

## 21世紀課題に対応するダム取水・放流設備 —地球温暖化、貯水池土砂管理および流水型ダム—

京都大学防災研究所水資源環境研究センター 角 哲也\*

キーワード 地球温暖化・貯水池土砂管理・流水型ダム

### 1. はじめに

IPCC 第4次報告書 (IPCC AR4, 2007) では、地球温暖化に伴う気候変動の影響として、極端な降雨現象の発生頻度が引き続き増加する可能性が非常に高いこと等が指摘されており、これらの影響に対する適応策の具体化が求められている。一方、我が国における国土交通省所管ダムの建設は、事業費でH9年、施工箇所数でH5年をピークに近年減少しており、今後は、既存ストックのいっそうの機能強化が必要である。特に、ダムのアセットマネジメントの観点から、貯水池の土砂管理を推進することは、治水・利水および環境の観点からも重要な施策である<sup>1)</sup>。

このような背景のもと、ダムの取水・放流設備について今後求められる機能およびこれを実現するための技術的課題について、地球温暖化、貯水池土砂管理および流水型ダムの3つの観点から考えてみたい。

### 2. 地球温暖化と取水・放流設備

#### (1) 超過洪水対策

地球温暖化に対する研究チーム (21世紀気候変動予測革新プログラム) の報告によれば、今世紀末には超過洪水の降雨強度が増大することが予想されている<sup>2)</sup>。GCM (20 km (全球), 5 km (日本付近)) による現在 (1979-2003年) および将来 (2075-2099) 気候データを用いて、気候変動に伴う全国の河川流域における年最大1時間、3時間、6時間、12時間、1日、2日、3日の各継続時間降雨量が比較検討されている。これによれば、全国的に概ね5~20%降雨量が増加し、特に東北・北海道に対する影響 (1日雨量で20%以上増加) が大き

いことが予測されている。

また、巨大イベントの発生も懸念される。将来の台風発生については、太平洋の海面温度の上昇により、台風の発生回数は減少するものの、一度発生した台風は勢力を衰えずに日本付近まで北上してくることから巨大化しやすいことが指摘されている。将来 (2075-2099) 気候のGCMデータを用いて物理的ダウンスケールを行い、さらに台風モデルを用いて検討を行った結果によれば、中心気圧920ヘクトパスカルにも及ぶ巨大台風が東日本に接近する可能性があることが予測されている。

近年、東北や北海道などの、従来大規模台風を経験していない地域への大型台風の接近に伴う被害発生が頻発しているが、上記のような巨大台風の襲来は壊滅的ダメージをもたらすことが懸念される。また、これまである程度の経験を有し、治水施設整備がなされてきた地域においても、台風による被害はその勢力とコースの組み合わせでいかようにも変化するものであり、確率台風 (台風トラック (通過コース) と中心気圧を組み合わせたもの) の検討では、例えば、利根川流域でも既往の洪水を大幅に上回る洪水外力が発生する可能性があり、ダムの洪水調節計画やダム設計洪水流量の改定およびこれに伴う洪水吐きの機能向上が必要になるものと考えられる。

このような気候変動に伴う外力の変化に対して、ダム施設に求められる対応策は、1) 洪水調節容量の増強、2) 常用・非常用洪水吐き放流能力の増大の2点であろう。

#### 1) 洪水調節容量の増強

これを実現するには、流域に治水容量を持つ新設ダムを計画するのが最も効果的であるのは論を待たない。一方、これが諸般の事情で難しい場合には、次善の策として、a) ダムの嵩上げ、b) 利水容量の治水容量への振

\* 教授

替、c) 事前放流による一時的な治水容量の増大、などの手段が検討されよう。

このうち、a) ダムの嵩上げは、事例として経験されてきているものの、既存ダムの堤体を活かしながらの大幅な容量増大は容易ではない。日本の場合は、既存堤体の下流により大きなダムを新たに建設して容量増大を図る事例の方が多のが現状である(胆沢ダム、津軽ダム、新丸山ダムなど)。この場合に必要取水・放流設備は、新設ダムを建設するのと特段の相違はない。

b) 利水容量の治水容量への振替では、単独ダムの場合と複数ダムの場合があるが、いずれにしても既存のものよりもより深い標高に常用洪水吐きを設置する必要がある場合が多く、ダム堤体あるいはトンネルの開削による洪水吐きの新設が求められる場合が多い。

このうち、複数ダムで利水容量と治水容量の振替を行った揖斐川横山ダム再開発事業(徳山ダムとの連携)では、洪水調節を流域面積がより大きなダムで実施した方が効果的であることから、横山ダムの灌漑容量を上流ダムである徳山ダムに移設し、下流の横山ダムに多くの治水容量が設定された<sup>3)</sup>。また、利根川ダム群再編成のように、流域面積が大きく、洪水調節機能を有するダムが1ダムしか存在しない神流川に設置された下久保ダムの治水容量を増大することは、さまざまな降雨分布の洪水を考慮した調節効率の向上が図れるメリットがある。大規模洪水を経験した川内川鶴田ダムの再開発は、単独ダムによる利水容量から治水容量への振替事例である<sup>4)</sup>。

c) 事前放流に関しても、近年精力的に検討が進められている。重要なのは利水容量を一時的に減少させるための意思決定を支援するための降雨予測技術の向上と、事前放流を実施するための放流設備の確保である。事前放流の開始時は一般に降雨開始前になることから、放流時の安全確保や下流河川に対する放流水質(水温・濁度など)の配慮など、下流河川の利用状況によっては通常の常用洪水吐き以上の設計配慮が求められることも想定される。

