

下流河道環境を考慮したダム放流の検討

STUDY OF FLOW REGIME BELOW DAMS TO RESTORE DOWN STREAM ENVIRONMENT

三石真也¹・浦上将人²・浜西豊³

shinya MITSUISHI, masato URAKAMI and yutaka HAMANISHI

¹正会員 国土交通省 北陸地方整備局 河川部 河川調査官 (〒951-8505 新潟市白山浦 1-425-2)

(前国土交通省 河川局 河川環境課 流水管理室 企画専門官)

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

³正会員 (財)ダム水源地環境整備センター 調査第2部研究員 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-14-2)

Since the Ministerial notification concerning securing protected flow for hydroelectric dams in 1988, a certain amount of discharge has been secured in downstream of dams. However, frequency of flushing flow has been decreased because of the efficient operation of dams, and then hydrological regime in downstream become flat and even. Nowadays, this phenomenon is concerned about. In order to find feasible measures to improve the channel environment, in this report we take the case of the Taishaku River in Hiroshima prefecture as an example and propose a basic method for studying flow regime in downstream of dams.

Key Word : damflow, protected flow, flushing flow, improve channel environment

1. はじめに

現存する水路式やダム式の水力発電所の中には、建設当時の発電優先の社会的背景から効率的な水利用によって取水地点下流に無水・減水区間を生じ、動植物、生態系を含めた河川環境に悪影響を及ぼしているものが見受けられる。

これらの状況を受けて建設省河川局より1988年(昭和63年)に「発電水利権の期間更新時における河川維持流量の確保について」(通称発電ガイドライン)が出された。それ以後これに基づきダムから維持流量放流が行われるようになり、生物の生息環境をはじめとする河川環境の一定の回復が図られるようになった。

更に近年では効率的な貯水池運用に伴う、無効放流頻度の減少がダム下流の流況を平滑化して、河道が攪乱されることなく安定化し過ぎてしまうという新たな課題も注目されるようになってきた。

このような事態に対して三石¹⁾は広島県にある発電専用ダムをケーススタディーとして、流況の平滑化への対応策の概略検討を行った。

本稿は上記検討をより具体化すべく、現地調査を踏まえた上で河道の類型化を行い、実現可能な河道環境改善に向けた放流手法検討の基本方針を提案するものである。

2. 帝釈川ダムの概要

(1) 対象ダムの概要

本検討は広島県比婆郡東城町、神石町の高梁川水系帝釈川に位置する帝釈川ダム(中国電力)で行った。

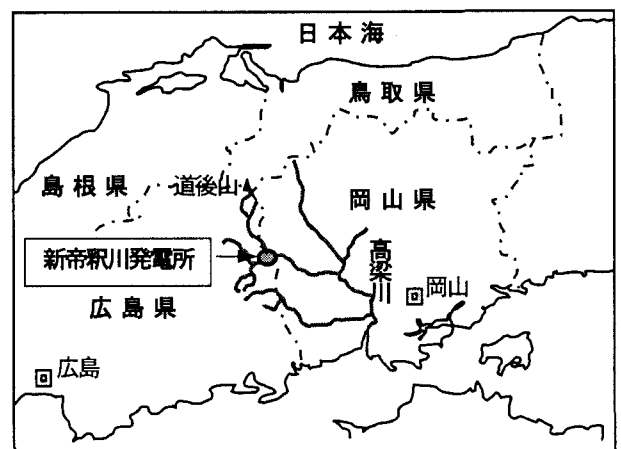


図-1 新帝釈川ダム位置図

帝釈川発電所は大正13年の完成以来、78年にわたって電力を供給してきた。現在中国電力は、この発電所の能力向上のために、既設ダムを嵩上げし、同時に最大取水量を約10m³/sに増強して最大出力約11,000kwの発電

を行う再開発事業を計画している。新帝釈川発電所の施設規模を表-1 に示す。

表-1 新帝釈川発電所の施設規模

流域面積	120km ²	最大取水量	約 10m ³ /s
最大出力	11,000kw	減水区間	11.2km
発電方式	ダム水路式	有効落差	約 130m

(2) 問題点と改善方策

当初の再開発後の貯水池運用計画は、年間で一定の維持流量をダム下流に放流する計画であった。しかし再開発による最大取水量の増加等により、ダム下流への無効放流の頻度が更に少なくなることが判明し、流況の一層の平滑化が懸念される状況であった。具体的には無効放流日数は平成元年から平成10年の10ヶ年平均で20日から9日に減ると予想された。特に平成8年で見れば、年間を通してダム下流の減水区間では維持流量以外は流れないこととなる。

