

1 4. 2 環境負荷を最小にする治水専用ダムに関する研究（2）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：河川・ダム水理チーム

研究担当者：箱石憲昭、宮脇千晴、海野仁

【要旨】

近年、治水のみを事業目的とする治水専用ダムが、環境面から注目されてきている。この種のダムは、常時には、流水を遮断することなく流下させ、洪水時には、低位の河床付近に配置した洪水調節放流設備で洪水を調節し、下流の治水に有効に働く形式のものである。一方、各種治水事業における環境問題への関心が高まっており、治水と環境を調和させた事業の展開が求められている。しかしながら、既存の治水専用ダムでは、ダムの構造面など制約条件が多く、より一層の環境面への配慮がなされない状況となっている。環境負荷を最大限軽減するためにも、既存ダムの設計とは異なる視点からダム本体構造・放流設備の設計を検討していくことが必要となっている。

本研究で対象とするダムは、環境負荷を更に小さくし、かつ貯水容量を有効に活用する洪水防御施設として洪水調節操作の必要ない流量については現況河道と同様、流水を遮断することなく流下させ、洪水調節の必要がある大出水時のみ貯留を行う新形式の治水専用ダムである。本研究は、この新形式のダムに必要な放流設備の規模、形状及び操作方法等を検討するものである。研究 2 年目にあたる 19 年度は、環境負荷を最小にする治水専用ダムのゲート操作方法について検討するとともに、昨年度に引き続き開口部を有するゲート構造について検討した結果をとりまとめた。

キーワード：治水専用ダム、環境負荷、ゲート構造、ゲート操作、貯水池内堆砂

1. はじめに

近年、治水効果のみを事業目的とする治水専用ダムが、環境面から注目されてきている。この種のダムは、常時には、流水を遮断することなく流下させ、洪水時には、低位の河床付近に配置した洪水調節放流設備で洪水を調節し、下流の治水に有効に働く形式のものである。一方、各種治水事業における環境問題への関心が高まっており、治水と環境を調和させた事業の展開が求められている。しかしながら、既存の治水専用ダムでは、ダムの構造面など制約条件が多く、より一層の環境面への配慮がなされない状況となっている。環境負荷を最大限軽減するためにも、既存ダムの設計とは異なる視点からダム本体構造・放流設備の設計を検討していくことが必要となっている。

上記に鑑み、本研究では、環境負荷を更に小さくし、かつ貯水容量を有効に活用する洪水防御施設として、新たな形式の治水専用ダムを提案する。このダムは、洪水調節操作の必要ない流量については現況河道と同様、流水を遮断することなく流下させ、洪水調節の必要がある大出水時のみ貯留を行う新

形式の治水専用ダムである。本研究は、ダムに必要な放流設備の規模、形状及び操作方法等を検討するものである。研究 2 年目にあたる 19 年度は、環境負荷を最小にする治水専用ダムのゲート操作方法について検討するとともに、昨年度に引き続き開口部を有するゲート構造について検討した。

2. 検討対象ダム

2.1 ダム規模

環境負荷を最小にする治水専用ダムの検討にあたり、ダム高 70m 程度、流域面積 100km² の重力式コンクリートダムを検討対象ダムとして設定した。また、ダム地点での河道断面は、底面 20m、左右岸の勾配 1:1 の台形断面とし、河床勾配を 1/100 とした。

2.2 洪水調節計画

検討に必要な対象ダムの貯水池容量曲線、計画対象洪水及び洪水調節計画等の各種諸元を以下に整理した。

対象ダムの貯水位容量曲線は、既存ダムのデータから、容量 $V = \alpha H^3$ の式形を用いて、流域面積 100km² のダムで $\alpha = 101$ が得られた。

検討に用いる対象洪水は、1/100 確率流量を最大流量とし、継続時間を 24 時間程度の洪水ハイドロとする。管理ダムのうち、比較的管理年数が長いダムの流入量から算定される 1/100 確率比流量 q と流域面積 A の関係から $q=16$ とし、100 年確率流量 $Q_{100}=1,600\text{m}^3/\text{s}$ とした。

計画洪水は単純化して、流入量が洪水開始時で、 $0\text{m}^3/\text{s}$ 、上記ピーク流量が 12 時間後に発生して、24 時間で終了するハイドログラフとし、上に凸の 2 次関数 $Q_{in}=\alpha t(24-t)$ で表されたと考え、 $\alpha=11.1$ とした(図-1)。

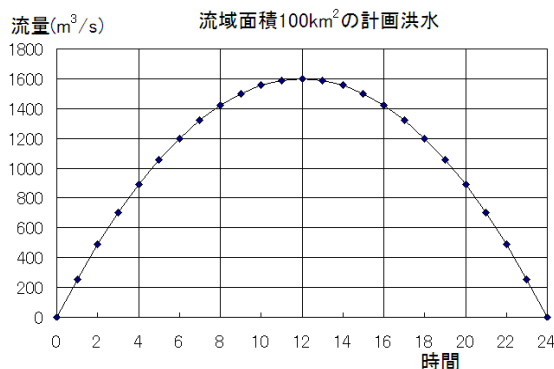


図-1 流域面積 100km² の計画洪水

次に、管理ダムの流域面積別の洪水調節率をもとに、ダム地点調節率を 50% として、対象洪水のピーク流量 $1,600\text{m}^3/\text{s}$ を半分の $800\text{m}^3/\text{s}$ に減少させることとし、それに必要な貯水池容量を概略ダム高 70m 分の容量として考える。洪水調節放流設備はゲートレスとし、放流量式は次式を用いるものとする。

$$Q=CA(2gH)^{0.5} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{管路流} \quad C=(-0.656(D/H)+0.82)^{0.5} \quad H/D \geq 1.8$$

$$\text{開水路流} \quad C=\{0.253(H/D)\}^{0.5} \quad H/D < 1.8$$

ここに、 Q :放流量 (m^3/s)、 C :流量係数、

A :出口断面積 ($B \times D$)、

g :重力加速度 ($=9.8\text{m}/\text{s}^2$)、 H :作用水頭 (m)、

D :出口高さ (m)、 B :出口幅 (m)

