

9.4 流水型ダムにおける河川の連続性確保に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
 研究期間：平 23～平 27
 担当チーム：水工研究グループ（水理）
 研究担当者：箱石憲昭、宮脇千晴
 海野 仁、櫻井寿之
 宮川 仁

【要旨】

近年、治水専用の流水型ダムの計画・建設事例が増加してきており、ダムにおける河川の連続性確保への期待が高まってきている。しかしながら、連続性の確保と洪水調節の機能とはトレードオフの関係にあり、従来の放流設備によって十分に連続性を確保することは困難である。そこで、常時は貯留しない流水型ダムにおいて、土砂や生物の移動を考慮した、従来にはない放流設備の配置計画手法や設計手法が求められている。

本研究は、河川の連続性を確保する流水型ダムに必要となる新形式放流設備の開発、放流設備の計画・設計技術の提案、濁水発生機構の解明及び予測・対策技術の提案を目的とするものである。

キーワード：流水型ダム、河川の連続性確保、ゲート設備、水理模型実験、土砂の連続性、一次元河床変動解析

1. はじめに

近年、治水専用の流水型ダムが環境面から注目されてきている。流水型ダムは、洪水調節開始流量に達しない場合（以下、常時という）は貯留せず、洪水時にのみ河床付近に配置した洪水調節用放流設備により放流量を調節する形式のものである。また、各種治水事業に対する環境負荷低減の要求が高まっており、ダムにおいても河川の連続性を確保する事業の展開が求められている。

一方、既存の農地防災ダム等の治水専用ダムでは、河川の連続性確保への対応は考慮されていないと考えられる。このため、これまでのダムの設計とは異なる視点から、ダムに必要な放流設備の配置・設計及び操作方法等を検討していくことが必要である。

上記に鑑み、本年度は、対象ダムを設定し、長期間における土砂の連続性について流域面積・洪水ハイドロ・洪水調節計画・流入土砂量を設定し、貯水池内堆砂や土砂流出について、一次元河床変動計算を用いて流水型ダムと自然河道の違いによる影響について調査した。さらに、流水型ダムでの水位低下時の濁水発生機構の解明に資するため、再開発ダムの水位低下時の現地調査によるデータ収集を行った。また、平成 24 年度に引き続いて小型化した回転式ゲートと既存技術を活用したローラゲートについて、水理模型実験により流木や土砂の影響の他、放流能力等の水理機能調査を実施した。

2. 調査の概要

長期間の土砂の連続性の検討は、平成 24 年度同様に 100 年間の流況、モデル貯水池を設定し、洪水調節計画は 100 年確率流量の基本高水流量を 7 割カットする常用洪水吐き規模とし、洪水調節開始流量を平均年最大流量とする計画とした。この条件で流入土砂量^{1),2)}が全国平均に比べてやや多めとやや少なめの 2 ケースについて、比較的堆砂量が小さくなる断面が横長の常用洪水吐きを配置した流水型ダムとダムを設置しない自然河道について、1 次元河床変動計算により土砂の連続性についての検討を実施した。粒径区分は、粘土から礫を 15 区分にして用いた。

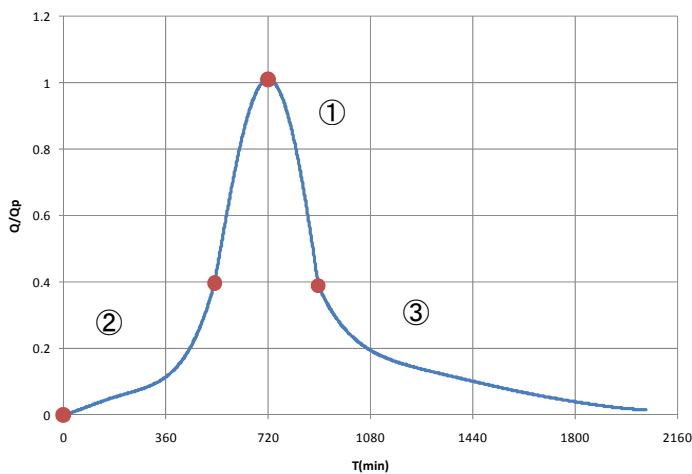
この他、再開発ダムにおける水位低下時の濁水発生状況などの現地調査を行うとともに、水理模型実験により小型化した回転式ゲートや既存技術を利用したローラゲートについて水理機能等を調査した。

3. 調査結果

3.1 1 次元河床変動計算の検討ケースと結果

1 次元河床変動計算に用いた 100 年間の流入洪水ハイドロと各確率洪水ハイドロは図 3.1 に示すとおりである。また、土砂の粒径区分を表 3.1 に、対象とした貯水池諸元を図 3.2 に、洪水調節例を図 3.3 に示す。なお、洪水調節に用いる常用洪水吐きは、流域面積 $A=50\text{km}^2$ では常時は幅 $B_o=8.2\text{m}$ ×高さ $D_o=2.5\text{m}$ 、洪水時には流入量が平均年最大流量 $Q_n=51.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上で $B_o=8.2\text{m}$ × $D_o=0.53\text{m}$ としている。また、 $A=100\text{km}^2$ では、常時は幅 $B_o=10.3\text{m}$ ×高

流入確率洪水ハイドロ形状とピーク流量



確率年	ピーク流量 (m ³ /s)	
	流域面積	
	50km ²	100km ²
1	23	46
2	51	102
5	93	186
10	131	261
20	174	349
30	203	406
50	242	484
80	281	561
100	300	600

① $Q/Q_p = 1.4112E-11T^4 - 8.5319E-09T^3 + 1.5008E-06T^2 + 2.0641E-04T$

② $Q/Q_p = 1.1034E-09T^4 - 3.2433E-07T^3 + 3.3350E-04T^2 - 0.142765T + 21.519$

③ $Q/Q_p = 1.9243E-18T^6 - 1.87504E-14T^5 + 7.56943E-11T^4 - 1.16962E-07T^3 + 1.93709E-04T^2 - 0.123007956T + 32.6423$

確率規模	100年間 洪水数 (出水)
1年	50
2年	30
5年	10
10年	5
20年	2
30年	1
50年	1
100年	1
合計	100

100 年間の流入洪水と洪水数

年	確率規模	年	確率規模	年	確率規模	年	確率規模	年	確率規模
1	10年	21	1年	41	1年	61	1年	81	1年
2	2年	22	2年	42	2年	62	2年	82	2年
3	1年	23	1年	43	1年	63	1年	83	1年
4	2年	24	2年	44	2年	64	2年	84	2年
5	5年	25	5年	45	5年	65	5年	85	5年
6	1年	26	1年	46	1年	66	1年	86	1年
7	2年	27	2年	47	2年	67	2年	87	2年
8	1年	28	1年	48	1年	68	1年	88	1年
9	1年	29	1年	49	1年	69	1年	89	1年
10	20年	30	100年	50	30年	70	50年	90	20年
11	1年	31	1年	51	1年	71	1年	91	1年
12	1年	32	1年	52	1年	72	1年	92	1年
13	2年	33	2年	53	2年	73	2年	93	2年
14	1年	34	1年	54	1年	74	1年	94	1年
15	5年	35	5年	55	5年	75	5年	95	5年
16	2年	36	2年	56	2年	76	2年	96	1年
17	1年	37	1年	57	1年	77	1年	97	2年
18	2年	38	2年	58	2年	78	2年	98	1年
19	1年	39	1年	59	1年	79	1年	99	2年
20	10年	40	10年	60	10年	80	10年	100	1年

図3.1 100 年間の流入洪水ハイドロと各確率洪水ハイドロ形状

表 3.1 土砂の粒径区分並びに係数 α

分類	粒径No.	粒径区分(mm)	代表粒径(mm)	β	分類の割合1(%)		分類の割合2(%)	
礫	1	75 ~ 190	119.3734	1.5	0.50	15	0.10	10
	2	37.5 ~ 75	53.0330	1.5	1.00		0.30	
	3	19 ~ 37.5	26.6927	1.5	1.50		0.60	
	4	9.5 ~ 19	13.4350	1.5	4.00		3.00	
	5	4.75 ~ 9.5	6.7175	1.5	4.00		3.00	
	6	2 ~ 4.75	3.0822	1.5	4.00		3.00	
砂	7	0.85 ~ 2	1.3038	1.5	4.00	20	4.00	20
	8	0.425 ~ 0.85	0.6010	1.5	4.00		4.00	
	9	0.25 ~ 0.425	0.3260	1.5	4.00		4.00	
	10	0.106 ~ 0.25	0.1628	2	4.00		4.00	
	11	0.075 ~ 0.106	0.0892	2	4.00		4.00	
シルト	12	0.034 ~ 0.075	0.0505	2	10.00	35	10.00	35
	13	0.015 ~ 0.034	0.0226	2	10.00		10.00	
	14	0.007 ~ 0.015	0.0102	2	15.00		15.00	
粘土	15	~ 0.007	0.0050	2	30.00	30	35.00	35
				合計	100	100	100	100

流域面積50km² 河床勾配1/50

分類	粒径No.	比堆砂量 650m ³ /km ² /年		比堆砂量 350m ³ /km ² /年		比堆砂量 650m ³ /km ² /年		比堆砂量 350m ³ /km ² /年	
		α	β	α	β	α	β	α	β
礫	1	9.76E-06	1.5	1.95E-06	1.5	5.25E-06	1.5	1.05E-06	1.5
	2	1.95E-05	1.5	5.86E-06	1.5	1.05E-05	1.5	3.15E-06	1.5
	3	2.93E-05	1.5	1.17E-05	1.5	1.58E-05	1.5	6.31E-06	1.5
	4	7.81E-05	1.5	5.86E-05	1.5	4.20E-05	1.5	3.15E-05	1.5
	5	7.81E-05	1.5	5.86E-05	1.5	4.20E-05	1.5	3.15E-05	1.5
	6	7.81E-05	1.5	5.86E-05	1.5	4.20E-05	1.5	3.15E-05	1.5
砂	7	7.81E-05	1.5	7.81E-05	1.5	4.20E-05	1.5	4.20E-05	1.5
	8	7.81E-05	1.5	7.81E-05	1.5	4.20E-05	1.5	4.20E-05	1.5
	9	7.81E-05	1.5	7.81E-05	1.5	4.20E-05	1.5	4.20E-05	1.5
	10	9.20E-06	2	9.20E-06	2	4.95E-06	2	4.95E-06	2
	11	9.20E-06	2	9.20E-06	2	4.95E-06	2	4.95E-06	2
シルト	12	4.60E-05	2	4.60E-05	2	2.48E-05	2	2.48E-05	2
	13	4.60E-05	2	4.60E-05	2	2.48E-05	2	2.48E-05	2
	14	6.90E-05	2	6.90E-05	2	3.72E-05	2	3.72E-05	2
粘土	15	1.38E-04	2	1.61E-04	2	7.43E-05	2	8.67E-05	2

