

# 水路・水槽実験による水力発電所ダム堆積土砂の初期流動の実態解明 より効果的・効率的な排砂管の運用を目指して

Clarification of Actual state of initial flow of sediment deposit in a hydraulic power plant dam unraveled using waterway and water tank experiments  
For More Effective and Efficient Operation of Sand Discharging Pipes

(電力技術研究所 土木技術グループ水理チーム)

ダム貯水池の堆積土砂を効果的・効率的に排出するためには、堆積土砂の性状およびその流動実態を解明することが重要である。本研究では、排砂管周辺に堆積した土砂を用いた水路・水槽実験により、初期流動に関わる堆積土砂の物理性状（流動に必要な貯水の底面流速と堆積土砂の傾斜角度）を明らかにした。さらに、その物理性状を用いて排出時の予測解析および現地観測をおこない、ダム貯水池の堆積土砂の流動実態を解明した。

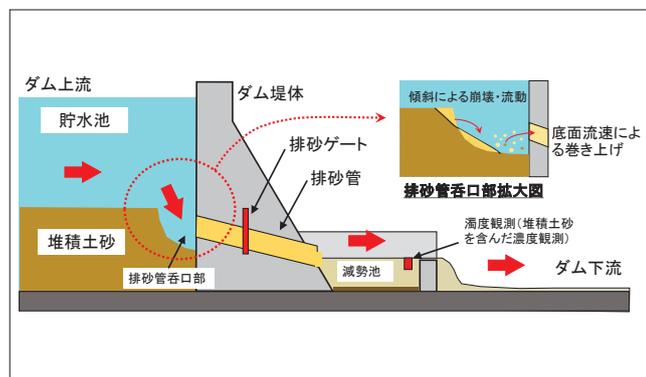
(Hydraulics Team, Civil Engineering Group, Electric Power R&D Center)

To effectively and efficiently discharge the sediment deposited in a dam reservoir, it is important to know the properties of the deposited sediment and the actual state of the flow. This research used sediment deposited around the discharge pipe in experiments in waterways and water tanks to make clear the physical properties of deposited sediment related to initial flow (the velocity of flow at the bottom surface of the water storage and the angle of inclination of the deposited sediment that are required for flow). Further, this research used the physical properties to analyze predictions at discharge and to observe conditions on-site to unravel the actual state of flow of sediment deposited in a dam reservoir.

## 1 背景と目的

大規模貯水池を有するダム堤体底部に設置された排砂管は、ダム貯水池の堆積土砂の排出のみならず、発電用水路が使用できない場合の下流利水補給のための重要な設備である。しかし、通水の機会が少ないと呑口部が埋没してしまうため、定期的な排砂管の運用により効果的・効果的な排砂を実現させる必要がある。

第1図にモデルとした貯水池から、ダム堤体・排砂管、下流の減勢池までの概念図と排砂管呑口部の拡大図を示す。排砂ゲートが開放された場合、貯水の流動が開始するとともに、堆積土砂が底面流速により巻き上がり周辺の侵食が進む。その後、堆積土砂の傾斜によって、侵食箇所への堆積土砂の流動が進行する。このようにして堆積土砂は貯水池から排砂管を経由して下流の減勢池に排出される。本研究では排砂ゲートが開放されたときの初期の堆積土砂の流動に着目して、排砂管上流域の貯水池に堆積した土砂の物理性状（流動に必要な貯水の底面流速と堆積土砂の傾斜角度）を、水路・水槽実験により明らかにした。さらにその物理性状を用いて、排出時の堆積土砂の予測解析および現地観測をおこない、ダム貯水池からダム下流への堆積土砂の流動実態を明らかにした。



第1図 ダム堤体と排砂管、下流減勢池の概念図

## 2 堆積土砂を用いた水路実験

第2図に水路実験の状況を示す。写真は堆積土砂が流水により、巻き上がる状態を現わしている。長さ12m、内幅15cm、高さ40cmの透明アクリル製の直線水路を実験室に作製し、実際の堆積土砂（中央粒径で5～10 $\mu$ m）を水路に敷き詰めてから通水したものである。

実験開始から、水路に通水する流量を段階的に上げていくと、それまで静止していた堆積土砂は、表面から局所的に巻き上がり、さらに流量を上げていくと第2図のように堆積土砂の表面から一斉に巻き上がるようになる。第1表は、局所的に巻き上がる状態を「流送限界」として、一斉に巻き上がり始める状態を「破壊限界」と区別して、堆積土砂の含水比（水分質量／土質量×100%）と水路流水の底面流速の関係をまとめたものである。

堆積土砂が排砂管を経由して下流まで一定量排出されるには破壊限界に相当する底面流速が必要である。現地での調査によると、当社ダム貯水池の堆積土砂の含水比は150%以下であることから、その排出には底面流速が概ね30cm/s以上は必要であることがわかった。



第2図 水路実験の状況

第1表 送流限界・破壊限界と含水比の関係

含水比 (%)	流送限界	破壊限界
	底面流速 (cm/s)	底面流速 (cm/s)
100	20.9	36.7
125	23.1	32.4
150	20.9	31.1
175	17.0	20.9
200	20.9	20.9

