

土砂資源マネジメントの観点による ダム堆砂リサイクル事業の検討

RECYCLING BUSINESS MAKING OF RESERVOIR SEDIMENTATION FROM VIEWPOINT OF SEDIMENT RESOURCE MANAGEMENT

伴田 勝¹・角 哲也²
Masaru BANDA, Tetsuya SUMI

¹正会員 経営学修 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所
(〒986-0861 石巻市蛇田字新下沼80)

²正会員 博士(工) 京都大学防災研究所水資源環境研究センター(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

Reservoir sedimentation is one of important problems in management of dams. Several countermeasures have been implemented such as check dams for inflow prevention, excavating or dredging from reservoirs, bypassing, flushing and so on. On the other hand, since shortage of the aggregate supply source for construction materials is a serious problem especially in the Kinki region, new aggregate supply sources are desired earnestly.

In this paper, we assume deposited sediment in reservoirs can be recycled for construction materials and examine feasibility of its recycling business making. We have proposed a framework for the reservoir sediment recycling business and some future challenges in order to enhance these measures are discussed.

Key Words: Reservoir sedimentation, Recycling business, Sediment resource management

1. はじめに

ダムの管理においては年々進行していくダム堆砂の進行をいかに防ぎ、さらに長期的な利用を可能としていくのが重要な課題である。近年、流砂系総合土砂管理の観点からの河川への土砂供給の重要性が指摘される一方、従来からの堆砂対策としては、掘削・浚渫を行って、可能な場合には骨材資源としての有効利用が行われてきた。しかしながら、その資源利用についても、法的規制、輸送コスト及び骨材資源としての量と質の安定性の問題などが課題である。

日本国内における砂利資源の需給の観点からは、河川砂利・海砂に加えて、中国などからの輸入砂の規制が強化されてきており、国内資源であるダム堆砂の資源価値を見直す必要がある¹⁾。また、リサイクルにあたってはコンクリート骨材のみならず、舗装材料としての利用にも関心が寄せられており、道路事業との連携が重要である^{2), 3)}。一方で、砂利資源を全てリサイクルして利用してしまうのも問題であり、流砂系を維持するために必要な流砂量と土砂資源としてのリサイクル量のベストミックスが重要である⁴⁾。

本稿では、ダム堆砂を資源化し需給バランスによる市場原理を導入することで、経済的にも持続可能なダム堆砂対策の促進を検討する。

2. 検討背景

(1) ダムの堆砂対策

ダムの堆砂対策として現在進められている主な手法は以下のとおりである。

- ① 貯砂ダム
- ② 浚渫・掘削
- ③ バイパストンネル
- ④ 排砂ゲート(フラッシング)

表-1に上述の堆砂対策手法についての木津川上流ダム群を対象とした費用の試算結果を示す。これによると、最も安価な堆砂対策は陸上掘削の2,500円/m³である。

しかし、これには採取後の土砂の処理費用は含まれておらず、いかに低コストでその後の処理をするかが大きな課題である。

現在、各地で行われている堆砂対策は、ダム管理者の費用負担によって行われており、予算制約の関係で、

表-1 堆砂対策ごとの必要費用
(木津川上流ダム群⁵⁾のデータを改編)

対策方法	費用(円/m ³)
貯砂ダム	10,000
浚渫	20,000
掘削	2,500
バイパストンネル	20,000
排砂ゲート	10,000

処分している量はダムに流入する年平均堆砂量を大きく下回るのが現状である。このような状況の下、ダム堆砂の採取・処理を促進して持続可能な土砂管理を実現するためには、採取・処理費用を軽減して、ダム管理者の費用負担軽減を図ることが必要である。

(2) 近畿地方の骨材供給^{6), 7)}

次にダム堆砂のリサイクルの観点から土砂資源の現状を概観する。図-1 に全国の骨材生産量の推移を示す¹⁾。以前は川砂利が中心であったが、砂利採取規制の強化により山砂利、陸砂利、海砂利、さらには、碎石に大きくシフトしてきている。図-2 は都道府県別の天然砂採取量を、また図-3 は地域別の砂採取量を総量と人口一人当たり採取量で示したものである。全国的な砂採取量は約 8,200 万 m³ であり、これは日本全国の山地から年間に流出する土砂量約 2 億 m³ の 41%、さらにダム堆砂量約 4,500 万 m³ の 182%に相当する。