流域面積100km² 河床勾配1/100

分類	粒径No.	比堆砂量 650m ³ /km ² /年		比堆砂量 350m ³ /km ² /年		比堆砂量 650m ³ /km ² /年		比堆砂量 350m ³ /km ² /年	
		α	β	α	β	α	β	α	β
礫	1	7.00E-06	1.5	1.40E-06	1.5	3.77E-06	1.5	7.53E-07	1.5
	2	1.40E-05	1.5	4.20E-06	1.5	7.53E-06	1.5	2.26E-06	1.5
	3	2.10E-05	1.5	8.40E-06	1.5	1.13E-05	1.5	4.52E-06	1.5
	4	5.60E-05	1.5	4.20E-05	1.5	3.01E-05	1.5	2.26E-05	1.5
	5	5.60E-05	1.5	4.20E-05	1.5	3.01E-05	1.5	2.26E-05	1.5
	6	5.60E-05	1.5	4.20E-05	1.5	3.01E-05	1.5	2.26E-05	1.5
砂	7	5.60E-05	1.5	5.60E-05	1.5	3.01E-05	1.5	3.01E-05	1.5
	8	5.60E-05	1.5	5.60E-05	1.5	3.01E-05	1.5	3.01E-05	1.5
	9	5.60E-05	1.5	5.60E-05	1.5	3.01E-05	1.5	3.01E-05	1.5
	10	4.62E-06	2	4.62E-06	2	2.49E-06	2	2.49E-06	2
	11	4.62E-06	2	4.62E-06	2	2.49E-06	2	2.49E-06	2
シルト	12	2.31E-05	2	2.31E-05	2	1.24E-05	2	1.24E-05	2
	13	2.31E-05	2	2.31E-05	2	1.24E-05	2	1.24E-05	2
	14	3.46E-05	2	3.46E-05	2	1.86E-05	2	1.86E-05	2
粘土	15	6.92E-05	2	8.08E-05	2	3.73E-05	2	4.35E-05	2

$A=50\text{km}^2$ $B=20\text{m}$, $I=1/50$, $Q_n=51\text{m}^3/\text{s}$
 $A=100\text{km}^2$, $B=20\text{m}$, $I=1/100$, $Q_n=102\text{m}^3/\text{s}$

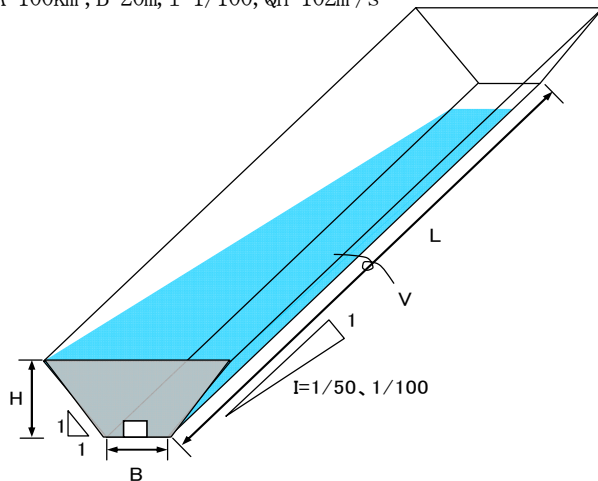
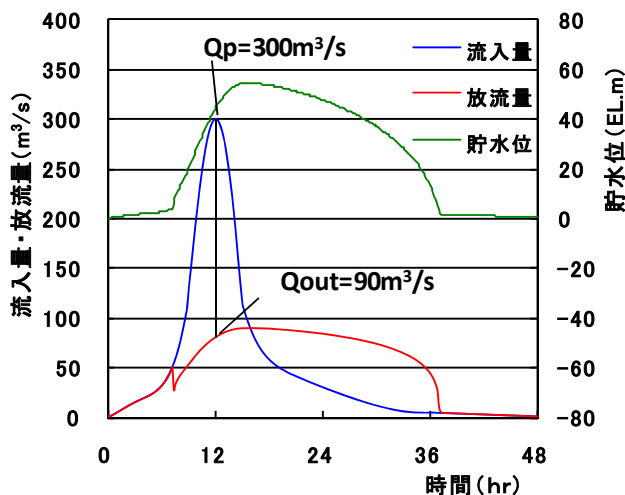


図 3.2 貯水位諸元

図 3.2 洪水調節例 ($A=50\text{km}^2$)

さ $D_o=3.4\text{m}$ 、洪水時には流入量が $Q_n=102.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上で $B_o=10.3\text{m} \times D_o=0.84\text{m}$ としている。なお、ダム無しの自然河道では、出発水位を等流水位で計算した。各ケースでの堆砂量変化を図 3.4a~d に、100 年後の堆砂量を表 3.3 に示す。自然河道のケースでは、流入土砂量が多いほど 100 年後の堆砂量が大きくなっており、また、礫分の割合が多いほどその傾向は大きくなっている。なお、流域面積が 50km^2 の場合は洪水規模に関係なくほぼ一定の堆砂量になっているが、 100km^2 の場合には、ケース 7 を除いて経年的に堆砂量が増加している。

これらから、流入土砂量や粒径、特に礫分の影響により、堆砂量が経年的に増加する河川や洪水によらず堆砂量が一定となる河川があることがわかった。また、これらの河川で流水型ダムを設置して、ここに示すような洪水調節を実施した場合に、経年的に堆砂量が一定となる河川では、洪水規模に伴う堆砂が進むが、以降の中小洪

表 3.2 検討ケース

ケース	貯水池条件	流入土砂量条件		粒度条件
		比堆砂量 ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$)	比流入土砂量 ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$)	
1	貯水池条件 1	650	1073	礫 15% 砂 20% シルト・粘土 65%
2			1105	礫 10% 砂 20% シルト・粘土 70%
3	河床勾配 1/50 流域面積 50km^2	350	578	礫 15% 砂 20% シルト・粘土 65%
4			595	礫 10% 砂 20% シルト・粘土 70%
5	貯水池条件 2	650	1073	礫 15% 砂 20% シルト・粘土 65%
6			1105	礫 10% 砂 20% シルト・粘土 70%
7	河床勾配 1/100 流域面積 100km^2	350	578	礫 15% 砂 20% シルト・粘土 65%
8			595	礫 10% 砂 20% シルト・粘土 70%

水により堆砂を下流に流下させることが可能となる。但し、比較的流入土砂量が大きく、礫分の割合が多くなると、堆砂を下流に流下できなくなる場合もあるので、今後は、これらの影響について調査する必要がある。いずれにせよ、洪水調節を行うことは、ダム上流の水位が上昇することとなり、流入する土砂も貯水池内に必ず堆積されることから、これらの堆砂を比較的早めに下流へ流下させることが重要となる。

また、流域面積が 100km^2 の場合は、 50km^2 の 2 倍の流入土砂量となり、河床勾配も 1/100 とゆるやかな影響で、堆砂のほとんどが砂や礫分から構成され、特に礫分の影響が大きくなっている。洪水時にこの河川で流下できない礫分を流入させていないかも含めて検討するとともに、経年堆砂傾向を少しでも小さくすることができるような要因分析を実施する必要がある。