## 2) 常用・非常用洪水吐きの放流能力の増大

洪水調節計画の変更や事前放流を行うためには、既存の常用洪水吐きの放流能力の増強が必要になる場合がある。川内川鶴田ダム(利水容量の治水容量への振替)、肘川鹿野川ダム(事前放流)、那賀川長安口ダム(事前放流)などがその具体例であるが、堤体穴開け、堤体切り欠き、トンネル掘削など、必要放流能力と既存ダム堤体の状況により種々の対応策が検討されている。図-1に鶴田ダムの常用洪水吐きの改造計画を示す<sup>4)</sup>。

一方、超過洪水の増大に対するダムの安全性向上として、ダム設計洪水流量の改定および非常用洪水吐きの放流能力の増大が想定される。その方法としては、重力式コンクリートダムであれば、非越流部に新たに洪水吐き(ゲート)を増設したり、福井県笹生川ダムのようにトンネル洪水吐きを新たに設置したりする方法がある。

近年、利用可能な限られた空間で洪水吐きの放流能力を増大させるために、苫田ダムでも採用されたLabyrinth(ラビリンス)堰が世界的にも導入されている。図-2は、イタリア東部に近年建設されたRavedisダムの洪水吐きである。しかしながら、Labyrinth堰は鉛直の鉄筋コンクリート構造となり、かなりまとまった水平な平場を必要とし、また、単位幅流量 $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ を超えると接近流速が増大して効率が低下するとともに、建設コストが増大するために、流量が大きくなるとその利点が無くなっていくことが指摘されている<sup>5)</sup>。また、既設の重力式コンクリートダムを改造して、後付でLabyrinth堰を堤体上部に設置することは構造的制約から一般に困難性が伴う。

そこで、このようなニーズに応えるためにLabyrinth堰を改良したものとしてF. Lempérièreらが提案したPiano Key堰(図-3)がある<sup>6)</sup>。Piano Key堰は、1990年代後半に非常利技術者グループHYDROCOOPにより検討が開始され、その後フランス電力公社(EDF)の水理実験所などで検討が進められた<sup>7)</sup>。越流形態はLabyrinth堰に似ているが、より空間的にコンパクトな設置が可能であり、また、単位幅流量で $3 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ までの設計が可能と言われる。Piano Key堰には、ダムの上下流両方に張り出し構造となったものと、上流側のみに張り出し構造となったものがあり、前者は単位幅流量 $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ までの小規模なもの、後者はより大

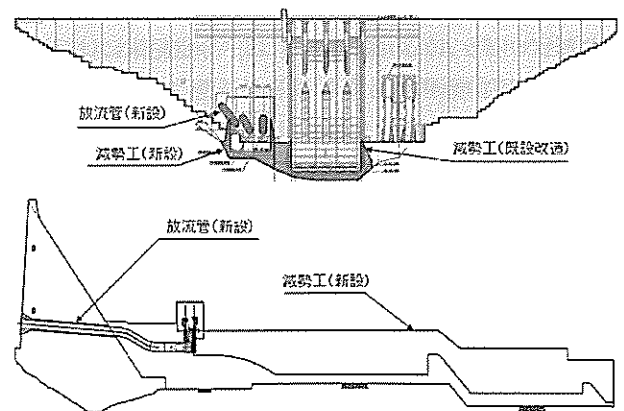


図-1 鶴田ダム放流設備の改造計画<sup>4)</sup>

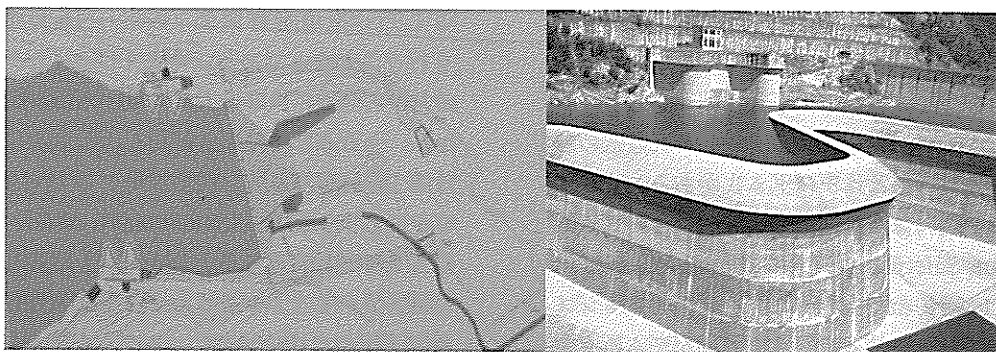


図-2 Labyrinth 堰越流部 (イタリア・Ravedis ダム)  
(このダムでは、左右のトンネル洪水吐き流入部に採用された)

