日本最大級の膜ろ過設備による高度浄水施設の施工

－十和田市芳川原（よしがわら）浄水場－

東京支店　土木工事部　長谷川学

概要：十和田市芳川原浄水場は，青森県の南東部中央に位置する十和田市街のほぼ全域を給水区域に持つ浄水場である．西方には八甲田山系が連なり，国の特別名勝及び天然記念物に指定されている「十和田湖」「奥入瀬渓流」を源とする奥入瀬川が流れている．芳川原浄水場は主にこの奥入瀬川の伏流水を水源として給水をしている施設である．建設から 30 年以上の月日が経ち老朽化が著しく自然環境の変化に伴う原水の濁りや，クリプトスポリジウム*1 などの病原性微生物の発生に対応できる日本最大級の MF 膜ろ過設備および，赤水の発生を抑え，配水管及び給水管の腐食抑制に対応できる消石灰注入設備を導入することとなった．
当社は平成 19 年度膜ろ過設備新設工事，平成 20 年度消石灰注入設備新設工事の施工を行い，本年度から稼働している．芳川原浄水場全景を**写真－1** に示す．
Key Words：クリプトスポリジウム，膜ろ過設備，管の腐食，消石灰注入設備

写真－1　芳川原浄水場全景

1．工事概要

1.1　膜ろ過設備築造工事

工 事 名：平成 19 年度　十和田市上水道第 6 次拡張事業芳川原浄水場膜ろ過施設築造工事
発 注 者：十和田市長
工事場所：十和田市大字三本木字下川原 155 番地内
工　　期：平成 19 年 6 月 1 日～平成 20 年 3 月 5 日
施　　工：ピーエス三菱・田中建設・田中組特定建設工事共同企業体
工事内容：上屋工地下 RC 造 1F 鉄骨造延床面積 S=736.96m²
膜ろ過ユニット：80 ユニット(5 ユニット/系列×16 系列)
処理水量：最大 27,200m³/day　平均 21,700m³/day

*1 クリプトスポリジウム：消化器官に寄生する原虫の一種

長谷川学

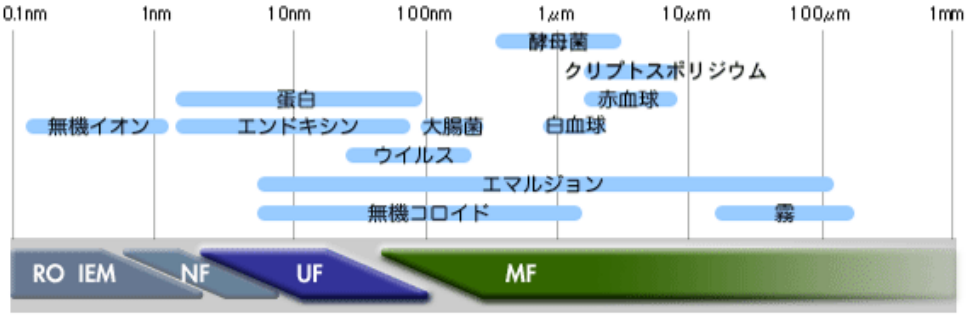
1.2　消石灰注入設備築造工事

工 事 名：平成 20 年度　十和田市上水道第 6 次拡張事業芳川原浄水場高度浄水施設築造外工事
発 注 者：十和田市長
工事場所：十和田市大字三本木字下川原 155 番地内外
工　　期：平成 20 年 6 月 14 日～平成 21 年 3 月 10 日
施　　工：ピーエス三菱・田中建設・田中組特定建設工事共同企業体
工事内容：上屋工地下 RC 造 1F 鉄骨造延床面積 S=212.73m²
消石灰注入率：最大 30mg/l　消石灰溶液注入量：最大 21.2m³/h
消石灰投入量：1,632kg（408kg×4 回投入）　溶液注入方式：流量制御方式
処理水量：最大 27,168 m³/day　平均 21,734 m³/day

2．設備概要

2.1　膜ろ過設備

膜ろ過とは膜をろ材として原水中の不純物を分離・除去する方法であり，**図－１**のように膜の孔径により種類が分別されている．使用する膜の種類は原水水質と除去目的に応じて選定されるが，十和田市は公称孔径 2μm の中空糸 MF 膜を採用し，4～5μm の大きさと言われているクリプトスポリジウムなどの原虫，微小動物類などの除去を目的としている．これらは耐塩素性の病原性微生物とされ，従来の浄水施設での除去は不可能であり，唯一除去が可能な膜ろ過設備に注目が集まっている．また今回施工した膜ろ過設備は処理水量が最大 27,200m³/day, 平均 21,700m³/day となり, MF 膜を用いた浄水場としては日本最大規模である．