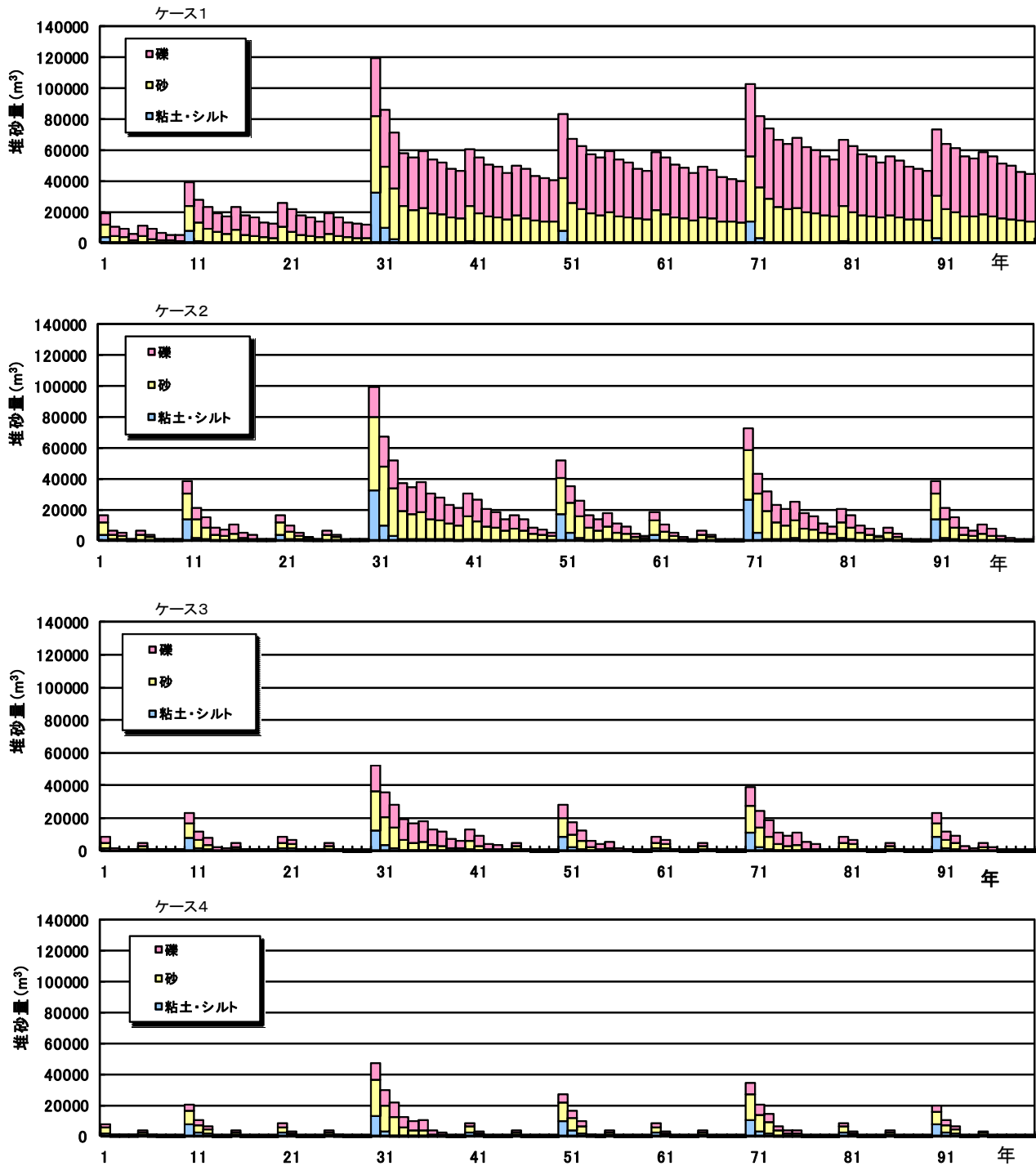


図 3. 4a 100 年間における堆砂量変化 (流水型ダム A=50km²)

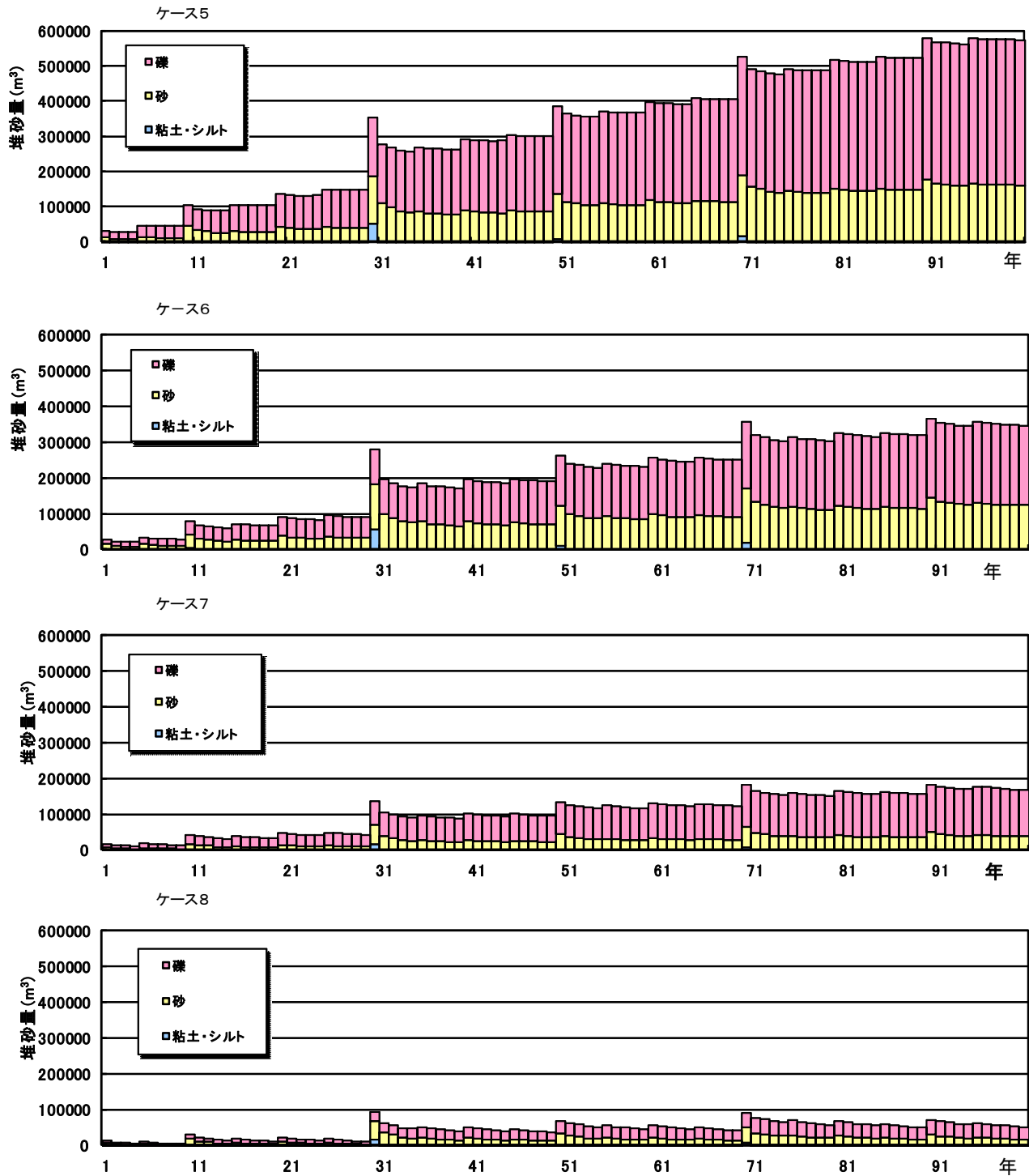


図 3. 4b 100 年間における堆砂量変化 (流水型ダム A=100km²)

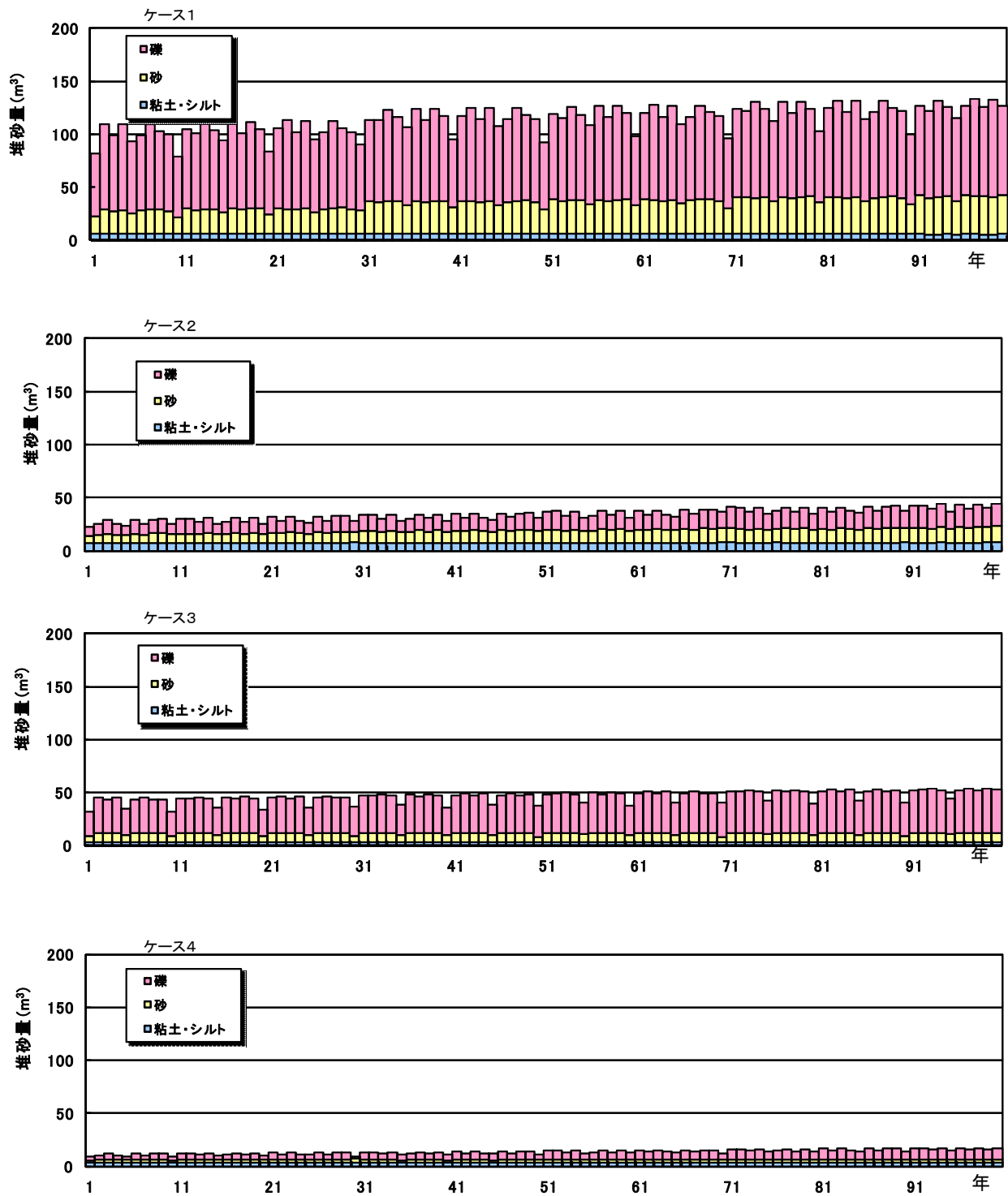


図 3. 4c 100 年間における堆砂量変化 (自然河道 $A=50km^2$)