ここで近畿地方に着目すれば、図-2、3 より近畿地方は全国平均より砂利資源の乏しい地域であることがわかる。近畿地方では、北摂山地（大阪・京都府境界部）、宝塚市周辺、家島諸島、和泉山地等の山間部に碎石資源が分布するが、需要地が平野や盆地などに分散しており一括供給が難しいこと、山地がさほど急峻でなく岩石の風化が進んでいること、山地の中腹まで都市化が進行していることなど、開発に不利な条件が多い。採掘・輸送条件を併せ考えると、大口の消費地である大阪湾岸地区の需要を満たすには、表-2 に示すように域内での自給は困難であり西日本各地からの移入が不可欠である。

そこで近畿地方には、九州の周辺海域や瀬戸内海で採取された海砂が多量に移入され、さらに瀬戸内・九州地域から安山岩や石灰岩が移入され利用されてきた（瀬戸内海サンドロード）。しかし近年、瀬戸内海的环境保全の重要性から海砂採取が規制され供給量が激減した。この代替資源として、九州産の海砂や中国産の川砂が移・輸入されるようになった。しかし 2007 年に中国からの砂の輸出が禁止されたことで、近畿地方では新たな骨材供給源が模索されている最中である。需要の低迷もあり、骨材の供給不足自体は生じていないが、近畿地方はもとも砂利資源に極めて乏しい地域であり、特に内陸部では外部からの供給が経済的に難しく、それぞれの地域で地域の資源を利用した供給への努力が必要である。

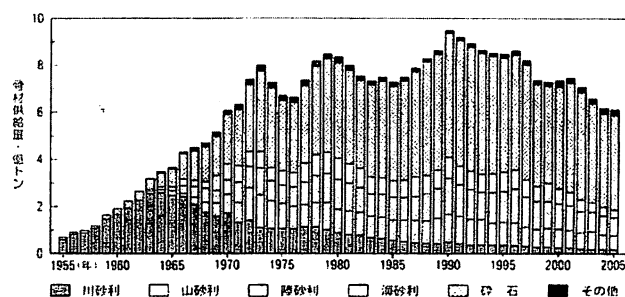


図-1 日本の骨材生産量の推移 (1955-2005) ¹⁾

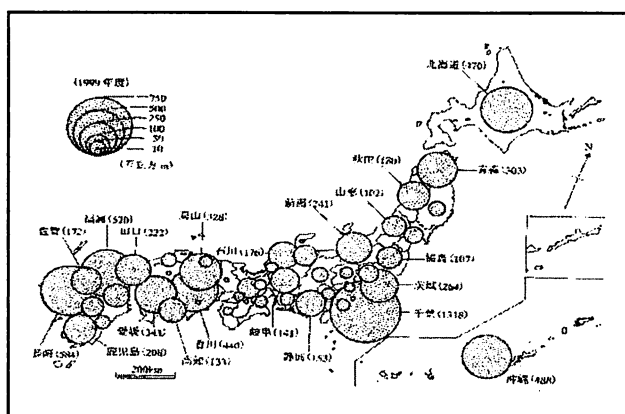


図-2 都道府県別の天然砂採取量 (H12年) ⁶⁾

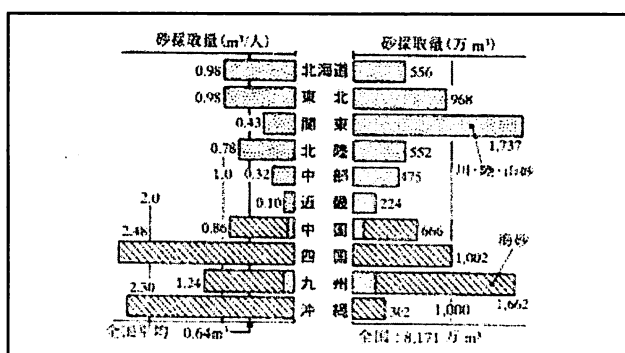


図-3 地域別の天然砂採取量 (H12年) ⁶⁾

表-2 西日本の砂需給バランス⁶⁾

地方	人口 (万人)	需要 (万m ³)	自給 (万m ³)	過不足 (万m ³)
近畿	2,141	1,499	234	-1,265
中国	774	542	671	129
四国	419	294	1,002	708
九州	1,347	943	1,670	727
合計	4,681	3,277	3,577	299

