

生物の生息環境改善に資する フラッシュ放流計画手法

FLUSING FLOW FOR IMPROVING HABITAT CONDITIONS OF STREAM BIOTA

田中 則和¹・浦上 将人²・宮川 勇二³
Norikazu Tanaka, Masato Urakami, Yuji Miyagawa

¹正会員 (財) ダム水源地環境整備センター 調査第二部 主任研究員 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-14-2)

²正会員 (財) ダム水源地環境整備センター 調査第二部長 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-14-2)

³国土交通省 河川局 河川環境課 流水管理室 企画専門官 (〒108-8918 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3)

Biodiversity of streams is maintained by seasonal fluctuation of discharge and/or flow events. In regulated streams such as reaches below dams, however, flow events are controlled and discharge is not varied seasonally. The lower discharge and less flow events make degradation of the biodiversity of the stream. Ministry of Land, Infrastructure and transport, Japan, and electric power companies have examined suitable discharge to improve biodiversity of below the dam. We studied the most suitable size, season and frequency for the events on reaches below Taishakugawa Dam as a model case. We decide the event pattern in consideration of proportion of hydrograph, duration of rising and recession phases.

Key Words: dam, flushing flow, improve stream biodiversity

1. はじめに

自然河川には、季節的な流量変化や小・中・大規模出水がある。河川の生物では、その流量の変動に適応した生活様式が多く知られている。出水は、生物群集を中規模に攪乱することや、ハビタットを多様化することで、河川の生物多様性を維持していると考えられている。¹⁾

一方、河川には、従来から、洪水処理のための「治水」や農業用水や都市用水の供給、水力発電等の「利水」を目的に多くのダムが建設されており、豊かで安全な国民生活を支えてきた。

しかし、ダムにより水の有効利用が進むと洪水頻度が減少し、下流河川において流況の平滑化により河道が攪乱されることがなくなり、安定化し過ぎてしまうという課題が生じ、環境問題に対する国民意識の向上に伴い、弊害が指摘されるようになってきている。

発電ダムでは、「発電水利権の期間更新における河川維持流量の確保について(発電ガイドライン)」により、ダムや堰下流に一定量の河川維持流量が放流されている。河川維持流量は、魚類が生息できる水深や流速を確保する流量で決定されている事例が多い。

また、国土交通省や水資源公団が所管するダムでは、

弾力的管理試験により、「維持流量の増量放流」や「フラッシュ放流(ダムから平常時にある程度の規模の流量を一時的に放流する)」を実施しており、ダムの下流河川環境の保全に努めている。

しかし、どのような規模のフラッシュ放流をどのように起こせばよいかということは、まだ不確定的である。これまでのフラッシュ放流の事例では、フラッシュ放流計画が、詳細な事前調査を実施して、改善目的を設定し、それらを十分に検証されているとは言えない。

今回、中国地方にある帝釈川で、フラッシュ放流計画の手法について検討を行う機会を得た。

昨年の報告³⁾では、研究の背景、現地調査結果、河川環境区分、およびフラッシュ放流手法の概念検討を報告した。

今年は、対象河川の生物の生息環境に関する課題を抽出して、河床構成材料等の物理環境や河川の連続性を考慮し、各河川環境区分で改善可能な改善目標を設定した。さらに、改善目標を達成するために必要な流量を計算し、簡易水理計算手法の提案を行なうとともに、自然流況や人間や生物等への悪影響を勘案して、フラッシュ放流計画を設定する手法を検討した。

2. 改善目標の設定

(1) 検討概要

帝釈川は、ダムから約6km下流で福柵川と、約11.2km下流で東城川と合流する。この間はダムによる減水区間であり、川幅は10～20m程度で河川勾配は1/130程度である。今回のフラッシュ放流の目的は、減水区間に棲む生物の生息環境を改善することとした。

