

明 細 書

発明の名称：セラミック平膜

技術分野

[0001] 本発明は、水処理に適用される平膜状のセラミック膜（以下、セラミック平膜）の構造に関する。

背景技術

[0002] セラミック平膜は水処理においては固液分離の過程で利用される（特許文献 1 等）。例えば図 1 5 の矢印で示した処理対象水 1 1 に浸漬されたセラミック平膜 1 の排水側からポンプ等により吸引すると処理対象水 1 1 が膜表面から膜内部の集水路である集水チャンネル 2 に透過する。そして、この透過で得られた同図の矢印で示したろ過水 1 2 は前記吸引により集水チャンネル 2 の一端側から系外に移送される。また、セラミック平膜 1 の運用においては、ろ過水 1 2 を集水チャンネル 2 側から膜表面側に適時に逆流させることで膜表面の目詰まりが解消及び抑制される。さらには、図 1 6（a）に示したようにセラミック平膜 1 の下方から膜洗浄用の空気 1 3 を連続的または間欠的に供給して膜表面において空気 1 3 の供給方向に沿う中央部で最大となる放物線状に分布する矢印方向のせん断力を生じさせて前記目詰まりの解消が図られる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2 0 1 4－2 8 3 3 1 号公報
特許文献 2：特開 2 0 1 5－1 1 2 5 2 7 号公報

発明の概要

[0004] セラミック平膜 1 の運用においては、膜表面に対する空気 1 3 の供給いわゆる散気により膜表面の目詰まりの解消及び抑制が図られるが、電力消費量の観点から空気 1 3 の供給量を最小化が求められる。セラミック平膜 1 の洗浄に必要なせん断力を生ずるためには所定の供給量の空気が必要となる。

- [0005] また、空気 1 3 の供給量の低減化を図ると、セラミック平膜 1 に生じるせん断力は空気 1 3 の供給方向に沿う中央部で極大となるが同方向に沿う端部側で極小となり（図 1 6（b））、この中央部と端部側での洗浄効果の差が顕著となるので、安定な水処理が困難となる。
- [0006] さらに、セラミック平膜 1 を構成するセラミック基材は、物理的及び化学的に安定であるが、脆性材料に分類されるので、機械や設備の誤操作または天災等の不測の事態により、当該基材の機械的強度の許容値を超える応力が生じた際に破損するおそれがある。
- [0007] 本発明は、以上の事情を鑑み、セラミック平膜の機械的強度の向上と水処理の安定化を図ることを課題とする。
- [0008] そこで、本発明の一態様は、セラミック平膜であって、セラミックスからなる板状の多孔質支持体と、この多孔質支持体の外面に形成されるろ過膜とを備え、前記多孔質支持体の内部には、処理対象水が前記ろ過膜を透過して得られたろ過水が流通する複数の集水路が形成され、当該ろ過膜の膜表面と当該集水路との間の厚みが異なる領域が確保される。
- [0009] 本発明の一態様は、前記セラミック平膜において、膜洗浄用の空気の供給方向に沿う端部の近辺の領域での前記厚みは、当該近辺以外の領域での前記厚みよりも大きい。
- [0010] 本発明の一態様は、前記セラミック平膜において、前記集水路は、等間隔に形成される。
- [0011] 本発明の一態様は、前記セラミック平膜において、前記近辺の領域での前記集水路は、当該近辺以外の領域での前記集水路よりも横断面が小さい。
- [0012] 本発明の一態様は、前記セラミック平膜において、前記集水路の横断面は、前記供給方向に沿う前記多孔質支持体の中央部から端部に近づくにつれて小さくなる。
- [0013] 本発明の一態様は、前記セラミック平膜において、前記多孔質支持体の一端部には、前記集水路の一端開口部から供された前記ろ過水を排出する排出部が固着される。