上式を用いて、 $H=70\text{m}$ 、 $Q=800\text{m}^3/\text{s}$ の条件から $D=3.52\text{m}$ 、 $B=7.04\text{m}$ が得られる。

2.3 備えるべき条件¹⁾

常時の貯留を要しない治水専用ダムでは、常時(計画最大放流量以下の流量時)には、ダム上下流の連続性を確保し、土砂の通過等の障害が生じないものとし、計画洪水時(計画最大放流量以上の流量時)には計画上の治水効果を満足する必要がある。

常時のダム上下流の連続性を確保するためには、ダム底部に川幅程度の開口部が必要となる。この開口部

分が大きくなるとダム堤体の構造上に大きな問題が発生する。上下流方向断面での 2 次元設計がなされる重力式コンクリートダムでは、マスコンクリートのひび割れ防止の観点から幅 15m 程度のブロックに分割されて建設されるが、底部に開口部を設けるとすると、ブロック内の開口部以外の部分で上方のコンクリートと水压を支えなければならない。このため開口断面は制約を受け、ダム高が高い場合の通常の放流設備幅は 5m 程度が最大となっている。この開口規模に関しては、別途検討中であり、ここでは、川幅程度の開口規模が実現可能と仮定して水理的な問題に絞って検討するものとした。

計画上の治水効果を満足するためには、計画洪水時にはゲート等により流水断面を縮小する必要がある。なお、ゲートで全閉する場合は、洪水調節用に別途洪水調節放流設備(開口部)が必要になる。ここでは、全閉用ゲートに調節用の開口部をもたせることを考え、実現の可能性について検討する。

以上の要件をまとめると、以下のとおりとなる。

- ① 常時で土砂移動が大きくない流量範囲では、魚類等の遡上や降下を考慮した連続性を確保するために、河川幅程度の開口部で開水路流れを確保する。
- ② 常時で土砂の移動が顕在化する流量範囲では、移動する土砂の障害を生じない開口部と開水路流れの状況が必要である。
- ③ 計画洪水時は、洪水調節計画に対応した洪水調節放流設備が必要であり、管路流でピークカット放流量や治水容量を満足するよう検討する。ただし、計画洪水時には、貯水位の上昇に伴い土砂が移動しなくなるため、堆砂も考慮して検討する必要がある。洪水調節末期～洪水終了後における濁水放流の状況についても予測する必要がある。さらに、放流水の流速を落とすための減勢工の検討も必要となる。
- ④ 計画洪水を上回る大洪水時にも極度の流況の悪化が無いような減勢工の検討や流木等による洪水調節放流設備の放流量の障害対策(網場やスクリーンなど)が必要となる。

3. ゲート操作と貯水池堆砂形状

3.1 検討条件

ダム堤体底部に放流設備を有する治水専用ダムは、平常時には流水を貯留しない一方、洪水調節時には貯水池内に一時的に流水を貯留することとなる。多くの

濁りを伴った流入水は、貯水池内で急速に流速を落とすことから、比較的粒径の大きな土粒子を中心に、土砂が貯水池内に堆積する。堆積した土砂の一部は洪水末期に放流水と共に貯水池下流に放出されるものの、残りは貯水池底部に残存し、洪水終了後も長期にわたって流水を濁らせることが懸念される。ここでは、環境負荷低減型治水専用ダムのゲート操作を設定し、洪水終了時における貯水池内堆砂形状について検討する。

検討対象ダムは、川幅程度の開口部を持たない従来型治水専用ダムと環境負荷低減型治水専用ダムとする。従来型治水専用ダムの底部にはB7.04m×H3.52mの常用洪水吐き1門を設置する。一方、環境負荷低減型治水専用ダムの底部には、川幅と同程度の堤体開口部と、これを塞ぐ寸法の流水遮断ゲートを設置する。環境負荷低減型治水専用ダムにも従来型治水専用ダムと同等の洪水調節機能を持たせる必要があることから、この流水遮断ゲートに、従来型治水専用ダムの常用洪水吐きと同一寸法の開口部を設けるものとする。貯水池の縦断形状・横断形状は、「2. 検討対象ダム」で設定したとおり、従来型治水専用ダム・環境負荷低減型治水専用ダムとも同一とする。

土砂の流れと貯水池内堆砂形状は、1次元河床変動計算により求める。この計算は、計算開始時刻における河床標高、河床の粗度係数、流入量、粒径別土砂流入量を入力し、各時刻・各地点における水位・土砂濃度・河床高を逐次求めるものである。計算対象洪水は、1/100 確率洪水とし、平常時流量 10m³/s、計画最大流入量 1,600m³/s（前出 図－1）、ダム下流への最大放流量は 800m³/s とする。流入水に含まれる土砂濃度は、先行研究²⁾を参考に、粒径別に次式で与える。

$$Q_{sj} = \alpha_j \cdot Q^{\beta_j} \quad (Q > Q_c)$$

ここで、 Q_{sj} :粒径 j の流砂量[m³/s]、 Q :流量[m³/s]、 α_j , β_j : 定数、 Q_c 土砂流入限界流量[m³/s]（土砂の流入する最小流量で、本検討では、5 m³/s とする）。