また、改善目標の設定のために、対照区間として自然流況の福柵川についても調査を実施している。これは、効果の検証時にも重要なデータとなるので、検討の際には、必ずダムの上流や支流等に対照区間を設ける事が肝要である。なお、区間A、Bはそれぞれ環境区分上、A-1、A-2、B-1、B-2に分けることができた。

(2) 改善目標の設定

改善目標は図-2に示すフローに基づき、「何処で何が出来るか」をキーワードにフラッシュ放流による効果が明確に検証できる事柄とした。

目標の設定に当たっては、河川環境を把握し、河川環境を区分するとともに、生物の生息環境に関する課題を抽出して、河床構成材料等の物理環境や河川の連続性を考慮し、各河川環境区分でフラッシュ放流により改善可能な目標を設定した。

1) 魚類

流況が安定化すると、シルト質の微細土粒子が砂礫の表面あるいは間に堆積し、砂礫に産卵する魚類に悪影響を及ぼす。

対象区間で、砂礫に産卵する魚類として、ウグイ、オイカワ、カワムツ、アマゴ等が確認された。しかし、全川で生息確認数が極めて少なく、放流魚で繁殖している可能性が低いアマゴ、及び、比較的全区間に多く生息するオイカワやカワムツは目標から外す事とした。従って、産卵場の環境改善はウグイを対象とした。

アカザは、生息数が少なく、現地調査により産卵場を確認することが難しいことから、生息環境の改善を目標とし、アカザの確認数が増加することを評価対象とした。

アユは、帝釈川では、産卵活動を実施している魚ではなく、放流魚であるので、アユが良好に成長することに主眼を置き、餌環境が改善されることを改善目標として、珪藻類の剥離更新を目的とした。

2) 底生動物

図-3に底生動物の調査結果を示す。調査は石が分布する平瀬において、各地点3箇所(25cm×25cmのコドラート)で実施した。区間A-1、2では、極端に確認数が少なく、かつ、流況変動の少ない水路等で見られる固着型や掘潜型の種類がほとんどであり、確認されている種類数も対照区間のCと比較して少なかった。

そこで、改善目標は、区間Aの底生動物の種類数や種構成を対照区間Cに生息する状態に復元することとした。

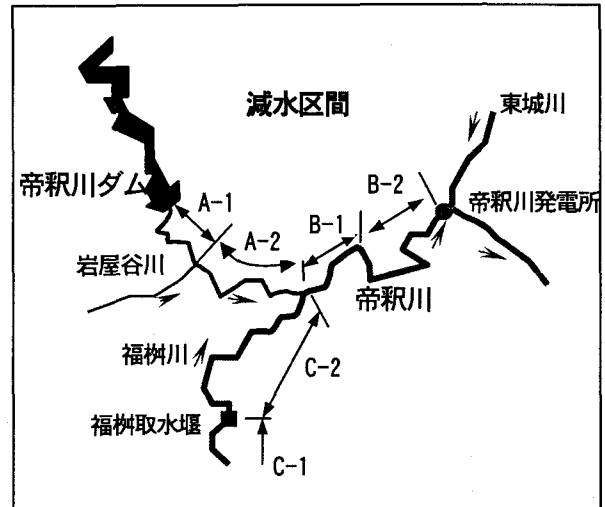


図-1 検討対象範囲の概要図

表-1 検討対象各区間の概要(現地調査時)

区間名		特徴
A	帝釈川 (ダム直下流)	ダムからの放流量 0.1～0.3m³/sと残流域からの流入がある程度で流量、流況共に少ない区間
B	帝釈川 (福柵川合流後)	平時は流況が安定しており、福柵川からの流入により流量はある程度確保されている区間
C-1	福柵川 (取水堰上流)	ダムによる流量調整・取水がなく、流況の変動も見られる自然区間
C-2	福柵川 (取水堰下流)	福柵取水堰により流況が平時比較的安定している区間

