

**Improvement of river environment in the downstream  
reaches of dams**

**댐하류의 하천환경 개선**

**Takashi Ozawa**

**(River Restoration Team, Water Environment Research Group, Public  
Works Research Institute, Japan)**

**尾澤 卓思**

**(일본 독립행정법인 토목연구소 수환경연구그룹 하천생태계 상석연구원)**

## ダム下流の河川環境の改善

尾澤 卓思

(独立行政法人 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態系 上席研究員, 日本)

### Abstract

I introduce the Flexible Dam Operation (FDO) and some of sediment control techniques in dams which are implemented as trials to avoid or reduce environmental impact of dams on the downstream reaches.

The FDO is a dam management method to improve river environment in the downstream reaches by means of the flushing flow, the maintenance flow and so on utilizing a vacant portion of capacity for flood control without interrupting prime flood control function during the rainy/typhoon season. It is suggested by the guideline of the FDO that FDO should be implemented regularly after the trial for about three years. The basic conception of the FDO is described here.

The example of excavation of deposited sediments in check dams and placement of sand and gravel immediately downstream of the dams and the example of coordinated sediment flushing are described as some of sediment control techniques in dams.

Now they are at the stage of experiment and trial. Therefore, it is important to increase examples and establish the technical methodology and the environmental evaluation method for them.

#### 1 ダムによる環境への影響と保全対策

ダム事業は、ダム堤体、貯水池、原石山、付け替え道路など環境に大きな影響を及ぼす可能性のある要因（影響要因）を有している。ダム事業による環境への影響は、河川や森林などが直接改変されるだけでなく、ダムや貯水池などの存在やその運用によって下流河川の水質や流況、土砂供給などの環境を変えることがある。そこでダム事業による影響要因をまとめ、想定される影響と主な保全対策を表1に示す。

Table 3. The flexible dam operation trial in 13 dams

Dam Name	Planned Usable Capacity qp(x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Type of discharge.(flow rate m <sup>3</sup> /s). [duration, days]	Purposes	
			Improving fish habitat	Recovery of clear stream
KAMAHUSA D.	250	No deed of the FDO	Improving fish habitat	Recovery of clear stream
SAGAE D.	170	Flushing flow(10, 20, 30), [17times]	Flushing stagnant water	Flushing stagnant organisms or mud
TASE D.	300	Maintenance flow(1.0), [c.25]	Examining fish habitat and flow	Improving dry reach
MIHARU D.	113	Flushing flow(20), [2hr, 12times]	Cancellation of stagnation	Flushing stagnant water
SONOHARA D.	180	Maintenance flow(0.3), [c.83]	Improving dry reach	
KAWAMATA D.	100	Maintenance flow(0.1), [c.83]	Improving of vicinity	Recovery of clear stream
SAGURIGAWA D.	30	Maintenance flow(0.5), [c.12]	Improvement odor problem	Removing smell(smell from algae)
MANAGAWA D.	146(7/1-7/31) 110(8/1-9/30)	N/A(water shortage)	Enhancing algae renewal	Improvement of vicinity
IWAONAI D.	360	Flushing flow(10m <sup>3</sup> /s, 2hour), [1]	Clearing stagnant water	Flushing stagnant organisms or mud
KANAYAMA D.	110	Daylong maintenance flow(0.3), [c.92]	Restoration of water quality	Water supply to wetland
TAISETU D.	90	Flushing flow(4.0), [4.5hr, 9times]	Habitat improvement for benthic organisms	Restoration of water quality
IZARIGAWA D.	90	Maintenance flow(0.3), [c.53]	Improvement of vicinity	
PIRIKA D.	85	Increase of maintenance flow(2.0), [c.8]	Enhancing fish migration up and down streams	Restoration of water quality

環境保全措置は、環境影響評価において予測結果で影響がない、もしくはその程度が極めて小さいと判断される場合以外に検討することになっており、事業者は実行可能な範囲内で環境影響を回避、低減させる。また、検討結果を踏まえ、必要に応じ、損なわれる環境の有する価値を代償させる措置を検討する。ダム管理の段階（試験湛水以降のモニタリングを含む）においても、1996年から「ダム等管理フォローアップ制度」により様々な調査（表2）を行い、環境への影響を把握して適切な管理を行っている。

本稿では、ダムにおける環境保全措置の中で、ダム下流の河川環境への影響を回避、低減させる保全措置として実験的に取り組んでいるダムの弾力的管理と土砂の排砂対策の例を紹介する。

## 2 ダムの弾力的管理

ダム下流の河川では、流量の減少、流況の安定化、土砂移動の低下などによる環境への影響が問題となっている。よどみの発生による臭気や景観阻害、付着藻類の剥離、更新の頻度減少、河床のアーマー化など水質、生物、景観などに影響を及ぼしている。このため、下流河川の環境を改善するため、ダムの弾力的管理により、フラッシュ放流や維持流量の放流を行った。2000年から実験的に取り組んでおり、放流方法や環境の改善効果について検証を行っているところである。

### 2. 1 ダムの弾力的管理の方法

ダムの弾力的管理とは、洪水調節に支障を及ぼさない範囲で、降水量の多い梅雨や台風シーズンに空容量となっているダムの洪水調節容量の一部に流水を貯留し、下流河川の環境改善のために有効活用することである。制限水位方式の既存ダムにおいて洪水調節容量の一部を活用するため、治水上の安全性については十分に注意する必要があるが、効率よく水を生み出すことができる。

