

貯水池における流入濁度物質の挙動について

東北大学 工学部 岩崎敏夫

〃 〃 〇 三王英寿

1. まえがき

ダム貯水池における濁度をはじめとする水質の予測法を確立するための基礎的研究の一環として、北上川本川に築造された四十四田ダム貯水池を調査対象に選び、貯水池内への流入濁度物質の挙動に関する事例研究を行なった。この貯水池への流入濁度物質は後述するように特殊な性質をもち、その沈殿および再浮上などの現象について明らかにすることは当流域の環境保全対策上緊急の課題とされている。これに対して、建設省を中心として数年来水質調査が行なわれてきた¹⁾。さらに今回著者は、貯水池内の流動状況、流入濁度物質の性質およびその沈降・堆積状況を明らかにすることを当面の目的として現地調査を行なった。

本文は、上記の現地調査結果および従来蓄積されてきた水質等の調査資料にもとづいて考察を行なったものである。これらによって、貯水池内に流入した濁度物質の挙動の一端が明らかになり、今後各種流量時の水質予測モデルを作成するための基礎資料が得られたものと思われる。

2. 四十四田ダム貯水池の水質環境とその問題点

四十四田ダムは、洪水調節を主目的として、盛岡市北部北上川本川に築造され、昭和42年に竣工した、堤高50m、堤長480mの重力式コンクリート・アース複合ダムである。ダム上流部における水系の概略は図-1に示したとおりであり、さらにダム貯水池の湛水面積は3.9km²、総貯水容量は47,100,000m³である。この貯水池内の水質は後述するように有害物質を含むため各種用水には適さず、現在ダムの運用は洪水調節（調節流量：650m³/sec）および発電（最大使用水量：55.0m³/sec、常時使用水量：17.4m³/sec）の2目的に対してのみ行なわれている。貯水位は、年間を通じて洪水期（7月～9月）と非洪水期（10月～6月）とに分けて調節されており、洪水期には最低水位（EL.158.0m）と制限水位（EL.159.0m）との間に保たれ、非洪水期には常時満水位（EL.170.0m）付近に保たれている。流入量および貯水位の時期的変化をみるために、昭和50年度の例を図-2に示した。

北上川の2次支川赤川上流には旧松尾硫黄鉱山があり、この鉱床を通過する地下水には硫酸および硫酸第一鉄を含有し、その結果いくつかの坑口を通して赤川に強酸性水が流出し、したがって北上川本川の水質をも強度に酸性化してきた。これに対して、赤川において炭酸カルシウム

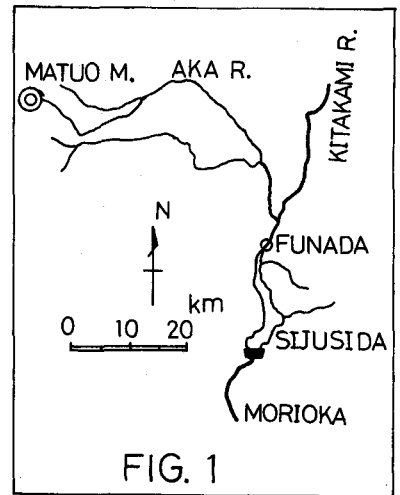


FIG. 1

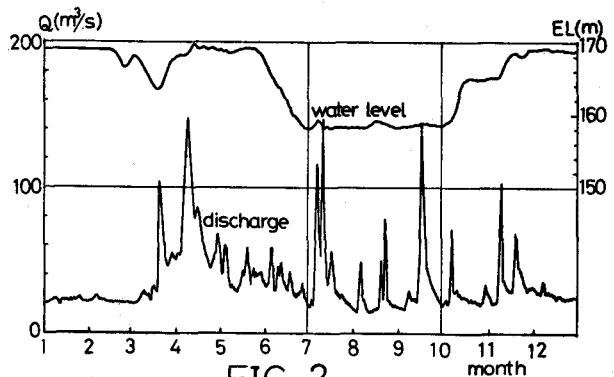
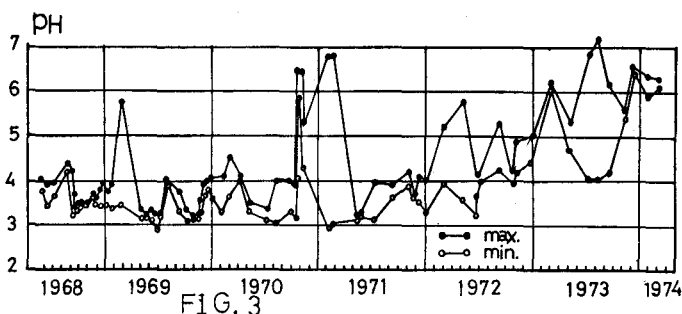