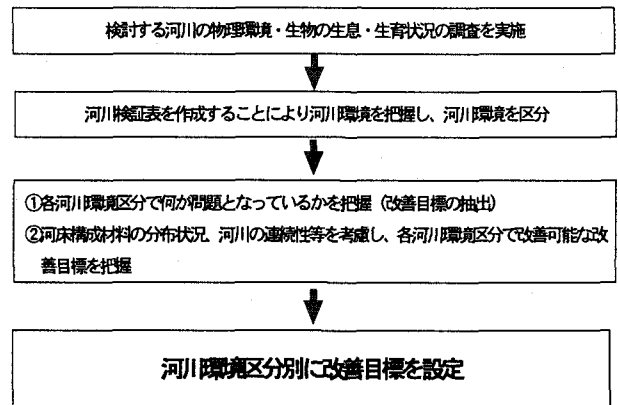


図-2 改善目標設定方法の検討フロー

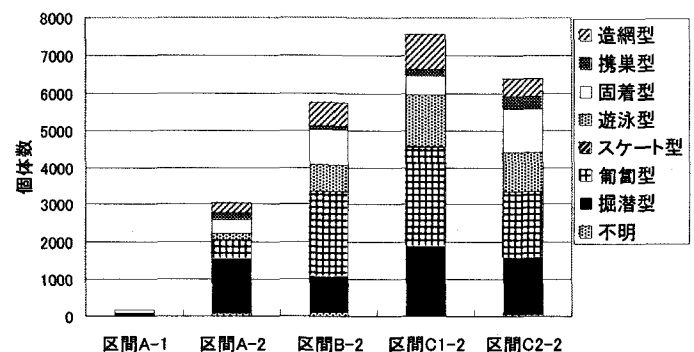


図-3 底生動物調査結果(平成14年2月実施)

3) 付着藻類

付着藻類は、以下の2項目を改善目標とした。

- ①流況が悪く、シルトの堆積が多い区間 A-1, 2 で、付着藻類の剥離更新を図る。
- ②他の藻類の生息阻害となる糸状性藻類の掃流は、確認数が多い区間 A-1 をターゲットとした。

3. フラッシュ放流手法の検討

(1) ピーク流量

1) 断面平均による計算

ピーク流量は、以下の手順で検討することとした。

- ①改善目標毎に必要な水理条件を設定
- ②改善区間における代表断面（早瀬や平瀬）を選定
- ③代表断面で改善項目を満足する放流量を計算
- ④改善目標の優先順位や他の目標への悪影響、及びダムの放流能力等を勘案し、ピーク流量を決定

放流量の計算は、各断面形状等から断面平均流速と掃流力、土砂粒子が移動し始める限界状態の時のせん断力（限界掃流力）を求め、掃流力が限界掃流力になる流量を河床材料が移動する流量として設定した。

流速は等流近似として Manning の平均流速公式で、限界掃流力は岩垣の公式で求めた。

$$V=1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (1)$$

$$Q=A \cdot V \quad (2)$$

$$\tau=\rho g R I_e \quad (3)$$

$$\tau_c=\rho u_{*c}^2 \quad (4)$$

V:断面平均流速, n: Manning の粗度係数,
I:水面勾配, R:径深 (=A (断面積) / S (潤辺長)),
Q:流量, τ :掃流力, g:重力加速度,
 I_e :エネルギー勾配, ρ :水の密度, τ_c :限界掃流力,
 u_{*c} :移動限界摩擦速度, d:粒径

$\sqrt{I/n}$ は各断面の流量実測データから設定した。

改善目標の多い A-2 区間の計算結果を表-3 に示す。

断面毎で、改善目標に必要なダムからのフラッシュ放流量は、1.0~47.6m³/s という結果が得られた。

断面 4-1 では、ウグイの産卵環境改善に必要なフラッシュ放流量は 21.8m³/s という計算結果が得られた。しかし、平成 14 年 5 月に実施した調査では、断面 4-1 において産卵場を確認しているが、調査前にはピークが 7.7 m³/s のダム放流があっただけであった。現実的には 7.7 m³/s のダム放流量で産卵場が形成されたことから、この時に粒径 5cm 程度の河床材料が移動して礫間に空間ができ、産卵環境が改善されたと推定され、計算で求めたフラッシュ放流量 21.8 m³/s は過大設計となる恐れがある。これは、流速を等流や断面平均で計算していることに起因していると考えられる。

