

# 高速凝集沈殿装置（スーパーシックナー）の最適化

Optimization of High Rate Sedimentation Unit “SUPER THICKNER”

## 最適化高速凝集沈殿装置の納入



石井宏樹\*  
Hiroki Ishii



山下哲生\*\*  
Tetsuo Yamashita



村上吉明\*\*\*  
Yoshiaki Murakami



西澤昭彦\*\*\*\*  
Akihiko Nishizawa



平井孝明\*\*\*\*\*  
Takaaki Hirai

高速凝集沈殿装置（スーパーシックナー）を（株）神戸製鋼所に納入した。納入にあたり、集水トラフ・ディストリビュータ等の構造について流動解析による最適化検討を併せておこないつつ、改良等を加え、従来の凝集沈殿装置にくらべて、10～12倍の表面積負荷の達成、設置面積の縮小など設備能力の効率化を達成した。

We delivered a High-rate coagulation/sedimentation unit “SUPER THICKNER” to Kobe steel, Ltd.. When delivering it, we studied the optimization about the structure of Collecting Trough, Distributor and other parts by using computational fluid dynamics (CFD). We made improvements of the unit based on that study. As a result, SUPER THICKNER achieved efficiency of an unit capacity, treating capacity by 10-12 times, minimization of installation space, compared to the conventional unit.

### Key Words :

鉄 鋼 廃 水  
凝 集 沈 殿  
流 動 解 析

Steelplant wastewater  
Coagulation sedimentation  
Computational fluid dynamics (CFD)

### 【セールスポイント】

省スペースで高性能な凝集沈殿装置を提供する。

## まえがき

製鉄所では、集塵機用水処理設備、圧延用水処理設備あるいは冷延表面処理用水処理設備などの水処理設備において凝集沈殿装置が、数多くもちいられている。これらの凝集沈殿装置は、水処理機器の中でも広い設置面積を必要とし、また、設備費が高いという問題点を抱えている。これらの問題を解決するために従来の凝集沈殿装置よりコンパクトで高性能な「高速凝集沈殿装置」を開発し、（株）神戸製鋼所に納入した。さらに納入するにあたり、当該装置のシミュレーションモデルを構築し、数値解析による最適化を合わせておこなったので以下に報告する。

## 1. 高速凝集沈殿装置の概要

### 1.1 フローの説明

図1にフローシートを示す。

原水は、原水ポンプで反応槽へ送られる。ここで中和剤と凝集剤の添加によって、原水中の濁質成分は微細フロックになる。次に、造粒槽に送られた微細フロックは、沈殿槽からの返送汚泥と混合され、高分子凝集助剤の添加により、良好なフロックとなる。そして、水頭差によって高速凝集沈殿槽に送られたフロックは、ディストリビュータから槽内に均等分散され、沈降分離される。その結果、清澄な処理水がえられる。