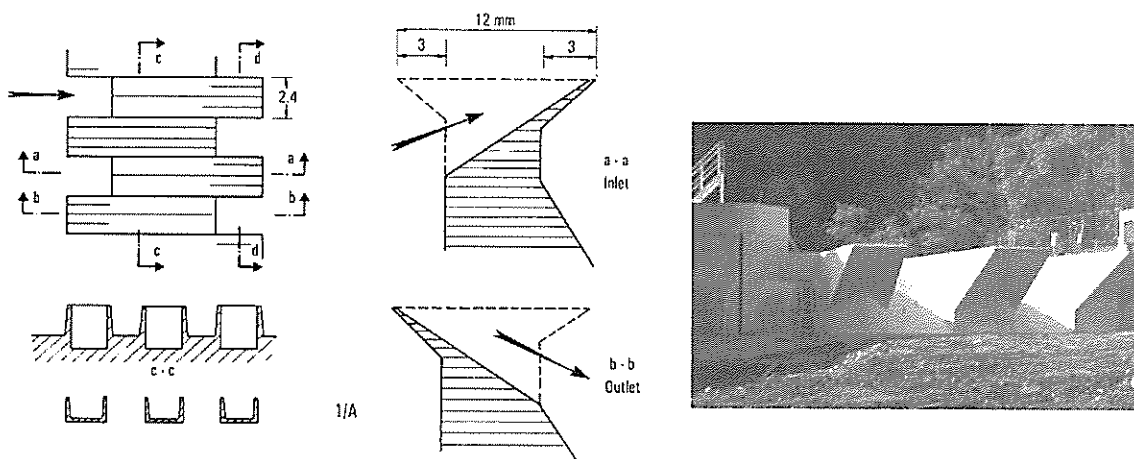


図-3 Piano Key 堰 (構造図と最初に設置された Goulours ダム (EDF), 2006)<sup>6)</sup>

きなダムに採用可能な形式である。堰本体は鋼製とコンクリート製の両者があり、鋼製は2～3mが限度である。

Piano Key 堰の水理特性については種々のレポートが出されているが、堰高  $H$  (m)、越流水深  $h$  (m) の時の単位幅流量  $q$  ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ) は、通常の堰の越流公式  $q = 2.2 h^{3/2}$  に対して、 $q = 4h\sqrt{H}$  で概算される。これにより、下記のメリットがあるものと期待される。

- ・単位幅流量は、 $h = 0.3 H$  の時に3倍に、 $h = H$  の時に2倍に増大可能
- ・単位幅流量  $q$  を固定すれば、貯水池水位は  $0.5 H$  だけ節約可能 (貯水容量増加)

Piano Key 堰が最初に設置されたのはフランスの Goulours ダム (図-3) である<sup>7)</sup>。Goulours ダムは、1940年初期に建設された堤高21m、堤長71mのコンクリートアーチ式ダムで、中央に4m×4mのゲート付標準越流頂が設置されていた。これを1mの越流水深で92  $\text{m}^3/\text{s}$  の放流能力を有するゲートレス洪水吐きに改造することが計画されたが、設計放流量162  $\text{m}^3/\text{s}$  に

増大することが求められた。その対応として、貯水運用の変更、追加洪水吐きの建設や Labyrinth 堰の導入などが検討されたが、最終的に Piano Key 堰が採用され2006年に導入された。堰本体の堰高は3m (コンクリート厚さ200mm) である。

一方、超過洪水時の放流量を確保する方法として、Labyrinth 堰や Piano Key 堰よりも古くから検討されてきたものに Fuse (ヒューズ) ゲートがある。Fuse ゲートには、古くはフラッシュボード (flush board: けっしゃばん (欠瀉板, 決瀉板)) があるが、本格的なゲートとして、水圧により自動転倒するコンクリート製や鋼製の Fuse ゲートの開発が精力的に進められ、そのいくつかは実用化されている。Fuse ゲートの設置により、非常用洪水吐きの放流能力が増大するとともに、満水位の上昇によってダムの貯水容量を増加させることが可能であり、これら両面からの導入検討事例が見られる。

Fuse ゲートの代表的なものを図-4に示す<sup>5)</sup>。通常時は Labyrinth 堰として越流量を確保しながら、さらに貯水位が上昇した場合には、上部の流入口から水が取り

込まれてゲート下部にアップリフトが作用して転倒する構造である。Fuse ゲートはオーストラリア、フランス、インド、南アフリカや米国などで導入実績がある。

一方、Fuse ゲートの一種としてフィルダム構造の越流・侵食型の洪水吐き（ヒューズダム）がある。オーストラリアでは、損傷によるリスク最小化のためのダム性能規定（Dam Safety regulation to minimize risk of infrastructure failure）が掲げられ、アセットマネジメントの一環として、ダム施設のリスク評価がダム所有者に求められている。その具体的な項目は、洪水吐きの放流能力を PMF（Probable Maximum Flood）対応とす

ること、損傷影響評価（Failure Impact Assessment）を行うことなどである。たとえばクイーンズランド州のウィベンホーダムにおいては、設計洪水流量  $49,000 \text{ m}^3/\text{s}$ （100,000 年確率）に対し、最大放流量は貯留効果を考慮し  $36,000 \text{ m}^3/\text{s}$  が必要とされ（実績は 1999 年  $Q_{in} = 7,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{out} = 1,900 \text{ m}^3/\text{s}$ ）、既設洪水吐きに加えて補助洪水吐き（幅 165 m）が増設された。構造は図-5 のようにコンクリート製の自由越流頂の上に傾斜コア型のミニロックフィルダムが築造された「ヒューズダム」形式となっている。超過洪水時に貯水位が基準値以上に上昇すれば、3 区画に区分されたフィルダムが

