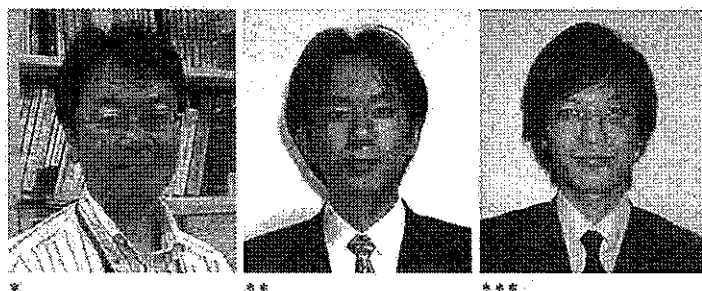


ダムからの排砂技術の開発



1. ま え が き

ダムは、流水を貯留して放流量を調節すると同時に土砂も貯留する。そのため、ダムの貯水容量が減少するのはもちろんのこと、下流への土砂供給が減少し、程度の差はあれ、ダム下流の河床形状や河床構成材料の変化など、何らかの物理環境の変化が生じることとなる。物理環境の変化は、生物の生息環境の変化につながりうることから、ダム下流の河川環境の保全・改善を目的として、自然に近い形で、洪水中に適切な粒径の土砂を供給することが求められるようになっている。

また、堆砂による貯水容量の減少は、現在問題となっていないダムにおいても避けては通れない課題であり、コストの安い堆砂対策技術の開発が求められている。

そこで、土木研究所では、貯水位を低下させずに排砂可能で、ある程度の土砂の量と質（粒径）をコントロールでき、かつ貯水池の上下流水位差によるエネルギー

を活用した低コストの土砂供給手法の開発を試みている。

現在開発している手法は、底面を切り欠いたフレキシブル管を堆砂面上に設置し、管の周辺にシートを展開する方法（以下、「シート排砂」という。）と、連続したサイフォンのエアバルブを切り替えて排砂に伴う堆砂面の変化に対処する方法（以下、「エアバルブ排砂」という。）である。シート排砂については、土木研究所と株式会社IHI、エアバルブ排砂は、土木研究所と八千代エンジニアリング株式会社とのそれぞれの共同研究で開発したものであり、共同研究終了後、土木研究所で開発を継続している。ここでは、両技術の概要と実験による開発状況を紹介する。

2. シート排砂

1) 排砂方法の概要

シート排砂は、設置、維持管理及び回収を行いやすいように、底部に切り欠きを有する排砂パイプを堆砂面上に置いて堆砂を吸引・排出するものである。そのイメージを（図-1）に示す。パイプは排砂中の堆砂形状の変化に追従できるような柔軟性を有するものとする。