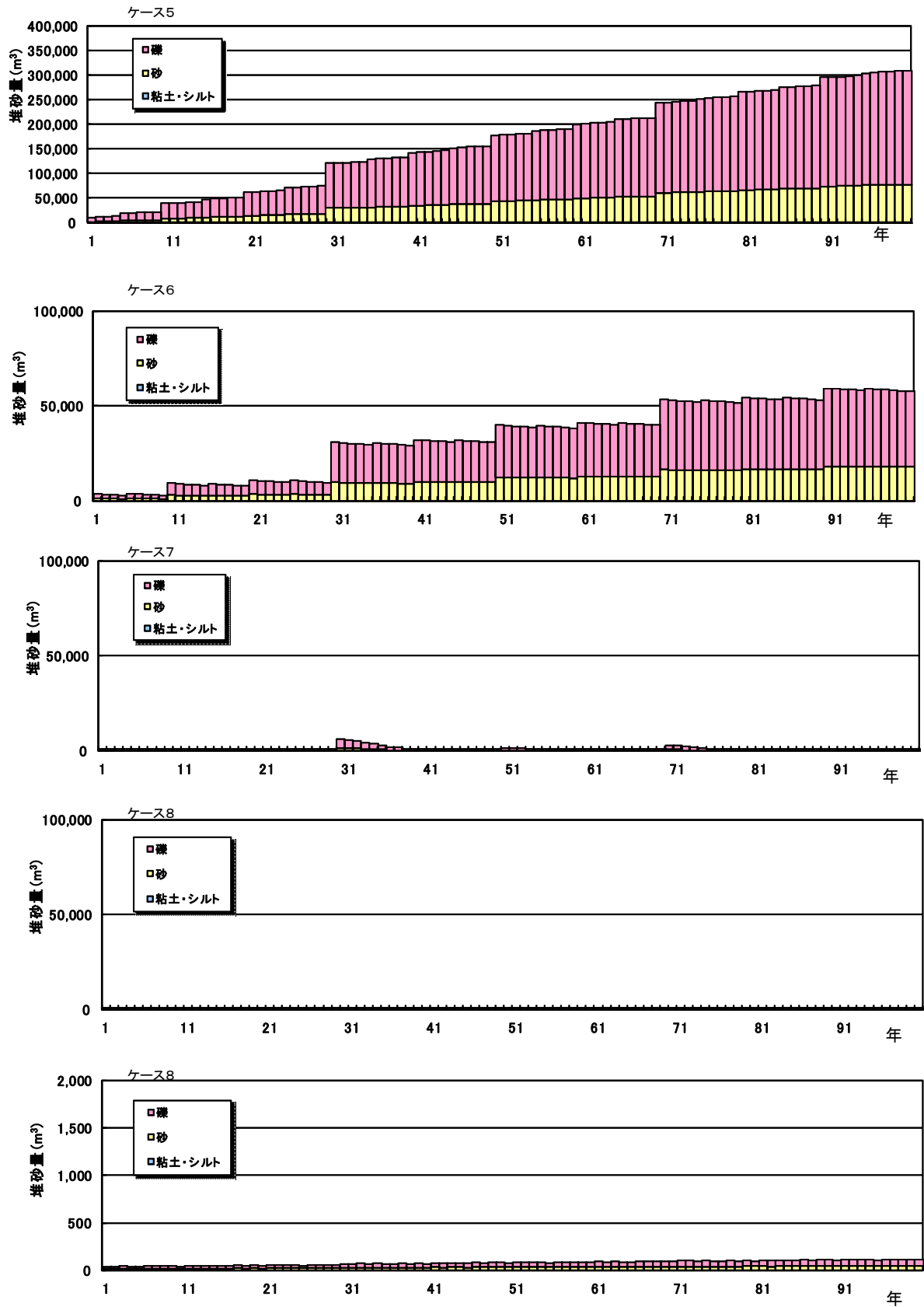


図 3.4d 100 年間における堆砂量変化 (自然河道 $A=100km^2$)

表 3.3 100 年後の堆砂量

ケース	貯水池条件	流入土砂量条件		粒度条件	100年後の堆砂量 ダム有り(m ³)		100年後の堆砂量 ダム無し(m ³)	
		比堆砂量 (m ³ /km ² /年)	比流入土 砂量 (m ³ /km ² /年)		粒度別	合計	粒度別	合計
1	貯水池条件 1	650	1073	礫15%	30,635	44,666	85	127
				砂20%	13,790		36	
				シルト・粘土65%	242		6	
2	河床勾配 1/50 流域面積 50km ²	350	1105	礫10%	14	22	21	44
				砂20%	0		15	
				シルト・粘土70%	8		7	
3		350	578	礫15%	27	30	41	53
				砂20%	0		9	
				シルト・粘土65%	3		3	
4		350	595	礫10%	3	7	11	17
				砂20%	0		3	
				シルト・粘土70%	4		4	
5	貯水池条件 2	650	1073	礫15%	411,089	573,103	230,033	308,388
				砂20%	161,270		77,999	
				シルト・粘土65%	744		355	
6	河床勾配 1/100 流域面積 100km ²	350	1105	礫10%	222,342	346,002	39,608	57,581
				砂20%	123,191		17,895	
				シルト・粘土70%	469		79	
7		350	578	礫15%	129,909	167,880	229	333
				砂20%	37,831		100	
				シルト・粘土65%	140		3	
8		350	595	礫10%	33,957	50,034	70	113
				砂20%	15,869		39	
				シルト・粘土70%	209		4	

※堆砂量及び流入土砂量は空隙を含んだ値である。

3. 2 小型化した回転式ゲートの検討結果

表 3.4 に示す扉体半径 4m の平成 24 年度に調査した回転式ゲートに必要なスクリーンは、調査結果からこのゲート全体を覆う必要性からかなり大規模な構造物になる。このため、必要最低限に小型化して、扉体半径を 3m とした。

ゲートは、縮尺 1/25 で製作し、平均年最大流量 60.5m³/s まで常時の状態（開口高さ D=1.8m）で洪水調節をせず、それ以上の流量では、閉操作により開口高 D=0.5m にする回転式のセクターゲートである。小型化した回転式ゲートについて更なる検討を実施した（写真 3.1、図 3.4 参照）。この模型を用いて、放流能力、水位上昇時及び水位下降時のゲートの開閉状況並びに土砂通過時の開閉状況を調査した。なお、文中の数値は実物換算値である。

放流能力調査結果を図 3.6 に示す。図 3.6 より、放流能力は、次式となる。

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad \text{-----} \quad (3-1)$$

$$\text{開水路流} \quad C = 0.1271H \quad H \leq 1.8\text{m}$$

$$\text{管路流} \quad C = \sqrt{-0.1075(G/H) + 0.5763}$$

$$G/H < 0.278$$

ここに、Q：放流量(m³/s)、C：流量係数、

A：吐口断面積 5m²、G：開口高=0.5m、

B：開口幅=10m、H：貯水頭(m)

図 3.6 より、実験値と上式から得られた推定値との誤差は小さいことが分かる。また貯水位 50m での放流量 119m³/s は、想定している洪水調節時の基本高水流量のピークカット流量 110m³/s と概ね等しく、設計条件としてのゲートの必要機能を満足していると考ええる。

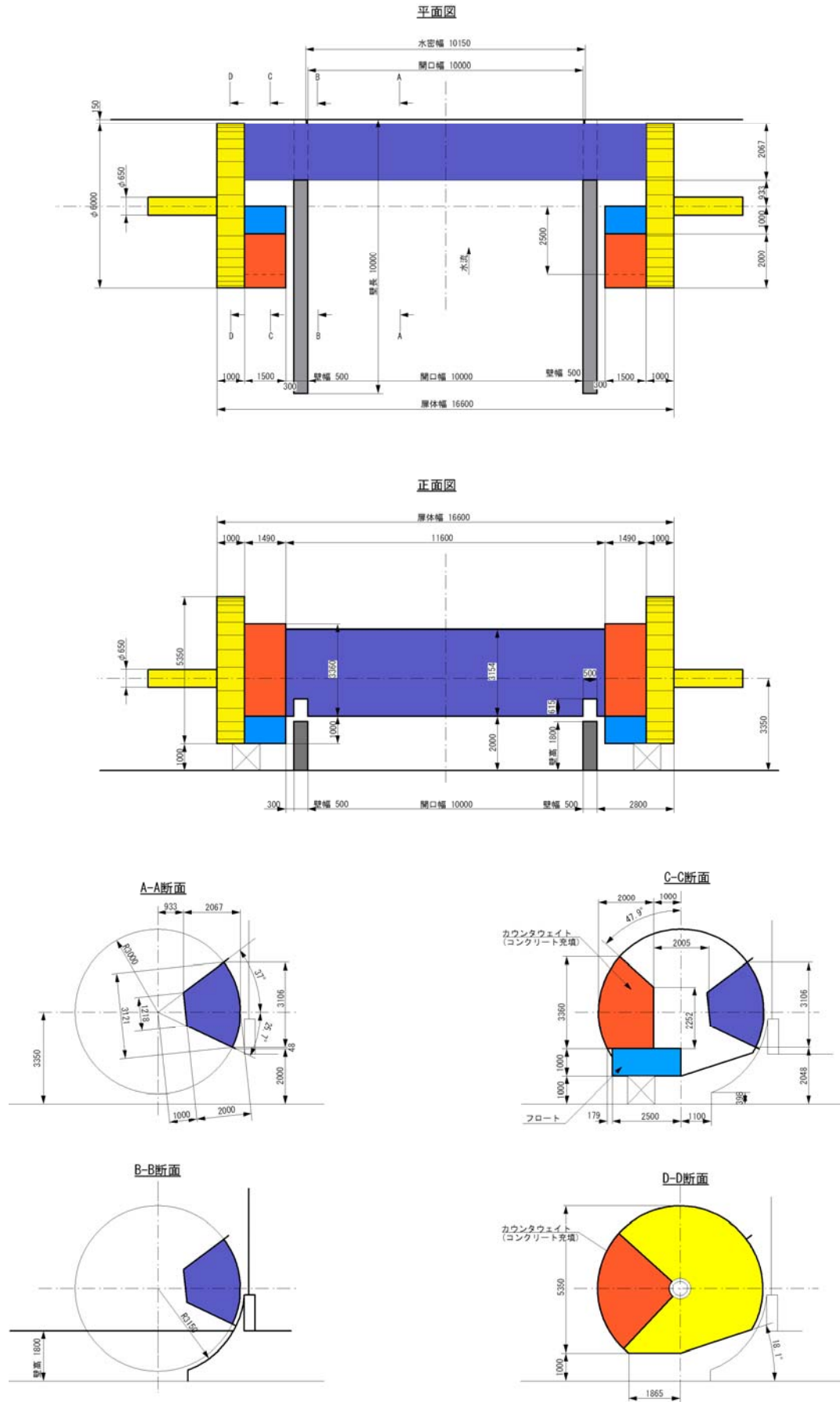
次に、水位上昇時及び下降時のゲート自動開閉状況を調査した。このゲートは、図 3.5 に示すフロートとカウンタウエイトのバランスにより水位上昇時は水位が 1.8m

