

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：32675

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19883

研究課題名（和文）無動力吸水ポンプの開発

研究課題名（英文）Development of a novel non-powered water suction pump

研究代表者

森 隆昌（Mori, Takamasa）

法政大学・生命科学部・教授

研究者番号：20345929

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：スラリーの沈降濃縮層が発生する浸透圧を利用した無動力吸水ポンプを開発するために、スラリー条件が吸水能力にどのような影響を与えるのかを系統的に検討した。スラリー中の粒子がよく分散し、かつ、一次粒子径が小さい場合に、吸水流束が大きくなることが分かった。またスラリーの粒子濃度は粒子が分散を維持できる範囲でできるだけ高くすることが、吸水流束の増大に有効であることが分かった。また、アルミナスラリーで長期吸水実験を行い、吸水流束は徐々に低下するものの、150日ほど吸水を持続できることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の浸透圧ポンプは、吸水に伴い溶質濃度が低下するため、吸水を長期間継続することは難しかった。しかし本研究では微粒子の沈降濃縮層を利用することで、浸透圧の発生源である電気二重層の重なりを長期間維持し、吸水を持続できることを見出した点に学術的、工学的な意義を有する。本研究の成果を活かし、多段の吸水装置を開発することで、乾燥地帯での地下水の汲み上げによる緑化などへと応用が可能になると期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to develop a novel non-powered water suction pump by utilizing the osmotic pressure generated in the concentrated particles layer, the effect of slurry conditions on the water suction ability was systematically investigated. It was found that the largest water suction flux could be obtained when particles with the smallest primary particle size were dispersed well. In addition it was shown that the initial particle concentration of the slurry should be as large as possible for the large water suction flux.

Furthermore, it was demonstrated that the concentrated particles layer for alumina slurry could keep sucking water for almost 150 days even though the water suction flux became gradually small.

研究分野：化学工学

キーワード：沈降濃縮層 浸透圧 吸水

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループではこれまでに、濃厚系スラリーの粒子分散・凝集状態を沈降静水圧測定法で評価してきた。沈降静水圧測定法は、重力場で静置したスラリーの底部の静水圧の経時変化を測定する方法である。この方法で平均粒子径 $0.48 \mu\text{m}$ のアルミナスラリー (45 vol%、pH 3.7) を測定したところ、理論上取り得る最小の静水圧を下まわる負圧の発生をはじめて確認した。さらに、水頭差のない状態で半透膜を介して蒸留水と接触させたところ、スラリー側に吸水が起こり、吸水に伴い水頭差が増えてくるにもかかわらず長期間吸水し続けることがわかった。これまでの研究から、1) 粒子が良く分散されたスラリーの堆積層が負圧発生の原因であること、2) 水の吸い上げが起きるためには、堆積層上部に可流層 (流動性のある層) が必要であることを明らかにした。その後もデータの解析・考察を続け、負圧は粒子周りに形成される電気二重層の重なりにより発生する浸透圧であること、浸透圧により堆積層がフィルターのない側に膨張することで吸水が起こるということを明らかにした。そこで、この堆積層の負圧 (堆積層中の微細構内で重なる電気二重層の浸透圧) を駆動力として吸水するポンプを本格的に開発することを計画した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、良分散微粒子スラリーが形成する堆積層の内部圧力が、大気圧以下の負圧になることを利用して、「無動力吸水ポンプ」を開発することである。通常の溶液の浸透圧を利用したポンプでは、吸水に伴い溶液濃度が低下するため、吸水流束が低下してしまう。さらに、吸水した水を分離することは困難である (更なる処理工程が必要である)。本研究でポンプの駆動力とする「スラリーの沈降により形成された堆積層の負圧」は、堆積層中の微細孔に固定化された電気二重層の重なりによって引き起こされるものであるため、吸水流束を適切に制御し、吸水に伴い粒子が舞い上がらないようにすることで、電気二重層が安定的に存在し、吸水流束を落とすことなく長期間にわたり継続的に吸水できると期待される。

3. 研究の方法

(1) 吸水流束に及ぼすスラリー条件の影響

吸水流束を適切に制御するためには、まずスラリー条件によってどのように吸水流束が変化するかを知る必要がある。そこで以下のようにスラリーを調製し、吸水流束を測定した。

まずスラリー中粒子の一次粒子径の影響を調査するために、試料粉体に粒子径の異なる 3 種のアルミナ粒子 (易焼結アルミナ、 $d_{50}=0.48 \mu\text{m}$ 、白色アルミナ研磨剤、 $d_{50}=1.2, 2.0 \mu\text{m}$) を用いた。分散媒にイオン交換水、pH 調整剤には HCl を用いた。スラリー中の粒子濃度は 45 vol% とし、pH は全てのスラリーについて粒子が高いゼータ電位を持ち、長期間良分散状態を保つことができる期待される pH 3 とした。

