

既設沈澱池躯体利用型槽浸漬式膜ろ過装置の実設備への適用例

岡 賀 祥 平* 須 田 康 司* 川 崎 訓*

Submerged Type Membrane Filtration System for an Existing Sedimentation Tank

by Shohei OKAGA, Koji SUDA, & Satoru KAWASAKI

Japan's largest-scale submerged type membrane filtration system (filtration capacity: 30000 m³/d) has been installed in the existing sedimentation tank of Sano Water Treatment Plant, Hyogo Prefecture. This unprecedented changeover from rapid sand filtration to membrane filtration was accomplished with no stop in water treatment. This allowed a saving in construction cost with no generation of construction debris. Furthermore, the 2.3 m difference in water levels between the sedimentation and filtration tanks allow a natural downward flow (gravity filtration), making it unnecessary to use electric power to transmit the water from one tank to the other. This is achieving significant energy-saving in the filtration process.

Keywords: Using existing sedimentation, Submerged type, Membrane filtration system, Height difference for gravity filtration, L-cube, In desiccated keeping, Energy-saving, Sano Water Treatment Plant, Hollow fiber membrane, Hydrophilic PE

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に急速ろ過方式で建設された水道施設が老朽化による大規模更新の時期を迎えている。また、水道の安全性、質の高い浄水を確保するために、浄水場の規模を問わず、膜ろ過方式の採用が増加している。このため、既設浄水場の更新時においては、膜ろ過方式を採用するケースが今後増加していくことが考えられる。

兵庫県北部の豊岡市に位置する佐野浄水場は、円山川を水源とする同市の基幹浄水場である。創設から40年を経過し、施設の老朽化が著しかったことから、将来にわたっての安全、安定給水を確保し、病原性微生物を確実に除去でき、安定した処理が行える浄水設備とするために第5次拡張事業として今回、膜ろ過設備への更新が行われた。

佐野浄水場の更新にあたっては、建設コストを低減し、低環境負荷、省エネルギー、施設のコンパクト化の実現が目標とされた。しかし浄水場に新施設を整備する用地的な余裕がなく、既存施設を稼働させながらの更新が実質的に困難であるから、スクラップ&ビルドとは異なる

新たな手法で、市民への給水を継続しながらのリニューアルが求められた。

複数の膜ろ過方式を比較し、実証実験を行った結果、世界の大規模浄水場で多く採用実績がある槽浸漬式膜ろ過方式の採用とともに、浄水場内の水位差を有効利用するために、既設沈澱池を膜浸漬槽として利用した。

既設コンクリート水槽を使用した水位差利用型の槽浸漬式膜ろ過設備の稼働は、国内では初めてであり、かつ最大膜ろ過水量30000 m³/dは、槽浸漬式膜ろ過設備としては、国内最大規模となる。

佐野浄水場では、膜ろ過に必要な動力に膜浸漬槽と膜ろ過水槽の水位差2.3 mを利用することで、通常は無動力で運転し、膜の差圧が上昇した時のみ吸引ポンプで吸引ろ過して運転エネルギーの大幅な省力化を達成している。

本報では、浄水場内の既設コンクリート水槽を利用し、環境負荷低減、省エネルギー化を可能とする槽浸漬式膜ろ過装置の特徴と佐野浄水場における実設備の適用事例について報告する。

2. 膜ろ過方式

2-1 膜ろ過方式とは

膜ろ過とは、原水中の懸濁微粒子を、極めて微細な孔を用いてろ過する方式である。一般的な外圧式中空糸膜の膜構造は、ストロー（中空）状の膜外面の微細な穴に原

* 荏原エンジニアリングサービス(株)

水を通すことで内面に清澄なる過水を得ることができる。

図1に外圧式中空糸膜ろ過の概念図を示す。

膜ろ過装置は、膜ろ過方式や、膜材質によって様々な機種が開発、実用化されているが、ケーシング収納式と槽浸漬式の二つの膜ろ過方式に分類できる。ケーシング収納式は、圧力容器(ケーシング)に中空糸膜を収納し、主にポンプ加圧により膜ろ過を行う方式である(図2)。槽