パラメータの設定においては、供給土砂特性の特徴を把握しやすくするために、生産土砂が大きい条件を想定し、800m³/(年・km²)程度を目安に設定した。設定値を、表－1に示す。 β_j は、細粒成分については既往のダムの検討結果を参考に、粗粒成分については既往堆砂実績の粒度分布における混合粒径の流砂量式の傾向を参考に決定した。

計算ケースは、従来型治水専用ダム1ケース、環境負荷低減型治水専用ダム3ケースの計4ケースとする

（表－2）。環境負荷低減型治水専用ダムではゲートの開閉時刻を設定できることから、開操作のタイミングによる洪水調節後の堆砂形状の差異を検討する。計算条件を、表－3に示す。

表－1 粒径区分と流入土砂量パラメータ

分類	粒径No.	粒径区分(mm)	代表粒径(mm)	$\alpha_j (\times 10^{-7})$	β_j
礫	1	9.52 ～	25.4000	335.23	1.10
	2	2 ～ 9.52	4.3630	1,340.92	1.10
砂	3	0.84 ～ 2	1.2960	293.05	1.40
	4	0.25 ～ 0.84	0.4580	35.11	2.00
	5	0.075 ～ 0.25	0.1370	32.61	2.00
シルト	6	0.0339 ～ 0.075	0.0504	5.72	2.30
	7	0.0129 ～ 0.0339	0.0209	7.99	2.30
	8	0.005 ～ 0.0129	0.0080	16.83	2.30
粘土	9	～ 0.005	0.0050	145.29	2.30

表－2 貯水池堆砂形状の検討ケース

ケース	ダム種別	ゲート閉操作	ゲート開操作
A	従来型	——	——
B-1	環境負荷低減型	Qin=800m³/sで全閉	H/D=1.8で全開
B-2	環境負荷低減型	Qin=800m³/sで全閉	H/D=1.4で全開
B-3	環境負荷低減型	Qin=800m³/sで全閉	H/D=1.0で全開

注) Qin: 流入量 H: 貯水位

D: 流水遮断ゲートの開口部の高さ (=3.52m)

表－3 計算条件

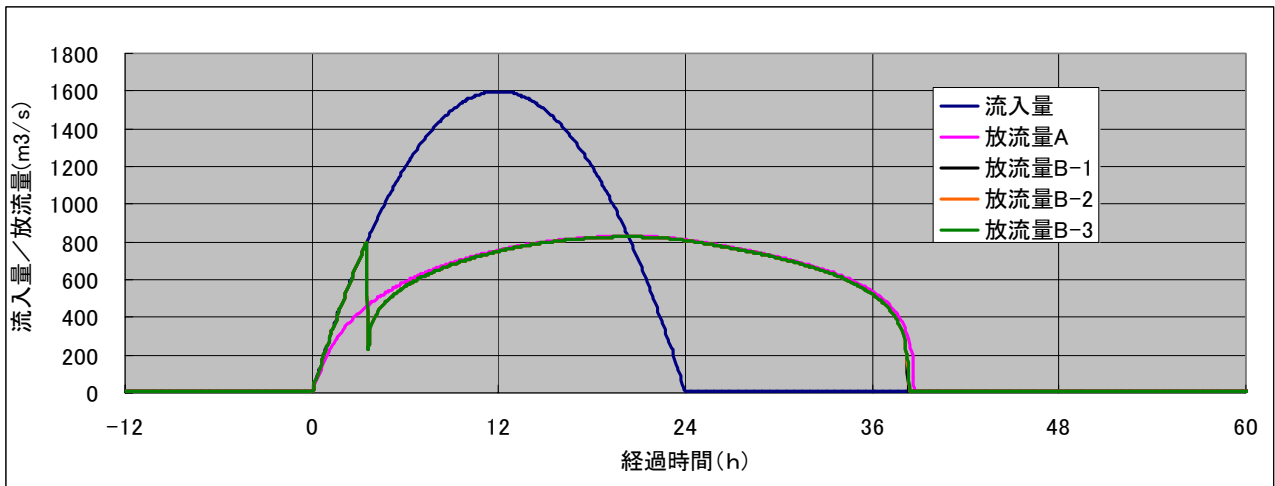
項目	単位	値
計算時間刻み	sec	1～3
流下方向の空間刻み幅	m	100
流下方向の空間メッシュ数	個	111
横断面の鉛直方向分割厚さ	m	0.5
横断面の鉛直方向分割数	個	200
交換層厚	m	0.05
マニングの粗度係数	m ^{-1/3} ・sec	0.03
水の動粘性係数	m²/s	0.000001
水の密度	kg/m³	1,000
土粒子密度	kg/m³	2,650
空隙率(間隙率)	—	0.4

3.2 検討結果

3.2.1 流入量・放流量・放流SS

各ケース共通の流入量、各ケース別の放流量の経時変化を図－2に示す。

従来型治水専用ダムのケースAでは、流入量が増加に転じた直後から洪水調節が始まり、流入量がピークを過ぎて減少に転じ、貯水位が最大となった時刻に放流量が最大となる自然調節方式のハイドログラフを描く。一方、環境負荷低減型治水専用ダムであるケースB-1～B-3では、流入量が計画最大放流量に達する直前から洪水調節が始まり、その後は従来型治水専用ダム



