

II-28 原水の貯留による水質調整について

札幌市水道局 正会員 平賀 岑 吾
工藤 仁 臣
中村 幸 夫
菅原 伸 二

1. はじめに

水道とは、水道法により「導管及びその他の工作物により、水を人の飲用に適する水として供給する施設の総体」と定義されており、その目的は清浄にして豊富な水の供給である。

このような目的をもった水道のプロトタイプとして、水処理プロセスであるろ過池（緩速）と水輸送プロセスである有圧管（鉄管）を具備したいわゆる近代水道が、明治20年横浜に初めて誕生して今年でちょうど一世紀を迎える。この百年間におけるわが国の急激な都市化と経済成長は、需要水量の著しい増加を招き、これに対応した水道の整備・拡張が全国的に促進されてきた。この結果、伝染病の予防という当初に付託された目的を果たした水道の給水普及率は、昭和59年度で93.1%に達し1億1千万人余りの国民に給水するに至った。このことは、増大する水需要に対応することを目的に、普及率を指標として発展を続けてきたわが国の水道が、今や市民の生活用水を供給する唯一の手段となり、都市におけるライフラインとしての役割を担っていることを物語っている。

このように、高普及時代という新たな段階に入ったわが国の水道に今後求められているものは、より一層の「安定・安全給水の確保」である。このため、浄水場相互連絡管の布設・配水池容量の増強・ブロック配水システムの整備・老朽管の更生・災害対策用緊急貯水池の設置などの新たな方策が具体化されつつある。

今回、札幌市が定山溪浄水場において建設を計画した原水貯留池は、このような安定・安全給水の向上策の一つとして位置づけられるものである。これは水道施設に新たにストック機能を持たせ、結果として水質の調整が図られ、短時間の取水停止によっても断水を回避できるという、従来の水道施設の設計指針や維持管理指針にはみられないわが国の水道で初めての施設である。

本文では、この原水貯留池の基本的な考え方とその実際について報告するものである。

2. 原水貯留池の基本理念

質変換技術と輸送技術の集成である水道は、取水・浄水・配給水プロセスから構成されるシステムであり、清浄で豊富な水を安定的に供給するという目的を達成するためには、トータルシステムとしての水量・水圧・水質管理が要求される。

水道における水量・水圧管理の基本は、需要水量に応じた過不足ない水を適正な水圧をもって供給するとともに、事故・災害等の非常時や施設の補修・点検時においても、減断水を極力回避し安定給水を確保することである。しかし、現在の水道は

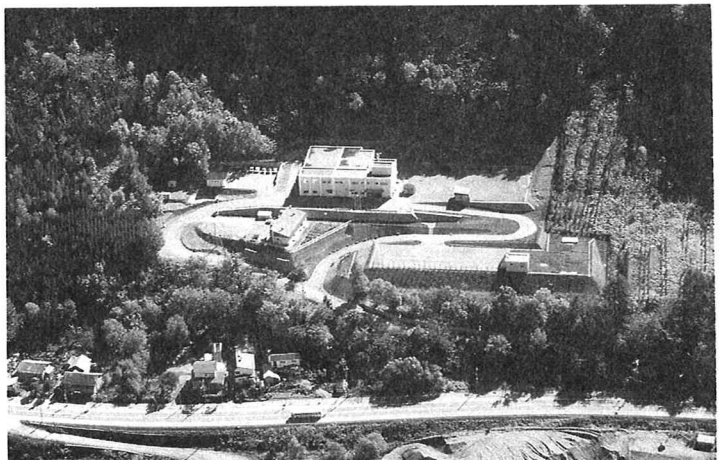


写真 定山溪浄水場全景

フローを主体とした水供給システムであり、安定した給水の確保のためにはストックの機能を持ったプロセスが不可欠となっている。現行システムでは主として配水池にその機能が集約されているが、従来の配水池は10時間前後の滞留時間の容量をもって、配水量の時間的変動を吸収することが主目的とされ、配水管折損や災害発生といった非常時の給水予備力は備えていない。そこで、今後はより一層の安定供給を図るため容量の増強が課題とされている。しかしながら、配水池におけるストックは、残留塩素低下など水質管理面での問題が派生する。