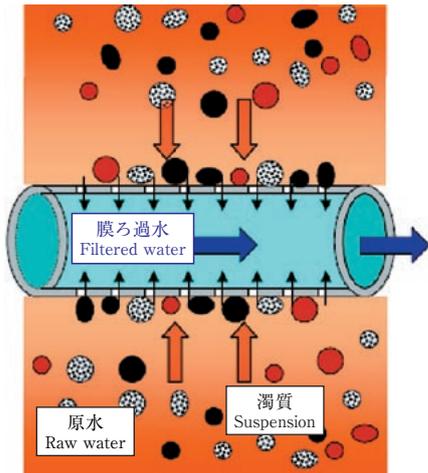


図1 外圧式中空糸膜ろ過概念図

Fig. 1 Schematic diagram of hollow fiber membrane external pressure type

浸漬式は、水槽(膜浸漬槽)の中に膜モジュールを直接設置して、主にろ過水側からの吸引によってろ過水が得る方式である(図3)。

2-2 槽浸漬型膜ろ過装置

槽浸漬式膜ろ過装置は、ケーシング式膜ろ過と比較して高濁度に強く、耐圧ケーシングが不要である。また、当社は膜材料に、親水化ポリエチレンを使用し、膜浸漬槽の清掃、膜ろ過装置の点検時といった維持管理上必要な乾燥保管に対応できる。佐野浄水場で今回採用された膜ろ過装置は従来の当社浸漬式膜ろ過装置の特長を更に活かすために、中空糸膜の高集積化を図り、かつ膜モジュールを縦に積み重ねることで、設置面積当りの処理水量が、従来のケーシング式と比較して大幅に向上したものである。

図4に浸漬式膜モジュール外観を、写真1に複数の膜モジュールを多段に一体化し、膜の物理的洗浄に必要な

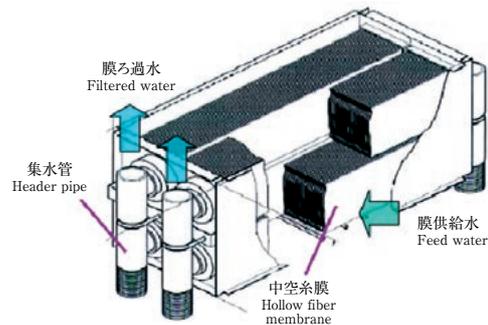


図4 浸漬式膜モジュール外観

Fig. 4 Submerged type membrane module

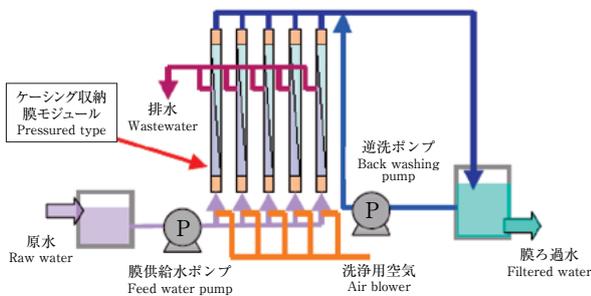


図2 ケーシング式膜ろ過方式の例

Fig. 2 Flow chart of pressured type membrane filtration system

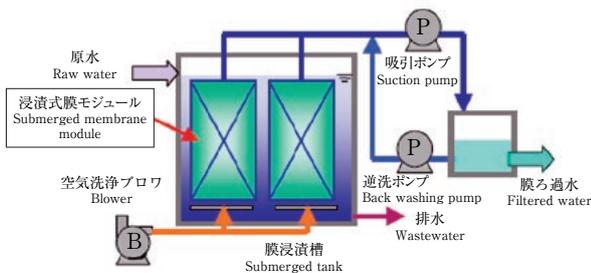


図3 槽浸漬式膜ろ過方式の例

Fig. 3 Flow chart of submerged type membrane filtration system



写真1 膜ユニット外観

Photo 1 Membrane unit

10-96 01/228

な空気洗浄管と集水管、逆洗管等をステンレス枠内に組込んだ膜ユニットを示す。

3. 既設躯体利用型槽浸漬式膜ろ過装置の特長

3-1 既設躯体利用の優位点

膜ろ過設備への全面更新を検討する場合、新設膜浄水場を建設する場合と、既設浄水場の沈澱池、急速ろ過池等の既設躯体を利用して膜ろ過設備に更新する方法が考えられる。

新設膜浄水場は、新たな広大な建設用地確保が必要となり、また更に、既設浄水場から新設浄水場との間の導・配水といった大口径配管の接続が必要となり、大口径管の再布設費用が発生するとともに、配管切換時の浄水処理の停止や建設工期の長期化の要因となる。