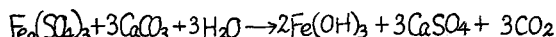
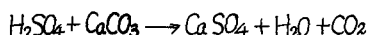
FIG. 2

および消石灰を投入することによる中和処理が従来より採用され、とくに昭和47年度からは建設省

によって大規模な処理が始められ、現在は1日当り約200tの炭酸カルシウムを使用している。この中和処理によって北上川への流入水の酸性度は次第に緩和され、最近貯水池内の水のPHはほぼ6.5以上に保たれている。四十四田ダムサイトにおけるPH値の経年変化を図-3に示した。



以上のように当地域における酸性水の問題について少くとも表面上は解決され、現在貯水池内にはあゆ等の魚類がせい息するまでになっている。しかしその反面、炭酸カルシウム等の投入による中和処理に伴って生成する石コウや水酸化第二鉄等がけん濁物質となって流下し貯水池内に流入することによる問題が新たにとりあげられるようになってきた。



すなわち、上記化学式のように生成した水酸化第二鉄を主成分とする赤かつ色の濁度物質が常時貯水池内に流入し、これが貯水池の水質環境を劣化させる問題が生じた。ここで、ダム貯水池は大勢的に上記流入濁度物質に対して滞留あるいは沈殿池としての作用をしている。ここで、中和処理に対しては、次の2つの方式が考えられている。

- ① 上流（赤川）の処理場において不溶性反応生成物の大部分を沈殿させ、上澄水のみを再放流する
- ② 炭酸カルシウム等を河川に直接投入し、反応生成物の大部分を自然流下させる

このうち①の方式はかなり抜本的な対策であるが、全面的に実施する段階には至っておらず、かなりの部分の処理を②の方式によって行なっている。したがって、当面上記のような流入濁度物質に対するダム貯水池の沈殿池としての作用特性を把握することが、ダムサイトの水質を予測する上で重要な課題であると考えられる。さらに、

鉱道廃水中にはヒ素(As)を始めとする有害な重金属を含有し、これが Fe との共沈²⁾によってダム貯水池内の沈殿堆積物中に存在することから、大流量時における堆積物の再浮上・流下の危険性について予測することも緊急の課題となっている。この点に関連して、ダム築造後の貯水池内の堆積状況を図-4に示す。

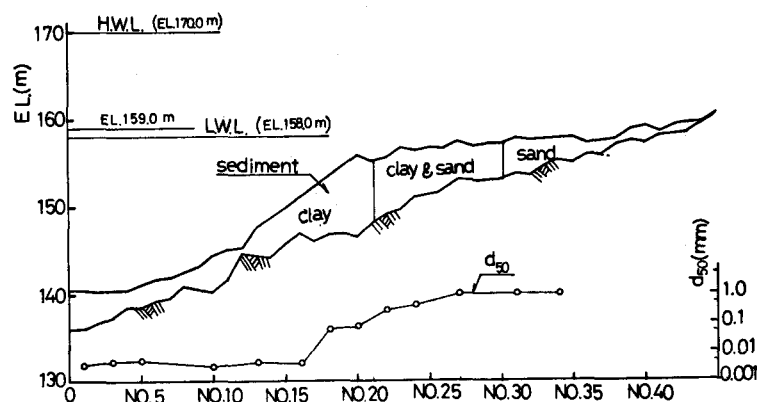


FIG. 4

3. 濁度水理に関する現地調査

前述のように当貯水池における流入濁度物質は通常の河川の場合と異なって特殊な性質を有し、したがって貯水池内での挙動を明らかにするためには、まずその沈降特性を知る必要がある。そのために、制限水位時および常時満水位時の各時期において現地調査を実施し、流入濁水の貯水池内における変化を中心とし、堆積状況および全般的水質をも含めて観測を行なった。