ダムの弾力的管理では、制限水位方式のダムにおいて洪水期の平常時に空容量となっている洪水調節容量の一部に、流水を貯留する「活用容量」を確保する。これをダムの貯水位の変化で示すと図1のようになる。洪水期の制限水位より上に活用水位を定め、これを超えないように一時的に貯留する。活用容量は、できるだけ確保したいが、洪水の発生が予想される場合に事前放流により洪水量（洪水調節開始流量）に達する前に制限水位に必ず下げておく必要があるため、あまり大きく確保すると事前放流の頻度や放流時間が増加し、管理できなくなる。事前放流では、見逃し、空振りを極力なくすために降雨予測情報や气象台からの台風・注意報等の情報に基づいて開始基準を設定する。

Table 2. Follow-up survey

Survey item	Details
Water quality survey	<p>Surveys are conducted for the following four categories of item at an appropriate frequency in reservoirs, feeder rivers to reservoirs and downstream rivers.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Items related to the environmental standards for water turbidity specified in Article 16 Paragraph 1 of the Basic Environmental Law (environmental standards concerning the protection of human health and conservation of living environments)</li> <li>2) Items related to eutrophication</li> <li>3) Items related to the cooling of riverwater downstream of the reservoir and prolongation of water turbidity</li> <li>4) Other items to be surveyed in the reservoir</li> </ol>
Ecological survey	<p>The results of the National Census on River Environments conducted annually since 1991 are organized. Ecological surveys are conducted for seven items including fish surveys. The National Census on River Environments is an ecological survey which mainly surveys the species around the reservoir.</p>
Sedimentation survey	<p>Sedimentation is surveyed in dam reservoirs and feeder rivers to guarantee the availability of reservoir capacities for flood control and water use, and to check the discharge capacity of the river. The survey enables the preparation of longitudinal sounding maps for the reservoir and transverse sounding maps for feeder rivers. These maps can be used to identify changes in sedimentation with time, annual sediment quantities and changes to the beds of feeder rivers.</p>
Dynamic surveys in reservoir areas	<p>Dynamic surveys in the reservoir areas include surveys of reservoir use and census in the reservoir areas. In the reservoir use surveys, the numbers of users on land and on the reservoir surface have been surveyed every three years since 1991. The reservoir area censuses have been conducted (data have been collected on the social, economic and living environments) every five years to investigate demographics in the municipalities in reservoir areas.</p>
Records of flood control, supplementary water supply and reservoir operation	<p>Records are collected on flood control, support in water use, climate and reservoir operation. Surveys of flood control records also include surveys of hourly flow data in the reservoir and at downstream reference points to control floodwater effectively. In surveys of records on support in water use, chronological tables of water use and lists of electric power generated are prepared. Chronological tables of precipitation and changes in reservoir level are created as a result of surveys of records on climate and reservoir operation.</p>
Other survey	<p>There has been a growing concern about the natural environment around the dam site. Requirements have been increasing for surveys of items not covered by the present. National Census on River Environments such as nesting of raptors or life of precious species. In future, items that have not been subjected to follow-up surveys will be addressed as required</p>

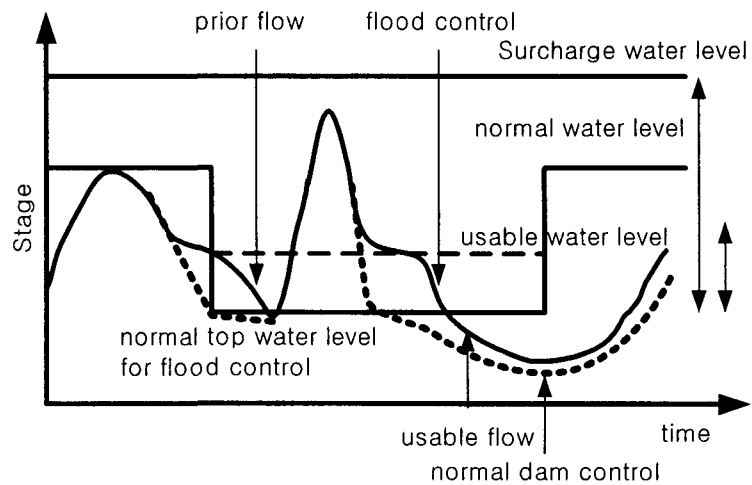


Figure. 1. Change in storage water level due to the Flexible Dam Operation.

また、利水者と協議をして、活用容量として貯留した水をダム管理者が使用しなかった分は、水位が低下してもダム管理者の持ち分として利用できる「貯金方式」を用いている。

ダムの弾力的管理を実施するにあたっては、以下の点に留意する必要がある。

- a)活用容量は、計画上確保されている洪水調節容量の一部を利用するという制約から、規模が小さく、新たに生み出される水量には限りがある。
- b)洪水の発生が予想される場合には、活用容量内に貯留された流水を事前に放流しなければならないため、活用時期が不定期となる。
- c)活用容量内への貯留は、貯水位が制限水位を上回る時期に限定されるため、安定的な利用は困難となる。

