

# 既設砂防堰堤の機能回復方法について

嶋 丈示 しま じょうじ

(財)砂防・地すべり技術センター 砂防技術研究所 砂防システム研究室長

## 1 砂防堰堤の機能回復

近年、砂防堰堤において「積極的な除石」が提唱されている。透過型砂防堰堤とは異なり、一般に不透過型砂防堰堤は貯砂機能の回復を考慮していない。だが不透過型堰堤において除石が簡便に実施することが可能となれば、既存ストックの機能回復により、投資効果の向上（整備率の向上）ができると期待される。しかし、治水・利水ダムにおいて、先駆的に半世紀前から「除石（排砂）技術」導入が図られているが、まだ技術の確立の段階には到達していません。さらに砂防においては、他分野とは対象となる土砂（粒径）が著しく異なる点から、別の検討が必要である。

効果的な除石（排砂）技術を導入するために、前例における技術課題等を理解することが必要不可欠である。そこで将来効果的な除石（排砂）技術を導入するために、今日までの技術進展、応用技術を調査したので報告するものである。

## 2 諸文献に見られる排砂技術の変遷

入手できたダム排砂に関する最も古い論文（1955）は、「ダム排砂設備について」と題する、「中部電力研究報告」であった。収集文献を整理すると、ダム堆砂はダム建設ラッシュ（昭和25年～昭和35年）の後期から課題となり、特に大井川、天竜川、あるいは木曾川で問題となってきた。したがって、当該河川にダムを多く所管する旧電源開発、電力会社などは古くから積極的にダム堆砂問題に取り組み、それらの研究成果を多く発表している。なお、河川管理者である国土交通省においては、美和ダム以外ではダム堆砂問題の研究報告は近年ほとんど実施されていないようである。この理由は国土交通省は所管するダムを、最上流部あるいは荒廃度が進んだ流域

にほとんど有していないためと考えられる。ただし国土交通省は、近年大規模な排砂設備を有するダムとして、黒部川水系の宇奈月ダムを建設したが、先に建設された出し平ダムの排砂システムと併せて連携排砂方法を採用している。

一方、砂防堰堤に目を転じると、当初の透過型堰堤の設計概念は「土石流時には巨礫等を捕捉し、その後の平常及び中小出水の流水により機能回復する」が前提であった。しかしながら、土石流を捕捉した透過型堰堤の土砂捕捉容量が自然回復することは困難な場合が多く、機械力により除石する方法を採っている。特に新しく制定された土石流対策技術指針では、想定される土砂量を捕捉できる容量確保が義務付けられているが、土石流危険渓流は小流域面積ゆえに、平常水がほとんど無く、透過型といえども、このような小流域面積の河川や渓流では必ずしも自然の営力では貯砂量の機能回復は望めない。

## 3 排砂メカニズム

前述のようにダムにおいては排砂は、施設機能及び効果の維持として重要な技術であり、各種の研究成果があることから、これらの排砂技術を砂防堰堤の除石に適応することは有意義である。そこで、これまで実施され効果が確認できているダム排砂技術について整理した。堆積土砂の排砂技術は、「機械的除去」と「水理的除去」に大別され、近年排水ポンプを併用した「複合的除去」がある。