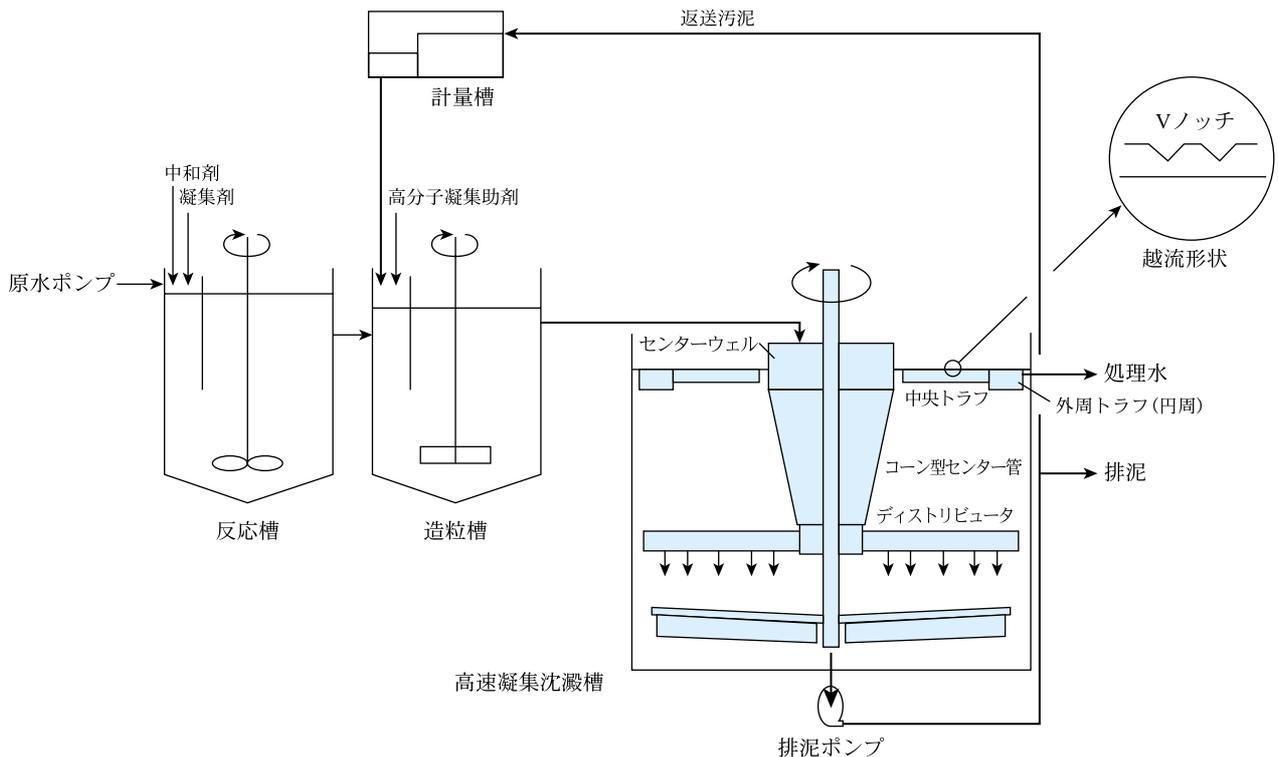


図1 フローシート

## 1.2 機能の説明

高速凝集沈殿装置は、従来の凝集沈殿装置とは異なり、フロックを造粒させることにより沈降速度を増し、また造粒したフロックを偏流させることなく均等に分配できる機能を有している。

### 1) 造粒槽

造粒槽では、槽内のSS濃度を一定に保つために汚泥を返送している。この汚泥と原水のSSに対し、高分子凝集助剤を添加し造粒することでフロックを成長させ、沈降速度を増すことができる。

### 2) コーン型センター管

コーン型センター管は、造粒槽からセンターウェル間の水頭差によって巻込まれる気泡を無くし、ディストリビュータからの吹出量を均等にすることで、槽内への水流の負荷変動を低減し安定した固液分離を可能とする。

### 3) ディストリビュータおよび集水トラフ

ディストリビュータは原水を槽内に均等分散し、また、ゆっくり回転することにより流出した原水の偏流を防止する。集水トラフは、中央トラフと外周トラフで構成され、沈殿槽の表面より均等に集水できるように配慮がなされている。

## 2. 流動解析による沈殿槽構造の最適化

高速凝集沈殿装置の納入に際し、流動解析により槽構造および運転方法の最適化を試みた。ここで作

成したシミュレーションモデルは、実設備での流動状態を精度良く再現できることを流速の実測結果から確認しており、以後の最適化の検討は本モデルを活用しておこなった。

高速凝集沈殿装置の固液分離能力を十分に発揮させるには、ディストリビュータより分配された原水を流れの偏りや乱れが少ない状態で沈降分離をおこなうことが重要となる。ここではとくに沈降分離性能に直接影響する沈殿装置内の鉛直方向の流速に主眼をおいて槽の構造および運転方法を検討した。