調査の対象とした区間を図-5に示した。同図中のNO.は常設の測点番号を示し、各測線間の間隔は

400mである。横断方向における観測点位置は、流心付近にとることにした。

1) 制限水位時における調査結果

調査期間：昭和51年9月12日～9月20日，台風17号の通過後。

調査項目：流速分布，水温分布，濁度分布，各種水質分布（ PH ， Fe^{++} ， Fe^{+++} ， Ca^{++} ， SO_4^{--} ， A_s の各濃度，全硬度，4.3 Ba，8.4 Ax，導電率，透明度，透視度）

主要測定結果：下図に示す。

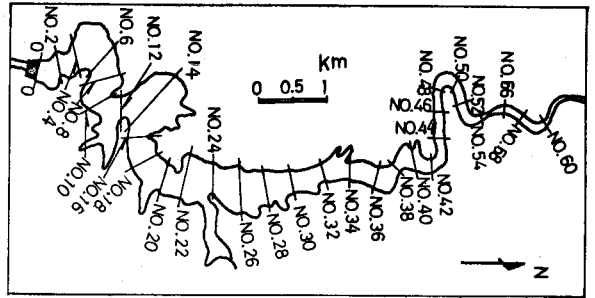


FIG. 5

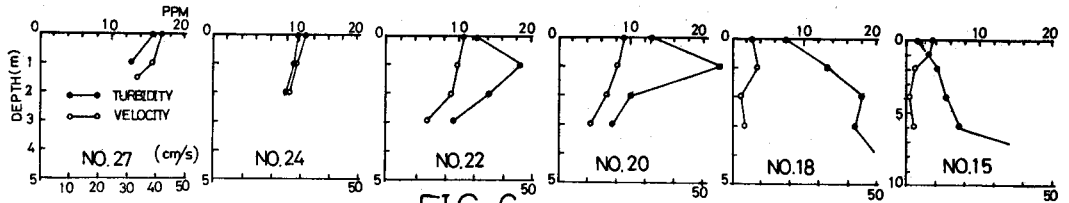


FIG. 6

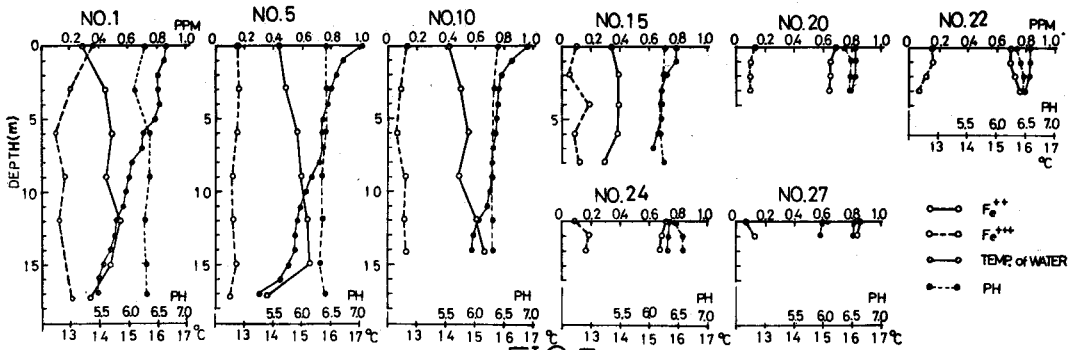


FIG. 7

常時満水位時における調査結果

調査期間：昭和51年11月15日～11月20日

調査項目：流速分布，水温分布，濁度分布，透明度，PH濃度，導電率，濁度物質の形態（写真撮影）

主要測定結果：下図に示す。なお，調査2日前の降雨の影響でNO.25付近からダムサイトにかけて浮遊砂による濁水の滞留がみられたが，今回は直接考察対象としない。

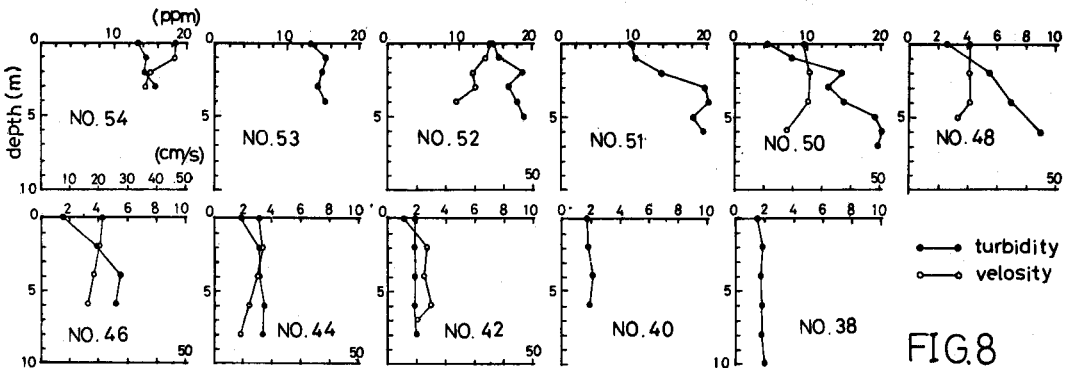


FIG. 8

4. 流入濁度物質の貯水池内における挙動に関する考察

前述の現地調査結果および若干の実験結果にもとづいて、流入濁度物質の貯水池内での沈降・たい積および再浮上・流送の特性について以下に考察する。

1) 凝集性沈降

図-6、図-8における濁度分布は、貯水池内で流水の濁度の急激に減少する領域があることを示している。すなわち、制限水位時（図-6）の測点NO.20付近および常時満水位時（図-8）の測点NO.50付近においては、約1 kmの流下距離内で濁水からほとんど清澄水に近い濁度にまで変化している。また、このような領域に共通する点として、上流側では流速が大きくかつ濁度の鉛直分布は一樣に近く、流水断面面積が増加し流速がかなり急激に低下する地点で濁水の清澄化する区間が始まり、このような領域の下流側の流水の濁度は非常に小さくかつその流下方向および鉛直方向の分布がほぼ一樣であることがあげられる。