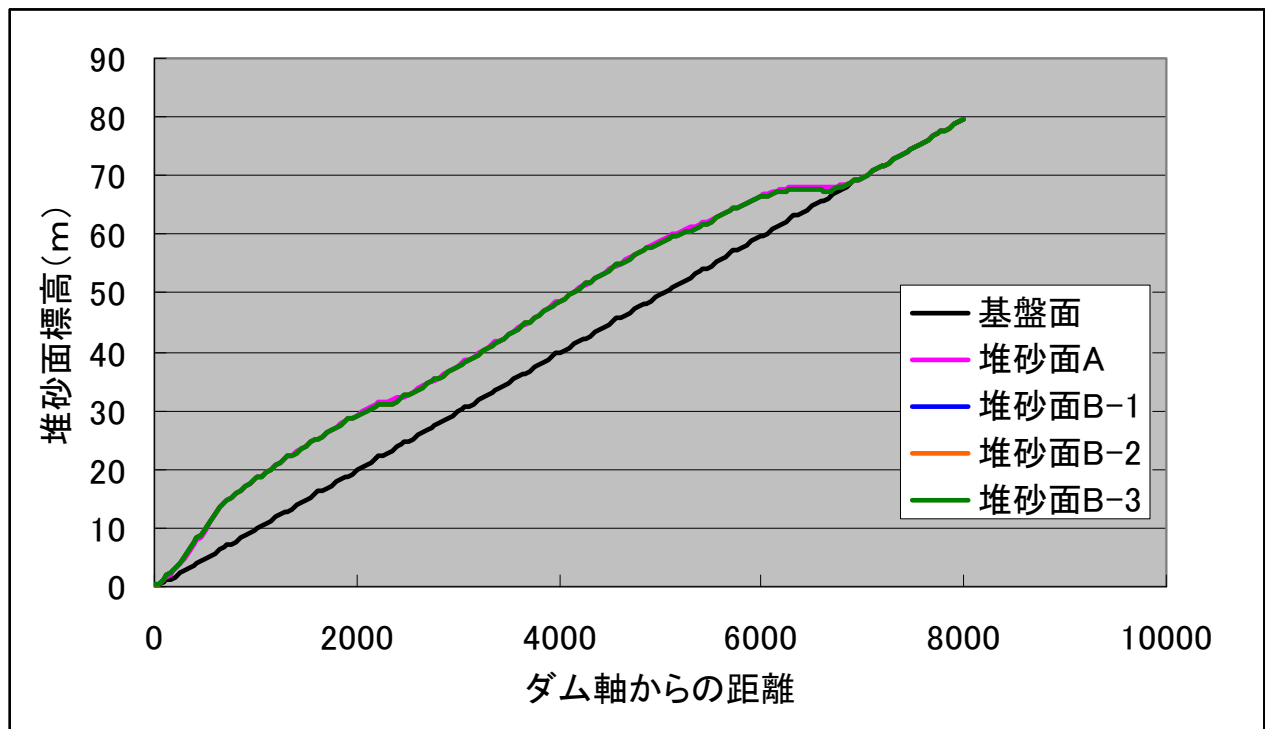
図—2 流入量・放流量の経時変化

と同様の放流量で遷移する結果となっている。ケース B-1、B-2、B-3 はそれぞれ、貯水位が 6.3m、4.9m、3.5m に低下した際に流水遮断ゲートを開操作するが、開操作のタイミングはそれぞれ数分のずれであり、放流量の経時変化を示した図上では、ほとんど差の見られない結果となった。

放流 SS についても別途検討したが、環境負荷軽減型は従来型に比べ高濃度の濁水を放流する期間が数時間縮まったものの、ゲート操作の違いによる差異はほとんど見られない結果となった。

洪水調節終了後の貯水池内堆砂形状を図－3 に示す。堆砂形状を見ると、環境負荷軽減型治水専用ダムの堆砂厚は従来型治水専用ダムに比べ、貯水池の中でも上流側で若干薄くなる結果となった。これは、環境負荷軽減型治水専用ダムが洪水初期の流入を調節せずに放流することから、1 洪水での堆砂量が従来型治水専用ダムに比べ減少したためと考えられる。しかしながら、ゲートの開操作のタイミングによる堆砂形状の差異は、ほとんど見られない結果となった。これは、流入量を上に凸の二次関数で与えたため、洪水調節末期に流入量・放流量・貯水位が急速に低下し、開操作の時刻に大きな差異が生じなかったことによる。流入量の低減