さらにスラリーの粒子濃度の影響を調査するために、以下のように調製したアルミナスラリーを使用した。粉体は易焼結アルミナ ($0.48 \mu\text{m}$) を用いた。分散媒にイオン交換水、pH 調整剤には HCl を用いた。スラリー中の粒子濃度は 5.0 - 45 vol% の間の 5 点とし、pH 3 とした。

図 1 に吸水試験装置の概要を示す。スラリーと同一の pH の分散媒液を十分に満たした容器内に内径 40 mm のアクリル製円筒装置、半透膜を設置した後、スラリーを投入した。この時、容器に満たす分散媒液の水位は半透膜の高さと同様に設定した。その後、任意の時間静置し、投入したスラリーの初期高さから変化した気液界面高さを測定することで、吸水量を得た。なお、以降特に記載のない場合、半透膜としてセルロース混合エステルタイプメンブレンフィルター (孔径 $0.2 \mu\text{m}$) を用い、スラリー投入高さは 20 mm とした。

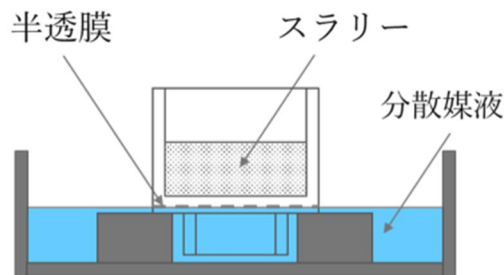


図 1 吸水試験装置の概要

(2) 吸水持続性に及ぼすスラリー条件の影響

吸水持続性については図 2 に示す装置で検証した。まず初めに、分散媒室にイオン交換水を投入した。次に分散媒室上部に半透膜を設置し、分散媒室とスラリー室を接合・密閉した。その後、スラリー室に高さ 50 mm までスラリー ($0.48 \mu\text{m}$ アルミナスラリー、pH 4) を投入した。分散媒室に接続されたチューブにイオン交換水を満たし、同じくイオン交換水が満たされたピーカー内に投入した。この時、分散媒液とスラリーのヘッド差をなくすため、水源となるピーカーの設置高さをスラリー高さと同様に設定した。以上の手順で設置された長期吸水装置をデシケータ

一内に密閉し、水分の蒸発を抑制した。一定期間静置した後、水源のピーカー重量を測定し、スラリー投入初期のピーカー重量との差分から吸水量を得た。デシケーター内であっても、水源の微小な量の蒸発が懸念されるため、分散媒液の水源と同一のピーカーをデシケーター内に静置させ、蒸発量も同時に測定し、吸水量を補正した。

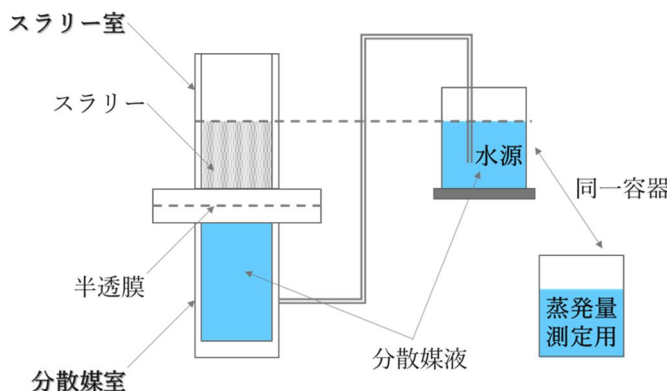


図2 吸水持続性を検証するための実験装置概要

(3) 多段吸水装置の試作

吸水装置の多段化を30 vol%のアルミナスラリーを用いて検討した。試作した多段吸水装置の概要を図3に示す。はじめに、スラリー投入高さ40 mmの条件で吸水試験を単段で実施した。吸水により気液界面高さが装置最上部に到達するまで静置し、その後、その上に同サイズの装置を積み重ね半透膜を設置した。その後2段目に1段目と同条件で調製したスラリーを任意の高さ投入した。次に1段目の装置側面にある空気穴に充填した詰め物を取り除き、1段目の空気開放を行った。