表-2 改善目標の設定

対象			改善区間				改善目標	フラッシュ放流の目的	改善に必要な水理条件
			A-1	A-2	B-1	B-2			
魚類	砂礫に産卵する魚類	ウグイ		●		●	ウグイの産卵環境改善	ウグイの産卵床となりうる砂礫底からシルト等を除去する。	粒径 5cm の河床構成材料を移動させる流量
	重要種：アカザ			●			アカザの生息環境改善	アカザの生息環境となりうる礫底からシルト等を除去する。	粒径 5cm の河床構成材料を移動させる流量
	地元で注目度の高い種：アユ			●			アユの生息環境改善	アユのエサとなる珪藻の確保＝付着藻類の剥離更新	流速 70cm/s 以上 ⁵⁾
底生動物			●	●			底生動物の生息環境改善	種構成を自然流況に生息する種に復元する。礫間のシルト等を除去する。	自然流況の流量を参考に今後設定する。
付着藻類	付着藻類		●	●			付着藻類の剥離更新	剥離更新する。	流速 70cm/s 以上
	糸状性藻類		●				糸状性藻類の掃流	糸状性藻類を掃流する。	流速 70cm/s 以上

表-3 断面平均計算による改善目標毎に必要なフラッシュ放流量

区間	断面 No	河床型	河床構成材料	各断面で流量を検討する改善項目*				改善に必要な条件	改善項目毎に必要なフラッシュ放流量 (m ³ /s)
				ウグイ	アカザ	アユ	付着		
A-2	3-1	平瀬・早瀬	巨石・石		●			5cm の河床構成材料が移動	1.3
						●	●	流速 70cm/s 以上	19.9
	3-2	平瀬・早瀬	岩			●	●	流速 70cm/s 以上	1.4
	3-3	早瀬	岩			●	●	流速 70cm/s 以上	8.0
	4-1	平瀬	砂利	●				5cm の河床構成材料が移動	21.8
							●	流速 70cm/s 以上	13.0
	4-2	平瀬・早瀬	石	●	●			5cm の河床構成材料が移動	28.9
							●	流速 70cm/s 以上	10.0
	4-3	早瀬	石	●	●			5cm の河床構成材料が移動	47.6
							●	流速 70cm/s 以上	1.0

※ ウグイ＝ウグイの産卵環境改善, アカザ＝アカザの生息環境改善, アユ＝アユの生息環境改善, 付着藻類の剥離更新

2) 現場での適用を考慮した簡易計算手法

断面平均による計算では、フラッシュ流量を過大に設定する恐れがあり、ここでは、現場での適用を考慮した簡易的に断面を細分化した水理計算を実施した。

計算方法は、断面を横断方向に1mピッチに区切り、1m区間毎に改善に必要な流量を算定した。

1m区間毎の水理条件は、1m区間の断面積及び潤辺長より、1m区間の径深を求めた後、(1)～(4)の式を用い、1)と同様に算出した。なお、1m区間同士が接する面では、流速の違いにより摩擦が生じるが、ここでは摩擦を考慮せず計算した。