3.2.2 貯水池堆砂形状

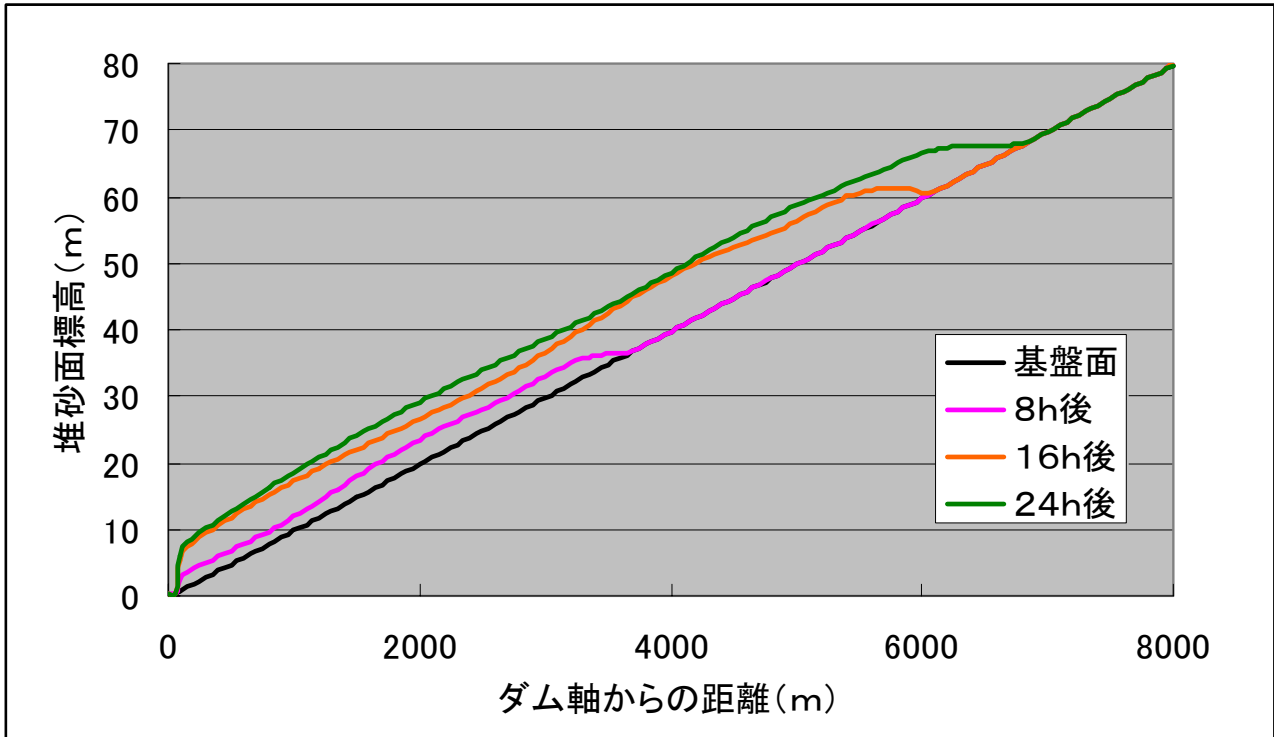


図－3 貯水池堆砂形状（48 h 後）

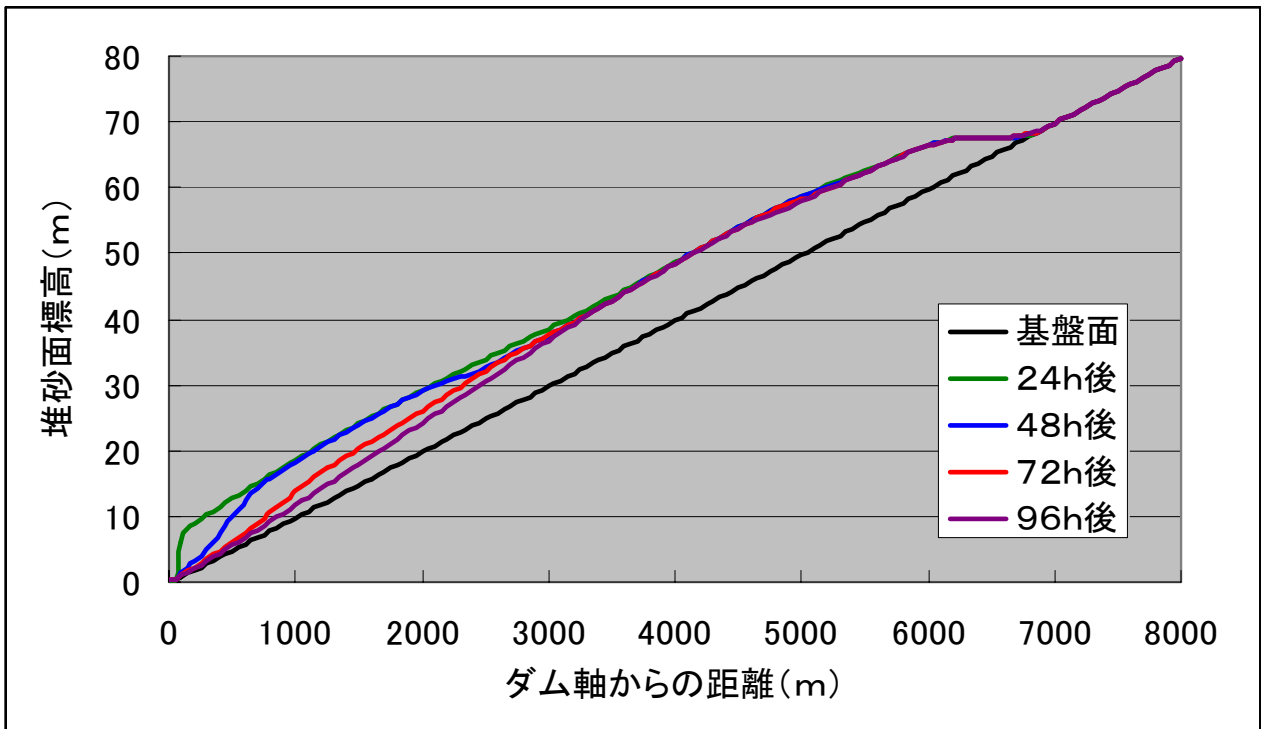
が緩やかな流入波形を採用すれば、別の解が得られたとも考えられる。

ケース B-1 における貯水池内堆砂形状の時間変化を、図－4（1）、（2）に示す。貯水池内堆砂は水位の上昇過程で増大し、貯水位がピークを過ぎ流入量も平常時流

量に戻った「24 h 後」以降は減少する結果となった。堆砂量の増大はダム堤体近傍の標高の低い区間から始まり、上流側に拡大する様子がうかがえる。また、堆砂量の減少についてもダム堤体近傍の区間から始まり、上流側に遷移する。貯水位がピークを迎えた直後には