表 3.4 回転式ゲートの設定諸元

項目		設定値	備考
ダム	ダム高	50 m	中小ダム
	流域面積	50 km ²	中小ダム
	河床勾配	1/50	
	堤体開口幅	10 m	空洞部強度より決定
	堤体開口高	5 m	
	流量	60.2 m ³ /s	平均年最大流量
	粗度係数	0.050	山地河川 (水のみによる予備実験により決定)
ゲート	形式	ライジングセクタゲート	
	開口寸法	幅10m × 高5m	
	扉体半径	4 m	
	設計水深	50 m	
	操作水深	1.8 m	平均年最大流量を開水路で流す水深
	操作方式	自動(水位連動)	閉操作: フロート浮力 開操作: バラスト水重量
	洪水調節開度	0.5 m	基本高水流量550m ³ /sを110m ³ /sにカットした場合



図 3.5 小型化した回転式ゲート



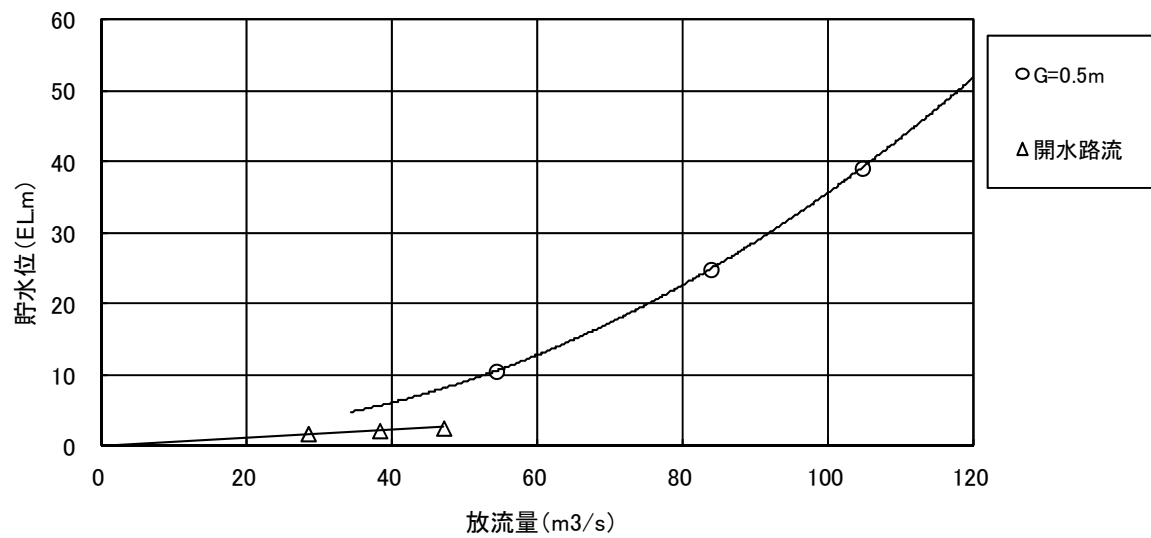


図 3.6 小型化した回転式ゲート放流能力調査結果

水位上昇時

水位下降時

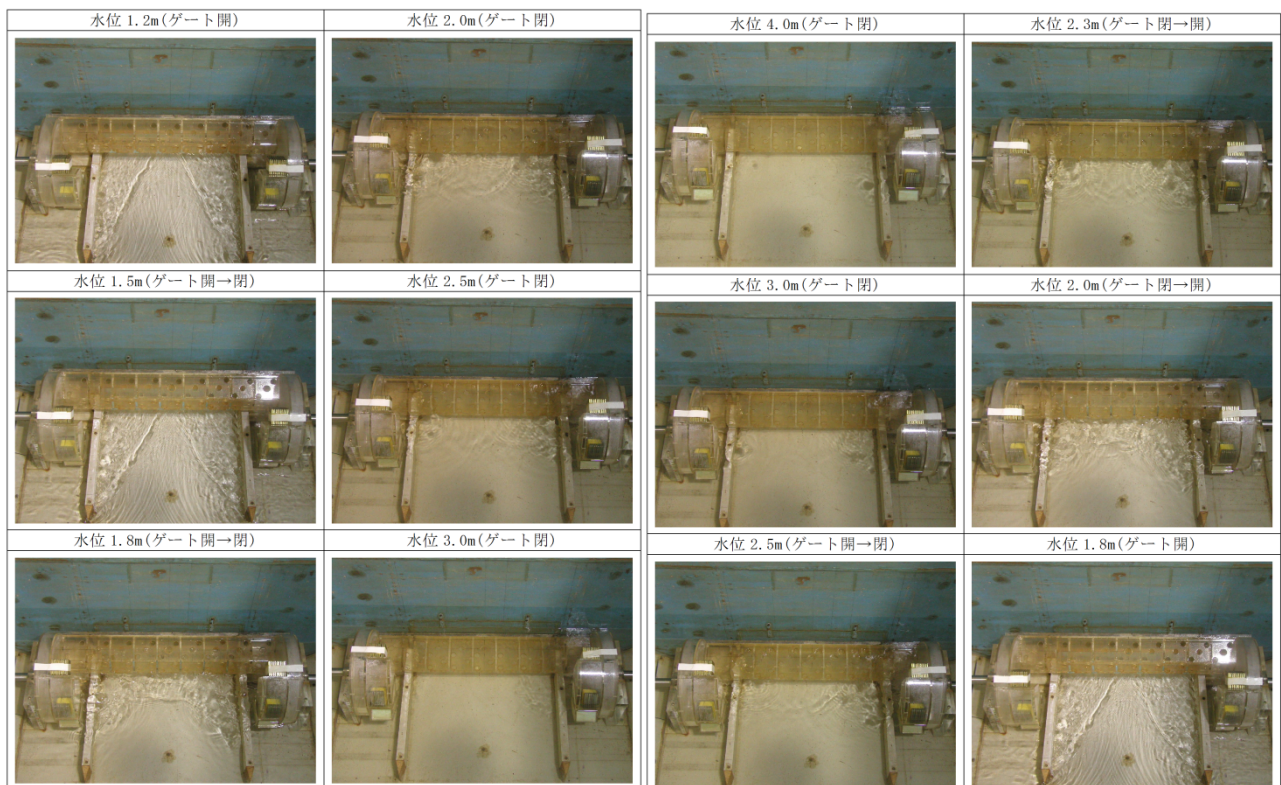


写真 3.2 小型化した回転式ゲートの水位と開閉状況

でゲート閉操作、水位下降時も水位が 1.8m 以下でゲート開操作となる。調査結果を写真 3.2 に示す。写真 3.2 より、水位が 1.5m からゲートが動作し始めて 2.0m でゲートが自動的に閉まり、その後の水位上昇時にもこのゲート開度を保持しており、その操作時も含めて安定した放流状況である。次に、水位低下時であるが、水位が 2.5m 付近でゲートが開方向へ動作し始めて水位が 1.8m で全開になった。なお、この操作時にも水位上昇と同様に安定した放流状況であった。水位上昇時、水位下降時とも規程の水位 1.8m で全閉、全開になったが、ゲート動作途中での放流能力を確認して、特に水位下降時には平均年最大流量以下でゲートを全開にする必要がある。

最後に、水位低下に伴う土砂の通過の影響を調査した。実験は、図 3.7 に示すように回転式ゲート水路前面に土砂を 30° の傾斜で高さ 3m 敷き詰めて、水位低下して水位 1.8m でゲート全開させて土砂の挙動を調査した。調査結果を写真 3.4 に示す。水位低下時に水位 1.8m でゲート全開となり、掃流力が回復して一度に土砂が崩壊して、中央部水路に向かう土砂は通過し、左右の回転部に高さ 2m の土砂が残った。これにより、その後のゲートの開閉は不能となる。このため、左右の回転部分への土砂の流れ込みのみを防ぐために図 3.8 に示す土砂止め壁を設置して調査した。なお、左右に設置する土砂止め壁は自動開閉のために水位を確保しつつ、土砂のみ止める必要から、スリットをいれた上流、中流、下流の 3 段構造とした。調査結果を写真 3.5 に示す。写真 3.5 より、この形状で回転部分への土砂の流入はなくなり、かつ開閉動作のための水位は確保できた。

