

四十四田ダム貯水池における凝集性濁度物質の堆積と浮上

(北上川水質に及ぼす四十四田ダムの影響)

八代工業高等専門学校 正員 ○三王英寿

東北大学 工学部 正員 岩崎敏夫

1. まえがき

北上川本川の四十四田ダム貯水池に流入する2次支川赤川水源域には硫黄・硫化鉄鉱床である松尾鉱山が昭和47年に閉山するまで活動し、このためFe、Al、As等を含有するPH 1.5程度の強酸性水を流出し、北上川流域の環境汚染の大きな問題点であった。これに対して炭酸カルシウム、消石灰等による中和処理が施されてきたが、四十四田ダムにはこの中和処理に伴う硫酸カルシウムや水酸化鉄等を主成分とする凝集性濁度物質が大量に流入沈降し、さらにこれと共沈するAs等が高濃度に蓄積されるために洪水時の再浮上・流下が懸念されている。したがって、洪水調節を目的とした四十四田ダムの建設は北上川の水質環境にも大きな影響を及ぼしてきたと考えられ、また将来に問題を残している。本論文は上述のような状況下にあるダム貯水池の機能と影響について、現地調査結果にもとづいて考察したものである。

2. 松尾鉱山の影響による北上川水質問題

松尾鉱山においては明治末年に硫黄鉱の採掘が始められて以来、坑道より硫酸および硫酸第一鉄による強酸性水と重金属類との排出が続いている。また、露天掘跡や鉱滓堆積場からの流出水にも多量の重金属類が含有されると考えられている。したがって、松尾鉱山の廃水は赤川・松川・北上川の水質に対して強酸性水の問題と高濃度重金属類含有の問題とを課したことになる、これらは閉山後今日に至るまで十分な解決を得ていない。

まず、酸性水の問題については急速に鉱山の開発が行なわれた大正初期に始めて表面化し、赤川流域より北上川中流域の花巻市や北上市付近に至るまで水田に被害を受けたことが記録されている。松尾鉱山および北上川上流～中流域の概要を図1に示す。これに対し鉱山は昭和4年から生石灰投入による小規模な中和処理に着手し、さらに沈澱池方式による中和処理を始めたが十分な処理はできず、閉山直前の昭和40年代には北上川中流部で川魚の大量の斃死がみられたといわれている。また、四十四田ダムは昭和42年に竣工したものであるが、堤体下流側に架設された工事用橋梁の橋台やコンクリート護岸は腐食が著しく当時の酸性水の影響の強さを示している。

昭和47年度よりは赤川が建設省に移管され、より規模の大きな中和処理が行なわれるようになった。すなわち100～200トン/日の炭酸カルシウムが赤川に投入され、さらに一部沈澱池による処理操作が併用されている。このため赤川から北上川へ流入する河水の酸性度はしだいに低減し、支川流出による希釈効果も加わって、現在四十

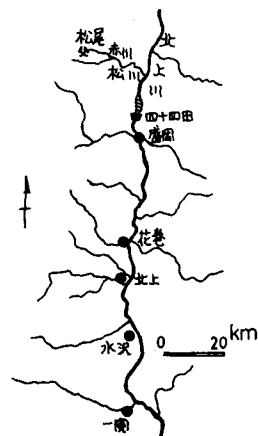


図1 北上川上流～中流域

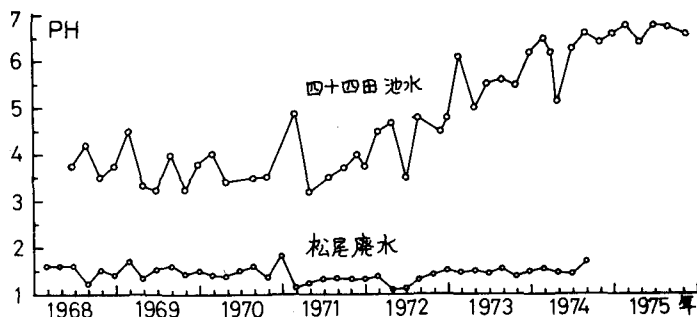


図2 鉱山廃水およびダムサイト河川水の水素イオン濃度変化

四田ダム地点においては常時ほぼ $\text{PH} = 6.5$ に維持されている。この間における鉱山廃水および四十四田地点河川水の PH 値の時間的変化状況を建設省資料⁽¹⁾にもとづいて作図し、図2に示した。

