

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：石神孝之、宮脇千晴、
 櫻井寿之、中西 哲

【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。本研究では、流水型ダムを計画する上で重要な河川の連続性確保や必要となる洪水吐きの諸元等の機能について、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河床勾配・常用洪水吐き形状の違いについて調査するとともに、上記の洪水調節に必要な洪水吐きゲートや減勢工等の水理機能調査を実施した。

キーワード：流水型ダム、河川の連続性確保、掘り込み式減勢工、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、既存の国土交通省所管の益田川ダムや辰巳ダムでは、流域面積などの諸条件から必要となる洪水調節用放流設備（以下、常用洪水吐きと呼ぶ）は、比較的大きな規模となっているが、ゲートレスで設計されており、洪水調節開始流量（開水路流で流せる流量）は、ダム計画上で安全に下流へ流せる流量（計画最大流量 Q_f ）に比べてかなり小さなものとなっている。流域面積等が小さい農地防災ダムでは、この常用洪水吐きの規模が更に小さくなり、かつ、ゲートレスで設計されている場合が多く、比較的早く洪水調節（管路流）されることが多い。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、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ゲート付き流水型ダムとゲートレス流水型ダムやダム無しにおける土砂の堆砂状況の違いについて調査した。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底泥を用いて、水理模型実験により底泥の再浮上実験を実施し、摩擦速度と侵食速度の関係を調査した。この他、この対策としてダム直上流に設置する帯筋固定水路について河床変動計算により堆砂状況を検討し、その効果について明らかにし、濁水発生の長期化を抑制する対策となることを確認した。

2. 調査の概要

長期間の土砂の連続性の検討では、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 $2500\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ に比べてやや多めの $3650\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ とやや少なめの $1350\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ と平均の3ケースについて、ゲート付き流水型ダムは、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、ゲートレス流水型ダムでは、正方形配置とした場合について、一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現地で採取した底泥の摩擦速度と侵食速度の関係の調査並びにダム直上流に設置する滞筋固定水路の効果について調査した。

3. 調査結果

3.1 土砂および生物の移動の連続性確保のための新形式放流設備の開発

流水型ダムの放流設備は、平常時（洪水調節時以外）と洪水調節時にそれぞれ放流設備が必要となる。平常時には、①豊水流量 Q_h を対象にする生物の連続性の確保する放流設備（魚道等）、②平均年最大流量 Q_{nmax} を対象とする土砂の連続性を確保する放流設備（土砂吐き）が考えられる。また、洪水時には、③計画洪水（ Q_t : 基本高水流量）を調節した水位で計画最大放流量（ Q_f ）を流すための放流設備（常用洪水吐き）、④計画を上まわる流量（ Q_d : ダム設計洪水流量）を対象とする放流設備（非常用洪水吐き）が必要である。この他、洪水時には、洪水を調節するために水位が上昇し、放流設備からの流れは高速で放流されるので、その勢いを弱めるための減勢工が適宜必要となる。上記の放流設備の考え方から、平常時は通常の河川の流況を再現するため、放流設備の流れは開水路流で設計する必要がある。また、②に示す土砂の連続性の確保は安定した河道の確保を表すものである。これらから、河川での河道計画を設計する上で考えられている低水路が平常時、高水敷を含めたものが洪水時と考えられているが、河川は平常時・洪水時ともに開水路流であるが、ダムでは洪水時に水位上昇となるため、流れは管路流となる。低水路の設計で

は、概ね $\tau_* = 0.1$ となる流量規模としては、概ね① $Q_h < Q_{nmax} < Q_f < Q_t < Q_d$ と考えられる。土砂の連続性から考えると、必要な幅は、概ね① $< ③ < ② < ④$ となり、放流設備のパターンとしては、それぞれ単独に設置する場合から、①～③を全て兼用するものから個別に兼用する場合まで考えられ、ダムの設置される下流河道の状況や洪水調節計画などの条件等により設置パターンは多岐にわたる。現状、比較的流域面積が小さい流水型ダムでは、②、③の放流設備を兼用するダムが多く、かつ、ゲートレスで計画されているため、常時の開水路流れで Q_{nmax} よりかなり小さな流量しか流すことができていない。洪水調節計画から求められる常用洪水吐きの規模、河川の連続性の観点から求められる土砂吐きの規模、さらには、土砂を流下させる水路や減勢工の摩耗対策等を考慮した設計が望まれている。ダムの上下流の連続性確保の観点からは、中小出水時はできるだけせき上げずに放流できるように、放流設備の断面、特に幅を大きくすることが求められており、洪水調節の観点からは、洪水時の放流量を抑えるため、放流断面を縮小する必要があるため、これを満足するためには、ゲートの設置が必要となる。

常時は、貯水せずに、土砂を通過させることが可能な流水型ダムに適用する新形式放流設備として、図 3.1 に示すように、ゲート付き横長の口の形状を有する洪水吐きと掘り込み式減勢工の組み合わせを提案し、常時の魚類の移動の可能性や土砂や流木によるゲート開閉不能防止対策を提案した。以下に、掘り込み式減勢工とゲートについて述べる。

3.1.1 掘り込み式減勢工規模

掘り込み式減勢工の規模としては、対象流量での水平水

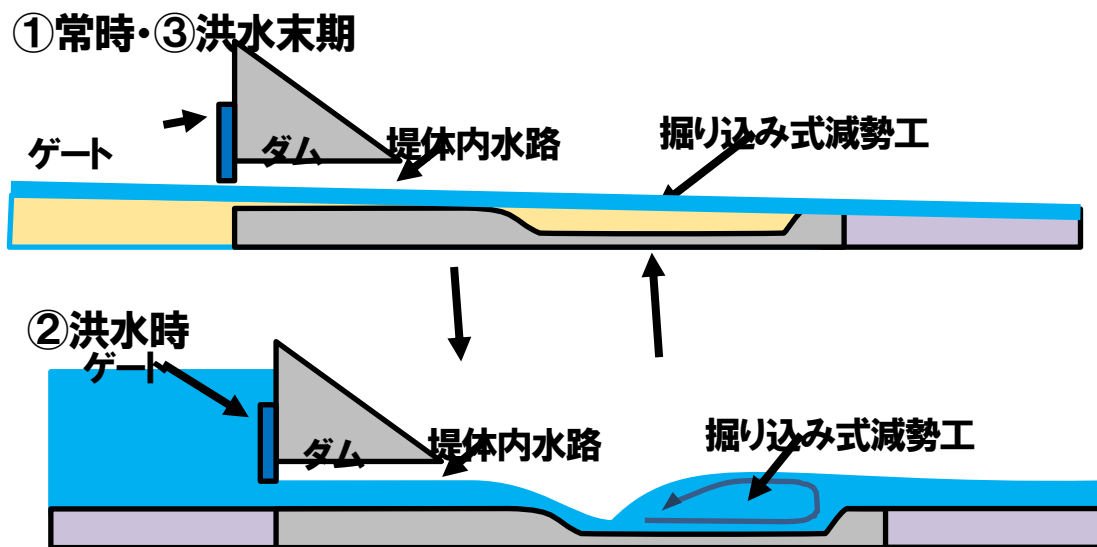
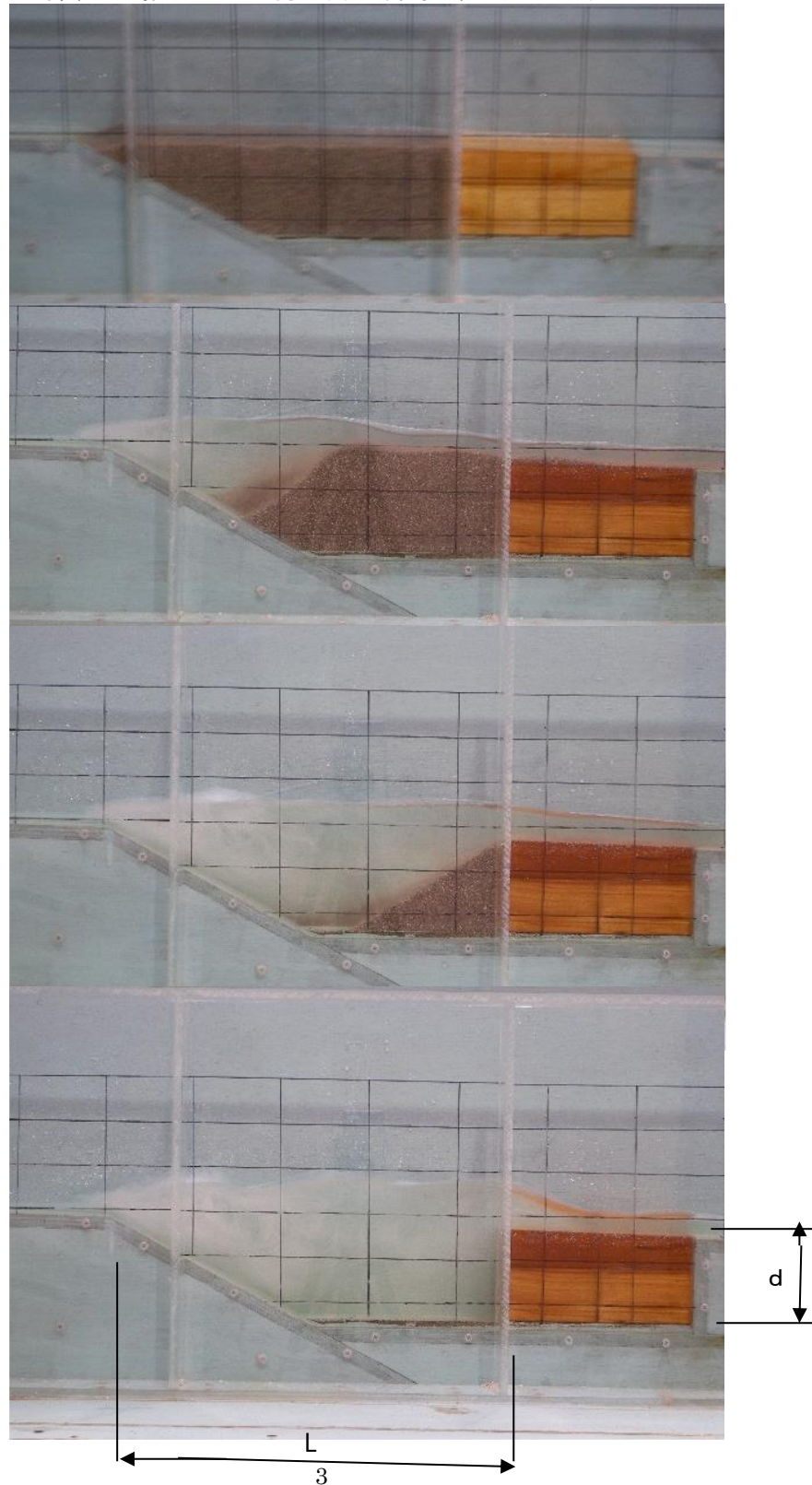


図 3.1 流水型ダム新形式放流設備

叩き跳水式減勢工で計算される規模を基本として、副ダム高 d を掘り込み高とし、水平水叩き長 L を掘り込み長さとする事で基本形状は算定できる。減勢工を土砂で埋めた実験で洪水調節時に土砂がフラッシュされて、掘り込み式減勢工の機能が回復されるのを確認する必要がある(写真

3.1 参照)。なお、下流水位の影響で完全跳水とならない場合には、掘り込み式始端部形状の検討が必要となり、常時の土砂の連続性と洪水時の土砂がフラッシュされて掘り込み式減勢工の機能が回復されることを確認する必要がある。

写真 3.1 掘り込み式減勢工水位上昇時土砂フラッシュ状況



3.1.2 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（図 3.2 参照）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 |