## 2. 2 ダムの弾力的管理の実施状況

### (1) 2000年度の全国の実施例

全国 15 ダム（うち国土交通省直轄ダムは 13 ダム）で計画され、流況条件の整った 11 ダムで実施された。図 2、表 3

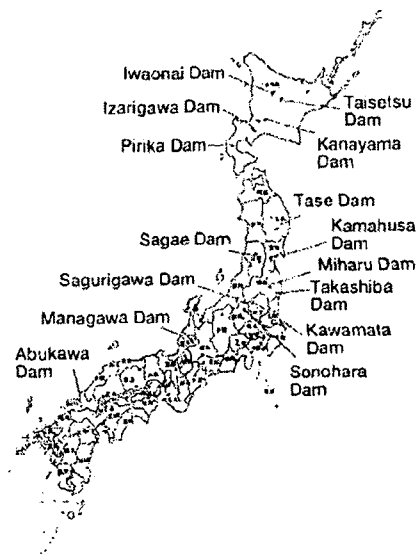


Figure 2. Locations of Dams

(2) 寒河江ダムの例

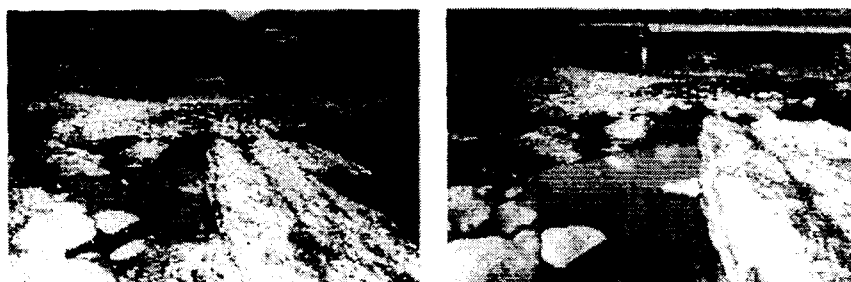
・目的

よどみに発生する臭気、景観阻害の原因となる浮遊緑藻類の掃流

・実施結果

延べ 200.4 万 $m^3$ を貯留し、6月16日～10月10日の活用期間に、122.7 万 $m^3$ を活用した。維持流量 0.5 $m^3/s$  に対してフラッシュ放流（10、20、30 $m^3/s$ ）を延べ 17 回実施した。30 $m^3/s$  はダム直下において概ね年 10 回以下の流量規模に相当する。

よどみ内の浮遊緑藻類が掃流され、消失した。写真



Picture 1. Transport suspended green algae in 1999

(Left : Before water release, Right : After release at 10 $m^3/sec$ .)

Table 3. The flexible dam operation trial in 13 dams

Dam Name	Planned Usable Capacity qp(x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Type of discharge.(flow rate m <sup>3</sup> /s). [duration, days]	Purposes	
			Improving fish habitat	Recovery of clear stream
KAMAHUSA D.	250	No deed of the FDO	Improving fish habitat	Recovery of clear stream
SAGAE D.	170	Flushing flow(10, 20, 30), [17times]	Flushing stagnant water	Flushing stagnant organisms or mud
TASE D.	300	Maintenance flow(1.0), [c.25]	Examining fish habitat and flow	Improving dry reach
MIHARU D.	113	Flushing flow(20), [2hr, 12times]	Cancellation of stagnation	Flushing stagnant water
SONOHARA D.	180	Maintenance flow(0.3), [c.83]	Improving dry reach	
KAWAMATA D.	100	Maintenance flow(0.1), [c.83]	Improving of vicinity	Recovery of clear stream
SAGURIGAWA D.	30	Maintenance flow(0.5), [c.12]	Improvement odor problem	Removing smell(smell from algae)
MANAGAWA D.	146(7/1-7/31) 110(8/1-9/30)	N/A(water shortage)	Enhancing algae renewal	Improvement of vicinity
IWAONAI D.	360	Flushing flow(10m <sup>3</sup> /s, 2hour), [1]	Clearing stagnant water	Flushing stagnant organisms or mud
KANAYAMA D.	110	Daylong maintenance flow(0.3), [c.92]	Restoration of water quality	Water supply to wetland
TAISETU D.	90	Flushing flow(4.0), [4.5hr, 9times]	Habitat improvement for benthic organisms	Restoration of water quality
IZARIGAWA D.	90	Maintenance flow(0.3), [c.53]	Improvement of vicinity	
PIRIKA D.	85	Increase of maintenance flow(2.0), [c.8]	Enhancing fish migration up and down streams	Restoration of water quality



## 2. 3 活用計画の検討

ダムの弾力的管理は治水安全上問題のない範囲で容量を確保するという制約があり、活用容量や活用時期が限られていることを十分念頭に置いて、活用目的、放流方法、調査計画などを立案すべきである。また事前検討を十分に行い、適切な調査計画のもと、具体的な効果を把握する必要がある。

ダムの弾力的管理の効果を的確に把握し評価するためには、河床構成材料における限界掃流力の水理計算や景観の指標化による客観的評価など事前検討を十分に行い、効果についての仮説を立てて検証していくことが重要であり、以下のような点に留意して活用計画を立てる。図 3

### a)現状の課題・問題点の抽出

ダムが直面している課題、問題点について地元からの要望、管理上の必要性、現地調査等により現況を把握し、改善すべき課題・問題点を抽出する。

### b)活用目的の設定

抽出された課題・問題点に対して、治水安全上問題のない範囲で確保された活用容量で改善可能な内容を目的として設定する。

### c)放流方法の設定

設定された活用目的を達成するため、水理計算や既存資料・データによる事前検討を十分に行い、問題解決のための必要条件を明確にする。次に活用容量とこの必要条件から最適な放流方法を設定する。これを仮説として検証していくことにする。実験的に放流パターン（流量・回数等）を変更して検証していく方法も効果的である。