図－4（1） 堆砂形状の経時変化（1／2）



図－4（1） 堆砂形状の経時変化（2／2）

流入量もほとんどなくなるため、貯水池上流端に堆積した土砂は下流に移動せず、洪水終了後に結局、貯水池の上流側で堆砂が厚く残存する結果となった。この堆砂の経時変化については、いずれの計算ケースにおいても同様の傾向となっている。

以上、1/100確率規模の洪水時における治水専用ダムの貯水池堆砂形状については、以下のとおりまとめられる。

- ・環境負荷軽減型治水専用ダムは従来型治水専用ダムに比べ、貯水池の中でも上流側で若干堆砂厚が薄くなる傾向にある。
- ・環境負荷軽減型治水専用ダムのゲート開操作のタイミングを調整しても、洪水終了後の堆砂厚にはほとんど影響しない。

4. 対象ダムのゲート構造

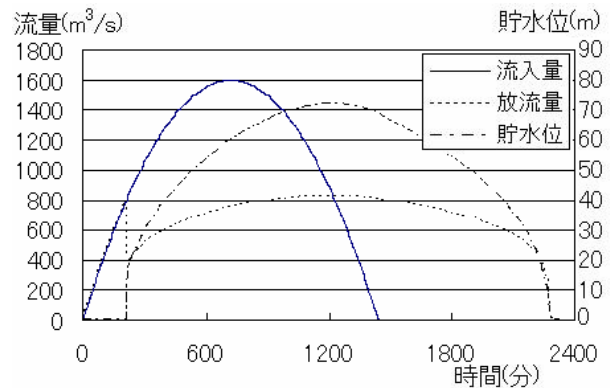
4.1 ゲート規模と洪水調節機能

まず、2.3の条件で常時に必要な開口規模を考える。計画最大放流量 $800\text{m}^3/\text{s}$ の流下断面の水深は、等流計算（ $I=1/100$, $n=0.030$ ）より 4.417m となり、下底 20m 、上底 28.834m の台形断面となる。この断面を確保するためには、ダム堤体への開口部は幅 30m 、高さ 5m の矩形断面が必要となる。次に、この開口部を塞ぐゲートは、幅 33.5m 、高さ 6.5m の大きさが必要である。ゲートの操作を考えると、流量が計画最大放流量以下でゲート全開、それを上回った流量でゲート全閉とする。しかしながら、ゲートを全閉としては洪水調節機能を満たさないことから、2.2で求めた断面

（ $D=3.52\text{m}$, $B=7.04\text{m}$ ）と同等の開口部をゲートに設置することとした。ゲートに開口部を設けることにより、ゲート操作の簡素化が図れると考えた。ここで、計画洪水時に、流入量が $800\text{m}^3/\text{s}$ を越えた段階で、ゲートを全閉するものとして、洪水調節計算を実施した。ただし、前提として、ゲートが瞬間的に全閉になるものとしている。計算結果を図—5に示す。図—5に示すとおり、流入量ピーク時に放流量は $751.6\text{m}^3/\text{s}$ となり、その後貯水位は 72.04m まで上昇し、最大放流量は $827\text{m}^3/\text{s}$ となった。このゲート操作により、計画洪水波形において、当初考えていた穴あき調節とほぼ同程度の洪水調節機能が得られることがわかった。また、流域面積 50km^2 と 200km^2 のケースについても、同様な検討を実施して、このゲート操作によって穴あき調節とほぼ同程度の調節が可能であることを確認している。

貯水位が低い時にゲートの開閉操作を実施することを考えれば、高水深で操作する場合よりも開閉荷重が小さく、ゲート開閉に必要な開閉装置も小さくなっ

て経済的となる。



図—5 ゲート操作調節計算結果

4.2 治水専用ダムのゲート

4.1で検討した規模のゲートについて、概略検討を実施する。ダムのゲートとしては、設置位置は、ダム本体の上流面と下流面の2種類が考えられる。なお、ダムの放流設備は、作用する圧力を放流設備単独で受け持つような設計をしており、ゲートをダム下流面に設置する場合には、このダムの空断面に放流管を設置しなければならない。ここでは、ダム空断面を水路として開水路流れとした方が経済的と考え、ゲートを上流面に設置することとした。ゲート設計時の概略仕様を以下に示す。

ゲートの開口部の必要規模は高さ 3.52m × 幅 7.04m であるが、これを1つの開口部で設計する場合には、この開口部でかなりの強度が必要になる。ここでは、ゲートに $\phi 2.42\text{m}$ の開口部を6カ所設けることとした。ゲート形式は、ゲート操作時の水深が小さいことから、扉体自重に比して水圧によるスライド抵抗やゴム抵抗が小さいので、構造の簡単な「スライドゲート」が適していると考えられる。

扉体構造は横主桁方式（シェル構造を含む）と縦主桁方式が考えられるが、ダム堤体空洞部構造部への荷重伝達がないシェル構造の横主桁方式が有利と考えられる。開閉装置の形式は、ゲート重量が大きく開閉荷重が非常に大きいため、2モータ2ドラム方式のワイヤーロープウインチ方式が適している。また、この開閉装置の設置位置は、空洞断面から離れた位置となるように、転向シーブを用いて変向してゲート両端につないでいる。ゲート開閉時には下端からの放流水の上に開口部からの放流水が落下する状態が想定され、ゲート下流の水面が不安定になりやすく、この時に潜流の状態になればゲート振動等の悪影響が生じることと

なるので、安定した開水路流となるような水路形状が望ましい。この他、ゲート開閉時に空気連行が生じる場合があるので、空気の設置などでゲート背面への給気が容易に行えるようにする必要がある。概略設計での必要諸元は以下のとおりである。

