

河道外貯留ダムの類型化とその河川の土砂連続性への影響に関する研究

Classification of Off-Stream Dams and Their Effects on Riverine Sediment Continuity

石塚淳也⁽¹⁾・小林草平・竹門康弘・角 哲也

Junya ISHIZUKA⁽¹⁾, Sohei KOBAYASHI, Yasuhiro TAKEMON and Tetsuya SUMI

(1) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(1) Graduate School of Engineering Department of Urban Management, Kyoto University

Synopsis

Off-stream reserving system is a countermeasure of reservoir sedimentation, downstream degradation, river continuum, and so on. We extracted off-stream reservoirs from all dams in Japan, and classified them in three groups according to the main purpose of the reservoir. We revealed that the three groups can be distinguished by relationship between the main-stream catchment area and reservoir capacity. We also conducted field survey on riverbed sediment, water quality and benthic invertebrates in an off-stream reserve system, the Dodairagawa Dam, to examine its effects on riverine environment. Based on dimensionless shear stress and invertebrate community, natural riverbed condition was maintained in the downstream as well as the upstream of the system.

キーワード: ダム, 河道外貯留, ダムインパクト, 土砂連続性, 底生動物

Keywords: dam, off-stream reservoir, dam impact, sediment continuity, benthos

1. はじめに

現在, 日本国内では数多くのダムや堰堤, 溜池などが建設・供用され, 治水や利水において大きな役割を果たしている. 特にダムについては, およそ 3,000 基のダムが国内に存在し, 洪水調節や発電, かんがいなど運用の目的は多岐にわたる. このように国内には多数のダムがあるが, 長年運用していかなくで様々な問題が顕在化している. 角ら (2004) は, 日本において主流である多目的ダムでは常時貯水することにより堆砂の進行が加速し, 土砂管理対策費の増大を招いていると指摘した. その上で, 治水・利水分離型ダム (本川に治水専用ダム, 支川に利水専用ダムを設ける) を提案し, 土砂流入量が一定のレベルを超えた場合には維持管理費が軽減されるとしている. また, 藤田ら (2009) はダムによる水質の変

化や土砂供給量の減少などが, ダム下流の生態系や河川地形に大きな影響を及ぼしていることを報告している.

上述した様々な問題への対策は, 国内におけるダム管理の主要な課題として研究・実践が進められている. 例として, 土砂・水質問題対策として通砂やフラッシング, 排砂バイパストンネルなどが挙げられる. また下流河川の環境改善等のためにフラッシュ放流なども行なわれている.

さらに, 先述した事例の他にこれらの問題への対策として挙げられるものに, 河道外貯留方式がある. 2. において詳しく述べるが, 河道外貯留方式は本川をせき止める従来のダムの型式をとらないため, 土砂や有機物などが妨げられることなく流下し, 本川内の生物の往来も維持されるという利点がある. しかし, 河道外貯留方式に関する研究は, 他の事例に

Table 1 Features of off-stream dam and storage dam

		河道外貯留方式ダム	一般的なダム
ダム機能	治水機能	導水路の能力によって制限あり	期待される効果に応じて設定可能
	利水機能	期待される効果に応じて設定可能	
環境	土砂	本川内の連続性は維持	土砂をせき止める
	有機物・栄養塩	貯水池への流入を防ぐことができる	貯水池に流入する
	生物	本川内の連続性は維持	連続性を遮断
	上流環境	大きな分派施設は要しないので影響は小さい	止水化、堆砂による河床上昇
	下流環境	土砂連続性維持により影響は小さい	土砂供給量の減少により河床低下
コスト	建設コスト	導水路などにより増大	従来の通り
	維持コスト	堆砂対策コストは減少するが導水路管理のコスト	堆砂対策へのコスト

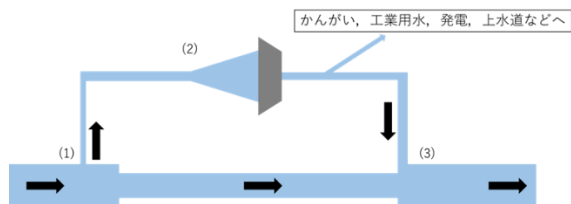


Fig. 1 Schema of off-stream reservoir

比べ進んでいないのが現状である。

2. 河道外貯留ダムについて

本研究では河道外貯留方式ダムを、「堤高 15 メートル以上のダムで、(1)本川より分流し、(2)河道外に設けられた貯水池に導水・貯水し、(3)放流後は本川に再度合流するもの」と定義した[Fig. 1]。河道外に設けられた貯水池は、周囲を堤防で囲った人造湖、もしくは支川に作られた従来型式のダムの形をとる。

河道外貯留方式ダムと、従来の本川を堰き止めて作られる一般的なダムとの相違点を Table 1 にまとめた。

ダム機能の観点から比較する。治水機能については、河道外貯留方式、従来のダムの両方で期待される効果に応じて洪水調節能力を設計できる。しかし、河道外貯留方式の場合は導水路の能力によって治水機能が制限されることが考えられる。また利水機能については、設計に応じて従来形式のダムと同等の効果を発揮できると考えられる。

次に環境の観点から比較する。一般的なダムは本川をせき止めて作るため洪水時に流下してくる大量の土砂や有機物、栄養塩などをせき止めてしまう。また回遊性の生物の往来も妨げてしまう。一方で、河道外貯留方式の場合は、土砂などは分土工によっ