既設浄水場躯体を利用して膜ろ過設備への更新を行うことができれば、新設膜浄水場建設と比較して、建設工期の短縮、無駄な土木建設費用の縮減が期待できるだけでなく、既設躯体撤去に伴う建設廃材の発生を抑制することができるなど、多くの優位点がある。

3-2 槽浸漬式膜ろ過装置の既設躯体利用例

槽浸漬式膜ろ過装置における一般的な急速ろ過方式の土木躯体を利用する例を以下に示す。

図5に従来の凝集沈澱+急速ろ過方式のフローを示す。

図6は従来の凝集沈澱+急速ろ過方式のうち、凝集沈澱池内の設備を撤去し、膜浸漬槽として適用する例を示す。

図7は従来の凝集沈澱+急速ろ過方式のうち、凝集沈澱池の設備を残し、急速ろ過池内の設備を撤去し、膜浸漬槽として適用する例を示す。

通常の凝集沈澱+急速ろ過方式においては、浄水場の着水井から沈澱池、ろ過池及び浄水池に至るまでの約3メートルの水位差で自然流下によって浄水処理が行われている。

槽浸漬式膜ろ過装置が、この水位差を有効利用し、既設浄水場と同様に自然流下で膜ろ過を行うことができれば、大幅な省力化を図ることが可能である。

図8に同水量で運転した場合のケーシング式膜ろ過と槽浸漬式膜ろ過の運転圧の比較例を示す。ケーシング式の運転圧が25～32 kPaであるのに対し、槽浸漬式の運転圧は4～6 kPaである。本実験結果で示すように、ケーシング式では膜の目詰り時の圧力上昇や配管圧損を考慮すると最低でも10 m程度のろ過圧が必要となる。一方で浸漬膜式では、運転圧が低く、40～60 cm程度の水位差で膜ろ過に十分な運転圧を得られることができる。このことから、槽浸漬方式は、配管圧損や膜の目詰りを考

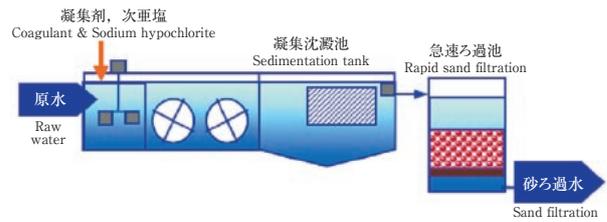


図5 従来の凝集沈澱+急速ろ過フロー
Fig. 5 Flow chart of rapid sand filtration system

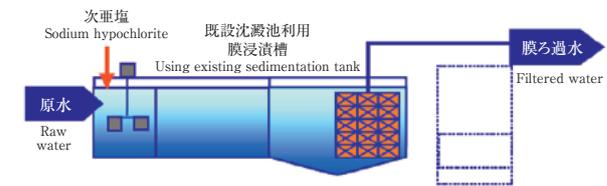


図6 既設沈澱池を膜浸漬槽として利用した槽浸漬式膜ろ過装置適用例
Fig. 6 Example of submerged type membrane system using existing sedimentation tank

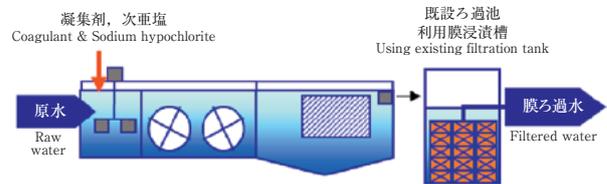


図7 既設ろ過池を膜浸漬槽として利用した槽浸漬式膜ろ過装置適用例
Fig. 7 Example of submerged type membrane system using existing filtration tank

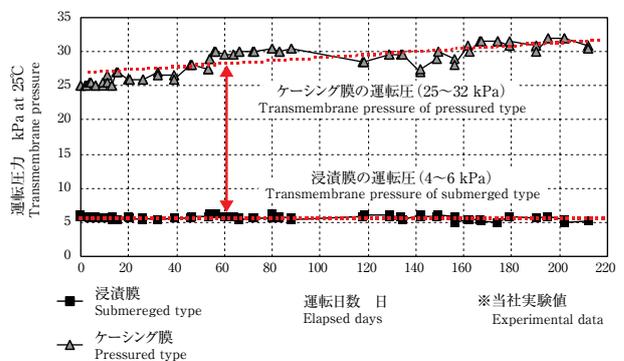


図8 ケーシング式と槽浸漬式の膜運転圧比較
Fig. 8 Comparison in transmembrane pressure difference of pressured and submerged types