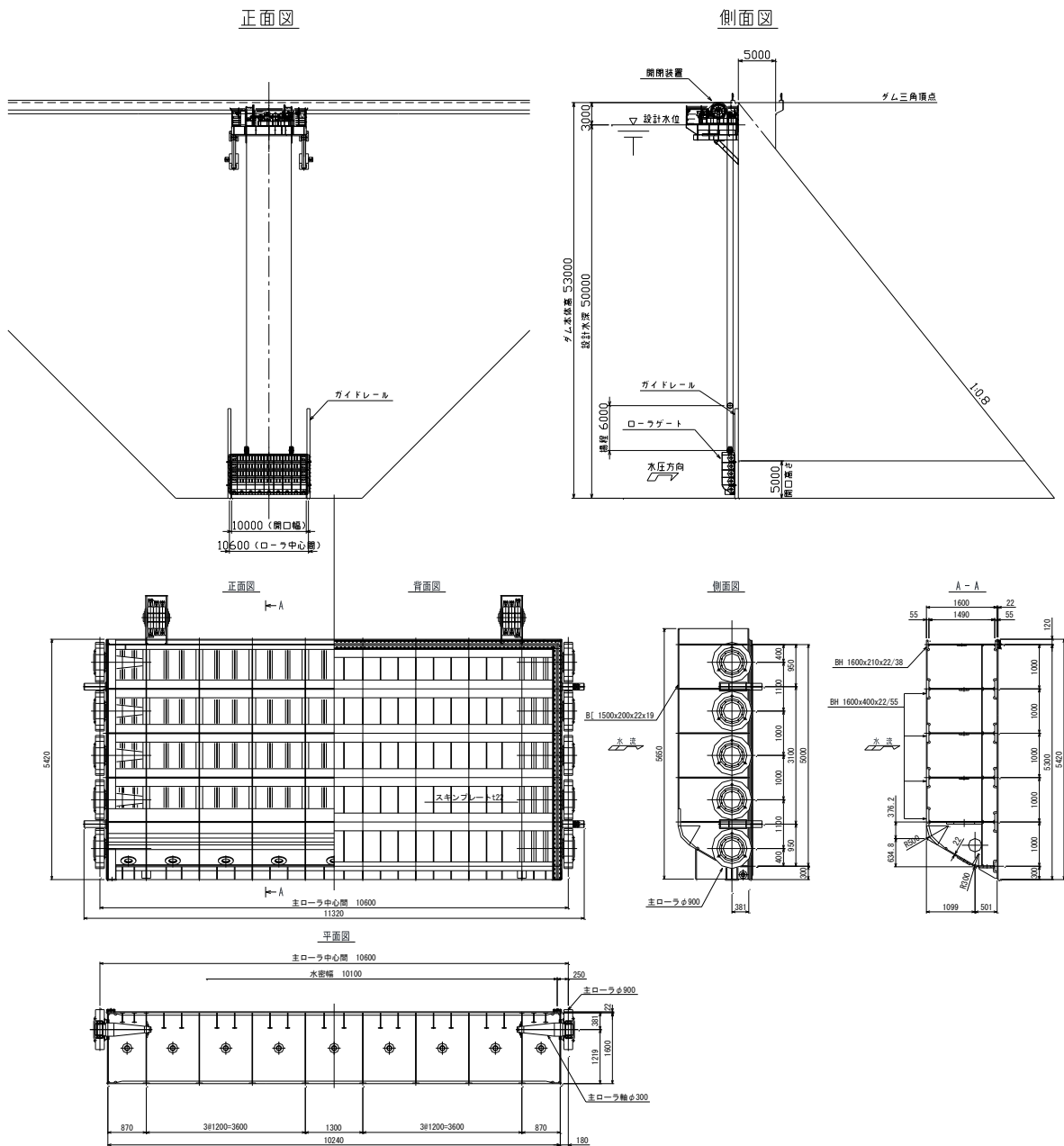


図 3.2 ローラゲート

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。

⑦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以下と図 3.2 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)

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。

模型では、写真 3.2 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 3.3 に示す。

図 3.3 より、放流能力は次式で示される。

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

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(m³/s)、C：流量係数、

次に、流木の影響について、調査した。調査結果を写真

写真 3.2 実験模型概要

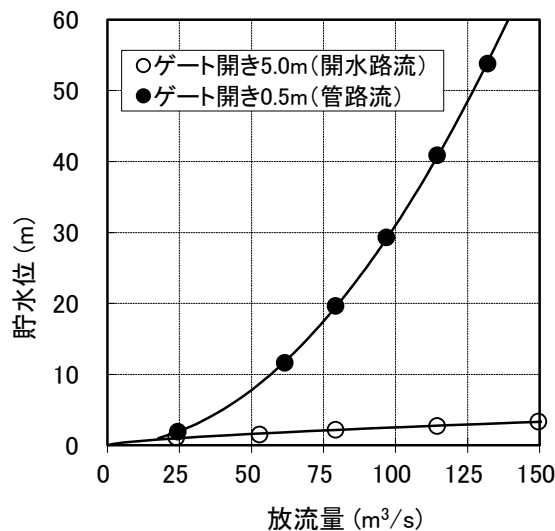
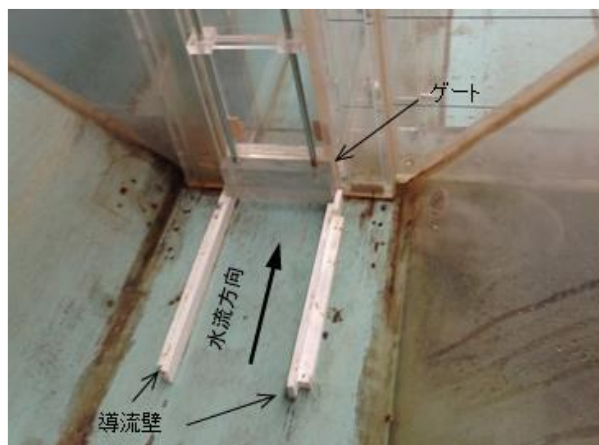


図 3.3 放流能力調査結果

A：吐口断面積、D：開口高=5m、
B：開口幅=10m、H：貯水位(m)

3.3.3.4 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、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3.3 流木堆積状況（スクリーン無）



写真3.4 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3.4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。

3.2 流水型ダムの放流設備の計画・設計技術の提案

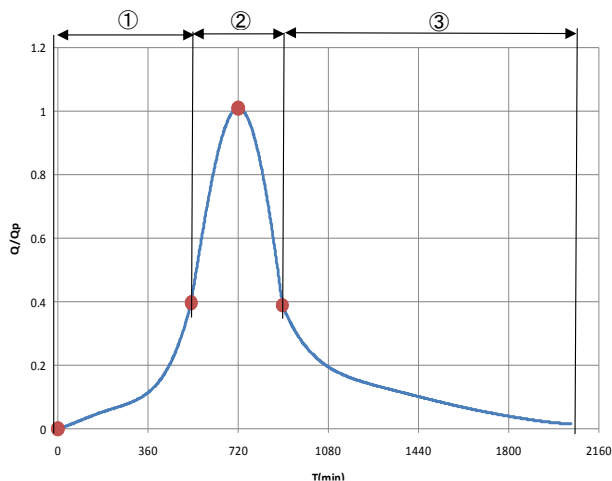
1 次元河床変動計算に用いた流入確率洪水ハイドロ形状とピーク流量 Q_p を図3.5に、100年間の流入洪水と洪水数は図3.6に示すとおりである。また、土砂の粒径区分と係数 α , β を表3.1, 表3.2a～dに、

対象とした貯水池諸元を図3.7に、洪水調節例を図3.8に示す。なお、洪水調節に用いる常用洪水吐き規模は、表3.3に示す。検討ケースは、表3.4に示すように、貯水池件4条件、流入土砂量3条件、粒度構成比4条件の合計30ケース実施した。各ケースでの堆砂量変化を図3.9a～eに、100年後の堆砂量結果を表3.5に示す

表3.5より、評価の欄では、ゲート付きとゲートレスの流水型の堆砂量を比較し、ゲート付きの堆砂量が少なく、ゲートレスの堆砂量がその2倍以上の場合を◎に、ゲート付きで堆砂量があっても、ゲートレスの堆砂量がその2倍以上の場合○に、それ以外を△で表示した。今回の検討範囲では、河床勾配が比較的堆砂量への影響が大きく、河床勾配が急な場合に堆砂量が少なく、河床勾配が緩くなると、堆砂量が大きくなる傾向にある。貯水池条件①では、ゲート付き流水型ダムでは、流入土砂量が大きく、粒度構成の礫分の割合が多くかつ最大粒径が大きいケース1のみ堆砂量があり、ケース2～9では、ほぼ堆砂量がないが、ゲートレスダムでもケース5～9も同様にほぼ堆砂量がない。また、貯水池条件②③④では、流入土砂量が少なく、粒度構成比で礫分が少なくかつ最大粒径が小さいケース（ケース14, 15, 20, 21, 29, 30）で、ゲート付きとゲートレスの堆砂量の差が大きく、ゲート付きの有効性がみられる。なお、評価が△としているが、堆砂量は、ゲート付きの方

経過時間	10分後	40分後	70分後
上流側より			
下流側より			

図3.4 土砂の通水状況



確率年	ピーク流量 Q_p (m ³ /s)			
	流域面積(km ²)			
	50	80	100	120
1	23	37	46	55
2	51	82	102	123
5	93	148	186	223
10	131	209	261	313
20	174	279	349	419
30	203	325	406	487
50	242	387	484	580
100	300	480	600	720

- ① $Q/Q_p = 1.4112E-11T^4 - 8.5319E-09T^3 + 1.5008E-06T^2 + 2.0641E-04T$
 ② $Q/Q_p = 1.1034E-09T^4 - 3.2433E-07T^3 + 3.33504E04T^2 - 0.142765T + 21.519$
 ③ $Q/Q_p = 1.9243E-18T^6 - 1.87504E-14T^5 + 7.56943E-11T^4 - 1.16962E-07T^3 + 1.93709E-04T^2 - 0.123007956T + 32.6423$

図 3.5 流入確率洪水ハイドロ形状とピーク流量 Q_p

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

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 3.6 100 年間の流入洪水と洪水数

表 3.1 土砂の粒径区分と粒度構成比

分類	粒径No.	粒径区分(mm)	代表粒径(mm)	β
粘土	1	~ 0.007	0.0050	2
シルト	2	0.007 ~ 0.015	0.0102	2
	3	0.015 ~ 0.034	0.0226	2
	4	0.034 ~ 0.075	0.0505	2
砂	5	0.075 ~ 0.106	0.0892	2
	6	0.106 ~ 0.25	0.1628	2
	7	0.25 ~ 0.425	0.3260	1.5
	8	0.425 ~ 0.85	0.6010	1.5
	9	0.85 ~ 2	1.3038	1.5
礫	10	2 ~ 4.75	3.0822	1.5
	11	4.75 ~ 9.5	6.7175	1.5
	12	9.5 ~ 19	13.4350	1.5
	13	19 ~ 37.5	26.6927	1.5

分類	粒径No.	代表粒径 (mm)	粒度構成比①		粒度構成比②		粒度構成比③		粒度構成比④	
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
粘土	1	0.005	30.0%	30%	30.0%	30%	30.0%	30%	30.0%	30%
シルト	2	0.010	17.0%	37%	18.0%	38%	20.0%	40%	20.0%	44%
	3	0.023	10.0%		10.0%		10.0%		14.0%	
	4	0.050	10.0%		10.0%		10.0%		10.0%	
砂	5	0.089	4.0%	20%	4.0%	20%	4.0%	20%	4.0%	20%
	6	0.163	4.0%		4.0%		4.0%		4.0%	
	7	0.326	4.0%		4.0%		4.0%		4.0%	
	8	0.601	4.0%		4.0%		4.0%		4.0%	
	9	1.304	4.0%		4.0%		4.0%		4.0%	
礫	10	3.082	4.0%	13%	4.0%	12%	4.0%	10%	4.0%	6%
	11	6.718	4.0%		4.0%		4.0%		2.0%	
	12	13.435	4.0%		4.0%		2.0%		0.0%	
	13	26.693	1.0%		0.0%		0.0%		0.0%	