これらの状況を受けて現在の帝釈川ダムの計画では図-2 に示すように月1回約5.0m³/s、年間最大12回分のフラッシュ放流約4,320千m³を維持流量以外に確保し、低水放流管から放流することとしたほか、10ヶ年平均で約11,500千m³に相当する洪水放流が行われるよう貯水池運用に配慮することとされた。

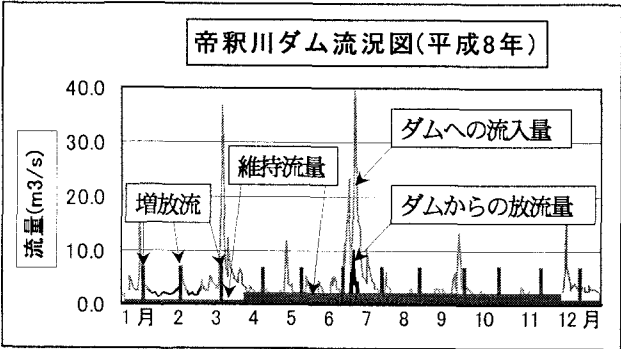


図-2 新帝釈川発電所計画におけるダム放流イメージ図

本検討は新帝釈川ダム下流河川環境の改善方策のひとつとして、上記運用事項を基本としたより効果的な放流手法検討に対する基本方針を提案することを最終の目的とした。

【参考】当ダムでは完成から平成13年7月までは帝釈川ダムには維持流量が設定されておらず、6、7月に無効放流が数回発生する以外はダム下流に流水が全く流れない状況にあった。その後、平成13年8月より現在に至るまで0.1～0.3 m³/s の維持流量放流を実施している。

3. ダム下流における現地調査概要

(1) 現地調査の方針

帝釈川ダムの放流手法の検討にあたり、まずダム下流や周辺の河川環境の現況を把握することとした。これは減水区間と自然の流況を有している区間(以後自然区間)での現地調査結果を比較することで減水区間の問題点を抽出し、放流手法検討の着目点を確認するためである。

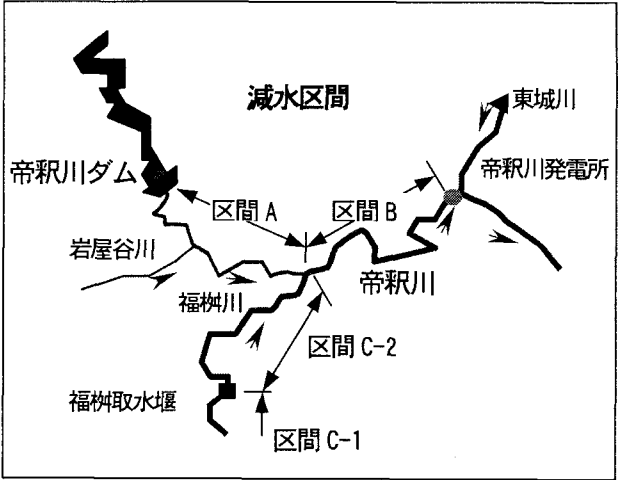


図-3 検討対象範囲の概要図

表-2 検討対象各区間の概要 (現地調査実施時)

区間名		特 徴
A	帝釈川 (ダム直下流)	ダムからの放流量0.1～0.3m ³ /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 (福樹川合流後)	平水時は流況が安定しており、福樹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	福樹川 (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	福樹川 (取水堰下流)	取水堰により流況が平水時比較的稳定している区間

帝釈川はダムから約6km下流で支川である福樹川と合流し、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る。(図-3 参照)

今回の検討対象区間は帝釈川のダムによる減水区間と自然区間である福樹川とし、表-2 に示す通りA、B、C-1、C-2 のそれぞれ異なる流況を持つ4区間を対象として現地調査を行い、特に流況の違いによる河川の生物、およびその生息環境への影響を検討した。