### 2.1 解析手法

解析には汎用熱流体解析コード FLUENT6.3 (ANSYS 社) をもちいた。乱流モデルは  $k-\omega$  モデルを使用し、ディストリビュータの吹出し孔に様な吹出し流速を与えて原水の流入を再現した。なお高速凝集沈殿装置は周方向に対称性があるので計算負荷を軽減するために、周方向に1/4または1/2の領域を対象として計算をおこなった。

### 2.2 最適構造および運転方法の検討

#### (1) 集水トラフの配置

集水トラフの形状の検討にもちいた計算領域を図2に示す。ここでは次の2ケースの集水トラフ形状について流動状態を確認した。形状1は外周トラフの外側と内側にVノッチを配置し両サイドからの越流を再現する計算条件とした。形状2は外周トラ

フの内側だけにVノッチを配置し内側のみからの越流を再現する計算条件とした。なお中央トラフは十字に配置して形状1および2ともに同様に両サイドから越流して集水する計算条件とした。図2に示した中央トラフの中間位置にあたる断面Aにおいて鉛直方向の流速 ( $V_z$ ) を比較し、 $V_z$  の均一性から最適な構造を評価した。図3の (a) に形状1の  $V_z$  の計算結果を、(b) に形状2の  $V_z$  の計算結果をそれぞれ示す。なお、図中の黄色から赤色への変化は  $V_z$  が上向きに大きくなり、緑から青色への変化は  $V_z$  が下向きに大きくなることを意味している。

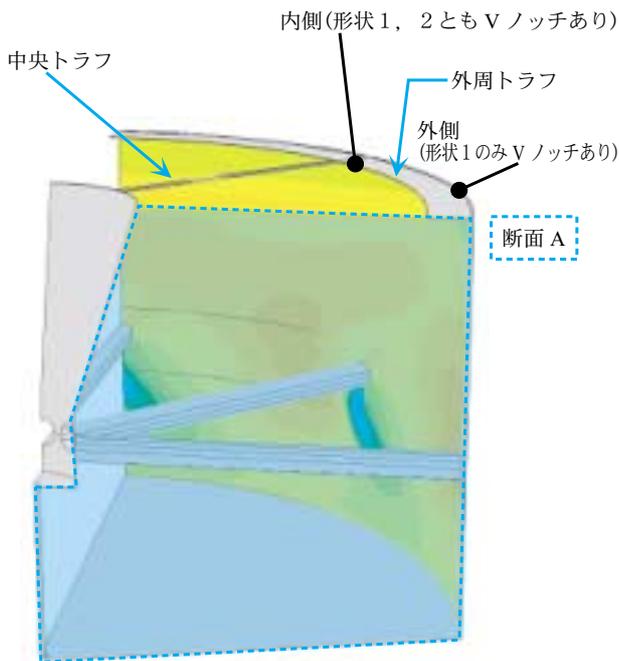


図2 計算領域の概要

形状1では沈殿槽の壁面近傍の水深1.3 m 付近に  $V_z$  が上向きに0.025 m/s 以上の領域が大きく広がっているのに対し、形状2ではそれらの流速領域が小さくなっている。また、形状1では水深1.3~0.5 m の間で  $V_z$  が下向きに0.005 m/s 以上になる領域が分布しているが、形状2ではそのような領域は非常に小さくなっている。これは形状1の方が外周付近から流出する処理水量が多くなって壁面近傍の上向き流速が増大し、槽の内側では壁面の流れに引込まれ下向きの流速が発生していると考えられる。これらのことより、各Vノッチの越流負荷を増大させても集水面を均等化することの方がより良い流れが形成されるものと判断し、形状2の集水トラフの配置を採用した。