### 1 ……機械的除去

機械的除去は「掘削」と「浚渫」に大別される。掘削は、堆積場所が水没していないことやその場所への進入路が確保できる場合に用いられる表-1。浚渫は、浚渫船が

表-1 各種陸上建機の特徴とダム堆砂の適応性

	各種陸上建機の特徴						
	ショベル系	バックホウ	ドラグライン、 クラムシェル等	ブルドーザー系 ブルドーザー、 スクレープドーザー等	ローダー系 ドーザーショベル、 ホイールローダー等	スクレーパ系 被牽引式スクレーパ、 モータースクレーパ等	連続掘削系 バケット・ホイール エキスカベーター等
概要	掘削と積込みを行う機械で油圧ショベルがベース。大きさ通常バケット容量で表され0.5m <sup>3</sup> 未満の小型から3.0m <sup>3</sup> の大型まで種類は多い。	掘削と積込みを行う機械でクローラクレーンがベース。ドラグラインは横引きしにくい。クラムシェルはバケットの自重と開閉によりつかみ取る構造。	掘削・運搬の他、敷均し・締固め・伐開・除根等にも使われる。履帯は標準・湿地／超湿地の区分あり。特殊な水陸両用タイプもある。	掘削・積込みの他、押土・敷均し短距離の運搬等に用いられる。ドーザーショベルは履帯式、ホイールローダーは大型低圧タイヤを装着。	掘削・運搬・捨土・敷均しの一貫作業が可能。牽引式と自走式がある。通常広範囲な土地造成等に用いられる。	掘削のみ。クローラ型走行機に複数のバケットを装置した回転ホイールを取付け、これで掘削。土砂は本体のベルコンで後方へ運ぶ。	
適応土質	礫から粘性土まで適応可。硬質土にも対応可。	礫から粘性土まで適応可。硬質土には不適。	礫から粘性土まで適応可。リッパ装置により硬結土の破碎可。	礫から粘性土まで適応可。ショベル系よりは掘削力劣る。	硬質土や軟弱土は不適、作業性低下。補助ブッシュドーザーを用いる場合もある。	礫から粘性土まで適応可。	
適応場所	水面下の掘削も可。接地圧は40～100kPa程度。	同左	接地圧は標準タイプで40～90kPa。湿地タイプで20kPa程度。	接地圧はドーザーショベルで40～90kPa、ホイールローダーで20～60kPa。	走行可能なコーン指数の下限値：自走式1,000、被牽引式400、超ワイド低圧タイヤ400kPa。	水面下の掘削には不適。接地圧は80～140kPa程度。	
障害物	沈木や転石の対応可。処分上選別必要。	同左	同左	同左	沈木や転石の対応不適。	同左	
環境	濁りは多いが対応可。騒音は一般レベル	同左	通常は陸上作業で濁りは対象外。騒音は一般レベル。	濁りは対象外。騒音は一般レベル。	同左	濁りはやや多いが対応可。騒音は一般レベル。	
施工実績	ダム、湖沼、河川における実績は多い。主に掘削積込み。	同左	ダム、湖沼、河川における実績は多い。主に土砂集積。	ダム、湖沼、河川における実績は多少ある。	ダム、湖沼、河川における実績は少ない。	湖沼、河川の実績あり。常陸那珂港の埋立造成で使用。	
施工能力	能力は機種と台数で対応可。現場条件により台数制限を受ける場合あり。	同左	同左	能力は機種と台数で対応可。現場条件により台数制限を受ける場合あり。	勾配が少なく良好な土質の箇所では効果発揮広い作業面積必要。	10万m <sup>3</sup> /月以上の掘削に適する。	
可能性	小型はトラック丸積み。大型は一部分解輸送。	同左	同左	ホイールローダーは自走可。他はトラック輸送。	同左	分解輸送または一部分解輸送。	
凡庸性	凡庸性大。機械調達容易。	同左	水陸両用以外は凡庸性大で機械調達は容易。	用途多様で凡庸性大。機械調達は容易。	適応土質等の制約が多く、凡庸性に欠ける。	鉱山や大規模長期土工主体で凡庸性に欠ける。	
ダム堆砂への適応性	適応土質が広く、作業能力に優れ、機種も豊富で施工条件に合った選択が可能。掘削積込みも可能。ダム堆砂採取に適する。	適応土質が広く、水面下の掘削が可能であるが作業能率は落ちる。小規模な水面下掘削には適応可。	適応土質が広く、掘削押土には適するが、積込み能力はない。短距離の掘削、運搬、敷均しに適する。	適応土質、作業能力ともバックホウより劣る。接地盤より下の掘削には不向き。積込み機械としては適応可。	運搬、敷均し向きで、地耐力を要し、積込み能力はない。対障害物、凡庸性も劣る。ダム堆砂には不適。	適応土質は広く、大量連続施工に適する。障害物に弱く、接地圧も高い。凡庸性劣る。長期・大量の場合は可。	

