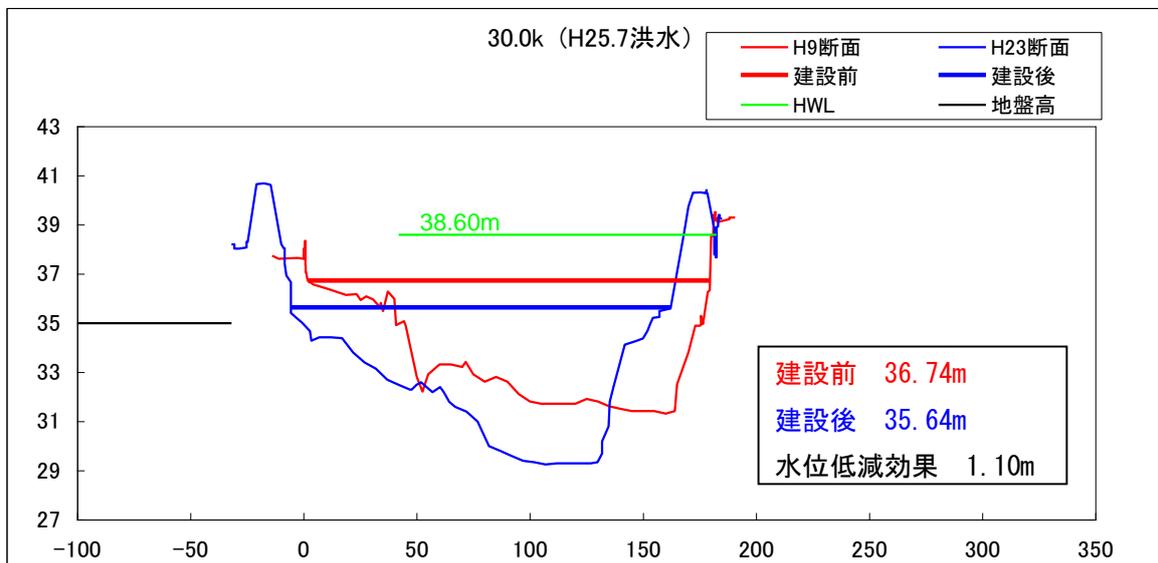
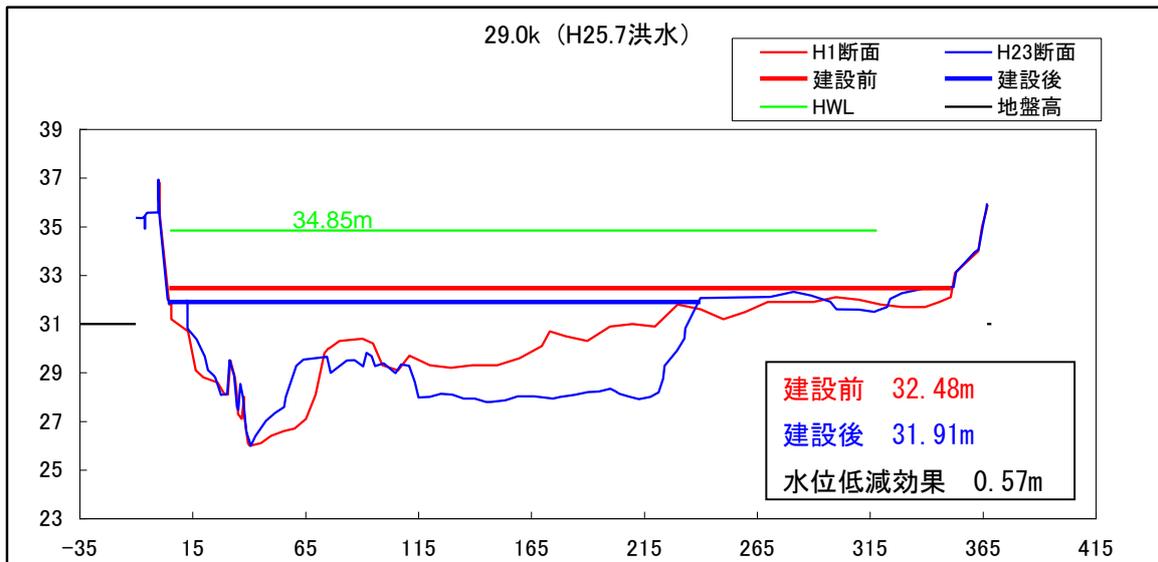


図 2.4-5 (1) H25.7洪水水位低減効果

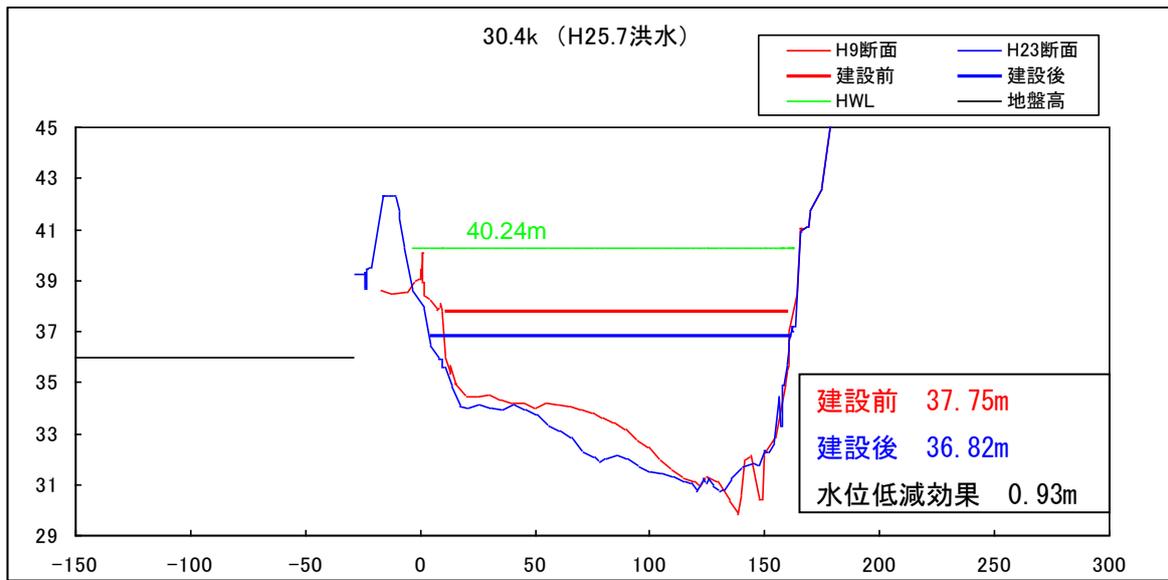


図 2.4-5 (2) H25.7洪水水位低減効果

2.5 洪水時の放流量の算定誤差の検証

鳴鹿大堰では、流入量が $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を超えるような洪水に対して、放流量の算定誤差が生じる場合があり、平成 25 年度の定期報告において、算定誤差の補正方法として、①堰上流の左右岸の水位差を考慮した基準水位の採用方法、②放流量計算式の補正推定式の 2 点が提案された。但し、流入量が $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を超える洪水でも誤差が生じない洪水もみられている。