(3) ダム堆砂リサイクル事業

以上のことから、ダム湖に堆積した土砂を新たな骨材供給源としてリサイクルすることを検討する。具体的には、ダム管理者と骨材利用者との間に砂利採取事業者を組み入れ、採取事業者がダム管理者の代わりに堆砂を採取し、分級・破碎などの加工処理を施して骨材販売する。現在はダム管理者の負担によって行われているダム湖内からの砂利採取に需要側のニーズを組み込むことによ

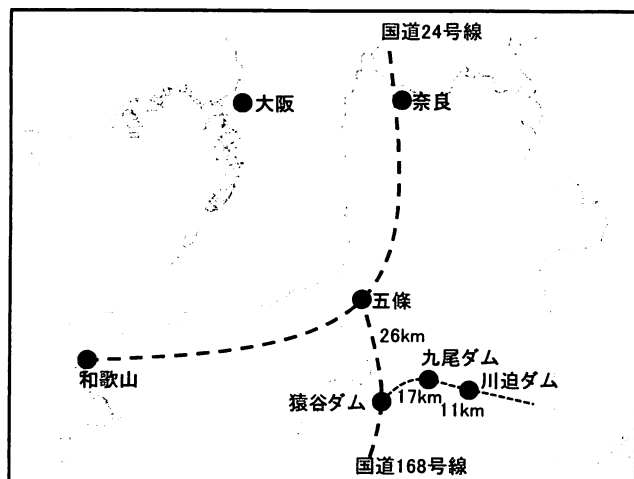


図-4 猿谷ダムと周辺施設

て、ダム管理者が負担すべき堆砂除去費用をなくす（軽減する）ことが目的である。

堆砂リサイクル事業が確立されれば、ダム湖内の堆砂を自発的かつ効率的に採取することが促進され、現状のダム堆砂の課題が軽減されることになる。なお、河川環境の維持や海岸保全のための土砂供給事業についても同様であり、将来的には土砂供給の価値を算出し、この費用をダム下流域の河川や海岸管理者が負担することによって、より一層土砂供給が促進されると考えられる。今回の検討では、これを含まずにダム堆砂の骨材利用によるビジネスモデルを検討する。

3. ダム堆砂のリサイクル事業化の検討

(1) 前提条件

今回検討対象としたのは奈良県五條市に位置する熊野川(十津川)流域の猿谷ダム(国土交通省)である(図-4)。猿谷ダムは運用開始48年で総堆砂量が2,897千 m^3 であり、計画堆砂率は48.3%、年平均堆砂量は約6万 m^3 である。昭和55年度に貯水池上流に貯砂ダム(容量7万 m^3)が建設された。その後、貯砂ダム内の堆積土砂を定期的に採取することにより堆砂進行を抑制していたが、砂利採取に伴う運搬に対して地元同意が得られないことや砂利需要の伸び悩みによって、現在では砂利採取は行われておらず貯砂ダムの天端まで堆積した状態となっている。一方、濁水対策を主目的として、平成19年度は42百万円の費用により5,625 m^3 の土砂が湖内移動されている。

(2) 事業プラン

猿谷ダムの堆砂条件をもとにして、事業年数を30年とした堆砂リサイクル事業を計画する。図-5は奈良県の碎石需給量の経年変化であり、年平均30万 m^3 の骨材資源を他県からの移入に頼っている。本プランでは猿谷ダムに平均的に流入する約6万 m^3 を採取量として地元骨