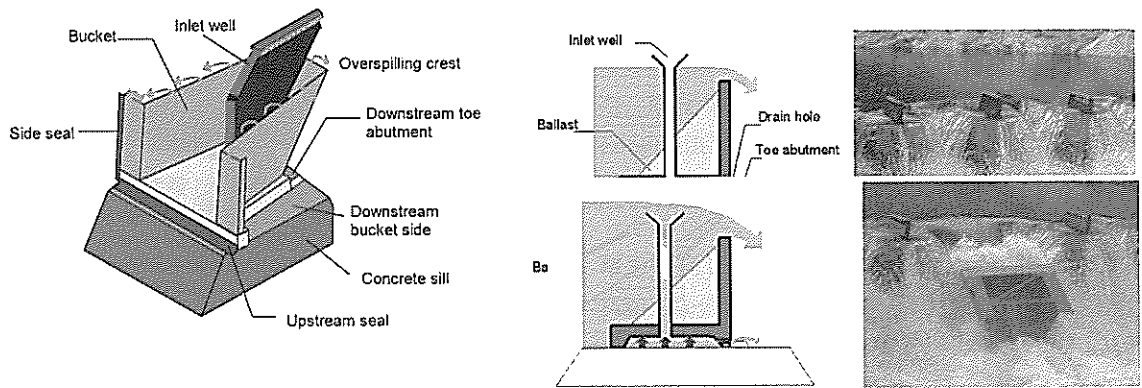


図-4 Fuse ゲート（概要図（左）、通常越流時（右上）、転倒時（右下）<sup>5)</sup>

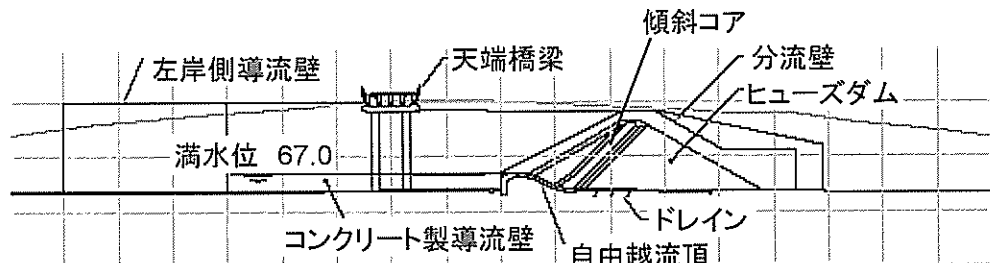


図-5 ヒューズダム（オーストラリア・ウィベンホーダム）

順次浸食されて流され、下から自由越流頂が現れる仕組みとなっている。

以上、主に超過洪水を対象に、非常用洪水吐きの放流能力を増大させるための方法論を概観してきたが、その具体的導入においては、気候変動による影響評価を放流施設の計画・設計にどの時点で直接的に反映させるのか、新設ダム、既設ダムでどのように取り扱うのか、また、採用する技術の長期的な信頼性をどのように確保するのかなど課題は多い。一方、気候変動による影響は、洪水のみならず渇水リスクも増大することが懸念される。特に、後述のように融雪洪水に依存する地域に対する影響が懸念され、そのために既存ダムの常時満水位を上昇させて有効貯水容量を増大することも大きな課題となる。そのための具体的な手段として、ここで示したような新しい洪水吐きゲートの導入も検討する必要がある。

## (2) 水温制御

地球温暖化によるもう一つの影響として、1) 降雪・融雪量と時期の変化、2) 夏季の河川水温の変化の両面

が懸念される。

### 1) 降雪・融雪量と時期の変化

図-6に日本全国の河川流域を対象に、Sato et. al.が現在気候(1979-2003)と将来気候(2075-2099)を対象にGCM出力を用いて計算を行った河川流量の変化を示す<sup>8)</sup>。最上川、利根川、木曾川などでは、降雪が降雨に変化するために2月の流量が倍増する一方、例えば、最上川では4月の流量が大きく減少することが予測されている。このような降雪・融雪量と時期の変化は、日本の多目的ダムの貯水池運用に大きな影響を及ぼす可能性がある。具体的には、融雪出水が毎年期待される地域において、当年の降雪・融雪状況を見極めて、春先の貯水運用をより厳しく実施しなければ、その後の貯水位回復が期待できないことになる。

### 2) 夏季の河川水温の変化

2010年の夏は記録的な高温が継続した。地球温暖化に伴うもう一つの影響として、夏季の高気温に伴う河川水温の上昇が懸念される。図-7に日本列島の夏季の河川水温分布を示すが<sup>9)</sup>、地球温暖化による2℃の気温上

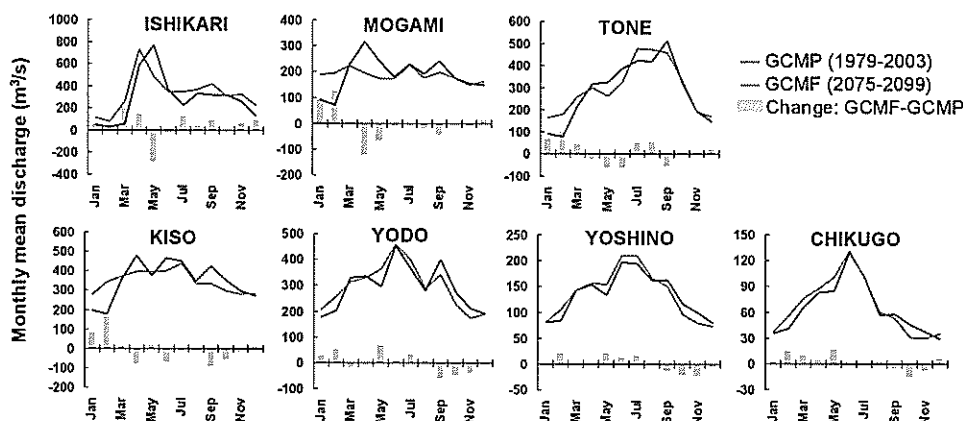


図-6 日本列島の夏季の河川水温と地球温暖化による影響<sup>8)</sup>

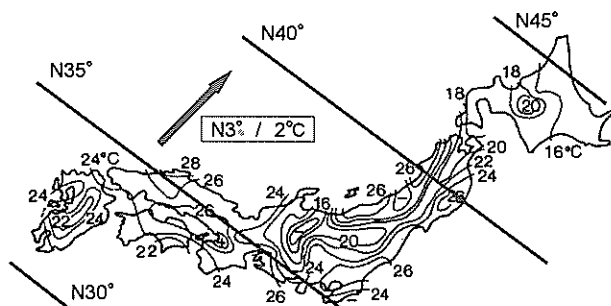


図-7 日本列島の夏季の河川水温と地球温暖化による影響<sup>9)</sup>  
(2℃の気温上昇は、緯度で3°の北上、標高で300mの上昇に相当する)