このため、平成 25 年以降の洪水データを蓄積し、提案された補正方法の妥当性の検証を行った。下記に、放流量算定誤差の検討の経緯を示す。

時 期	内 容	備 考
H18年度	●「総合点検」において、流入量と放流量の算定誤差が大きいことが指摘される。(H16.10洪水、H17.7洪水)	
H18年度	●誤差の要因の一つと考えられる堰上流水位（放流計算の採用値）を、流入量が概ね $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の場合は、湾曲による水位上昇の影響を受ける「堰上流・右岸」から「取水口・左岸」に変更した。	
H23年度	●放流量の算出に用いる堰上流水位を見直した後の洪水（H23.7）においても、流入量と放流量の算定誤差が生じた。(流入量 $2230\text{m}^3/\text{s}$ - 放流量 $2518\text{m}^3/\text{s}$ = $288\text{m}^3/\text{s}$)	
H25年度	●放流量の算定誤差に関する検討を実施し、「①放流量の算定に用いる水位の見直し」「②放流量算定式の流量係数の補正」による補正方法を提案した。	FU委員会に報告
H25～ 30年度	●H25年に提案した補正方法を採用した場合の妥当性を、実洪水で検証した。	

2.5.1 放流量の算定誤差の状況

鳴鹿大堰の流入量は上流の飯島地点の H-Q 式から算出しており、放流量は貯水位とゲート開度をパラメータとした計算式から算出している。鳴鹿大堰では水位維持操作を行うため、基本的に「堰放流量 \equiv 堰流入量 $-$ 取水量」の関係が成り立つことになるが、流入量が $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を超えるような洪水に対しては、放流量の算定値が流入量と比べて過大に算出される場合があり、放流量の算定方法（貯水位とゲート開度をパラメータとした計算式）に起因していると推察される。

例えば、最大の算定誤差が生じた平成 16 年 10 月洪水では、図 2.5-1 に示すように、ピーク放流量がピーク流入量より $1,600\text{m}^3/\text{s}$ 大きく算出されている。なお、水位を低下させたことにより生じる放流量の増大は最大で約 $120\text{m}^3/\text{s}$ と推定でき、これを考慮しても放流量が過大に算定されている。但し、流入量が $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を超える洪水でも、平成 18 年 7 月、平成 23 年 7 月、平成 25 年 7 月の洪水では誤差はわずかであった。

なお、流入量の算出に用いる飯島地点の H-Q 式は水位観測の手引き等に基づいて管理し、流量観測、精度管理を適切に実施しており、流入量の算定値に大きな誤差はないと考えられる。

洪水時の堰操作は、流入量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上は飯島地点の H-Q 式から算出した流入量を用いており操作面での問題はない。

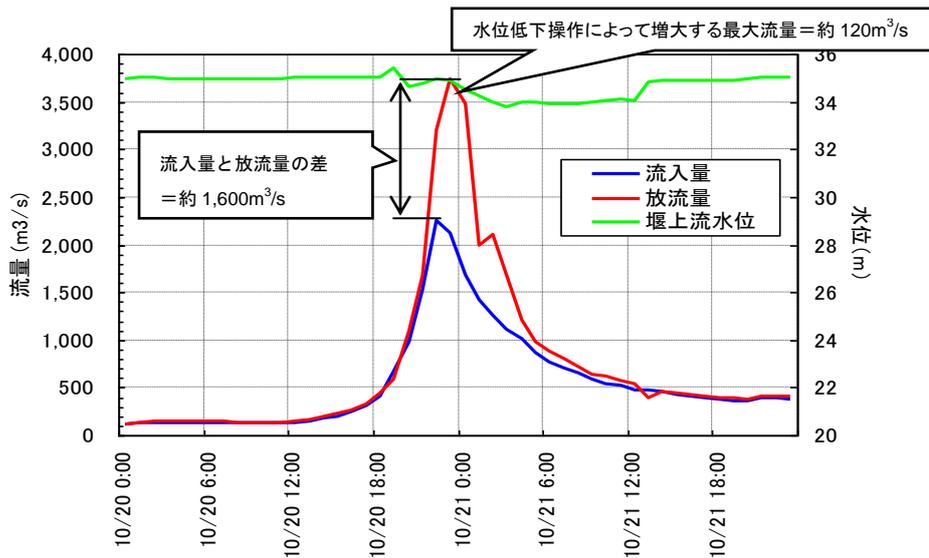


図 2.5-1 平成16年10月の洪水操作

表 2.5-1 ピーク流入量とピーク放流量の差 (H14~H30)

年月	ピーク流入量 (m^3/s)	ピーク放流量 (m^3/s)	算定差 (m^3/s) (放流量-流入量)	差率 (算定差/ピーク流入量)
H16.10月	2186	3786	1600	73.19%
H17.7月	2375	3087	712	29.98%
H18.7月	2216	2126	-90	-4.06%
H23.7月	2230	2518	288	12.91%
H25.7月	2250	2299	49	2.18%
H26.8月	2102	2495	393	18.70%
H30.7月	2356	2623	267	11.33%