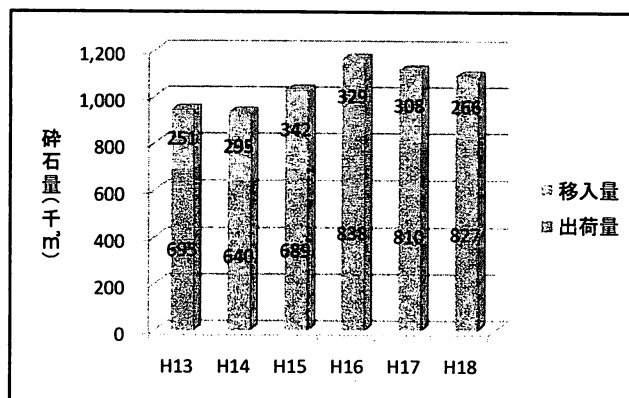


図-5 奈良県碎石需給量経年変化 (H13～H18) ⁷⁾

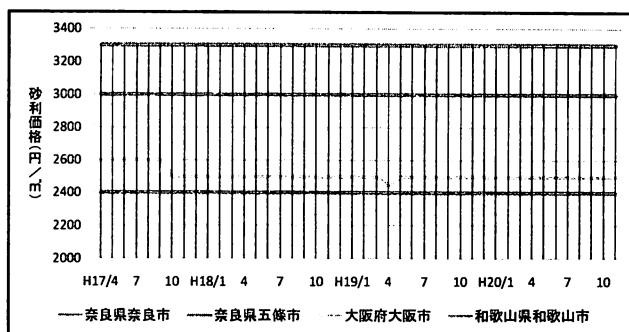


図-6 地域別の骨材価格 (H17～H20)

材業者に販売する。猿谷ダムには貯砂ダムが設けられており、ここからの砂利採取を計画する。なお、採取土砂には骨材利用に不適な細粒分が一部含まれるが、この割合を一般化するのは困難であり、ここでは単純化のため採取された土砂は全て利用可能・販売可能と仮定する。

貯砂ダムから年間6万 m^3 の土砂を採取し、国道168号線近くのストックヤードまでの2.1kmをダム湖岸に設置する土砂搬出道路により運搬する。なお、この道路はダム管理者が堆砂対策施設として設置する。運搬された土砂はストックヤード内で分級・破碎処理が施され、貯蓄される。貯蓄された土砂は骨材利用者に販売され、ストックヤードが受け渡し場所となる。

近隣の需要地と考えられる五條市までの運搬は、トラック輸送やベルトコンベヤ輸送等が考えられる。今回は運搬土砂の規模が小さいことと五條市までの運搬距離が26kmと長いことから、トラック輸送を行うことが妥当と考えられ、五條市での販売価格から輸送費用を差し引いた価格で販売する。図-6に地域別の骨材価格を示す。これによると、五條市での砂利販売価格は3,000円/ m^3 であり、五條市までの運搬費用は800円/ m^3 であるため、今回は2,200円/ m^3 で販売することを想定した。

また、猿谷ダムよりも上流に位置する川迫ダム(関西電力)・九尾ダム(関西電力)における堆砂状況を考慮して、猿谷ダムとの連携による両ダムからの堆砂除去も想定する。両ダムの堆砂を、河川を通じて猿谷ダムの貯砂ダムに流入させ、採取する。両ダム合計の年間堆砂量は約2.1万 m^3 であり、現在の堆砂量を50年かけて

表-3 事業の初期費用（左）と平均年間費用（右）

設備関係(千円)	771,766	設備関係(千円)	43,267
バックホウ	30,000	バックホウ	3,333
トラック	44,000	トラック	4,400
選別機	4,600	選別機	460
自走式破砕機	43,900	自走式破砕機	5,488
ホッパー	1,000	ホッパー	250
スクリーン	1,000	スクリーン	250
ベルトコンベヤー	30,166	ベルトコンベヤー	7,542
ブルドーザ	19,500	ブルドーザ	1,625
基礎工事	50,000	基礎工事	1,667
ストックヤード	147,600	ストックヤード	4,920
道路整備(5m)	400,000	道路整備(5m)	13,333
人件費	64,000	人件費	64,000
砂利採取料	17,400	砂利採取料	17,400
燃料費	16,059	燃料費	16,059
支出合計(千円)	869,225	支出合計(千円)	140,726