図－１　孔径による膜の領域

膜本体は，**写真－２**に示すように外径約 1.25mm の中空糸（ストロー状）になっており，それらを数十本束にして膜エレメントを構成している．ろ過を行う膜ろ過モジュールは，**写真－３**に示すように膜エレメントを 56 本格納しており，1 ユニットで 300～500m³/day の処理を行う．本浄水場はこの膜ろ過モジュールを 80 ユニット設置している．

写真－２　中空糸外形

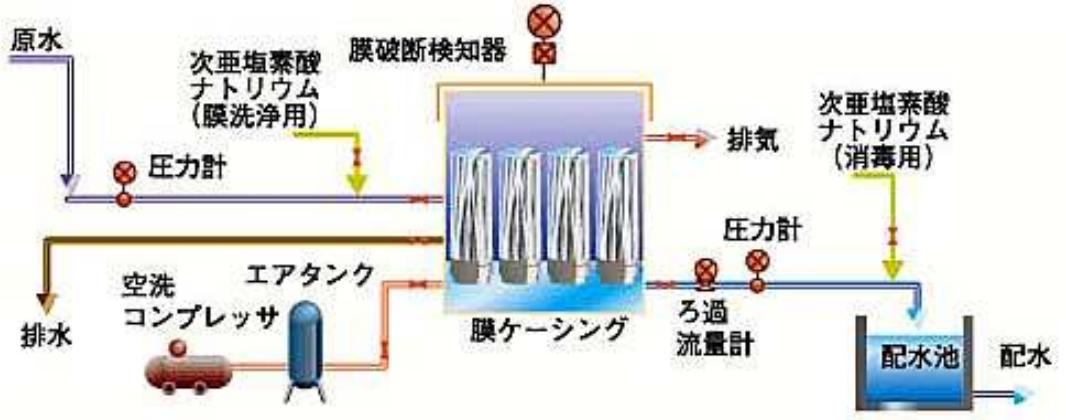
写真－３　膜ろ過モジュール

膜ろ過の原理は，**写真－４**に示すように中空糸表面に細かな孔があり，原水が中空糸表面より内部に向けて流入して孔より大きな異物が中空糸表面に付着する．表面に付着した異物は中空糸内部にエアを送って落とす．（エアによる逆洗浄）これら膜ろ過の原理模式図を**図－２**に示す．

写真－４　中空糸断面顕微鏡写真

図－２　膜ろ過の原理

当該浄水場の膜ろ過フロー図を（**図－３**）に示すが，膜ろ過後の浄水を滅菌後，配水池ポンプ井に送水し配水池を通じて市内全域に配水している．特筆すべきことは，原水流入から配水池ポンプ井までの送水まで自然流下方式で行っており，ランニングコストの削減を図っている．また稼働後は無人での運転となるため，運転状況，各計装データや異常検知センサー等の情報は全て浄水管理棟にある制御室に集められ，当該工事で設置する中央監視装置（**写真－５**）にモニタリングされてデータ化される．