※最大流入量、最大放流量は10分ごとに算出される流入量、放流量のデータより求めている。

2.5.2 放流量の算定方法

鳴鹿大堰の放流量の算定式は貯水位とゲート開度をパラメータとした以下の計算式が採用されている。

(オーバーフロー時)

$$Q = q \times B$$

$$q = q_0(-0.690(z/H) + 1.000) \quad (z/H < 0.1)$$

$$q = q_0(-1.149(z/H) + 1.046) \quad (0.1 < z/H < 0.8)$$

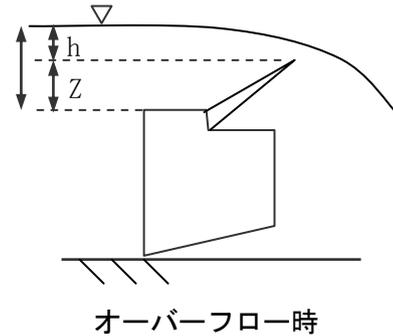
$$q = q_0(-0.635(z/H) + 0.635) \quad (0.8 < z/H)$$

$$q_0 = Kh \times H^{3/2}$$

$$Kh = 0.049H + 1.657$$

$B =$ 越流幅で径間長43.35m—整流壁の幅3.0m = 40.35m

$Q =$ 主ゲート1門当たり放流量 (m^3/s)



(アンダーフロー時)

$B =$ 越流幅で径間長43.35m—整流壁の幅3.0m = 40.35m

$Q =$ 主ゲート1門当たり放流量 (m^3/s)

$$Q = q \times B$$

$$q = C \times a \sqrt{2gh_1}$$

$$\alpha = h_2 / (C_c \times a) \quad \beta = h_1 / h_2$$

$$A = \beta + 1$$

$$D = (1 - \alpha)\{\beta(1 + \alpha) - 2\} + (1 - \beta^2)$$

$$C = (\beta - 1)(\alpha^2 - 1)^2 - 2(1 - \beta^2)(1 - \alpha)^2$$

$$D^2 - A \times C \leq 0 \quad : \text{自由流出}$$

$$D^2 - A \times C \geq 0 \quad : \text{もぐり流出}$$

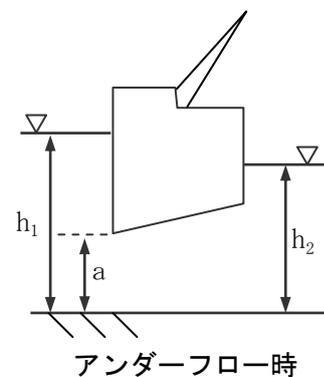
流量係数式

$$C_c = -0.00123(h_1/a)^2 + 0.02250(h_1/a) + 0.549$$

自由流出 : $C = C_c \sqrt{1/(1 + C_c \times a/h_1)}$

もぐり流出 : $C = C_c \times \alpha \sqrt{(1 - 1/\beta)/(\phi + 1 - (1/\beta)^2)}$

$$\phi = (-D + \sqrt{(D^2 - A \times C)}) / A$$



2.5.3 放流量算定誤差の要因

洪水時の流入量、放流量、ゲート開度等の関係を分析した結果、誤差の主要な発生要因として以下の2点が上げられた。

(1) 放流量の算出に用いる基準水位

鳴鹿大堰の堰上流水位は、堰上流右岸、左岸の水位計、取水口右岸、左岸の水位計の合計4か所があり、放流量の算出は、下段扉操作を行う500m³/s以上の洪水時については、平成17年度までは「堰上流右岸」の水位を採用していたが、右岸は湾曲により水位上昇の影響を受けるため、平成18年度以降は概ね1,000m³/s以上となった場合には「取水口・左岸」を採用している。

各水位計は、河道の湾曲や水面勾配、取水量等の影響によって水位差が生じるため、どの水位計の値を採用するかで放流量の算定値に差が生じる。

表 2.5-2 堰上流水位の採用値

期間	対象出水	採用値	備考
H17年度まで	H16.10.20 H17.07.04	堰上流・右岸	500m ³ /s以上
H18年度以降	H18.07.19 H23.07.08	堰上流・右岸	1,000m ³ /s程度以下
	H25.07.29 H26.08.10	取水口・左岸	1,000m ³ /s以上
	H30.07.05		



図 2.5-2 水位計の位置

(2) 放流量算定式の流量係数

鳴鹿大堰の放流量の算定式に用いる流量係数Cは、建設段階の水理模型実験等によって、主ゲート下段扉の流量係数の推定が行われた。但し、この実験は、(ゲート開度 a) / (堰上流水位 h1) が0.086~0.744の範囲で行われており、ゲートの開度が大きく(a/h1)が0.744以上となる場合は流量係数の適用外となる。

このため、ゲート開度が大きくなると流量係数が実際と異なると推定され、実際の洪水においても(a/h1) > 0.5の範囲で放流量の算定値が流入量より過大になっている。