表 3.2a 土砂の粒径区分と係数 α 、 β

■貯水池条件①(河床勾配:1/50 流域面積:50km ²)												
分類	粒径No.	代表粒径(mm)	流入土砂量条件	粒度構成比								
				基本1		基本2		基本3		基本4		
				α	β	α	β	α	β	α	β	
粘土	1	0.0050	流入土砂量: 多い (650m ³ /km ² /年)	1.38.E-04	2	1.38.E-04	2	1.38.E-04	2	1.38.E-04	2	
	シルト	2		0.0102	7.84.E-05	2	8.30.E-05	2	9.22.E-05	2	9.22.E-05	2
		3		0.0226	4.61.E-05	2	4.61.E-05	2	4.61.E-05	2	6.46.E-05	2
		4		0.0505	4.61.E-05	2	4.61.E-05	2	4.61.E-05	2	4.61.E-05	2
砂	5	0.0892		9.22.E-06	2	9.22.E-06	2	9.22.E-06	2	9.22.E-06	2	
	6	0.1628		9.22.E-06	2	9.22.E-06	2	9.22.E-06	2	9.22.E-06	2	
	7	0.3260		7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	
	8	0.6010		7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	
	9	1.3038		7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	
礫	10	3.0822		7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	
	11	6.7175		7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	3.96.E-05	1.5	
	12	13.4350		7.91.E-05	1.5	7.91.E-05	1.5	3.96.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	
	13	26.6927		1.98.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	
粘土	1	0.0050	流入土砂量: 平均 (500m ³ /km ² /年)	1.06.E-04	2	1.06.E-04	2	1.06.E-04	2	1.06.E-04	2	
	シルト	2		0.0102	6.03.E-05	2	6.39.E-05	2	7.10.E-05	2	7.10.E-05	2
		3		0.0226	3.55.E-05	2	3.55.E-05	2	3.55.E-05	2	4.97.E-05	2
		4		0.0505	3.55.E-05	2	3.55.E-05	2	3.55.E-05	2	3.55.E-05	2
砂	5	0.0892		7.10.E-06	2	7.10.E-06	2	7.10.E-06	2	7.10.E-06	2	
	6	0.1628		7.10.E-06	2	7.10.E-06	2	7.10.E-06	2	7.10.E-06	2	
	7	0.3260		6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	
	8	0.6010		6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	
	9	1.3038		6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	
礫	10	3.0822		6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	
	11	6.7175		6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	3.04.E-05	1.5	
	12	13.4350		6.09.E-05	1.5	6.09.E-05	1.5	3.04.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	
	13	26.6927		1.52.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	
粘土	1	0.0050	流入土砂量: 少ない (350m ³ /km ² /年)	7.45.E-05	2	7.45.E-05	2	7.45.E-05	2	7.45.E-05	2	
	シルト	2		0.0102	4.22.E-05	2	4.47.E-05	2	4.97.E-05	2	4.97.E-05	2
		3		0.0226	2.48.E-05	2	2.48.E-05	2	2.48.E-05	2	3.48.E-05	2
		4		0.0505	2.48.E-05	2	2.48.E-05	2	2.48.E-05	2	2.48.E-05	2
砂	5	0.0892		4.97.E-06	2	4.97.E-06	2	4.97.E-06	2	4.97.E-06	2	
	6	0.1628		4.97.E-06	2	4.97.E-06	2	4.97.E-06	2	4.97.E-06	2	
	7	0.3260		4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	
	8	0.6010		4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	
	9	1.3038		4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	
礫	10	3.0822		4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	
	11	6.7175		4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	2.13.E-05	1.5	
	12	13.4350		4.26.E-05	1.5	4.26.E-05	1.5	2.13.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	
	13	26.6927		1.06.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	

表 3.2b 土砂の粒径区分と係数 α 、 β

■貯水池条件②(河床勾配:1/80 流域面積:80km ²)											
分類	粒径No.	代表粒径(mm)	流入土砂量条件	粒度構成比							
				基本1		基本2		基本3		基本4	
				α	β	α	β	α	β	α	β
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 多い (650m ³ /km ² /年)	8.65.E-05	2	8.65.E-05	2	8.65.E-05	2	8.65.E-05	2
	2	0.0102		4.90.E-05	2	5.19.E-05	2	5.77.E-05	2	5.77.E-05	2
	3	0.0226		2.88.E-05	2	2.88.E-05	2	2.88.E-05	2	4.04.E-05	2
	4	0.0505		2.88.E-05	2	2.88.E-05	2	2.88.E-05	2	2.88.E-05	2
	5	0.0892		5.77.E-06	2	5.77.E-06	2	5.77.E-06	2	5.77.E-06	2
	6	0.1628		5.77.E-06	2	5.77.E-06	2	5.77.E-06	2	5.77.E-06	2
	7	0.3260		6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5
	8	0.6010		6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5
	9	1.3038		6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5
	10	3.0822		6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5
	11	6.7175		6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	3.12.E-05	1.5
	12	13.4350		6.25.E-05	1.5	6.25.E-05	1.5	3.12.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		1.56.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 平均 (500m ³ /km ² /年)	6.65.E-05	2	6.65.E-05	2	6.65.E-05	2	6.65.E-05	2
	2	0.0102		3.77.E-05	2	3.99.E-05	2	4.44.E-05	2	4.44.E-05	2
	3	0.0226		2.22.E-05	2	2.22.E-05	2	2.22.E-05	2	3.11.E-05	2
	4	0.0505		2.22.E-05	2	2.22.E-05	2	2.22.E-05	2	2.22.E-05	2
	5	0.0892		4.44.E-06	2	4.44.E-06	2	4.44.E-06	2	4.44.E-06	2
	6	0.1628		4.44.E-06	2	4.44.E-06	2	4.44.E-06	2	4.44.E-06	2
	7	0.3260		4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5
	8	0.6010		4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5
	9	1.3038		4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5
	10	3.0822		4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5
	11	6.7175		4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	2.40.E-05	1.5
	12	13.4350		4.81.E-05	1.5	4.81.E-05	1.5	2.40.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		1.20.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 少ない (350m ³ /km ² /年)	4.66.E-05	2	4.66.E-05	2	4.66.E-05	2	4.66.E-05	2
	2	0.0102		2.64.E-05	2	2.79.E-05	2	3.11.E-05	2	3.11.E-05	2
	3	0.0226		1.55.E-05	2	1.55.E-05	2	1.55.E-05	2	2.17.E-05	2
	4	0.0505		1.55.E-05	2	1.55.E-05	2	1.55.E-05	2	1.55.E-05	2
	5	0.0892		3.11.E-06	2	3.11.E-06	2	3.11.E-06	2	3.11.E-06	2
	6	0.1628		3.11.E-06	2	3.11.E-06	2	3.11.E-06	2	3.11.E-06	2
	7	0.3260		3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5
	8	0.6010		3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5
	9	1.3038		3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5
	10	3.0822		3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5
	11	6.7175		3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	1.68.E-05	1.5
	12	13.4350		3.37.E-05	1.5	3.37.E-05	1.5	1.68.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		8.41.E-06	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5

表 3.2c 土砂の粒径区分と係数 α 、 β

■貯水池条件③(河床勾配:1/100 流域面積:100km ²)											
分類	粒径No.	代表粒径(mm)	流入土砂量条件	粒度構成比							
				基本1		基本2		基本3		基本4	
				α	β	α	β	α	β	α	β
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 多い (650m ³ /km ² /年)	6.92.E-05	2	6.92.E-05	2	6.92.E-05	2	6.92.E-05	2
	2	0.0102		3.92.E-05	2	4.15.E-05	2	4.61.E-05	2	4.61.E-05	2
	3	0.0226		2.31.E-05	2	2.31.E-05	2	2.31.E-05	2	3.23.E-05	2
	4	0.0505		2.31.E-05	2	2.31.E-05	2	2.31.E-05	2	2.31.E-05	2
	5	0.0892		4.61.E-06	2	4.61.E-06	2	4.61.E-06	2	4.61.E-06	2
	6	0.1628		4.61.E-06	2	4.61.E-06	2	4.61.E-06	2	4.61.E-06	2
	7	0.3260		5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5
	8	0.6010		5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5
	9	1.3038		5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5
	10	3.0822		5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5
	11	6.7175		5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	2.80.E-05	1.5
	12	13.4350		5.60.E-05	1.5	5.60.E-05	1.5	2.80.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		1.40.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 平均 (500m ³ /km ² /年)	5.32.E-05	2	5.32.E-05	2	5.32.E-05	2	5.32.E-05	2
	2	0.0102		3.02.E-05	2	3.19.E-05	2	3.55.E-05	2	3.55.E-05	2
	3	0.0226		1.77.E-05	2	1.77.E-05	2	1.77.E-05	2	2.48.E-05	2
	4	0.0505		1.77.E-05	2	1.77.E-05	2	1.77.E-05	2	1.77.E-05	2
	5	0.0892		3.55.E-06	2	3.55.E-06	2	3.55.E-06	2	3.55.E-06	2
	6	0.1628		3.55.E-06	2	3.55.E-06	2	3.55.E-06	2	3.55.E-06	2
	7	0.3260		4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5
	8	0.6010		4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5
	9	1.3038		4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5
	10	3.0822		4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5
	11	6.7175		4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	2.15.E-05	1.5
	12	13.4350		4.30.E-05	1.5	4.30.E-05	1.5	2.15.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		1.08.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 少ない (350m ³ /km ² /年)	3.73.E-05	2	3.73.E-05	2	3.73.E-05	2	3.73.E-05	2
	2	0.0102		2.11.E-05	2	2.24.E-05	2	2.48.E-05	2	2.48.E-05	2
	3	0.0226		1.24.E-05	2	1.24.E-05	2	1.24.E-05	2	1.74.E-05	2
	4	0.0505		1.24.E-05	2	1.24.E-05	2	1.24.E-05	2	1.24.E-05	2
	5	0.0892		2.48.E-06	2	2.48.E-06	2	2.48.E-06	2	2.48.E-06	2
	6	0.1628		2.48.E-06	2	2.48.E-06	2	2.48.E-06	2	2.48.E-06	2
	7	0.3260		3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5
	8	0.6010		3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5
	9	1.3038		3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5
	10	3.0822		3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5
	11	6.7175		3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	1.51.E-05	1.5
	12	13.4350		3.01.E-05	1.5	3.01.E-05	1.5	1.51.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		7.53.E-06	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5

表 3.2d 土砂の粒径区分と係数 α 、 β

■貯水池条件④(河床勾配:1/120 流域面積:120km ²)											
分類	粒径No.	代表粒径(mm)	流入土砂量条件	粒度構成比							
				基本1		基本2		基本3		基本4	
				α	β	α	β	α	β	α	β
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 多い (650m ³ /km ² /年)	5.77.E-05	2	5.77.E-05	2	5.77.E-05	2	5.77.E-05	2
	2	0.0102		3.27.E-05	2	3.46.E-05	2	3.84.E-05	2	3.84.E-05	2
	3	0.0226		1.92.E-05	2	1.92.E-05	2	1.92.E-05	2	2.69.E-05	2
	4	0.0505		1.92.E-05	2	1.92.E-05	2	1.92.E-05	2	1.92.E-05	2
	5	0.0892		3.84.E-06	2	3.84.E-06	2	3.84.E-06	2	3.84.E-06	2
	6	0.1628		3.84.E-06	2	3.84.E-06	2	3.84.E-06	2	3.84.E-06	2
	7	0.3260		5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5
	8	0.6010		5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5
	9	1.3038		5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5
	10	3.0822		5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5
	11	6.7175		5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	2.55.E-05	1.5
	12	13.4350		5.11.E-05	1.5	5.11.E-05	1.5	2.55.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		1.28.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 平均 (500m ³ /km ² /年)	4.44.E-05	2	4.44.E-05	2	4.44.E-05	2	4.44.E-05	2
	2	0.0102		2.51.E-05	2	2.66.E-05	2	2.96.E-05	2	2.96.E-05	2
	3	0.0226		1.48.E-05	2	1.48.E-05	2	1.48.E-05	2	2.07.E-05	2
	4	0.0505		1.48.E-05	2	1.48.E-05	2	1.48.E-05	2	1.48.E-05	2
	5	0.0892		2.96.E-06	2	2.96.E-06	2	2.96.E-06	2	2.96.E-06	2
	6	0.1628		2.96.E-06	2	2.96.E-06	2	2.96.E-06	2	2.96.E-06	2
	7	0.3260		3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5
	8	0.6010		3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5
	9	1.3038		3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5
	10	3.0822		3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5
	11	6.7175		3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	1.96.E-05	1.5
	12	13.4350		3.93.E-05	1.5	3.93.E-05	1.5	1.96.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		9.82.E-06	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5
粘土 シルト 砂 礫	1	0.0050	流入土砂量: 少ない (350m ³ /km ² /年)	3.11.E-05	2	3.11.E-05	2	3.11.E-05	2	3.11.E-05	2
	2	0.0102		1.76.E-05	2	1.86.E-05	2	2.07.E-05	2	2.07.E-05	2
	3	0.0226		1.04.E-05	2	1.04.E-05	2	1.04.E-05	2	1.45.E-05	2
	4	0.0505		1.04.E-05	2	1.04.E-05	2	1.04.E-05	2	1.04.E-05	2
	5	0.0892		2.07.E-06	2	2.07.E-06	2	2.07.E-06	2	2.07.E-06	2
	6	0.1628		2.07.E-06	2	2.07.E-06	2	2.07.E-06	2	2.07.E-06	2
	7	0.3260		2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5
	8	0.6010		2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5
	9	1.3038		2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5
	10	3.0822		2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5
	11	6.7175		2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	1.37.E-05	1.5
	12	13.4350		2.75.E-05	1.5	2.75.E-05	1.5	1.37.E-05	1.5	0.00.E+00	1.5
	13	26.6927		6.87.E-06	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5	0.00.E+00	1.5

表 3.3 常用洪水吐き規模

貯水地条件	ゲート	幅BG(m)	高さD(m)
①	ゲート開	8.0	2.52
	ゲート閉	8.0	0.61
②	ゲート開	9.5	3.08
	ゲート閉	9.5	0.82
③	ゲート開	10.5	3.33
	ゲート閉	10.5	0.93
④	ゲート開	11.5	3.55
	ゲート閉	11.5	1.02
①	ゲートレス	2.22	2.22
②		2.81	2.81
③		3.15	3.15
④		3.32	3.32