また、効果的な放流方法の設定が見込めない場合は、目的の設定までフィードバックすることも必要である。

### d)調査計画の策定

設定された仮説の検証を目的として、対象生物の生活史（産卵時期、遡上時期など）や季節変動を考慮して、効果の検証に適した調査地点・時期・回数・方法を設定し、実施する。特に定量的な評価が可能な調査努力量、サンプル数、データの取り方を考慮することが重要である。

### e)活用効果の評価

調査結果を受け、活用放流の活用によって目的が達成されたか検証評価する。適当でない場合は活用方法などの見直しを行う。

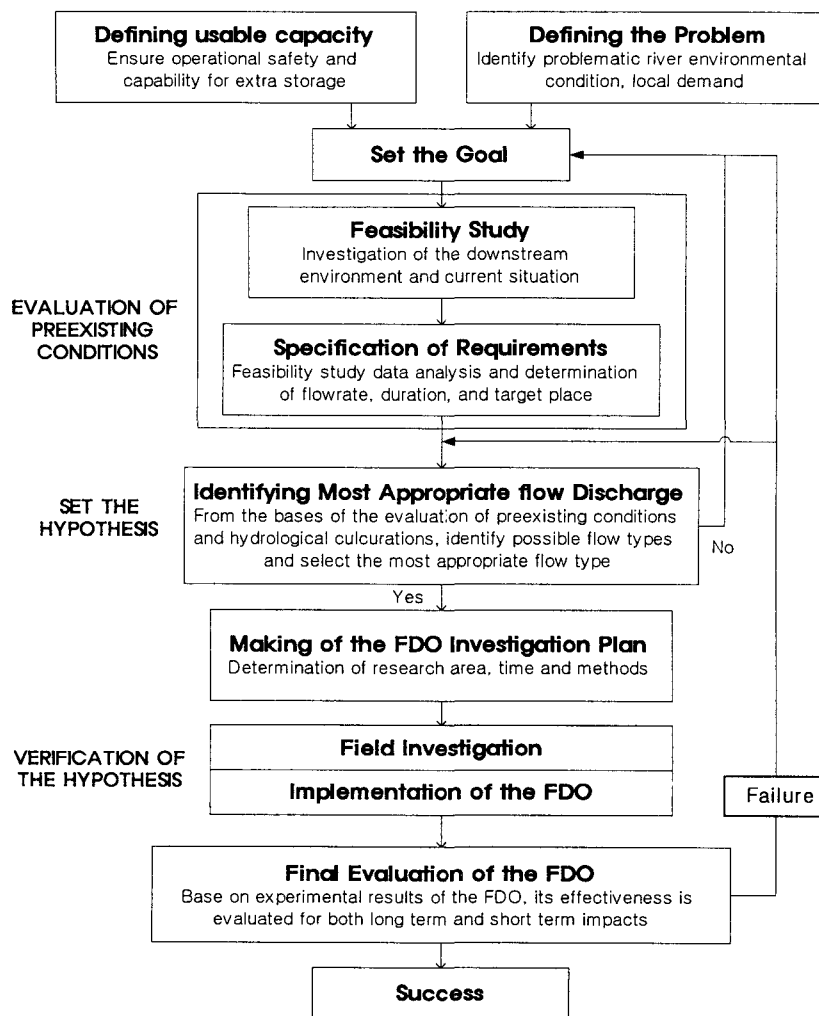


Figure 3. Decision making flow chart for effective use of the FDO

#### 2. 4 ダムの弾力的管理指針（案）

ダムの弾力的管理指針（案）を作成し、基本的な考え方や手続きを定めた。概ね3年程度の弾力的管理試験を行った上で評価し、洪水調節の安全性の確保、弾力的管理の有効性等が検証された段階で、引き続き継続する場合は、操作規則に弾力的管理を位置付けることにしている。

#### 3 ダムからの土砂の排砂対策

流出土砂量などの地域特性や貯水池規模やダムの放流形式などの事業特性を考え、適切な土砂管理を行うことにより、ダムの機能を確保するだけでなく、下流の河川環境への影響を軽減する

ことが重要である。貯水池における土砂の管理は、貯水池への流入土砂の軽減及び下流への排出、貯水池内に堆積している土砂の排除が考えられる。ここでは、貯砂ダムの堆積土砂の掘削とダム直下への土砂の還元の例とダムの連携排砂の例を紹介する。

### 3. 1 貯砂ダムの堆積土砂の掘削とダム直下への土砂の還元（長島ダム）

長島ダムでは、貯水容量の低下抑制のためにダム上流部に貯砂ダムを設けて、河川から運ばれてくる土砂（砂利や粒径の大きな砂）を沈降させ、沈降した土砂を定期的に排除することにより、貯砂ダム下流での堆砂量を削減する対策が考えられている。

ダム建設後には、上流から運ばれてきた土砂がダムで堰き止められるため、ダム下流部への土砂供給量が減少し、下流の河道が低下するなどの影響が懸念される。このため、長島ダムにおいては、貯砂ダム上流で掘削した土砂の一部を長島ダムの下流河川に還元することで、河川環境への影響を緩和する対策を考えている。図4