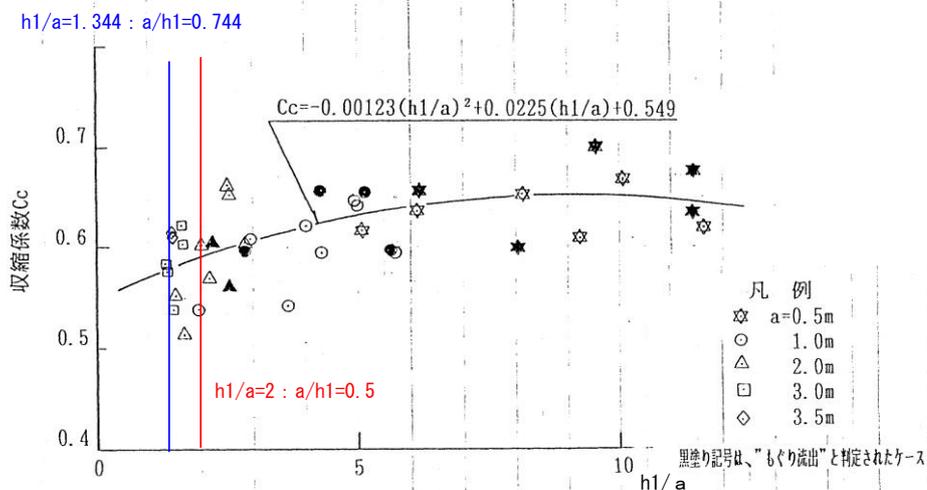


図 2.5-3 水理模型実験による収縮係数の推定

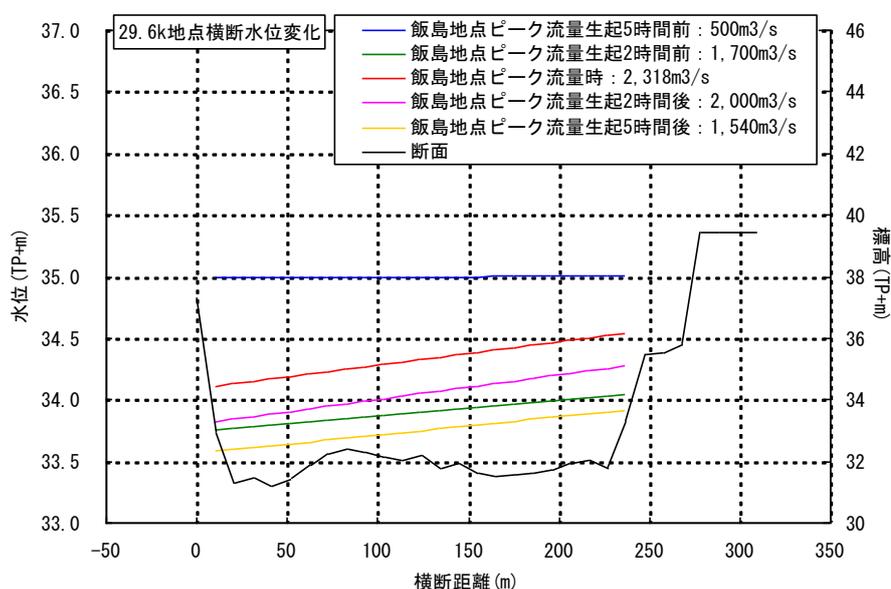
2.5.4 放流量算定誤差の補正方法

平成 25 年度の定期報告において提案された放流量算定誤差の補正方法を以下に示す。

(1) 基準水位の見直し

洪水時における貯水池内の実績水位の分析と、準三次元モデルを用いた実績洪水の再現検討による貯水池内の水面勾配の分析が行われ、以下の洪水時の水理現象が確認された。

- ①堰上流水位計水位は流入量の増加に伴って右岸水位が高くなる傾向がみられ、その水位差は流入量規模と相関関係がみられる。また、水位計の設置個所付近の河道横断方向の水面形は左右岸をほぼ直線で結んだ水位であった。
- ②取水口水位についても堰上流水位計水位と同様、流入量の増加に伴って右岸水位が高くなる傾向がみられる。
- ③堰上流水位計水位と取水口水位の縦断的な水位差は、流入量が 1,000m³/s 未満ではほとんど見られない。1,000m³/s 以上になると左岸では堰上流水位計水位が取水口水位より高くなるが、右岸では水位差が生じないか、取水口水位が高くなる場合もみられる。
- ④左右岸の水位差は弯曲部の外岸に発生する高速流の影響で発生することが確認された。



水理解析結果 : 洪水時の貯水池横断水位 (H17.7 洪水 29.6K)

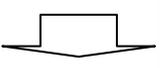
以上の結果を踏まえ、平成 18 年度以降に採用された基準水位については、

- 「堰上流・右岸」を用いることは過大な流量が算出される可能性が高い
- 「取水口」の水位は平常時に取水の影響を受けやすい
- 平常時・洪水時で用いる水位計が異なると運用上煩雑となる

などの理由から、以下に示す基準水位が提案された。

但し、実際の洪水で検証された結果、基準水位の見直しによって改善される誤差は概ね 10%～15%の低減に止まり、放流量算定誤差の全体を改善するには至らないことが確認された。

表 2.5-3 実管理面を勘案した基準水位の選定

検討条件	貯水位管理	放流量算出
平常時	・堰上流右岸水位計	・取水口水位と堰上流右岸水位の併用 右岸土砂吐、右岸微調節：右岸取水口水位 左岸土砂吐、左岸微調節：左岸取水口水位 中央 4 門：堰上流右岸水位
洪水時	・堰上流右岸水位計	・取水口水位と堰上流水位の併用 右岸土砂吐、右岸微調節：右岸取水口水位 左岸土砂吐、左岸微調節：左岸取水口水位 中央 4 門：堰上流左右岸水位の平均
総合検討	・堰上流右岸水位計	・中央 4 門の放流量算出に使用する水位が平常時と洪水時で異なっており、運用上煩雑である。 ・管理職員の転勤等に伴って採用している水位がわからなくなる可能性がある。
	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">基準水位見直し案</div> 	
	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> 平常時、洪水時とも以下とする。 ・堰上流右岸水位計 </div>	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> 平常時、洪水時とも以下に統一する。 ・取水口水位と堰上流水位の併用 右岸土砂吐、右岸微調節：右岸取水口水位 左岸土砂吐、左岸微調節：左岸取水口水位 中央 4 門：堰上流左右岸水位の平均 </div>

(2) 流量係数の補正

鳴鹿大堰の放流量の算定式に用いる流量係数 C が実際と異なっていることが、誤差が生じる主要因と考えられるため、補正方法を検討した。

洪水時の堰上流水位低下操作後（一定水位操作時）は、放流量（堰下流放流量+取水量）と流入量が等しくなると想定し、流入量から流量係数を逆算して（逆算 C ）、 C との乖離を $C/\text{逆算 } C$ としてゲート開度と堰上流水深の比（ a/h_1 ）との関係を分析した。

この結果、バラつきはあるもののゲート開度と堰上流水深の比（ a/h_1 ）が大きいほど $C/\text{逆算 } C$ が大きくなり、放流量が過大に算出される傾向がみられた。

ゲート開度と上流水深の比（ a/h_1 ）が 0.5 より小さい場合には $C/\text{逆算 } C$ がほぼ一定であるのに対し、 a/h_1 が 0.5 を超えると $C/\text{逆算 } C$ が a/h_1 に比例して大きくなる傾向がみられることから、図 2.5-4 に示すとおり、 $a/h_1=0.5$ を境界として a/h_1 に応じた C の補正率を設定することが提案された。