①A=50km² B=20m, I=1/50, Qn=51m³/s

②A=80km² B=20m, I=1/80, Qn=82m³/s

③A=100km², B=20m, I=1/100, Qn=102m³/s

④A=120km², B=20m, I=1/120, Qn=123m³/s

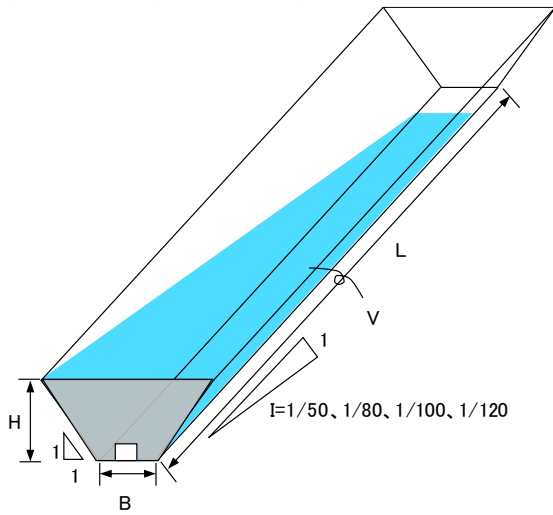


図 3.6 貯水位諸元

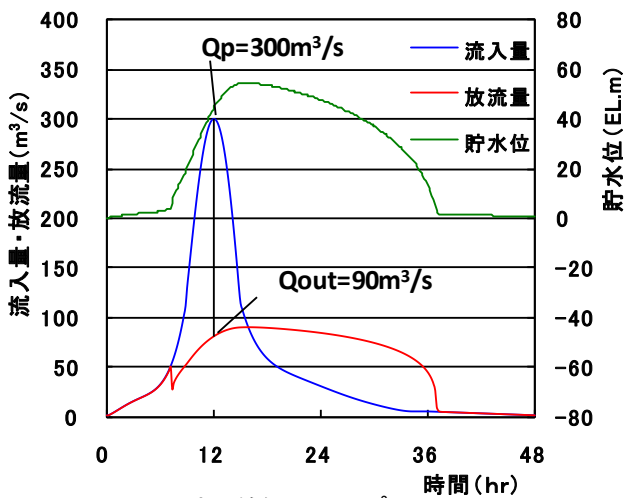


図 3.7 洪水調節例 (A=50km²)

表 3.4 検討ケース

ケース	貯水池条件	流入土砂量	粒度構成比
1	①50km ² I=1/50	③650m ³ / km ² /年	①
2			②
3			③
4		②500m ³ / km ² /年	①
5			②
6			③
7		①350m ³ / km ² /年	①
8			②
9			③
10	②80km ² I=1/80	③650m ³ / km ² /年	②
11			③
12		②500m ³ / km ² /年	②
13			③
14		①350m ³ / km ² /年	②
15			③
16	③100km ² I=1/100	③650m ³ / km ² /年	②
17			③
18		②500m ³ / km ² /年	②
19			③
20		①350m ³ / km ² /年	②
21			③
22	④120km ² I=1/120	③650m ³ / km ² /年	②
23			③
24			④
25		②500m ³ / km ² /年	②
26			③
27			④
28		①350m ³ / km ² /年	②
29			③
30			④

*粒度構成比

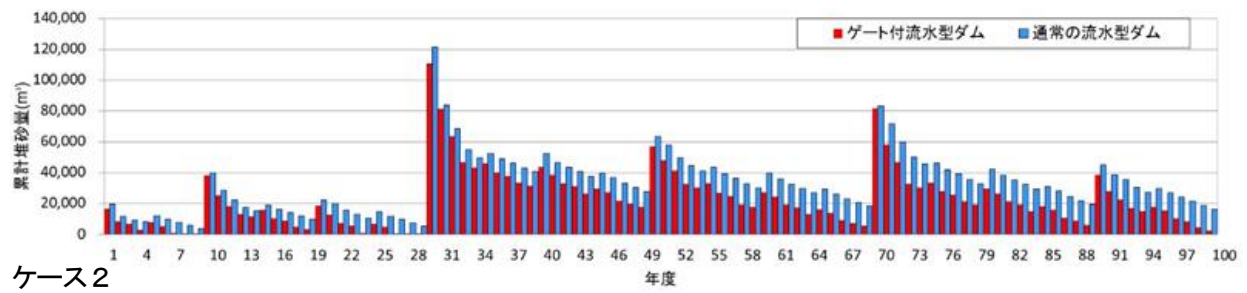
①粘土・シルト67%,砂20%,礫13%,最大粒径26.7mm

②粘土・シルト68%,砂20%,礫12%,最大粒径13.4mm

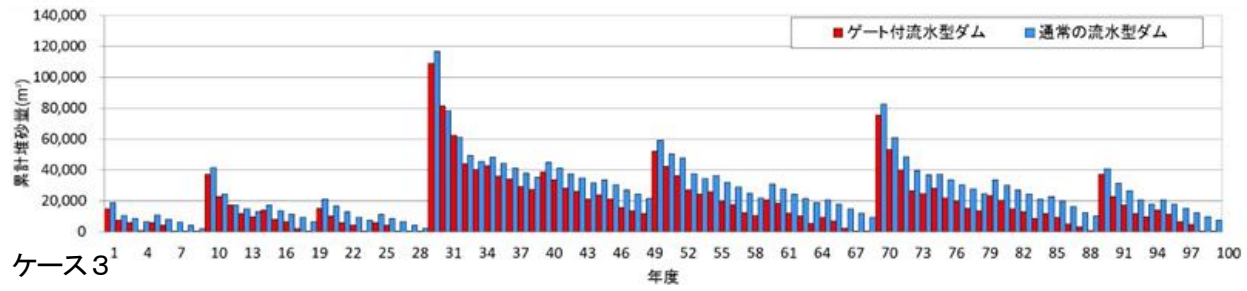
③粘土・シルト70%,砂20%,礫10%,最大粒径13.4mm

④粘土・シルト74%,砂20%,礫6%,最大粒径6.724mm

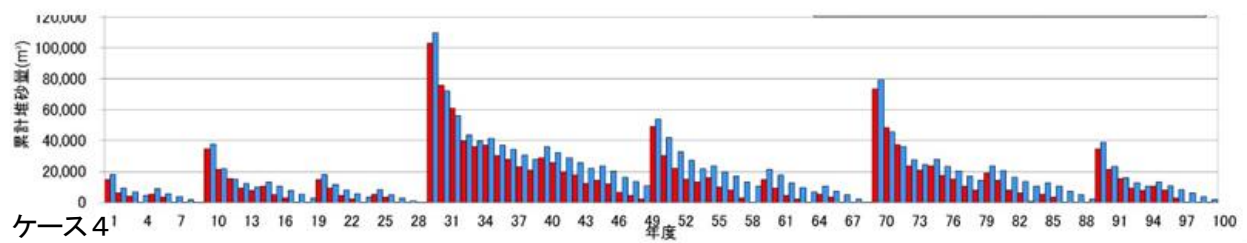
ケース1



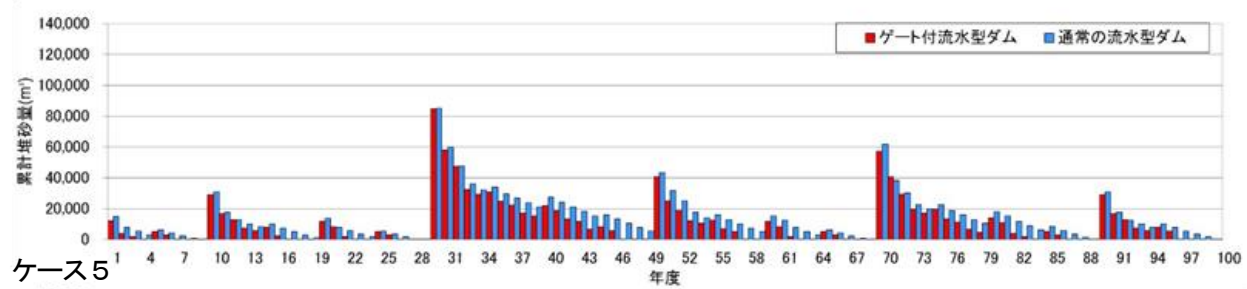
ケース2



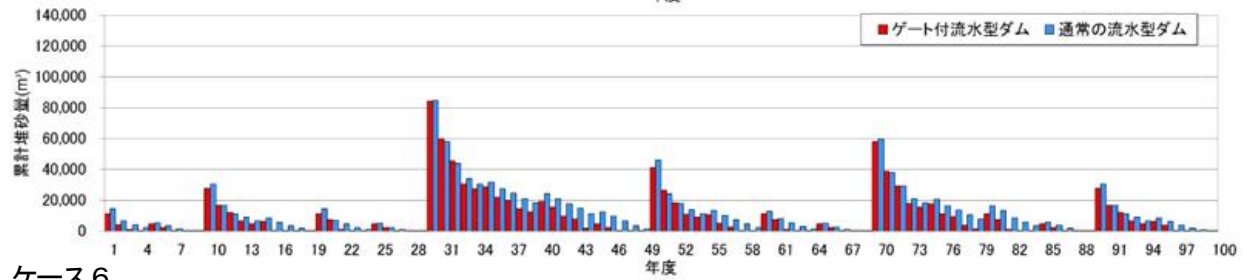
ケース3



ケース4



ケース5



ケース6

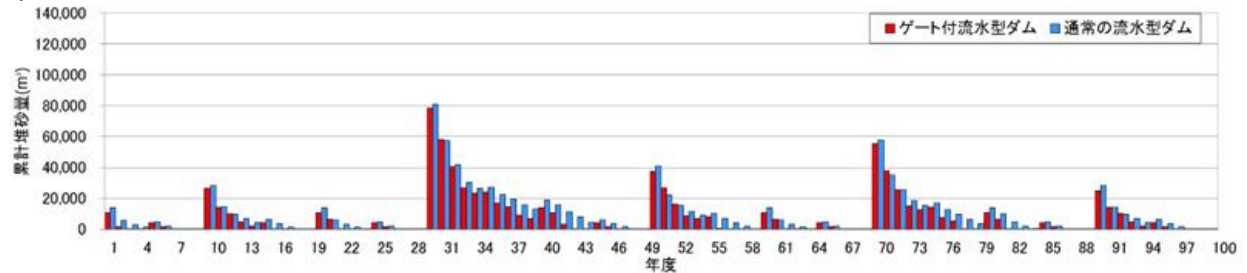
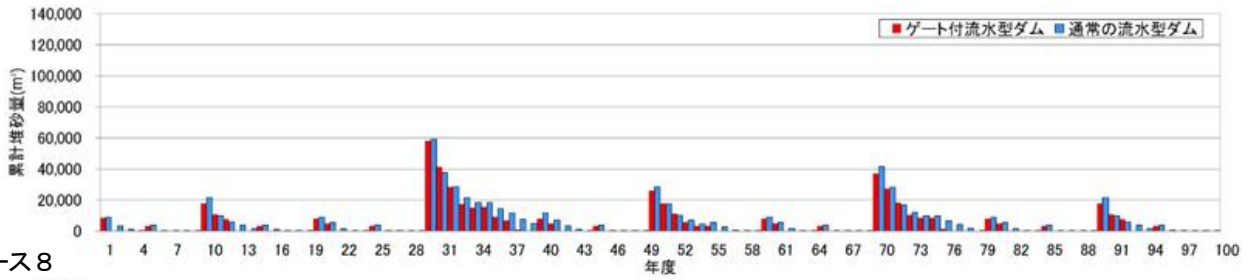
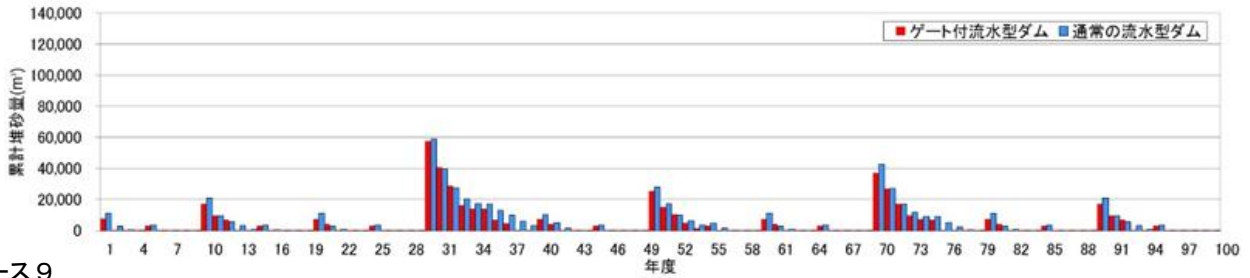


