

オーストリアにおける流水型ダム（続報）

京都大学防災研究所水資源環境研究センター 角 哲也*
 (前)財団法人 ダム水源環境整備センター 船 橋 昇 治**
 財団法人 ダム水源環境整備センター 白 井 明 夫***

キーワード 洪水調節専用ダム・流水型ダム・オーストリア

1. はじめに

オーストリアにおける流水型ダムの特徴については、角がダム技術 277 号で報告した。ダム堤体底部に放流設備（洪水吐き）を有する流水型ダムは、オーストリア第二の都市 Graz（人口約 30 万人）を州都とする Styria 州（面積 16,392 km²、人口約 120 万人）に多くの事例が見られる。2009 年 7 月の角の調査に引き続き、2009

年 11 月にも Styria 州の担当者（Hornich 氏・Seibert 氏）にヒアリングを行うとともに、11 ダムの事例を再度調査する機会を得たので、前回の報告の続報として、これらのダムの特徴について報告する。

2. Styria 州のダム

Styria 州では、1960 年代から洪水調節のためのダムが建設され、1992 年には、州政府から、洪水調節施設

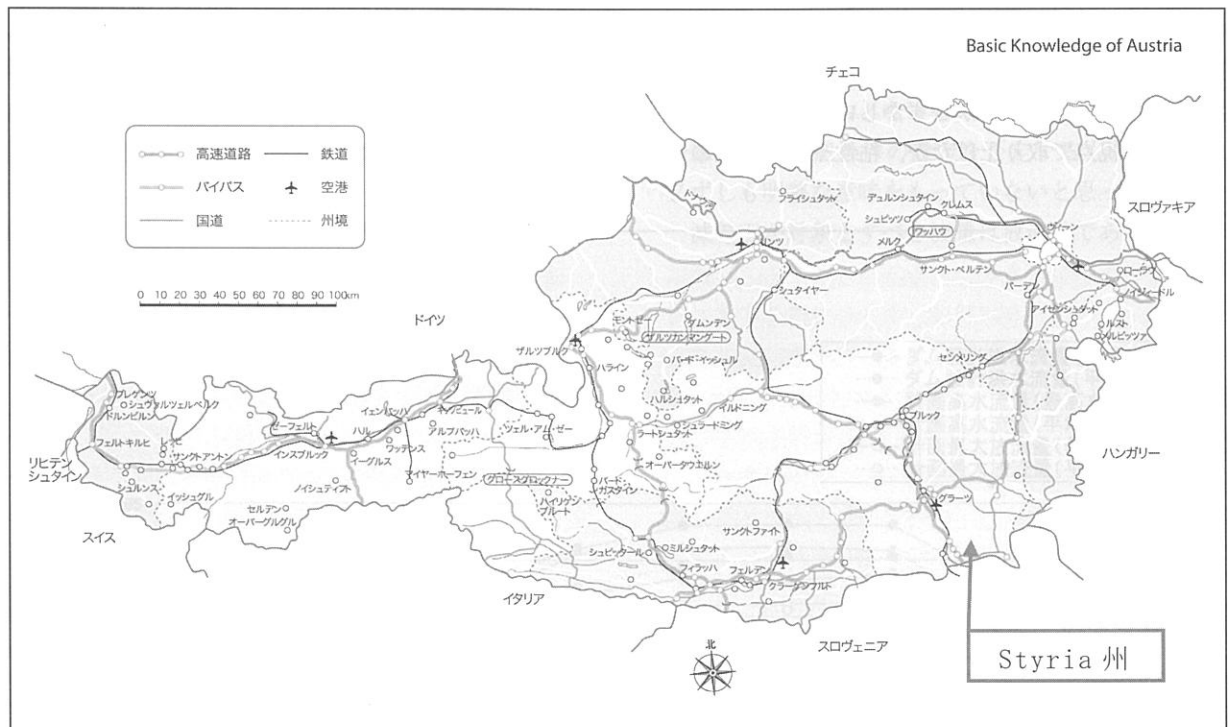


図-1 オーストリア Styria 州（地図出典：http://www.austria.info/jp）

* 教授
 ** 部長
 *** 首席研究員

(ダム)の計画・設計・運用に関するガイドライン(以下、「ガイドライン」という)が刊行されている。このガイドラインでは、ダム建設計画の立案に当たって、技術的・経済的な観点だけでなく、生態学的な観点からも検討することとされている。その計画プロセスは図-2に示すとおりであり、概略計画の立案の段階と詳細計画の立案の段階とで、代替案の検討を含めて計画の是非が判断される。自然環境への影響を最小限にすることが原則とされており、位置や形式、放流設備、減勢池、非常用洪水吐きなどについての代替案を検討するほか、生物の生息場の形成や結合、緑化などの保全措置についても検討する。なお、試験湛水は、原則として実施しない。その理由としては、流入水量が少なく貯水期間が長くなるため、生態系への影響が大きくなることがあげられている。

3. 流水型ダムの事例

今回調査を行ったダムは、図-3に示す11ダムである。これらについて、諸元や河床部放流設備、減勢工の状況、閉塞対策といった構造上の特徴とともに、生物に対してどのような配慮を行っているかの観点から以下に

とりまとめた。

(1) 諸元

各ダムの諸元を表-1に示す。比較的小規模で、日本の農地防災ダムに相当する規模のダムが多い。また、アースダムが多い。調査対象ダムの特徴を把握するために、堤高、堤体長、洪水調節地面積、計画洪水流量、計画洪水時放流量、調節率について、日本の流水型ダムのうち、堤高が同程度の8ダム(外柵沢ダム、レン滝ダム、河内ダム、松尾ダム、嵯峨谷ダム、大峠ダム、笹倉ダム(再開発前)、高尾野ダム)と比較してみた(図-4~図-7)。なお、調節率は以下の式により算出した。

$$\text{調節率}(\%) = (1 - \text{計画洪水時放流量} / \text{計画洪水流量}) \times 100$$

調査対象ダムは、日本の農地防災ダムと比較して、堤高に対して堤体長が長い傾向が見受けられる。堤高に対する洪水調節地の容量については、日本のダムと調査対象ダムとでは大きな違いは見られない。計画洪水流量については、集水面積の小さいダムが多く、調査対象ダムの方が小さい傾向が見られ、これを調節率の点から見ると、調査対象ダムのうち計画洪水流量の小さなダムでは、調節率が高い(カット率が大きい)ことが分かる。