[0014] 以上の本発明によれば、セラミック平膜の機械的強度の向上と水処理の安定化を図ることができる。

図面の簡単な説明

- [0015] [図1]本発明の一態様である実施形態1のセラミック平膜の横断面図。
[図2]実施形態1の膜表面に対する堆積物の付着状態を示した横断面図。
[図3]本発明の一態様である実施形態2のセラミック平膜の横断面図。
[図4]実施形態2の膜表面に対する堆積物の付着状態を示した横断面図。
[図5]本発明の一態様である実施形態3のセラミック平膜の横断面図。
[図6]実施形態3の膜表面に対する堆積物の付着状態を示した横断面図。
[図7]実施形態3の膜内部における逆洗薬剤の浸透状態を示した横断面図。
[図8]本発明の一態様である実施形態4のセラミック平膜の横断面図。
[図9]膜表面と集水チャンネルとの間の厚みとろ過水の流速との関係の説明図。
。
[図10]実施形態4の作用効果を説明したセラミック平膜の横断面図。
[図11]（a）実施形態4における逆洗時の作用効果を説明したセラミック平膜の横断面図、（b）当該実施形態の膜内部における逆洗薬剤の浸透状態を示した横断面図。
[図12]本発明の一態様である実施形態5のセラミック平膜の横断面図。
[図13]本発明の一態様である実施形態6のセラミック平膜の横断面図。
[図14]本発明の実施例と比較例の膜差圧の経時的な変化を示した特性図。
[図15]セラミック平膜の内部構造を示した斜視図。
[図16]（a）通常の洗浄風量によりセラミック平膜に生じるせん断力の分布図、（b）通常よりも少ない洗浄風量によりセラミック平膜に生じるせん断力の分布図。

発明を実施するための形態

[0016] 以下に図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

[0017] [実施形態1]

図1に示された実施形態1のセラミック平膜1は、図15に示したように

、セラミックスから成る板状（例えば長板状）の多孔質支持体 2 1 と、この多孔質支持体 2 1 の外面に形成されるろ過膜 2 2 とを備える。

[0018] 多孔質支持体 2 1 の基材は、金属酸化物からなり、例えば、アルミナ、シリカ、チタニア、ジルコニア、あるいはこれらの混合物等が適用される（特許文献 2）。

[0019] ろ過膜 2 2 を構成する無機材料は基材と改質材との多孔質複合体である。前記基材は例えばアルミナが、前記改質材は例えばチタニアが好適である（同文献）。

[0020] また、多孔質支持体 2 1 の内部には、処理対象水 1 1 がろ過膜 2 2 を透過して得られたろ過水 1 2 が流通する集水路として集水チャンネル 2 が複数並列に形成される。さらに、前記内部には、集水チャンネル 2 の間隔が異なる領域が少なくとも 2 つ確保される。

[0021] 特に、図 1 のセラミック平膜 1 においては、膜洗浄用の空気 1 3 の供給方向（図 1 6）に沿う端部 3 の近辺の領域 A 1（空気 1 3 の供給が比較的少ない領域）での集水チャンネル 2 の間隔 D 1 が、前記近辺以外の領域 A 2（前記供給が比較的多い領域）での集水チャンネル 2 の間隔 D 2 よりも広く設定される。

[0022] そして、図 1 6 に示したように、セラミック平膜 1 の短手方向の少なくとも一端部には、集水チャンネル 2 の一端開口部から供されたろ過水 1 2 を排出する排出部としてヘッダー 4 が液密に固着される。一方、セラミック平膜 1 の短手方向の他端部には、集水チャンネル 2 の他端開口部を封止する封止部としてフッター 5 が液密に固着される。尚、ヘッダー 4 は、セラミック平膜 1 の短手方向の両端部に備えて、この両端部からろ過水 1 2 を排出してもよい。

[0023] 図 1, 2, 1 5 及び 1 6 を参照して本実施形態のセラミック平膜 1 の作用効果について説明する。

[0024] ポンプ等による吸引により図 1 5 の処理対象水 1 1 がセラミック平膜 1 の膜表面 2 0 による固液分離に供されるところろ過膜 2 2 を透過して集水チャンネル

ル2内にろ過水12が得られる。そして、ろ過水12はセラミック平膜1のヘッダー4から系外に排出される。

[0025] 一方、図16の処理対象水11に含まれる汚泥等の固形成分は、図2に示された集水チャンネル2に対応したセラミック平膜1の表面に堆積する。そして、このセラミック平膜1の前記固形成分の堆積物10は、図16のセラミック平膜1の下方に配置された散気管6から供給された膜洗浄用の空気13による気泡のせん断力により除去される。