図3.8a 100年間における堆砂量変化

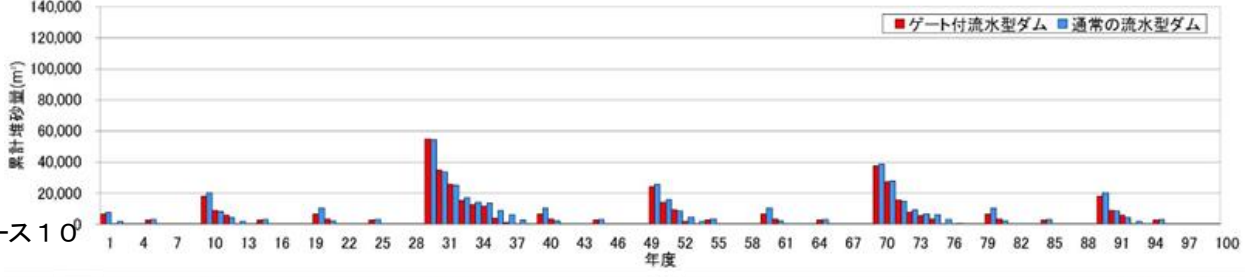
ケース7



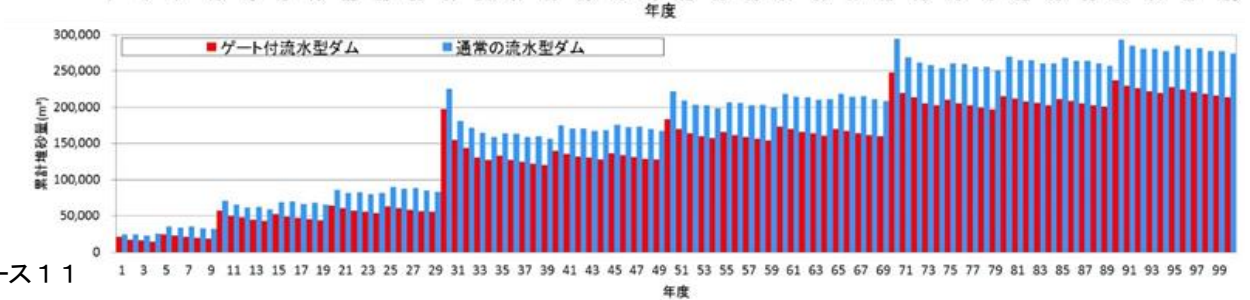
ケース8



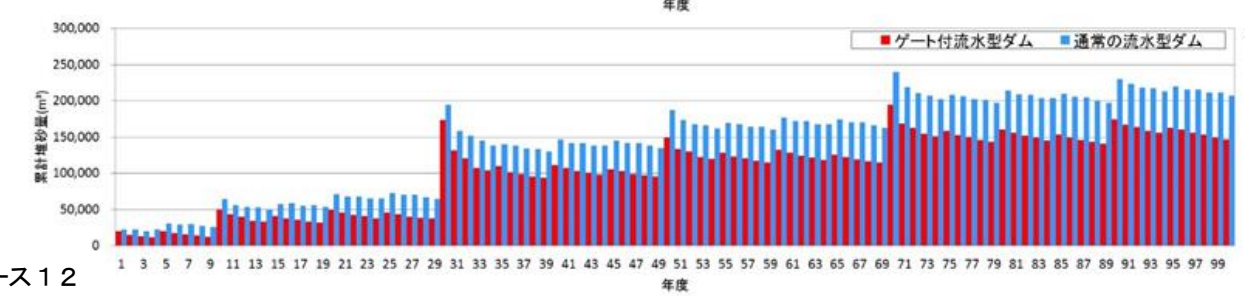
ケース9



ケース10



ケース11



ケース12

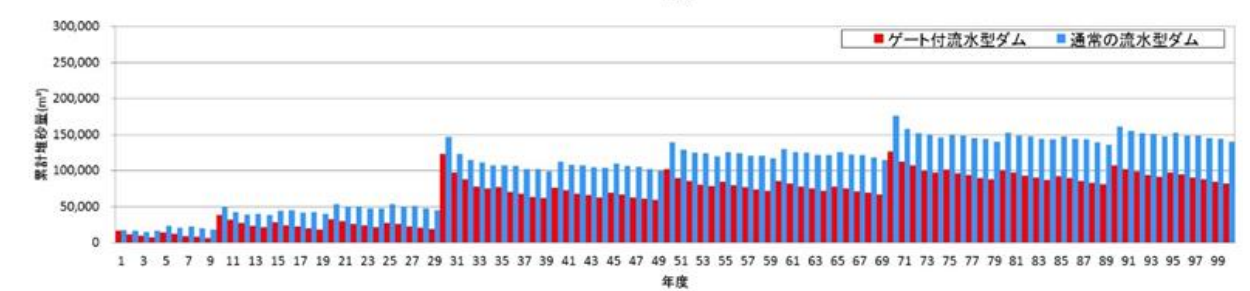
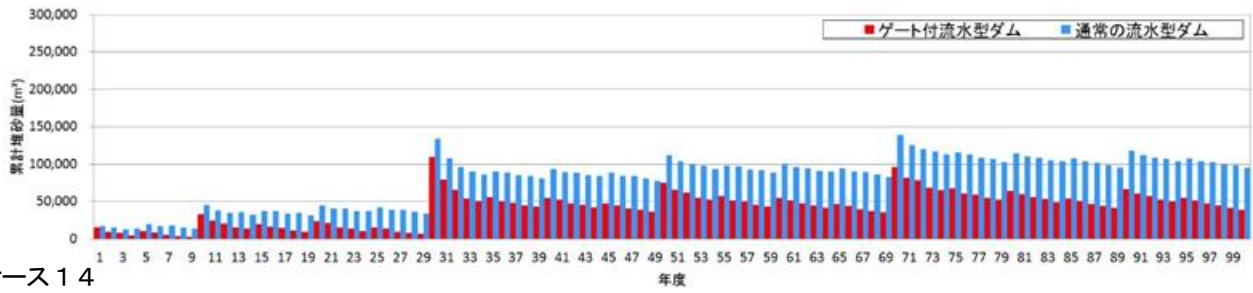
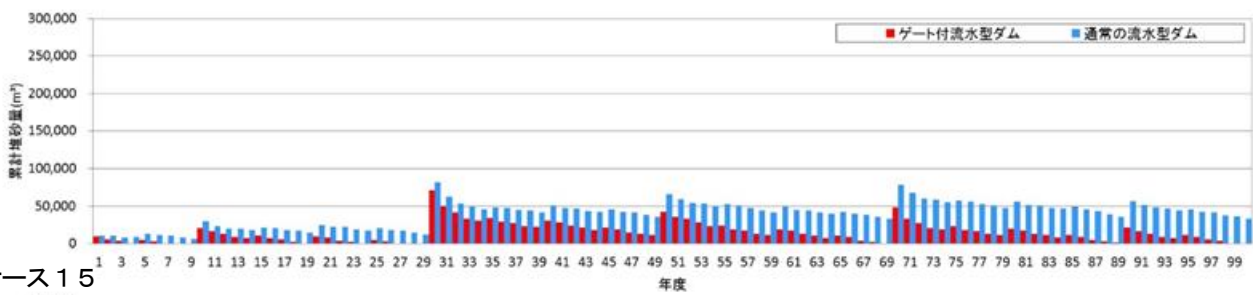


図3.8b 100年間ににおける堆砂量変化 (流水型ダム A=100km²)

