

中国白石ダムにおける堆砂対策

—数値シミュレーション、リモートセンシングを用いたアプローチ

SEDIMENT MITIGATION PLANNING USING NUMERICAL SIMULATION AND REMOTE SENSING FOR BAI-SHI DAM IN CHINA

高橋 秀*・ジャナキラマン クマール*・ラル サマラコーン**・杉山 実*・中川和男*
Shu TAKAHASHI, Kumar K JANAKIRIMAN, Lal SAMARAKOON, Minoru SUGIYAMA and Kazuo NAKAGAWA

Effective sediment control is required for Bai-shi dam on Dai-Ling-He River in China. Bottom outlets have been designed to discharge the sediment from the reservoir during floods using two alternative gate operation methods: (a) venting density current and (b) drawdown-flushing. Using venting density current rule, the high concentration sediment can be discharged through the bottom outlets. Using drawdown-flushing rule, riverine flow runs on the reservoir bed and can flush out the sediment from the reservoir. This study presents numerical simulations using a two-dimensional mudflow model and a quasi-three dimensional flow and sediment transport model. The behavior of sediment in the reservoir under the different gate operation rules is predicted.

Key Words : sediment mitigation planning, numerical simulation, remote sensing

1. はじめに

ダム貯水池の堆砂対策は、①上流土砂生産源での対策、②河道における流送、流入土砂の調節（貯砂ダムによる制御など）、③貯水池内からの排砂、に大別できる¹⁾。黄河に代表される浮遊土砂の卓越する中国の河川では、ダム堤体の底部に排砂施設（底孔）を設けて貯水池内の堆砂を排出する方法が広く採用されている。本稿では、国際協力事業団「中国遼寧省白石ダム工事に関する実験計画調査」において実施した排砂/堆砂シミュレーションについて報告する。図-1に調査対象地域と白石ダムの位置を示す。

大凌河は中国遼寧省の西部山間部に源を発し、遼東湾に流入する、全長435km、全流域面積2,435km²の河川である。現在建設中の白石ダムは河口から約180km上流に位置し、堤長514m、ダム高50.3mのコンクリート重力式ダムで、総貯水量は16億m³、完成直後の有効貯水量は10億m³である。また、排砂用として堤体下部右岸側に12の底孔が設置されている。ダム完成後は、近年水需要の増加が著しい大凌河流域への安定した水供給と洪水調節の機能が期待されてい

る²⁾。しかし、ダム上流域は強度の土壤侵食域で、大凌河は大量の浮遊土砂（平均粒径0.02mmのシルト）を流出するため、貯水池の堆砂対策が重要課題となっている。中国側の観測結果によれば、白石ダム地点での1955年から1992年までの

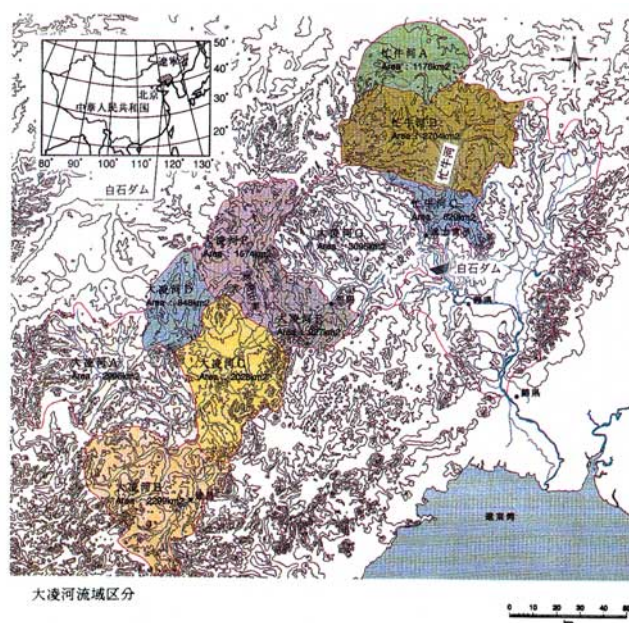


図-1 調査対象地域

* 中央研究所 開発研究部
** アジア工科大学

多年平均浮遊土砂量は2,300万トン/年に達する。貯水池内の堆砂は、以下の底孔のゲートオペレーションにより下流へ排出する計画となっている。

- a) 密度流を利用する方法：貯水池の水位を維持したまま、底孔から密度流の原理を利用して土砂を通過させる³⁾。
 - b) 洪水の掃流力を利用する方法：大規模の洪水が発生した時は、貯水位を死水位まで下げて、洪水の掃流力により堆積土砂を洗掘し、貯水池容量を回復させる⁴⁾。
- したがって、本解析は以下を目的とした。

- ① 数値シミュレーションを用いて貯水池内での浮遊土砂の挙動を把握し、底孔からの排砂量を算定する。
- ② 排砂効果の高い底孔のゲートオペレーションを検討する。

a) については準3次元移流/拡散モデルを用いた⁵⁾。b) については、貯水位を維持した場合と異なり、ダム貯水池の底に水が無い状態に洪水が流入、堆積土砂を下流方向に運搬、洗掘しながら堤体に到達し、高濃度の濁水が底孔から排出する状況を再現する必要があるので、2次元泥流モデル⁶⁾を用いて解析した。