昇は、緯度で3°の北上、標高で300 mの上昇に相当し、サケ科のように夏季の高水温を嫌う魚種に大きな生息環境の変化をもたらす可能性がある。代表的な魚種の夏季の許容可能な最大水温は、イワナ(16℃)、カワマス(24℃)、ブラウンマス・ニジマス(22℃)などと示されており、これらに対する影響は甚大である。図-8に Nakano et. al. がイワナの生息域を温暖化レベルに応じて予測したものを示すが、温度上昇に応じて、西日本、特に中国地方の生息域が急速に減少することが示されている<sup>10)</sup>。

このような地球温暖化に伴う河川水温の変化に対して、ダム貯水池を上流域に有する河川においては、貯水池自体の表層の高水温化が懸念される一方で、最終的にダムのどの標高から取水・放流するかで下流河川の水温環境が大きく変化することになる。幸い、日本の多くのダムでは選択取水設備が設置されており、これを有効に利用して、例えば夏季の水温上昇を緩和するために貯水池内の低水温層からの放流を組み合わせることも想定されよう。これまでの選択取水設備による放流水温制御の目的は、春先から夏季に向けての表層からの温水放流であったが、夏季の河川水温の管理の可能性についても、今後、大いに検討すべき課題と考えられる。

なお、選択取水設備をより安価に設置したいという管

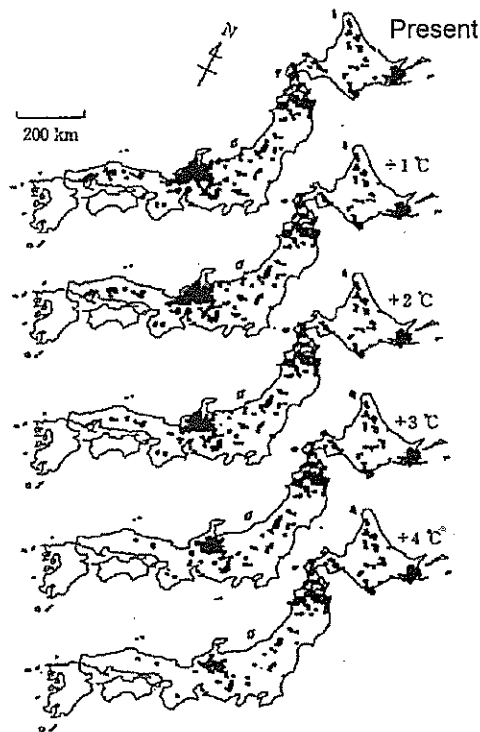


図-8 温暖化(平均気温上昇)レベルがイワナの生息域に与える影響<sup>10)</sup>

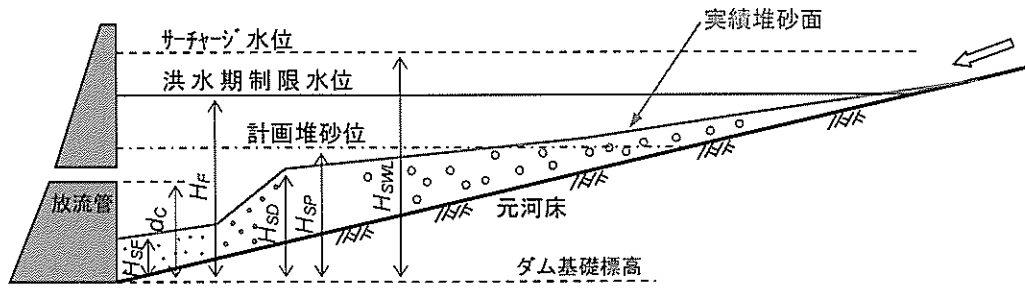
理者のニーズは強い。その点で、近年採用事例が増加している、連続サイフォン式取水設備や遮水膜昇降式取水設備などの技術提案は特筆され、今後も新技術開発を大いに進める必要がある。特に、地球温暖化問題は世界共通であり、もともと米国などではダムからの高水温放流が冷水性魚類に対して悪影響がでることが問題であり、一方、韓国では大規模洪水の流入で貯水池の濁水長期化問題が国家的課題になっているようであり、今後、このような分野での日本の技術的貢献は大いに期待されている。

### 3. 貯水池土砂管理と放流設備

ダム貯水池の持続的管理のためには、適切な土砂管理を行うことが必要である。これまでにフラッシング排砂、排砂バイパス、掘削・土砂還元など、具体的な対策が検討され実施に移されてきている。しかしながら、多くのダムにおいて堆砂が進行していった場合の将来への影響を考えた場合には、各ダムの底部放流管形式の常用洪水吐きの有無、設置標高、放流能力が重要となってくる。特に、本川中流部の貯水池回転率の大きなダムにあっては、堆砂対策として洪水時に一時的に貯水位を低下させて土砂の捕捉率を低下させる「スルーシング排砂」が有力な手段となることや、大規模ダムにあっては、洪水時に貯水池中・底層を流下してくる高濁度水をそのまま排出する「密度流排砂」が微細粒土砂の捕捉率を低減させるために有効となる。そのため、洪水時に使用可能な常用洪水吐きの有無を評価しておく必要がある。

我が国の底部放流管形式の常用洪水吐きについて、その設置標高と計画堆砂位、洪水期制限水位、サーチャージ水位などとの関係を図-9および表-1に示すパラメータで整理したものを以下に示す<sup>11)</sup>。

図-10に、 $R_c$ (無次元放流管高さ)および $R_{sp}$ (無次元計画堆砂位高さ)の経年変化を示すが、既存のダムにおける無次元放流管設置高さは0.4~1.0の範囲にあり、平均で0.69である。完成年代別による傾向は特に見受けられない。世界銀行の提案した RESCON モデル(土砂管理のフィージビリティスタディモデル)では、底部放流管を用いたダム排砂を行う場合には洪水時満水位に対してできるだけ低い標高に放流管がある方が土砂排出に効果的であることを規定している。その理由は、貯水位をできるだけ低下させることにより、貯水池内の堆積土砂を縦断的に侵食させて排出できるためであり、この観点では、既存の常用洪水吐きでは必ずしも十分とは言えない。