ここで、当貯水池への流入濁水には多量の水酸化鉄や水酸化アルミニウムが含有されており、これらがフロックを形成しやすいことを考慮すると、上記のような清澄化が行なわれる領域においては凝集粒子の接触・併合に伴うフロックの成長によるいわゆる凝集性沈降が重要な役割を果していると推定される。このことを確かめるために、図-8に示した濁度分布を用いて、一樣混合領域に近いと考えられる測点NO.58の値を初期濁度として、それが流下方向および鉛直方向に変化する状態を図-9のように表わした。すなわち、図中の各点の数字はその点の濁度の初期濁度に対する比率であり、曲線はある濃度（初期濃度に対する比率として%表示）の懸濁物が

流下距離にしたがって沈降・除去される状況を表わす。また、図中に示した各地点の平均流速と流下距離とを用いて横軸を時間に変換すると、図-9はEckenfelderの方法³⁾による、時間と水深との関数として凝集粒子の除去率を示す関係と類似の図面となる。この関係図より、凝集性沈降の特徴である、懸濁物の沈降速度が流下距離および水面からの深さとともに増加する傾向がみとめられる。

さらに、写真-1はNO.50付近の急激に濁水が清澄化し始める領域の水面近くの懸濁粒子を接写し、それらの流下過程における変化を調べたものである。この写真によっても流下過程における懸濁粒子相互の結合によるフロックの成長の状態が明らかにみとめられる。

2) 流入濁度物質のたい積状況

前節の考察によって、旧鉱山の鉱道廃水およびその中和処理水を供給源とする濁度物質が、平常の流量時には貯水池内の比較的上流部（貯水位によって位置は変化する）において、粒子の凝集性によってかなり急速に沈降・たい積することがほぼ明らかになった。したがって、つぎにこのようにして生じたたい積物の挙動について明らかにすることが必要になる。そのために、まず今回の調査時の底質に関する観察結果によって、凝集沈降領域（常時満水位時）付近の河床上のたい積物（沈でい：ヘドロ）の深さを推定すると図-10のようになる。すなわち、凝集沈降領域にほぼ対応して、その下流側寄りに沈でいの存在がみられる。また、このような沈でい