図－３　膜ろ過フロー図

写真－５　中央監視装置

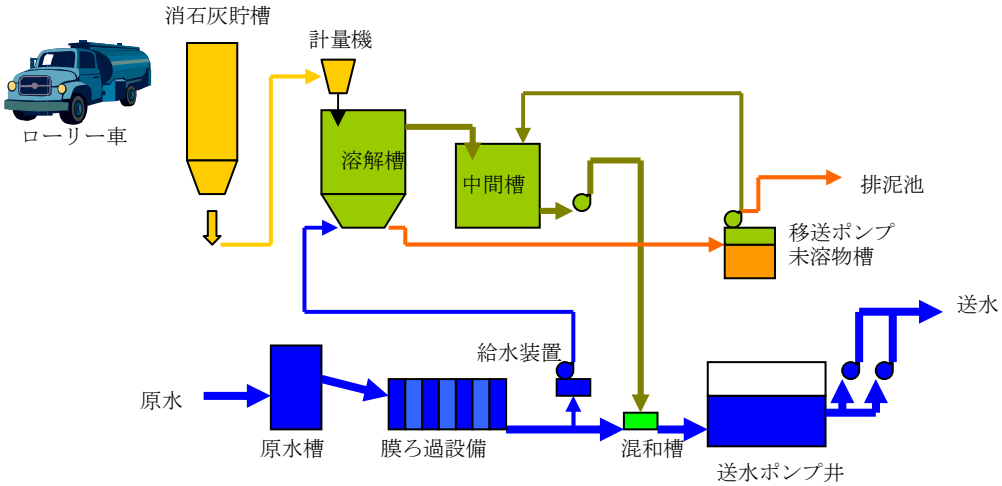
2.2　消石灰注入設備

芳川原浄水場の水源はほとんどが浅井戸であるため，土中の微生物活動によって常に遊離炭酸（酸成分）を含み，原水の pH が低下して酸性になる．酸性の水はコンクリートの腐食（中和反応によるセメント溶出）や，金属の腐食を促し配水管の寿命を縮める原因となる．これらの現象は，水中の塩素イオンや硫酸イオン等が濃縮して酸性物質が局部に生じる現象で，配水管でこれらが進行すると**写真－６，７**のようになり，最終的に配水管の布設替えが必要となる．そのため管路の長寿命化を図るには酸性物質を中和させる pH 調整が重要となり，芳川原浄水場は原水の pH 調整手段として消石灰注入設備を導入することとした．

写真－６　ダクタイル鋳鉄管
モルタルライニングの溶出

写真－７　鉄部腐食によるスケーリング

消石灰貯槽に貯蔵された消石灰は，原水流量を基に自動的に計量されて溶解槽で溶解される．溶解槽で生成された消石灰溶液は混和槽に送られ，膜ろ過後の浄水に注入される．溶解しきれない未溶物は未溶物槽に送られ産廃処理される．消石灰の注入率及び注入量は原水流量や注入後浄水の pH により，現場監視装置により自動的に溶液が注入され，任意の pH に調整が可能である．これら消石灰注入設備のフロー図を**図－４**に示す．このように消石灰を注入することにより，水道施設や配水管等にコーティング効果が得られて腐食防止や施設の長寿命化が期待される．



図－４　消石灰注入フロー図

３．施工上の問題点と対策

3.1　膜ろ過設備

膜ろ過設備施工に際しては着工直前に法改正があり，建築確認申請の認可に２ヶ月を要し計画工程より１ヶ月遅延での着工となった．また各配管(最大φ600)がステンレス鋼管による現合溶接で設計されており，必要な工程が確保できないこと，また冬期間の施工を考慮すると溶接部分の品質劣化が懸念された．

従って工期短縮と溶接部の品質確保を図るべく各機器および配管を全て設備の整った工場で仮組立・調整（**写真－８**）した後，現場に搬入して再組立（**写真－９**）するプレハブ化を実施した．また，ステンレス鋼管は全てフランジ接合として現合溶接を行わないようにして，管接合部分の品質低下を防止した．この結果１ヶ月工期の短縮が可能となり，管接合部からの漏水等のトラブルも無く工期内に完工できた．（**写真－１０，１１**）

写真－８　工場での膜ろ過設備仮組立状況

写真－９　現場での膜ろ過設備再組立状況

写真－１０　膜ろ過設備配管完了

写真－１１　膜ろ過操作盤設置完了

3.2　消石灰注入設備

消石灰注入設備施工に際しては，各貯槽が大型のため現場で鉄板を溶接して構築するしかなく大きな施工スペースが必要となるうえ，工期が少なく上屋工を含めた全ての工種を同時に施工する必要があった．また，新設浄水場に水を切り換えるにあたり既設導水管(φ600)のバイパスがなく，断水した上で既設管を切断して新設管を接続しなければならないが，ライフラインの使命として市内への配水を止めずに接続する必要があり，最終的に工期内に新設浄水場で浄水を行って市内に供給する必要があった．

写真－１２　施工ヤード全景

従って各工種の同時施工するためのヤード確保を行い工期短縮を図ること，限られた断水時間での管路切り換え工事の実施，工期内での本格稼働を目指して検討を行った．

施工ヤードは受注時すでに田植えが終わっていた工事用地西側の田圃を地権者の協力を得て借地し，狭隘ながら施工スペースを確保した．（**写真－１２**）また，作業員の配置，資機材の搬入・搬出を綿密に調整して大型の消石灰注入設備を施工（**写真－１３，１４**）しながら各構造物，配管等の同時施工を実施し，当初計画に対して１ヶ月の工期短縮を実現して完成させた．(**写真－１５**)