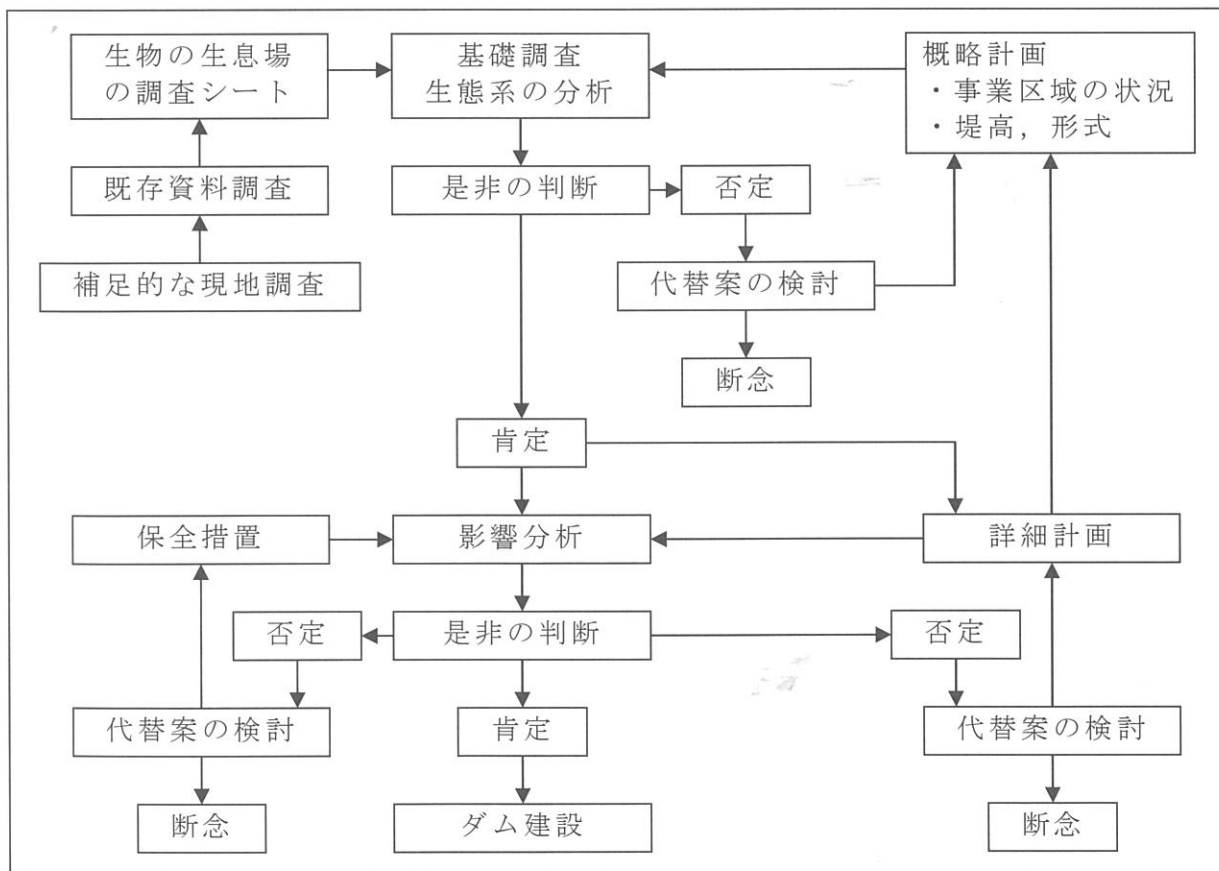


図-2 生態学的な観点からの計画策定のプロセス

参考として、ダム型式別に代表的な調査対象ダムを写真-1～4に示す。

(2) 河床部放流設備

調査対象ダムでは、洪水時にゲートによる流量調節を行うか行わないかにかかわらず、全てのダムでゲートが

設置されていた(写真-5～7)。これについては、ガイドラインに以下の規定があり、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を建設するためと考えられる。