また、リモートセンシングを用いて、上流域での土壌侵食の状況、土砂生産域の推定をおこなった。さらに日浮遊土砂量、日流量の時系列解析を実施した。

2. 日単位の流量、流砂データの解析

白石ダム貯水池の堆砂対策を立案するためには、過去の水文資料を整理解析し、浮遊砂の時間的、空間的流出傾向を知ることが必要である。そこで、白石ダム地点の実測流量時系列および実測浮遊土砂量時系列を長期流出傾向成分、季節変動成分、不規則変動成分に分離した。分離手法はCleaveland⁷⁾ら(1992)と同様の手法(Back Fitting アルゴリズムによる季節成分の分離および Computerized Non-Parametric Local 11y Weighted Regression Method⁸⁾による長期成分の分離)を用いた。

白石ダム地点には、大凌河本川とその支川である忙牛河からの流入があるので、各々の成分分離をおこない、その特徴を求めた。30年長期傾向成分は程度の差はあるが、いずれの地点においても、1956年より増加し1960年代後半から1970年に最大を示し、その後減少し続け、1985年から1990年に最小となり、その後再び増加する傾向を示している(図-2)。

3. リモートセンシングによる土砂生産域の推定

白石ダムサイト上流の大凌河流域を対象に、リモートセンシングによる河道の土砂堆積域の変化および土地被覆とその経年変化解析を行い、土砂生産域の推定を行った。図

-3および図-4に1984年9月、洪水発生後の大凌河流域および白石ダムサイト付近の土砂堆積状況を示す。また、図-3に、大凌河流域の各観測所での浮遊土砂量・土砂生産係数(1955年1985年の多年平均値)を示す。土砂生産係数が大きい流域は、迷力営子、徳立吉、叶柏寿、六合成であり、河道における土砂堆積が顕著な地域と一致している。本調査により得られた結果を以下の通りまとめる。