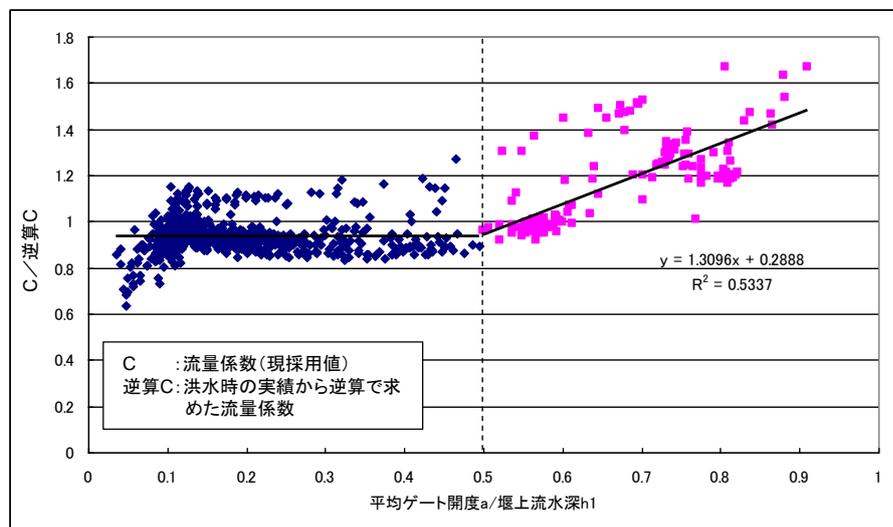


図 2.5-4 流量係数の補正率算定

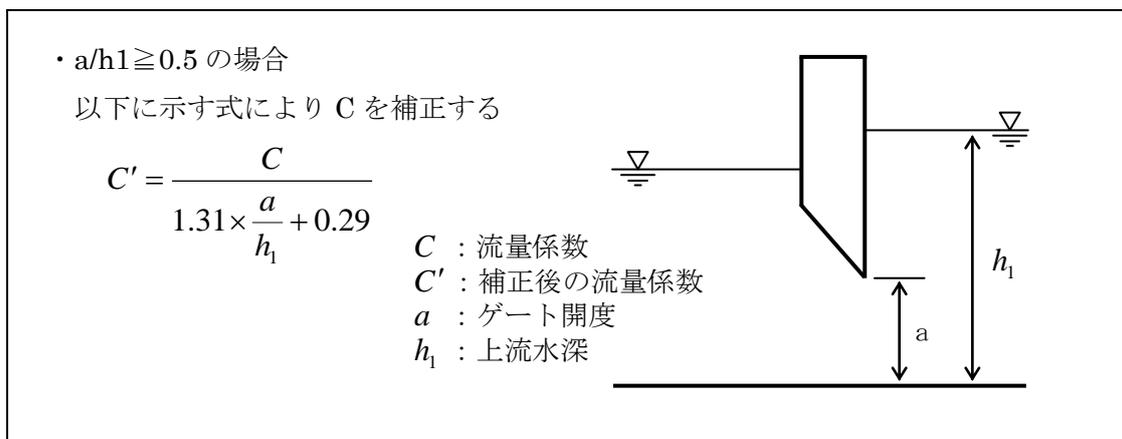


図 2.5-5 流量係数の補正算定式

2.5.5 放流量算定誤差の補正方法の検証

平成 25 年度の定期報告で提案された放流量の補正方法について、最大流入量 2,000m³/s 以上の洪水を対象に妥当性を検証した。

(1) 検証条件

●補正方法

①基準水位の見直し

計算に用いる上流水位は取水口水位と堰上流水位を併用する。

表 2.5-4 計算に用いる基準水位

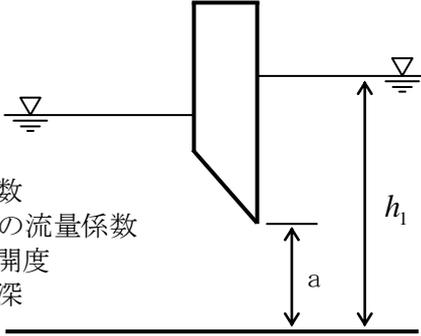
対象とするゲート	採用する水位
右岸土砂吐、右岸微調節	右岸取水口 水位
左岸土砂吐、左岸微調節	左岸取水口 水位
中央 4 門	堰上流左右岸水位の平均

②流量係数の補正

・ $a/h_1 \geq 0.5$ の場合
以下に示す式により C を補正する

$$C' = \frac{C}{1.31 \times \frac{a}{h_1} + 0.29}$$

C : 流量係数
 C' : 補正後の流量係数
 a : ゲート開度
 h_1 : 上流水深



The diagram shows a cross-section of a gate structure. On the left, a horizontal line with a downward-pointing triangle symbol represents the upstream water level. The gate itself is a vertical structure with a trapezoidal opening at the bottom. A vertical double-headed arrow labeled 'a' indicates the height of the gate opening. On the right, another horizontal line with a downward-pointing triangle symbol represents the water level behind the gate. A vertical double-headed arrow labeled 'h1' indicates the height from the bottom of the gate to this water level.

●検証方法

流入量と放流量の算定誤差が大きくなる最大流入量が 2,000m³/s を超える洪水を対象に、補正しない場合と補正した場合の誤差を算出し、補正方法の効果を確認する。

(2) 検証結果

平成 16 年度から平成 24 年度までに生じた 4 洪水については、平成 25 年度の定期報告で検証結果が報告されており、以下に再掲した。平成 25 年度から平成 29 年度までに生じた 2 洪水と平成 30 年度に生じた 1 洪水の合計 3 洪水について検証を行った。

これらの検証の結果、平成 25 年の定期報告で提案された補正方法を採用することで、最大流入量が 2,000m³/s を超えるすべての洪水において、放流量の算定誤差が縮小する結果が得られた。

補正前の算定誤差は、ピーク流入量に対して 2%~70%の値であったが、補正により概ね数%程度の値に縮小した。但し、平成 16 年 10 月の洪水は補正を行うことで誤差は縮小したが、19%程度の誤差が残った。