・通常、建設期間中の洪水時の放流も河床部放流設備で

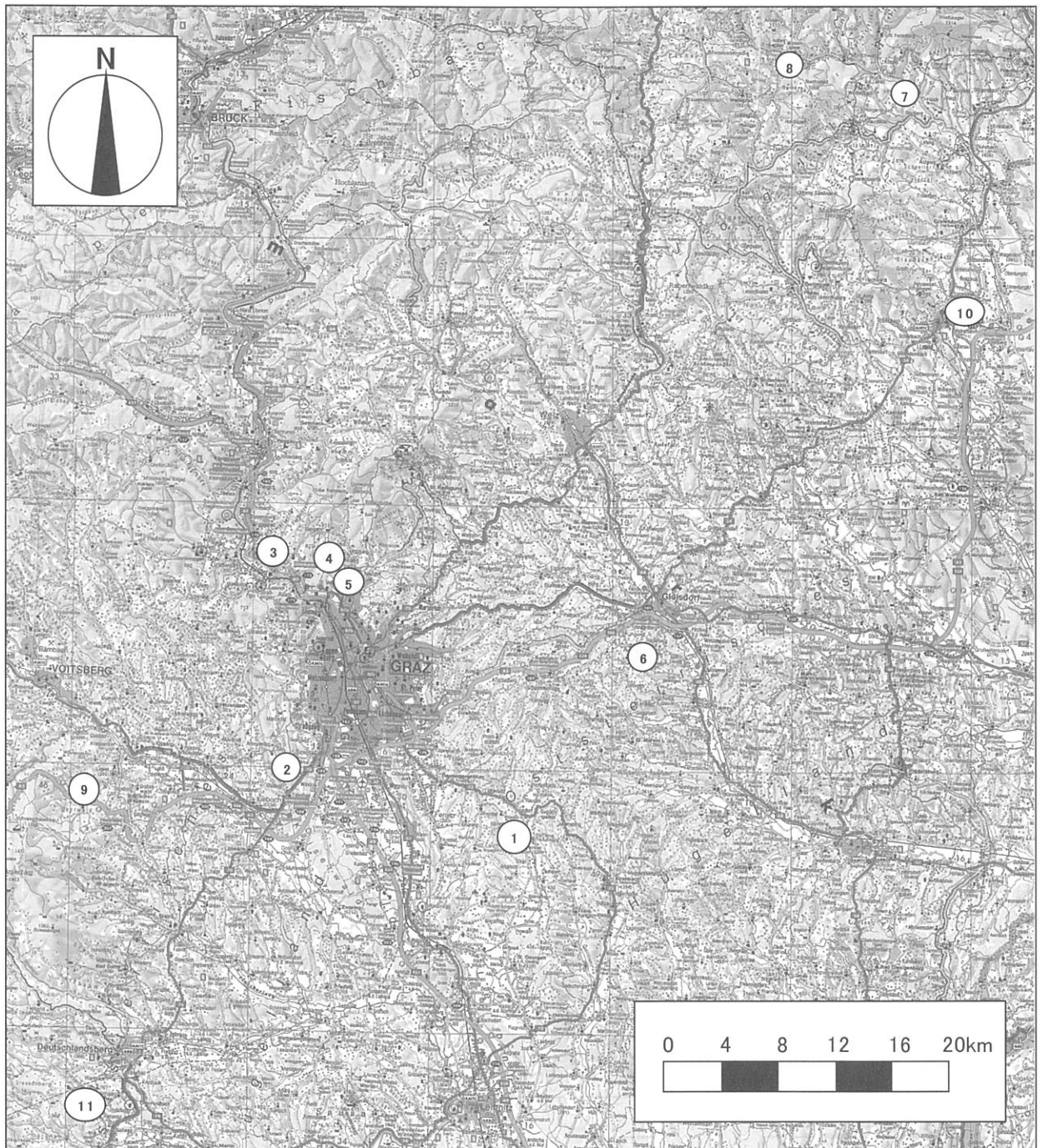


図-3 調査対象ダム位置図

- | | | |
|----------------------------|----------------------|----------------|
| ① : Bärndorfbach | ② : Dobelbach | ③ : Felberbach |
| ④ : Gabriachbach 1 | ⑤ : Gabriachbach 2 | ⑥ : Labuchbach |
| ⑦ : Lafnitz-Reinbergwiesen | ⑧ : Lafnitz-Waldbach | ⑨ : Ligistbach |
| ⑩ : Sauhaltbach | ⑪ : Stullneggbach | |

(地図出典 : Freytag & berndt 社, Styria 1: 200 000)

表-1 ダム諸元

ダム名	型式	竣工年	堤高 (m)	堤長 (m)	天端幅 (m)	集水面積 (km ²)	洪水調節容量 (m ³)	洪水調節地面積 (ha)	計画洪水				河床部放流設備		
									確率年	洪水流量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	調節率	延長 (m)	傾斜 (%)	ゲートによる流量調節
Bärndorfbach	コンクリート・アースダム (Erddamm und Betonmauer)	1996年	5.8	163	5	3.6	90,200	5.2	100	20.9	1	0.952	0.5	—	なし
Dobelbach	アースダム (Erddamm homogen)	2008年	9.5	241	4	13.3	249,400	11.18	30	26	5	0.808	37	1.0	なし
Felberbach	アースダム (Erddamm homogen)	1994年	7.5	240	4	3.8	59,300	3.43	100	17.3	2.2	0.873	57	0.2	なし
Gabriachbach 1	コンクリート・アースダム (Erddamm und Betonmauer)	2008年	9.15	84	3	1.16	15,600	0.42	100	11	1.9	0.827	3	—	あり
Gabriachbach 2	アースダム (Erddamm homogen)	2008年	7	220	3	2.2	26,200	1.15	100	15	2.5	0.833	2.5	—	あり
Labuchbach	コンクリート・アースダム (Erddamm und Betonmauer)	2009年	12.3	145	2.5	4.3	152,400	3.93	100	20	3.5	0.825	1	—	あり
Lafnizt-Reinbergwiesen	アースダム (Erddamm homogen)	1995年	18.9	185	4	162	1,100,000	15	100	160	67	0.581	103	1.5	なし
Lafnizt-Waldbach	遮水式アースダム (Erddamm mit Dichtung)	2006年	17.5	120	4	43.3	376,000	6.7	100	83	43	0.482	49.6	1.45	なし
Ligistbach	重力式アーチダム (Bogengewichtsmauer)	1996年	23.2	94	1.8	8.41	249,400	2,051	30	29.8	3.6	0.879	15	3.6	なし
Sauhaltbach	アースダム (Erddamm homogen)	2001年	3.5	140	4	0.8	14,000	1.76	100	8	1	0.875	4.5	0.4	あり
Stullneggbach	アースダム (Erddamm homogen)	2000年	17.9	140	4	31.8	202,400	3.7	30	49	21	0.571	25	1.7	なし

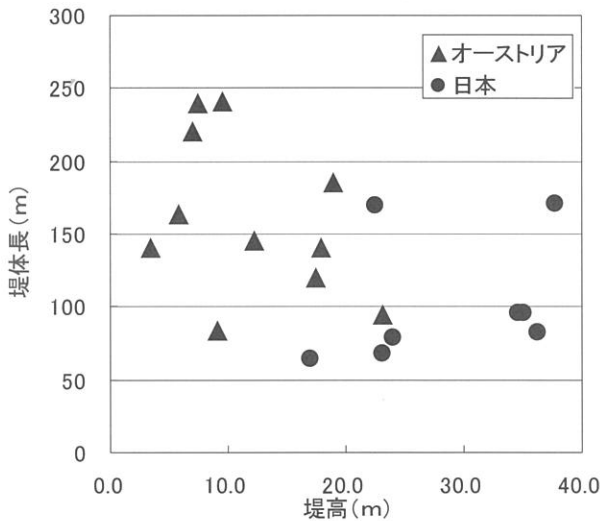


図-4 堤高と堤体長

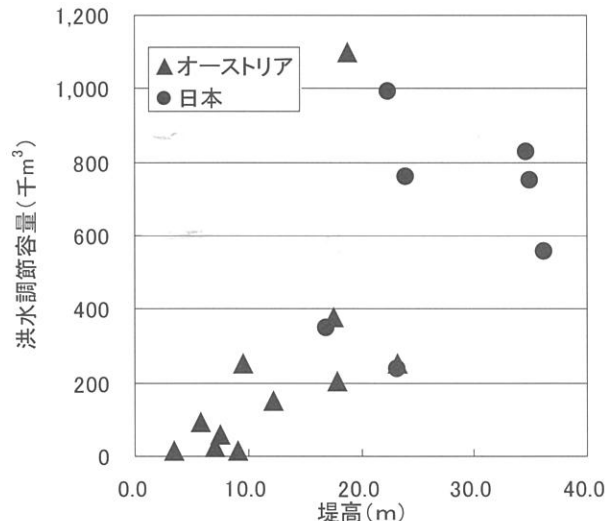


図-5 堤高と洪水調節地面積

行うため、放流設備の最大放流能力は、建設期間中の洪水流量によって定められること

・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こと

設置されたゲートは、小開度で固定される場合(写真-5, 6)、全閉時に小断面の開口部が維持される場合(写真-7)の両者がある。これらの場合には、ゲートの開閉装置が常設されている場合と、必要に応じて可搬式の動力を持ってきて開閉させる場合の両者があるよう