慮したとしても、ケーシング式では不可能な浄水場の水位差を利用した膜の運転が可能である。一般的に運転エネルギーが高いと言われる膜ろ過装置において大幅な省エネルギー化が実現できる。

4. 実設備への適用例

4-1 設備フローと膜ろ過装置について

佐野浄水場に納入した既設沈澱池躯体利用型槽浸漬式膜ろ過装置について報告する。

更新前の浄水場フローは従来の凝集沈澱+急速ろ過方式で日量20000 m³/dと10000 m³/dの2系列の水処理施設で構成されていた。

図9にリニューアル後の佐野浄水場フローシートを、図10に既設沈澱池利用膜ろ過システムフローを示す。

4-1-1 処理工程

原水は薬品混和池で次亜塩素酸ナトリウムを添加，急速混和された後，既設沈澱池を利用した膜浸漬槽に設置された膜ろ過装置で処理され，膜ろ過水槽へ送られる。

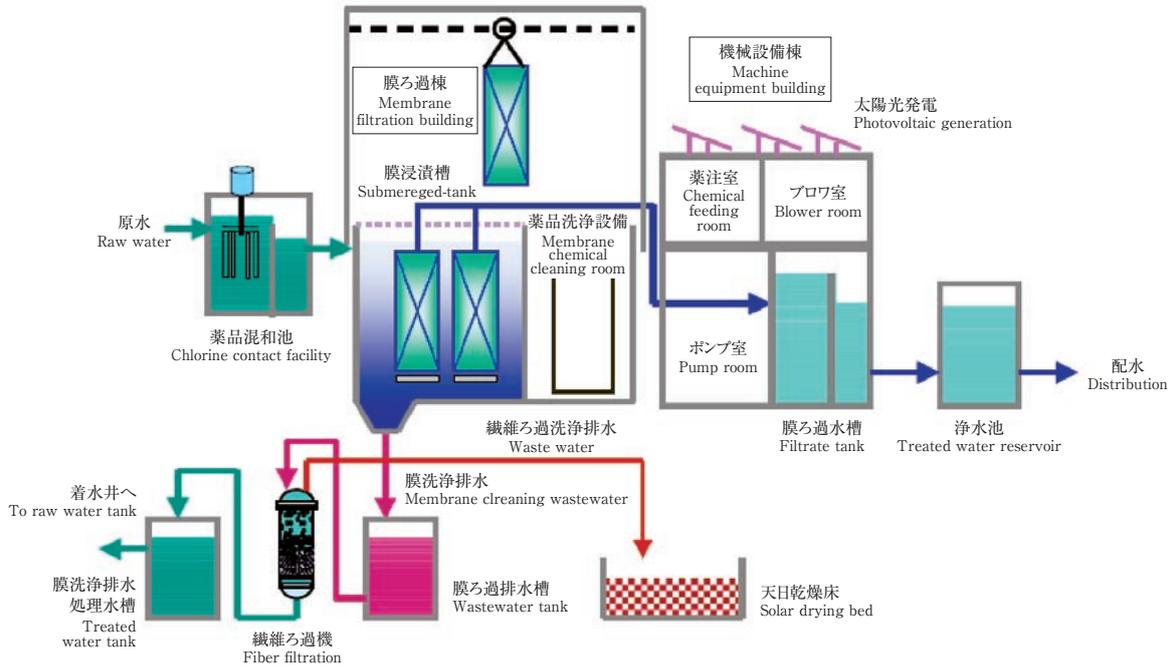


図9 リニューアル後の佐野浄水場フローシート
Fig. 9 Flow chart of renewed Sano Water Treatment Plant

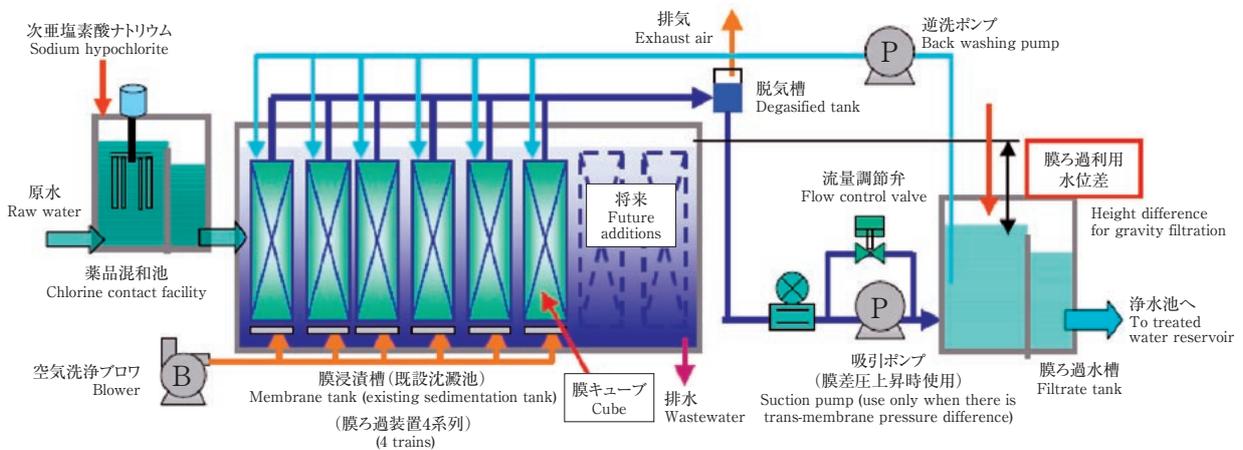


図10 既設沈澱池利用膜ろ過システムフロー
Fig. 10 Flow chart of submerged type membrane system using existing sedimentation tank

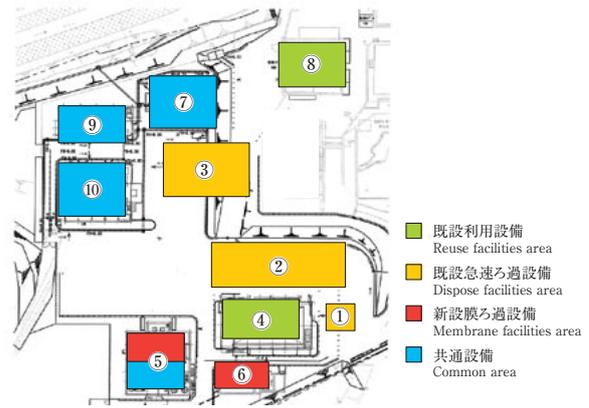
この膜ろ過の運転圧には、図10に示す「膜ろ過利用水位差」である2.3 m程度が利用されている。また、冬場の低水温期や膜の閉塞により所定の設計流量を得られない場合は、補助的に吸引ポンプの運転で膜の運転圧力を確保する。膜ろ過水槽では消毒用の次亜塩素酸ナトリウムが添加され、浄水池を経て配水される。

4-1-2 洗浄工程