- ① 河道の土砂堆積域の分布状況を把握することができた。

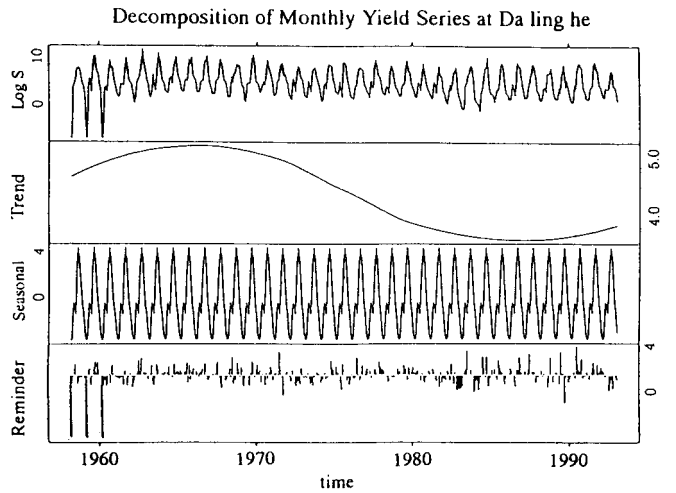


図-2 白石ダムサイトにおける浮遊土砂量の時系列の成分分離

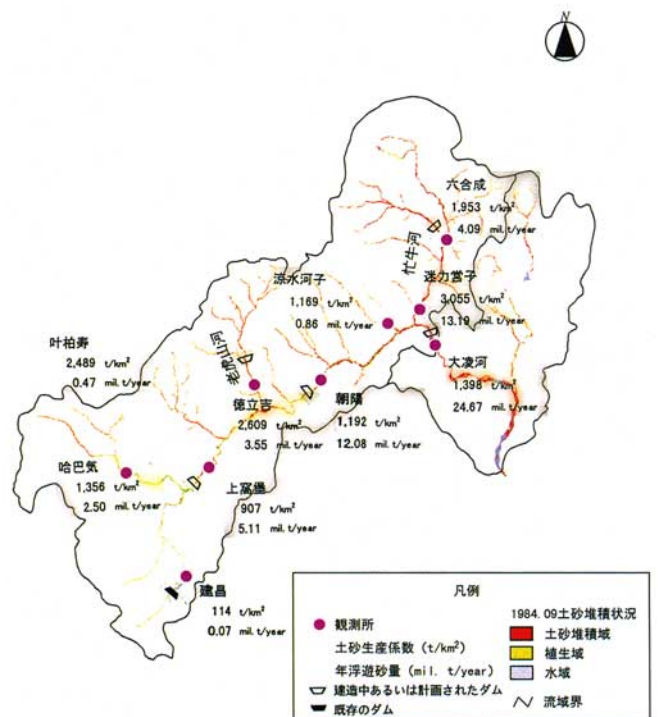


図-3 1984洪水前後の河道内土砂堆積域変化—大凌河流域

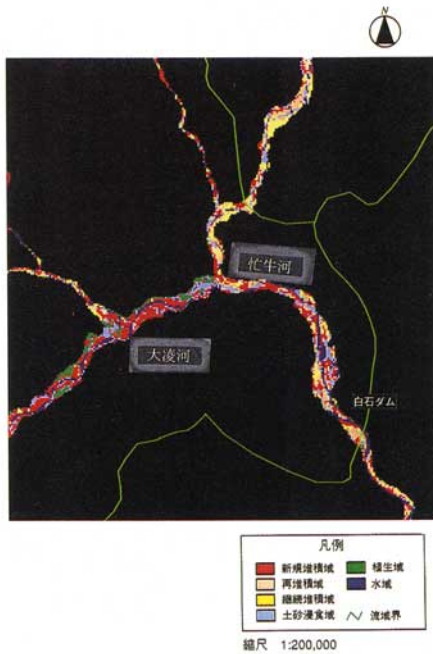


図-4 1984年洪水前後の河道内土砂堆積域変化—白石ダムサイト

河道の土砂堆積域は、主に河道の上流部および合流点、湾曲部に明確に認められた。流域別にみた場合、特に老虎山河流域、忙牛河流域の河道では土砂堆積域の分布が顕著であり、流域内に土砂生産域が分布する荒廃の進行した流域であると考えられる。

- ② リモートセンシングにより対象流域の土地被覆とその経年変化状況を把握した。森林は1975年では4,334km²で流域の22%を占めていたが、1995年では3,734km²となり流域の20%程度に減少した。主な土地被覆変化は草地、少植生域の耕作地化と考えられる。
- ③ 強度の表面侵食を受ける土地被覆項目は裸地、少植生域、5～6月時点の耕作地が考えられる。また、土砂生産域の分布は老虎山河流域、忙牛河流域が多く、上窩堡上流域が最も少ない。

4. ダム堤体排砂施設（底孔）の効果

(1) 密度流を利用する排砂

貯水位を維持した場合のゲート操作による底孔からの浮遊土砂排出量を算定するためには、貯水池内の土砂が移流、拡散、沈降、あるいは底面から巻き上がる動きを再現し、ダム直上流における土砂の垂直濃度分布を求める必要がある。白石ダムに流入する土砂は中央粒径 $d_{50} = 0.02\text{mm}$ と微細であること、白石ダム貯水池は大凌河と忙牛河の合流地点にあり流れは地形の影響を受け易いことから、1992年に

実施したF/S⁹⁾の解析にならい、準3次元移流/拡散モデルを用いた。図-5に貯水池平面図およびモデルメッシュ図を示す。

1) 準3次元移流/拡散モデル

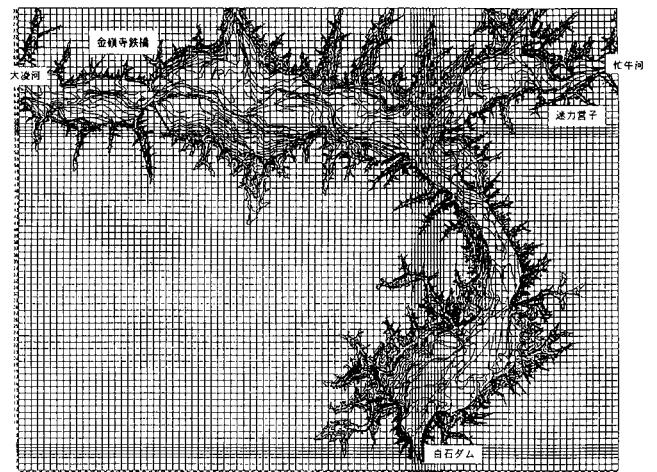
準3次元移流/拡散モデルは貯水池表面を通しての熱収支、水温及び濁度の密度変化、貯水池内の流動および土砂の拡散、沈降および底面からの巻き上げの解析機能を有するマルチレベルモデルである。なお、土砂の巻き上げは、芦田・道上¹⁰⁾の式を用いて求めた。

a) 流動及び拡散の基礎式

流れに対する基本式は、非圧縮性の連続式および水平方向の運動方程式をもちいる。対象とする流れでは、水平方向の流れが卓越するので、鉛直方向の加速度や粘性項に比べて、重力加速度および圧力項が卓越するとして、静水圧分布を仮定している¹¹⁾。

b) 差分計算式：マルチレベルモデル

マルチレベルモデルは、対象とする水域を水深方向にいくつかの層に分割し、各層を鉛直方向に積分して水の流れを取り扱うモデルである。分割された各層では2次元な取り扱いをし、各層間において運動量および物質の交換を考慮することにより、全体としては水の流れを3次元的に表現する。x、y、z方向の拡散係数は渦粘性係数とほぼ等しいと仮定し、 $D_x = D_y = D_z = u^*h/6$ で与えた。（ここに、 ν ：カルマン定数、 h ：水深、 u^* ：摩擦速度）



貯水池平面図

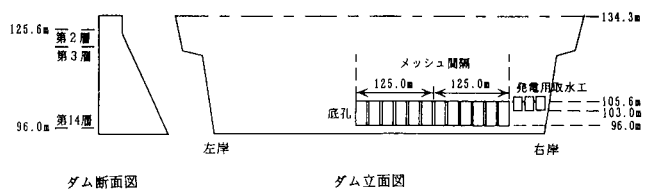


図-5 貯水池平面図およびモデルメッシュ図

c) 土粒子の沈降速度

中央粒径 $d_{50} = 0.0214\text{mm}$ の沈降速度はRubeyの式より 0.0407cm/s と算定した。

d) 泥水の密度変化

泥水の密度は、土砂濃度(C)と温度(T)の関数である状態方程式より求めた。

$$\rho = \rho_w(T) \left[1 + C \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_s} \right) \right]$$