[0026] 前述のようにセラミック平膜1の領域A1のせん断力は領域A2のせん断力と比べて弱くなる(同図)。これに対し、本態様のセラミック平膜1は、領域A1の集水チャンネル2の間隔D1が領域A2の集水チャンネル2の間隔D2よりも広く確保されたことで、領域A1での前記固形成分の堆積量が領域A2での当該堆積量よりも少なくなる(図2)。したがって、領域A1において領域A2よりも小さな前記気泡のせん断力による堆積物10の除去が可能となり、セラミック平膜1全体にわたって堆積物10を均一に除去できる。

[0027] また、間隔D1が確保された領域A1は堆積物10が少ない領域となるので、セラミック平膜1と堆積物10との間に空気13の気泡が入り込みやすくなり、領域A1での洗浄効果が高まる。

[0028] セラミック平膜1への過度な荷重により割れが生じる際、領域A1における応力集中が当該割れの起点となる。セラミック平膜1は、領域A1の集水チャンネル2の間隔D1が領域A2の集水チャンネル2の間隔D2よりも広く確保されたことで、領域A1のセラミック基材量が相対的に高くなり、セラミック平膜1の機械的強度の向上に繋がる。

[0029] [実施形態2]

図3に示された実施形態2のセラミック平膜1は、領域A2での膜洗浄用の空気13の供給方向に沿う中央部Cの集水チャンネル2の間隔D1が領域A2での他の集水チャンネル2の間隔L2よりも広く設定されたこと以外は、実施形態1と同様の態様となる。

[0030] 以上のセラミック平膜 1 によれば、領域 A 2 において中央部 C の集水チャンネル 2 の間隔 D 1 が他の集水チャンネル 2 の間隔 D 2 よりも広く確保されたことで、図 4 に示したように、堆積物の剥離の起点となるポイントを形成できる。したがって、実施形態 1 の効果に加えて、長期間安定的な固液分離が行える。また、空気 1 3 の気泡によるせん断力が最大となるセラミック平膜 1 のセラミック基材の部分（中央部 C）が補強されるので、セラミック平膜 1 全体の機械的強度がさらに高まる。

[0031] [実施形態 3]

図 5 に示された実施形態 3 のセラミック平膜 1 は、領域 A 1 での集水チャンネル 2 の横断面 S 1 が領域 A 2 での集水チャンネル 2 の横断面 S 2 よりも小さいこと以外は、実施形態 1 と同様の態様となる。

[0032] 以上のセラミック平膜 1 の態様によれば、実施形態 1 と同様の作用効果が得られる。特に、実施形態 1 のセラミック平膜 1 よりも、端部 3 の近辺でのセラミック基材量が増加するので、セラミック平膜 1 の機械強度がさらに高まる（図 6）。

[0033] 尚、本実施形態の集水チャンネル 2 の横断面 S 1，S 2 は、実施形態 2 のセラミック平膜 1 すれば、このセラミック平膜 1 の機械強度の向上を図ることができる。

[0034] [実施形態 4]

セラミック平膜 1 は、次亜塩素酸ナトリウム等の薬液を集水チャンネル 2 側から表面に送り出す洗浄方式（薬液逆洗）により、膜内部及び表面に付着した膜閉塞の原因物質が化学的に除去される。このとき、例えば図 7 に示された実施形態 2 のセラミック平膜 1 の内部においては、薬液の浸透部分 A 3 と非浸透部分 A 4 とが発生する。非浸透部分 A 4 は、バイオフィームが成長して膜閉塞によるろ過効率の低下を招くことがある。

[0035] そこで、図 8，9 に示された実施形態 4 のセラミック平膜 1 は、薬液逆洗が適用されるセラミック平膜 1 において、膜表面 2 0 と集水チャンネル 2 との間の厚みが異なる領域を確保することで、高フラックスと機械強度の向上

を図る。

[0036] 図9のセラミック平膜1は、集水チャンネル2が等間隔に形成される一方で領域A1での膜表面20と集水チャンネル2との厚み L_4 が領域A2での膜表面20と集水チャンネル2との厚み L_3 よりも大きく設定されたこと以外は、実施形態1と同様の態様となる。また、膜表面20に沿う領域A1、領域A2の集水チャンネル2の内径 L_2 、 L_1 は同値に設定される。

[0037] 集水チャンネル2は等間隔で形成されることが望ましいが、使用条件等によっては実施形態1と同様に、領域A1での集水チャンネル2の間隔 D_1 を、端部3側以外の領域A2での集水チャンネル2の間隔 D_2 よりも広く設定してもよい。