て貯水池への流入を防ぐことが可能である。また、本川をせき止める必要はないので、回遊性生物の移動を妨げることもない。さらに、一般的なダムにみられる上流域の止水化や河床上昇は、河道外貯留方式の場合はその影響を小さくすることが期待される。下流環境についても、土砂供給を妨げないので河床低下などの影響は最小限に抑えることができると考えられる。しかし、これらのメリットは分流施設の構造によって大きく変わってしまうことが考えられる。そのため、分流施設は河道外貯留方式において重要な要素の一つである。

コストの観点から比較する。河道外貯留方式はダム本体のほかに、分流施設や導水路、放水路などを建設・維持する必要がある。そのため建設・維持管理のコストが増大してしまう。貯水池内堆砂対策に関して、角ら (2004) は貯水池容量に対して土砂流入量の大きいダムに対しては、計画初期からの治水・利水分離型での運用がコスト的にも有利であるとしている。河道外貯留方式の場合も同様に考えると、流下土砂量の大きい河川の場合は、河道外にダムを設ける場合の方が、堆砂対策による貯水池の維持管理コストの軽減につながる可能性が高いと考えられる。

3. 河道外貯留ダムの抽出・類型化

3.1 河道外貯留ダムの抽出

ダムを抽出するにあたって、ダム年鑑 2013 を用いた。

第一段階として、直接流域外から導水しているダム、つまり、間接流域を持つダムおよそ 300 基を抽出した。間接流域とは、本来ダムに直接流入する集水区域（直接流域）ではなく、導水路などを通して流域外から導水される集水区域であり、河道外貯留方

式の場合、取水する本川の流域にあたる。次に、間接流域面積が総流域面積（直接流域面積と間接流域面積の和）に占める割合 r について考える。直接流域面積を A_1 、間接流域面積を A_2 とすると、 r は次の式で表される。

$$r = \frac{A_2}{A_1 + A_2} \quad (1)$$

河道外貯留方式の性質上、水量の多い本川から導水するため、 $A_1 \leq A_2$ となると考えられる。そのため、総流域面積に占める間接流域面積の割合が 5 割以上（つまり $0.5 \leq r < 1.0$ ）のダムを抽出した。

一定以上の規模を持つダムを抽出するため、間接流域面積が 1.0km^2 以下のものや、有効貯水容量が 100 千 m^3 以下のものを除外した。このうち、有効貯水容量 100 千 m^3 以下であったものはすべて発電目的のダムであった。

最後に、国土地理院地図等を用いて各ダムがそれぞれ河道外貯留方式であるかを確認した。判断の基準としては、

- ・流域外へ導水していない
- ・間接流域がダム間導水によるものではない
- ・発電用ダム群ではない

とした。ダム間導水とは、ダム湖とダム湖を直接結ぶ導水路があり、それを用いて水を融通していることをいう。また、ここでいう発電用ダム群とは上流にある発電所から放水された水をただちに取水し貯水するという形式のダム（これを調整池という）が連続していることをいう。

以上の結果、37 基のダムを抽出した。抽出したダムを Table 2 に示す。

3.2 河道外貯留ダムの類型化

(1) 類型化手法

ダムの目的によって貯水池の構造や河川環境への影響は変わってくるため、目的による類型化を行なった。3つのグループを用意し、それぞれ

- ・分類 1…主に治水を目的とするダム
- ・分類 2…主に利水を目的とするダム
- ・分類 3…発電用調整池

とした。

類型化に関して、ダム年鑑 2013 にそれぞれダムの目的（F：洪水調節・農地防災，N：不特定用水，A：かんがい，特定（新規）かんがい用水，W：上水道用水，I：工業用水道用水，P：発電，S：消流雪用水，R：レクリエーション）が記載されているため、その目的に基づいて分類した。また多目的ダムの場合は管理者によって主となる目的を判断した。

さらに、分類 2 のうち、既に完成しているダムについては、高頻度の衛星写真データを提供している

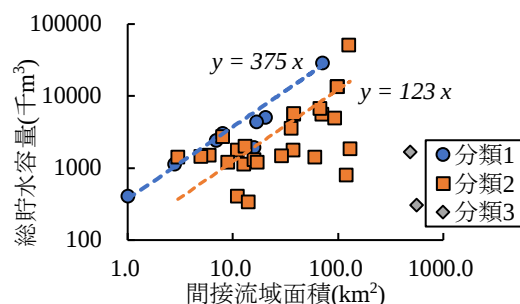


Fig. 2 Relation between indirect catchment area and capacity

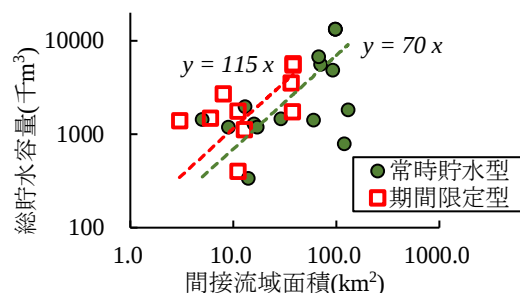


Fig. 3 Relation between indirect catchment area and capacity in class 2

Web サービスである「Planet」を利用し、直近 3 年間の 36 か月の衛星画像から貯水池の運用状況を確認した。そして 1 年を通して貯水量を維持しているダム（常時貯水型）と、期間によっては貯水池がほぼ空になるダム（期間限定型）に細分化した。

(2) 類型化の結果

抽出によって得られた 37 基のダムを 3 つのグループに分類し（分類 1 が 8 基，分類 2 が 27 基，分類 3 が 2 基），間接流域面積と総貯水容量の関係をプロットした[Fig. 2]。