(2) 現地調査の項目

現地調査では流況変化の影響を受けると予想される生物²⁾とその生息環境を調査した。表-3 にその項目、影響予測、調査内容を示す。

表-3 現地調査概要表

調査項目	影響予測	調査内容
a) 瀬切れ, 水温上昇	ダムからの放流量が極端に少ないと下流で瀬切れ区間が生じ, 夏季には水温が上昇し, 冬季は凍結するなど, 生物への悪影響が考えられる.	・瀬切れ区間の把握 ・水温の連続観測
b) 砂礫に産卵する魚類 (オイカワ, カワムツ, ウグイ, アマゴ等)	ダム下流等で安定した流況が続くと砂礫の粒子間にシルト等が詰まり, 卵に酸素が供給されなくなるため, 産卵床に適さなくなる可能性がある. ³⁾	・成魚の分布状況を把握 ・産卵床の状況を把握 ・稚魚の生息状況を把握
c) アカザ (レッドリスト絶滅危惧Ⅱ類, 広島県レッドデータブック 絶滅危惧種)	アカザについては, 産卵床の礫間にシルト等が溜まることで, 卵に酸素が供給されないだけでなく, 生息場そのものの環境が破壊される可能性がある.	・繁殖期の成魚の生息箇所を把握 (夜間潜水調査: 夜行性のため) ・アカザの産卵床状況を把握
d) 底生動物	ダム下流等で安定した流況が続くと, 特に河床構成材料(5~25 cm)で, 造網性のトビケラ類が増加し, 匍匐性のカゲロウ類が減少する. またシルト等が溜まることにより, 礫の間隙を生息場とする種が減少する可能性がある. ⁴⁾	・平瀬における底生動物の採取・分析 (出水の前後で調査を実施し, 前後のデータを比較)
e) 付着藻類 (アユの餌環境)	ダム下流等で安定した流況が続くと, アユの餌となる珪藻類の剥離更新が起こらず, 珪藻類や魚類の生息を阻む糸状性藻類(例: アオミドロ)が繁殖する.	・平瀬における付着藻類の採取・分析 (出水の前後で調査を実施し, 前後のデータを比較)

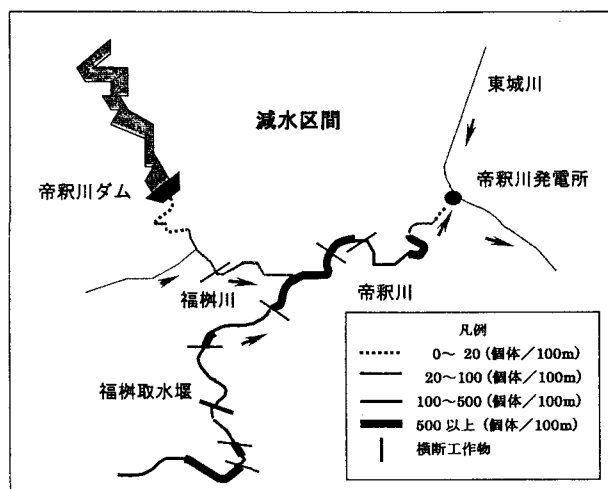


図-4 稚魚調査結果の概要図

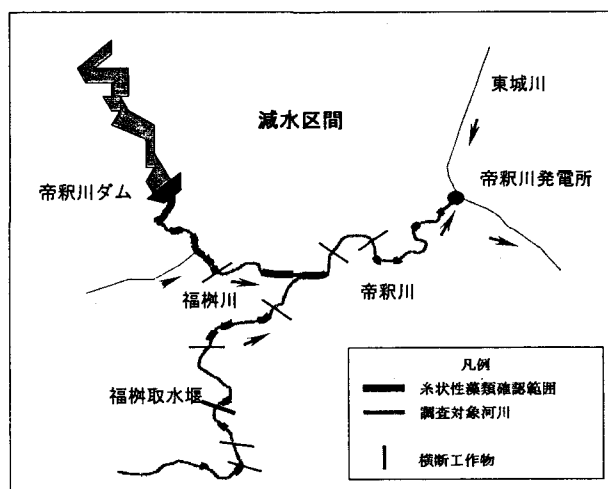


図-5 糸状性藻類分布調査結果の概要図

(3) 現地調査の結果

(2) で挙げた現地調査項目の内, 既に調査結果の分析が完了している調査についてその結果を以下に示す。

a) 瀬切れ, 水温上昇

瀬切れ箇所の分布状況を調査した結果, 維持流量放流前(平成13年7月以前)は, ダム直下のA区間で瀬切れ箇所を何カ所か確認したが, 0.3 m³/sの維持流量放流を行うようになって減水区間全体で瀬切れが解消していることが確認された。