[0038] 図8～11を参照して本実施形態のセラミック平膜1の作用効果について説明する。

[0039] 図9に示されたように吸引ポンプ等により生じるろ過の駆動力である圧力差 P は集水チャンネル2の形状及びサイズに関わらず均等となる。一方、膜透過の抵抗 R は膜表面と集水チャンネル2との距離により異なる。そのため、集水チャンネル2の内径が小さく、膜表面20と集水チャンネル2との間の厚みが大きくなる場合、ろ過水の流速 Q は小さくなる。同図の領域A1、A2の集水チャンネル2において、内径 $L_2 =$ 内径 L_1 且つ厚み $L_4 >$ 厚み L_3 の場合、流速 $Q_1 >$ 流速 Q_2 となる。流速 Q_1 は、厚み L_3 の膜表面20、集水チャンネル2間のろ過水の流速を示す。流速 Q_2 は、厚み L_4 の膜表面20、集水チャンネル2間のろ過水の流速を示す。つまり、セラミック平膜1の閉塞の程度は集水チャンネル2の形状に影響を受ける。

[0040] 以上のセラミック平膜1によれば、領域A1での膜表面20と集水チャンネル2との間の厚み L_4 が領域A2での膜表面20と集水チャンネル2との間の厚み L_3 よりも大きいので、領域A1と領域A2との間で処理量の差が生じる。図10に示したように処理対象水が多ろ過に供されるセラミック平膜1の領域A2はより多くの閉塞物質が堆積するが、散気による洗浄効果が高いため、安定的にろ過の継続が可能となる。特に、領域A1と領域A2

との間で堆積物 10 の厚みに差が生じるので、同図のように堆積物 10 の段差部分が気泡による剥離の起点 SP となり、従来よりもろ過効率を向上させることができる。

[0041] そして、逆洗時には、図 11 (a) に示したように領域 A2 の集水チャンネル 2, 膜表面 20 間の逆洗液の流速 Q1 が領域 A1 の集水チャンネル 2, 膜表面 20 間の逆洗液の流速 Q2 よりも多くなるので、逆洗浄の効果が大きくなる。このとき、局所的に存在する大きな集水チャンネル 2 を起点にフィルム状の閉塞物質が剥離して除去される。さらに、薬液逆洗時には、同図 (b) に示したように逆洗液または薬液が集水チャンネル 2 の周辺領域 A5 に浸透してセラミック平膜 1 の全体に染みわたるので、洗浄効果が高まる。

[0042] また、ろ過と逆洗の切り替え時は、装置や手順の不具合により、流速の急激な変化により管内圧力が過渡的に上昇または下降するウォーターハンマー現象が発生する場合がある。この現象が生じると、セラミック平膜 1 に圧力がかかると同時に振動が発生し、発生する負荷の程度によりセラミック平膜 1 の破損原因になる場合がある。

[0043] これに対し、本実施形態のセラミック平膜 1 は、膜表面 20 と集水チャンネル 2 との間の厚みが異なる領域が形成されることで、多孔質支持体 21 の内部に部分的な厚みが確保される。これにより、セラミック平膜 1 の機械的強度が向上し、ウォーターハンマー現象によるセラミック平膜 1 の破損を防止できる。

[0044] 以上の実施形態 4 によれば、セラミック平膜 1 の散気洗浄（エア洗浄）に加えて逆圧洗浄（逆洗、薬液逆洗）の効率を高めることで、膜閉塞の原因物質が効率的に除去され、高フラックスの実現が可能となる。

[0045] [実施形態 5]

図 12 に示された実施形態 5 のセラミック平膜 1 は、領域 A1 での集水チャンネル 2 の横断面形状が円形となっていること以外は、実施形態 4 の同様の態様となっている。

[0046] 本実施形態によれば、領域 A1 の集水チャンネル 2 の断面積が領域 A2 の

集水チャンネル 2 の断面積よりも小さくなるので、実施形態 4 と同様の作用効果が得られることが明らかである。特に、領域 A 1 での集水チャンネル 2 が円形を成しているの、領域 A 1 での機械的強度が向上し、外部負荷に強いセラミック平膜 1 が得られる。

[0047] [実施形態 6]