寄り付けるために十分な水深があることや、浚渫船の搬入・搬出が可能でかつ洪水時の退避方法が確保できることが前提となる図-1。

## 2 ……水理的除去

水理的除去は、正しく「水」によって土砂を除去する方法であり、「フラッシング排砂」と「スルーシング排砂」

図-1 浚渫による機械的除去の例

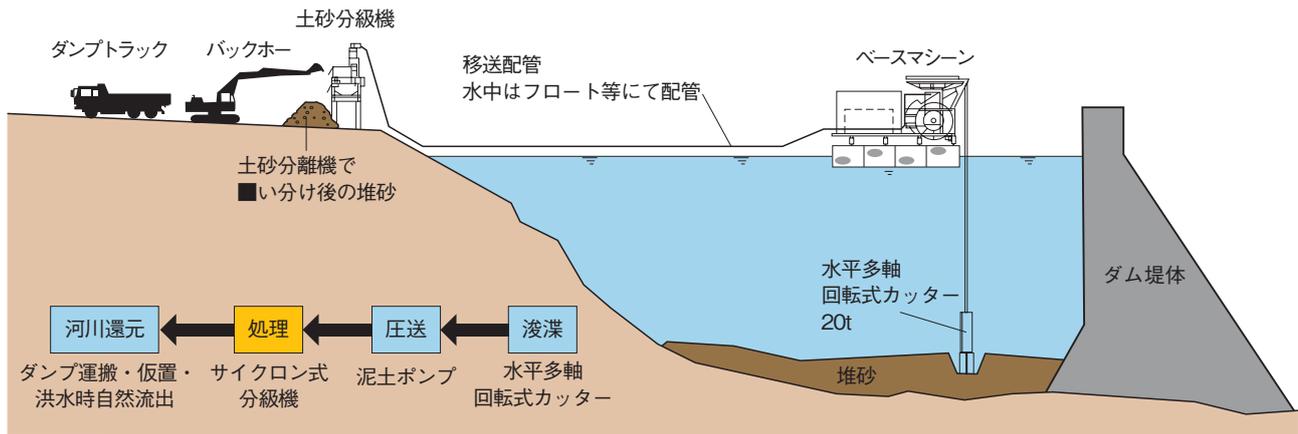


図-2 連携排砂のしくみ

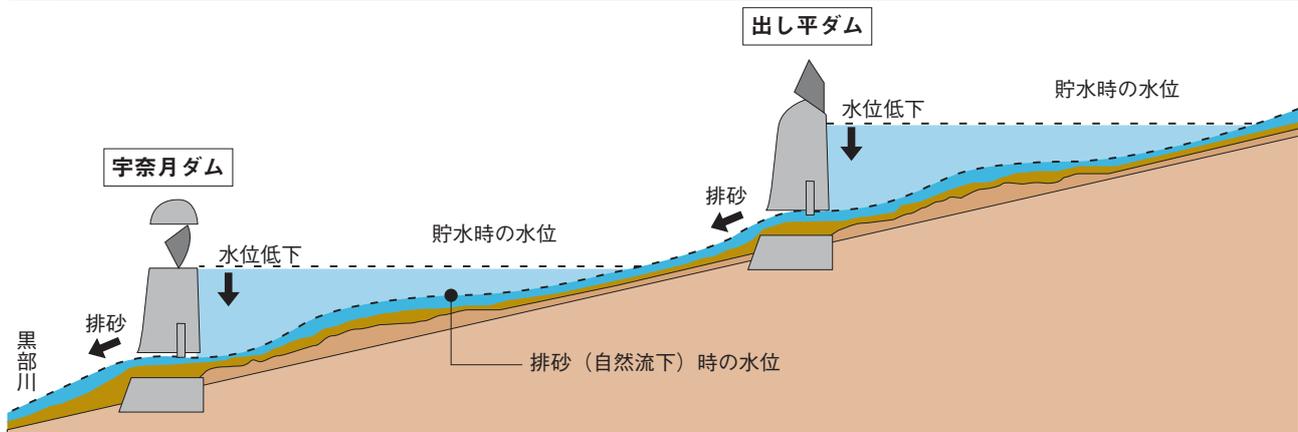
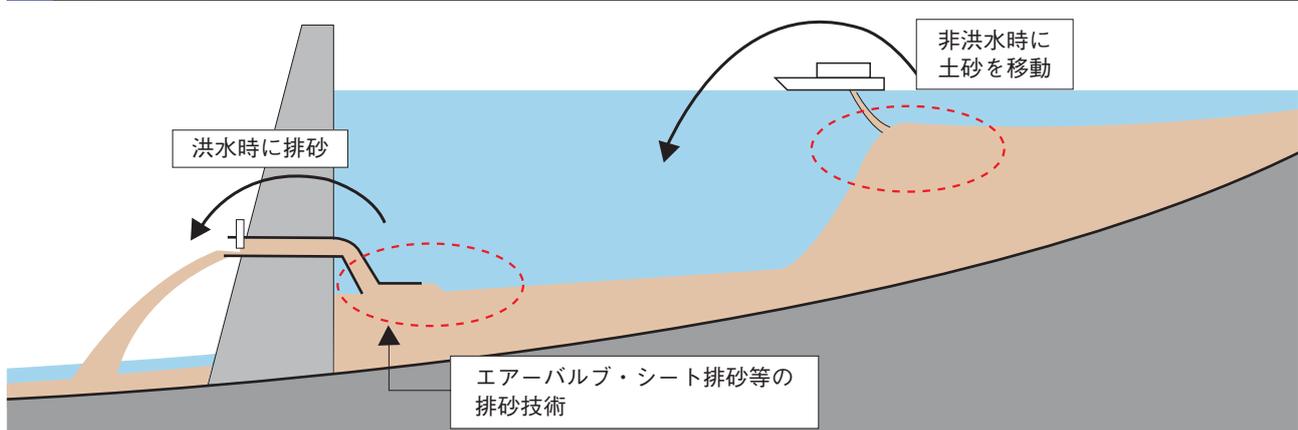


図-3 排砂システムのイメージ



に分類される。宇奈月ダムと出し平ダムの連携排砂などは前者の例であり**図-2**、後者は透過型堰堤がこれに相当するが、排砂時間は前者に比して非常に長くなるのが一般的である。

### 3 ……複合的除去

複合的除去は渦動管排砂(Hydro技術)とも呼ばれる。その工法原理は、堆積土の下部に敷設されたHydro-Pipe (パイプ下部に溝状に連続した開口部、または間欠的に開口部を有する)に排送管が接続された構造で、流水の渦動を利用して管路の閉塞を生じさせなくさせ排砂するものである。なお排水ポンプで加圧して排砂効率を高める併用も試みられている。

このように、多くのダムにおいての排砂システムは、流水(貯水)を用いる構造であり、現地に流水のあることが、排砂を実施する必要条件となっている。ポンプ排砂においても例外なく流水の必要性がある**図-3**。

## 4 新たな排砂技術

ここでは、砂防堰堤に利用できるであろう排砂技術について述べてみる。今回の文献調査によれば、昭和55年に我が国で初めて掃流域での排砂効果を期待して、三方川取水ダム(兵庫県、関西電力、ファブリダム H=3.3m×L=50m)が建設された。後に旧電源開発が高さ6mのダムを構築し、倒伏時の流砂・礫の摩擦にも耐え現在も機能を発揮している**写真-1**。

さらに、このようなゴム引布製起伏堰の技術を財団法人国土技術センターが雄物川などの実証を基に、鋼製を付加した「鋼製起伏堰、ゴム袋体支持式：SR堰」の設計指針を平成19年5月に発表している。この形式の堰は、効果的な排砂機能が達成可能である**写真-2**。