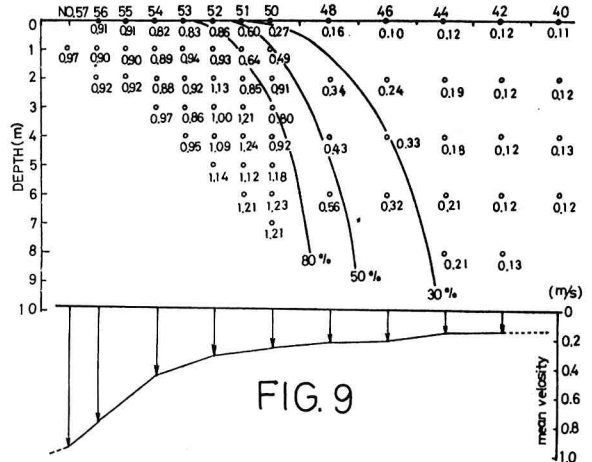


FIG. 9

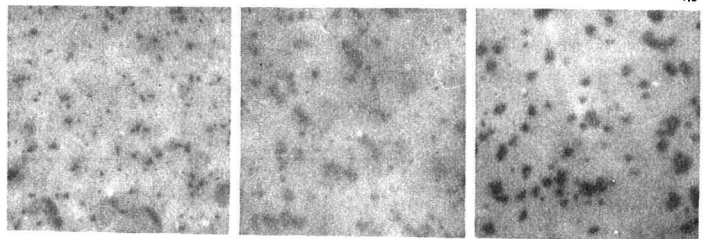


PHOTO-1

と上部流水との間には北原

式透明採水器によっても確認できるくらい明りょうな境界があり、したがって水底付近では、高濃度の凝集性物質による界面沈降あるいは圧縮性沈降の現象が生

じているものと推定される。また、制限水位時の沈降領域測点NO.20付近の下流側に大量の沈でいたい積物のあることは図-4に示した通りである。

3) 洪水時における沈での挙動について

以上で考察したように、流入濁度物質は平常の流量時には凝集沈降領域において大部分が沈でいとしたい積し、貯水池内に貯留される可能性が大きい。したがって、このかぎりでは有害濁度物質による水質環境の汚染はダム貯水池によって緩和され、少なくともダム下流側における汚染の危険度は小さいといえよう。しかし、大流量時には流水の作用によって水底たい積物が再び流動し始め、流下する可能性も考えられ、この点について貯水位および流量との関連のもとに定量的な予測が要請される。

この問題に関連して、まず常時満水位時と制限水位時における水底たい積物の挙動を比較してみる。すなわち、常時満水位時には、図-10に示したように、この時期の凝集沈降区間付近であるかなり上流部に沈での存在が認められ、その堆積量は常時満水位の期間を通じてしだいに増加するものと推定される。ところが、制限水位時における測定結果である図-4においては、測点NO.30付近より上流部においては底質の大部分が砂質であり、沈での存在はほとんど認められていない。この事実は常時満水位期間を通じて上流部の凝集沈

降区間において徐々に蓄積された沈でいが、制限水位時において水流によって輸送され下流に流下することを示すと思われる。この点を明らかにするために、沈での輸送の程度を表わす指標として流水によるせん断力(τ)を用い、常時満水位および制限水位時における各区間のせん断力の分布を3で述べた観測値より推算した結果が図-11である。ここで τ

は粗度係数を $0.029(\text{m}^{1/3}\cdot\text{sec})$ ととり、流速の実測値より計算した。さらに、当貯水池底より採取した沈でいを用いて、実験室において現地の条件に近い沈殿・圧縮状態を再現し、水路実験によって沈での輸送される限界せん断力を求めた。すなわち τ_c が部分的に浮上の生ずる値であり、 τ_{cs} はほぼ全面的に浮上し底質の洗掘の始まる下限値である。同図の値からも、常時満水位期に上流部にたい積した濁度物質が、制限水位時に再浮上して流下する可能性がみられる。このことは、洪水が流入した場合にはさらに顕著になるであろう。