パイプを置いただけでは、排砂の進行に伴い堆砂形

* (独)土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チーム 上席研究員

** (独)土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チーム 主任研究員

*** (独)土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チーム 交流研究員

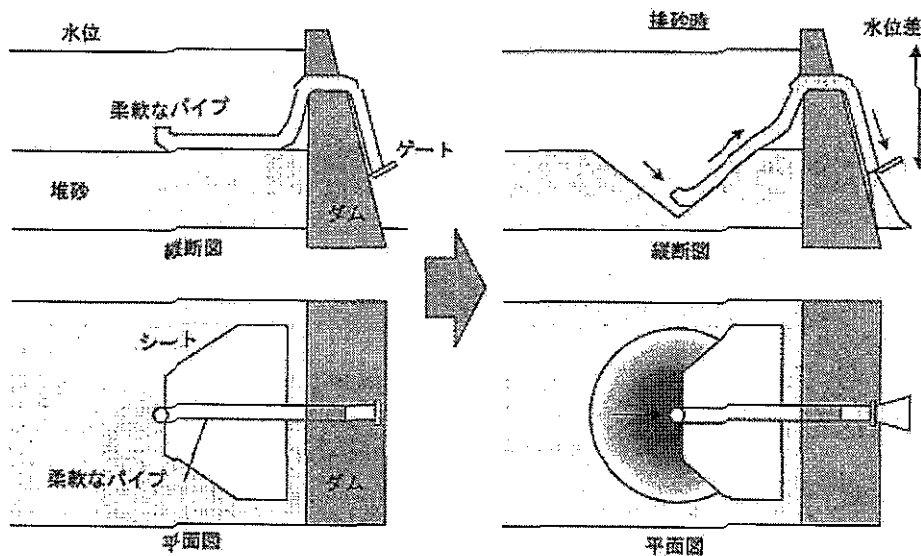


図-1 シート排砂のイメージ

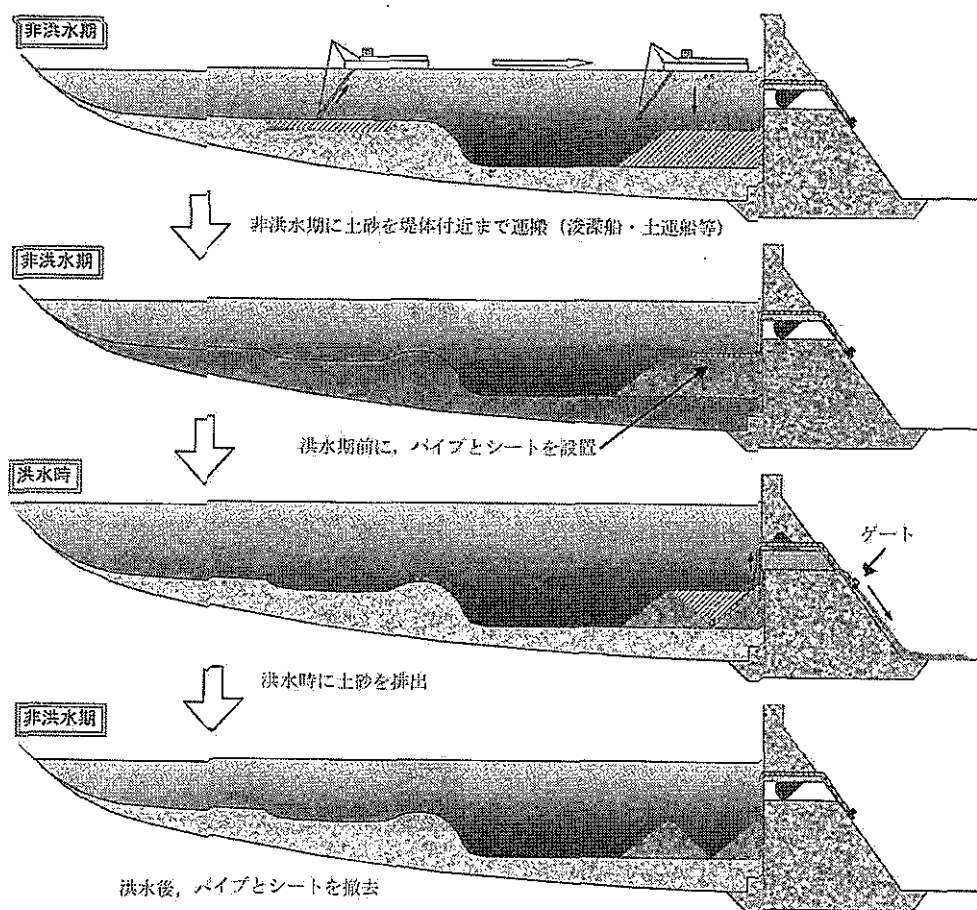


図-2 シート排砂の運用イメージ

状況が変化してパイプと堆砂面に隙間ができると、水だけを吸い込むようになってしまい、土砂を吸引しなくなる。そこで、パイプに不透水性シートを設置し、放流時のパイプの内外水圧差を利用してシートとパイプを堆砂面に張り付かせることとした。

この排砂方法では、排砂後の堆砂形状はすり鉢状

になるものと想定されるが、その大きさには限界があるため、1系列の施設で大量の土砂を排出することは困難である。土砂の水中安息角を 30° と仮定すると、 1万m^3 を排砂するためには、深さ 15m 程度、半径 26m 程度のすり鉢状の円錐を形成する必要がある。しかしながら、我が国では年平均堆砂量が数万 m^3 以