一方、水質管理の基本は、常に水質基準に合致した水はもちろんのこと、より安全な水を供給することであり、このためには、良好な水源水質の確保と、浄水過程での適確な処理及び配給水プロセスにおける適正な管理が不可欠である。水道水源に関しては、その大部分は公共水域に求められていることから、水源監視等の水質保全対策が水道事業体自らの手で実施されているものの、水源流域内での汚染事故等の外乱は避けられないのが現状である。一方、現在わが国の浄水処理の主流である急速ろ過方法は、凝集剤の使用によって、濁度数百度の高濁原水に対しても大量の処理水量を確保できる最も進んだ浄水技術として普及してきた。しかしながら、原水の濁度やpH等の変動時における凝集不良・沈でん池での密度流の発生や、アンモニア・有機汚染物質の処理不能等が、急速ろ過方式の弱点として残されている。また、高濁時に大量に発生するスラッジは、以降の排水処理施設の運転に大きな影響を及ぼすとともに、処理・処分施設の建設に際し莫大な費用を必要とする。

原水貯留池は、これらの水量・水質管理上の問題点を同時に解決する目的で建設される施設であり、近代水道の発祥の地であるヨーロッパにおいては、従来から一般的なプロセスとして考えられてきた。このような原水貯留池は、配水池と同様に水道システム内のストック施設として位置づけられるものであるが、配水池が主として量の安定化を図るものであるのに対し、これに加えて、原水水質の調整による浄水処理及び排水処理の安定化によって、水道トータルシステムにおける安定・安全給水の向上を図る施設であり、次のようなメリットを備えるものである。

① 量の安定化

量の安定化のためには、水道システム内にストック施設が必要であるが、送配水施設の配水池における長時間の貯留は残留塩素の低下など水質面での問題点が残されており、その容量にはおのずと限界がある。一方、水源施設のダムや貯水池は、河川水を貯えて有効な水運用を図り、平年的な安定給水の確保を可能とするための重要な施設であるが、河川工作物として、その運転・管理が制約を受けている。また、環境に対してオープンな施設であるため、水質汚染に対しての脆弱性を有し、水道プロセスとして有効に機能できない一面がある。

これに対し原水貯留池は、浄水プロセスの前段に配置されることから、ストックによる水質劣化の問題をクリアーでき、さらに、水源から独立した水道プロセスであることから、水源汚染事故や地震災害時の突発的な外乱に対応する機能を持っている。

② 原水水質の調整

比較的短時間の貯留における混合・拡散作用によるpH変動の均一化や沈でん作用による濁質成分の固液分離、さらに長時間の貯留における自浄作用によるアンモニア・溶解性有機物質の低減化などのいわゆる水質改善によって以降の浄水処理の安定化が図られる。

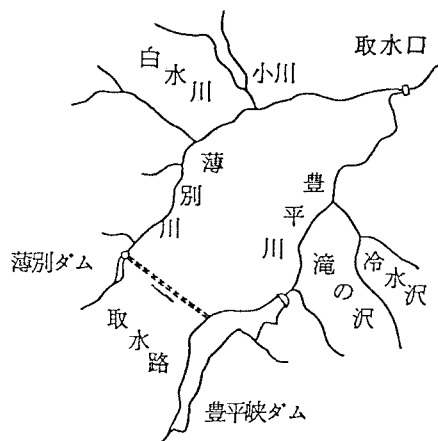


図-1 河川状況図

また、貯留容量を利用して、原水の水質に応じた時間的選択取水が可能となる。例えば、高濁時のピークカットを行うことで、浄水処理の安定化をはかると同時に発生スラッジ量を減らし、排水処理の負担の軽減化が図れる。このことは、薬品・動力等の使用量を節減し経済性を向上させるとともに、廃棄物の環境中への拡散を抑制することになる。

以上のような水量・水質両面の安定化機能を有する原水貯留池は、その水道の持っている水源特性や立地環境、さらにどの機能に重きを置くかによって、容量・構造・運用方法等が決定される。

ライン川を水源とするオランダの水道にみられる原水貯留池では、1カ月程度の容量で、アンモニアの硝化や大腸菌の低減化を図るとともに、上流での水質汚染事故（実例として1986年11月にスイスの工場からの水銀等の有害物質を含んだ排水の流出事故がある）の際に取水を停止する機能を持たせている。また、パリ郊外の Mery-sur-Oise 浄水場では約 1.5 日分の原水貯留池を持ち、浮遊物質の沈でん除去と、少量のオゾン注入によってアンモニアや有機物の低減化を図っている。