膜ろ過装置は物理的洗浄を行う必要があり、空洗ブロワによる単独運転空洗工程と、逆洗ポンプと空気洗浄ブロワの同時運転による空気洗浄と逆洗の組合せて行う。膜の洗浄排水は膜浸漬槽から自然流下で膜ろ過排水受槽に排出され、繊維ろ過機で排水中の濁質を除去する。繊維ろ過の処理水は着水井へ返送し再利用するため、浄水設備での水損失を少なくし、効率的な水運用がなされている。繊維ろ過機の洗浄排水は天日乾燥床に送られ乾燥処理される。

4-1-3 薬品洗浄

膜は定期的に薬品による薬品洗浄が必要となる。本設備においては、既設沈澱池躯体内に薬品洗浄設備（薬品洗浄薬槽、薬液排水槽）を設置してあり、薬品洗浄が必要となった膜キューブを膜浸漬槽から吊り上げ薬品洗浄



① 既設着水井 Existing raw water tank	⑥ 新設着水井 New raw water tank
② 既設沈澱池 Existing sedimentation tank	⑦ 新設浄水池 Existing treated water reservoir
③ 既設ろ過池 Existing filtration tank	⑧ 既設浄水池(既設利用) New treated water reservoir
④ 膜浸漬槽(既設沈澱池) Membrane tank (existing sedimentation tank)	⑨ 送水ポンプ棟 Pump building
⑤ 機械設備棟 Machine equipment building	⑩ 管理棟 Administration building

図11 佐野浄水場平面図

Fig. 11 Layout of Sano Water Treatment Plant

薬槽に移動させ、オンサイト・オフラインの薬品洗浄を行う。

4-1-4 膜ろ過装置

今回設備では、空気洗浄装置等が内蔵されたステンレス枠に写真1で示した膜ユニット4台を組込んだ状態を1キューブ“L-CUBE”とし、1系列×6キューブを4系列設置している。既設沈澱池の池面積は、12.25 m × 6.9 m × 2池=169 m²であるが、これをそれぞれ2分割して、12.25 m × 3.3 m (=40.4 m²/池) × 4系列となっている。将来の需要増加量に対応して、各系列に1系列×2キューブ分の増設が可能のように計8キューブ分の予備設置スペースを考えている。表に膜ろ過装置の仕様を示す。