表-4 シナリオごとの収支計算結果

シナリオ	①	②	③
砂利単価(円/㎡)	2,200	2,200	2,200
採取量(千㎡)	60	110	60
売上金額(千円)	132,000	242,000	132,000
堆砂対策費(千円)	0	0	42,000
収入合計(千円)	132,000	242,000	174,000
費用合計(千円)	140,726	248,415	140,726
利益(千円)	-8,726	-6,415	33,274
利益率	-6.6%	-2.7%	19.1%
損益分岐点(千㎡)	64.0	112.9	44.9
計画に対する割合	106.6%	102.7%	74.8%

除去することを想定すると、年間合計約5万㎡が猿谷ダムの貯砂ダムに流入することになる。

事業分析のために、複数のシナリオを想定する。骨材販売収入だけではリサイクル事業の採算性に課題がある場合を想定し、猿谷ダムの平成19年度の堆砂対策実績費用である42百万円相当を上限にダム管理者が堆砂除去費の一部を負担（補助）する場合も検討する。

- ①上流ダムとの連携がなく、ダム管理者による堆砂除去費用の一部補助もない場合。
- ②上流ダムと連携し、ダム管理者による堆砂除去費用の一部補助がない場合。
- ③上流ダムとの連携がなく、ダム管理者による堆砂除去費用の一部補助（42百万円）がある場合。

(3) 事業分析

表-3 に本事業の初期費用と償却年数により平準化された年間費用を示す。この結果、6万㎡の採取量に対して必要な初期費用は約9億円であり、償却年数により平準化された年間費用は1.4億円である。このうち採取された量に関して砂利採取料が発生する。奈良県での砂利採取料は290円/㎡であり、6万㎡の採取に対しては17.4百万円を納付しなければならない。これは年間費用の約12%を占めている。砂利採取料は一般に、河川

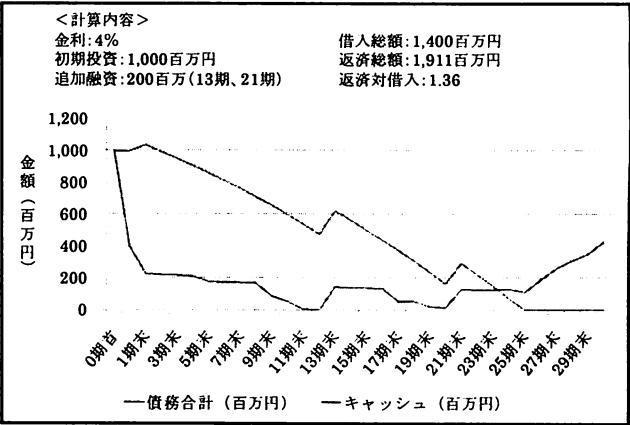


図-7 事業キャッシュフロー（30年）

表-5 A事業収支計画（H19年度）

採取量(千㎡)		500
収入合計(百万)		828
費用合計(百万)		710
内訳	設備費用(百万)	100
	車両費用(百万)	25
	人件費(百万)	185
	電力・燃料費用(百万)	100
	その他費用(百万)	300

内からの過剰な砂利採取を防ぐための課金システムである。ダム堆砂については、流砂系総合土砂管理の観点から河川に流すべき量と、土砂採取による有効利用可能性の調整を図りながら、現状で堆積するだけの土砂を積極的に動かしていくための制度設計が必要と思われる。

表-4には上記3シナリオについての収支の結果を示す。この結果より、以下のことがわかる。

- ・砂利採取量が多いほど事業効率がよく、複数ダムで連携して採取していくことが妥当
- ・ダム管理者による堆砂除去費用の一部負担が有効

図-7に30年間のキャッシュフローを示す。初期借入を10億円、利率を4%として、追加借入れを第13期と第21期にそれぞれ2億円ずつ行う。その結果、事業は第25期から無借金経営となり、事業期間が延長されれば、より安定した事業となることが示された。また、ダム堆砂はダムが存在し続ける限り流入すると考えられるので、事業期間は30年より長くなることが予想され、事業収益が増すことになる。