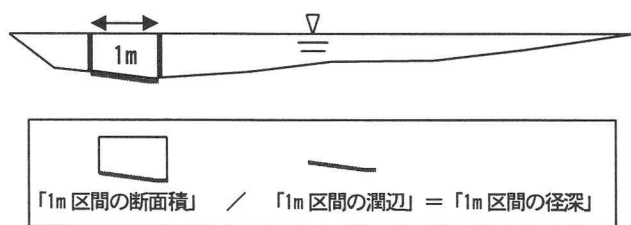


図-4 1m区間の計算方法

区間 A-2 の断面 4-1 の計算結果を図-5に示す。結果は、平均断面計算により5cmの河床材料の粒径が動くという結果が得られた21.8m³/sのケースでは、正常流量として算定されている0.687m³/s時の断面の全ての区間で条件を満足している。しかし、7.7m³/sの時でも最大47mmの粒径の河床材料が動く計算結果が得られ、実際に7.7m³/sの放流量で産卵場が確認されたことから、今回の計算は現場の状況をうまく再現できたと考えられる。

したがって、断面平均による水理計算ではなく、より詳細な水理計算を実施することによってフラッシュ放流量を設定することにより、限られた水資源を有効に活用できるフラッシュ放流のピーク流量の設定が可能になると考えられる。

ただし、自然河川を水理計算のみで再現するには限界があることから、検討する実際の河川にてダム放流量を変化させた試験等を実施し、流速や水深、あるいは直接、移動する河床材料の粒径や付着藻類の剥離状況を確認することにより、ピーク流量を設定することが望ましいと言える。

帝釈川のケーススタディーにおいても、今後、新帝釈発電所工事期間中に対象区間が自然流況になることから、河川流量変化と物理環境や生物の生息状況等の関係を調査する計画である。