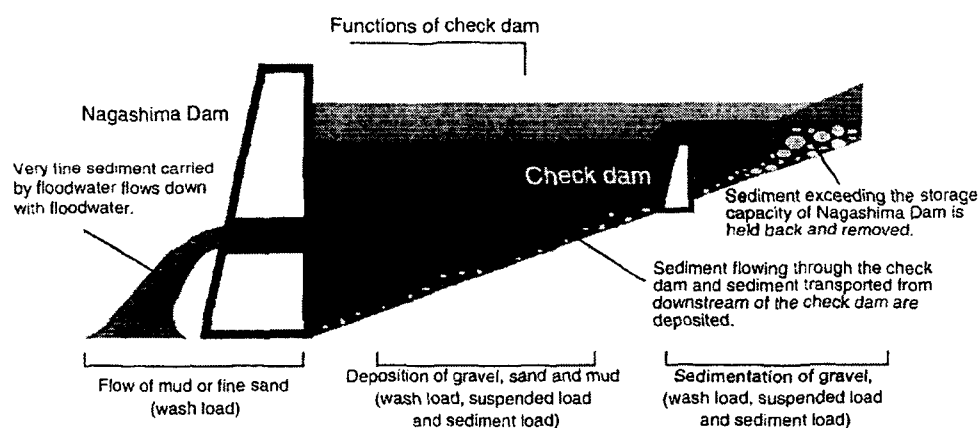


Figure 4. Function of coffer(check) dam.

掘削した土砂は、下流河川に仮置きして、流量の増加により河岸が浸食されるメカニズムを利用し、洪水により流下させることで河川に還元される。還元される土砂は、通常の流量で流下するのではなく、洪水により川の水が濁り始めてから流下するように仮置きされる。図5

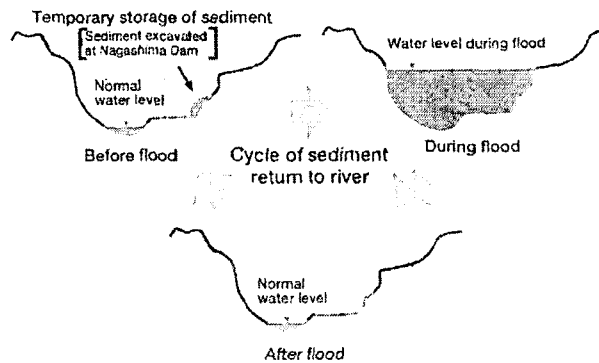


Figure 5. Supply of sediment to downstream river of Nagashima dam

河川への土砂の設置は一度に大量には実施せず、流れても安全が確認できる量だけを、一年に数回設置することが考えられている。

2000年と2001年に試験的に  $25,000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $20,000\text{m}^3/\text{s}$  の土砂を設置し、流送状況などの検証を行った。

### 3. 2 ダムの連携排砂（出し平ダム、宇奈月ダム）

出し平ダム・宇奈月ダムが建設された黒部川は、流域の山々の浸食作用が著しく、豪雨時には崩壊した多量の土砂が河川に流れ込む。このため、両ダムには、ダムの機能の維持、下流河川の浸食抑制等の目的で、排砂を行うためのゲートが設けられており、掃流力を利用して貯水池に溜まった土砂を堤体下流に排出させる対策が行われる。

出し平ダムでは、1985年のダム完成以降、1999年までに計8回の排砂が行われている。湛水後6年が経過した1991年に実施された初回の排砂では、湖底に堆積した有機物の変成物が土砂とともに流出し、環境面に影響が及んだ。しかし、その後の豪雨時の緊急排砂等を通じて、自然の出水状態とほとんど変わらない出洪水時排砂という方法がほぼ確立された。図6

黒部川で発生する土砂の90%以上は5～8月の出水時に集中して流入している。出洪水時排砂では、出水時に流入する土砂をダムに貯めることなく下流に流すことで、従来の方法（貯水池内に堆積させた土砂を排出する）に比べて環境への負荷の軽減が図られている。

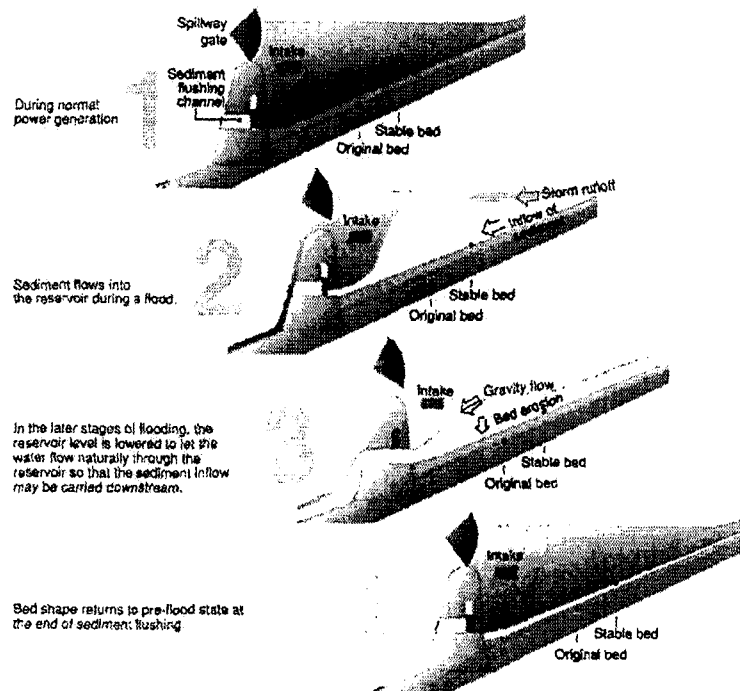


Figure 6. Discharged sediment during flood

また、治水や利水を行いながら川から海に至るまでの環境を保全していくためには、黒部川全体での総合的な土砂管理が必要である。このため、出し平ダムと宇奈月ダムでは連携排砂が行われ、出し平ダムで排砂された土砂は、そのまま宇奈月ダム下流へと通過させることにしている。