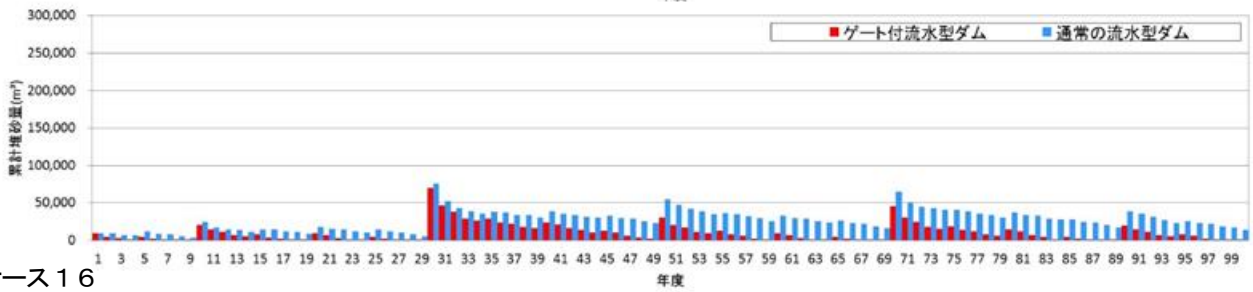
ケース 13



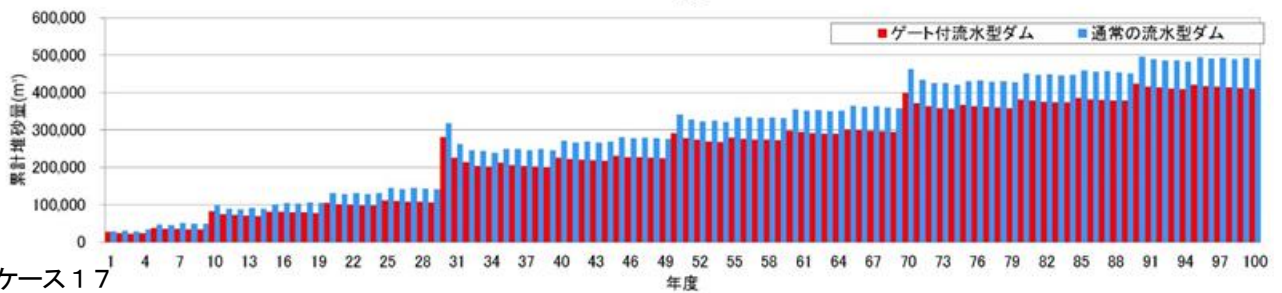
ケース 14



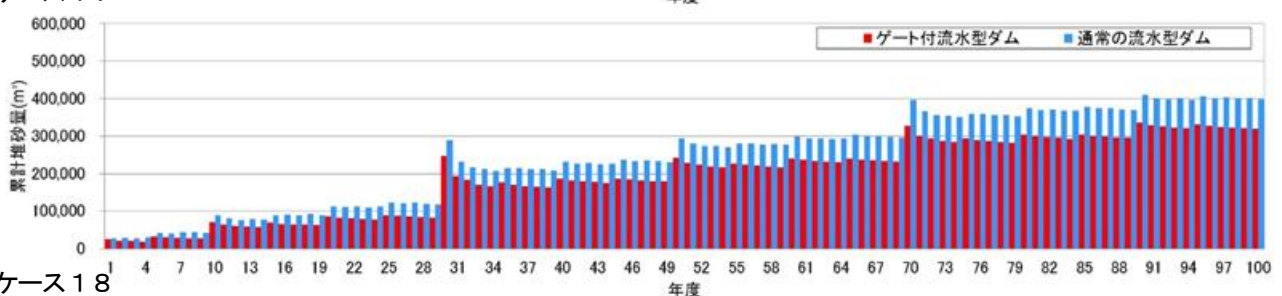
ケース 15



ケース 16



ケース 17



ケース 18

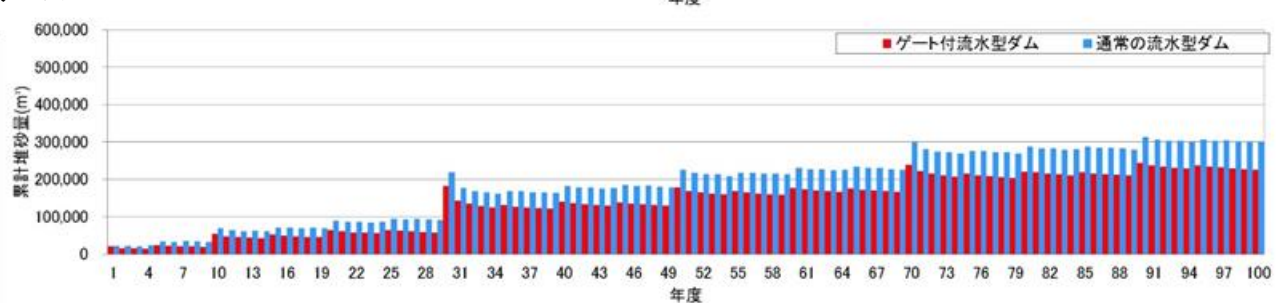
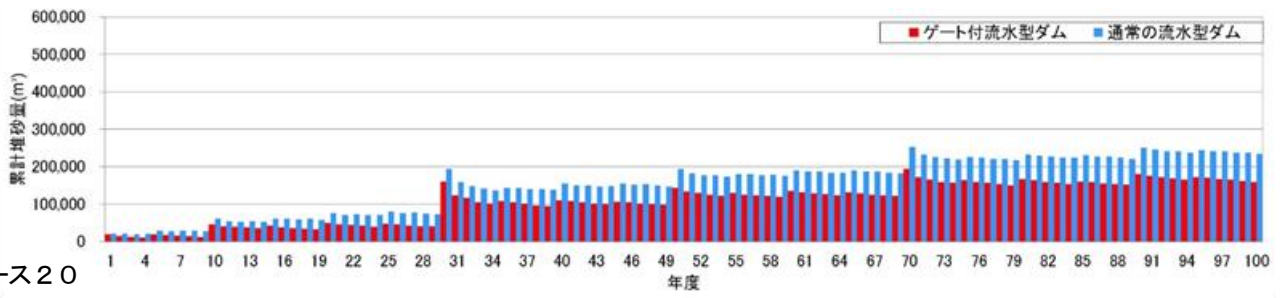
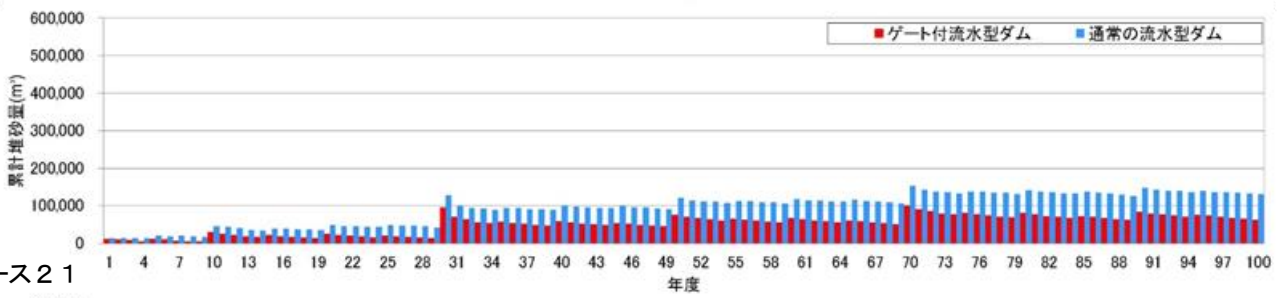


図 3.8 c 100 年間における堆砂量変化

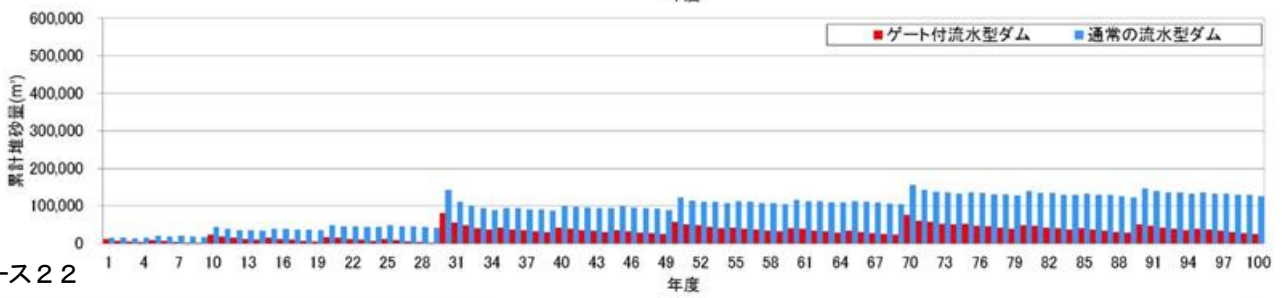
ケース 19



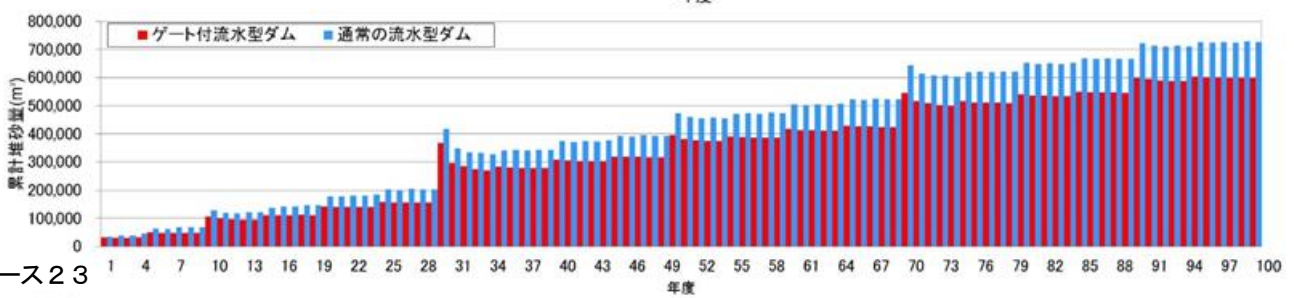
ケース 20



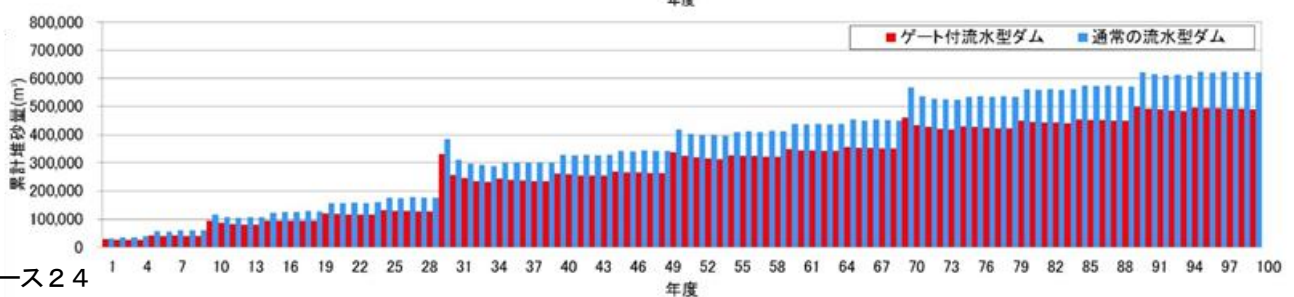
ケース 21



ケース 22



ケース 23



ケース 24

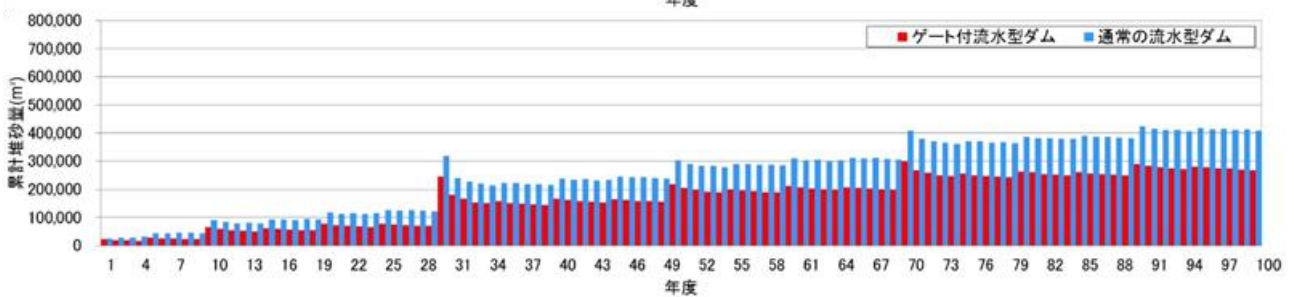
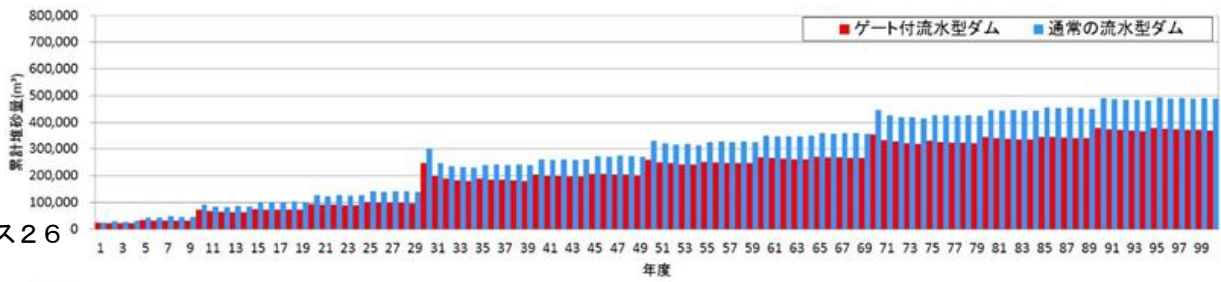
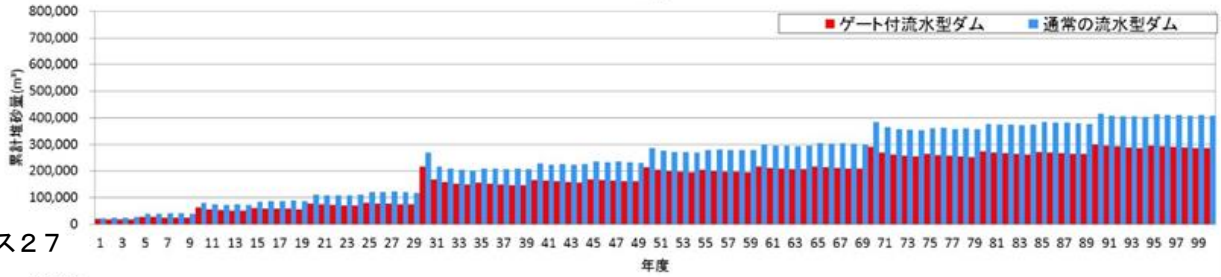