減水区間における水温の連続観測の結果, 夏季の水温上昇, 冬季の凍結が懸念されたA区間でも年間を通して水温が25℃~0℃の間で推移しており, 生物の生息を脅かすような水温上昇や凍結は発生しないことを確認した。また自然区間と比べ減水区間は観測期間での水温の変動が小さいことも分かった。

b) 稚魚の生息密度

オイカワ・カワムツ・ウグイ等の稚魚の生息密度を調査した結果, A区間全域及びB区間下流では自然区間のC-1, 2区間に比べ稚魚の生息密度が低く, 特にダム直下地点では生息密度が0~20 個体/100mに留まっており, 福樹川合流点直上の500 個体/100mとは大きな違いがあることが分かった。(図-4 参照)

またダム直下地点ではシルトの堆積箇所が多く確認されており, このシルトの堆積も稚魚の生息密度に何らかの影響を及ぼしているものと考えられる。

c) 糸状性藻類の分布状況

魚類やアユの餌となる珪藻類の生息を阻害する糸状性藻類の分布状況を調査した結果, A区間のダム直下で糸状性藻類が多く分布しているのを確認した。(図-5 参照)

表-4 生物環境と生物群集による環境類型区分表

	区間A	区間B		
	A-1	A-2	B-1	B-2
河床勾配	1/72~1/142	1/68~1/217	1/72~1/169	1/35~1/266
河床型	淵の分布面積が大きい。	平瀬・早瀬・淵が比較的均一に分布する。	平瀬が優占する。	平瀬が優占する。
河床構成材料	砂利が少ない。	巨石・石・砂利が堆積する。	様々なタイプの河床構成材料が比較的均一に分布する。	石または巨石が広く分布する。砂利は少ない。
開空率	流路上空が植生に覆われる割合が高い（覆われる割合22.8~45.6%）。	流路上空が植生に覆われる割合が高い（覆われる割合22.2~43.3%）。	流路上空が植生に覆われる割合が低い（覆われる割合2.3~11.6%）。	流路上空が植生に覆われる割合が低い（覆われる割合2.3~11.6%）。

	付着藻類	水生生物
	【藍藻】 <i>Homoeothrix varians</i> ※1 <i>Phormidium</i> sp. <i>Pleurocapsales</i> 【緑藻】 <i>Achnanthes pyrenaica</i> ※2 <i>Gymbella</i> spp. ※3 <i>Achnanthes japonica</i> 【絨藻】 <i>Chaetophoraceae</i> <i>Cosmarium</i> sp.	【藍藻】 <i>Phormidium</i> sp. ※1 <i>Pleurocapsales</i> <i>Oscillatoria</i> sp. 【緑藻】 <i>Achnanthes pyrenaica</i> ※2 <i>Nitzschia hantzschiana</i> ※3 <i>Nitzschia dissipata</i> 【絨藻】 <i>Chaetophoraceae</i>

水生生物	※1,2,3は、各地点における優占種を示し、1,2,3の順に細胞数または糸状体数もしくは群数が多い。 カニ ※1 フナ ※2 モリ ※3 ヤマトイサナ属の一種	調査未実施	カニ ※1 ヒメカマドイサナ ※2 ヒメトナリ ※3 ヤマトイサナ属の一種 ※4 ヤマトイサナ属の一種
------	---	-------	---

魚類	※1,2,3は、各地点における優占種を示し、1,2,3の順に個体数が多い。 アマガシ タカハヤ イトモロコ オйкаワ、カワムツ、ムギツク ニゴイ ヨシノボリ
----	---