である。また、ゲートによる流量調節を行う場合には、自動開閉式(振り子式)が採用されていた(写真-8)。ガイドラインでも、流量調節を行う場合には、フロートを用いて水位に応じた制御を行うことが推奨されている。参考として、Gabriachbach 1の洪水時の状況を写真-9, 10に示す。

なお、洪水吐き数高とゲート上流側の洪水調節地内の河道や下流側の減勢工の河床との高低差は基本的にほとんどないが、ダムによっては、上流側の洪水調節地内の

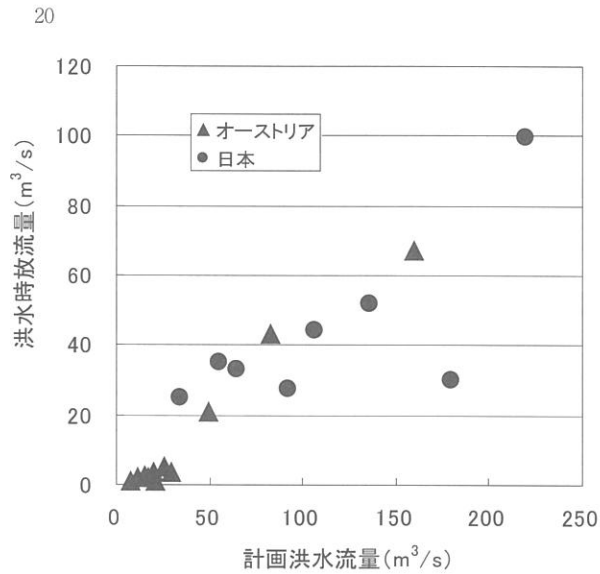


図-6 計画洪水流量と洪水時放流量

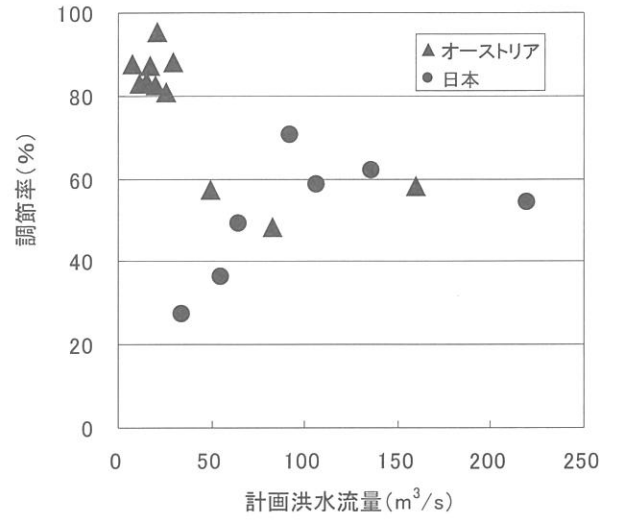


図-7 計画洪水流量と調節率



写真-1 アースダム (Lafnitz-Reinbergwiesen)



写真-2 遮水式アースダム (Lafnitz-Waldbach)



写真-3 コンクリート・アースダム (Labuchbach)

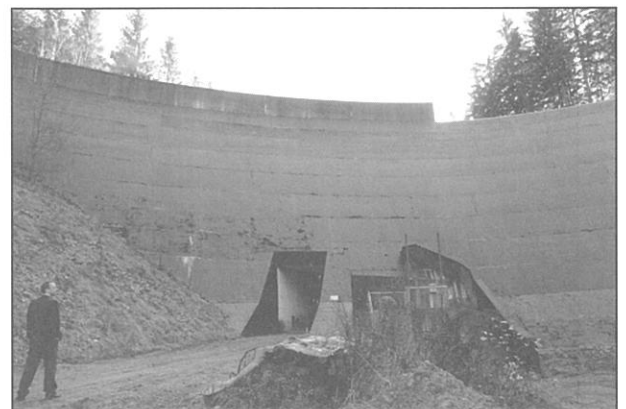


写真-4 重力式アーチダム (Ligistbach)

河道の河床とで 50 cm 程度の高低差がある場合も見られた。

(3) 減勢工

調査対象ダムでは、跳水式（水平水叩き式）の減勢工が採用されており、河道を掘り込み、段上がり式としている例（図-8）も見受けられた（11 ダム中 4 ダム）。

河道の掘り込みを行っている場合、減勢池に土砂が堆積し、通常時は概ね水平な面で河床部放流設備の放流口に連続していた。エンドシルが設置されている場合と、ない場合とがあったが、いずれの場合でも、減勢工と下流河川の現河床との高低差はほとんどなく（写真-11～14）、河川の連続性の観点からは良好な環境が維持され



写真-5 鋼製ゲート (Lafnitz-Waldbach)



写真-6 鋼製ゲート (Stullneggbach)

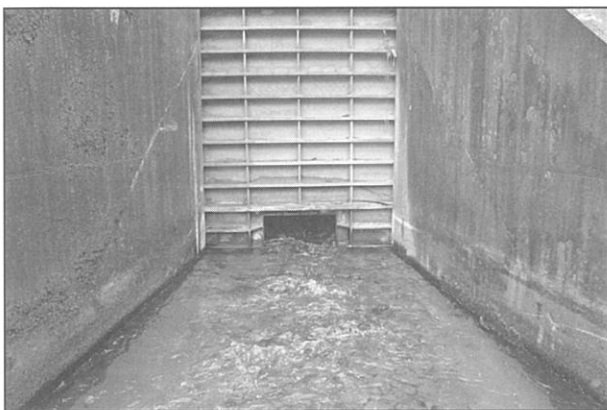


写真-7 鋼製ゲート (Ligistbach)