一方、わが国においてはこれまで、水源に乏しい九州、沖縄地方の水道に、主として渇水時に備えた貯水池がみられる。例えば、遠賀川を水源としている北九州市では、ポンプアップにより取水している原水の余裕分（水利権一導水量）を貯える貯水池を持って、渇水に備えている。これは量的な観点から設置された貯水池の例であるが、今回本市が定山溪に建設する原水貯留池は、量的ストックの他に水質調整を目的とする全国で初の施設である。

次項で定山溪浄水場における原水貯留池について述べる。

3. 定山溪浄水場の特性

定山溪浄水場は、河川表流水を水源とする薬品沈でん・急速ろ過方式の在来型浄水場で、処理能力10,000 $\text{m}^3/\text{日}$ を有する本市では比較的小規模な浄水場である。給水区域は札幌市の観光地である定山溪温泉街が中心で、標高が高く、都心より遠隔地にあるため、他浄水場から独立した給水系統を形成している。

原水の水質は概ね良好であるが、原水 pH・アルカリ度の著しい変動や原水濁度の急激な上昇が、凝集処理を困難にしている。また、取水口の閉塞や水源汚染事故が水量管理に影響を与えている。

このような状況にある定山溪浄水場に、本市他4浄水場に先がけて原水貯留池を建設することは、これらの問題を大半解決することができ、貯留池の機能が特に有効に発揮すると考えられる。

3-1 原水水質の特性

(1) 原水 pH・アルカリ度の変動

浄水場の水源は豊平川の表流水で、取水口は図-1のとおり豊平川と支流薄別川の合流点に位置している。両河川の水質は、豊平峡ダムと薄別ダムの建設以前はほぼ同じであったが、ダムが完成した昭和47年以降はダム下流の沢水が両河川の水質の主体となり、豊平川は高 pH・高アルカリ度、薄別川は低 pH・低アルカリ度になった。このことにより、原水の水質も両河川流量比の影響を強く受け、特に6月から10月にかけて実施される豊平峡ダムの観光放流によって、原水 pH・アルカリ度が図-2に

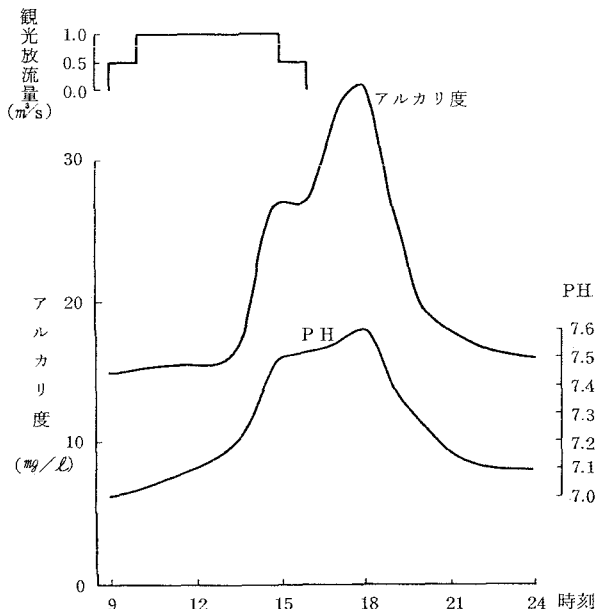


図-2 原水 pH・アルカリ度経時変動

見られる特異な日周変動を繰り返すようになった。

このような水質変動に対し浄水場では、低濁度の原水にもかかわらず、薬注率を頻繁に増減して適正な凝集pH域の確保に努めるようにしたが、急激な水質変動に薬注コントロールが追従できず、凝集処理が悪化する事例が時折発生した。

このため、さらに凝集剤をLASから凝集ゾーンの広いPACに変更し、また、水質変動時の薬注の標準化を行うなどの対応策を講じて改善を図った。しかし、抜本的な解決には至らず、現在もお管理員の負担となっている。

(2) 原水濁度の急激な上昇

原水濁度は年平均で2, 3度と低濁度であるが、取水口上流の河床勾配が急峻で流路長が短いこと、さらには水源流域の地形・地質の影響を強く受けることによって、降雨等による高濁発生時には、わずか10分程度で原水濁度が数度から数千度に上昇するなど極めて急激な上昇勾配を示す。

現行の浄水システムは配水池にわずかな調整容量を有しているものの、このような原水のお大半はそのまま取水し処理しなければならない。このため、急変する原水濁度に対しては、これに即応した薬注コントロールを確実に行う必要がある。しかし、時間的余裕がないために適正な薬注変更タイミングの決定が難しく、安定した凝集処理を行うことが困難な状況にある。