図 3.8 d 100 年間における堆砂量変化

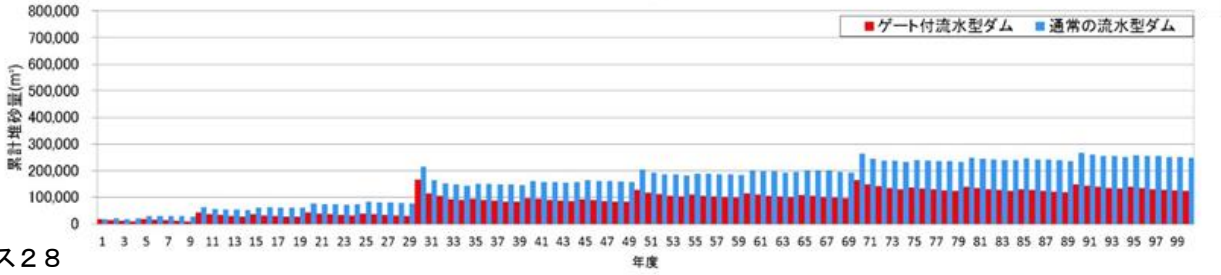
ケース25



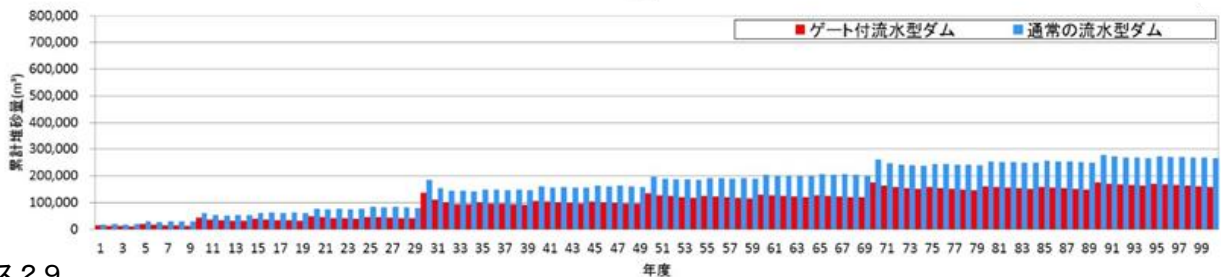
ケース26



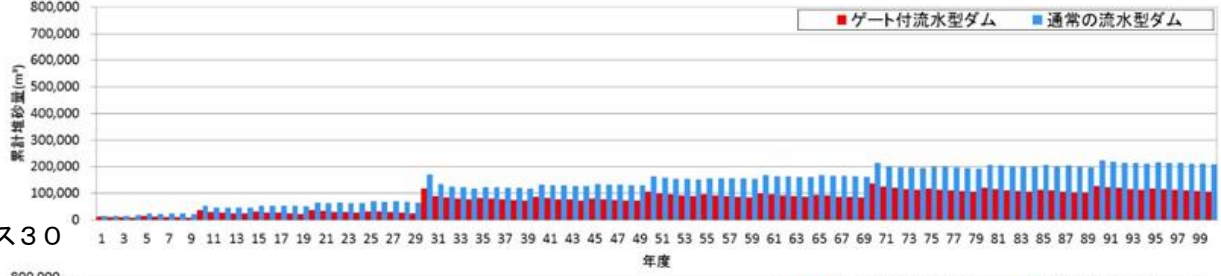
ケース27



ケース28



ケース29



ケース30

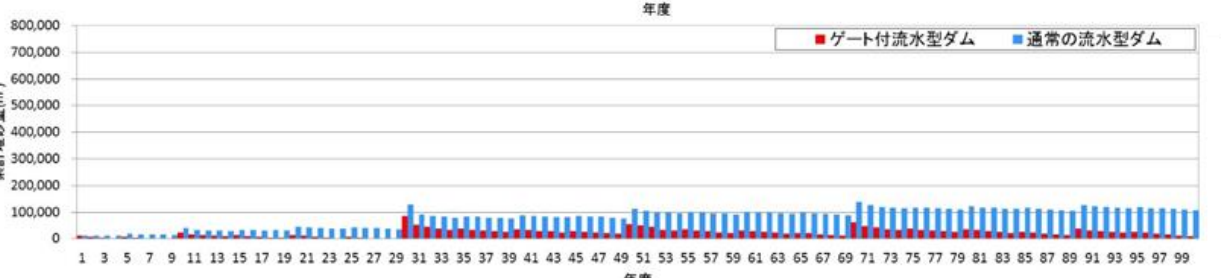


図3.8 e 100年間における堆砂量変化

表 3.5 100 年後の堆砂量

ケース	貯水池条件	流入土砂量	粒度構成比	100年後の堆砂量		評価
				ゲート付き (m ³)	ゲートレス (ゲート付きの倍率)	
1	①50km ² I=1/50	③650m ³ / km ² /年	①	2435	6.6	○
2			②	1	12653.7	◎
3			③	1	2750.0	◎
4		②500m ³ / km ² /年	①	5	62.5	◎
5			②	0	1.0	△
6			③	1	1.0	△
7		①350m ³ / km ² /年	①	0	11.3	△
8			②	0	1.0	△
9			③	0	1.0	△
10	②80km ² I=1/80	③650m ³ / km ² /年	②	213754	1.3	△
11			③	147176	1.4	△
12		②500m ³ / km ² /年	②	82109	1.7	△
13			③	38929	2.4	○
14		①350m ³ / km ² /年	②	4	9231.5	◎
15			③	1	16629.5	◎
16	③100km ² I=1/100	③650m ³ / km ² /年	②	411165	1.2	△
17			③	318714	1.2	△
18		②500m ³ / km ² /年	②	225225	1.3	△
19			③	159229	1.5	△
20		①350m ³ / km ² /年	②	63033	2.1	○
21			③	25618	4.9	○
22	④120km ² I=1/120	③650m ³ / km ² /年	②	598314	1.2	△
23			③	490187	1.3	△
24			④	268124	1.5	△
25		②500m ³ / km ² /年	②	369586	1.3	△
26			③	285259	1.4	△
27			④	123411	2.0	○
28		①350m ³ / km ² /年	②	158510	1.7	△
29			③	106621	2.0	△
30			④	9129	11.7	○

*粒度構成比 ①粘土・シルト67%,砂20%,礫13%,最大粒径26.7mm
 ②粘土・シルト68%,砂20%,礫12%,最大粒径13.4mm
 ③粘土・シルト70%,砂20%,礫10%,最大粒径13.4mm
 ④粘土・シルト74%,砂20%,礫6%,最大粒径6.724mm

表 3.6 ゲートの有無による 100 年後の堆砂の粒度構成

貯水池条件		貯水池条件③ (I : 1/100, A : 100km ²)		貯水池条件④ (I : 1/120, A : 120km ²)	
計算ケース		ケース19		ケース24	
ダム型式		ゲート付流水型ダム	ゲートレス流水型ダム	ゲート付流水型ダム	ゲートレス流水型ダム
流入土砂量		平均 (500m ³ /km ² /年)		多い (650m ³ /km ² /年)	
粒度構成比		③ (砂分 : 20%、礫分 : 8%)		④ (砂分 : 20%、礫分 : 6%)	
堆砂量の合計 (千m ³)		159	234	268	410
各土砂分類の 100年後の 堆砂割合	粘土・シルト	0%	0%	0%	0%
	砂	37%	40%	49%	54%
	礫	63%	60%	51%	46%

表 3.7 ゲート付き流水型ダムの 100 年後の堆砂の粒度構成 (流入土砂量 650m³/km²/年)

粒度構成比		② (砂分 : 20%、礫分 : 12%)				③ (砂分 : 20%、礫分 : 10%)			
計算ケース		2	10	16	22	7	31	46	70
貯水池条件		① I : 1/50 A : 50km ²	② I : 1/80 A : 80km ²	③ I : 1/100 A : 100km ²	④ I : 1/120 A : 120km ²	① I : 1/50 A : 50km ²	② I : 1/80 A : 80km ²	③ I : 1/100 A : 100km ²	④ I : 1/120 A : 120km ²
堆砂量の合計 (千m ³)		0	214	411	598	0	147	319	490
各土砂分類の 100年後の堆砂 割合	粘土・シルト	—	0%	0%	0%	—	0%	0%	0%
	砂	—	34%	33%	34%	—	40%	37%	37%
	礫	—	66%	67%	66%	—	60%	63%	63%

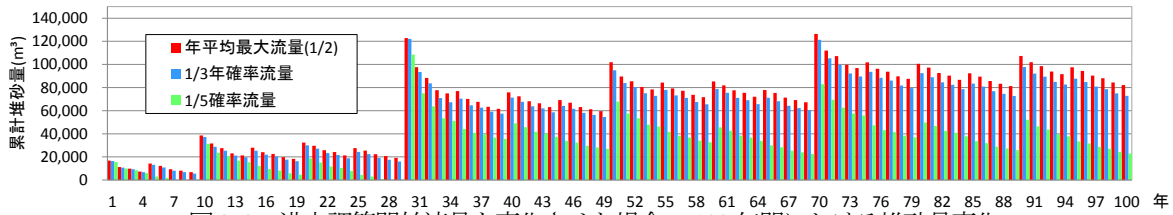


図 3.9 洪水調節開始流量を変化させた場合の 100 年間における堆砂量変化

次に、掘り込み式減勢工を有するゲート付き流水型ダムの常用洪水吐き水路における魚道機能について、一次元河床変動計算により、上記の土砂通過量を流入条件として、通過土砂量等の違いによる影響を以下に示す。なお、対象流量は、表 3.8 に示す 4 ケースについて検討した。

流域面積 50km²、河床勾配 1/50 の計算結果を表 3.9 に示す。なお、必要な魚道機能として、遡上時の鮎を対象に、水深 3cm 以上、平均流速 110cm/s 以下として、それを満足しない場合は赤字で記載した。なお、()内は土砂の堆積がない場合を示す。基本的に、全ケースで土砂の堆積がみられ、それに伴い、平均水深が増加し、平均流速も低下している。また、流入土砂量が多い場合には、他のケースに比べて常用洪水吐き水路部での流速が大きくなっており、Qh 時には、全て巡航速度を上回る結果となった。他の貯水池条件でも同様の結果となった。この他、図-4 に示すように、堆砂により河床は連続しており、堆砂下流端と現河床で勾配が変化しており、特に給砂量が大きくなると、この堆砂下流

端位置で急勾配となり、水深は小さく、流速が大きくなる。基本的に、洪水後に土砂の堆積が見られ、全てのケースで平均流速が堆砂無しに比べて小さくなり、Qh 時を除き魚道機能を有している。

表 3.8 対象流量

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	2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

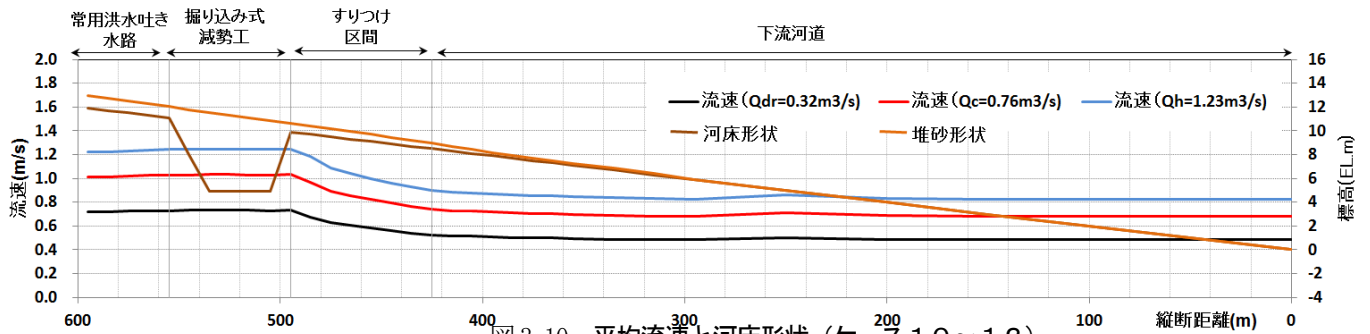


図 3.10 平均流速と河床形状 (ケース 10~12)

表 3.9 魚道機能への影響調査結果 (A=50km²)

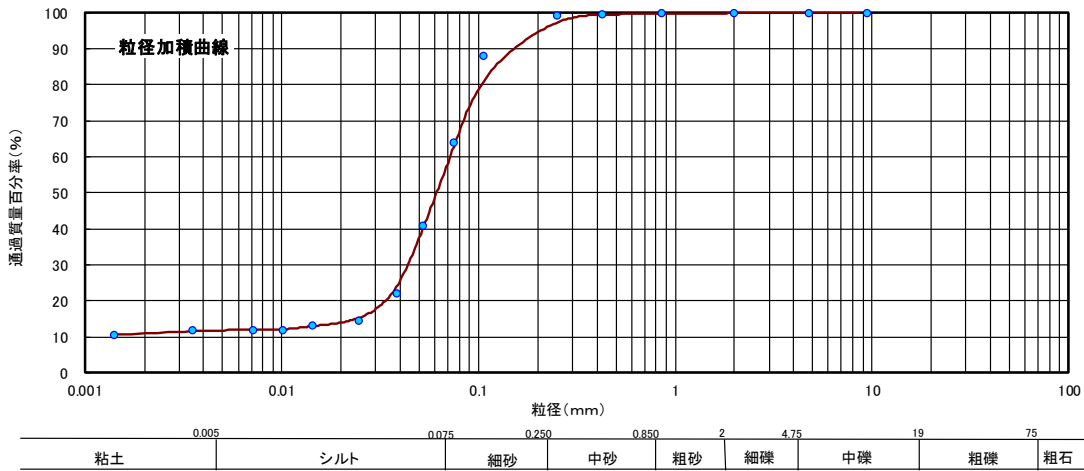
ケース	流入土砂量	河床形状	魚道の対象流量	平均水深(cm)		平均流速(cm/s)	
				常用洪水吐き水路	下流河道	常用洪水吐き水路	下流河道
1	多い 650m ³ /k m ² /年	1/10年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	70 (106)	50 (48)
2			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	99 (149)	70 (68)
3			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	120 (180)	85 (83)
4		1/20年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	70 (106)	50 (48)
5			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	98 (149)	70 (68)
6			Qh=1.23m ³ /s	3 (9)	7 (7)	120 (180)	85 (83)
7		1/30年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	72 (106)	50 (48)
8			Qc=0.76m ³ /s	9 (6)	5 (6)	102 (149)	70 (68)
9			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	128 (180)	85 (83)
10		1/50年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	72 (106)	50 (48)
11			Qc=0.76m ³ /s	9 (6)	5 (6)	102 (149)	70 (68)
12			Qh=1.23m ³ /s	12 (9)	7 (7)	123 (180)	85 (83)
13	平均 500m ³ /k m ² /年	1/10年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	67 (106)	49 (48)
14			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	98 (149)	69 (68)
15			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	115 (180)	84 (83)
16		1/20年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	68 (106)	49 (48)
17			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	96 (149)	69 (68)
18			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	116 (180)	84 (83)
19		1/30年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	68 (106)	49 (48)
20			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	96 (149)	69 (68)
21			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	116 (180)	84 (83)
22		1/50年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	70 (106)	49 (48)
23			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	98 (149)	69 (68)
24			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	119 (180)	84 (83)
25	少ない 350m ³ /k m ² /年	1/10年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	69 (106)	49 (48)
26			Qc=0.76m ³ /s	9 (6)	5 (6)	97 (149)	69 (68)
27			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	118 (180)	83 (83)
28		1/20年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	69 (106)	49 (48)
29			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	98 (149)	69 (68)
30			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	118 (180)	83 (83)
31		1/30年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	69 (106)	49 (48)
32			Qc=0.76m ³ /s	9 (6)	5 (6)	98 (149)	69 (68)
33			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	118 (180)	83 (83)
34		1/50年 確率洪水後	Qdr=0.32m ³ /s	6 (4)	3 (3)	70 (106)	49 (48)
35			Qc=0.76m ³ /s	10 (6)	5 (6)	98 (149)	69 (68)
36			Qh=1.23m ³ /s	13 (9)	7 (7)	118 (180)	83 (83)