$H_F$	: 洪水期制限水位水深 (基礎標高～洪水期制限水位)
$d_c$	: 放流管設置高さ (基礎標高～放流管敷高)
$H_{SWL}$	: サーチャージ水位水深 (基礎標高～サーチャージ水位)
$H_{SD}$	: 堆積デルタ高さ (基礎標高～堆積デルタの頂部標高)
$H_{SF}$	: 微細粒土砂堆積層高さ (基礎標高～微細粒土砂堆積層標高)
$H_{SP}$	: 計画堆砂位高さ (基礎標高～計画堆砂位)
$N$	: 完成年から堆砂形状測量年までの経過年

図-9 貯水池の各パラメータ模式図

表-1 着目パラメータ

	式	備考
$R_C$	$d_c/H_F$	洪水期制限水位水深に対する放流管設置高さの比
$R_{SF}$	$H_{SF}/H_F$	洪水期制限水位水深に対する微細粒土砂堆積層高さの比
$VR_{SF}$	$R_{SF}/N$	上記の無次元微細粒土砂堆積層高さの上昇速度 (単位: /年)
$R_{SP}$	$H_{SP}/H_F$	洪水期制限水位水深に対する計画堆砂位高さの比
$R_{CSWL}$	$d_c/H_{SWL}$	サーチャージ水位水深に対する放流管設置高さの比
$R_{CSP}$	$d_c/H_{SP}$	計画堆砂位高さに対する放流管設置高さの比
$R_{CSD}$	$d_c/H_{SD}$	堆積デルタ高さに対する放流管設置高さの比
$R_{SDSP}$	$H_{SD}/H_{SP}$	計画堆砂位高さに対する堆積デルタ高さの比
$R_{SD}$	$H_{SD}/H_F$	洪水期制限水位水深に対する堆積デルタ高さの比