図 7

2001年6月に初めての連携排砂、連携通砂を行った。

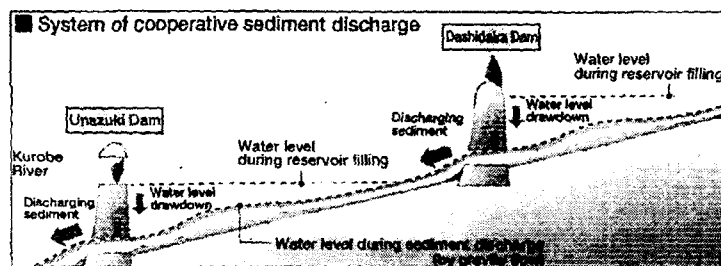


Figure 7. Linked discharge of sediment at Dashidaira Dam.

#### 4 まとめ

ダムは、流水を貯留する施設であり、環境に大きな影響を与える可能性がある。特に下流の河川では、流況や水質が変化したり、土砂や物質の移動が減少したりする。このため、できるだけ影響の回避・低減が考えられ、本稿で紹介したもの以外にも色々と保全措置が検討されている。しかしながら、現在ではまだ実験や試行の段階であり、今後これらの実証的な方法により、効果が明らかにされていくことになる。このため、実施例を積み重ねて技術的な方法論や環境の評価方法を確立していくことが重要な課題となっている。

#### 引用・参考文献

- 1) (財)ダム水源地環境整備センター、ダムの環境、(2001)
- 2) T.OZAWA,T.OSUGI,J.HARADA, ENVIRONMETAL RESTORATION OF DOWNSTREAM RIVERS WITH DAM DISCHARGE,ICOLD-69<sup>TH</sup> ANNUAL MEETING DRESDEN, (2001)
- 3) 島田昭一、松田正實、寒河江ダムの弾力的管理の試行実績(フラッシュ放流による河川環境改善の試み)、ダム技術、No.153、pp.35-47 (1999)

(번역문)

## 댐하류의 하천환경 개선

오자와 다카시  
(일본 토목연구소)

### 1 댐에 의한 환경 영향과 보전대책

댐 사업은 댐제체(堤體), 저수지, 원석산(原石山), 도로 등 환경에 커다란 영향을 미칠 가능성이 있는 요인(영향요인)을 지니고 있다. 댐 사업에 의한 환경에의 영향은 하천과 산림 등이 직접 변화될 뿐만 아니라, 댐과 저수지 등 존재와 운용에 따라서 하류 하천의 수질과 흐름의 상황, 토사공급 등 환경을 변화시킬 수 있다. 본 고에서는 댐 사업에 의한 영향요인을 정리하고, 상정되는 영향과 주요한 보전대책을 표 1에 제시하였다.

환경보전조치는, 환경영향평가의 예측결과에서 영향이 없거나, 그 정도가 매우 적다고 판단될 경우 이외에 검토하게 되며, 사업자는 실행가능한 범위내에서 환경영향을 회피, 저감시킨다. 또한, 검토결과에 따라 필요에 부응하여 훼손될 환경이 지닌 가치를 대상(代償)할 조치를 검토한다. 댐 관리단계(시험심수(試驗湛水)이후의 모니터링 포함)에 있어서도 1996년부터 「댐 등 관리 Follow-Up 제도」에 따라 다양한 조사(표 2)를 시행하고, 환경에의 영향을 파악하여 적절한 관리를 시행하고 있다.

본고에서는 댐에서의 환경보전조치 중, 댐 하류의 하천환경영향을 회피, 저감시키는 보전조치로서 실험적으로 행해지고있는 댐의 탄력적 관리와 토사의 배사(排砂)대책 사례를 소개한다.

### 2. 댐의 탄력적 관리

댐 하류의 하천에서는 유량(流量)의 감소, 흐름(流況)의 안정화, 토사이동의 저하 등에 의한 환경영향이 문제가 되고 있다. 웅덩이 발생에 의한 악취와 경관저해, 부착조류(藻類)의 박리(剥離), 갭신 빈도감소, 하상(河床)의 아마화 등 수질, 생물, 경관 등에 영향을 미치고 있다. 이에 따라 하류하천 환경을 개선하기 위한 댐의 탄력적 관리에 의해 플래시방류와 유지유량 방류를 시행하였다. 2000년부터 실험적으로 실시하여 방류방법

과 환경개선효과에 대하여 검증하고 있다.

## 2.1 댐의 탄력적 관리 방법

댐의 탄력적관리란 홍수조절에 지장을 주지않는 범위로 강수량이 많은 장마기와 태풍시기에 공용량(空容量)이 되는 댐의 홍수조절용량의 일부로 유수를 저유(貯留)하고, 하류하천의 환경개선을 위하여 유효하게 활용하는 것이다. 제한수위방식의 기존댐에 있어서 홍수조절용량의 일부를 활용하기 위하여 치수상(治水)의 안전성에 대해서는 상당한 주의가 필요하지만, 효율적으로 물을 내보낼 수 있다.