写真－１３　消石灰注入設備施工状況

写真－１４　消石灰注入設備施工状況

写真－１５　消石灰注入設備施工完了

3.3　切り換え作業

また新設浄水場への切り換え作業は，事前に配水池を満水にして市内への配水を止めずに実施することとしたが，配水池容量を考慮すると作業時間は８時間しかなく，それを超えると十和田市全域（26,000 世帯：給水人口 66,000 人）が断水して重大な給水事故となることから，配管技能者による施工リハーサルを実施して，作業に掛かった時間を計測して何度も検証を行い，詳細な切り換えスケジュールを計画して本作業を実施した（**写真－１６**）．施工中は予期せぬ不明ルートからの浄水が管切断箇所から１時間に渡り吹き出すアクシデントが発生したが，無事に規定時間内に切り替えを終了することができた．

写真－１６　既設導水管(φ600)切断状況

3.4　本運転

本運転に対しては，監視装置の現場組立を待ってからの作動確認を行った場合，不具合等が発生すると当該浄水場の運転方案上非常に複雑なシステムなために，工期内稼働が不可となる．従って早期にメーカー工場で監視装置を組み上げて，実際に運転に携わる発注者の技師を対象に模擬運転（**写真－１７**）を行ってシステムの検証を行った．この時点で何点かの不具合が見つかったが，現場搬入前に改善を行うことで工程に影響を及ぼすことはなかった．また運転技師の運転訓練も兼ねて実施したために，搬入後に運転説明会を１度実施（**写真－１８**），特に大きなトラブルもなく稼働ができた．

稼働に向けた手続きとして忘れてはならないことは，新浄水場で浄化した水が水道水の規格を満足しているか確認するための水質試験を実施し，その結果を県の担当部局へ届け出る必要がある．通常水質検査には 20 日程度の時間が掛かるだけでなく，今回工事では発注者の要望でクリプトスポリジウムの有無に関して追加項目があり，かなりの時間を要することが予想されたが，先に述べた対策で全体工期を圧縮するとともに，水質検査実施機関を含む関係各所と事前協議を実施した結果，工期内に検査結果を県の担当部局へ届け出ることができて本格稼働することができた．

写真－１７　監視装置模擬運転状況

写真－１８　運転説明会実施状況

４．まとめ

日本各地の浄水場は高度経済成長に伴う市民生活の向上，ライフラインの拡充等で建設されたものが多く，老朽化も進んできている．また当該施設のようにクリプトスポリジウムなどの病原性微生物の発生への備え等，最近の水道施設に求められる性能はさらに高度になってきている．今後こうした水道施設の改修や設備の更新工事が増加することが予想され，より安全でおいしい水道水の供給が要求される．本工事はそうしたニーズに応え，土木・建築，機械設備，電気設備，計装設備，取水設備を一括で施工した工事であり，本報告が今後同種工事の参考になれば幸いである．

謝辞

本工事では，発注者の工事監理者をはじめ設計者の方々，各機械設備メーカー技術者の多大なご支援をいただいている．また，十和田市芳川原浄水場運転技師の方々には，貴重なご助言をいただいている．これら関係各位に，心よりお礼申し上げます．

*1 消化器官に寄生する原虫の一種．最近飲料水による感染が問題となっており，感染すると下痢・発熱等の症状が出て今のところ有効な治療薬はない．塩素消毒に対して強い耐性があるために，除去するためには膜ろ過若しくは紫外線消毒するしか有効な手だてはない．日本では平成 8 年に埼玉県越生町で水道を介しての集団感染が発生．人口 13,800 人のうち約 8,800 人が発症した例がある．

参考文献

1）十和田市上下水道部：十和田市水道ビジョン 2008 概要版，2008.3
2）十和田市上下水道部水道課：平成 21 年度水質検査計画，2009.4
3）十和田市上下水道部水道課：平成 20 年度水質検査結果，2009.4
4）月島機械㈱：芳川原浄水場膜ろ過施設概要書，2009.4
5）㈱クレハエンジニアリング：十和田市芳川原浄水場の水質調整，2009.4
6）厚生労働省報道発表資料：クリプトスポリジウム等原虫類総合対策について，1997.10