下の貯水池も多く存在しており、このような堆砂量が多くない貯水池において、維持管理の容易な低コストの施設として導入されることが期待される。

シート排砂で想定している運用方法は以下のとおりである（図-2）。

- ①非洪水期に土砂を堤体近くまで運搬しておく。
- ②洪水期前に、運搬した土砂の上にパイプとシートを設置する。
- ③出水時にパイプ下流端のゲート操作により土砂を排出する。
- ④洪水期終了後、パイプとシートは一旦回収し、メンテナンスを行う。
- ⑤以上のプロセスを毎年繰り返す。

ここで、排砂を出水時に行うのは、より自然に近い状態で下流に土砂供給を行うためである。また、複数系列の施設を配置して、粒径の異なる土砂をそれぞれの系列の場所に運搬しておき、各系列の排砂量を制御して混合させることにより、ある程度の排砂粒径のコントロールも可能となる。

2) 実験による検討

シート排砂の排砂特性を調査するため、実物の1/5～1/10程度の縮尺を想定した水理模型実験により排砂実験を行った¹⁾。

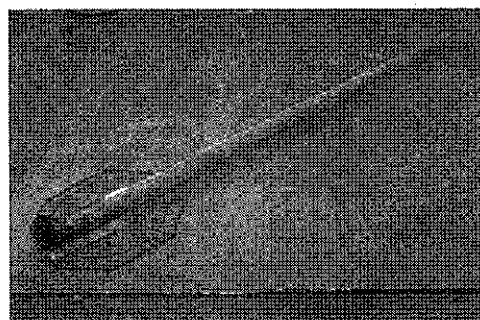
管径は101.6mmとし、堆砂材料として平均粒径0.3mmと平均粒径1.3mmの2種類の一様粒径珪砂を用いた実験では、排砂後のすり鉢形状の勾配は、概ね30～37°程度であり、通常の砂の水中安息角がそれよりやや大きめの値となった。

0.1mm程度以下のシルト・粘土成分が大半を占める実際の貯水池堆砂（粘性土）を用いた実験では、瞬間的に濃度の高い濁水が排出されたが、1分後にはかなり濃度が小さくなり、3分後にはやや透明感がある濁水となって、それ以降大きな変化はなかった。排砂後の堆砂形状は、ほぼパイプの切り欠きの真下の土だけが流失した状態となっていた。シート排砂は、すり鉢状に崩壊するような非粘着性の堆砂に対して有効と考えられる。

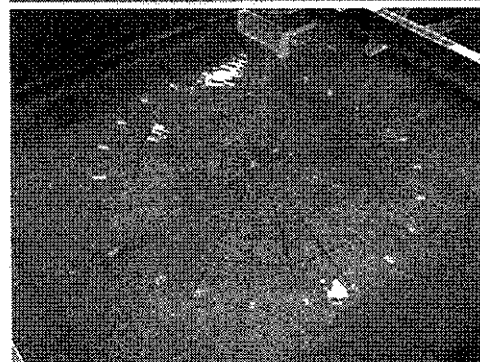
これらの成果を踏まえ、パイプとシートのレイアウトの検討と、排砂後のすり鉢形状の深さと管径の比がさらに大きい条件での排砂特性を調査するため、管径60.5mmのパイプを用いて実験を行った。堆砂材料は、平均粒径1.3mmの一様粒径珪砂を用いた。レイアウト