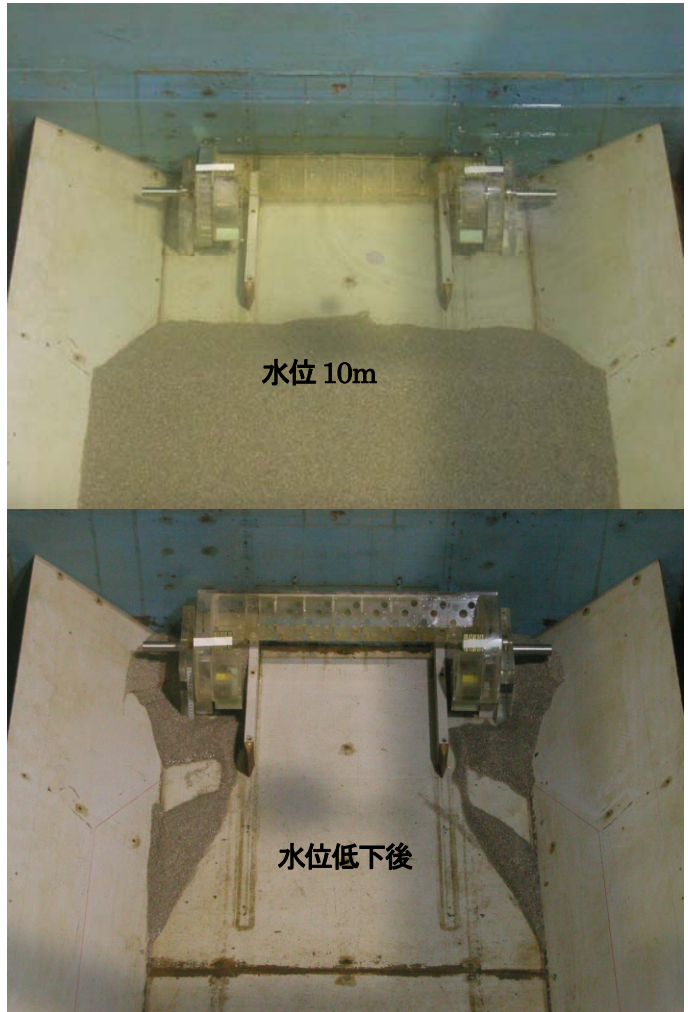


写真 3.4 水位低下に伴う土砂の状況

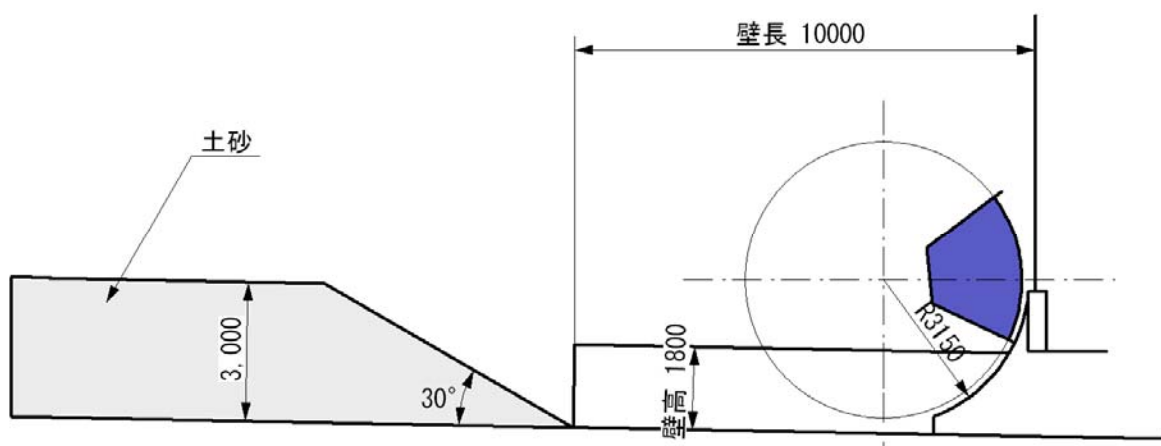


図 3.7 土砂通過実験概要（堆砂形状）

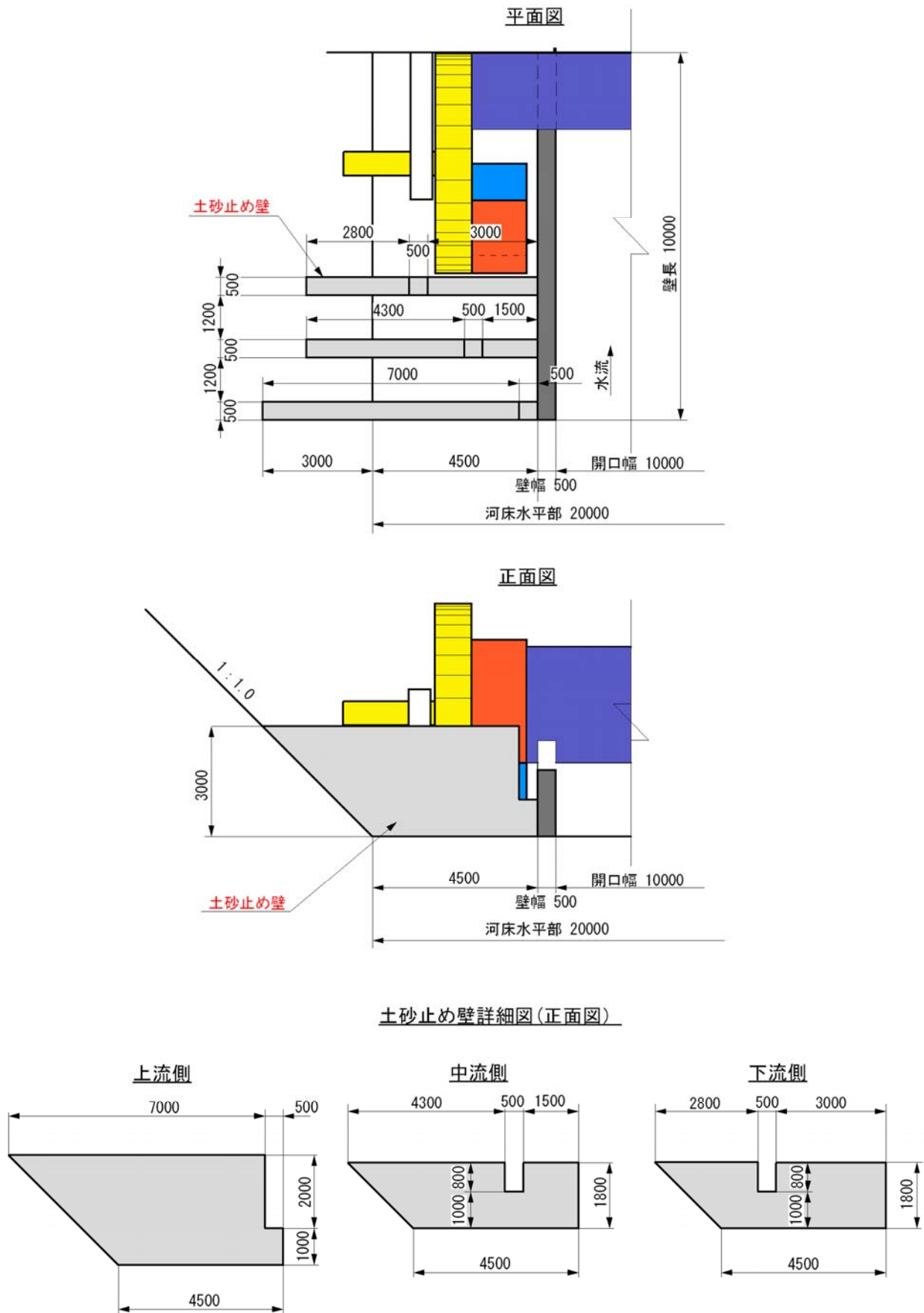


図 3.8 土砂止め壁詳細図



写真 3.5 土砂止め壁設置時の水位低下時土砂状況

3.3 既存技術を活用したローラゲートの検討結果

ダム用高圧ゲートとして実績のある形式としては、高圧ローラゲート、高圧スライドゲート、高圧ラジアルゲートがある。堤体上流面に設置する高圧ローラゲートは予備ゲートとしての実績が多数あり、上流面に配置することが容易である。高圧スライドゲートや高圧ラジアルゲートは通常、内圧を負担する放流管を伴って、管路途中またはダム下流に設置される。ただしラジアルゲートについては、中心軸を上流側に配置し、脚で引張力を支持する引張ラジアルゲートとすると堤体上流面にも設置可能と考えられる。ここでは実績、自重降下による閉動作の確実性から、高圧ローラゲートを選定し、以下の検討を行う。

流水型ダムの条件を設定し、放流ゲート設備の試設計を行う。対象とするダムの諸元を以下に示す。

- | | |
|-----------|------------------------|
| ① ダム高 | 50 m |
| ② 流域面積 | 50 km ² |
| ③ 平均年最大流量 | 60.2 m ³ /s |

- | | |
|---------------|---|
| ④ 平均年最大流量時の水深 | 1.8 m |
| ⑤ 開口断面 | 幅 10m×高 5m |
| ⑥ 洪水調節 | 基本高水流量 550m ³ /s
を 110m ³ /s にピークカット |

- ⑦ 洪水調節時ゲート開度 0.5 m

ゲートの設計条件は以下の通りである。

- | | |
|---------|----------|
| ①形式 | 鋼製ローラゲート |
| ②数量 | 1 門 |
| ③純径間 | 10.0m |
| ④有効高さ | 5.0m |
| ⑤設計水深 | 50.0m |
| ⑥操作開始水深 | 1.8m |

ただし操作中の水位上昇や操作遅れ、異物噛み込み時の開操作等、余裕分を考慮し、水深 25.0m までは操作可能なものとする。

- | | |
|--------|------------------------|
| ⑧ 水密方式 | 後面 3 方ゴム水密 ※ゲート下端は水密なし |
|--------|------------------------|

- ⑧閉方式 電動ワイヤロープウィンチ
(1M-2D)
- ⑨揚程 常時 1.8m、点検時 5.0m+ α
- ⑩開閉速度 閉操作 0.6m/min、開操作 0.3m/min
- ⑪許容応力等 ダム・堰施設技術基準 (案)
- ⑫たわみ 1/800 (部分開放流が前提であり、完全水密を必要としないため。)ただし放流時のゲート振動対策として高圧ゲートに準じて 1/2000 とすることも考えられる。

設計を行った結果を図 3.9 に示す。

①ゲートに作用する全水圧：約 23500 kN

②扉体を構成する主桁形状と材質：主桁高 1600mm、上下フランジ板厚 55mm、ウェブ板厚 22mm、材質 SMA490

③スキンプレート板厚と材質：スキンプレート板厚 22mm、材質 SM490

④開閉荷重とモータ容量：2600kN、30kW

⑤概算重量：扉体約 73t、戸当り金物約 15t

⑥形状図 (一般図、ゲート詳細図)