ここに、T:水温、 $\rho_w(T)$:水の密度、 g/cm^3 、 ρ_s :土粒子の比重 $=2.65\text{g/cm}^3$ 、C:土砂濃度、ppm

e) 境界条件

上流端:流量境界

流量、浮遊土砂量実測時系列データの流入は、モデル上、大凌河からの流入を、金嶺寺鉄橋より上流4メッシュ(第2層)忙牛河からの流入を迷力営子付近2メッシュ(第2層)からとした。

下流端:流量境界

放流および排砂は、モデル上、ダム底孔位置の右岸側2メッシュ(第14層)からとした。排砂量は底孔の位置における浮遊砂濃度と放水量の積として算定した。

f) 貯水池内浮遊砂濃度の初期条件

全計算ケース、貯水池内の初期浮遊砂濃度は0 ppmとした。

2) 貯水池堆砂形状の予測

中国側は、30年後の白石ダム貯水池の堆砂(堆積)を3億 m^3 程度に抑えることとしている。したがって、本解析においては、建設後約30年間の堆砂を対象とし、その中間の堆砂状況として、1.5億 m^3 の堆砂形状を米国開拓局、Empirica1 Area Reduction Methodを用いて予測し、その標高データを初期地形データとみなした。

3) 洪水時における貯水池内の流動および浮遊砂の挙動

ダム貯水池に流入する土砂の約50%は、洪水時に集中する。したがって、洪水時にできるだけ多くの浮遊砂を排出する必要があるが、洪水時のシミュレーションを実施するに当たっては、以下の問題を明らかにする必要がある。

① 異なる粒径の土粒子の移動

土砂の移流/拡散シミュレーションにおける土粒子の沈降速度については、中央粒径の沈降速度を代表させ時間的にも空間的にも一定と仮定できれば、計算が簡単で平均的な状況を知るうえで好都合である。しかし、実際には貯水池内の浮遊砂は沈降速度の違いにより貯水池内で分級されることにより、貯水池内の土粒子の沈降速度は時間的、空間的に変化する¹²⁾。特に洪水時においてはその変化が速かつ大きいため、一様の沈降速度を仮定した計算では、濁度分布や排砂量を予測するには不十分であることも考えられた。

また、白石ダムに流入する浮遊土砂中、粒径 0.007mm 以下の土粒子が21%を占め、このような土粒子は底面に沈降することなしに、底面密度流を形成しダム堤体に達することも考えられた。

② 底面から巻き上がる土砂の評価

白石ダムに流入する浮遊土砂の中央粒径は 0.02mm であるが、この範囲の粒径をもつ土粒子の底面からの巻き上げを再現する式は現在ないので、より大きな粒径の土粒子に適切な巻き上げの式をモデルに組み込んだ。

そこで、先ず、1969年(1/20確率洪水)を対象として、混合粒径、16層、250m、125m不等間隔格子モデルを用い、特により微細な土粒子(粒径 0.007mm 以下)の貯水池内の挙動を詳細に再現するシミュレーションを実施した。また、このシミュレーションは巻き上げを算定せず実施し、巻き上げを考慮したシミュレーションと比較した。

a) 異なる粒径の土粒子の挙動

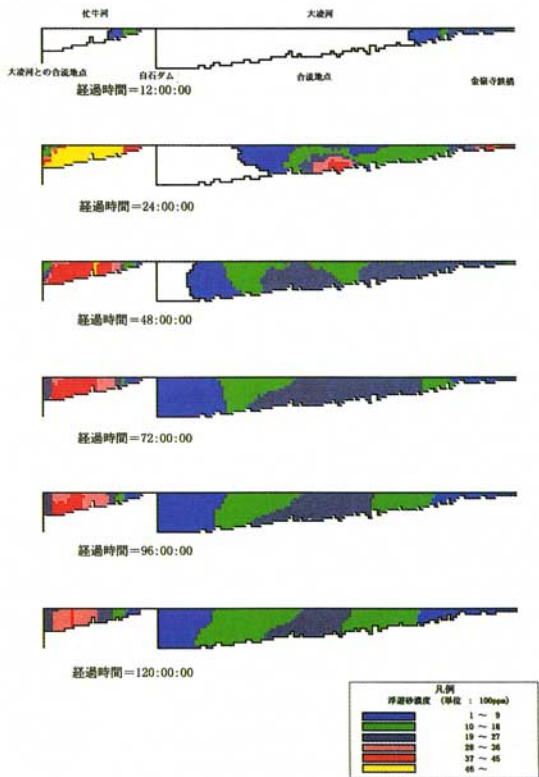
粒径区分は3区分とし、洪水時の浮遊土砂の粒度分布より、 $d_{90} = 0.1\text{mm}$ 、 $d_{50} = 0.02\text{mm}$ 、 $d_{10} = 0.003\text{mm}$ の代表粒径を設定した。浮遊土砂の鉛直方向濃度分布の時間変化、最上層の平面濃度分布の時間変化をみると、 d_{90} ($=0.1\text{mm}$)、 d_{50} ($=0.02\text{mm}$)とも、堤体に至らず沈降してしまう。 d_{10} ($=0.003\text{mm}$)は経過時間24hrには堤体に到達するが、貯水池全体に広がり底孔付近の濃度が特に高くなるということはない。底層密度流は忙牛河と大凌河合流部で確認できるが、その流れはダム堤体に至らない(図-6)