環境区分	淵の分布面積が大きい。河床には砂利が少ない。流路上空が植生に覆われる割合が高い。	平瀬・早瀬・淵が比較的均一に分布し、河床には巨石・石・砂利が堆積する。流路上空が植生に覆われる割合が高い。	平瀬が優占し、河床には様々なタイプの河床構成材料が比較的均一に分布する。流路上空が植生に覆われる割合が低い。	平瀬が優占し、河床には石または巨石が広く分布する。砂利は少ない。流路上空が植生に覆われる割合が低い。
------	--	---	--	--

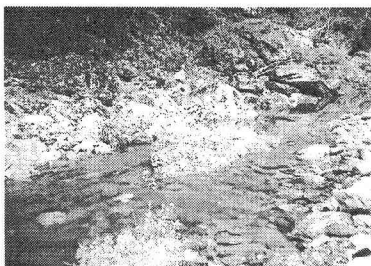


写真-1 A-1 区間の状況

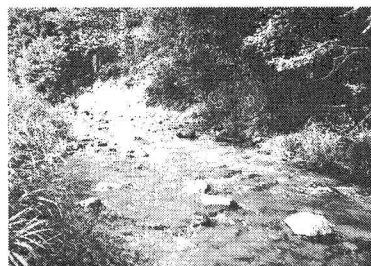


写真-2 A-2 区間の状況

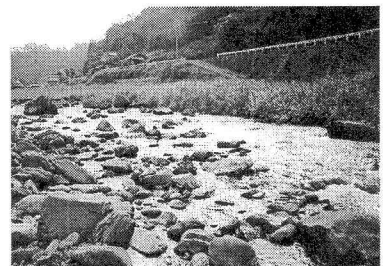


写真-3 B 区間の状況

4. 帝釈川ダムにおける放流手法の検討

(1) 河川環境整理と目標設定

減水区間の各地点で土砂供給量や流量に違いがあるため、区間毎に河川環境が異なり、フラッシュ放流による減水区間全体での同等の改善効果は期待できないと考えた。よって目標を設定するに当たり、地形や河床構成材料の状況、日照具合等を現地調査の結果から整理し、帝釈川の河川環境について類型化及び区分を実施した上で、何処で何が改善可能なのかを検証することとした。

まず河川環境の情報として河床勾配、河床型、河床構成材料、開空率（流路上空が植生等に覆われる割合）、そして現地調査結果からそこに生息する生物種について整

理した。（表-4 参照）

a) A区間の概況と目標設定

【A-1 区間の概況】

A区間の小さな支川（岩屋谷川）の合流前のA-1区間は周辺環境が渓谷山地であり開空率が低い。また粒径が大きな河床材が多く分布し、粗粒化の傾向にあり、河床型についても淵が多く分布している。

【A-1 区間における改善目標】

- ・糸状性藻類の掃流（アオミドロ等）

【A-2 区間の概況】

岩屋谷川合流後のA-2区間は周辺環境が水田、民家であり開空率が高い。また支川合流による土砂供給があり、砂利もA-1に比べ多く分布している。河床型についても

淵、平瀬、早瀬が同等に分布している。またこの状況はC-1, 2 区間の福柵取水堰付近の河川環境と類似しており、この自然区間がA-2 区間の改善目標区間となり得ることも確認した。

【A-2 区間における改善目標】

- ・糸状性藻類の掃流（アオミドロ等）
- ・魚類の産卵床に溜まるシルト等の除去
（魚類：オイカワ・カワムツ・ウグイ・アマゴ）
- ・アユの餌となる付着藻類の剥離更新

b) B区間の概況と目標設定

【B区間の概況】

B区間の途中にある堰（高さ 1.3m）で砂利が止められており、堰の下流では砂利が少ない。このように堰前後で河床構成材料の状況に違いがあるものの、その他はB区間全体で統一された河川環境を有している。

【B区間における改善目標】

- ・糸状性藻類の掃流（アオミドロ等）
- ・魚類の産卵床に溜まるシルト等の除去
（魚類：オイカワ・カワムツ・ウグイ・アマゴ）
- ・アユの餌となる付着藻類の剥離更新