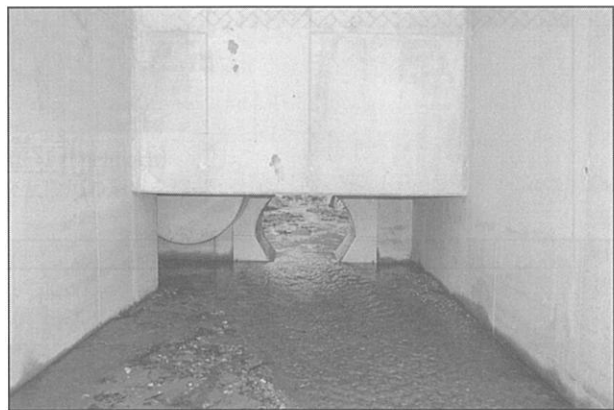


写真-8 自動開閉式ゲート (Labuchbach)

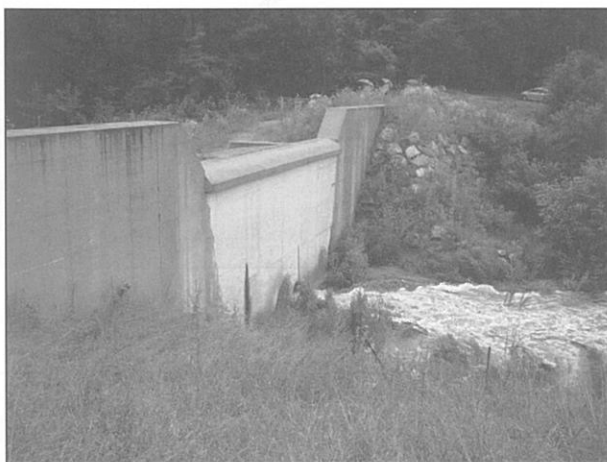


写真-9 洪水時の状況 (Gabriachbach 1)
・2009年7月18日 (出典: <http://gis.graz.at>)



写真-10 洪水時の状況 (Gabriachbach 1)
・2009年7月18日 (出典: <http://gis.graz.at>)

ているものと推察された。特に、洪水調節地内の河道は、通常時に期待される流量を考慮して、既存河道幅程度が維持されており、その中に交互砂州が形成されているのが確認された (写真-15)。なお、減勢工の両岸は石張りの護岸で作られている場合が多かった ((11ダム中9ダム)。

(4) 閉塞対策

流木等による放流設備の閉塞を防止する対策として、調査対象とした全てのダムで、放流設備の呑み口にスクリーンが設置され (写真-16～19)、スクリーン間隔は15 cm～50 cm程度であった。ガイドラインではスクリーンの設置が義務づけられているが、その構造についての規定はない。担当者によれば、スクリーンの間隔は、集水域の状況を見ながら経験的に決めているとのこ

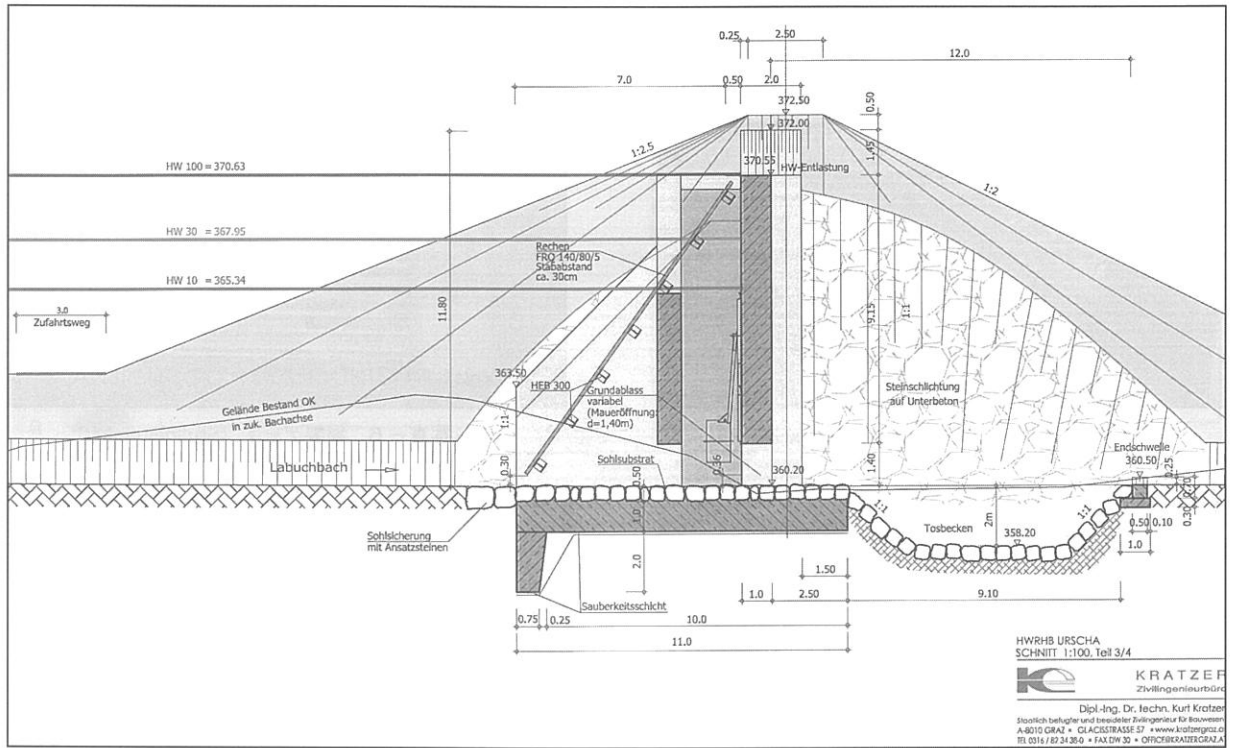


図-8 コンクリート・アースダム断面図 (Labuchbach)



写真-11 減勢工 (Labuchbach)
・エンドシルあり / 掘り込みあり



写真-12 減勢工 (Lafnitz-Waldbach)
・エンドシルあり / 掘り込みなし



写真-13 減勢工 (Lafnitz-Reinbergwiesen)
・エンドシルなし / 掘り込みあり

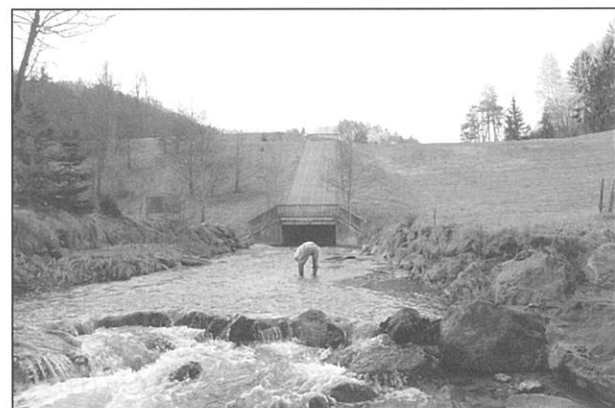


写真-14 減勢工 (Stullneggbach)
・エンドシルなし / 掘り込みなし



写真-15 洪水調節地内の河道 (Labuchbach)
・土砂移動による交互砂州の形成を確認



写真-16 スクリーン (Gabriachbach 1)