分類 1 は概ね累乗近似曲線周辺に集まっており、一定の傾向があるといえる。ダムの洪水調節能力を示す指標である相当雨量（総貯水容量を間接流域面積で除した値）についてみると、線形近似を用いると分類 1 は 375mm ，分類 2 は 123mm となっている。このことから河道外貯留方式でも洪水調節機能を主目的とするダムは相当雨量が大きく設計されていることが確認された。

分類 3 は発電用調整池であるため、貯水池の持つ役割が貯水するというよりも発電施設に水を送るというものであるため、大きな貯水池は必要ない。そのため広大な間接流域を持ちながら、総貯水容量は小さい傾向となった。

分類 2 の細分化については、南摩ダム（間接流域面積 126.9km^2 ，総貯水容量 $51,000$ 千 m^3 ）は現在計画中のダムであるため、今回の細分化の対象には含まなかった。

Table 2 List of off-stream dams in Japan

ダム名	河川名	目的	管理	分類	直接流域 面積(km ²)	間接流域 面積(km ²)	総貯水 容量(千m ³)	有効貯水 容量(千m ³)
武徳	天塩川水系タヨロマ川	A	北海道	2-期間限定	3.3	8.0	2,752	2,569
御料	天塩川水系長根川	A	北海道開発局農水部	2-期間限定	7.9	38.0	5,780	5,575
新区画	石狩川水系ニタパチウマナイ川	A	北海道開発局農水部	2-期間限定	5.1	38.0	5,600	5,223
古川	石狩川水系古川	P	北海道電力	3	12.8	557.0	307	147
稲田	石狩川水系稲田川	A	北海道	2-期間限定	2.0	11.0	410	338
しろがね	石狩川水系オヤウンナイ川	A	北海道開発局農水部	2-常時貯水	6.0	67.0	6,800	6,676
化女沼	北上川水系長者川	FN	宮城県	1	1.8	8.0	3,020	2,880
煙山	北上川水系岩崎川	FA	東北農政局	2-期間限定	7.8	3.0	1,410	1,280
上大沢	北上川水系上大沢川	FW	宮城県	1	1.1	1.0	410	340
釈迦池	米代川水系長木川支流	A	大館土地改良区	2-期間限定	1.1	6.0	1,500	1,500
相野々	雄物川水系岩野目沢川	A	東北農政局	2-期間限定	1.8	36.0	3,568	3,556
仏沢	雄物川水系善知鳴川支流	A	秋田県	2-期間限定	1.4	12.7	1,128	1,128
篠田溜池	雄物川水系新城川支流	A	秋田県	2-常時貯水	0.7	14.0	341	341
六ヶ村	子吉川水系赤田川支流	A	内越土地改良区	2-期間限定	1.7	11.0	1,790	1,790
前川	最上川水系前川支流	FN	山形県	1	4.5	16.7	4,400	4,100
飯田	那珂川水系飯田川	FNW	茨城県	1	13.8	7.0	2,440	2,240
大塩	利根川水系南牧川	FA	関東農政局	2-常時貯水	0.5	130.0	1,841	1,748
南摩	利根川水系思川	FNW	水資源機構	2-常時貯水	12.4	126.9	51,000	50,000
三名川	利根川水系三名川	A	群馬県	2-常時貯水	7.3	60.0	1,426	1,283
鹿沢	利根川水系我妻川	P	東京電力	2-常時貯水	2.5	70.0	5,634	5,536
道平川	利根川水系道平川	FNW	群馬県	1	7.2	20.4	5,100	4,900
大野	利根川水系大野川	P	東京電力	3	5.9	482.0	1,692	467
小仁熊	信濃川水系東条川	FNW	長野県	1	4.9	15.9	1,930	1,610
城原	信濃川水系横平川	A	北陸農政局	2-常時貯水	0.8	9.0	1,200	1,170
大谷内	信濃川水系釜川河道外	A	北陸農政局	2-常時貯水	0.4	17.0	1,206	1,200
足羽川	九頭竜川水系都子川	F	近畿地方整備局	1	34.2	71.0	28,700	28,200
片田	雲出川水系長野野川	W	津市	2-常時貯水	0.5	29.0	1,478	1,293
芹川	淀川水系芹川	A	滋賀県	2-期間限定	1.2	37.5	1,781	1,751
須川	淀川水系前川	W	奈良市	2-常時貯水	5.2	119.0	797	793
徳畑	加古川水系野洲川	AI	近畿農政局	2-常時貯水	3.8	98.1	13,500	13,328
花屋	加古川水系仕出原川	AI	近畿農政局	2-常時貯水	3.8	98.1	13,500	13,328
茂利	加古川水系仕出原川	AI	近畿農政局	2-常時貯水	3.8	98.1	13,500	13,328
西原	吉井川水系長谷川	AWI	中国四国農政局	2-常時貯水	1.2	13.0	2,003	1,867
塩手池	吉井川水系広戸川	A	塩手池土地改良区	2-常時貯水	0.1	5.0	1,455	1,377
長谷	多々良川水系長谷川	W	福岡市	2-常時貯水	1.8	93.0	4,920	4,850
久原	多々良川水系多々良川	W	福岡市	2-常時貯水	0.9	16.0	1,300	1,460
都川内	伊万里川水系都川内川	FNI	佐賀県	1	0.5	2.8	1,130	1,110