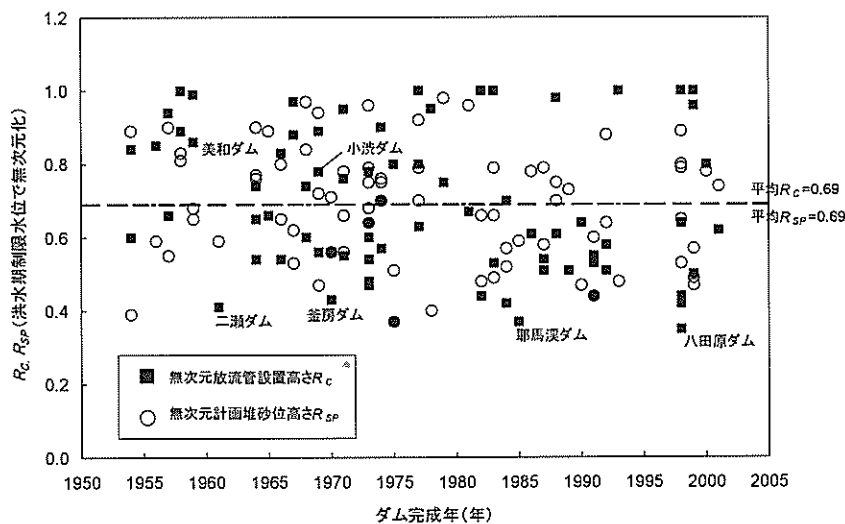


図-10  $R_C$  (無次元放流管高さ),  $R_{SP}$  (無次元計画堆砂位高さ) とダムの完成年

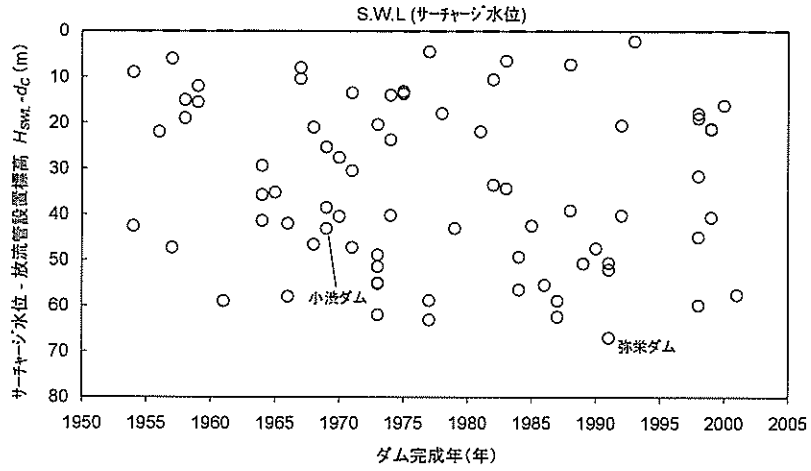


図-11  $H_{sw-dc}$  (サーチャージ水位から放流管設置標高までの高さ) とダムの完成年

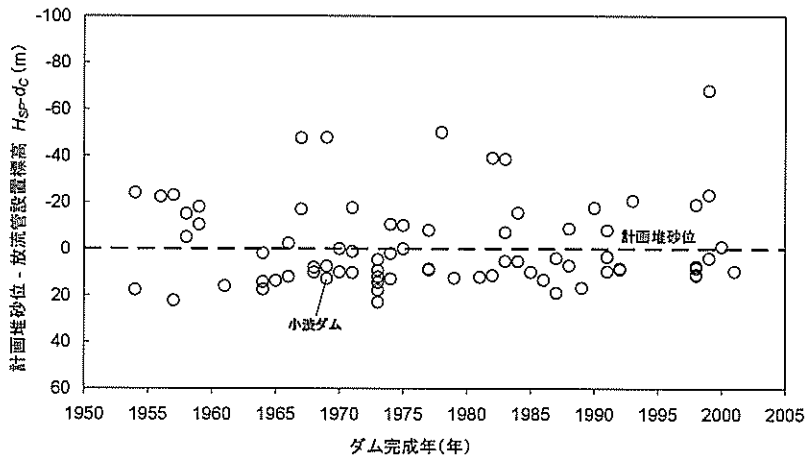


図-12  $H_{sp-dc}$  (計画堆砂位から放流管設置標高までの高さ) とダムの完成年

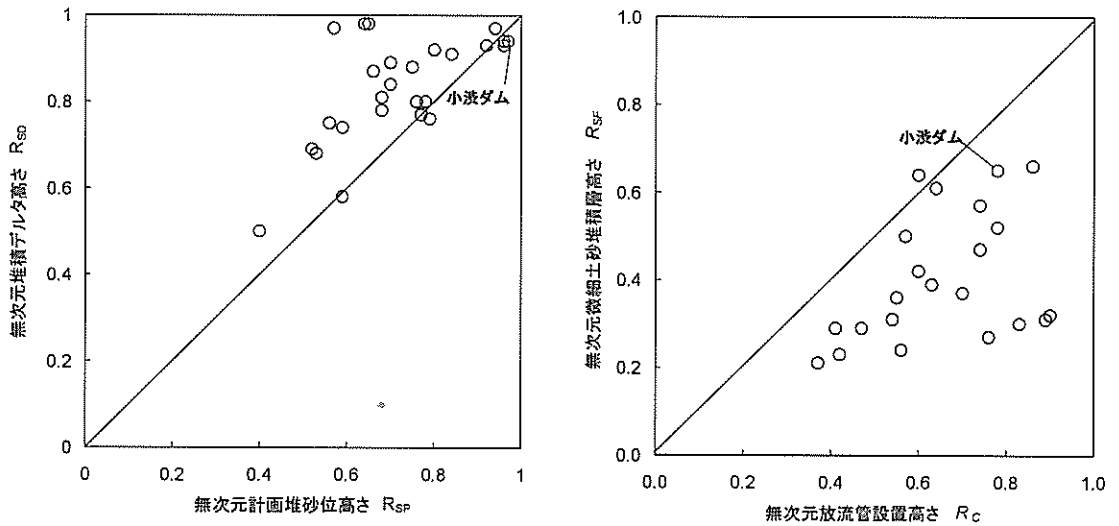


図-13  $R_{sp}$  (無次元計画堆砂位高さ)  $\sim$   $R_{sp}$  (無次元堆積デルタ高さ) および  $R_c$  (無次元放流管設置高さ)  $\sim$   $R_{sf}$  (無次元微細粒土砂堆積層高さ) の相関図



図-11, 12に, サーチャージ水位および計画堆砂位と放流管設置標高の関係を示すが, 放流管設置標高の下限値の目安としては, サーチャージ水位から60 m程度下, かつ計画堆砂位から20 m程度下であることがわかる。これら放流管設置標高の下限値は, 標高を低くすると, 放流管の埋没の危険性があることや, 高水圧が作用することなどにより, これまでの実績として, ゲート製作の技術レベルおよびゲート自身の性能レベルにより規定されてきたものと考えられる。

次に,  $R_{sp}$  (無次元計画堆砂位高さ) ~  $R_{sd}$  (無次元堆積デルタ高さ) および  $R_c$  (無次元放流管設置高さ) ~  $R_{sf}$  (無次元微細粒土砂堆積層高さ) の相関を整理したのが図-13である。これより, ほとんどのダムにおいて, 実際の堆積デルタが計画堆砂位よりも高い位置で形成されていることがわかる。また, 微細粒土砂堆積層は, 放流管設置高さよりもまだ低いレベルに留まっているが, 一部のダムではこれに近付いてきており, 近い将来には放流管からこれら微細粒土砂の流出が始まることが十分に想定される。

なお, これらの図にはダム堆砂がかなり進行した代表

的なダムとして小洪ダムの状況を示している。小洪ダムでは, 近年, 底部放流管から細粒土砂の流出によるものと考えられる放流管内面の磨耗現象が認められている。既に補修工事が終了しているが, 今後, 同様な事例が発生することが想定され, 補修のタイミングおよび合理的な補修方法の選択について検討を行うことが必要である。

#### 4. 流水型ダムとゲート設備

近年, 洪水調節専用の流水型ダムの検討事例が増加している。一般的にはゲートレス洪水吐きが採用されるが, 表-2および写真-1に示すように, オーストリアなどではゲートが設置されている事例も多く見られる<sup>12), 13)</sup>。

ここで, 半開状態で保持される場合の開閉装置は常設されている場合と, 可搬式のものが必要時に設置する場合の両者がある。

なお, オーストリア Styria 州のガイドラインによれば, 以下の理由により, 常用洪水吐きの断面を, 計画洪水時の放流能力より大きな放流能力を有する放流設備と

表-2 流水型ダムの常用洪水吐きに対するゲート設置の分類

ゲート設置の分類	事例
ゲートレス	益田川ダム他多数
ゲート付き (洪水時操作なし=固定開度)	オーストリア, 米国 (DRY DAM) など
ゲート付き (洪水時操作あり, 自動開閉装置付)	オーストリアなど
ゲート付き (洪水時操作あり, 動力開閉装置付)	尾羽川ダムなど