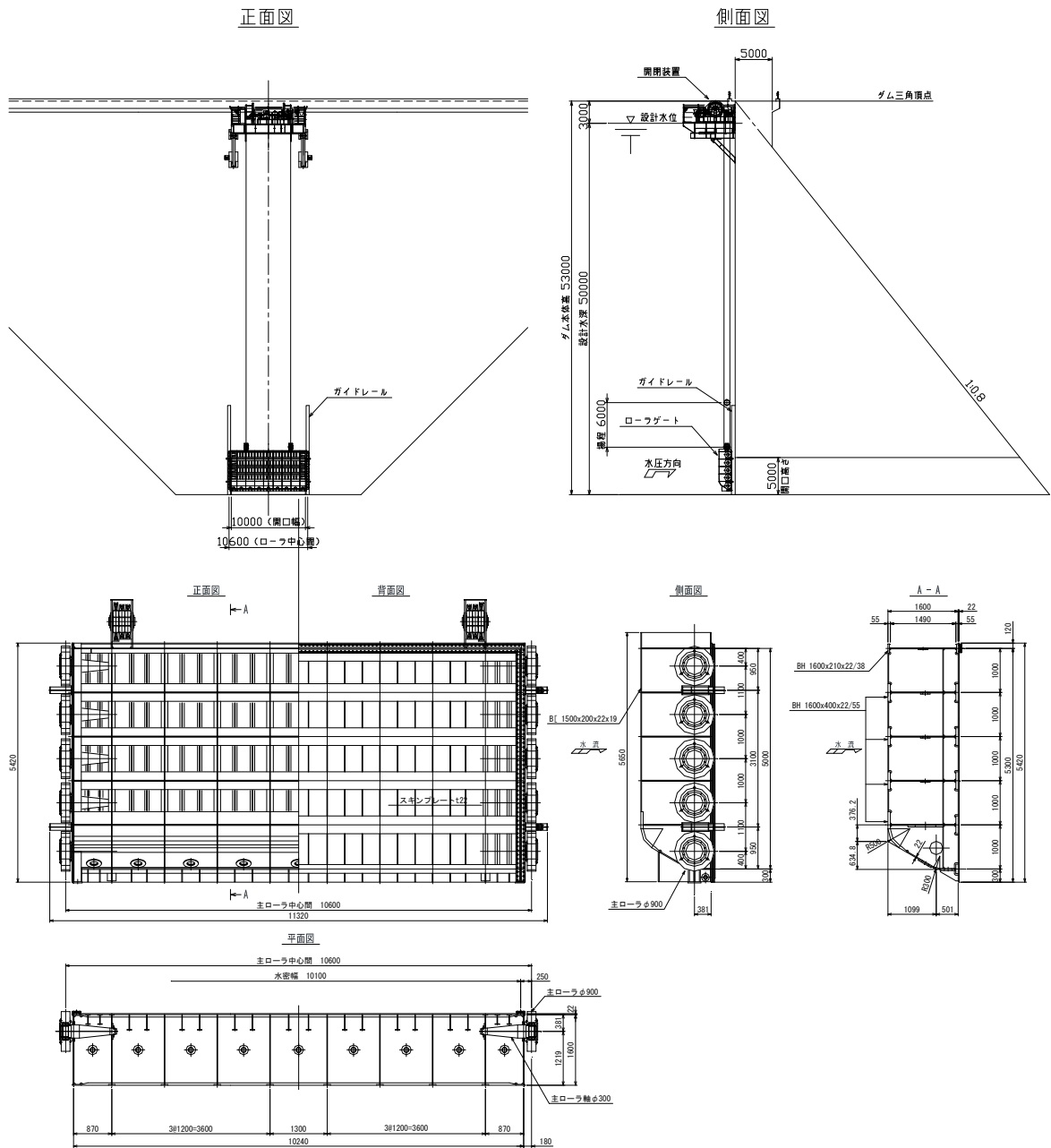


図 3.9 ローラゲート

設計したローラゲートについて、縮尺 1/100 の模型を製作設置して、放流能力、流木対策及び土砂通過時の影響等を調査した。

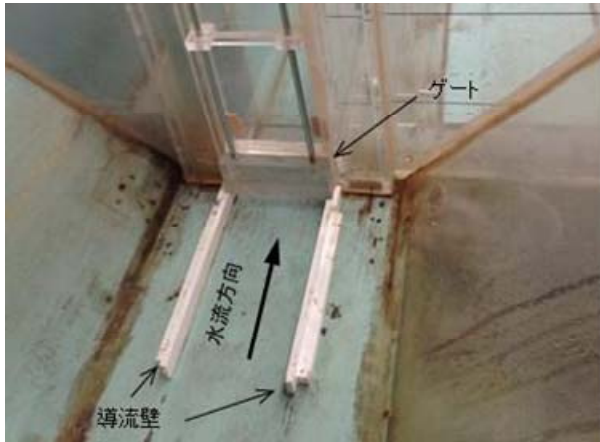


写真 3.6 実験模型概要

模型では、写真 3.6 に示すように、ゲート前面に導流壁を設置して実験を行った。

放流能力調査結果を図 3.10 に示す。

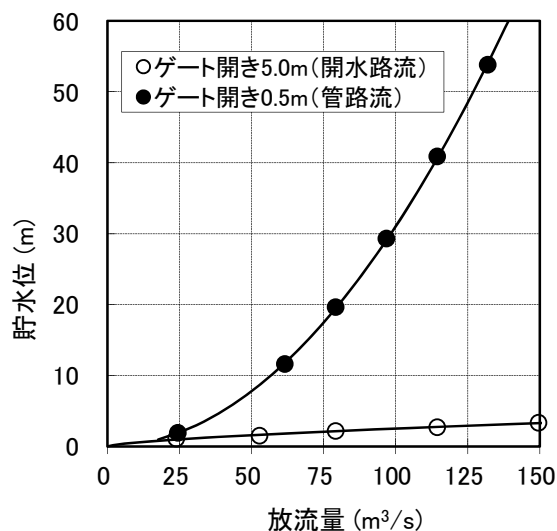


図 3.10 放流能力調査結果

図 3.10 より、放流能力は次式で示される。

$$Q = CA(2gH)^{0.5} \quad (3-2)$$

管路流（洪水調節時）： $C^2 = -0.000057(D/H) + 0.0066$

開水路流（常時）： $C = 0.5699(H/D) + 0.0032$

ここに、 Q ：放流量(m^3/s)、 C ：流量係数、

A ：吐口断面積、 D ：開口高=5m、

B ：開口幅=10m、 H ：貯水位(m)

次に、流木の影響について、調査した。調査結果を写真 3.7、3.8 に示す。流木 1000 本を貯水位 50m で浮かべ、水位 1.8m 程度まで低下させた。スクリーンがない場

合、流木がゲート前面やゲート上にある状況となり、上流側に溜まった多量の流木が下流へ流れ出る様子が見られたことから、上流側において、できる限り流木捕捉できるように、スクリーン等による対応が必要であると考えた。スクリーンを設置した場合、スクリーンはゲートの動作域を覆うような底面と堤体面が 12m 辺の三角形タイプを用いた。前面のスクリーン下端は河床より 1.8m の位置とした。スクリーンを設置することにより、ゲート上流において流木は捕捉され、ゲート下端への挟まる本数は低減された。また、ゲート開放動作域における流木阻害は改善され、動作の確実性向上に対して効果があることが示された。



写真 3.7 流木堆積状況（スクリーン無）



写真 3.8 流木堆積状況（スクリーン有）

堆積土砂流下状況の時間変化を図 3.11 に示す。ゲート周辺に堆積した土砂は左右岸の縮流によって通水開始より 10～20 分（模型 1～2 分）で流下し始め、ゲート下流側の土砂が流され、その後上流側の土砂が移動しながら流下した。なお、水路部に堆積した土砂は開始より 60～70 分（模型 6～7 分）でほぼ全て流下した。

本条件においては、ゲートの閉操作への影響は特になかったが、戸溝を有するタイプのゲートであり、戸溝部への土砂や流木による開閉不能な場合を考慮して、操作の確実性に資する対策を考慮する必要があると考える。

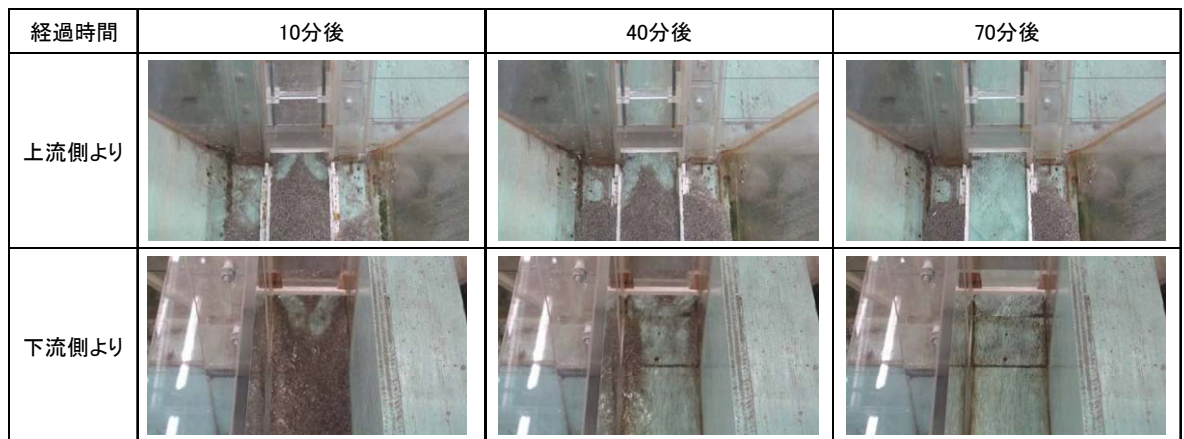


図 3.11 土砂の通水状況

3. 4 水位低下に伴う濁水関連の現地調査結果

再開発工事のために貯水位を低下させるダムにおいて、流水型ダムにおける濁水発生機構の解明のための現地調査を実施した。

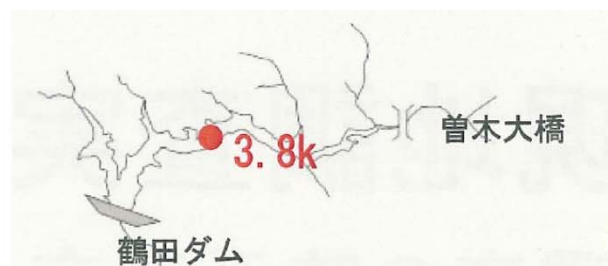
貯水位低下に伴い、図 3.12 に示すように徐々に河道が形成されていく。また、図 3.13 に示すように、河道の上流から 7km 地点まで清水であったが、その下流 6km 地点から濁水の発生が確認でき、底泥の巻き上げ等によ