SR堰は必要な期間においては不透過堰堤として機能し、排砂が必要な場合は完全に解放された透過型に移行できる構造で、古くから倒伏ゲートと同様な機能を有している**写真-3**。

また、土木研究所においては、IHIと共同開発した「シート排砂技術**図-4**(次頁)」と八千代エンジニアリングと開発した「エアバルブを利用した排砂技術**図-5**(次頁)」



写真-1 関西電力三方川取水ダム



写真-2 電源開発黒谷取水ダム

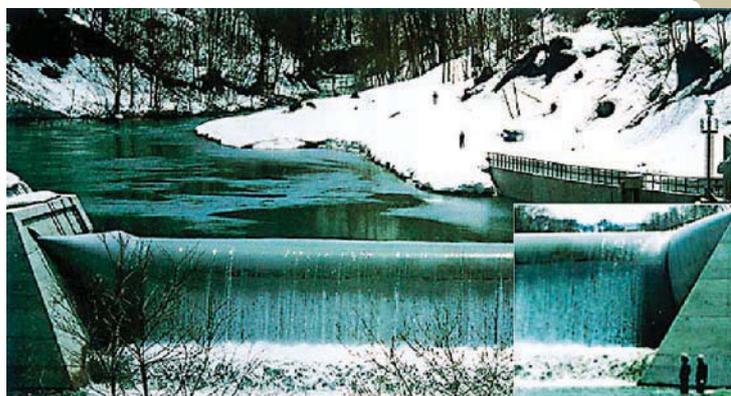


写真-3 SR堰

の公開実験が平成19年11月に実施されているが、これもダム貯水池を前提にしており、大量の流水を利用し渦動管やサイフォン管を用いた応用構造である。

いずれにしても、多くの水を利用することが前提条件であり、砂防堰堤が建設されるような水の少ない箇所では使用が限定される。砂防堰堤では、透過型堰堤の設計概念は「土石流時には巨礫等により閉塞し、平常時は流水の侵食（掃流力による細粒分の流下機能）により機

能回復する」が前提であることは先に述べた。しかし、土石流を捕捉する前には、平常時及び中小出水時の流水の作用により、溪床堆積物は下流に流送されるが、いったん土石流を捕捉した後では、礫がアーチアクションにより噛み合い、自然営力で移動することを期待しにく