と案としては、（写真-1）に示すように、吸い込み口が1つの場合、2つの場合、4つの場合の3形状を考案し、排砂状況を確認した。

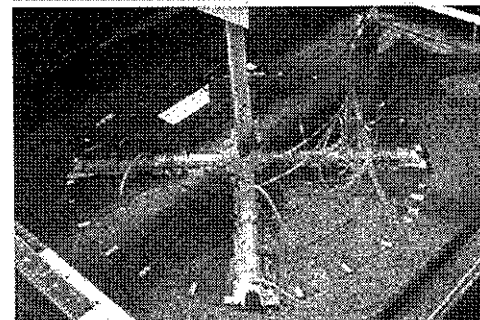
吸い込み口が1つの場合については、実物における水中でのシートの設置等を考慮すると、シートは小さい方が望ましいので、シートを小さくする検討を行った。その結果、シートの大きさを管径の8倍程度まで小さくしても排砂が可能であることを確認した。しかしながら、排砂が進展し、吸い込み口を中心としたすり鉢形状が大きくなると、すり鉢の斜面で崩れた土砂がシートの上に堆積し、最終的には（写真-2）に示すように吸い込み口が埋まってしまい、土砂の濃度が急激に上昇し、パイプ内の断面がほとんど土砂で満たされる状況となった。この状況では、土砂を安定して排出することができず、また、ゲートを閉めて排砂を停止した際、パイプ内が土砂でほとんど満たされたような状況となり再起動が困難となる。また、堆砂に埋没してしまうことから、排砂後のパイプとシートの回



吸い込み口が
1つの形状



吸い込み口が
2つの形状



吸い込み口が
4つの形状

写真-1 パイプおよびシートのレイアウト例

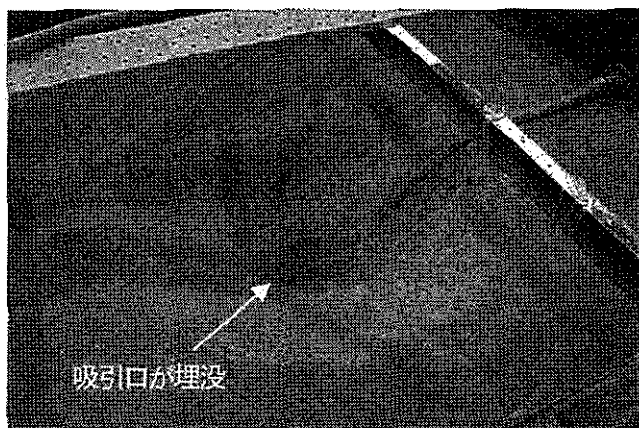


写真-2 吸い込み口が1つの形状の排砂後の状況

収も困難となる。したがって、土砂濃度を極端に大きくしない対策及びパイプが埋まらない対策が必要と考えている。

検討したそれぞれの形状に課題があるが、現状では形状が単純な吸い込み口が1つの形状が有望と考えている。今後、吸い込み口が砂に埋没する問題を改良していきたい。

3. エアバルブ排砂

1) 排砂方法の概要

ダム堤体直上流等に固定施設として設置した排砂設備を用いて、貯水位を低下することなく排砂を行うためには、排砂の進展に伴って低下する堆砂面に対して呑口の位置を追従させる必要がある。これは、土砂に対して、常に放流による吸引力を作用させるためである。そこで、呑口を鉛直方向に移動させる方法としてエアバルブ式放流設備（連続サイフォン式放流設備と称されることもある。）を採用したのが、エアバルブ排砂である。

エアバルブ式放流設備とは、空気によって止水を行うタイプの選択取水設備で、連続して配置された逆V字型のサイフォン管の頂部に空気を出し入れすることで開閉を行い、任意の取水管から取水可能な施設である。

この設備は空気で止水し、ゲートの摺動部分を有しない構造のため、土砂の噛み込みによるゲート操作不能等が懸念されるダム排砂設備の呑口施設への適用性が高いと考えられる。

排砂方法のイメージを(図-3)及び(図-4)に示す。堆砂面の低下に伴って、通水を行うサイフォン管を順次下段に移していくことで、継続的に排砂を行う。

この排砂方法では、排砂後の堆砂形状は、すり鉢を半分に割った半円錐形状になるものと想定され、シート排砂と同様に、1系統の施設で一回の操作により大量の土砂を排出するのは困難と考えられる。土砂の水中安息角を 30° と仮定すると、 1万m^3 を排出するた