る濁水の発生が確認できた。この他、図 3.14 に貯水位低下時の濁度変化を示すが、降雨に伴う高濁水も観測された。

このように、貯水位低下時の濁水発生の要因は多様にあるようで、更なる観測データを蓄積するとともに、濁水シミュレーション等による再現やその対策としての魚類の避難場所の設置等関連チームと情報を交換して検討していく。

水位低下に伴う貯水池現地観測状況

水位低下に伴い河道が徐々に形成される。



貯水池状況

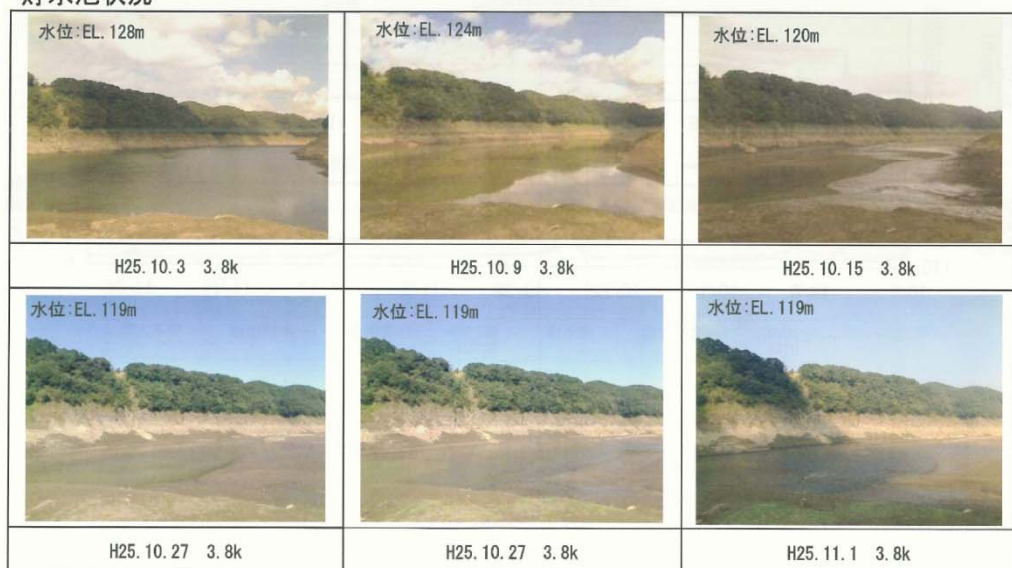


図 3.12 貯水位低下に伴う河道の形成

上流の曾木大橋から7kmまでは濁度はないが、途中で底泥の巻き上げがみられ、6kmから濁水が流入する。



■貯水池順流域の河岸の変化



図 3.13 河道途中での底泥の巻き上げ

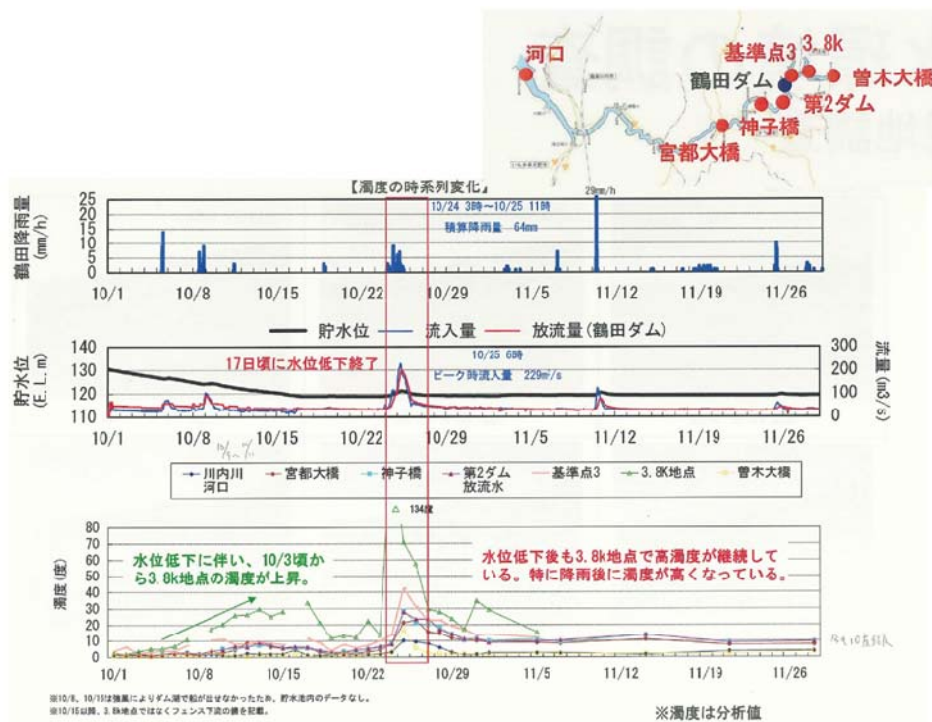


図 3.14 貯水位低下に伴う濁水発生状況

4. まとめ

以上の検討結果から得られた知見は以下の通りである。

(1) 検討対象ダムを設定し、洪水調節開始流量を平均年最大流量にし、ピークカットを7割とした洪水調節の長期の土砂の連続性について、1次元河床変動計算により調査した結果、1/100 確率ハイドロ内では、流出土砂のうち砂や礫については、ほとんど堆砂され、次の洪水等で移動している。

(2) 今回の検討ケースの範囲では、ダム無しでも河道に土砂が堆積する流入土砂の条件では、洪水調節開始流量を平均年最大放流量とした洪水調節の条件では長期の土砂の連続性は確保できなかった。これらの要因分析を更に調査して、少しでも土砂を下流に流すための検討を実施していく予定である。

(3) 小型化した回転式ゲートについて更なる検討を実施して、土砂通過時の影響を小さくするための土砂止め壁の設置は必要であり、また、ゲート開閉不能になった場合を想定した補助動力等による安全確実な操作の検討が必要となる。

(4) 既存技術の活用で、戸溝のあるローラゲートについて検討し、ある程度の使用が可能との結果が明らかになった。今後は、戸溝部への対策を含めて、より安全確実な操作の検討が必要となる。

(5) 現地調査により、貯水位低下による濁水の発生状況が確認されたが、今後は更にデータを蓄積するとともに、シミュレーション等により現象の再現について検討が必要となる。

今後、長期的な土砂の連続性について検討ケースを追加するとともに、短期的な土砂の連続性を確保するための放流設備の設計方法等もあわせて、検討していく必要があると考える。上記必要規模に洪水調節に必要なゲートを設置した場合の洪水調節時の貯水池内堆砂状況と濁水発生状況等の検討を実施する。平行して、洪水末期の濁水発生機構の解明のための現地観測やそれを受けた対策手法も検討する予定である。

なお、水位低下時の濁水発生状況現地調査において、川内川河川事務所の方々に現地調査の協力やデータ提供等をいただき、ここに謝辞を述べます。

参考文献

- 1) 鈴木伴征・柏井条介・吉岡喜浩：鱒石川ダム堆砂実績を用いた粒径別流入土砂量の推定、ダム工学、14 (4)、pp. 257 - 259、2004.
- 2) 社団法人 日本大ダム会議、技術委員会 土砂管理分科会、土砂管理分科会報告―貯水池の土砂動態と土砂制御工法―大ダム 第212号 別刷 pp. 10- 129、2010. 7

A STUDY ON SECURING THE CONTINUITY OF RIVER FLOW AT THE SITE OF STREAM TYPE DAM

Budged : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Hydraulic Engineering Research Group
(River and Dam Hydraulic Engineering)

Author : HAKOISHI Noriaki
MIYAWAKI Chiharu
UMINO Hitoshi
SAKURAI Toshiyuki
MIYAKAWA Masashi

Abstract : Recently, the projects' number of "Stream type flood control dam" has been increasing and the expectation for securing the continuity of river flow at dam site is rising. However, both the securing continuity and the function of flood control are in the trade-off relations, so that it is difficult for ordinal outlet facilities to secure the sufficient continuity. The planning and design method for new type outlet works taking the transport of sediment and the mobility of living things into account has been required. This study aims to develop new type outlet facilities which are indispensable for securing the continuity of river flow, to provide the planning and design technologies of outlet facilities, moreover, it aims to investigate the turbidity occurring mechanism and to present both prediction technologies and countermeasures against turbidities. In 2013 fiscal year, to investigate of the turbidity occurring mechanism at the upstream of "Stream type flood control dam", we conducted the field survey of turbid water under the drawdown condition in the construction site of heightning and renovation of existing dams. Further, about a roller gate and a miniaturized rotary gate, we confirmed the condition of the functional inhibition by driftwood and sediment and we examined the direction of countermeasures.

Key words : stream type flood control dam, securing the continuity of river flow, gate facilities, hydraulic model test, the continuity of sediment flow, one-dimensional simulation model for riverbed fluctuation, field survey of turbid water under the drawdown condition