以上で概説したように、河川水酸性化の問題に限定すれば従来の中和処理方式によって一応の解決策が得られたことになる。しかし、この処理方式では沈澱池の施設が十分でなく主として中和剤を直接河川に投入しているため、反応生成物の流下と含有重金属類の共沈・蓄積の問題が表面化してきた。この点に関してはダムの建設が大きな影響をもたらしており、以下このことについて述べる。

3. 中和反応生成物の流下と四十四田ダムの貯留機能

四十四田ダムは北上川の洪水調節を目的として築造されたものであるが、その竣工後赤川における中和処理事業が大規模化したことと相俟って流下する多量の反応生成物の挙動を支配し、洪水防禦に劣らず重要な環境保全上の問題を生ぜしめている。これは主として流送物質に対するダムの貯留機能によるものである。

中和剤投入地点における赤川の水は濁度数百ppmの赤褐色となり、流れによる攪拌作用を受けて中和反応が進行するとともに、合流によって希釈されながら松川を経て四十四田ダムの約14Km上流で北上川に流入する。この水中に含まれる濁度物質は $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 CaSO_4 などを主成分とする沈澱性のものであるが、河川流の乱れによって微小粒子として拡散浮遊している。ここでこれら懸濁物の沈降特性が問題となるのに対し、とくに $\text{Fe}(\text{OH})_3$ と $\text{Al}(\text{OH})_3$ の凝集性が著るしいことと PH 値は6台の条件のもとに、懸濁粒子の凝集結合ないしフロック化が観察される。流れに伴う混合の度合の大きい上流の河道部よりダムによる背水の影響区域に流入する懸濁物の粒度分布の変化する状況を図3に示す。同図中

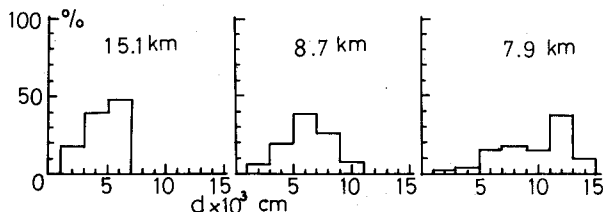


図3 フロック化による懸濁物粒度変化

の距離表示はダム地点を起点としたものであり、

また縦軸は重量百分率を示す。これは昭和52年10月に測定した例であるが、ダムの背水区域（背水端：10Km地点）に入ると懸濁物のフロック化が顕著になることを表わしている。なお、このような背水区域における懸濁物のフロック径は微小フロック間の結合強度と水流の乱れによる破壊作用力との相対関係によって定まると考えられ、現地調査によるデータにもとづいてフロック径と平均流速との間に関係が得られている。すなわち、フロック径(d)は平均流速(U)に逆比例し、実用的範囲内で一般に $d = \alpha U^{-\beta}$ (α, β : constant)の関係がある。以上のような凝集結合ないしフロック化によってダムの背水区域内では懸濁物の沈降性が著るしく増加し、後述するように通常のダム貯水池とは規模の異なった堆積を生ずることになる。

四十四田ダムに流入する水中には上流鉱山の影響によって、通常の河川に比較してかなり高濃度のAsやCd、Pbをはじめとする重金属類が含有されている。したがって、これらの物質の挙動に対するダムの機能についても明らかにされる必要がある。このうち特に含有量の多いAsについては金属水酸化物との共沈性の顕著であることが従来より知られており、当ダム貯水池においては $\text{Fe}(\text{OH})_3$ や $\text{Al}(\text{OH})_3$ の存在によって水中の濁度物質とほぼ同様の動きをすると考えてよいであろう。^{(3),(4)}

ダム貯水池内では流速の低下によって懸濁粒子フロックの成長が著るしく、その沈降性のために濁度物質に対する貯留機能すなわち沈澱池としてかなり高い効率をもつと思われる。これに対して、ダムは本来の洪水調節の目的より時期的に貯水位および放流量の操作を行っており、その影響については把握する必要がある。

貯水位は、7月～9月の洪水期と10月～6月の非洪水期に分けて調節されている。すなわち、非洪水期においては常時満水位EL170m付近にあり、洪水期には制限水位EL159m以下に保たれている。とくに、6月1日より1ヵ月間は制限水位への移行のために連続的に放流を行ない徐々に水位を低下させるために、貯水池