図-4 シート排砂技術

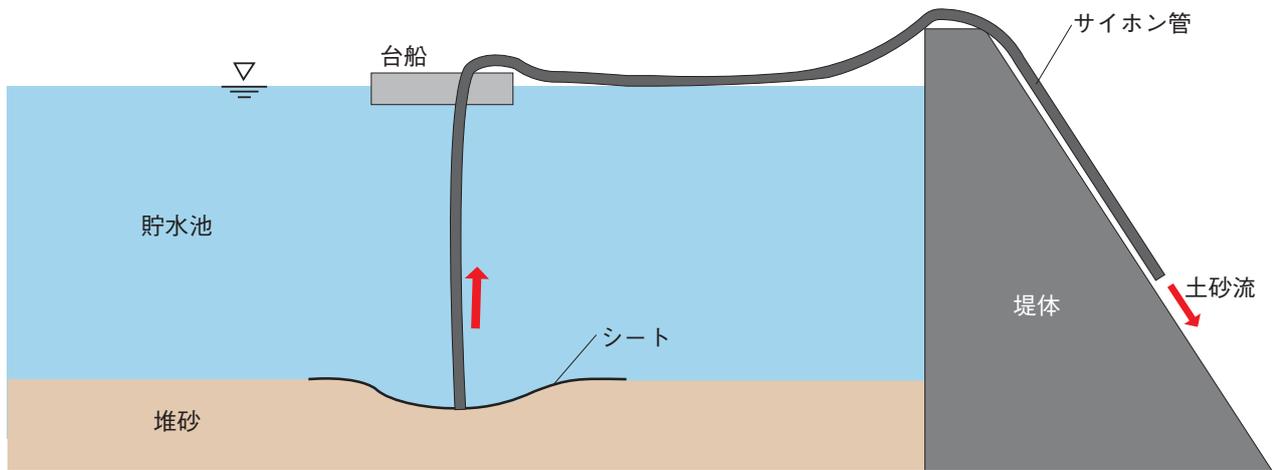
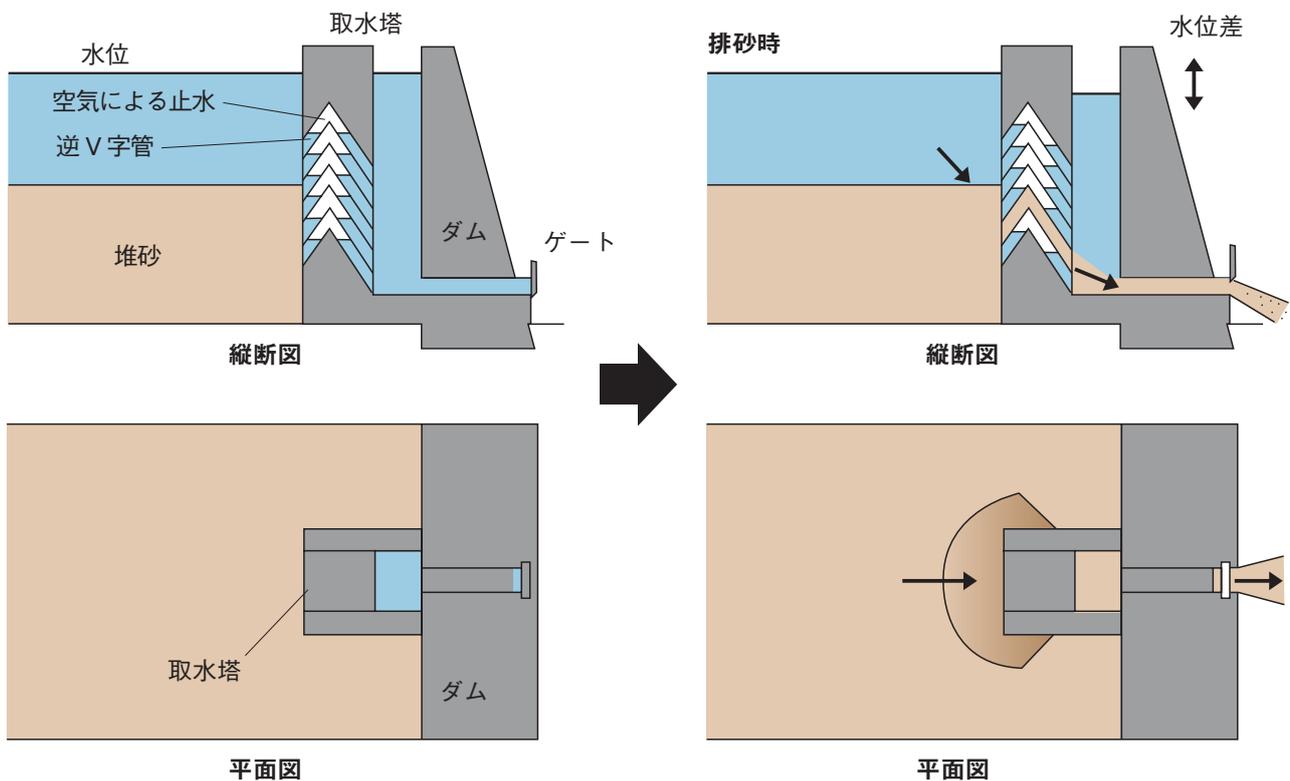