(4) その他の事業例

表-5に今回の事業を計画するにあたりヒアリングを行ったAダムでの堆砂リサイクル事業（以下「A事業」とする）の収支計画を示す。A事業の収益は砂利販売のみであり、年間約50万㎡の砂利採取・販売が計画されている。その結果、年間売上が828百万円に対して、年間費用は710百万円であり、128百万円の利益を出すことができる。このことから、採取量が増加していけば、

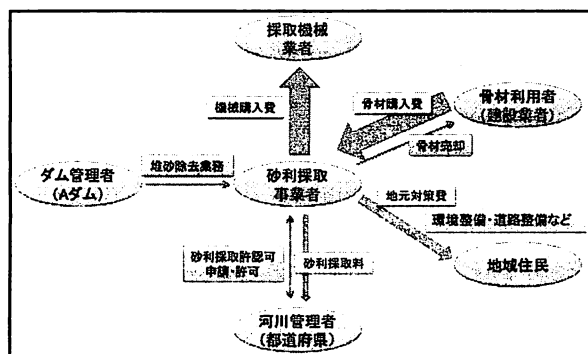


図-8 A事業のフレームワーク

砂利販売のみの収益で事業が成立することがうかがえる。また、A事業では砂利採取・運搬に伴う環境整備費用として「その他費用」の項目が設けられており、ここには砂利採取料も含まれる。

図-8にA事業のフレームワークを示す。A事業はダム管理者であるAダムの代わりに堆砂除去を行う。そのため、A事業者は河川管理者である都道府県に対して砂利採取業務の申請を行い、採取量に応じて砂利採取料を納付しなければならない。また砂利採取・運搬業務に伴う地元の環境整備や道路整備等のための地元対策費を納めている。

4. 考察と今後の課題

以下に、本検討を踏まえた土砂資源マネジメント促進のための課題について整理する。

(1) 砂利採取の規制

ここで、砂利採取事業についてまとめる。ダム堆砂の採取についてはダム特定の法律は存在せず、河川法が適用される。河川法第16条では河川管理者による河川工事または河川の維持を認めており、この場合砂利は採取されたのち廃棄・処分される。一方、河川法第25条で定められる土石等の採取の許可については、砂利を有効利用しようとする場合について適用される。そして河川法とは別に砂利採取法も適用され、これは砂利採取業を営むための許認可を定めている。砂利採取事業を営もうとする者は、各都道府県から砂利採取事業者としての認可を受け、砂利採取計画を提出したうえで、採取計画の許可を受けなければならない。つまりダム堆砂を採取して砂利販売しようとする場合は、河川法第25条が適用され、砂利採取法にも従ったうえで、砂利採取料(河川法第32条)を納付しなければならない。

砂利採取法での認可を受けた後も、採取量に対して規制がある。昭和49年に施行された河川砂利基本対策要綱に規定される砂利採取規制計画である。これは、昭和40年代における河川砂利の過剰採取による河川環境の

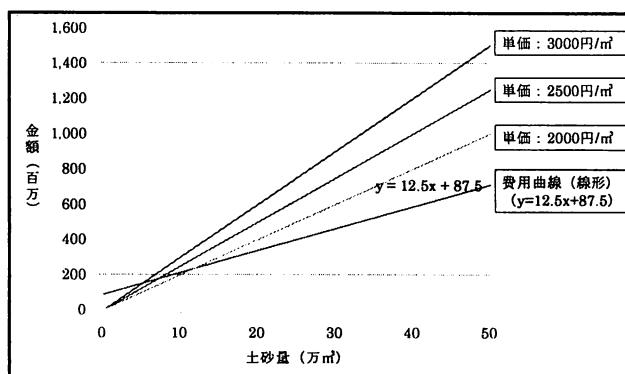


図-9 砂利価格と採取規模の比較

変化を防ぐために制定されたもので、本来、河川内からの砂利採取が対象であるが、ダム上流河川や貯水池内にも適用されている場合がある。以上のような規制が複数かけられており、計画を上回るダム堆砂をより有効にかつ機動的に動かすことを考慮すれば、現在では適当ではないと考えられる。