- ①ゲートに作用する全水圧;120,000kN
- ②ゲートに作用する操作時荷重:約4,000kN
- ③開閉荷重;11,000kN
- ④モータ容量;45kw2台
- ④設備重量;1,500ton(扉体重量;900ton)
- ⑤ワイヤロープ: IWRC6×WS(36)B種36本吊
- ⑥ゲート概算工事費;約45億円

この他ゲートを実際に詳細に設計する場合には、ゲート閉操作時のゲートの挙動を検討し、ここで考えているワイヤロープ式でゲート振動等の問題が発生する場合には、油圧式の採用について検討する必要がある。図—6、7にゲート概要図とゲート詳細図を示す。

5. まとめ

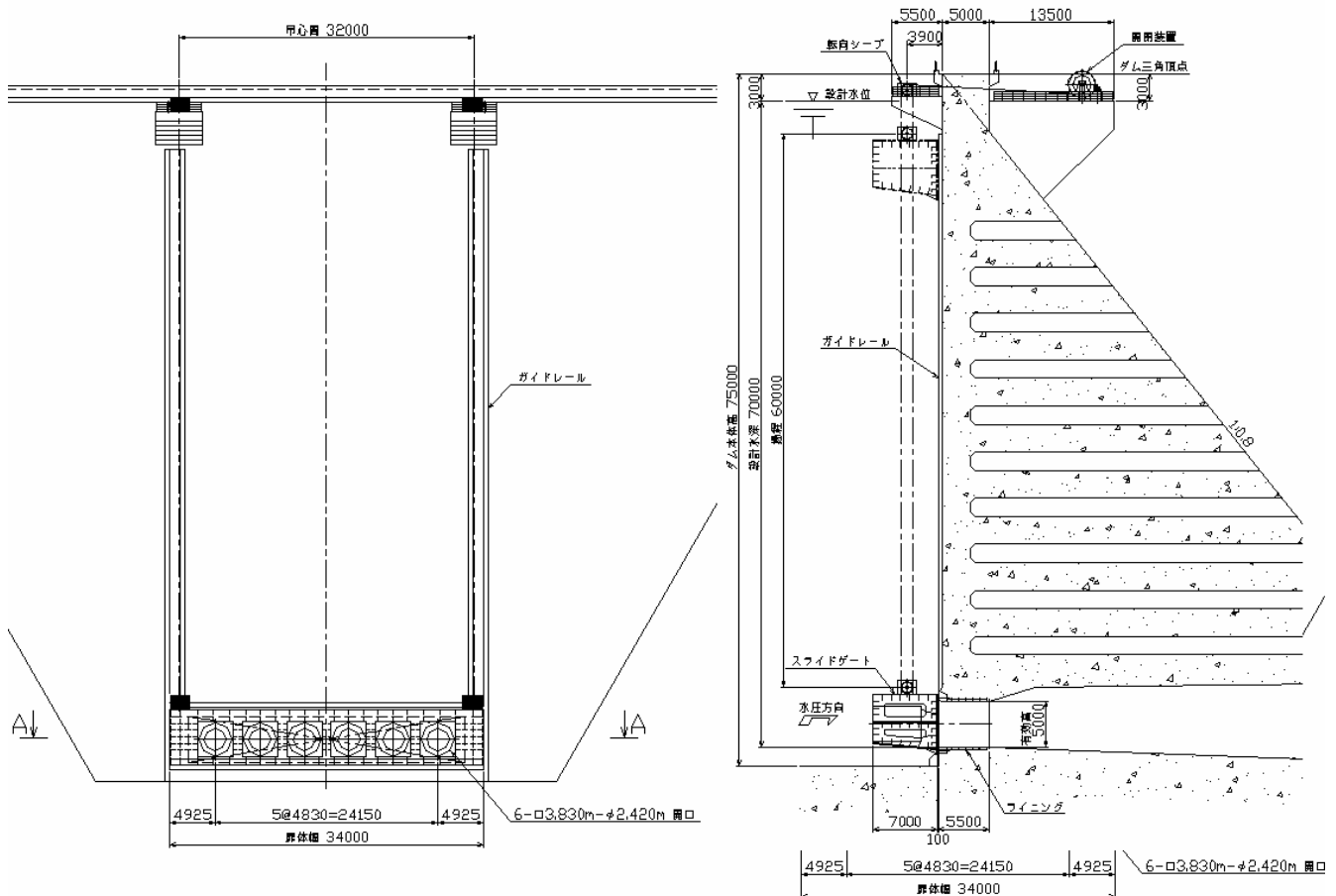
本論文は、環境負荷を最小にする治水専用ダム用ゲ

ートについて、フィージビリティ研究の位置づけで、対象ダムを選定して検討した結果についてとりまとめたものである。今後は、ダム構造面を考慮して、ダム底部に再現可能な空洞規模に関して検討していくとともに、ゲート構造及びゲート操作方法について更なる検討を進めていくつもりである。