댐의 탄력적관리에서는 제한수위방식의 댐의 경우, 홍수기의 평상시에 공용량인 상태에 있는 홍수조절용량의 일부로 유수를 저유하는 「활용용량(活用容量)」을 확보한다. 이것을 댐 저수위 변화로 나타낸 것이 그림 1 이다. 홍수기의 제한수위보다 높게 활용수위를 정하고, 이것을 초과하지 않도록 일시적으로 저유한다. 활용용량은 가능한한 확보하고 싶지만, 홍수 발생이 예상되는 경우에 사전방류로 홍수량(홍수조절개시유량)에 도달하기 전에 제한수위로 반드시 낮추어 둘 필요가 있기 때문에 너무 크게 확보하면 사전방류 빈도와 방류시간이 증가하여 관리할 수 없게 된다. 사전방류에서는 그냥 지나치는 것이나 헛 수고를 줄이기 위하여 강우예측정보와 기상대로부터 태풍 주의보 등의 정보에 근거하여 개시(開始)기준을 설정한다.

또한, 이수자(利水者)와 협의하여 활용용량으로서 저유한 물을 댐 관리자가 사용하지 않은 분량만큼은 수위가 저하해도 댐 관리자의 지분으로 이용할 수 있는 「저금방식(貯金方式)」을 이용하고 있다.

댐의 탄력적관리를 실시하기 위해서는 다음과 같은 점에 유의할 필요가 있다.

- a) 활용용량은 계획상 확보되어 있는 홍수조절용량의 일부를 이용한다고하는 제약에서 규모가 적고, 새로이 발생하는 수량에는 한계가 있다.
- b) 홍수 발생이 예상되는 경우에는 활용용량내에 저유된 유수를 사전에 방류해야 하기 때문에 활용시간이 부정기적이다.
- c) 활용용량내의 저유는, 저수위가 제한수위를 상회하는 시기로 한정되기 때문에 안정적인 이용은 곤란하다.



(번역문)

## 2. 2 댐의 탄력적관리 실시상황

### (1) 2000년도 전국 실시 예

전국 15개댐 (국토교통성 직할 댐은 13개댐) 이 계획되고, 流況조건을 정리한 11개 댐에서 탄력적 관리를 하고 있다(그림 2), (표 3)

### (2) 한하강(寒河江)댐의 예

#### ▪ 목적

웅덩이에서 발생하는 냄새, 경관저해의 원인이 되는 부유녹조류의 소류(掃流)

#### ▪ 실시결과

연 200.4 만 $m^3$  를 저유하고, 6월 16일~10월 10일 활용기간에 122.7 만 $m^3$ 를 활용하였다. 유지유량 0.5 $m^3/s$ 에 대하여 플라시방류 (10, 20, 30 $m^3/s$ ) 를 연 17회 실시하였다. 30 $m^3/s$ 는 댐 직하에 있어서 대략 연 10회 이하 유량규모에 상당한다. 웅덩이 내의 부유녹조류가 소류되고, 소실되었다(사진 1)

## 2. 3 활용계획의 검토

댐의 탄력적관리는 치수안정상 문제가 없는 범위에서 용량을 확보한다고하는 제약이 있고, 활용용량과 활용시기가 한정되는 것을 충분히 염두에 두고, 활용목적, 방류방법, 조사계획 등을 입안해야 한다. 또 사전검토를 충분히 하고, 적절한 조사계획하에 구체적인 효과를 파악할 필요가 있다.

댐의 탄력적관리 효과를 정확히 파악하여 평가하기 위해서는 하상구성(河床構成)재료의 한계소유력에 대한 수리계산과 경관지표화에 의한 객관적평가 등 사전검토를 충분히 하고, 효과에 대하여 가설을 설정하여 검증해 가는 것이 중요하다. 다음은 활용계획에서 유의할 점을 정리하였다(그림 3).

### a)현상 과제·문제점 추출

댐이 직면하고 있는 과제, 문제점에 대한 지역의 요망, 관리상 필요성, 현지조사 등에 따라 현황을 파악하고, 개선할 과제·문제점을 추출한다.

### b)활용목적의 설정

추출된 과제·문제점에 대하여, 치수안정상 문제가 없는 범위에서 확보되는 허용용량으로 개선가능한 내용을 목적으로 설정한다.

c) 방류방법의 설정

설정된 활용목적 달성을 위하여 수리계산과 기존자료·데이터에 의한 사전검토를 충분히 실시하고, 문제해결을 위하여 필요조건을 명확히 한다. 다음 활용용량과 이것의 필요조건에서 최적 방류방법을 설정한다. 이것을 가설로 하여 검증하도록 한다. 실험적으로 방류 패턴(유량·횟수 등)을 변경하여 검토해가는 방법도 효과적이다.

또한, 효과적인 방류방법 설정을 예상할 수 없는 경우는 목적의 설정까지 피드백하는 것도 필요하다.

d) 조사계획의 책정

설정된 가설의 검증을 목적으로 대상생물의 생활사(산란시기, 소상시기(遡上時期) 등)와 계절변동을 고려하여 효과 검증에 적합한 조사지점·시기·횟수·방법을 설정하고 실시한다. 특히 정량적인 평가가 가능한 조사노력량, 샘플 수, 데이터 취득방법을 고려하는 것이 중요하다.

e) 활용효과의 평가

조사결과를 받아 활용방류의 활용에 따라서 목적이 달성되었는지 검증평가한다. 적당하지 않은 경우는 활용방법 등을 수정한다.

## 2. 4 댐의 탄력적관리지침(안)

댐의 탄력적관리지침(안)을 작성하고, 기본적인 방식과 절차를 결정하였다. 대략 3년 정도 탄력적관리시험(彈力的管理試驗)을 시행한 뒤 평가하고, 홍수조절 안정성의 확보, 탄력적관리 유효성 등이 검증된 단계에서 계속적으로 탄력적관리를 할 경우는 조작규칙(操作規則)에 의해 탄력적관리를 하는 것으로 정하고 있다.