(2) ダム堆砂リサイクル事業化の問題点

式(1)は前節の2つの事業例から得られた採取量と費用のデータをもとに、採取規模(x 万 m^3)に関して必要な費用(y 百万円)を推定した式である。

$$y = 12.5x + 87.5 \quad (1)$$

この結果から、砂利販売価格と単位量当たりの採取・運搬・加工費用の差が1,250円/ m^3 よりも大きければ、事業化が可能であることがうかがえ、固定費用については約90百万円であると考えられる。

図-9は砂利販売価格を3,000円/ m^3 と2,500円/ m^3 、2,000円/ m^3 の3パターンについて、採取規模に応じた費用と比較したものである。この結果、3,000円/ m^3 で販売可能なエリアでは損益分岐点が5万 m^3 であり、2,500円/ m^3 であれば7万 m^3 、2,000円/ m^3 のエリアでは約12万 m^3 であることがわかる。一般的に骨材価格は2,000円/ m^3 から3,500円/ m^3 であるため、骨材価格が低い地域であっても12万 m^3 の販売規模があれば事業化が可能である。

しかし一般的に一つのダムの年平均堆砂量は5~10万 m^3 と考えられ、砂利採取事業者が継続可能な事業とするためには、ダム管理者のダム堆砂除去にかかる一部費用負担が不可欠であると言える。既に考察したように、猿谷ダムでは、平成19年度に5,625 m^3 の湖内移動業務に対して42百万円を負担している。これは単位量当たりに換算すれば、約8,400円/ m^3 の費用負担となる。前節の検討の通り、この42百万円をダム管理者から砂利採取事業者への一部補助とすることにより年間6万 m^3 の堆砂が除去されることになり、単位量当たりに換算すると約700円/ m^3 の費用負担で済むことになる。ダム管理者にとって費用を負担することには変わりはないが、実情として高額の負担を強いられていることを考えれば負担

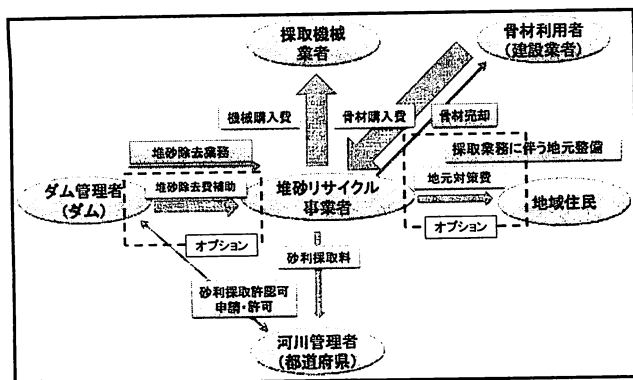


図-10 ダム堆砂リサイクル事業フレームワーク

費用が大幅に軽減され、堆砂リサイクル事業の促進がダム管理者にとっても大いにメリットがあると言える。

以下に堆砂リサイクル事業化の課題をまとめる。

- ①砂利採取規制計画によって、採取可能域と採取可能量が制約されている。
- ②ダム管理者からの堆砂除去費用一部負担が必要となる。
- ③砂利採取・運搬業務に伴う周辺地域への公害が懸念される。
- ④骨材の価格および需要量の変動によっては、砂利採取が実行されない可能性がある。

(3) ダム堆砂リサイクル事業のフレームワーク

図-10にダム堆砂リサイクル事業のフレームワークを示す。堆砂リサイクル（砂利採取）事業者の収入の源泉は骨材販売による収益である。一方、支出は人件費や機械損料などの他、ダムの所在する河川管理者（都道府県）に対する砂利採取料の納付である。これにより砂利採取事業者はダム湖内からの砂利採取が可能となり、骨材利用者への砂利販売によって収益をあげることができる。