表 2.5-5 補正による誤差の縮小

年月	ピーク流入量 (m ³ /s)	補正前			補正後		
		ピーク放流量 (m ³ /s)	算定差(m ³ /s) (放流量-流入量)	差率 (算定差/ピーク流入量)	ピーク放流量 (m ³ /s)	算定差(m ³ /s) (放流量-流入量)	差率 (算定差/ピーク流入量)
H16.10月	2186	3786	1600	73.19%	2603	417	19.08%
H17.7月	2375	3087	712	29.98%	2429	54	2.27%
H18.7月	2216	2126	-90	-4.06%	2180	-36	-1.62%
H23.7月	2230	2518	288	12.91%	2159	-71	-3.18%
H25.7月	2250	2299	49	2.18%	2210	-40	-1.78%
H26.8月	2102	2495	393	18.70%	2178	76	3.62%
H30.7月	2356	2623	267	11.33%	2233	-123	-5.22%

但し：「補正前」の計算水位は、H17 年以前は「堰上流右岸」、H18 年以降は「取水口左岸」を用いている。

下記グラフには、流入量、補正前の放流量と、計算に用いた堰上流水位（補正前・後）、補正後の放流量を記載した。

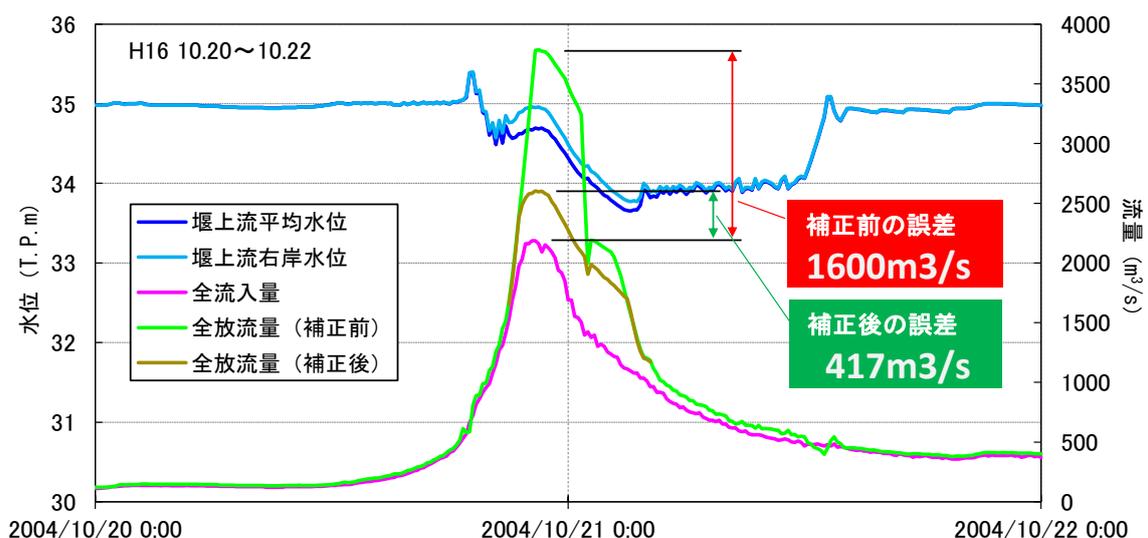


図 2.5-6 (1) 平成16年10月洪水における放流量検討結果

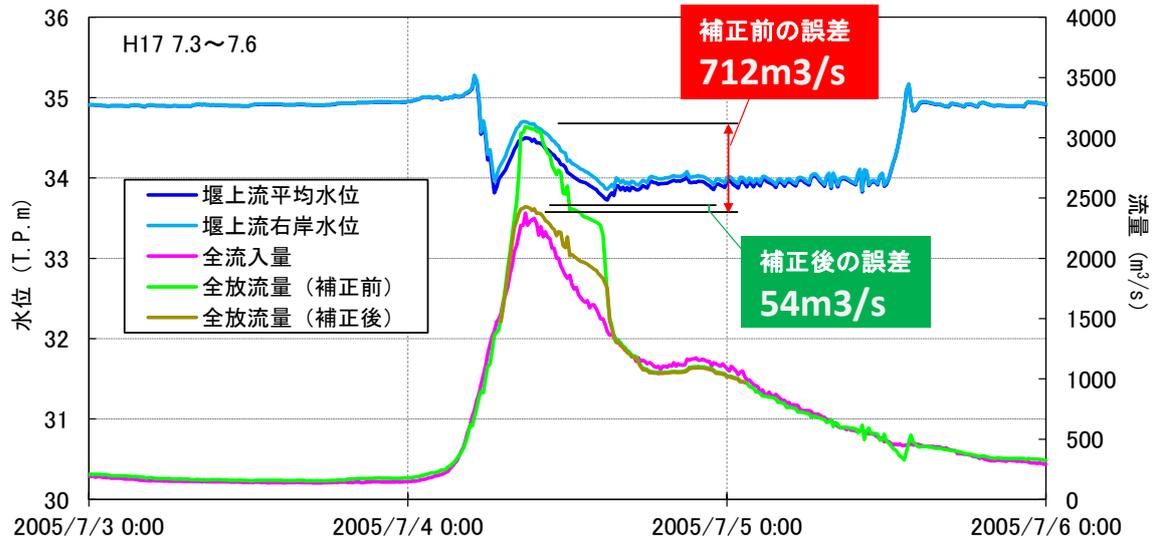


図 2.5-6 (2) 平成17年7月洪水における放流量検討結果

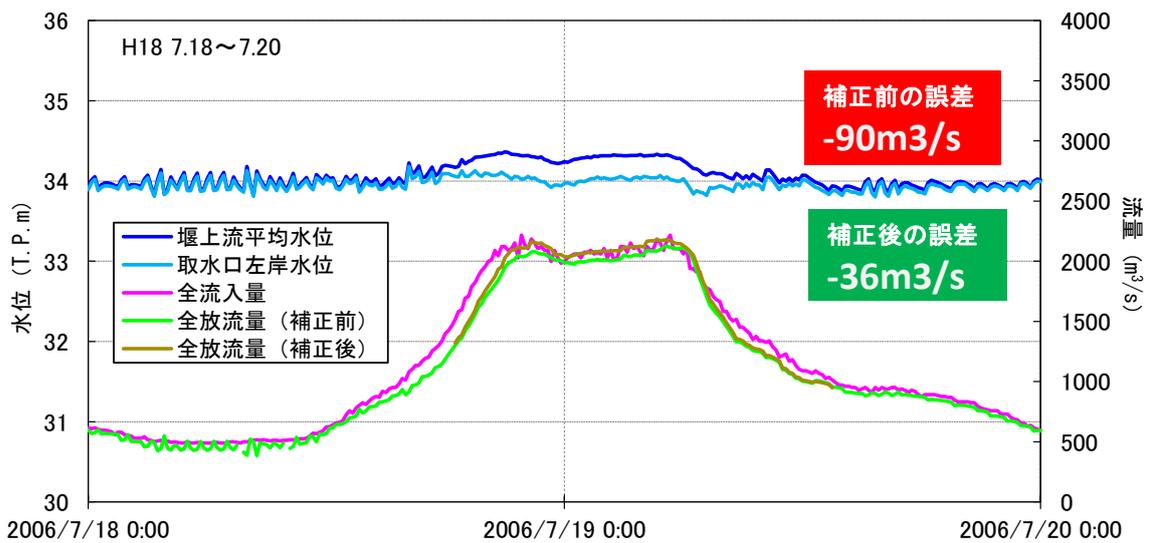


図 2.5-6 (3) 平成18年7月洪水における放流量検討結果

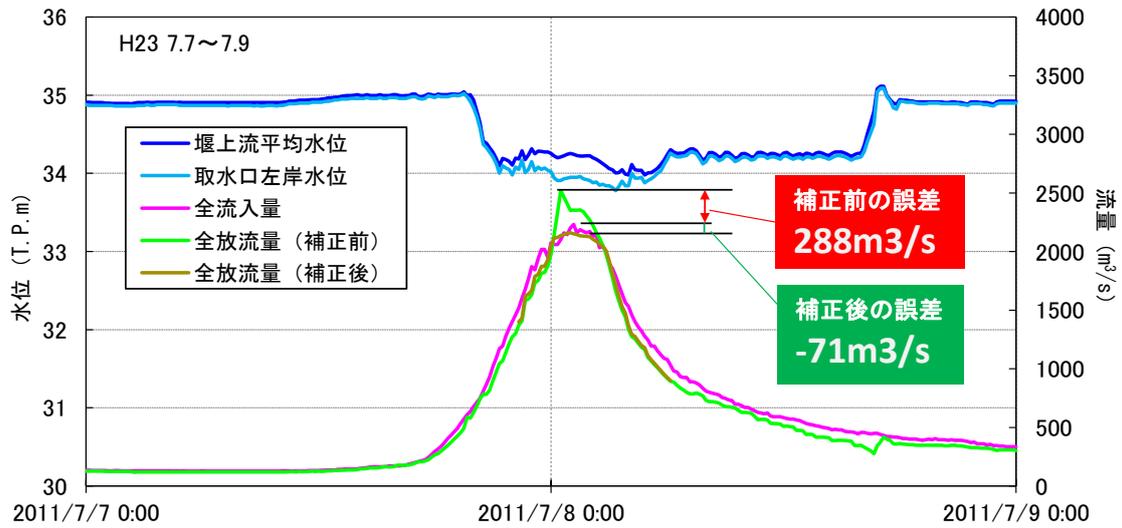


図 2.5-6 (4) 平成23年7月洪水における放流量検討結果