また上記改善目標以外にも今後の現地調査の結果を待って、以下の事項についても各区間において改善目標となり得るかどうかを検証していく。

- ・アカザの生息環境の保護
- ・底生動物の種組成、生息環境の改善

(2) 放流手法の検討

(1)で各区間における改善目標を設定したが、ここではその改善目標を達成するための放流手法の検討方針を改善目標毎に報告する。なお放流量については今後の自然流況の状況及び現地放流実験から、実際に下記の【放流量の目安】に示す現象を調査地点で確認し、その時の流速、流量から改善目標毎に検討していくものとする。

a) 魚類の産卵床に溜まるシルト等の除去

【放流時期】

産卵期前と産卵期初旬

【放流量の目安】

魚類が産卵床として好む粒径の河床材が転がる流量

（産卵床として好む粒径^{5) 6)}

オイカワ・カワムツ：5～20cm, ウグイ：5～10cm,
アマゴ：0.7～2.5cm)

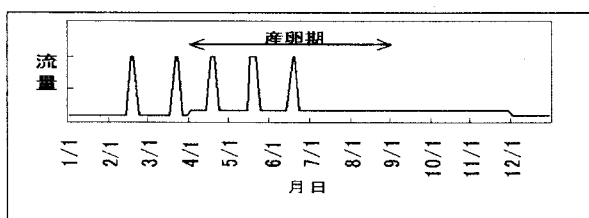


図-6 オイカワ・カワムツ・ウグイに着目した放流イメージ

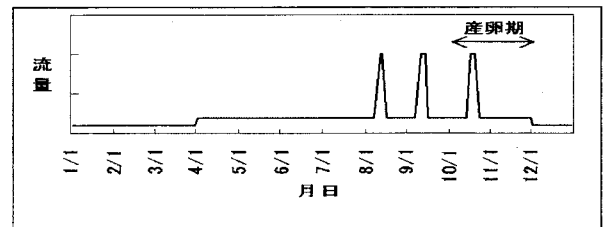


図-7 アマゴに着目した放流イメージ

b) アユの餌となる付着藻類の剥離更新

「糸状性藻類の掃流」についても上記目的と同様の内容とする。

【放流時期】

帝釈川其自然流況に近似（2月～9月に月1回程度）

（付着藻類の剥離更新に適した放流時期・頻度に関する情報が無いため、帝釈川其自然流況に近似させることとした。自然流況とは帝釈川ダムの過去10年間の流入量に着目し、帝釈川の洪水発生頻度を抽出した。その結果2月から9月にかけて、月にほぼ1回程度の洪水が発生していることが分かった。）