写真-1 断面4-1における産卵場

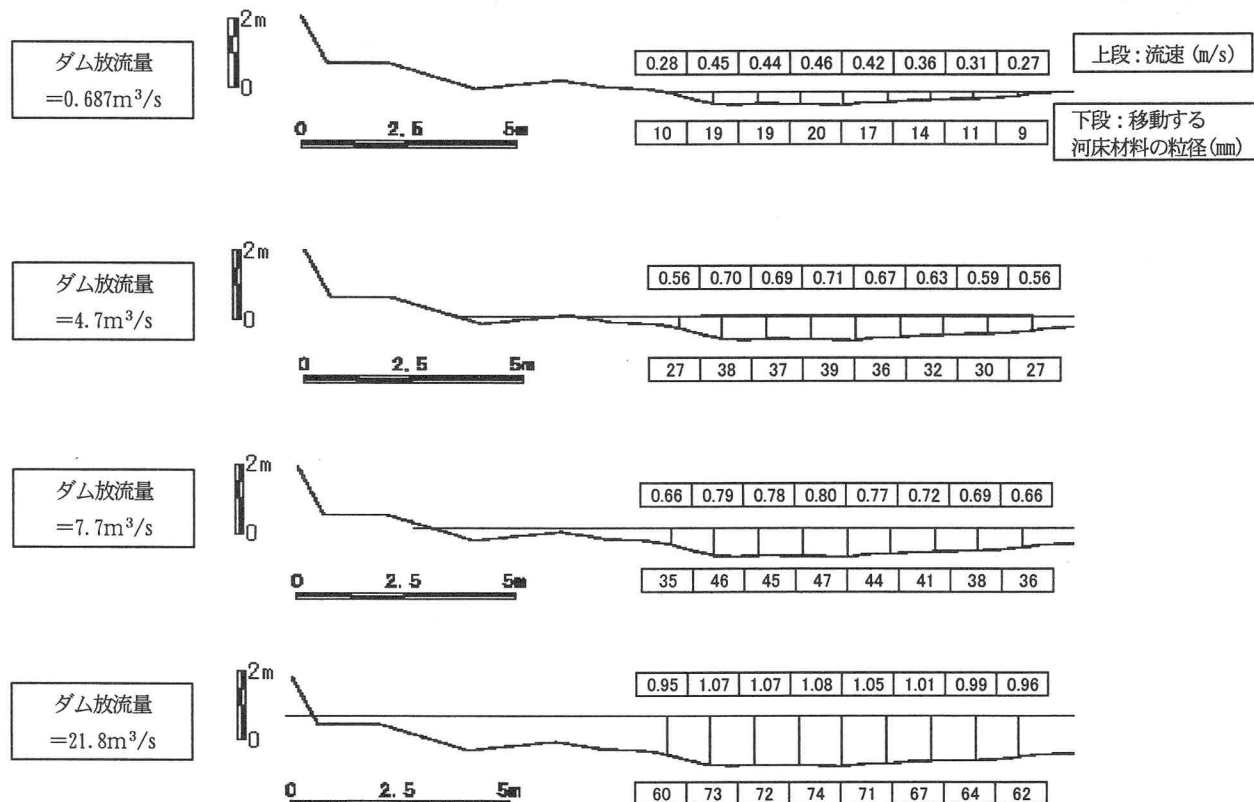


図-5 断面4-1における1m区間毎の計算結果

(2) フラッシュ放流時期

フラッシュ放流は、改善目標に応じて適切な放流頻度を設定することが重要である。

頻度が少ないと、設定した目標を達成できないことも考えられる。逆に、過度の放流頻度は、生物の生息場の破壊に繋がったりすることも推測されることから、自然流況を勘案しながら、フラッシュ放流時期の設定を行なった。

今回は、表-2に示した改善目標に対して、それぞれの目標毎にフラッシュの必要な時期を検討し、他への悪影響を考慮しながら、それらを重ねあわせることによって、フラッシュ放流時期を設定した。今回設定した検討結果を図-6に示す。

(3) フラッシュ放流回数

月に何回放流するかを決定するのは、以下の事柄を条件とした。

- ①自然流況に近い頻度とする。
- ②付着藻類が繁茂するのに2週間かかることから、夏場は月2回程度が望ましい。
- ③冬場にフラッシュ放流が無いと、シルトの堆積が懸念され、付着藻類のマット状群落の発達を考慮すると、1ヶ月よりも長く2ヶ月よりも短い期間に1回程度のフラッシュ放流が望ましい。

新帝釈川ダムのフラッシュ放流は、設備能力等も考慮して、 $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$ で計画である。帝釈川ダムの流入量のデータから、月毎に $5 \text{ m}^3/\text{s}$ を超える平均出水回数を基本とし、冬場(10月～2月)は $8 \text{ m}^3/\text{s}$ を超える回数を基本として、図-7のように設定した。