内の流動性に特徴が見られる。各水位期における濁度物質の挙動に注目して、平常流量時に行なった現地調査の結果をまとめると以下のである。

ダム貯水池に流入する河川水の中和反応生成物を主成分とする濁度は、平常時上流河道部において数十ppmであるが、満水位期および制限水位期ともにダムの影響による背水区域に入るとほぼ2Kmの区間で懸濁した濁度物質は急速に沈降し、この沈降領域を通過した流水の濁度はほぼ10ppm以下に減少する。さらに貯水池内を流下するにつれて流水は清澄化し、ダム地点においては普通2~3ppm以下の濁度となる。また、夏期には温度成層の発達する場合があります、このとき貯水池への流入濁水はその温度に等しい水深まで潜り込み中間流動層を形成してダム地点に到達する傾向が見られるが、濁度物質が流下中に大部分沈降し結局低濁度水となる程度は成層のない場合とほぼ同様である。したがって、平常流量時における流水中の濁度物質のほとんどは貯水池内に堆積するものと考えてよいであろう。ただし、主要沈降領域は背水端付近に生ずるためその位置は貯水位によって変化し、満水位期には8~10Km地点、制限水位期には3~4Km地点がそのような領域となる。主要沈降領域付近の池底には大量の濁度物質が沈泥状に堆積している状況が採泥器や水中写真撮影等によって明らかになったが、このような堆積物の流況変化による再浮上と流送の問題についても検討する必要がある。

まず、満水位期の8カ月間に8~10Km地点に沈澱した堆積物の移動状況については、昭和52年6月8日より一週間隔で計4回の観測を行なった。その結果、当初8~10Km地点の水底にほぼ2mの厚さで堆積していた水酸化第2鉄を多量に含有する沈泥が制限水位に移行する貯水位低下に伴って下流に流送される状況が明らかになった。すなわち、貯水位低下過程で掃流力が増加し、上記の区間の沈泥は洗掘されて再浮上流下する。このとき、流水中の濁度はほぼ2Kmの区間にわたって数百ppmもの高い値になるが、水深が5m程度になり流速が低下すると再度懸濁粒子のフロック化によって沈降性が増大し、濁度物質の大部分が沈澱して流水の濁度は数ppmに回復する。さらに、水位低下に伴ってこの過程がくり返され、満水位期に生じた沈泥の大部分は6月末には最終的に制限水位に対応する沈降区域付近まで流送され、結局この区間における前年度の沈澱物の上層に堆積する。この間、ダムを通過して流失する濁

度物質はごく少量であると考えられる。以上のような流送過程は池底に規模の大きな堆積地形を形成し、毎年その位置を大幅に前進させる。建設省の測量成果にもとづいて作図した堆積地形の経年変化を図4に示す。なお、制限水位移行期における濁度物質の流送状況については、沈泥に対する限界掃流力および洗掘量の関係を実験によって求め、この関係とさきに述べた懸濁粒子フロック径と断面平均流速の関係をとり入れて移流拡散方程式による計算を行なったが、実際の場合についてかなりよく模擬できており予測にも使用できると思われる。

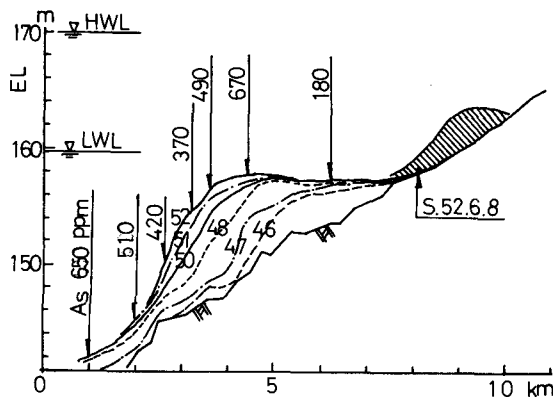


図4 地底堆積状況(縦断面図)

As が中和反応によって生じた濁度物質と効率よく共沈することについてはさきに述べた通りであり、このため、堆積地形を構成する沈泥中にはかなり濃縮されたAsが存在する。このことを図4中の数字(As)が明瞭にあらわしている。この値は池底のボーリング試料を分析して得られたもののうち、表層付近1mの厚さにおける濃度である⁽⁵⁾。これより、比較的上流部で中和反応生成物による沈泥の少ない区域ではAs濃度も微少であることがわかる。なお、Cd等の重金属類についてもこれとほぼ同様の傾向が見られる。さらに、懸濁物をろ過除去した池水中にはAsがほとんど含まれておらず、ダム地点で常時発電に使用された放流水中のAs濃度は環境基準を下回っていることなどが確かめられている。