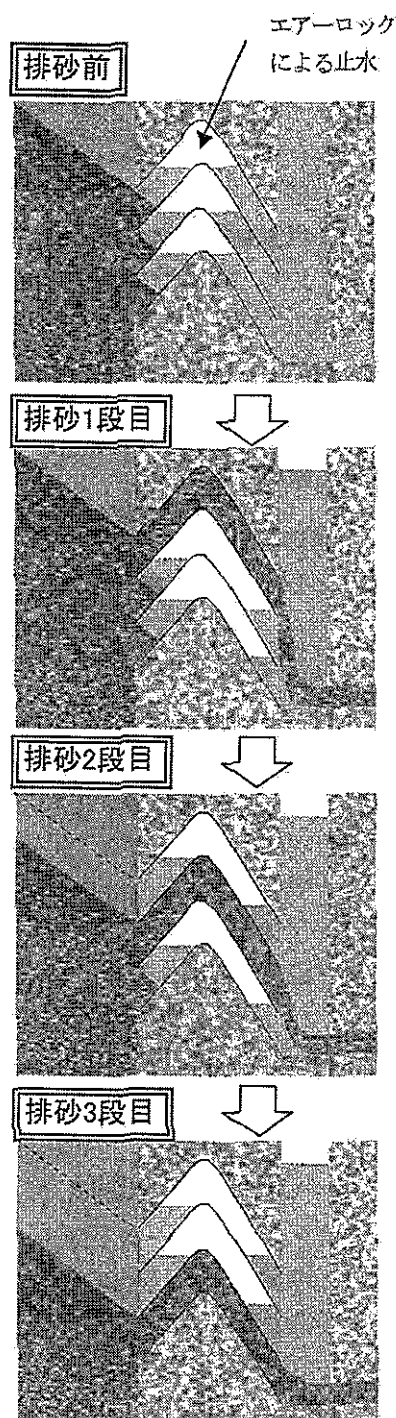


図-3 エアバルブ排砂のイメージ(1)

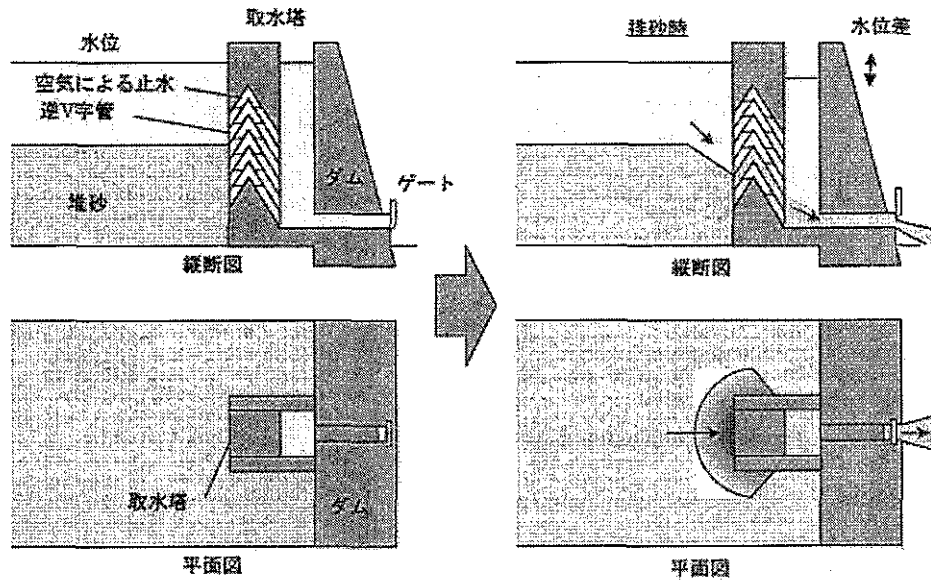


図-4 エアバルブ排砂のイメージ(2)

めには、深さ19m程度、直径33m程度の半円錐形状を形成する必要がある。

この排砂方法で想定している運用方法はシート排砂技術と同様である。

2) 実験方法

実験は、実物の1/20程度の縮尺を想定した高さ5cmのサイフォン管2段の模型を用いて、上下段のサイフォン管を切り替えた際の排砂特性を調査した。堆砂材料としては、平均粒径1.3mmの均一粒形珪砂を用いた。