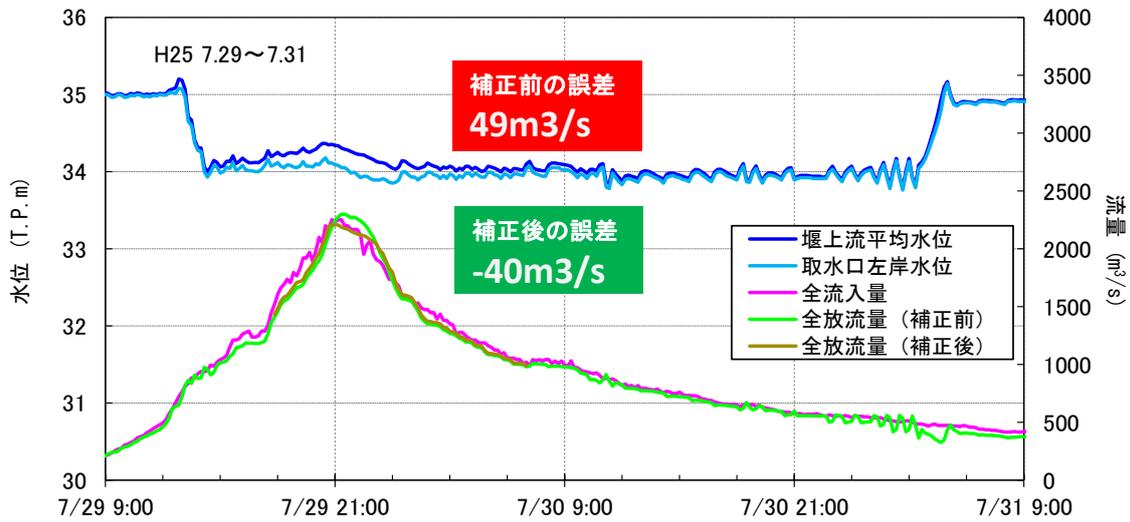


図 2.5-6 (5) 平成25年7月洪水における放流量検討結果

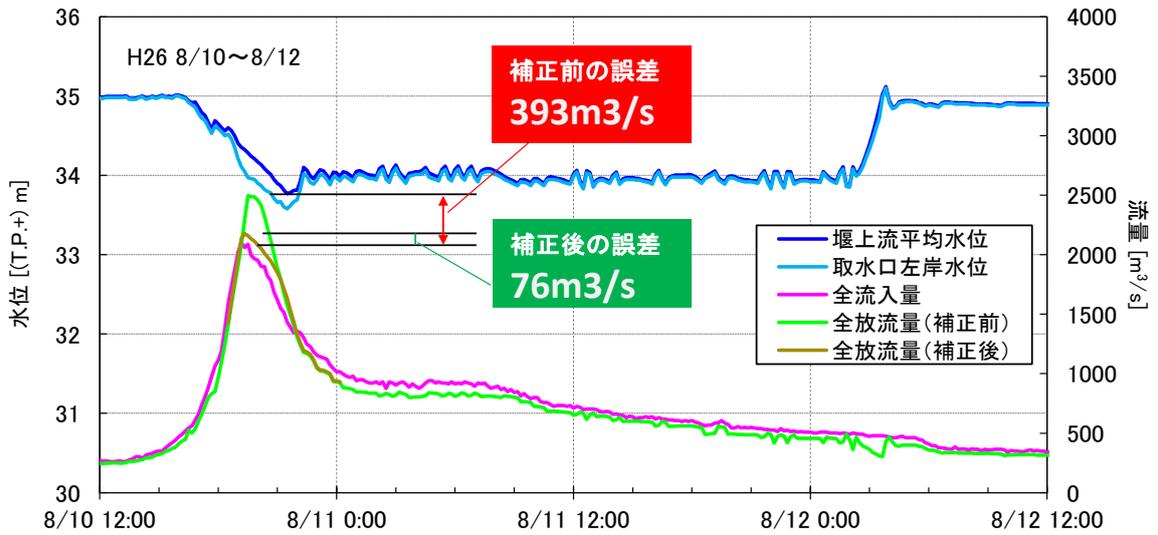


図 2.5-6 (6) 平成26年8月洪水における放流量検討結果

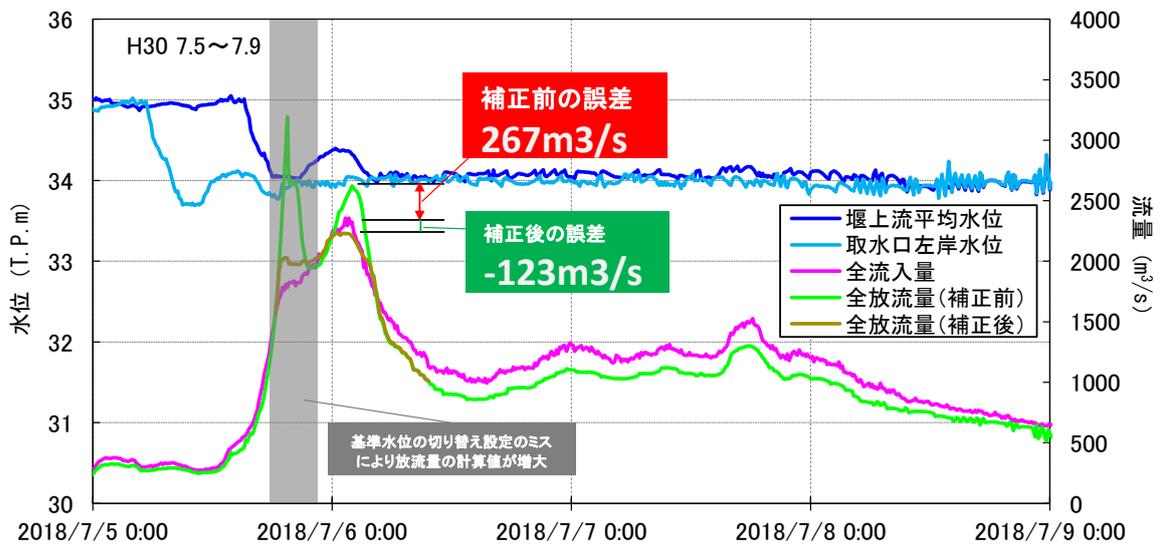


図 2.5-6 (7) 平成30年7月洪水における放流量検討結果

2.6 まとめ

2.6.1 治水のまとめ

(1) 洪水時の対応

鳴鹿大堰では、平成 25 年から 29 年までの 5 年間で、下段扉操作を計 40 回実施しており、いずれの場合においても鳴鹿大堰の適切な操作により、流入した洪水を阻害することなく安全に流下させている。なお、下段扉の全開操作を伴う 2,600m³/s 以上の洪水は生じていない。

(2) 流下能力の向上

鳴鹿大堰改築に伴う河道改修により、堰上下流の流下能力が改善されており、既往最大の流入量を記録した平成 25 年 7 月洪水では、建設前と比べて鳴鹿堰堤上流の 29.6k~30.4k で 1m 程度の水位低減効果が得られた。

(3) 放流量の算定誤差

放流量の算定誤差に関する洪水時のデータ蓄積に努め、平成 25 年から 29 年までの 5 年間に生じた、最大流入量が 2,000m³/s を越える 2 回の洪水と参考として平成 30 年度の 1 回の洪水を対象に、平成 25 年の定期報告で提案された補正方法の妥当性を検証した。この結果、すべての洪水において誤差が縮小する効果が確認された。また、平成 25 年の定期報告においても同様の検証が行われ、誤差が縮小することが確認されている。

2.6.2 今後の方針

地域の安全を確保するため、洪水時の適切な対応を引き続き行っていくとともに、これまでの状況を勘案し、施設や運用方法の改善など、洪水時のよりよい管理を行うために必要な検討を行っていく。