図-5 エアバルブを利用した排砂技術



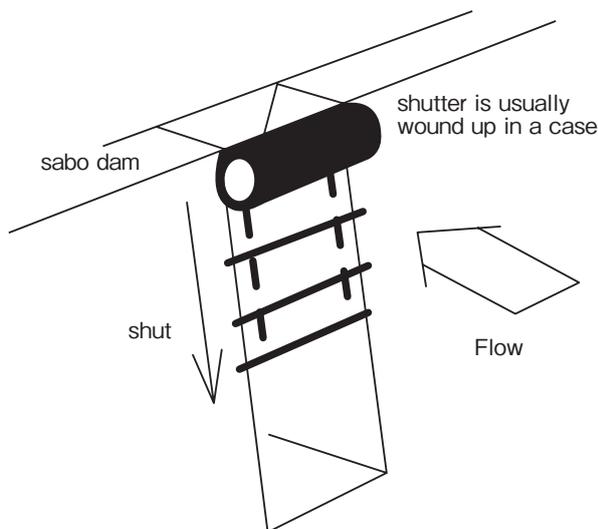
い。

また、コンクリートスリット堰堤のように、堰上げタイプの透過型堰堤においても、洪水後、堰堤上流に貯留した石礫を、自然流下することを想定している。しかしながら、堰上げタイプにおいても平常時に十分な流水がないと、水道が固定してしまい、スリットから離れた土砂は流水の影響を受けにくくなり、堆砂したままの状態になるおそれがある。したがって、スリットの本数及び位置を工夫すると同時に、砂防堰堤の機能回復の条件として常時流水の存在を確認する必要がある。

## 5 掃流域の排砂メカニズム

堆積土砂の排砂技術は、「機械的除去」と「水理的除去」に大別され、近年排水ポンプを併用した「複合的除去」があると述べた。今回の調査で、掃流域であれば、貯砂効率の高い堰堤上部を切り下げると同様の効果が期待できる「複合的除去」方式の一つとしてSR堰を応用することが、可能となる。このメカニズムは、「スルーシング排砂」に分類され、排砂時間は比較的長くなるが、ダム全体がゲートとなるため、広い範囲の土砂を排出できることとなる。

図-6 シャッター付き砂防堰堤の概念図



砂防学会誌vol.57, No.4 水山高久「シャッター付き砂防堰堤と運用のための情報システム」より

また、京都大学水山教授がシャッター付き砂防堰堤を提唱している。この方式は、透過型砂防堰堤の土砂捕捉機能の不確実性の解消に主眼を置いており、排砂に関してはシャッターの操作によって「フラッシュ排砂」と「スルーシング排砂」の両方の機能の使い分けが可能である図-6。ただし、小流域面積の河川や溪流では、土砂捕捉後の自然営力での機能回復に関しては工夫が必要であろう。

## 6 今後の課題

砂防堰堤の排砂を検討するにあたり、関連技術であるダム排砂あるいは海洋浚渫技術の実情を、文献調査によって検討した。そのほとんどの技術が流水や貯水のエネルギーを用いた工法であり、機械的浚渫においても、貯水池等の水位を期待している。砂防堰堤においては、フラッシング排砂における貯水回転率で評価できる程の水の量は確保できず、フリーフローによるスルーシング排砂も困難である。土石流危険溪流における砂防堰堤のように通常ほとんど流水がない堰堤では、機械的排砂が現実的と考えられる。

さらに、泥水ポンプを使用する場合、構造的制約により、排砂の最大径は数mmから10cm程度が限界であり、砂防堰堤の堆積土砂を排出するためには、礫の大きさの制約がある。

すなわち、水理的除去技術を砂防に適用するには、通常流水が流下している「掃流域の砂防堰堤」が適切である。しかしながら、掃流域の砂防堰堤においても、堆積土砂の粒度分布に関する調査はほとんど実施されていないなど、技術を適応させるためには課題が残されている。

このため、砂防堰堤の機能回復を検討するためには、砂防堰堤の堆積土砂の粒度分布調査、掃流域の流況確認、一度堆積した土砂を処理する場合の法的・環境的及び排砂コストについても検討する必要があるものと考えられる。