図11に、佐野浄水場の全体配置図を示す。既設急速ろ過設備と膜ろ過設備の設備面積を比較した場合、既設の急速ろ過設備の設備面積が、1884 m²に対して、今回納入した膜ろ過設備面積は、890 m²であり、既設ろ過設備の47%程度の設備面積での更新となった。

4-2 膜ろ過装置の設置工事と運転状況

本工事は、最大処理水量30000 m³/dの浄水場に既設躯体(写真2)を利用した槽浸漬式膜ろ過装置を設置(写真3~5)したものである。既設浄水場には、20000 m³/dと10000 m³/dの2系列の沈澱池があり、10000 m³/dの沈澱池躯体を利用して最大処理水量30000 m³/d(常用

表 膜ろ過装置仕様

Table Specifications of membranes system

項目 Content	仕様 Specifications
膜処理水量 Capacity	20000 m ³ /d (将来30000 m ³ /d)
膜ろ過方式 Membrane filtration	槽浸漬式膜ろ過方式 (全量ろ過) Submerged filtration system
膜形式 Membrane formation	外圧式中空糸MF膜 External pressure type (MF) filtration/ hollow fiber
膜の材料 Membrane material	有機膜/親水化ポリエチレン Organic membrane/Hydrophilic PE
膜の公称孔径 Nominal pore size	0.1 μm
有効水位差 Height difference for gravity filtration	平均2.3 m (23 kPa) Avg
洗浄方式 Ccleaning	空気洗浄及び空気・逆洗併用 Air scrubbing and air scrubbing with back washing
膜設置面積 Plant area	40.4 m ² (12.25 m × 3.3 m) / 池 × 4系列 = 162 m ² / 全系列 Trains
主要機器 Equipment	吸引ポンプ 5.2 m ³ /min × 11 m × 18.5 kW 6台 (内共通予備2台)
	逆洗ポンプ 1.89 m ³ /min × 15 m × 11 kW 6台 (内共通予備2台)
	空気洗浄ブロワ 5.2 m ³ /min × 11 m × 50 kPa 6台 (内共通予備2台)



10-96 02/228

写真2 既設沈澱池 膜ろ過設備着工前
Photo 2 Existing sedimentation tank



10-96 05/228

写真5 膜キューブ設置状況
Photo 5 General view of L-cube



10-96 03/228

写真3 膜浸漬槽上部（既設沈澱池利用）
Photo 3 Top of submerged membrane filtration system in existing sedimentation tank



10-96 06/228

写真6 機械設備棟外観
Photo 6 General view of plant



10-96 03/228

写真4 膜キューブ外観
Photo 4 General view of L-cube

処理水量：20000 m³/d) の槽浸漬式膜ろ過装置を設置した。工事期間中は、20000 m³/dの沈澱池を運用しながら工事を行い、浄水処理を停止することなく施工を完了した(写真6)。

膜ろ過試運転は、2009年11月～2010年1月まで実施した。納入初期の膜の閉塞が無い状態ではあるが、膜浸漬槽から膜ろ過水槽の水位差で処理水量20000 m³/dの

良好な運転を確認することができた。更に、緊急時を想定し、膜ろ過流速をあげて30000 m³/dまでの試運転を行ったが、水位差のみで運転が可能であることが確認できた。

2010年3月25日に通水が開始され、膜ろ過システムの回収率は99%で、順調な運転が行われている。

5. まとめ

既設沈澱池を利用して膜ろ過装置を設置し、浄水場の水位差を有効利用することで大幅な省エネルギー化を実現した。今後、多くの浄水場が全面更新を迎えるが、既設躯体利用型浸漬式膜ろ過装置は、安心・安全な水の供給とともに環境負荷低減にも有効である。本装置は、浄水場の全面更新に関して、既存施設を有効に活用しつつ、施設を稼働させながら抜本的な更新が可能であるというリニューアル時のメリットが発揮されることを実証した。

最後に本施設の建設、運転に当たって多大なご指導とご協力を頂いた豊岡市企業局水道課の関係各位に深く感謝の意を表す。