細分化後の間接流域面積と総貯水容量の関係をプロットしたものが Fig. 3 である。期間限定型は間接流域面積が 40km² 未満の範囲に分布している。期間限定型の貯水池は、農繁期などに必要な量を貯水していればよく、出水期にのみ取水をすればよいから、大きな間接流域が必要ないと考えられる。実際に、期間限定型に分類されたダムの多くは、北海道や秋

田県などの降雪量の多い地域のダムであり、雪解け水などによる春先の増水を利用して取水・貯水を行っていると考えられる。そのため、常時貯水型よりも期間限定型のほうが相当雨量も 115mm と大きい。一方で、常時貯水型は間接流域面積が 40km² より大きい範囲にも分布している。常時貯水型はかんがい期を通じて常に貯水量を確保しなければならない

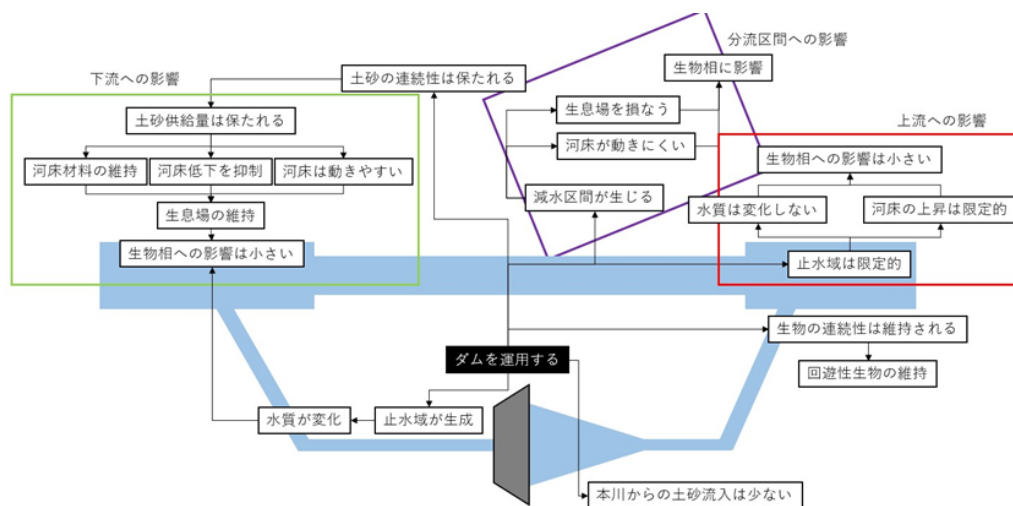


Fig. 4 Impact response flow of off-stream dam

いため、より広い集水域から導水し貯水する傾向があるといえる。しかし、間接流域面積が 40km² 未満の範囲も常時貯留型のダムは分布している。この原因として考えられるのは、総貯水容量が小さいため大きな間接流域を必要としないことが挙げられる。また細分化の過程で用いた衛星画像は直近 3 年分のみであり、その間に工事や水不足による水位低下が見られた場合や、雲などによって貯水池の状態が確認できなかった期間もあるため、細分化の結果が正しい運用方法を示していない可能性もある。

以上のように、類型化を行なうことで、河道外貯留方式ダムが主目的に応じてどのような数値的傾向を持つのかを明らかにすることができた。また目的によって取水するタイミングや、河川環境への影響も変わると考えられるので、この類型化によって河川にどのような影響が生じているのかを予測することも可能になった。

4. 河道外貯留ダムによる河川環境への影響の考察

河道外貯留方式ダムの運用によるインパクト・レスポンスフローを Fig. 4 に示す。河道外貯留の場合、本川に減水区間が出現し、その区間についてのインパクトとレスポンスについても検討する必要がある。

分水工上流では、貯水池や止水域の形成があったとしても規模が限られるため、堰上げによる水位や河床の上昇はそれほど大きくならず、流れや地形の変化による生物への影響も小さいと考えられる。また、分水工において水と土砂をある程度分離することで、下流へ土砂を流す一方で貯水池への土砂流入を防ぐことができると考えられる。

分水工下流の減水区間では、分水工における土砂

の捕捉が小さいため、土砂が分水工を通過することで土砂の減少やそれによる河床低下は起こりにくことが考えられる。一方、分水工での取水により水量が減少し、それによって掃流力が低下し、堆積が促進され生物生息場や生物相に影響が及ぶことが考えられる。場合によっては完全に取水することにより本川が完全に乾燥することも考えられる。しかし、この影響は導水の目的や分派比、導水方式によるため、一概にいうことはできない。

放流水合流後の区間は、水量が回復することが減水区間と大きく異なる。減水区間と同じく、土砂の供給は保たれ河床低下は起こりにくいため、本来の流れや河床地形、生物生息場が維持されやすいと考えられる。しかし、河道外に設けられた貯水池では止水域が形成され、そこには栄養塩や有機物が供給されるため水質が変化しやすい。放流水合流後の区間ではそうした水質変化の影響を受けることが考えられる。ただし、これも分派比や導水方式によって影響の度合いが変わってくる。

本川区間では、分水工の設計を工夫したり魚道を設置することによって、減水区間が完全に乾燥しない限りは回遊性の生物の往来も可能であり、生物連続性は維持されていると考えられる。

5. 台湾における事例

台湾は日本よりも急峻な地形をしており、地質的には風化し脆くなった変成岩と堆積岩で構成されている。さらに、台風による年間 2,500mm 以上の降水量と、プレート活動によって頻発する地震によって、河川における土砂生産活動は極めて活発である。したがって、台湾でも貯水池における土砂管理は重要な課題のひとつであるといえる。