写真-17 スクリーン (Labuchbach)

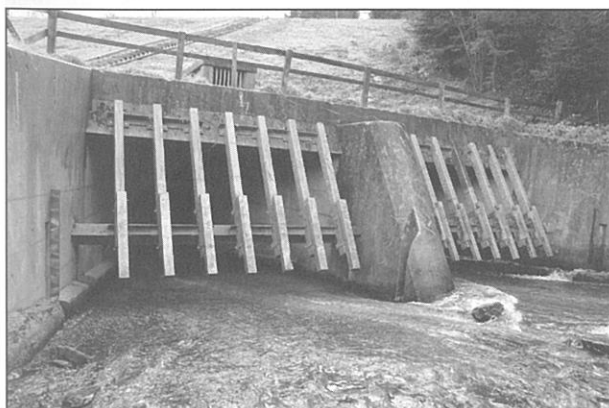


写真-18 スクリーン (Lafnitz-Reinbergwiesen)



写真-19 スクリーン (Bärndorfbach)

とであった。ちなみに、計画洪水流量とスクリーンの間隔をプロットしてみると、計画洪水流量が概ね $100 \text{ m}^3/\text{s}$ までは流量に応じてスクリーンの間隔が広がっている(図-9)。スクリーンの設置箇所については、河床部放流設備呑み口だけの場合、堤体中央部まで覆っている場合、堤体上部まで覆っている場合があり、堤体上部まで覆っている例が最も多かった(11ダム中6ダム)。スクリーンの下部には空隙を設けてあり、平常時には落ち葉等の流下物が自然に下流に流れるようになっていた。しかし、中には、流木や落ち葉が捕捉され、水がせきあげられることにより、洪水調節地内に水が溜まり、河道内に土砂(細粒分)が堆積しているようなダムも見られた(写真-20)。

また、河床部放流設備が閉塞した場合に備えて、洪水吐きの途中にバイパス水路を設置しているダムが2ダムあった。ガイドラインには、図-10に示すような3つのタイプのバイパス水路の考え方が紹介されている。(a)は呑み口のみが平面的に複線化されているが、途中で合流して洪水吐き下流は同一のもの、(b)は同様に

呑み口のみが高さ方向に複線化されているもの、(c)は呑み口から洪水吐き下流まで複線化されている。Lafnizt-Waldbachでは、河床部放流設備内に隔壁を設けてバイパス水路の呑み口を設置しており(写真-21, 22)、(c)の考え方に添っている。Lafnizt-Reinbergwiesenでは、河床部放流設備の呑み口の上部にバイパス水路の呑み口を設置しており、(b)の考え方に添っている。バイパス水路自体は、河床部放流設備内に隔壁を設けて設置されていた(写真-23, 24)。

(5) 生物への配慮

調査対象ダムでは、河床部放流設備により生物の移動を妨げることがないように、様々な工夫がされていた。河床部放流設備の水路内の床面に石を張って、流速の遅い箇所を設けることで、生物が行き来しやすいようにしている例が2ダムで見られた(写真-25)。流速を制御する(遅くする)とともに水位を調節するために、河床部放流設備を木板により堰き上げている例が2ダムで見られた(写真-26)。河床部放流設備内に魚道を設置している例が1ダムで見られた(写真-27)。また、

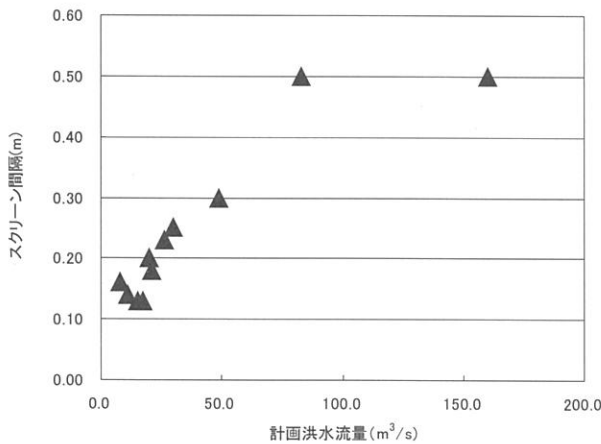


図-9 計画洪水流量とスクリーンの間隔

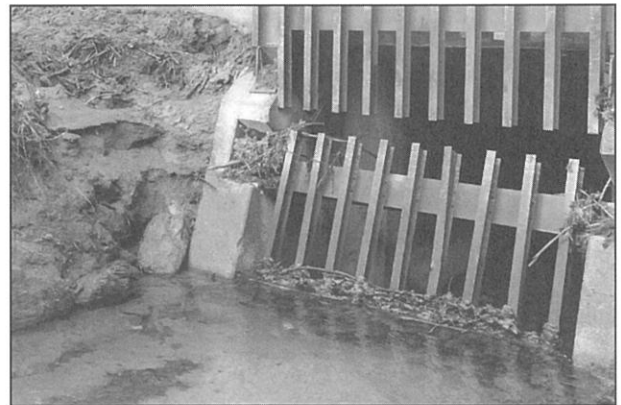


写真-20 スクリーン下部への落ち葉等の堆積 (Ligistbach)