【放流量の目安】

改善箇所において流速70cm/sec以上を5分～10分程度持続できる流量⁷⁾

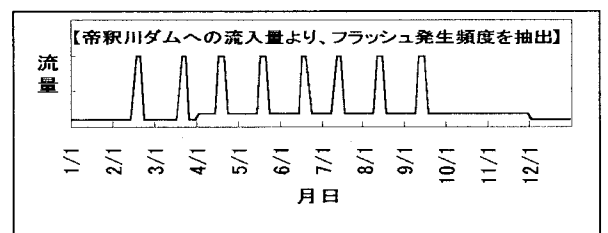


図-8 付着藻類に着目した放流イメージ

c) アカザの生息環境の保護

【放流時期】

産卵期を含む活動が活発な時期

【放流量の目安】

産卵床に溜まるシルトをフラッシュできる流量。ただし生息場である浮き石の間隙を埋めない程度

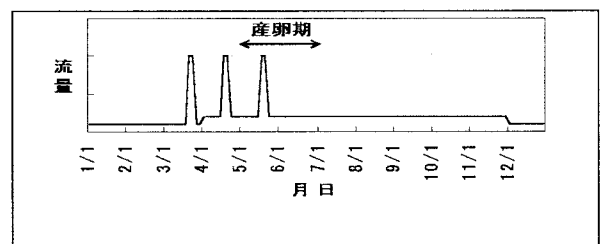


図-9 アカザに着目した放流イメージ

d) 底生動物の種組成、生息環境の改善

【放流時期】

帝釈川其自然流況に近似（2月～9月に月1回程度）

【放流量の目安】

帝釈川の自然流況に近似（自然流況の平水流量と最大流量の比から減水区間における放流量を想定）

なお底生動物に着目した放流イメージについては図-8と同様とする。

e) 重ね合わせのイメージ

最終的には上記 a)～d) の放流イメージを重ね合わせた1つの放流イメージを作成した。（図-9 参照）

ただしこの放流イメージについては、上記着目生物以外の生物に悪影響を及ぼさないかどうかを今後検証していく必要がある。

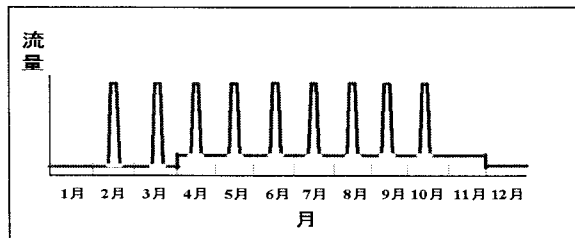


図-9 重ね合わせの放流イメージ

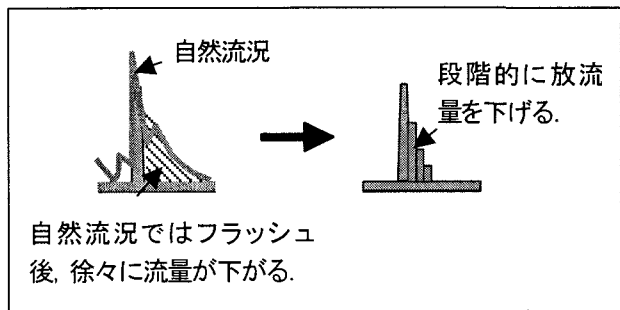


図-10 放流波形検討のイメージ

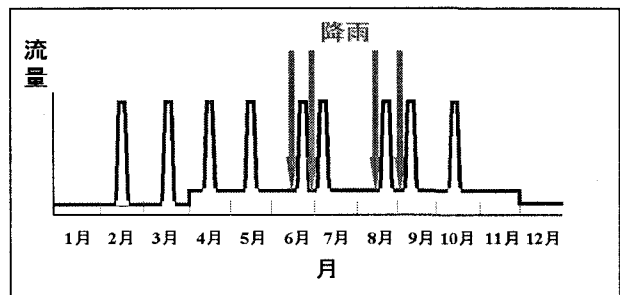


図-11 降雨時に合わせた追加放流イメージ

5. 成果と今後の課題

(1) 本検討の成果

本検討において以下の成果を得た。

- ①自然区間と減水区間（特に福柵川合流前）では糸状性藻類（アオミドロ等）の分布や稚魚の生息密度に違いあることが分かった。
- ②河川環境情報（河床構成材料、河床型、開空率等）から減水区間を類型化及び区分し、それぞれの区間での改善目標を設定できた。
- ③改善目標を達成するための放流手法検討の基本方針を提案できた。

(2) 今後の課題

次に放流手法検討に関する課題を以下に示す。

- ①改善目標毎に必要なピーク流量の検討を実施する。
（自然流況の状況及び現地放流実験の結果における河床構成材料の移動、付着藻類の剥離等の状況を現地で確認した上でピーク流量を設定する。）
- ②全ての改善目標について優先順位を設定し、その順位に従い各放流イメージの重ね合わせを実施し、最終的な重ね合わせの放流イメージを作成する。
- ③重ね合わせの放流イメージを基本として、放流量を段階的に変化させるなど、自然洪水に近似させた放流波形の検討を実施する。（図-10 参照）
- ④自然流況を勘案した放流バリエーションの検討を実施する。（降雨時に合わせた追加放流等：図-11 参照）
- ⑤最終的に選択した放流手法が河川環境に与える副作用（危険性）について検証する。

謝辞：本研究を進めるにあたり、貴重なご助言、ご指導をいただいた委員長の池淵周一京都大学防災研究所教授をはじめとする発電放流量研究会の委員の先生方、データのご提供をいただいた中国地方整備局の担当者の方々および本調査研究にご協力くださった関係者の方々にこの場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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No665, pp58-62, 2001
- 2) 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
- 3) 香川尚徳：ダム貯水による水質変化、応用生態工学2(2), pp141-151, 1999
- 4) 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
- 5) 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、京都大学生理生態学業績, pp1-48, 1958
- 6) 千田稔：自然的河川計画、理工図書, pp47-49, 1991
- 7) 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

(2002. 4. 15 受付)