Table 3 Distribution efficiency of flowing sediment at San-Moon Lake and Coral Lake

	日月潭	珊瑚湖
本川の流域面積 (km ²)	501	523
貯水池容量 (10 ⁶ m ³)	165.4	137.8
本川の流量Q1 (10 ⁶ m ³ /yr)	1304.6	1391.6
貯水池への取水量Q2 (10 ⁶ m ³ /yr)	644.3	411.5
本川の土砂流量Qs1 (10 ⁶ m ³ /yr)	7.18	13.4
貯水池の堆砂量Qs2 (10 ⁶ m ³ /yr)	0.25	1.63
土砂の分派比 Qs2 : Qs1	1 : 28.7	1 : 8.22
流量の分派比 Q2 : Q1	1 : 2.02	1 : 3.38
土砂分派効率 Qs2/Q2 : Qs1/Q1	1 : 14.2	1 : 2.43

Wu (1991)は、河道外貯留方式は貯水池への土砂の流入をコントロールできる点で効率的であるとし、河道外貯留方式である珊瑚湖（烏山頭ダム、農業かんがい）と日月潭（発電）における水と土砂の分派比について解析した[Table 3]. 結果、日月潭では貯水池と本川の土砂分派効率が 1:14.2 となり、効率的に土砂の流入を防ぐことができた。その原因として考えられたのが、本川に設けられた取水ダムの構造である。取水ダムである Wu-Cheih ダムは堤高が 58 メートルの重力式ダムであり、このダムによって土砂を沈殿させ、日月潭への土砂流入量を減らしている。しかし、その代償として Wu-Cheih ダムは 6 年以内に満砂状態となるという。一方の珊瑚湖でも貯水池と本川の土砂分派効率は 1:2.43 となりこちらも本川に設けられたダムよりも土砂の流入を防ぐことができたことを示した。

他の事例として、河道外貯留方式である寶山水庫、寶山第二水庫（ともに目的は上水道用水）は、分水施設に沈砂地を持っており、土砂の流入量を減らす取り組みが行なわれている。

6. 道平川ダムでの調査による影響の評価

6.1 道平川ダムについて

道平川ダムは群馬県甘楽郡下仁田町にある群馬県が管理する多目的ダムであり、類型化では分類 1 に区分される。利根川水系市野萱川の右支川である道平川に建設され、市野萱川上流の屋敷川、市野萱川、相沢川にそれぞれ取水ダムを設け、総延長 2,945 メートルの導水トンネルを経由して道平川ダムまで導水している[Fig. 5]. 3 つの分流施設を用いて取水・導水している例は全国的に見ても珍しい。ダムの目的は、

- F : 市野萱川及び鑛川上流部の水害の軽減
- N : ダム下流の既得用水の安定化、及び河川環境

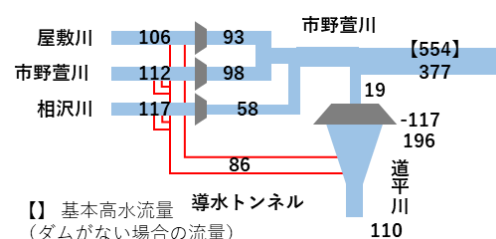


Fig. 5 Discharge distribution of the Dodairagawa dam

の維持

W: 下仁田町、富岡市、甘楽町、旧吉井町に対する上水道用水の確保・供給となっている。

6.2 道平川ダムでの調査

2018 年 11 月 21~22 日に、この道平川ダム及びその周辺で現地調査を行なった。調査地点は、各取水ダムの上流と下流の 6 地点、道平川合流前後の合計 8 地点とした。

調査内容は、河床材料の粒径分析、底生動物の採取を行なった。また各取水ダムではドローンを用いて上空からの写真撮影を行なった。

6.3 河床材料

粒径加積曲線を Fig. 6, 勾配と代表粒径 $D_{60}(\text{mm})$ の関係をプロットしたものを Fig. 7 に示す。自然河川のデータは三國谷・知花 (2011) のグループ D (中規模河床波+厚い堆積層) の値を用いた。またダム河川及び自然河川の一部のデータは波多野ら (2005) の値を用いた。

各取水ダムの上下流、及びダム放流水の合流前後での大きな粗粒化傾向はみられないといえる。特に相沢川取水ダムの上下流では粒径加積曲線・60%粒径がともに近く、取水ダムによる影響は小さいと考

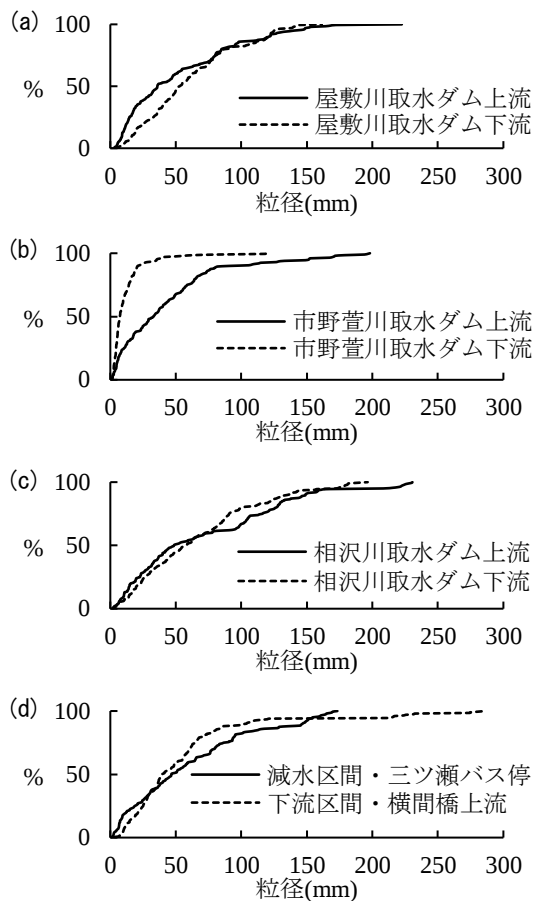


Fig. 6 Grain size accumulation curve, (a) Yashikigawa, (b) Ichinokayagawa, (c) Aizawagawa, (d) main channel