#### (2) ディストリビュータ回転速度の検討

ディストリビュータの先端速度については設計基準でおおむね5.0~8.0 m/min を推奨しており、今回、ほぼ最大値の7.3 m/min と最小値の5.0 m/min に設定したケースで流動状態を比較した。槽の壁面から100 mm 内側の面における鉛直方向流速  $V_z$  について、図4 (a) に先端速度7.3 m/min の計算結果を、(b) に5.0 m/min の計算結果を示す。いずれのケースでも流出トラフまで続くような強い流れはないものの、先端速度を5.0 m/min と遅めに設定した方が壁面近傍の  $V_z$  は全体的に低くなっていることが解る。これより先端速度についてはある程度遅い速度 (5.0 m/min) に設定した方が上向きの流れをより均一にできるといえる。

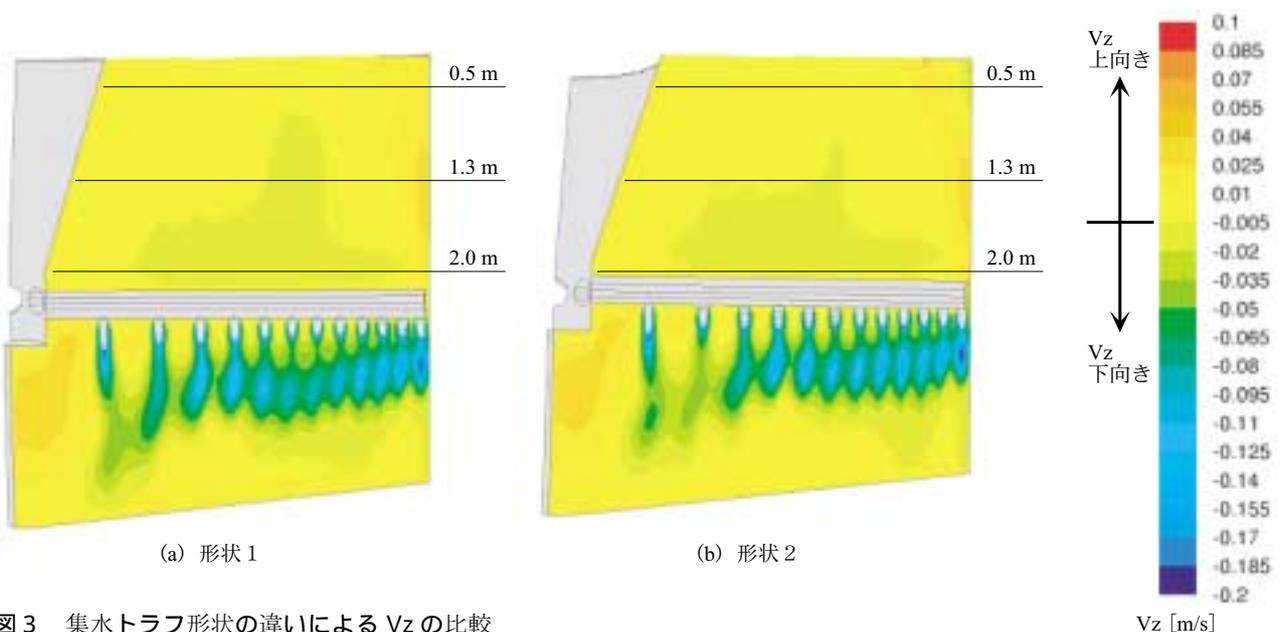


図3 集水トラフ形状の違いによる  $V_z$  の比較

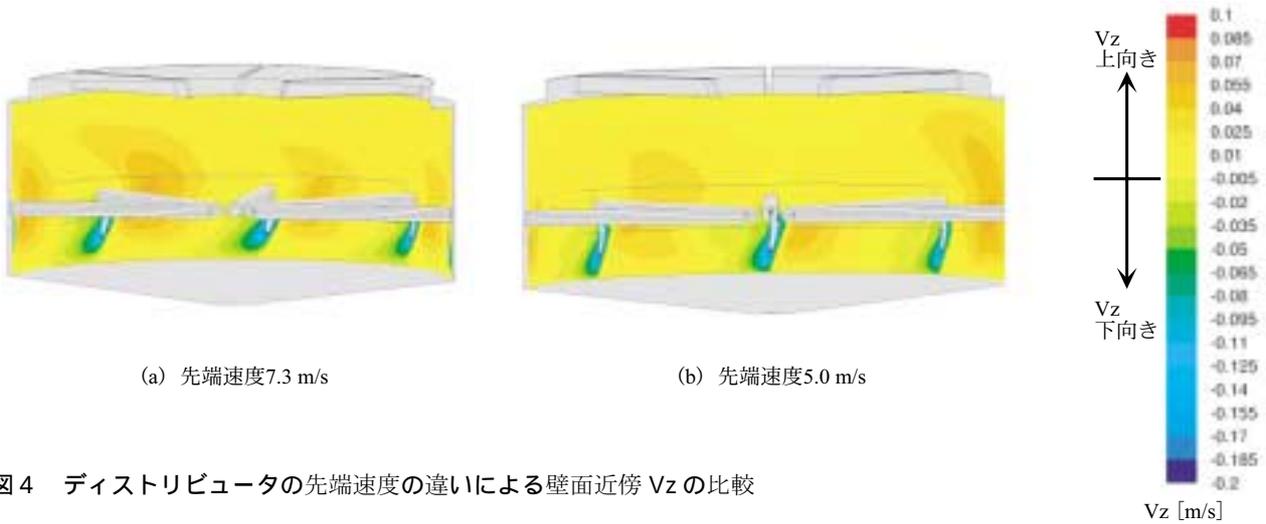


図4 ディストリビュータの先端速度の違いによる壁面近傍 Vz の比較

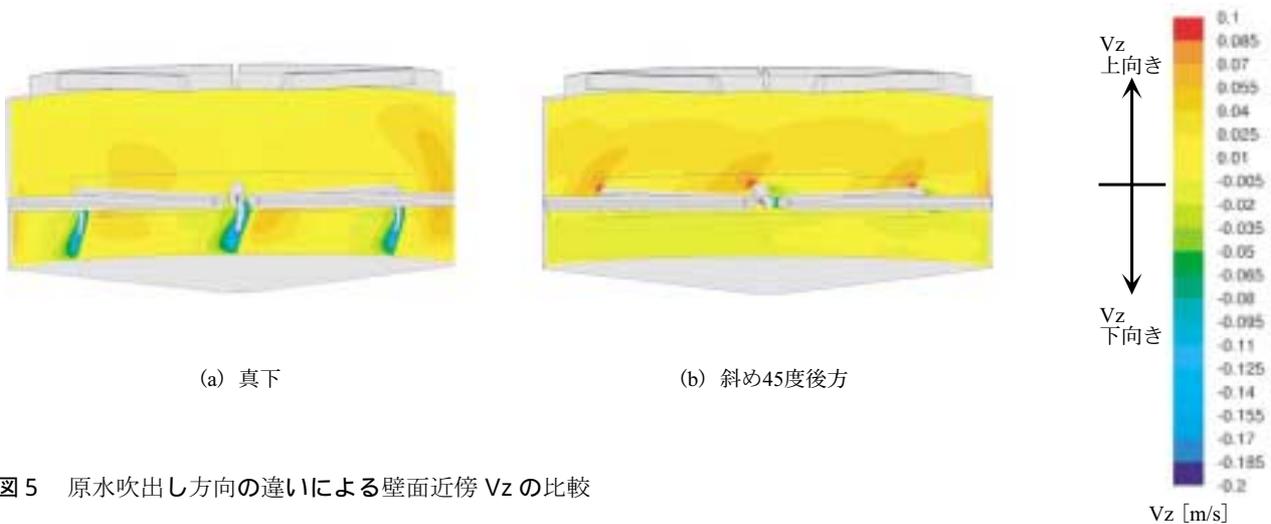


図5 原水吹出し方向の違いによる壁面近傍 Vz の比較

(3) ディストリビュータからの原水吹出し方向の検討