放流量の算定誤差については、実洪水を用いて補正方法の妥当性を検証した結果、算定誤差の縮小が確認されたため、放流量算定の補正方法を採用するものとし、今後、補正方法を採用した場合の洪水データを蓄積し、補正方法の検証を継続的に行う。

2.7 文献リスト

表 2.7-1 「2.治水」に使用した文献・資料リスト

No.	文献・資料名	発行者・出典	発行年月	引用ページ・箇所
2-1	九頭竜川水系九頭竜川・日野川洪水浸水想定区域図	国土交通省 近畿地方整備局	平成 28 年 6 月	2.1.1 洪水浸水想定区域の状況
2-2	九頭竜川鳴鹿大堰モニタリング調査報告書	財団法人 ダム水源環境整備センター	平成 17 年 3 月	2.2.1 洪水時制御の運用計画 2.4.1 河道改修および堰改築による水位低減効果
2-3	鳴鹿大堰操作マニュアル	近畿地方整備局 福井河川国道事務所	平成 18 年 4 月	2.2.1 洪水時制御の運用計画
2-4	九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成 25 年次報告書	近畿地方整備局 福井河川国道事務所	平成 26 年 2 月	2.3.3 洪水時操作効果
2-5	九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成 26 年次報告書	近畿地方整備局 福井河川国道事務所	平成 27 年 2 月	2.3.3 洪水時操作効果
2-6	九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成 28 年次報告書	近畿地方整備局 福井河川国道事務所	平成 29 年 3 月	2.3.3 洪水時操作効果
2-7	九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成 29 年次報告書	近畿地方整備局 福井河川国道事務所	平成 30 年 2 月	2.3.3 洪水時操作効果