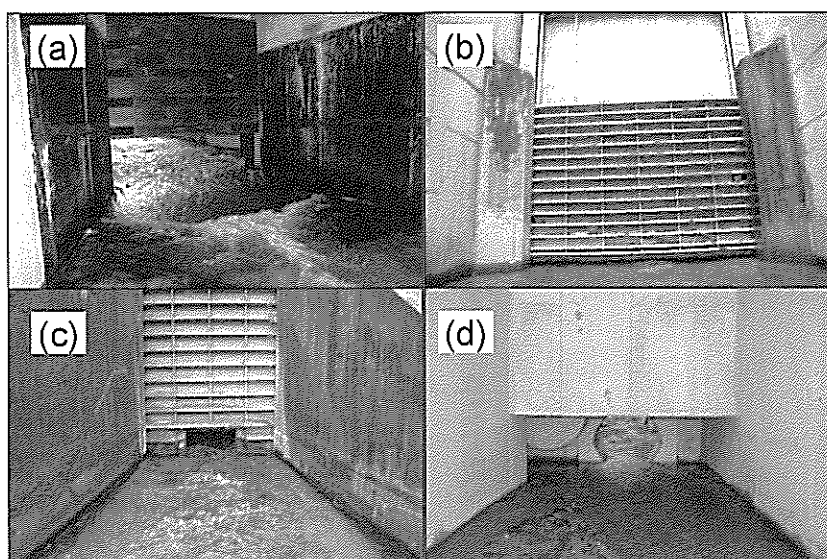


写真-1 オーストリアの流水型ダムにおける常用洪水吐きに設置されたゲート  
 (a) および (b) : 固定開度, (c) : 小ゲート, (d) : 自動開閉ゲート (フロート式)

して設計し、一方、洪水時の放流量を制限するためにゲートを設置することが推奨されている。

- ・建設中の仮排水路を兼用するため、建設中の洪水流量によって放流能力を決定
- ・放流設備のメンテナンスのため、人が入れるような大きさ以上とする

また、将来の気候変動に伴って洪水調節計画やダムの運用計画そのものが変更になった場合や、大規模洪水によって下流域の氾濫が顕著で、流水型ダム地点での放流量を一時的に減少させるなどの場合にもゲート設備が設置されている方が柔軟に対応可能と考えられる。

### 5. おわりに

本稿では、地球温暖化、貯水池土砂管理および流水型ダムの3つの観点から、今後のダムのゲート設備に求められる課題を検討した。

このうち流水型ダムについては、ともすればゲートレスダムと定義されてしまいがちであるが、その本意は常用洪水吐きが元河床標高に設置されて、土砂や生態系の連続性が維持される特徴を有したダムであり、ここで示したようにゲートを設置して洪水調節を行うことに何ら障害はない。むしろ、試験湛水や将来の洪水調節計画を含む貯水池運用計画に対する自由度、さらには、下流河川に対して放流量を制限する場合の開操作、流木閉塞や維持管理時の開操作など、ゲート付構造とすることのメリットも十分に評価すべきと考えられる。本格的なダムは益田川ダム以降であり、技術的にもこれからさらに進化させる余地は大いにあることから、放流設備のあり方についても今後の検討が重要である。

一方、地球温暖化および貯水池土砂管理は長期的かつ重い課題である。地球温暖化研究は、ようやくリスク評価の段階に入りつつあり、さらに、これを行政的にどのように計画論・設計論に組み込んでいくかが問われている。超過洪水対応は、地球温暖化がなくても、施設の安全性向上の観点から、世界的にアップグレードする流れにあり、日本も技術的に立ち遅れないように研究を進め

る必要がある。一方、貯水池土砂管理は、例えば、排砂ゲートや排砂バイパスなど、既に世界をリードする技術を獲得してきている。今後は、本稿で示した、一般の洪水吐きゲートに対する土砂流入・排出問題や、土砂管理に特化した水位差吸引土砂排出システム (HSRS) などの新技術開発など、貯水池土砂管理が宿命である日本のダムの特性を活かした、より一層の技術開発を期待したい。

### 参考文献

- 1) 角 哲也：堆砂対策に着目したダムのアセットマネジメント, 河川 No. 745, pp. 30-34, 2008.
- 2) 文部科学省研究開発局：21世紀気候変動予測革新プログラム、超高分像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究, 平成21年度研究成果報告書, pp. 86-89, pp. 140-143, pp. 150, 2010.
- 3) 白木久也, 井川陽二：横山ダム再開発事業の取組み, ダム技術 No. 278, pp. 38-43, 2009.
- 4) 山本佳久：鶴田ダム再開発事業, ダム技術 No. 278, pp. 56-59, 2009.
- 5) M. Barcouda et. al. : Cost effective increase in storage and safety of most dams using Fuse gates or P.K. weirs, ICOLD 22nd Congress, Barcelona, Q. 86-R. 3, 2006.
- 6) F. Lempèrière and A. Ouamane: The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways, The international journal on Hydropower and Dams, Vol. 10, Issue 5, 2003.
- 7) Patrick Reynolds: Piano Key Weir growth, International Journal of Water Power and Dam Construction, June, 2010.
- 8) Y. Sato, Y. Michihiro, Y. Suzuki, E. Nakakita and T. Kojiri: Hydrological Impacts of Climate Change: Recent Progresses and Problems, Proceedings of International Workshop on Impacts of Global Warming from Hydrological and Hydraulics Issues, pp. 7-12, 2010.
- 9) 新井 正：地球温暖化と陸水水温, 陸水学雑誌, 61, pp. 25-34, 2000.
- 10) Nakano, S., F. Kitano and K. Maekawa (1996) : Potential fragmentation and loss of thermal habitats for charrs in the Japanese archipelago due to climatic warming, Freshwater Biology, 36, pp. 711-722.
- 11) 高田康史：貯水池土砂管理手法とダム計画・管理への適用に関する研究, 京都大学博士学位論文, 2006.
- 12) 角 哲也：オーストリアにおける流水型ダム, ダム技術 No. 277, pp. 1-13, 2009.
- 13) 角 哲也, 船橋昇治, 白井明夫：オーストリアにおける流水型ダム (続報), ダム技術 No. 287, pp. 16-28, 2010.