なお、砂利採取を行う際には、A事業でも記述されるように、環境整備や道路整備などの地元対策費が必要となる場合がある。一方、骨材販売のみでは価格や需要量の観点から事業採算性が難しい場合も想定され、この場合には堆砂対策を名目とするダム管理者からの一部費用負担（補助）が想定される。これらはダムごとの設置環境に大きく依存することからいずれもオプションと考えられる。

また、上流ダム管理者との連携は、上下流ダム事業者の双方にとってメリットが見込める。単に下流ダムの骨材販売量の増加だけではなく、上流ダムからも一部費用負担を行うことによって、全体の事業採算性の向上が期待される。

最後に今回の検討では行わなかったが、河川への土砂還元については、ダム管理者・下流域の河川管理者などからの要請によって、砂利採取事業者が採取した土砂の一部を河川還元を使用することが考えられる。これに伴う一部費用負担が全体の事業採算性をさらに向上させることが考えられ、この点は更なる検討が必要である。

表-6 ダム堆砂リサイクル事業に関する相関関係

ポイント	国	河川管理者	ダム管理者	上流ダム管理者	下流河川管理者	砂利採取事業者	骨材利用者	採取機械業者	地元住民
砂利採取規制計画の見直し	△	—	—	—	—	◎	—	—	—
砂利採取料の見直し（設備需要の確保（公共事業への使用））	—	△	—	—	—	◎	◎	—	—
地域対策費の導入（採取に伴う環境整備）	—	—	△	—	—	○	—	—	◎
事業規模	—	—	—	—	—	◎	—	◎	—
上流ダムとの連携	—	◎	—	◎	—	—	—	—	—
土砂の河川還元	—	◎	○	—	◎	△	△	○	○

(4) ダム堆砂リサイクル事業のポイント

表-6は堆砂リサイクル事業化においてポイントとなる現行制度との違いを列举し、関係者間の相互関係を整理したものである。砂利採取規制計画や砂利採取料の見直しは、リサイクル事業の促進につながり、結果としてダムの長寿命化が実現されることを考慮すれば、大いに改善の余地がある。また、骨材需要変動への対応は、砂利採取事業者の安定的な経営上極めて重要であり、ダム堆砂を各種の公共事業で優先的に使用していくなどの施策が求められる。最後にダム周辺の住民に対しては、骨材が地元の資産である点に配慮して、単なる迷惑料ではなく、周辺環境整備や地域振興といった形で地元還元される仕組み作りが求められる。これは、ダム下流河川に対する土砂還元も同様であり、経済合理性を確保した上でダム下流河川の環境改善が行われることを期待したい。

謝辞：本検討を実施するにあたり、資料やデータを提供していただいた国土交通省近畿地方整備局河川部、紀の川ダム統合管理事務所、近畿技術事務所の関係各位に謝意を表します。また、事業計画に際し情報提供していただいた（株）間組の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 須藤定久：例えば、旧地質調査所一産総研における骨材資源調査について、平成19年度骨材資源調査報告書、2008
- 2) 鍋島益弘ら：細骨材資源としてのダム堆砂について一物理的性質等の調査結果一、土木学会第63回年次学術講演会講演概要集、第5部門、2008。
- 3) 鈴木徹ら：細骨材資源としてのダム堆砂について一アスファルト混合物配合試験による検討一、土木学会第63回年次学術講演会講演概要集、第5部門、2008。
- 4) 角 哲也：貯水池土砂管理の現状と将来、電力土木 N. 338, 1-6, 2008。
- 5) 角 哲也ら：木津川上流ダム群を対象とした堆砂対策手法に関する検討、河川技術論文集、Vol. 13, 59-64, 2007。
- 6) 須藤 定久：統計資料から見た日本の砂利資源 一種別の特性を考えるー および 西日本の砂需給について、平成13年度骨材資源調査報告書、産業技術総合研究所、2002。
- 7) 須藤 定久：中部・近畿地方各府県の骨材資源、平成17年度骨材資源調査報告書、産業技術総合研究所、2006。

(2009. 4. 9 受付)