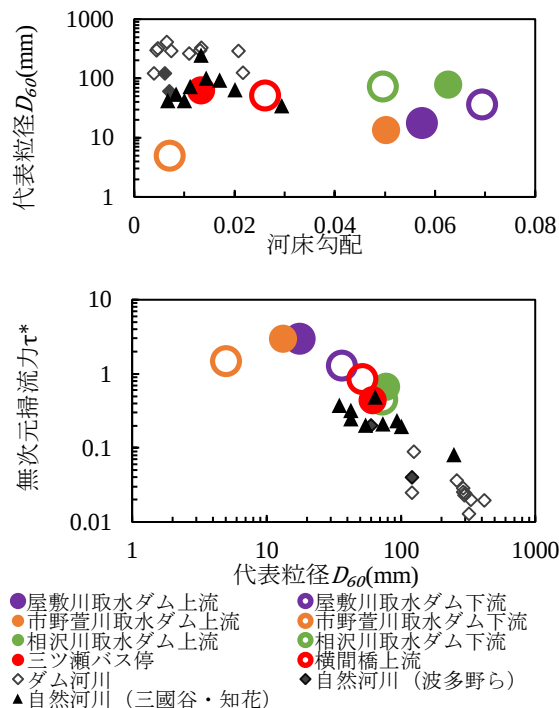


Fig. 7 Relation between bed slope and representative grain-diameter, dimensionless shear stress

えられる。一方、屋敷川取水ダム上下流では、下流で60%粒径が大きいが、勾配によるものと考えられる。市野萱川取水ダムでは、下流において上流よりも60%粒径は大幅に小さくなり、粒径加積曲線も異なるものとなった。これは取水ダム下流における勾配が0.0070と極めて小さく、粒径の小さな土砂でも堆積しやすいことが理由であると考えられる。市野萱川の放流水合流前後では、下流の60%粒径のほう小さくなっており、本川内では土砂連続性が維持されているといえると考えられる。

6.4 無次元掃流力

無次元掃流力は河床粒径に対する掃流力の大きさであり、河床材料の移動しやすさや安定性を評価する指標として用いられる。今回の道平川ダムにおける無次元掃流力の算出では、河道を十分に幅広な長方形断面と仮定した上で計画高水流量と Google Earth より得た川幅を用いてマニング公式を用いて求めた水深 H (m)、河床材料粒径として60%粒径 D_{60} (m)、河床材料の水中比重 $S = 1.65$ を用いた。結果を、勾配と代表粒径の関係と同様に Fig. 7 にプロットした。ダム河川の場合は代表粒径に対して無次元掃流力が小さいため、土砂の移動がしづらい安定した河床になっていることがわかる。道平川ダムのデータは市野萱川取水ダム上下流及び屋敷川取水ダム上流を除いて自然河川の近傍にあるといえる。つまり、分派によって下流が粗粒化・河床安定化しているという影響はみられなかったと考えられる。一方、屋敷川取水ダム上流と市野萱川取水ダム上下流では、無次元掃流力は大きく粒径が小さい結果となった。これは、採取地点の勾配がもとより緩かったこと、取水ダムの影響で河床の勾配が低下し、河床粒径が小さくなったことが理由として考えられる。また、市野萱川取水ダムの堆砂には大きな粒径の土砂も多く堆積していたため、大きな粒径の土砂は取水ダムによってとどめられている可能性もある。

6.5 底生動物

底生動物の調査で得られた各地点の底生動物の一覧を Table 4 に示すとともに、各地点の種数及び個体数のグラフを Fig. 8 に示す。

市野萱川取水ダム下流は、地下水の流入により河床材料に黄色の付着物がみられるなどの水質の変化がみられたため、地下水の流入前後でそれぞれ底生動物の採取を行なった。地下水流入前後の分類群数、個体数を比較すると、いずれも減少していることがわかる。屋敷川取水ダム下流でも河床材料に黄色の付着物がみられたため、分類群数と個体数が上流に比べ減少しているのは水質の変化が一因となってい