さらに、排水処理システムでは一度に大容量の負荷を受け入れることになり、施設の運転やスラッジの処分を難しいものになっている。

3-2 水源事故

(1) 取水口の閉塞

秋季には両河川を流下する枯れ葉が、また、冬季にはシャーベット状の雪氷が取水口を閉塞し、取水能力を大幅に低下させ、時には取水不能を招いている。同期間中は、取水口に設置した枯れ葉・雪氷除去ポンプにより閉塞を防止する一方、毎日取水口の状況を点検し、必要に応じて枯れ葉や雪氷を除去している。しかし、夜間における発生は管理員が2名であること、さらには取水場が浄水場から約1km離れた位置にあることから、大きな負担となっている。

(2) 水源の汚染

水源一帯は大半が支笏・洞爺国立公園で、国有林野であることから、水源汚染の発生源となる箇所は少ない。しかし、豊平川および薄別川上流には、水源汚染を招きかねないレジャー施設も存在している。このため、過去に数回高濃度のアンモニア性窒素などを含有した処理排水が河川に流入し、浄水場では配水水質には影響がなかったものの、消毒剤の増量、水質試験の強化等の対応策を行うなど、浄水処理に影響を受けた事例がある。

3-3 立地環境

札幌市内には現在5浄水場があり、定山溪浄水場以外の給水区域は隣接し、相互連絡の配水管により給水区域を部分的に変更して配水調整等の融通性を発揮できる系統になっている。特に、本市の基幹施設である白川浄水場と藻岩浄水場間には相互連絡管が布設されており、藻岩浄水場の安全性が確保されている。しかし、定山溪浄水場は都心から遠隔地にあり、かつ標高が高いことから、現段階では独立した給水系統となっているため、独自で給配水の量的確保を図らなければならない状況にある。

4. 原水貯留池の実態

現在定山溪浄水場に建設中の原水貯留池は、前述の基本理念と浄水場の環境特性を考慮しながら、以下の考え方に基づき計画・設計されたものである。

(1) 池容量

原水貯留池の容量は、浄水処理上で大きな問題となっている原水pH・アルカリ度変動の均一化を主眼と

し、さらに高濁時のピークカットを可能とすることを念頭において、日最大取水量の1日分の10,000m³とした。

この際には、原水pH・アルカリ度の変動が原水貯留池の水質調整作用によって均一化される程度を推定するために、実験槽を用いたモデル実験とコンピュータシミュレーションを行った。その結果、原水pHの変動を葉注変更が不要となる0.2以内に均一化するためには、10,000m³/日の取水量に対して7,500m³の容量が必要であった。また、高濁時のピークカットを行う場合の設定濁度を、浄水処理・排水処理への負担軽減の程度を考慮して50度とし、継続時間を95%確率値の6時間とすると、2,500m³の容量が必要であった。したがって、ピークカット終了直後の池内水位が低下した状態でも、pH・アルカリ度を目標値まで均一化するためには、両者の合計である10,000m³の容量が必要であると考えた。

一方、水源汚染時や取水口閉塞時の原水確保の面では、10,000m³の池容量があれば十分対応可能である。すなわち、水源汚染に対する必要容量は、汚染物質の河川流下時間と流入継続時間によって決まるが、水源である豊平川と薄別川の場合、ダムから取水口までの流下時間は、過去の事例では数時間程度であるので、取水量の1日分を確保しておくことによって原水の質的安全は十分確保できる。さらに、原水貯留池の極めて大きな利点として、水質既知の原水を処理できることが挙げられる。1日分の時間的余裕があれば、水道法に基づく水質基準に定められているほとんどの水質項目について測定を行い、その結果を知ることができる。

また、取水口閉塞に対しては、過去の復旧所要時間が最長でも6時間程度であり、夜間における事故発生を考慮しても十分対応可能である。

(2) 池構造

定山溪浄水場の原水貯留池は、池内貯留水の拡散効果による原水pH・アルカリ度の変動調整機能が十分に発揮できる構造とした。

具体的には、原水貯留池の建設位置を浄水場より一段低い排水・排泥池隣接地としたことにより、取水場から浄水場まで原水を揚水している揚程約50mの導水ポンプに余裕が生じた。この残存エネルギーを利用して池内貯留水の拡散を行うことを考えて、浄水場構内地下に図-3に示すような有効水深20mのタテ長の構造の原水貯留池を建設し、池底部から原水を噴出流入させることとした。