### 3 細粒堆積土砂の流動性を考慮した傾斜実験

排砂管呑口部周辺で堆積面に一定の傾斜が生じた場合、侵食箇所への堆積土砂の移動・流動が進み、堆積面は、安定的な傾斜角度（安息角）に変化するものと思われる（第1図の拡大図）。水中での安息角を調べるために、第3図に示す水槽実験を実施した。

水槽を水平状態から傾斜させると傾斜角度が小さいときには、堆積土砂表面も水槽底面と同じように傾斜する。その後、ある一定の水槽の傾斜角度になると堆積土砂の表面が崩れ始める。その傾斜角度を超えて、さらに水槽を傾斜させると水槽の傾斜とは関係なく、堆積土砂は最終的にある一定の傾斜角で安定するようになる。ここでは前者を「限界安息角」、後者を「停止安息角」と定義し、水路実験と同様に含水比で整理した（第2表参照）。堆積土砂の含水比が125%以上のときには、限界安息角が停止安息角よりも大きく、含水比が125%未満のときには、その逆になる傾向であった。このように堆積土砂は、含水比によって流動形態や安息角（限界・停止）が変化することがわかった。



第3図 傾斜実験に用いた水槽と実験状況

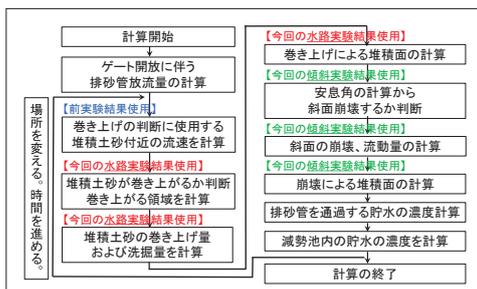
第2表 含水比毎の限界安息角と停止安息角

含水比 (%)	90	100	110	125	150	175
限界安息角 (度)	5.7	5.7	3.7	3.4	2.2	1.5
停止安息角 (度)	11.0	10.3	4.1	1.8	1.5	1.1

### 4 排砂管放流に伴う予測計算と現地観測の結果

#### (1) 実験より得られた物理性状を用いた予測解析

実験により得られた堆積土砂の物理性状を用いて、第1図に示す排砂ゲートが開放された場合の堆積土砂の挙動を予測解析した。第4図に予測解析の



第4図 放流に伴う予測解析の手順

手順を示す。前号（技術開発ニュースNo.161号）で紹介した模型実験で得られた堆積土砂付近の底面流速と、今回の水路実験により得られた破壊限界時の底面流速から、堆積土砂の巻き上げの有無を判断し、巻き上げ量を算出する。その巻き上げ量をもとに排砂管を通過する濃度および下流の減勢池での濃度を算出する。

#### (2) 排砂管放流に伴う現地観測の結果と予測解析との比較

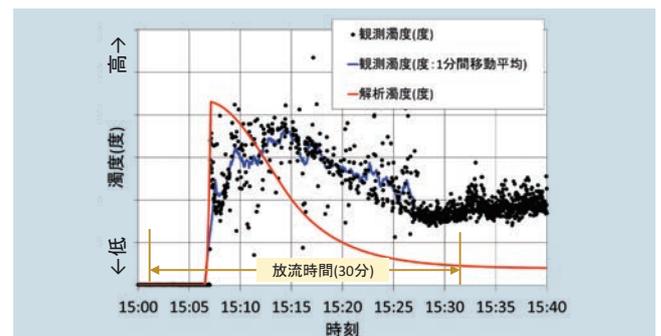
モデルとしたダム貯水池において、排砂ゲートの点検に合わせて約30分間、排砂管からの放流を実施した。第5図に現地観測の結果と予測解析の結果を示す。現地観測の値は下流減勢池での濁度計の観測値であり、予測解析の結果は減勢池での解析濁度（濃度から換算）を現わしている。

予測解析では排砂ゲート開放後の急激な濁度の上昇、その後の低下が顕著だが、現地観測では、濁度の上昇が遅く、また低下も遅かった。時間的な相違はあるものの、排砂ゲート開放直後に一時的に濁度が上昇し、その後、一定の値に収束していく傾向は類似している。なお、30分後に放流を停止したにも関わらず現地観測の濁度が高い値を維持しているのは、それ以前に減勢池内に堆積していた土砂成分が混合して、それが観測されているものと考えられる。仮にその土砂成分がなく、排砂管放流がその後も継続すれば、第5図の予測解析の結果のように時間とともに低下して同程度の濁度値に収束すると想定される。

### 5 おわりに

長期にわたりダム貯水池底部に堆積した細粒土砂を、排砂管を使用して排出することを想定し、堆積土砂の含水比を指標とした水路・水槽実験を実施した。モデルとしたダム貯水池での堆積土砂は粒径が小さいものの、その巻き上げ、流動には数十cm/sの流速が必要であることがわかった。また、含水比によって、その挙動が変化することもわかった。

今後は、これらの知見を活かし、当社管内で堆積土砂により、堆砂の進行しているダム貯水池における排砂管の効率的・効果的な運用を実施していきたい。



第5図 観測結果と予測解析の比較



執筆者／後藤孝臣