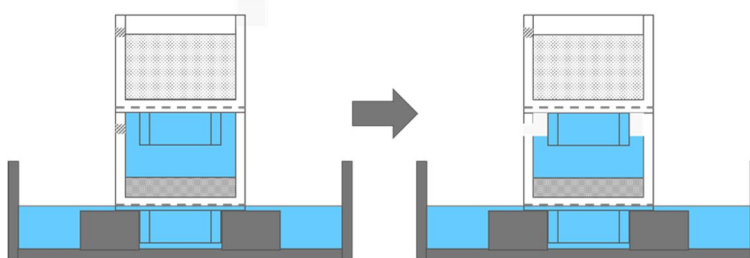


図3 多段吸水装置の概要と装置の設置手順

4. 研究成果

(1) 吸水流束に及ぼすスラリー条件の影響

粒子径を変えたスラリーについて、測定された吸水量の経時変化を図4に示す。粒子径が小さいアルミナスラリーほど高い吸水量が得られた。これは同じ粒子体積分率であっても粒子径が小さい方が、粒子個数濃度が大きくなり、電気二重層の重なり部分が増加することによって浸透圧が大きくなったためと考えられる。また、粒子径がある大きさ以上になると、発生する浸透圧とヘッド差がほぼ等しくなるために吸水がほとんど観察されなかったと考えられる。

粒子濃度を変えたスラリーについて、測定された吸水量の経時変化を図5に示す。電気二重層の重なり部分が多くなる初期濃度の高いスラリーほど高い吸水能力を持つことが分かった。したがって、浸透圧ポンプとして用いる際には、より粒子濃度の高いスラリーが有効であるといえる。しかし、濃縮層における粒子の充填性が浸透圧に寄与する可能性が示唆されたことから、粒子の分散状態にも着目する必要がある。一般に、より分散したスラリーほど密な堆積層を形成する。一方で、粒子濃度が高いスラリーほど粒子間距離が狭まることから分散状態を保つことが困難である。そのため、浸透圧ポンプとして応用するにあたって最適なスラリー条件を得るためには、粒子が良分散状態を保つことのできる上限の粒子濃度に設定する必要がある。

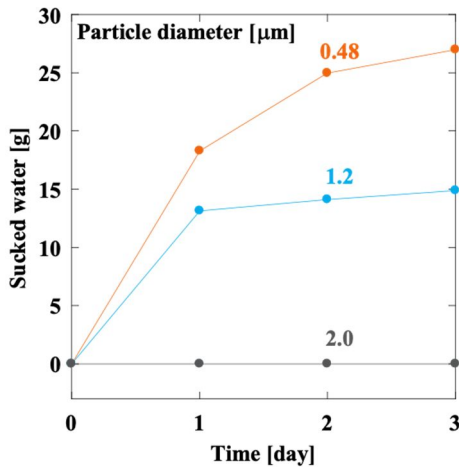


図4 粒子径を変えたスラリーの吸水量

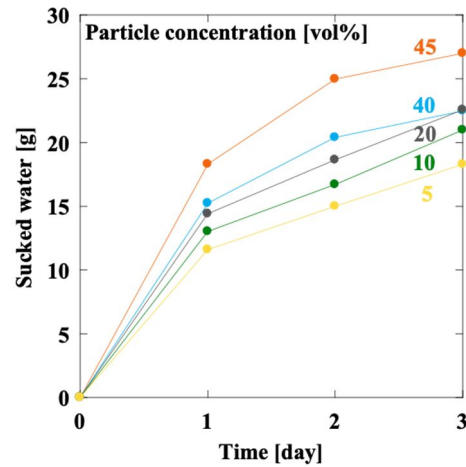


図5 粒子濃度を変えたスラリーの吸水量

(2) 吸水持続性に及ぼすスラリー条件の影響

アルミナスラリーによる長期吸水実験の吸水量を図6に示す。図より、吸水速度は徐々に遅くなっていくものの、100日以上吸水が継続していることが分かった。しかし、150日弱経過した際、水源の重量変化と蒸発確認のためのビーカーの重量変化が同一の値を示したため吸水が停止したと判断した。

吸水が停止した理由としては、まず吸水に伴い水源とスラリーにヘッド差が生じたことがあげられる。今後、長期的に吸水を継続させるためには、吸い上げた分散媒を排出しヘッド差を一定に保つ機構を設ける必要があるといえる。

2点目として、アルミナ粒子の帯電状態の変化があげられる。本実験ではスラリーのpHを4.2に調整し吸水を開始したが、200日静置したのち装置を解体する際にスラリーの濃縮層を攪拌棒で混合し、粒子を再び懸濁させた状態でpHを測定したところ、pHは5.2に変化していた。これは分散媒を吸水したことによるpHの変化であると考えられる。pHの増加によって粒子のゼータ電位が低下していくために、吸水に伴い吸水能力が低下したものと推察される。したがって、長期間吸水を継続するためには、吸い上げる分散媒液とスラリーのpHを同一に設定する、すなわち、吸い上げる分散媒と同じpHで粒子が良分散となるスラリーを選択する必要がある。