また、池内に迂流壁を設けて5層構造とし、これにより池内における短絡流および死領域の発生を抑制し、貯留水の拡散を促進させるようにした。

(3) 運転方法

原水貯留池の運転は、連続流式を原則としたが、原水水質の特性に応じてフレキシブルに使い分けることも考えた。すなわち、原水pH・アルカリ度の変動に対しては、池内貯留水による拡散効果によって十分に均一化が図られること、さらには、日周変動であり発

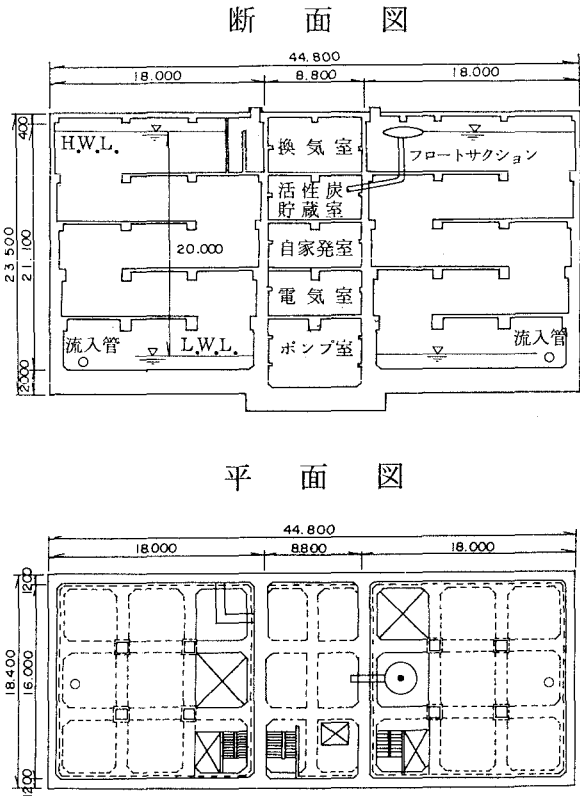


図-3 原水貯留池構造図

生頻度が高いことから、弁操作が不要である連続流式で運転し、一方、高濁時や水源汚染時には、バッチ式で運転する方式とした。

これを可能とするため、貯留池の集水方法は、連続流式の場合には、常時表層部からの集水を可能とするようにフロートサクショ管を設けた。また、バッチ式の場合には、取水停止による池内水位の大幅な低下に対しても上澄部の集水が可能となるように、池内各層ごとに合計5箇所のサクショ管を設置し、弁操作によって池内水量を有効に活用できるようにした。

5. おわりに

わが国の水道が高普及時代を迎えた現在、今後の水道に求められるものは、より一層の「安定・安全給水の確保」である。しかし、その一方では、原水として清浄な水が十分に得られることを前提としてきた水道が、水量・水圧・水質管理上の問題を内包しつつその解決に苦慮しているのもまた事実である。

この対応策の一つとして、今回定山溪浄水場に建設した原水貯留池は、水道システム内のストック施設として位置づけられ、ストックすることにより、水量の安定化だけでなく原水水質の調整による浄水処理及び排水処理の安定化を図ろうとするものである。これにより、水道のライフラインとしての機能がより高められ、ひいてはより安全な水をより安定して給水することに寄与できるものと考えた。

原水貯留池は、小規模浄水場では比較的容易に容量を確保できるが、大規模浄水場においては、これが困難なケースが多いと推察される。しかし、この場合にもダムや貯水池などの水源施設、立地環境等を勘案して、ストック機能を確保することが重要である。

したがって、本市では前述の基本理念をもとに、さらに定山溪浄水場の原水貯留池の運転状況を十分に評価しながら、他浄水場にも原水貯留池を建設して行くことを検討したい。

〈参考文献〉

1. 岩城正史；取水口結氷防止の実例

第16回全道水道実務研究発表会講演集, 1977

2. 小田直正, 小島寿夫, 竹田昭彦；定山溪浄水場における原水水質特性と浄水処理について

第20回全道水道実務研究発表会講演集, 1981

3. 盛田裕一, 藤懸 健, 佐々木喜一；水質汚染事故とその対策

第36回全国水道研究発表会講演集, 1985

4. 中村幸夫, 真宮 守；次亜塩素酸ナトリウム注入装置の留意点

第37回全国水道研究発表会講演集, 1986

5. 平賀岑吾, 牧野勝幸, 金谷敬一；浄水場の相互連絡について

土木学会北海道支部研究発表会論文報告集, 1986