ディストリビュータからの吹出し方向について、真下に向けて原水を吐出した場合、およびディストリビュータの回転方向に対して斜め45度後方に吐出した場合について検討をおこなった。槽の壁面から100 mm 内側の面における Vz について、図5 (a) に真下に噴出した場合の計算結果を、(b) に斜め45度後方に噴出した場合の計算結果を示す。なおディストリビュータ先端速度は5 m/min とした。これらの図の比較からわかるように、斜め45度後方に噴出した場合はディストリビュータの回転方向前方の近傍で局所的に Vz が上向きに大きくなる領域（赤色）が発生し、その影響により壁面近傍の Vz は全体的に大きくなっている。これは原水を斜め後方に噴出することにより、槽全体でディストリビュータとは反対向きの円周方向の流れが発生し、その流れにディストリビュータが衝突することで鉛直方向の流れが

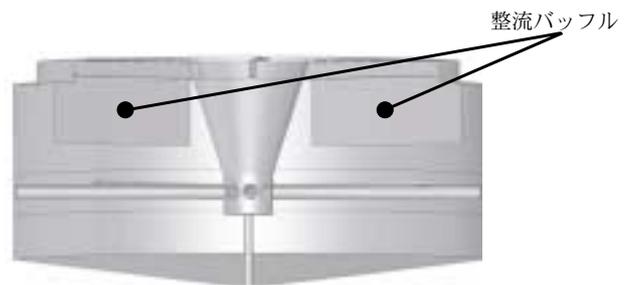


図6 整流バツフルの概要

発生しているものと考えらる。これにより、原水の吹出し方向は真下に吐出する方が適していることを確認した。

(4) 沈殿槽内整流バツフルの取付け

沈殿槽内の周方向の流れを整流すれば上向きの流れを均一にできないかと考え、図6のような高さ1200 mm 幅2200 mm の整流バツフルを中央トラフの下側に設置したケースを解析した。槽の壁面から



図7 整流バップルの有無による壁面近傍 Vz の比較

100 mm 内側の面における Vz について、図7 (a) に整流バップルを取付けない場合、(b) に整流バップルを取付けた場合の計算結果を示す。整流バップルを取付けた場合は Vz が上向きに大きくなっていることがわかる。これはディストリビュータの回転により発生する周方向の流れが整流板に衝突し、鉛直方向の流れに転換され、結果的に槽内の流れが不均一な状態になったと考えられる。これより整流バップルを取付けても整流効果は期待できず、コストの面からも設置の必要はないと考えられる。