b) 均一粒径、 $d_{50} = 0.02\text{mm}$ 、底面からの浮遊砂の巻き上げを考慮した場合

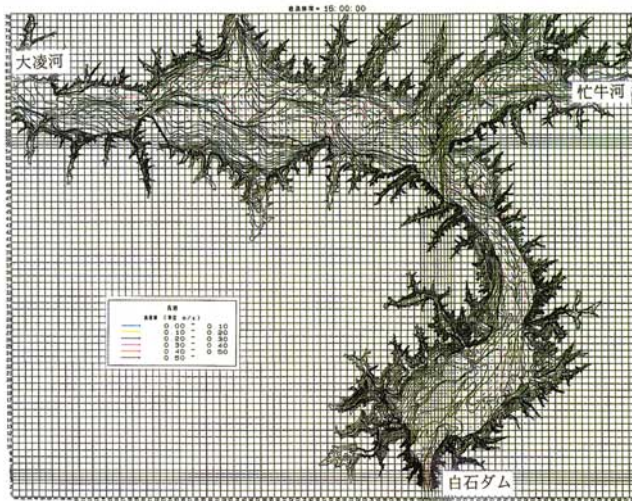
1969年洪水のシミュレーション結果、最上層(第2層)の流速平面分を図-7に示す。

この場合、洪水のピークは経過時間16時前後に現れ、その流量は約 $10,000\text{m}^3/\text{s}$ である。シミュレーション結果を以下の通りまとめる。

- ① ダム直上流付近の流況:ダム堤体上流5km付近より貯水池幅が広がるため(ダム上流5km付近:貯水池幅1.0km、2.5km付近で5km)ダムに向かう流れは非常に弱くなる。
- ② ダム直上流付近の浮遊砂濃度:浮遊砂もこの流況にしたがい、ダム堤体付近にその多くは至らず、ダム直上流の浮遊砂濃度は貯水池上流付近に比べ、高くない。
- ③ 貯水池内浮遊砂の堆積、洗掘状況:大量の浮遊砂が流入し、浮遊砂は堤体に至る前に沈降し堆積する。忙牛河においては合流点上流部、大凌河においては金嶺寺鉄橋下流、ダム上流のポケット部分の堆積が著しい。なお、この堆積域は、リモートセンシングで抽出した



図一六 1969年洪水時の浮遊砂(d_{10})鉛直方向濃度分布



図一七 1969年洪水時流速平面分布

1984年の洪水後の堆積域とほぼ一致する(図-4)。

巻きあげの効果を考慮した場合の d_{50} の濃度分布は、巻きあげを考慮しない場合と、その差が顕著となる。すなわち、ゲート操作によって、ダム堤体直上流に堆積した浮遊砂が巻き上げられ、底孔付近に到達した。

c) 浮遊土砂の貯水池内の分級と巻き上げの算定について

洪水時の異なる粒径をもつ土粒子の沈降速度の違いによる分級の影響は、貯水池内上流端より約30kmほど下流にある堤体付近には大きく波及しないと予想される。一方、巻き上げの効果は底孔付近で顕著である。したがって、底孔

からの排砂量の計算は、巻き上げの効果を評価できない問題は残るが、巻き上げの式を組み込んだ一様粒径の移流/拡散モデルを用いるのが適当であると判断した。

4) 排砂効果の高いゲートオペレーションの策定

1962年(1/50確率洪水)、1969年(1/20確率洪水)、1984年(1/10 1/20確率洪水)を対象として、排砂効果の高い放流ルールを検討した。底孔からの排砂量算定においてはメッシュサイズの影響が小さかったため、計算時間短縮のため、巻き上げの式を組み込んだ一様粒径、16層、500m、250m不等間隔格子モデルを用いた。

洪水波形に比べて浮遊砂濃度波形は遅れてダムに到達するために、ダムからの放流は貯水位が最高となった後も継続して長時間放流することが、排砂には効果的である。反面、このような操作は無効放流を増す結果となる。そこで、洪水時に排砂を優先させた場合(無効放流増大)、貯水を優先させた場合(無効放流減少)それぞれの排砂シミュレーションを比較し、洪水時のダム操作ルールを検討した。

a) 放流ルール

洪水発生後水位が1.3m上昇した時点で $2,500\text{m}^3/\text{s}$ の放流を5時間程度継続する、中国側で設定した洪水調節放流ルールを基本とした。

b) シミュレーション結果

図-8に1969年洪水のシミュレーション結果を示す。また全ケースの結果のまとめを表-1および表-2に示す。図中、浮遊砂濃度2は底孔直上流の位置(14層)、浮遊砂濃度1は2より250mほど上流の位置(同じく14層)にある。ダム直上流底孔付近の浮遊砂濃度のピークは $4,000 \sim 6,000\text{ppm}$ に達し、洪水ピークより20時間程度遅れて現れている。排砂率については1984年の排砂優先の場合が19.2%と最も高く、一般的に、中国側の放流ルールは排砂の面で優れているようである。