以上で検討したように、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 CaSO_4 等の中和反応生成物および As や Cd をはじめとする重金属類の大部分は、少なくとも平常流量時には貯水池内に貯留され则认为てよいであろう。また、7月以降の洪水期においては、その前年度からの満水位期を通じて新たに生じた沈泥の大部分は既に堆積地形のクレストの下流側に流下しているため、洪水流出のある場合でも上流部から洗掘流送される量は少なく、また堆積地形クレストの下流部においては水深が大であるため掃流力は小さく沈泥が洗掘再浮上しダムより流失する危険性は比較的小さいと考えられる。ただし、これらについて調査、実験、数値シミュレーション等にもとづくより詳細な把握が必要であることは勿論である。現在行なっている計算結果⁽⁶⁾によると、濁度物質流失の危険性の比較的大きいと考えられる制限水位・成層期において、流入量 $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ までは放流水中に濁度物質はほとんど含まれず、 $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ の場合にはほぼ 3 ppm となる。この計算結果と従来の流入量記録の統計値より推算すると、1年間のうち濁度物質を放流しない日数は $300 \text{ 日} \sim 330 \text{ 日}$ となり、それ以外でも流入量 $70 \sim 100 \text{ m}^3/\text{sec}$ は 10 日 前後でこの場合の放流水濁度は数 ppm である。

4. 問題点のまとめと今後の対策

四十四田ダムを事例として、集水域内に鉱山を有するダムが河川水質に及ぼす影響について主として水理学的な面より考察した。その結果を要するに、ダム貯水池は流水のみならず重金属等を含有する濁度物質をも貯留し、換言すれば沈澱池として物理的、化学的にかなり効率よく作用しているといえる。このことは、環境問題に対して次のような互いに背反する2つの側面をもつと考えられる。

①有害物質の下流域への流送拡散を防止する。②有害物質を貯留し、その潜在的危険度を集中化する。

As とか重金属類等は通常の河水中にも含まれているのが普通であるが、その含有量が微小であるため有害物質として問題になることが少ない。しかし、これらが一定の限度（例えば現在の環境基準）以上含有されると、周知のように食物連鎖などによって重大な結果を惹起する危険性がある。この許容限界を越える量の有害物質が広域に拡散した場合を想定しこれに比較すると、本事例のように狭い区域に集中化している方が抜本的対策が立て易いとも考えられる。ただし、図4に示されたように池底の堆積地形の急速な発達の場合を考えるとこのままでは十年を待たず貯水池および沈澱池の機能が失なわれるであろうことが明らかであり、その対策には緊急を要する。その具体案の一つとして、赤川上流部に大規模かつ効率のよい中和沈澱池を建設し濁度物質の流下を押える計画が立てられており、これは是非とも実施されるべきものであろう。しかし、現在既に池内に貯留されている有害物質の処理の問題は依然として残る。As に関しては化学的にかなり安定に共沈していることが最近明らかにされた⁽⁷⁾。全般的に沈澱物が現状のままで安定化すれば問題は簡単になるが、各方面から長期的に見た場合の検討が必要であらう。これらの結論は早急には出ないであろうが、抜本的対策を練る一方で各種の危険性に対する予想法を確立させながら、緊急の場合には臨機に対応できるよう心掛けるべきであると思われる。

最後に、現地調査における多大の援助と貴重な資料の提供を頂いた建設省北上川ダム統合管理事務所の各位、ならびに水質分析関係に参加頂いた東北大学工学部資源工学科の下飯坂潤三教授、同松岡功助教授はじめ研究室の各位に深謝申し上げます。また、調査、実験等に協力された東北大学工学部土木工学科河川水理学ならびに海岸水理学研究室の諸氏に謝意を表します。

- 参考文献 (1) 後藤達夫：北上川水系の水質に関する調査研究、建設省東北地方建設局 岩手工事事務所、昭和49年。
(2) 岩崎敏夫他：貯水池における凝集性懸濁物質の挙動について、第22回水理講演会論文集、昭和53年。
(3) 白波瀬正道他：赤川のひ素の挙動について、建設省東北地方建設局技術研究発表会、昭和51年。
(4) 岩崎敏夫他：四十四田ダム貯水池の流入濁度物質の堆積及び浮上に関する調査研究、昭和52年度報告書。
(5) 建設省北上川ダム統合管理事務所：四十四田ダム沈澱物採掘並びに分析調査報告書、昭和52年。
(6) 文献(4)に同じ
(7) 文献(4)に同じ