## 3. 댐으로 부터의 토사배사(土砂排砂)대책

유출토사량 등의 지역특성과 저수지규모, 댐 방류형식 등의 사업특성을 고려하여 적절한 토사관리를 실시하여 댐 기능을 확보할 뿐만 아니라, 하류의 하천환경에 영향을 경감하는 것이 중요하다. 저수지에 있어서 토사의 관리는 저수지로의 유입(流入)토사의 경감 및 하류로의 배출, 저수지내에 퇴적되는 토사의 배제(排除)가 고려된다. 여기서는 저사(貯砂)댐의 퇴적토사굴삭과 댐직하에의 토사환원의 사례와 댐의 연계배사사례를 소개한다.

(번역문)

### 3.1 저사(貯砂)댐 퇴적토사의 굴삭과 댐직하 토사의 환원 (長島댐)

長島댐에서는 저수용량 저하억제를 위하여 댐 상류부에 저사댐을 설정하여 하천에서 흘러 내려 오는 토사(자갈과 입경이 큰 모래)를 침강시켜, 침강한 토사를 정기적으로 배제하여 저사댐 하류에서의 퇴사량을 삭감하는 대책이 고려되고 있다.

댐 건설후에는 상류에서 흘러내려온 토사가 댐의 보에서 멈추기 때문에 댐 하류부의 토사공급량이 감소되고, 하류의 하도(河道)가 저하하는 등의 영향이 염려된다. 이 때문에, 長島댐에서는 저사댐 상류에서 굴삭한 토사의 일부를 나가시마 하류 하천에 환원하는 것으로 하천환경의 영향을 완화하는 대책을 고려하고 있다(그림 4).

굴삭한 토사는, 하류하천에 가치(仮置)하여 유량증가에 의해 하안이 침식되는 메커니즘을 이용하고, 홍수에 의하여 흘러 내려가게 함으로써 하천에 환원된다. 환원되는 토사는 통상의 유량으로 유하하는 것이 아니라, 홍수에 의하여 하천의 물이 혼탁해지기 시작하면 유하(流下)하도록 가치(仮置)한다(그림 5).

하천에 토사의 설치는 한번에 대량으로 실시하지 않고, 흘러내려도 안전을 확인할 수 있는 양만을 일년에 수차례 설치하는 것이 고려되고 있다.

2000 과 2001년에는 시험적으로 25,000m<sup>3</sup>/s, 20,000m<sup>3</sup>/s의 토사를 설치하고, 유송상황(流送狀況) 등의 검증을 실시하였다.

### 3.2 댐의 연계배사(連携排砂) (出し平댐, 宇奈月댐)

出し平댐, 宇奈月댐이 건설된 黒部川는, 유역(流域) 산의 침식작용이 현저하고, 호우시에는 붕괴한 다량의 토사가 하천으로 유입된다. 이 때문에 이 댐들은, 댐 기능의 유지, 하류하천의 침식억제 등을 목적으로 배사(排砂)를 실시하기 위해 게이트가 설치되고, 소유력(掃流力)을 이용하여 저수지에 쌓여있는 토사를 제체(堤体)하류로 배출시키는 대책을 실시한다.

出し平댐에서는, 1985년 댐 완성이후, 1999년까지 모두 8번의 배사(排砂)가 시행되었다. 침수후 6년이 경과한 1991년에 실시된 최초의 배사(排砂)에서는 호저(湖底)에 퇴적한 유기물의 변성물이 토사와 함께 유출되어 환경면에 영향을 미쳤다. 그러나 그 뒤 호우시 긴급배사 등을 통하여 자연의 출수상태와 거의 변함없는 출홍수시배사(出洪水時排砂)라는 방법이 확립되었다(그림 6).

黒部川에서 발생하는 토사의 90%이상은 5~8월의 출수시에 집중하여 유입되고 있다. 출홍수시배사(出洪水時排砂)에서는 출수시에 유입되는 토사를 댐에 저장하는 것이

아니라 하류로 흘러보냄으로서 종래의 방법(저수지내에 퇴적된 토사를 배출함)에 비해 환경부하의 경감을 꾀하고 있다.

또한, 치수(治水)와 이수(利水)를 시행하면서 하천에서 바다에 이르는 환경을 보전해 가기 위해서는 黒部川 전체의 종합적인 토사관리가 필요하다. 따라서, 出し平댐과 宇奈月댐에서는 연계배사(連携排砂)가 시행되고, 出し平댐에서 배출된 토사는 그대로 宇奈月댐 하류로 통과시킨다(그림 7).

2001년 6월에 처음으로 연계배사(連携排砂), 연계통사(連携通砂)를 시행하였다.

#### 4 결론

댐은 유수를 저유하는 시설이고, 환경에 큰 영향을 줄 가능성이 있다. 특히, 하류에서는 유황(流況)과 수질이 변화되고, 토사와 물질이동이 감소된다. 이 때문에 가능한한 영향의 회피·저감이 고려되며, 본고에서 소개했던 것 이외에도 여러 가지로 보전조치가 검토되고 있다. 하지만, 현재는 실험과 시행단계이고, 향후 이러한 실증적인 방법에 의하여 효과를 규명할 것이다. 따라서 실시사례를 토대로 기술적인 방법론과 환경평가 방법을 확립하는 것이 중요한 과제이다.