(5) その他の検討

ここで紹介した解析は検討の一例であり、この他にも槽の高さや、集水トラフの配置など各部品の形状や運転方法について評価をおこなった。その結果、

表1 設計条件および既設との比較

項 目		高速凝集沈殿装置	既 設
設計通水量	(m <sup>3</sup> /h)	500	
設計原水 SS 濃度	(mg/L)	<200	(<200)
設計処理水 SS 濃度	(mg/L)	<50	(<50)
沈殿槽の直径	(m)	8	25
表面負荷	(m/h)	10	1
薬品	PAC 注入率 (mg/L)	5	5
	高分子凝集剤注入率 (mg/L)	0.5	0.5

表2 主要機器仕様

項 目	寸 法 (mm)	材 質	表面処理	モータ (kw)	基 数
反 応 槽	φ 3 200 × 3 830SH	SS400	タールエポキシ	5.5	1
造 粒 槽	φ 3 200 × 3 830SH	SS400	タールエポキシ	5.5	1
沈 殿 槽	φ 8 000 × 6 050H	SS400	タールエポキシ	1.5	1

現状の構造が高速凝集沈殿装置に要求される分離性能を発揮する上で最適であるということがわかった。

### 3. 実績紹介

#### 1) 概 要

(株)神戸製鋼所の凝集沈殿装置には、停止できないものが数多くある。古いものでは、40年近く停止することなく、現在も連続運転しているものが見つげられる。本装置は、老朽化したこれらの凝集沈殿装置の補修・点検作業時における代替設備として今回納入した。