図 1 3 に示されたセラミック平膜 1 の集水チャンネル 2 の横断面が膜洗浄用の空気の供給方向に沿うセラミック平膜 1 (多孔質支持体 2 1) の中央部 C から端部に近づくにつれて小さく設定されること以外は実施形態 5 のセラミック平膜 1 と同様の態様となっている。例えば、同図に示したように領域 A 1 における領域 A 2 寄りの集水チャンネル 2 の横断面はセラミック平膜 1 の厚み方向に対して非対称の形状 (例えば、領域 A 1 での集水チャンネル 2 の横断略長方形よりも横断面が小さい横断面 D 型) に形成される。

[0048] 本実施形態によれば、実施形態 4, 5 と同様の作用効果が得られるが、散気風量に応じて集水チャンネル 2 の集水量を調整でき、より効率的にろ過が可能になる。

実施例

[0049] 表 1 は、実施形態 1 ~ 3 に各々基づく実施例 1 ~ 3 のセラミック平膜 1 の機械的強度を従来技術に基づく比較例のセラミック平膜の機械的強度に対する相対値により示した。機械的強度は、セラミック平膜の破損に至る局所的な荷重の値を比較した。

[0050]

[表1]

試料	強度 (-)
比較例	100
実施例 1	113
実施例 2	115
実施例 3	139

[0051] 表 1 の結果から明らかなように、実施例 1 ～ 3 によれば比較例よりも機械的強度が得られ、特に実施例 3 によれば機械的強度のさらなる向上が図れることが示された。

[0052] また、図 1 4 に実施例 1 ～ 3 と比較例の膜差圧の経時的な変化を示した。

[0053] 実施例 1 ～ 3 及び比較例において、ろ過フラックスは 1. 2 7 m / 日、逆洗流速はろ過時の 2 倍、散気風量はろ過時の 1 0 倍、運転サイクルはろ過時間 9. 5 分、逆洗時間 0. 5 分に設定した。逆洗によるろ過水の戻りを含んだ正味の運転フラックスは 1. 0 8 m / 日とした。

[0054] 図 1 4 の膜差圧の経時変化によると、比較例の膜差圧は初期時から経時的に大幅に上昇する一方で実施例 1 ～ 3 の膜差圧は初期値から小幅な上昇で推移することが認められた。このことから、実施例 1 ～ 3 によればセラミック平膜を用いた固液分離による水処理の長期的な安定化が図られることが示唆される。

[0055] 以上の実施形態 1 ～ 3 のセラミック平膜 1 によれば領域 A 2 よりも領域 A 1 の前記固形成分の堆積物 1 0 の量を低減することが可能となり、散気によるセラミック平膜 1 の表面の洗浄効果が高まる。特に、膜洗浄用の空気 1 3

の供給方向に沿うセラミック平膜 1 の端部 3 付近での膜閉塞を防止できる。
また、セラミック平膜 1 の領域 A 1（実施形態 3 の場合は領域 A 1 及び中央部 C）での機械的強度が高まり（表 1）、機械や設備の誤操作や天災等の不測の事態によるセラミック平膜 1 の破損の危険性を低減できる。

請求の範囲

- [請求項1] セラミックスからなる板状の多孔質支持体と、
この多孔質支持体の外面に形成されるろ過膜と
を備え、
前記多孔質支持体の内部には、処理対象水が前記ろ過膜を透過して
得られたろ過水が流通する複数の集水路が形成され、当該ろ過膜の膜
表面と当該集水路との間の厚みが異なる領域が確保されたセラミック
平膜。
- [請求項2] 膜洗浄用の空気の供給方向に沿う端部の近辺の領域での前記厚みは
、当該近辺以外の領域での前記厚みよりも大きい請求項1に記載のセラミック平膜。
- [請求項3] 前記集水路は、等間隔に形成された請求項2に記載のセラミック平膜。
- [請求項4] 前記近辺の領域での前記集水路は、当該近辺以外の領域での前記集水路よりも横断面が小さい請求項2または3に記載のセラミック平膜。
- [請求項5] 前記集水路の横断面は、前記供給方向に沿う前記多孔質支持体の中央部から端部に近づくにつれて小さくなる請求項2または3に記載のセラミック平膜。
- [請求項6] 前記多孔質支持体の一端部には、前記集水路の一端開口部から供された前記ろ過水を排出する排出部が固着される請求項1から5のいずれか1項に記載のセラミック平膜。