排砂を優先して、貯水位を洪水期制限水位(125.6m)より2m下げた場合は、排砂率は高まるが、約1億 m^3 の水を無効放流することになり、利水の面から不利である。また浮遊砂 1m^3 を排出するために必要な放流量は $300\text{m}^3 \sim 500\text{m}^3$ であるが、貯水優先、排砂優先の場合で有意な差は認められない。従って、洪水時には、ダム堤体直上流に濁度計を設置して、浮遊砂の濃度が高いときになるべく大きな流量を放流し排砂することが現実的であると考える。

5) 平水時における貯水池内の浮遊砂の挙動

6月、7月、8月の平水時においては、貯水池の水の多くは、発電取水口(EL.103.0m)から発電所を通じて下流へ放流される。ここでは、平水時における貯水池内の浮遊土砂の挙動を洪水時と同様に準3次元拡散モデルを用いて再現した。また、平時の流量、流入浮遊砂濃度は、1955年か

表一 貯水優先の場合のシミュレーション結果

	流入量 $\times 10^6 \text{m}^3$	放流量 $\times 10^6 \text{m}^3$	流入- 放流量 $\times 10^6 \text{m}^3$	流入砂量 $\times 10^6 \text{m}^3$	排砂量 $\times 10^6 \text{m}^3$	流入- 排砂量 $\times 10^6 \text{m}^3$	排砂率 %
1962年	1,292	1,317	-25	32.2	3.9	28.3	12.2
1969年	559	564	-5	7.2	0.8	6.4	11.0
1984年	666	664	2	8.3	1.3	7.0	15.8

浮遊砂 1 m³を排出するために必要な放流量 (m³) Q_{out}

	1962年	1969年	1984年
Q _{out} (m ³)	338	705	511

表二 排砂優先の場合のシミュレーション結果

	流入量 $\times 10^6 \text{m}^3$	放流量 $\times 10^6 \text{m}^3$	流入- 放流量 $\times 10^6 \text{m}^3$	流入砂量 $\times 10^6 \text{m}^3$	排砂量 $\times 10^6 \text{m}^3$	流入- 排砂量 $\times 10^6 \text{m}^3$	排砂率 %
1962年	1,292	1,409	-117	32.2	4.1	28.1	12.8
1969年	559	679	-120	7.2	1.1	6.1	15.3
1984年	666	788	-122	8.3	1.6	6.7	19.2

浮遊砂 1 m³を排出するために必要な放流量 (m³) Q_{out}

	1962年	1969年	1984年
Q _{out} (m ³)	344	617	493

対策を実施すべきであると判断する。

(2) 洪水時の掃流力を利用する排砂

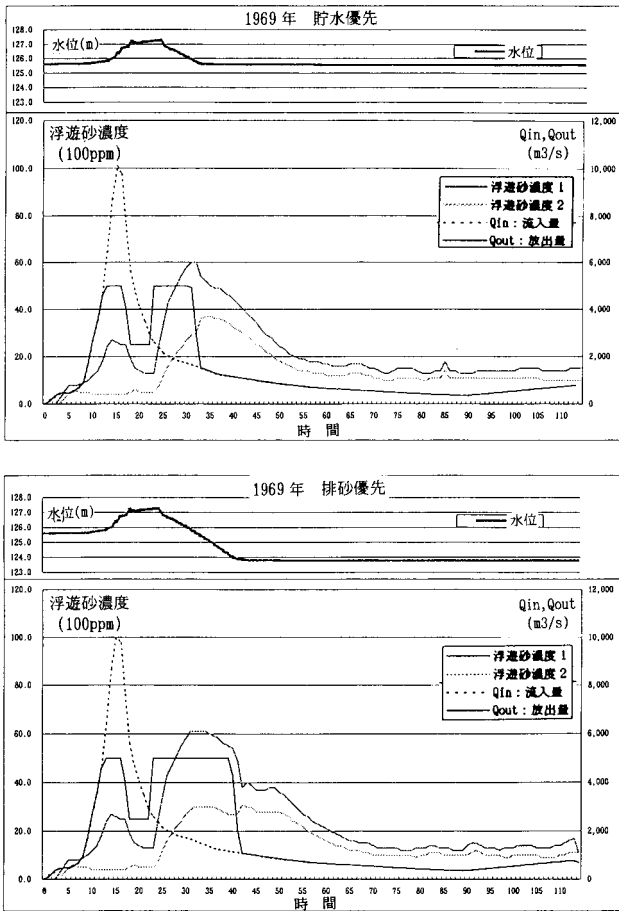
2次元泥流モデルを用いて、貯水位を死水位まで下げて洪水の掃流力により堆積土砂を運搬・洗掘し、貯水容量を回復させた場合の排砂効果を評価した。

1) 2次元泥流モデル

2次元泥流モデルは、固液混相流である泥流のうち特に乱流現象のみを対象としている。流れの基礎方程式として、運動方程式と連続式を鉛直方向に積分したものを与えた二次元浅水流モデルである。土砂については、連続式に堆積、洗掘を考慮した移動床モデルとなっている。河幅が広く流れの平面的な変化が無視できない場合や、氾濫の範囲や土砂の堆積状況を把握したい場合に有効である。なお、単位幅流砂量の算定は、全流砂量式であるブラウン式を用いた。