さらに、濃縮層中の一部粒子の固化も原因と考えられる。固化した粒子はもはや吸水によって動くことはないため、吸水のドライビングフォースにはなり得ない。よって、スラリー投入高さを適切に設定し、固化層が形成されない条件で吸水させるのが望ましいと考えられる。

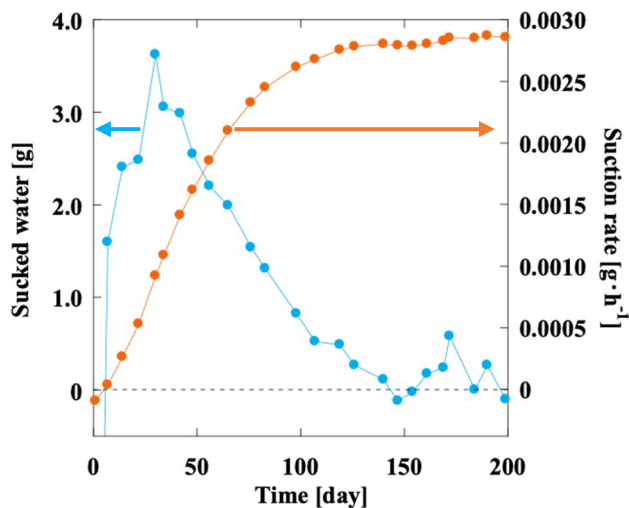


図6 アルミナスラリーの長期吸水実験結果

(3) 多段吸水装置の試作

図7に、段階的設置方式による多段吸水試験を行った結果を示す。1段目の側面の詰め物を外した直後、一部の液が系外に流出し、1段目の空気開放が達成できたことを確認した。しかしながら、2段目の気液界面高さには視認可能な変化がみられず、吸水が起こっていないことが分かった。多段(2段)の吸水ができなかった原因は今のところよく分かっていないが、今後の方針としては、まず、単段で吸い上げた液を系外に排出・回収し、排出水を水源として水を吸い上げる機構の開発を行う。1段目で吸い上げた水の水源よりも高い位置に新たな水源を設置し、そこに1段目が吸い上げた水を排出する機構を作ることが出来れば、多段化は原理的に可能となる。

これを実現するにあたって、今後は一度微粒子濃縮層を通過して、吸い上げた水を水源として、吸水試験を行い、1 段目を通過した水でも吸水が起こることを確認し、多段化を目指していく。

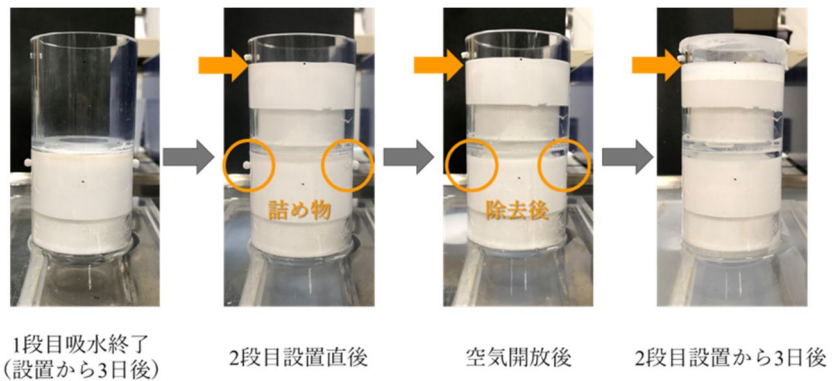


図7 段階的設置方式による多段吸水試験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森 隆昌、椿 淳一郎
2. 発表標題 微粒子沈降濃縮層の浸透圧と吸水現象
3. 学会等名 2018年度粉体工学会春期研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gaku Tsutsui, Takamasa Mori, Junichiro Tsubaki
2. 発表標題 Investigation of osmotic pressure generation and water sucking behavior for the dense sediment of well-dispersed slurry
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 送水装置及び送水方法	発明者 森 隆昌、椿 淳一郎、山田 克彦	権利者 法政大学、海和工業株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-086714	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	椿 淳一郎 (Tsubaki Junichiro) (50109295)	公益財団法人名古屋産業科学研究所・研究部・上席研究員 (73905)	