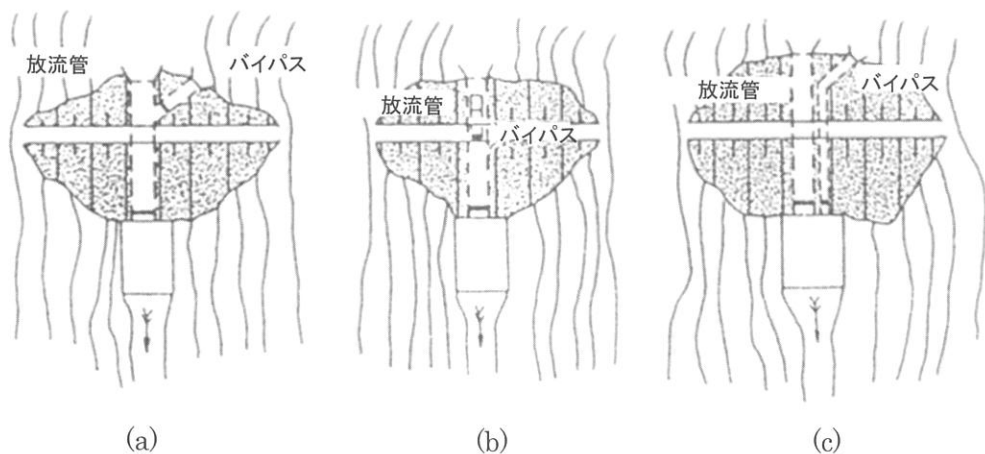


図-10 河床部洪水吐きのバイパス配置の考え方

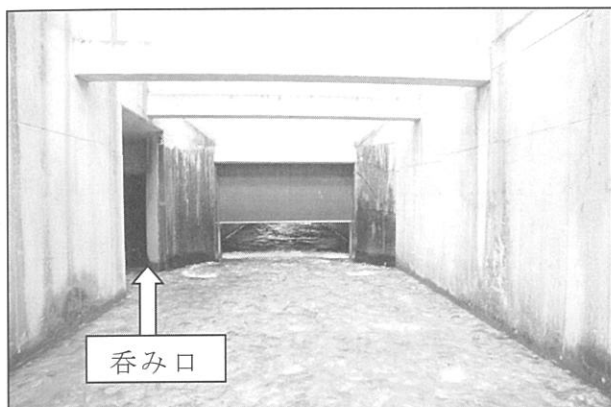


写真-21 バイパス水路呑み口 (Lafnitz-Waldbach)



写真-22 バイパス水路呑み口 (Lafnitz-Waldbach)



写真-23 バイパス水路呑み口 (Lafnitz-Reinbergwiesen)



写真-24 バイパス水路吐き口 (Lafnitz-Reinbergwiesen)



写真-25 河床部放流設備内の石張り (Lafnitz-Waldbach)



写真-26 河床部放流設備の堰き上げ (Stullneggbach)

Stullneggbach (写真-28) では、角がダム技術 277 号で報告したように、河床部放流設備 (堤体下流側) の上部に開口部を設けて太陽光を取り込み、生物が行き来しやすいようにしている。

減勢工については、前述したとおり、河床部放流設備や下流側の河川の河床との段差をできるだけ少なくするようにされていた。

生物の生息への配慮として、洪水調節地内もしくは堤体下流に、湿地や池などのビオトープを整備しているダ

ムが6ダムあった (写真-29)。また、全てのダムで、洪水調節地内に樹林があった (写真-30)。Styria 州では、洪水調節地を洪水調節以外の用途で使用することが認められており、林業あるいは自然保護を目的として、洪水調節地に樹林を育成することが可能である。なお、前述したとおり、生態系への影響に配慮して、試験湛水は原則として実施しないこととなっている。

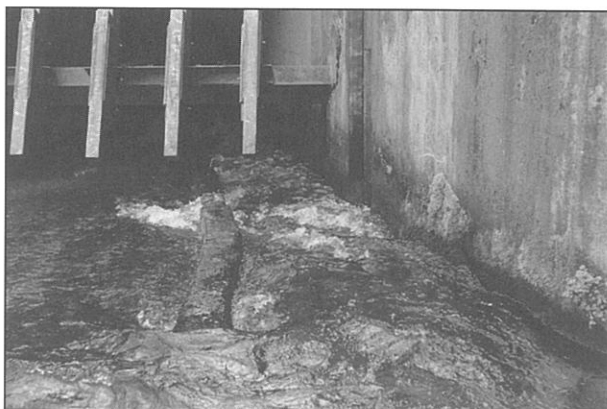


写真-27 河床部放流設備の魚道 (Lafnitz-Reinbergwiesen)
(右側の水路部のみ粗度を設けて水深を確保している)



写真-28 河床部放流設備上部の開口部 (Stullneggbach)



写真-29 洪水調節地内のビオトープ (Lafnitz-Reinbergwiesen)



写真-30 洪水調節地内の樹林 (Stullneggbach)

4. 今後に向けて

Styria州では、2000年10月23日に採択されたEU Water Framework Directive (“Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy”)に基づき、河川の連続性を分断することがないように配慮して河川の整備を行っている。調査対象ダムでも、生物の生息に配慮して様々な工夫がされており、それをそのまま活用することは難しいとしても、日本で流水型ダムを設計・建設する上で参考となる示唆に富んだ事例が多く見受けられた。今回紹介した事例をもとに、生物への配慮という点で参考にすべき点を以下に示す。

(1) 掘り込み式の減勢工

日本の多くのダムでは跳水式（水平水叩き式）の減勢工が採用されている。減勢工の床面が下流河川の河床と同じ高さかより高い位置にある場合が多く、また、エン

ドシルが設置されている場合が多いため、流水型ダムでも生物の移動が確保されているとは言い難い場合がある。生物の移動を確保するためには、掘り込み型の減勢工として、河床部放流設備と減勢工と下流河川との間に落差が生じないように工夫が有効である。このことは、米国の流水型ダムの調査結果でも指摘されている（角（ダム技術 No. 263）、天野（ダム技術 No. 264）や奥田ら（ダム技術 No. 269））。米国とオーストリアでは、ダムの規模（米国のダムは日本のダムより大規模であるが、オーストリアのダムは日本のダムより小規模である）や土砂の生産特性に違いがあるが、その双方で掘り込み型の減勢工が採用されていることから、日本でも採用を検討すべきと考えられる。

(2) 魚道の機能を持つ放流設備

オーストリアでは、河床部放流設備に魚道を設けたり、床面に石を張って流速を遅くしたり、木板で堰き上げてステップ状にするなどして、生物の移動を補助する設計が見られた。日本でも、堤高がそれほど高くない場



写真-31 Gemeinde Labuchbachの町長さんによる案内（右から3人目）

合には、洪水時でも河床部放流設備の流速はそれほど速くはならないと考えられ、このような工夫をすることができる。こうした場合、河床部放流設備内に設置した石などによる放流能力の低減を見込んだ設計を行う必要がある。また、維持管理を容易にするために、放流設備の口径を一定程度以上（人が入って作業できるように）とするような工夫も必要である。