実験の手順は以下に示すとおりである。

- ①上段呑口の半分の高さ程度まで埋没するような半すり鉢形状に土砂を設置
- ②上段サイフォン管から排砂を行う。
- ③上段管の排砂終了後、一旦流量調節ゲートを閉めて、水槽内の堆砂形状を測定する。
- ④サイフォンの空気弁を調整して通水を上段管から下段管に切り替えて排砂を行い、排砂量、水槽内水位、取水塔内水位、管内圧力を測定するとともに、流況観察を行う。

3) 実験結果

流砂量の測定結果を(図-5)に、堆砂形状の縦断面図を(図-6)に、横断面図を(図-7)に、排砂状況を(写真-3)に示す。

(図-5)の流砂量の結果より、排砂を開始した直後に大きな流砂量が発生し、そのピークは1分以内に

現れている。その後は急激に流砂量が減少しており、5分以降にはほとんど土砂の排出がみられなかった。(図-6)及び(図-7)より下段管からの排砂が終了した後の堆砂形状をみると、排砂前のすり鉢形状が一回り大きくなった形状で安定している。呑口前面で

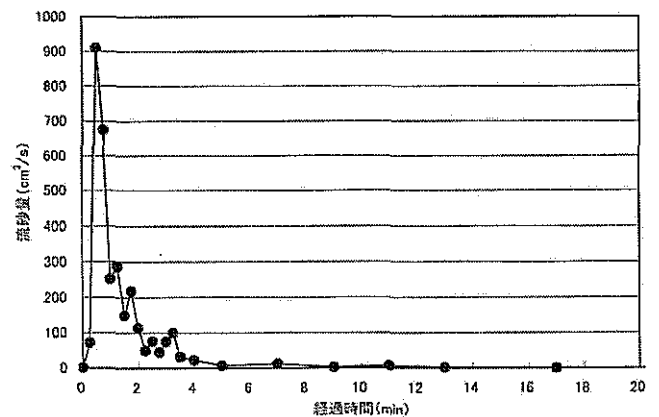


図-5 下段水路からの流砂量時系列

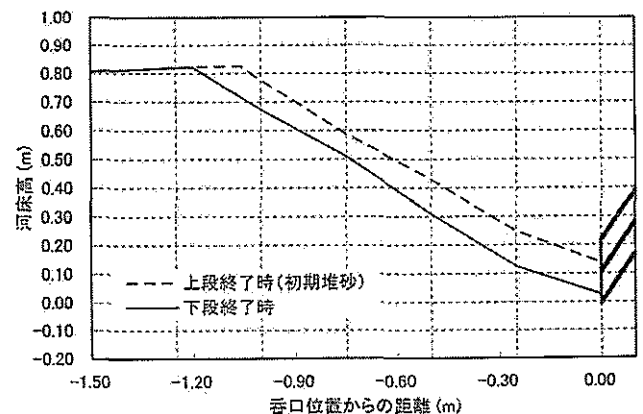


図-6 排砂前後の堆砂形状(呑口中心位置、縦断方向)

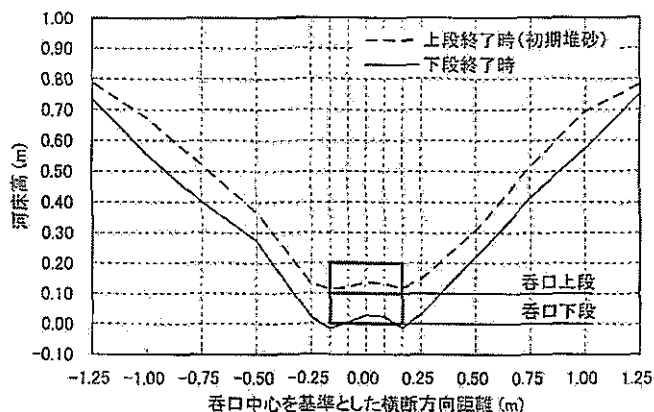


図-7 排砂前後の堆砂形状 (呑口直上流位置, 横断方向)