Table 4 List of benthos collected at Dodairagawa dam

分類	種	採集日	採集努力量	地点	2018.11.21		2018.11.22				
					瀬30×30cm×3		瀬1分				
					屋敷川取水 ダム上流	屋敷川取水 ダム下流	市野雲川取水 ダム上流	市野雲川取水 ダム下流	市野雲川取水 ダム下流 (地下水)	三ツ瀬 バス停	横間橋 上流
分類	種	採集機能群	生活型								
昆虫以外	ナミウズムシ	捕食者	粘着菌	1			1				1
	ミミズ類	収集食者	掘潜					4			
カゲロウ目	トビイロカゲロウ属	収集食者	菌	6				2		2	
	フタスジモンカゲロウ	収集食者	掘潜	3	1		5				
	クロマダラカゲロウ	刈取食者	菌	4			2	5		2	10
	オオマダラカゲロウ	刈取食者	菌	2				2		1	
	ホソバマダラカゲロウ	刈取食者	菌					1		1	
	アカマダラカゲロウ	刈取食者	菌	1						1	25
	ヒメフタオカゲロウ属	刈取食者	遊泳	3		1		3	8	7	
	ヨシノコカゲロウ	刈取食者	遊泳	3							
	フタバコカゲロウ	刈取食者	菌							28	5
	シロハラコカゲロウ	刈取食者	遊泳	17			23	28	6	80	27
	フタモンコカゲロウ	刈取食者	遊泳								3
	ウデマガリコカゲロウ	刈取食者	遊泳					1			1
	ミヤマタニカワゲロウ属	刈取食者	滑行	3			1				
	ミドリタニカワゲロウ	刈取食者	滑行				1				
	ウエノヒラタカゲロウ	刈取食者	滑行							1	
トンボ目	エルモンヒラタカゲロウ	刈取食者	滑行	7			6	10		1	13
	ヒメクロサナエ	捕食者	掘潜				1				
カワゲラ目	ヒメカワゲラ属	捕食者	菌							1	
	アミメカワゲラ科2種	捕食者	菌	3				15			1
	モンカワゲラ属	捕食者	菌	1			1	1			
	エダオカワゲラ属	捕食者	菌		1					2	
	カミムラカワゲラ属	捕食者	菌	1	1		1	3		1	3
	クラカケカワゲラ属	捕食者	菌	1						1	1
	ミドリカワゲラ科1種	捕食者	菌					4	3	3	1
	シタカワゲラ科1種	破碎食者	菌	43			46	26	1	3	
	フサオナシカワゲラ属	破碎食者	菌	1	3		1		3	5	3
	ユビオナシカワゲラ属	破碎食者	菌							2	
	オナシカワゲラ属	破碎食者	菌					5			
	クロカワゲラ科1種	破碎食者	掘潜	10	2		8	8	13	21	
	ホソカワゲラ科1種	破碎食者	掘潜				1	9	2		5
ヘビトンボ目	タイリククロスジヘビトンボ	捕食者	菌					1			
	ヘビトンボ	捕食者	菌	1	6		2			1	
トビケラ目	ヒロアタマナガレトビケラ	捕食者	菌							3	2
	クレメンズナガレトビケラ	捕食者	菌	3			1	2			
	タシタナガレトビケラ	捕食者	菌					1			
	カワムラナガレトビケラ	捕食者	菌						2	3	
	キノナガレトビケラ	捕食者	菌	1							1
	ニッポンナガレトビケラ	捕食者	菌				3			9	5
	トランスキナナガレトビケラ	捕食者	菌		1			8	1	1	4
	カワリナガレトビケラ	捕食者	菌	1			3		2	1	
	ヤマトビケラ属	刈取食者	携巢					13		1	
	ヒゲナガカワトビケラ	濾過食者	造網							3	
	タニガワトビケラ属	濾過食者	造網								
	ナミコガタシマトビケラ	濾過食者	造網						1	4	22
	ミヤマシマトビケラ属	濾過食者	造網							1	1
	ウルマーシマトビケラ	濾過食者	造網					3	1	14	8
	セリーシマトビケラ	濾過食者	造網	5	5	6		1	1	2	4
コウチュウ目	ナカハラシマトビケラ	濾過食者	造網							2	
	シロフツヤシマトビケラ	捕食者	造網		1						
	ウエノマルツツトビケラ	刈取食者	携巢	1							
	サトウカクツツトビケラ	破碎食者	携巢	8	2	2				2	
	クロツツトビケラ	刈取食者	携巢	1							
	オナガミズスマシ	捕食者	菌					1			
	ケシマルハナノミ	破碎食者	菌							1	
	ヒメドロムシ科数種	収集食者	菌	1				8		4	7
	ウスバガガンボ属	濾過食者	造網	1				16		3	4
	ヒゲナガガガンボ属	捕食者	掘潜	1			2	2	3		1
	Dicranota属	捕食者	掘潜	1							1
	ホソカ属	収集食者	遊泳								1
	アシマダラブユ属	濾過食者	菌			6				3	1
	ユスリカ科多様			16	5			1		50	90
	サツマモンナガレアブ	捕食者	掘潜			3	8	3		2	3

ると推測できる。

ダム河川では、トビケラの卓越がみられる傾向があるが、分派後である三ツ瀬バス停、横間橋上流ではその傾向がみられなかったため、土砂の移動が活発であるといえる。

各地点の生活型組成を Fig. 9 に示す。一般的に、ダム下流の底生動物は造網型のトビケラなどが多く、滑行型のヒラタカゲロウや掘潜型が少ないという傾向がある(池淵, 2009)。道平川ダム各地点を見てみると、造網型が卓越している傾向は認められず、滑