2) 1969年洪水を想定したシミュレーション

1969年の洪水を対象として、貯水位を死水位まで下げてから濁水を流入させる場合の解析を行った。堤体部については、比較のために、自然河川に近い状態に戻した場合(ケース1)と、オリフィスの式をモデルに組み込んで底孔からの放流を考慮した場合(ケース2)の2ケースを想定した。それぞれの計算は、1.5億m³の堆砂形状と、貯水池が洪水期



図一 8 1969年洪水のシミュレーション結果
(ハイドログラフ、放流量、水位、浮遊砂の時間変化)

ら1992年の38年間における実測値の日平均をもちい、再現期間は6月1日から8月31日の3カ月間とした。貯水池から排出される土砂は、8月31日までに流入する総浮遊砂量の6.5%となった。

6) 30年後の堆砂量の予測

中国側は、30年後の白石ダム貯水池の堆砂量(堆積)を3億m³程度に抑え、利水容量7億m³を確保することとしている。そこで、30年後の堆砂量を、38年間の時系列から連続した30年の年堆砂量を加算して求めた。年堆砂量はシミュレーション結果である排砂率と中国側の計算結果である流入浮遊砂量よりもとめた。底孔のゲートによる排砂のみでは、30年後の堆砂量は38ケース中最小2億1,900万m³、最大4億6,700万m³、中間値は4億2,900万m³であった。一方、忙牛河からの流入を40%抑えることができたと仮定した場合、30年後の堆砂量は38ケース中最小1億6,500万m³、最大3億5,500万m³、中間値は3億2,700万m³となった。したがって、30年後の堆砂量を目標である3億m³に抑えるためには、底孔のゲートによる排砂に併せてダム上流域での堆砂

制限水位125.6mを維持している状態を初期条件として排水シミュレーションを行い、排水終了後から濁水のハイドログラフを与えた。

3) シミュレーション結果

図-9にケース2における平面流速分布図、図-10と図-11にケース1とケース2における貯水池の縦断状況(水位と池床の洪水前後の変化)をそれぞれ示す。

土砂の排出率は、ケース1では最終的に228%に達したが、ケース2では25%に留まった。

ケース1では自然河川と似た流れがおきるのに対し、ケース2では流入する濁水の量に対して、底孔から放流される量が小さく、ダム近辺における水深が大きくなり、縦断方向のエネルギー勾配は減少する。すなわち、貯水位を維持した場合の排砂シミュレーションと同様、貯水池堤体付近における流速は極度に減少し、上流から下流への縦断的な土砂移動は十分に進まず、ダム堤体近辺のみにおいて若干の土砂が移動・排砂される結果となった。

5. 結論および今後の課題

シミュレーション結果からは、底孔のゲートオペレーションによる排砂効果は、あまり期待することができない、あるいは不確定要素が多いため、堆砂対策は底孔のゲートオペレーションに頼ることはできないと考える。したがって、白石ダム貯水池の堆砂問題を考える場合、ゲートオペレーションによる貯水池内からの排砂だけでなく、上流域土砂供給源対策、上中流域での貯水池への流入する土砂の軽減といった全流域にわたる総合的な見地から検討を加えることが必要と考える。

以下に、今後の課題を述べる。

(1) 総合的堆砂対策について

まず、迷力営子では浮遊砂量が13.19mi1.t/yearと大凌河での24.67mi1.t/yearの53%に相当するため、忙牛河流域からの土砂流出対策が急務と考える。

中国側は、現在建設中の白石ダム、閻王鼻子ダムの他に、1) 大凌河、上窩堡上流、2) 忙牛河支川、六合成上流、3) 老虎山河、徳立吉上流にダムの建設を計画している(図-4)。特に忙牛河支川、六合成上流のダムは、大凌河流域中もっとも土砂生産の激しい流域に建設されることになる。したがって、積極的に排砂するようなオペレーションをしなければ、相当量の浮遊砂が貯水池内に堆積し、よってダム下流へ流下する浮遊砂量を堆積相当分軽減することになる。このダムの規模、用途、建設時期等については情報を得ていないので、ここで結論はだせないが、早期にこのダムを建設し、完成後は、当面利水より貯砂ダムの機能を優先させれば、白石ダムへ流入する土砂を大幅に軽減できる

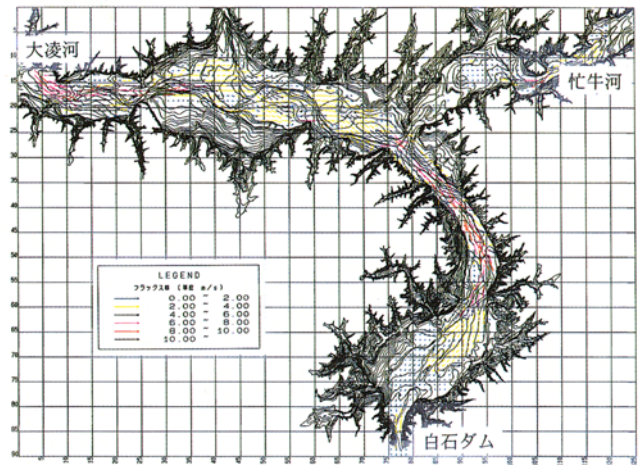


図-9 1969年洪水の泥流シミュレーション結果(ケース2)