3.3 流水型ダムにおける濁水発生機構の解明および対策技術の提案

位計（写真 3.1 参照）を用いて流下方向 10 測線の河床高を通水前後で測定して横断方向に平均して侵食量を算定

表 3.10 土砂の粒度試験結果

採取深さ(m)		—				
	粒径 mm	通過質量百分率(%)				
ふるい	100			粗礫分(大)	(%)	0.0
	75			粗礫分(小)	(%)	0.0
	53			中礫分	(%)	0.0
	37.5			細礫分	(%)	0.1
	26.5			粗砂分	(%)	0.1
	19			中砂分	(%)	0.6
	9.5	100.0		細砂分	(%)	35.4
	4.75	100.0		シルト分	(%)	52.0
	2	99.9		粘土分	(%)	11.8
	0.85	99.8		2mmふるい通過質量百分率(%)		99.9
	0.425	99.5		0.425mmふるい通過質量百分率(%)		99.5
	0.250	99.2		0.075mmふるい通過質量百分率(%)		63.8
	0.106	87.9		最大粒径 (mm)		4.75
	0.075	63.8		60% 粒径 D ₆₀ (mm)		0.0710
沈降分	0.0518	41.0		50% 粒径 D ₅₀ (mm)		0.0604
	0.0383	22.0		30% 粒径 D ₃₀ (mm)		0.0431
	0.0246	14.4		10% 粒径 D ₁₀ (mm)		—
	0.0142	13.1		均等係数 U _c	(—)	—
	0.0101	11.9		曲率係数 U _{c'}	(—)	—
	0.0071	11.9		淘汰度 Sort	(φ)	—
	0.0035	11.9		歪度 Skew	(—)	—
	0.0014	10.6		尖度 Kurt	(—)	—
				土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.502
				使用した分散剤		ヘキサメタリン酸
			溶液濃度、溶液添加量		ナトリウム0.3g	



ここでは、九州地方整備局川内川河川事務所の協力により、再開発工事中の鶴田ダムの貯水位低下時に採取してもらった底質土砂を用いて実験を行った。実験で用いた底質土砂の粒度試験結果を表 3.10 に示す。実験は、この底質土砂の含水比を現地で採取した値にして、図 3.11 に示す実験装置に敷き詰めて、任意の時間に流量を流して、その平均侵食量を測定する方法で、1 流量で 3 回、3 流量実施して、各ケースのデータから摩擦速度と侵食速度の関係を求めるものである。なお、事前に、使用する実験水路について清水において使用範囲の平均流速と摩擦速度の関係を調査した。また、底質土砂を敷き詰めて、侵食状況を調査して、実験流量を設定した。なお、侵食量は、レーザ変

した。摩擦速度と侵食速度の実験結果は、図 3.12 に示す通りである。なお、摩擦速度 U_* は、次式により算定した。

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}, \quad \tau_0 = \rho g R I_e$$

ここで、 U_* : 摩擦速度, ρ : 水の密度, g : 重力の加速度, R : 径深, I_e : エネルギー勾配, τ_0 : 掃流力

摩擦速度と侵食速度は比例関係にあるが、摩擦速度が大きくなると、ややばらつきがおおきくなり、侵食量も増加している。これらの結果をモデルに反映させることで、底泥の侵食再浮上の現象の再現精度が向上する。この他、ダム直上流に設置する滞筋固定水路について河床変動計算に

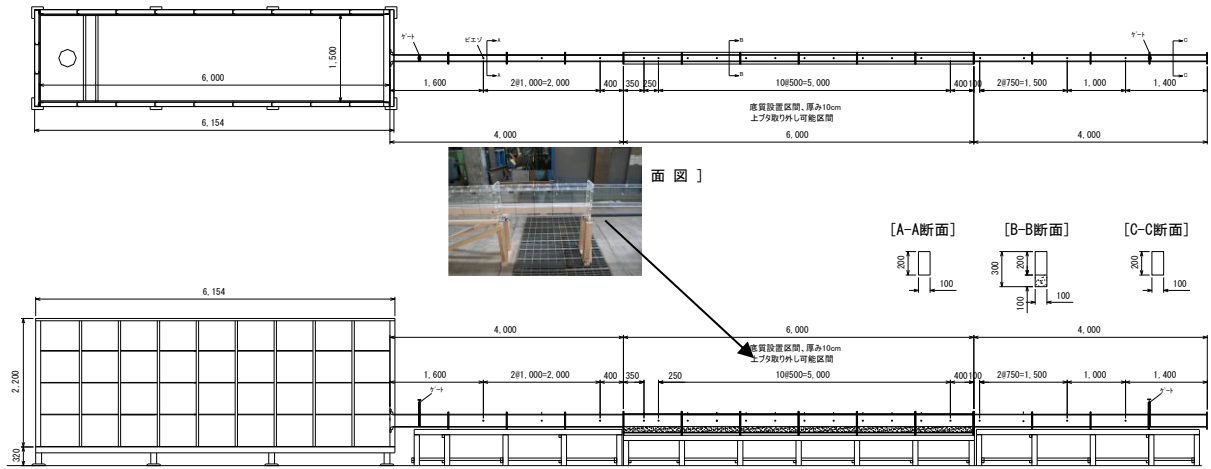


図 3.11 [縦断面] 実験装置概要

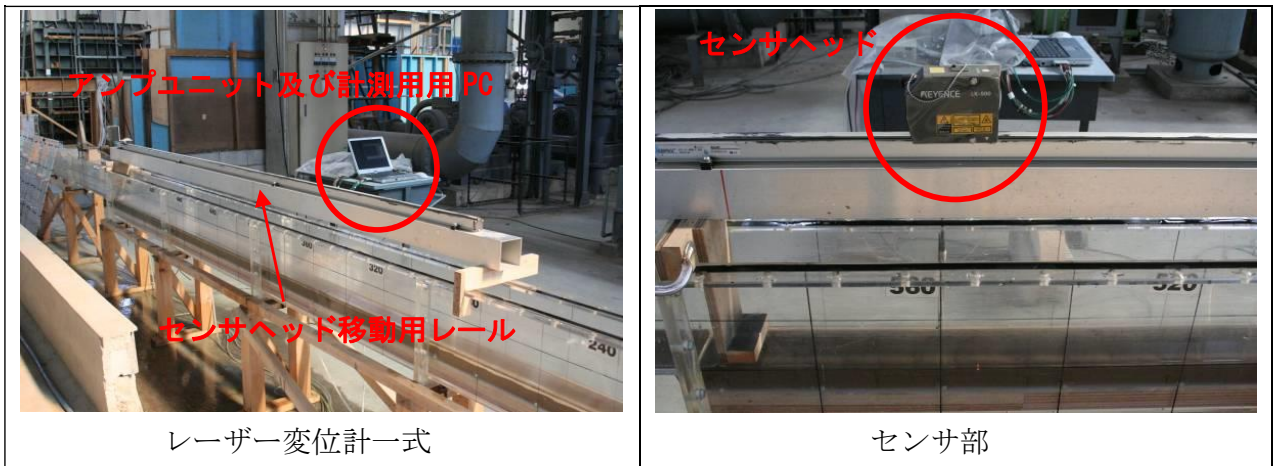


写真 3.5 レーザー変位計

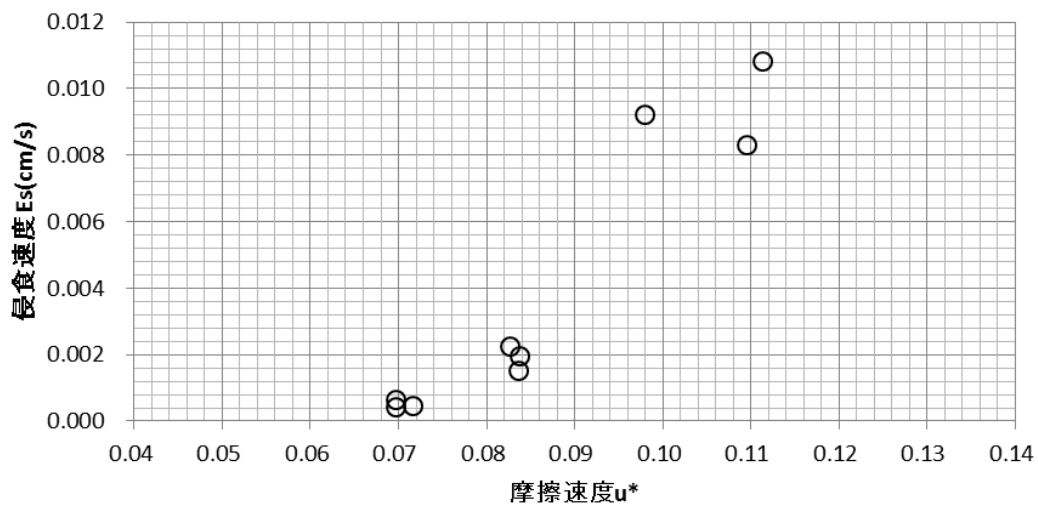
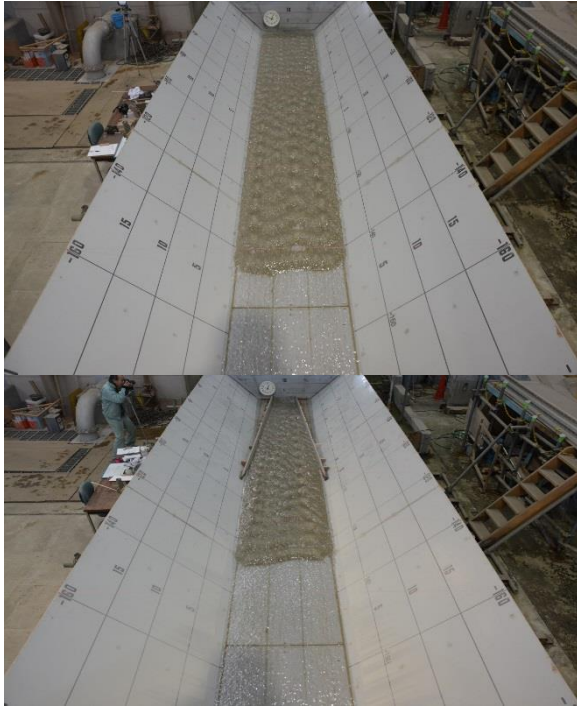


図 3.12 摩擦速度と侵食速度の関係

より検討し、ダム近傍の土砂の排出効果が大きくなるなど、早期の堆砂の排出による濁水の発生長期化を抑制する対策となることを把握した（写真3.6参照）

写真3.6 滞筋固定水路の有無による堆砂形状
（上：無し、下：有り）



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) 常時は、貯水せずに、土砂を通過させることが可能な流水型ダムに適用する新形式放流設備として、ゲート付き横長の口の形状を有する洪水吐きと掘り込み式減勢工の組み合わせを提案し、常時の魚類の移動の可能性や土砂や流木によるゲート開閉不能防止対策を提案した。

(2) 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ゲート付き流水型ダムとゲートレス流水型ダムの堆砂量について調査した結果、基本的にゲート付き流水型ダムのほうが堆砂量が小さくなっており、これは、ゲート付きにすることで、洪水調節開始流量や洪水調節後の放流量をゲートレスダムより大きくすることが可能となる影響と考えられる。また、さらに、上記の洪水調節開始流量をさらに大きくできる場合には、その効果が大きくなり、ダム下流河道への影響等も考えなくてはならないが、洪水調節開始流量を大きくするメリットはあると考えられる。

(3) 現地底質土砂を用いた水理実験により、この土砂の摩擦速度と侵食量の関係が得られ、この関係を用いて、濁水

シミュレーションに反映することで、より実現象への再現性が高くなる。また、濁水長期化の対策としての滞筋固定水路の効果についても把握した。

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や益田川ダムの現地調査において、島根県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：鯖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

ASTUDY 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 : ISHIGAMI Takayuki
MIYAWAKI Chiharu
SAKURAI Toshiyuki
NAKANISI Satoru

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 this study, for designing the "Stream type flood control dam" we investigated about the function of the conduit and the ensure the continuity of river flow. In particular, we conducted the simulation survey of long-term reservoir sedimentation of "Stream type flood control dam" with gate and gate-less, examined the relationship of friction velocity and erosion volume using the hydraulic model test. Moreover we conducted the survey about functional inhibition of the sediment and the floodwood of the "Stream type flood control dam".

Key words : stream type flood control dam, securing the continuity of river flow, in-ground stilling basin, 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, erosion test of reservoir bed sediment, field survey of existing "Stream type flood control dam", fixed water-course