は、上段終了時及び下段終了時ともに中心部で盛り上がり、両端部で河床が下がっており、これは端部の局所流による洗掘の影響と考えられる。

流況の観察からは、以下のような点が確認された。(図-7)からも分かるように、上段からの排砂が終了した状態では、下段呑口は若干埋もれた状態にあったが、下段管への通水の切り替えによって、土砂の排出は可能であった。取水塔内の状況は流砂量が多い期間は、土砂がかなり乱れた状況になっており、底部への土砂の堆積も認められたが、土砂は比較的スムーズに排出された。

今後は、流量調節ゲートの開度や土砂の粒径を変化させて実験を行ってデータを蓄積し、土砂輸送能力の解析を行い、設計のための水理特性の把握と運用方法を検討していきたい。

4. 今後の課題

今回紹介した手法は両者とも、ある固定した位置の土砂を吸引することで、周囲の土砂が崩れて吸引位置までくることが期待している。そのため、水中で鉛直面を形成して自立するような粘着性を有する土砂の排出は困難と考えられる。この問題に対しては、粘性土を乱すような補助的な対策を検討するか、これらの手法の対象とする土砂を非粘着性のものに限定することが考えられる。また、両手法とも施設位置を固定しているため、排砂前に施設位置に土砂を運搬しておく必要がある。現状では、浚渫船や土運船を用いて土砂を輸送することになるが、比較的高コストで湖内の土砂を輸送可能な手法の開発が求められている。

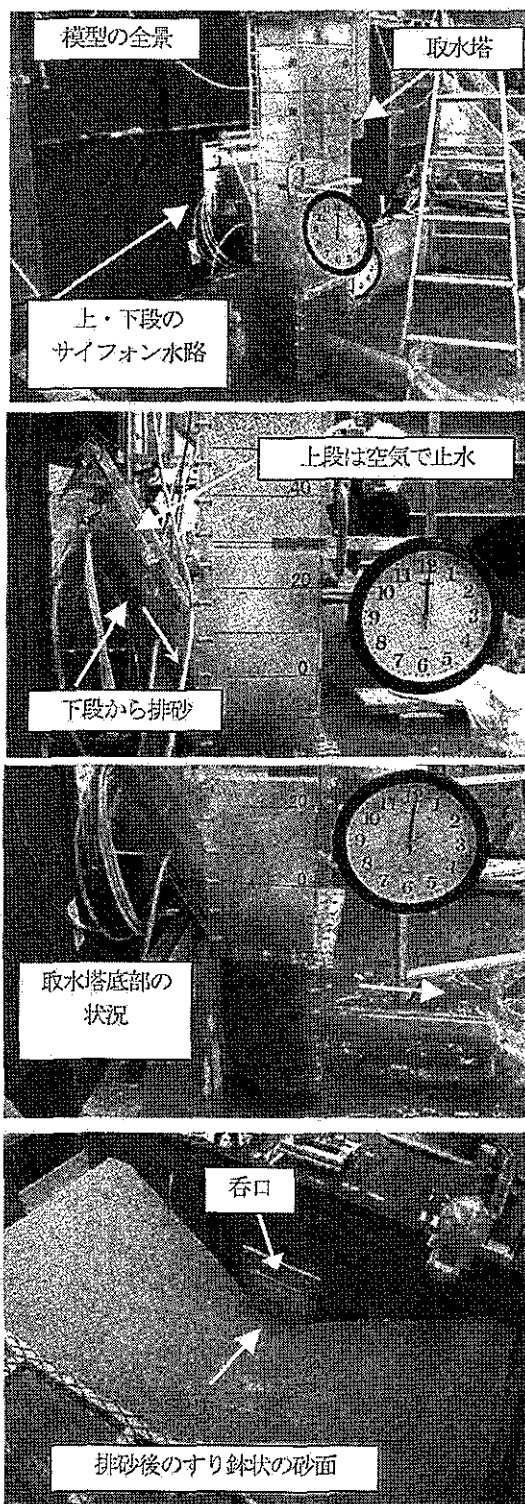


写真-3 エアバルブの排砂実験状況

参考文献

- 1) 櫻井寿之・粕井条介・久保康夫：シートとパイプを用いた排砂装置，土木技術資料，Vol.48，No.12，pp.30-35，2006.12