本装置は、他の場所へ移設できるように分割搬送できる機能を有している。

#### 2) 設計条件

本装置の設計条件および既設との比較を表1に示す。対象となる濁質成分は、主に水酸化鉄である。既設の沈殿槽の設計表面積負荷は、1 m/h である。これに対して、本装置は10 m/h で沈殿槽の表面積は1/10程度となっている。本装置の主要機器の仕様および外観を表2と写真1に示す。

#### 3) 運転結果

表3に運転結果を示す。中和剤に硫酸を使用し、凝集剤として PAC を使用した。高分子凝集剤としてはアニオン系ポリマーを使用した。PAC の注入率は、事前の処理試験では 5 mg/L が最適であった。実機では、処理の状態に相違がなかったことから無注入とした。ポリマーの注入率は、0.5 mg/L に

表3 運転結果

運 転 条 件						フロック の 状 況	分析結果 (mg/L)			
通水量 (m <sup>3</sup> /h)	表面負荷 (m/h)	制御 PH (-)	高分子凝集 助剤注入率 (mg/L)	PAC 注入率 (mg/L)	造粒槽 SS (mg/L)		原水 SS (mg/L)	処理水 SS (mg/L)	造粒槽 SS (mg/L)	排泥 SS (mg/L)
500	10	6~8	0.5	0	600~1 200	良 好	140	5	740	17 000
							110	6	660	
							140	5	740	24 000
							90	4	580	14 000
							120	4	640	
600	12	6~8	0.5	0	600~1 200	良 好	120	6	640	



写真1 高速凝集沈殿装置の外観

調整した。造粒槽のSS濃度はSS計をもちい1 000 mg/L程度になるように、造粒槽への返送汚泥の水量を調整した。その結果、原水のSS140 mg/Lは、処理水において5 mg/Lと良好な水質となった。また、通水量を600 m<sup>3</sup>/hとした運転も試み、良好な結果をえることができた。

#### 4) ま と め

高速凝集沈殿装置の採用により、従来の凝集沈殿装置にくらべ10~12倍の表面負荷をえることができるため、沈殿槽としては、1/10~1/12の設置面積となり、反応槽などの付帯機器を含む凝集沈殿装置としても1/4程度の設置面積に収めることができる。

また、鋼板で製作できる大きさになるため、土木構造物も不要で工期短縮ひいては工事費の低減が可能となる。

維持管理性については、機器点数が増えるため管理項目は若干増加するが、薬品使用量などランニングコストについては、差異はほとんどない。

#### む す び

高速凝集沈殿装置「スーパーシックナー」の納入実績事例と、設備の最適化について紹介した。廃水・用水処理では固液分離操作は基本的な単位操作の一つであり、水処理プロセスでは重要な工程である。「スーパーシックナー」は従来の処理方式にくらべ10~12倍の高い処理能力を発揮し、省スペースで低コストな装置であることから、幅広いニーズに応えられると考えている。

また、今回は装置の構造最適化に流動解析を適用し、シミュレーションにより性能の評価をおこなった。各種性能向上の方策を起案し、各案について流動解析で効果を事前に評価することで方策の取捨選択をおこなってきた。沈殿槽内の形状を実際に変更したり、槽内の流速を測定することは非常に難しいため、このような数値実験的な手法をもちいて装置の最適化をおこなうことは非常に有効であると思われる。

#### [参考文献]

- 1) 松井美純：神鋼パンテック技報 Vol.41, No.1 (1997)

\*水環境事業部 テクノサービス室 \*\*商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室 \*\*\*商品市場・技術開発センター プロセス技術開発部 新規プロセス室  
\*\*\*\*水環境事業部 技術部 加古川プロジェクト室 \*\*\*\*\*水環境事業部 技術部 設計室