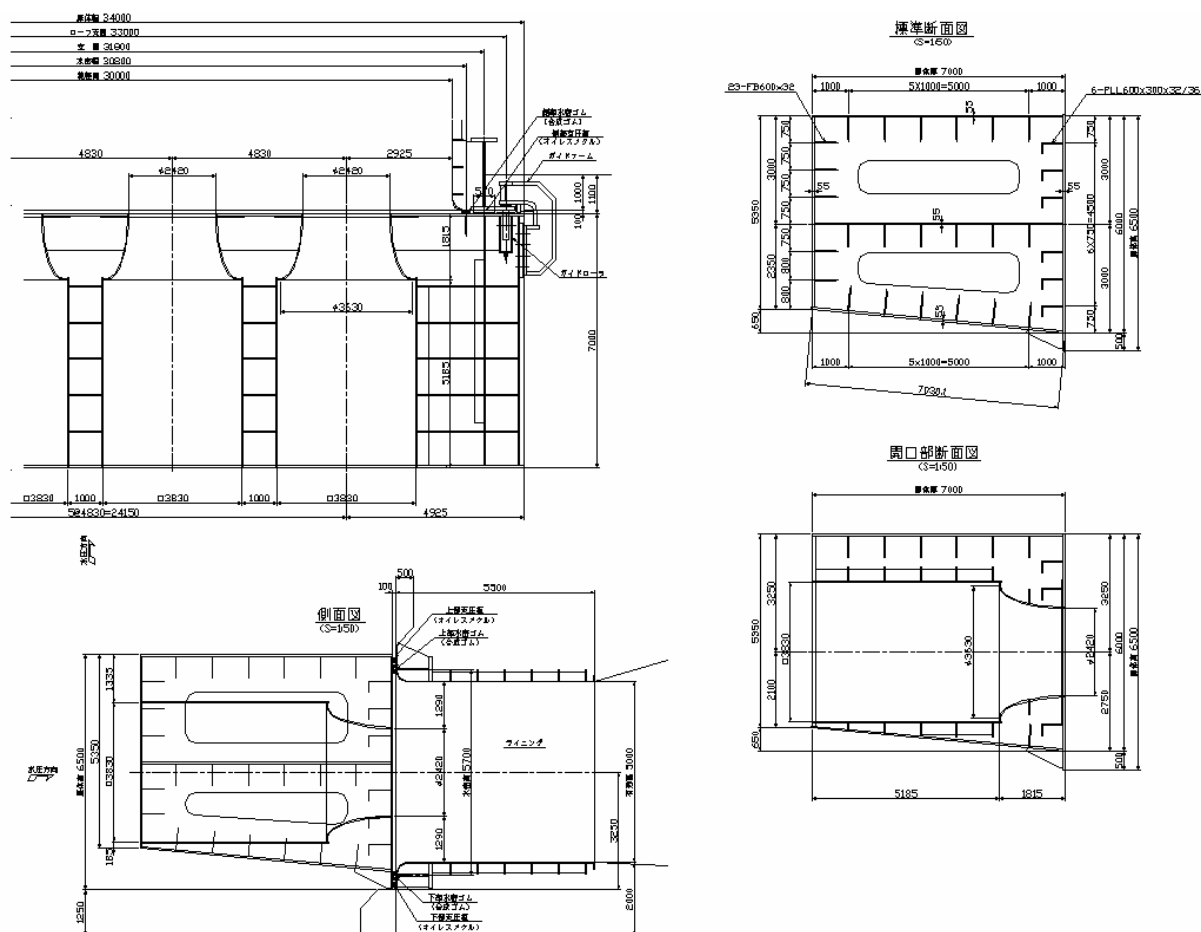
現状で環境負荷を最小とする治水専用ダムでは、以下の3つの機能はある程度満足する必要があると考えられる。

- ①常時の魚類等の上下流の連続性を保つ機能。
- ②常時の流量規模を越えてダムを設置する河川の疎通能力まで土砂の連続性を保つ機能。
- ③計画上の洪水時に計画上の治水効果を満足する機能。

今回のようにこの3つの役割を開口部を有する1つのゲートと1つのダム底部の開口部分で兼用することを考えてきた。基本的な考え方は、①と②の機能は、川幅を確保する底部開口部分で、③の機能は、開口部を有するゲートにおいて、分担させたものである。今回の検討により、この規模のゲートの概略諸元を提示



図—6 ゲート概要図



図一7 ゲート詳細図

することができた。

治水専用ダムの計画に当たっては、洪水時に流入した土砂を放流期間中にいかに多く下流へ放出できるかが鍵である。ゲート操作の検討では、計画規模1/100といった大洪水を対象としたものであり、当然、多量の土砂が洪水終了後に残存する結果となっている。環境負荷軽減型が従来型に比べ環境負荷軽減の効果を発揮するのはむしろ中小洪水時と考えられることから、今後は様々な規模の洪水を対象に、ゲート形式・操作方法をさらに検討し、堆積土砂量の低減を目指すことが望まれる。

参考文献

- 1) 柏井条介：ダム土砂管理技術、シンポジウム貯水池土砂管理の現状と将来、予稿集、2007
- 2) 櫻井寿之、箱石憲昭：「堆砂対策におけるダムからの土砂供給特性について」、土木技術資料 49-7、pp. 32～35、2007. 7

STUDY ON SINGLE PURPOSE DAM FOR FLOOD CONTROL WITH MINIMIZING ENVIRONMENT LOAD

Single purpose dam for flood control, taking environment aspects into consideration, draws attention recently. Ordinarily, this type of dam does not store any inflow discharge, however, in case of flooding it stores inflow discharge and releases small outflow though the outlet installed in the lower part of dam body near the level of river bed to mitigate flood disasters downstream effectively. People's concern for environment problem against flood disaster prevention projects becomes higher, so a progress of projects coordinating flood control on environment aspects is required; nevertheless, because of the structural limitation of dam facilities, further consideration on environment can not be taken for the present flood control dams. For the purpose of minimizing environment load, the studies from the deferent viewpoint on the design of dam structures and outlet facilities are indispensable. Items of study are as follows: the study of size, shape and the operation of outlet facilities for minimizing environment load, the investigation of new type flood control dam which does not block ordinal river flow ,however, stores inflow discharge while large flooding. In 2007 fiscal year of second year, the research examined continuously the gate operation and the gate structure.

Key words : single purpose dam for flood control, negative environmental impact , gate structure, gate operation, sedimentation in reservoir