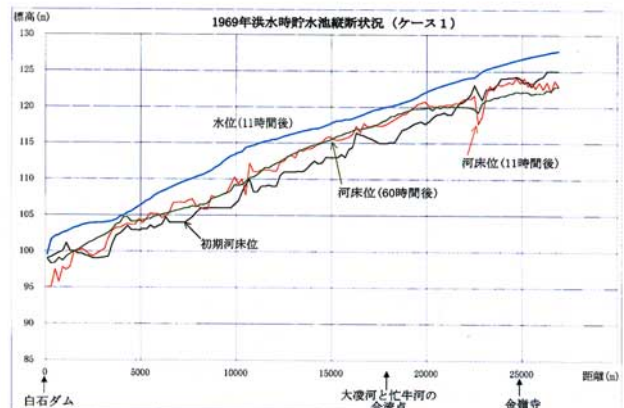


図-10 1969年洪水時貯水池縦断状況(ケース1)

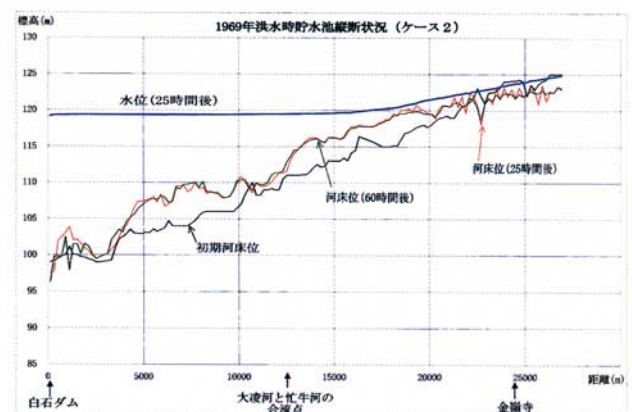


図-11 1969年洪水時貯水池縦断状況(ケース2)

だろう。一方、この流域においては、緑化等による生産土砂対策を重点的に実施し、土砂生産量を減ずれば、このダ

ムの延命と本来の利水機能を確保することができるであろう。また、老虎山河流域も土砂生産が多く、老虎山河に計画するダム の運用についても同様なことがいえる。

(2) シミュレーション結果の留意点

ここで得られたシミュレーション結果については、貯水池オペレーション開始後、ダム貯水池内で浮遊土砂と流量の観測を実施し、その観測結果をもとに、再現性の検証を行なう必要がある。また、以下についてモデルの改良が必要であろう。たとえば、準3次元移流/拡散モデルでは、

- ① 粒径0.02mm程度の微細な土粒子の巻き上げをうまく再現する式は現在ないので、より大きな粒径の土粒子に適切な巻き上げの式をモデルに組み込んでいる。
- ② 河床変動を考慮していないので、流速が高まる金嶺寺鉄橋下流付近での浮遊砂の挙動をうまく再現していない可能性がある。
2次元泥流モデルでは、
- ③ 土砂の移動は細粒分の多い土砂に適当なブラウン式をもちいてモデル化しているが、水位が高い状態での貯水池内における土砂運搬、沈降という現象は、掃流力のみで十分に再現できないので、より忠実に再現するためには、移流/拡散の式をモデルに組み込み計算する必要がある。

参考文献

- 1) 吉良八郎：ダムの堆砂とその防除、森北出版、1979.
- 2) Department of Water Resources of Liaoning Province : Feasibility study report for the Bai-shi Dam, 1993 .
- 3) Jiahua Fan and Gregory L. Morris: Reservoir sedimentation II : reservoir desiltation and long-term storage capacity, Journal of Hydraulic Engineering, 118 : 370-384, 1992 .
- 4) Haward H. Chang, Larry L. Harrison, Wing Lee, and Scott Tu: Numerical modeling for sediment-pass-through reservoirs, Journal of Hydraulic Engineering, 122 : 381-388, 1996 .
- 5) 羽根悟朗、荒木一郎、滝森務、金井晴彦、氏家寿之：ルヌン水力発電所放水庭周辺の湖水透明度の保全対策、日本工営技術情報 No.14、pp143-149、1993.
- 6) 杉山 実、石橋晃睦、小野寺勝：火山泥流シミュレーションの開発、日本工営技術情報No.17、pp.63-70、1997.
- 7) Cleveland, R. B., Creleveland, W. S., MacRae, J. E. and Terpening, I. : A seasonal-trend decomposition Procedure based on loess, Journal of Statistics, 6, pp.66 73, 1990.
- 8) Heiberger, R. M. and Becker, R. A.: Design of an Sfunction for robust regression using iteratively reweighed least squares. Journal of Computation and Graphical Statistics, 1, pp.181 196.
- 9) 国際協力事業団：中華人民共和国遼寧省、遼河三角洲農業資源総合開発計画調査、第4巻白石ダム建設計画フィージビリティ調査、付属報告書、1993年3月 .
- 10) Ashida, K. and Michiue, M.: Study on the suspended sediment (1), Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan, Annuals, No.13B:233-242, 1979.
- 11) 河原長美：児島湖の流動と輸送現象、1996年度(第32回)氷工学に関する夏期研修会講義集、土木学会、水理委員会・海岸工学委員会、pp. A 9 1 A 9 17 .
- 12) 宮永洋一、安芸周一：濁質粒度が貯水池濁水現象に及ぼす影響について、土木学会論文報告集、第296号、pp49 59、1980 .