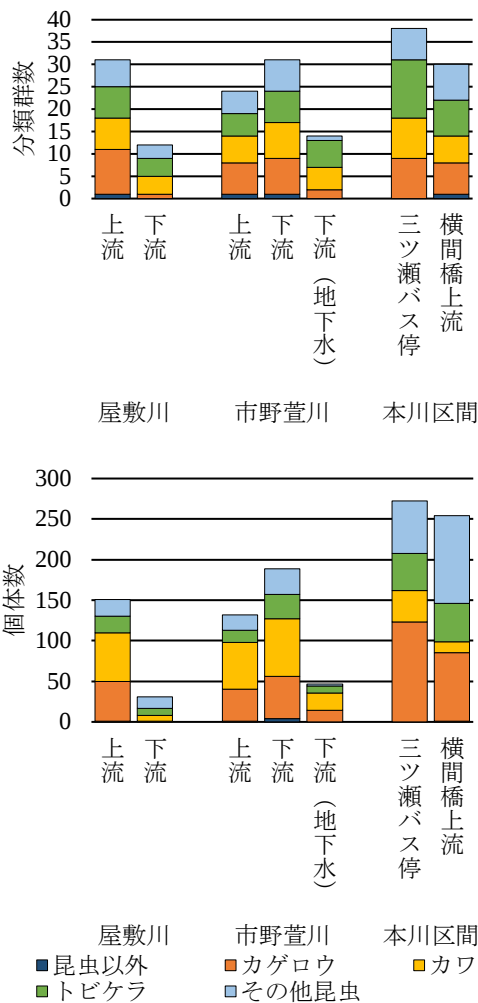


Fig. 8 Taxa and population of benthos

行型や掘潜型が顕著に少ないという傾向も認められなかった。そのため、各取水ダム上下流及び本川区間では土砂移動の活性が保たれていて、土砂連続性は維持されていると考えられる。

7. 結論・今後の課題

本研究では、類型化及び調査によるデータと他の型式のダムとの比較を通して河道外貯留ダムの特徴とその防災・環境に対する効果について理解を深めた。その結果、国内には37基の河道外貯留ダムが存在し、それぞれがどの目的で運用されているのかを把握することができた。また、河道外貯留ダムのひとつである道平川ダムに関して調査・分析を行なうことで、従来型式のダムにみられた下流における河床材料の粗粒化や生息種の変化などの諸問題はみられないことを確認した。これらの結果は、河道外貯留方式が現在国内のダムで問題となっている土砂連続性や下流環境問題などの諸問題への対策として有効であるという予測を裏付けるものであると考えら

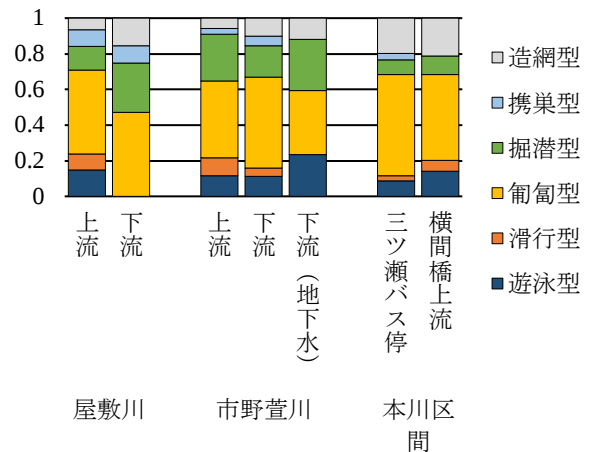


Fig. 9 Lifestyle composition of benthos

れる。

しかし、今回調査した道平川ダムでは、河道外貯留方式の利点のひとつである生物連続性の保持という観点では十分に機能していなかったといえる。洪水時の流量についてもデータを入手することができず、防災に関する効果を詳細に評価することができなかった。

利水を主目的としているダムについては、導水方式や貯水池構造の違いなどから、道平川ダムで得られた結果をそのまま適用することはできないと考えられる。分派後の本川には減水区間がみられる場合もあり、完全に表面流がない可能性もある。また、土砂分派などについては、分水工の構造によって大きく変化することが予想される。貯水池への有機物や栄養塩の流入や、それに伴う水質変化による下流環境への影響なども考えられる。これらの、導水方式の違いによる水量や生物への影響や、分水施設の構造による土砂や生物への影響、貯水池による水質変化の影響等の評価についても今後取り組むべき課題である。

今後は、類型化によって得られた他のダムについて、調査などを通して河床材料、底生動物、貯水池堆砂、洪水調節などに関するデータを入手し、それぞれのダムについて防災・環境の両面でその効果を評価することが必要であると考ええる。また、河道外貯留方式の防災・環境に対する有用性について一般化することも重要であると考ええる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、群馬県道平川ダム管理事務所より道平川ダムに関する資料をご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 池淵周一（2009）：ダムと環境の科学Ⅰ ダム下流生態系，pp.117-176，京都大学学術出版会
- 角 哲也・高田康史・岡野眞久（2004）：土砂管理の軽減を目的とした治水利水分離型ダム事業のライフサイクルコストに関する研究，河川技術論文集，Vol.10, pp.209-214
- 波多野圭亮・竹門康弘・池淵周一（2005）：貯水ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式，京都大学防災研究所年報，No.48B
- 藤田光一・富田陽子・大沼克弘・原野 崇・小路剛志・伊藤嘉奈子・山原康嗣・萱場祐一（2009）：ダムと下流河川の物理環境と関係についての捉え方 ―下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて―，国土技術政策総合研究所資料，No.521
- 三國谷隆伸・知花武佳（2011）：河床構造に着目した山地河川のサブセグメント区分と河床材料粒径の規定要因，河川技術論文集，Vol.17, pp.131-135
- Wu, C. M. (1991): Reservoir Capacity Preserving Practice in Taiwan, Proc. of 5th Federal Interagency Sedimentation Conference, pp.10.75-10.81, Las Vegas

（論文受理日：2019 年 6 月 17 日）