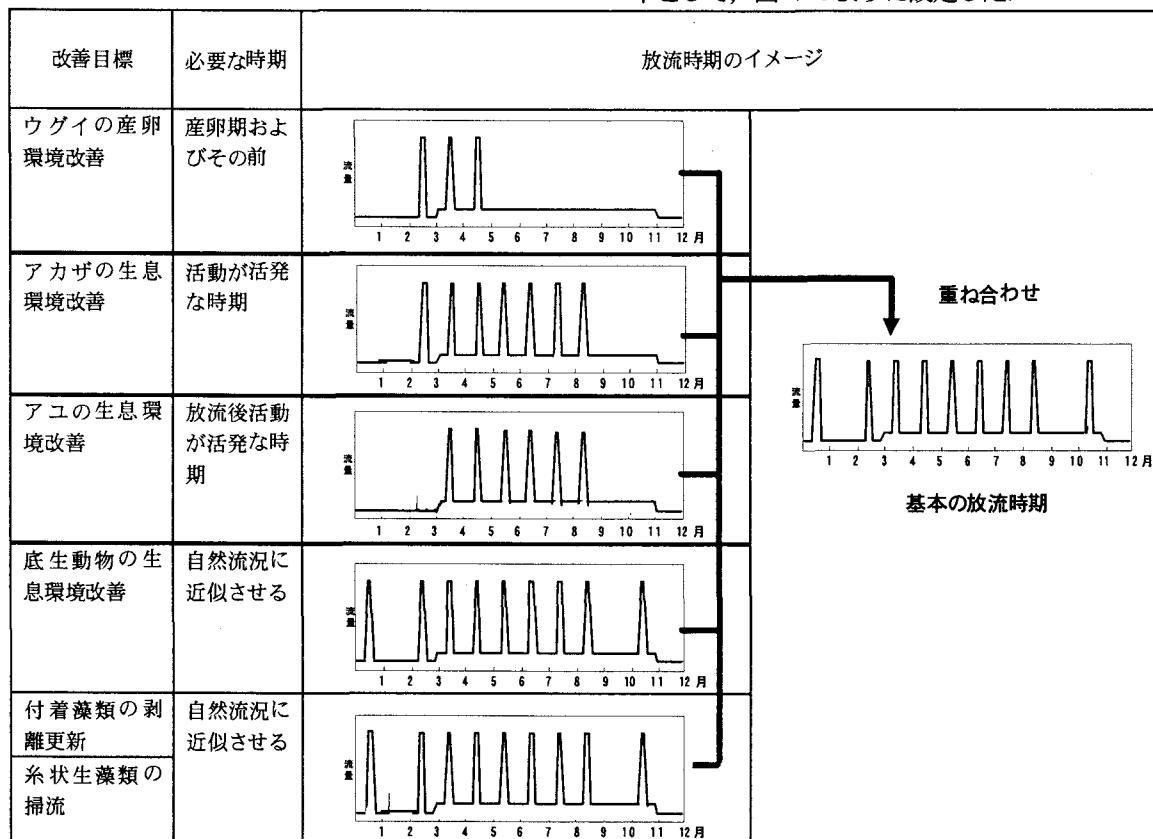


図-6 フラッシュ放流時期の設定

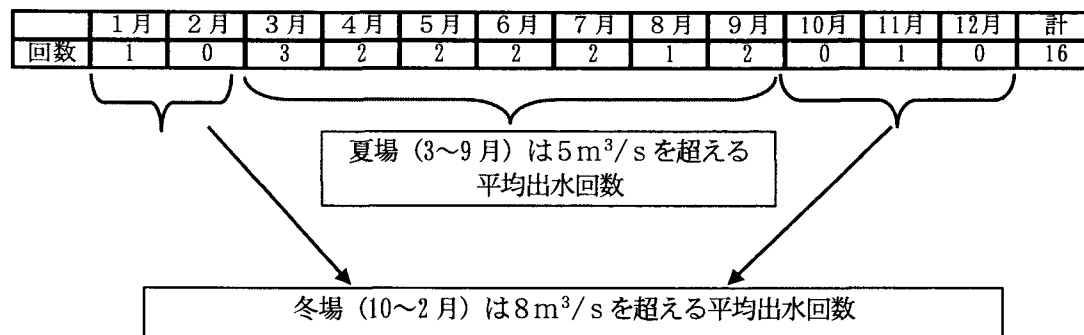


図-7 フラッシュ放流の回数の設定

(4) 放流の立ち上がりと減衰時の波形

フラッシュ放流を実施する際は、降雨時による増水とは異なり、晴天時に実施する事が多くなることから、特に波形の設定は留意が必要である。

河川法の通達では、貯水池からの放流による下流の水位変動の許容限度は30分で30cmとしており、フラッシュ放流による立ち上がりも、同様に、河川利用者等への安全を配慮する。また、減衰時の波形についても、増水によって、正常流量時に水面幅になっていないところに移動した生物が容易に戻るよう配慮する必要がある。

今回の検討は自然現象で発生している波形の限界値を採用することとして、以下のフローにより設定した。

既往のデータより、平水時から設定したピーク流量まで増水した時と、ピーク流量から平水時まで減衰した波形を抽出



立ち上りの最も急な波形、及び減衰が最も急な波形を基本波形とした

図-8 波形の設定方法

(5) ピーク継続時間

ピーク継続時間が短い場合、放流量が下流に行くにつれて減少し、改善対象区間で設定した条件の流量を満足しない現象が生じる恐れがある。

また、フラッシュ継続時間が長すぎると、付着藻類が全て剥離してしまい、回復に時間がかかる等の生物の生育に悪影響を及ぼす影響も考慮して、ピーク継続時間を設定する必要がある。