（3）洪水調節地内の樹林の残置

洪水調節地には平常時は貯水されていないため、もともと洪水調節地内に樹林が生育している場合には、その樹林を伐採することなく残置することにより、生物の生息環境を確保することができる。しかし、冠水期間が90日を超えると枯死してしまう樹木が多いという報告もあり、試験湛水が長期間に渡る場合には、残置した樹木が枯死する可能性がある。樹林の残置に加えて、試験湛水の期間をできるだけ短くするなどの工夫をする必要がある。

角は、前報で洪水調節地内の旧河道およびこれに添った河畔林の維持が重要であることを指摘したが、今回の訪問では、洪水調節地内にビオトープが設置されている例も見ることができ、このような洪水調節地内の環境管理計画の策定が求められる。

今回の訪問で最も印象に残ったダムはLabuchbachダムであった。山間地の小規模な流水型ダムであるが、最新の知見を盛り込んだプロジェクト（2009年完成）であった。個別の要素技術はすでに紹介した通りであり、自動開閉ゲート、掘り込み式減勢工、スクリーンなどが設置されているほか、環境配慮として、洪水調節地内の



写真-32 Labuchbachダムの費用負担（連邦（Bund）50%、州（Land）40%、自治体（Gemeinde）10%）

ビオトープ設置に加えて、コンクリート部の露出を最小化した自然に溶け込む景観デザインがなされている。特に、現地訪問時には、地元（Gemeinde）の女性町長さんが直々に我々を案内してくれて、我が町の最新式の流水型ダムにとっても感謝している旨の説明を受けた。このダムの建設の経緯は、下流集落における洪水の発生によるようであるが、これを受けて、住民を巻き込んだ洪水対策の議論の末に、地元自治体と州政府が連携し、連邦政府の補助を受けてこのプロジェクトを完成させた誇りを十分に感じとることができた。我が国の流水型ダムも、小さくても創意工夫に満ちた地元の誇れる土木資産として引き継がれるような施設を目指して検討が進められることを切に期待する。

参考文献

- 1) Das Land Steiermark: Steiermark-Information 16. Hochwasser-rückhalteanlagen Planung, Bau und Betrieb, 1992.
- 2) <http://www.austria.info/jp/basic-facts-on-austria>
- 3) <http://gis.graz.at/cms/beitrag/10057804/1071359/>
- 4) <http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html>
- 5) 角 哲也：スイスにおける治水専用オルデンダムの水理設計と管理，ダム技術 No. 241, pp. 3～16, 2006.
- 6) 角 哲也：米国における洪水調節専用（流水型（DRY））ダム，ダム技術 No. 256, pp. 20～34, 2008.
- 7) 角 哲也：米国における DRY DAM の水理的特徴，ダム技術 No. 263, pp. 37～45, 2008.
- 8) 天野 邦彦：DRY DAM が持つ自然環境への影響特性，ダム技術 No. 264, pp. 3～14, 2008.
- 9) 奥田 晃久・池田 隆：米国における DRY DAM と日本の流水型ダム，ダム技術 No. 269, pp. 3～13, 2009.
- 10) 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.
- 11) 白井 明夫・五十嵐 崇博：植物の耐冠水性について，平成19年度ダム水源地環境技術研究所 所報, pp. 60～65, 2008.

(参考：調査対象ダムの特徴)

ダム名	河床部放流設備					減勢工			
	幅 (m)	ゲート		上流河道と比較した呑み口の敷高	減勢工と比較した吐き口の敷高	構造		エンドシル	下流河道と比較した吐き口の敷高
		型式	開口部 (m) 幅×高さ			護岸	掘り込み		
Bärndorfbach	1.5	鋼製	1.5 × 0.3	同じ	同じ	石張り	なし	なし	同じ
Dobelbach	1.2	鋼製	1.2 × 0.7	同じ	高い	コンクリート石張り	あり	あり	高い
Felberbach	0.8	不明	不明	同じ	同じ	石張り	あり	なし	高い
Gabriachbach 1	4.4	振り子式	不明	同じ	高い	石張り	なし	あり	高い
Gabriachbach 2	5	振り子式	口径 1.2	高い	高い	石張り	なし	なし	同じ
Labuchbach	3	振り子式	口径 1.4	同じ	同じ	石張り	あり	あり	やや高い
Lafnizt-Reinbergwiesen	3.5 × 2 門 1.0 × 1 門	鋼製	幅 3.5 (高さ不明)	同じ	同じ	石張り	あり	なし	同じ
Lafnizt-Waldbach	3.5	鋼製	3.5 × 1.1	同じ	同じ	石張り	なし	あり	やや高い
Ligistbach	2	鋼製	0.78 × 0.55	低い	同じ	コンクリート	なし	なし	やや高い
Sauhaltbach	2.5	振り子式	口径 0.8	同じ	同じ	コンクリート	なし	なし	同じ
Stullneggbach	4.05	鋼製	3.75 × 0.7	低い	同じ	石張り	なし	なし	やや高い

ダム名	閉塞対策				生物配慮					
	スクリーン			バイパス水路	放流設備上部の開口部 (下流側)	放流設備の河床に石張り	放流設備の堰あげ	魚道	ビオトープ	
	設置位置	間隔 (m)	流木や落ち葉の堆積						洪水調節地内	堤体下流
Bärndorfbach	呑み口～堤体中央部	0.18	なし	なし	なし	なし	なし	なし	あり	なし
Dobelbach	呑み口～堤体上部	0.23	あり	なし	なし	あり	あり	なし	なし	なし
Felberbach	呑み口	0.13	あり	なし	なし	なし	なし	なし	なし	あり
Gabriachbach 1	呑み口～堤体上部	0.14	あり	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
Gabriachbach 2	呑み口～堤体上部	0.13	あり	なし	なし	なし	なし	なし	あり	なし
Labuchbach	呑み口～堤体上部	0.2	あり	なし	なし	なし	なし	なし	あり	なし
Lafnizt-Reinbergwiesen	呑み口	0.5	なし	あり	なし	なし	なし	あり	あり	なし
Lafnizt-Waldbach	呑み口～堤体上部	0.5	なし	あり	なし	あり	なし	なし	なし	なし
Ligistbach	呑み口～堤体中央部	0.25	あり	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
Sauhaltbach	呑み口～堤体中央部	0.16	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
Stullneggbach	呑み口～堤体上部	0.3	あり	なし	あり	なし	あり	なし	なし	あり