あとがき

旧松尾鉾山の坑道廃水に源を発し四十四田ダム貯水池に流入する特殊な濁度物質の貯水池内における挙動について大まかな考察を行なった。今回実施した現地観測はいずれも平常流量時におけるものであるが、当貯水池における濁度供給の機構から考えて、このような比較的少流量時の現象の把握がまず必要であると思われる。すなわち、濁度物質流入の面からみると大流量時にはその濃度が希釈される傾向

FIG.10

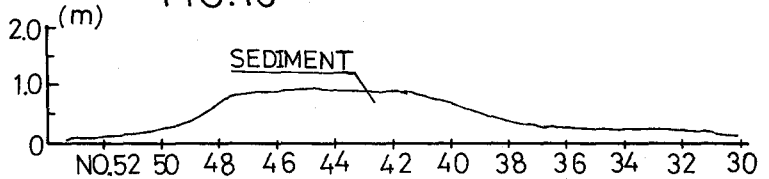
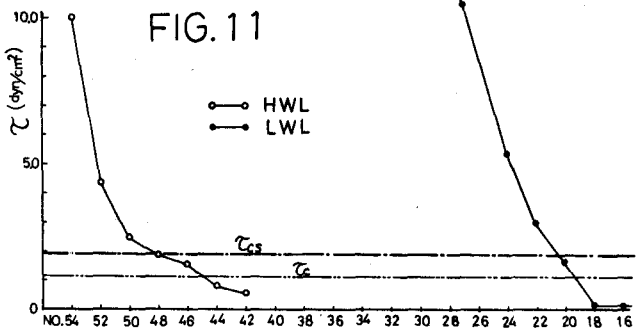
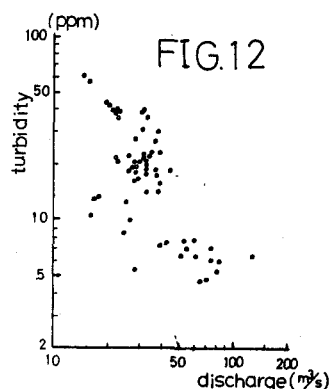


FIG.11



がある。その例として、船田橋における自動水質観測所のデータをもとに流入量と濁度との関係を図-12に示したが、これから通常の河川の場合と異なって、大流量時よりもむしろ少流量時の方が一般に高い濁度を示している。しかし、ダムサイトにおける水質予測を行なうためには、常時には堆積している沈でいの大流量時における再浮上ともなる挙動について明らかにすることが最も重要な問題として残されている。さきに図-4で示したダムサイト付近の沈ではこのような原因により下流まで流送されかつ沈殿したものと推定されるが、このように浮上した濁度物質の何割かはダム放流水中に含まれて流下する可能性も考えられる。したがって、平常時における長期間の流入濁度物質の貯留過程とともに、洪水時における短期間の挙動を明らかにすることが肝要である。なお、今回の観測時においては顕著な水温躍層の形成はみられなかったが、従来のデータによると制限水位時にかなり明瞭な躍層が生ずる例もあり、この点も今後の検討事項としたい。



謝 辞：本研究を進めるにあたって、建設省・北上川ダム統管理事務所（谷本所長）には現地調査のための全面的協力と多くの貴重な資料を提供していただいた。東北大学・資源工学科・下飯坂教授および松岡助教授をはじめ研究室の方々には、水質分析関係の御協力をいただいた。当研究室の西沢助手、卯花技官、山路技官、大学院生・庄子、大杉両君および学部研修生の方々は、調査・実験・資料整理等に熱心に参加された。昭和51年度文部省科学研究費自然災害特別研究（代表：名大・足立昭平教授）よりは、研究費の一部援助を受けた。以上の各位に対して厚く謝意を表する。

参考文献

- (1) 東北地建・岩手工事事務所；北上川水系の水質に関する調査研究，昭和49年
- (2) 白波瀬，奥山，井上；赤川のひ素の挙動について，東北地建管内技術研究発表会，昭和51年
- (3) 野中八郎；下水処理プロセスとプラント設計，日本水道協会