今回は、これらの事も考慮して、改善目標を設定した下流において、改善目標が多い区間Aの最下流までピークの山を維持させるピーク継続時間とした。

計算は、代表断面で最も流速が遅くなる断面における条件から、次式で設定した。

$$T=L/V_{\text{slow}} \quad \dots \dots (5)$$

T: ピーク継続時間, L: ダムから改善させたい場所までの距離, V_{slow} : 改善区間の代表断面での最遅流速

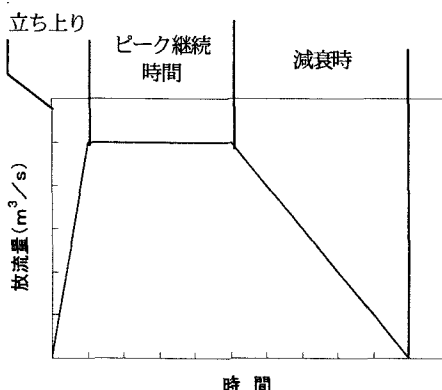


図-9 フラッシュ放流波形の設定

4. 今後の課題

(1) 詳細なダム操作手法の設定

- ・ダムの設備等を考慮した実現可能性の検証
- ・ダム放流警報やパトロール等による放流時の河川利用者への安全確保
- ・貯水池内と下流河川との水温差やDO等の水質に留意したフラッシュ放流方法
- ・降雨時に合わせた追加放流方法

(2) 効果の検証

- ・生物の生活史の変化を考慮し、3年間は同様なフラッシュ放流を実施する計画としているが、対照区間等と比較して、成功か失敗かを判断する評価基準
- ・発電ダムの減電量と環境改善効果との経済比較手法

5. おわりに

ダムの建設は環境要因を変化させ、生物や生態系の変化を生じさせる事が言及されている。しかしながら、水力発電を再生可能かつクリーンなエネルギー源の一つとして認識することは、先日行なわれた「第3回世界水フォーラム」の閣僚宣言でも確認されたところである。

今後も、人と生物の共存を目標に、限られた条件の中から最大の効果を得るフラッシュ放流の検討を進めていきたい所存であり、本検討が今後のダム下流の河川環境改善の一助になれば幸いである。

本論文は、発電放流量研究会（委員長：池淵周一京都大学防災研究所長教授）でのご指導を頂き、取り纏めたものであり、貴重なご助言、ご指導を頂いた委員の皆様と、データの提供を頂いた中国整備局、データ整理等で協力頂いた応用地質株式会社の方々にもこの場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 宮下直, 野田隆史: 群集生態学, 東京大学出版会, 2003
- 2) 三石真也: 中国電力新帝釈川発電所利水計画について, 河川No. 665, pp58-62, 2001
- 3) 三石真也, 浦上将人, 浜西豊: 下流河道環境を考慮したダム放流の検討, 河川技術論文集, 第8巻, pp359-364, 2002
- 4) 皆川朋子, 清水高男, 島谷幸宏: 流量変動が生物に及ぼす影響に関する実験的検討, 河川技術に関する論文集第6巻, pp191-196, 2000
- 5) 箱石憲昭, 塚原千明: 水流による藻類の剥離に関する実験的研究, ダム技術No173, pp32-41, 2001
- 6) 谷田一三, 竹門康弘: 底生動物に与えるダムの影響的研究, 応用生態工学2(2), pp153-164, 1999
- 7) 水野信彦 他: 川の魚の生活I コイ科4種の生活史を中心にして, 京大大学生理生態学業績, pp1-48, 1958

(2003. 4. 11受付)