

研究成果報告書

所属機関
法政大学 生命科学部

職名
教授

氏名
森 隆昌

研究テーマ

微粒子堆積層の負圧を利用した無動力吸水ポンプの開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

これまでに我々は、スラリー（粒子懸濁液）中の粒子分散・凝集状態を評価する手法を開発してきた。その中で、スラリー中の粒子の沈降に伴う静水圧の変化を測定し、粒子の分散・凝集状態を評価する装置を開発・商品化した。この沈降静水圧測定装置を用いて、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、図1に示すように、底部の静水圧が溶媒のみの静水圧（計算上、取り得る静水圧の最小値）を下回る現象を発見した。さらにこの負圧発生現象を利用すると、図2のように水頭差がない状態でフィルターを介して連結したリザーバーからスラリー（微粒子堆積層）側に水を吸い上げる（吸水）ことを確認した（スラリー条件：平均粒子径 $0.48\ \mu\text{m}$ のアルミナ20 vol%スラリー、スラリー pH=3）。

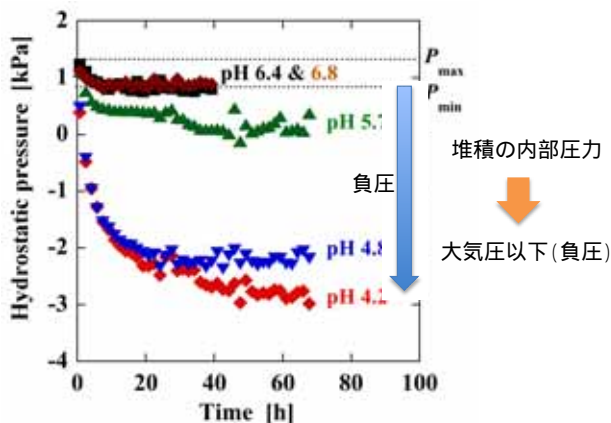


図1 堆積層の負圧発生現象

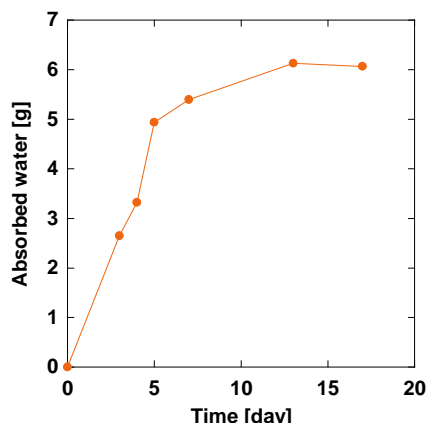


図2 負圧を活かした吸水現象

これらの実験事実は、スラリーから形成される微粒子堆積層が「ポンプ」の役割を果たすということである。この新しい原理に基づく「ポンプ」は特別な動力を必要とせず、ごくありふれた環境温度下で稼働し続けるという特徴を持つ。微粒子堆積層（濃縮層）が形成され吸水が起こるため、吸水した水は堆積層を通して堆積層の上部に分離可能な形で存在することになるため、吸水流束、吸水持続時間次第では、様々な応用展開が考えられる。例えば、地下水から水を継続的に組み上げる装置として利用できれば砂漠の緑化や乾燥地域の農地の灌漑設備などとして応用が期待される。

そこで本研究では、微粒子堆積層の負圧発生メカニズムを解明すること、及び、吸水流束に及ぼすスラリー諸条件の影響を明らかにすることを目的とする。本研究を通して、将来的に吸水装置として応用を検討していく上で、どのようなスラリー及び装置が最適なのか、その設計指針を確立することを試みる。

2. 研究成果および考察

本研究助成期間内では微粒子堆積層の負圧発生、吸水が起こるスラリー条件を広く検討することで、本現象のメカニズムを解明すること、及び、今後、実用化を目指していく上で必要となる吸水流束、吸水持続時間を最大化するための指針になり得る結論を得ることを試みた。まず、水中で粒子を正に帯電させたアルミナスラリー、及び、粒子を負に帯電させたチタニアスラリーの積算吸水量を比較した。スラリーはいずれもpHを調整しただけの水系スラリーである。吸水実験は図3のような装置で実施した。吸水すると気液界面位置が上昇するため、その上昇高さから吸水量を算出した。アルミナスラリーの積算吸水量を図4に、チタニアスラリーの積算吸水量を図5に示す。帯電量以外にも異なる条件

があるため両者を定量的に比較することは難しいが、まず、第一の結論として、粒子が帯電していれば、それが正か負かは関係なく、吸水が起こることがわかる。また両者はスラリーの投入高さを変えて実験を行なっているが、両者ともにスラリー投入高さは最適値が存在し、ある高さまでは、吸水量を増加させることができるが、ある高さ以上になると吸水量が減少することが明らかとなった。これは堆積層内の電気二重層の重なりが多くなるほど吸水量が増えると考えられることから、スラリー高さは高い方がよいということになるが、高すぎると吸水時に堆積層のヘッド差、流動抵抗が大きくなるために吸水量が減少し、結局、吸水量を最大にするスラリー高さには最適値が存在するのではないかと考えられる。

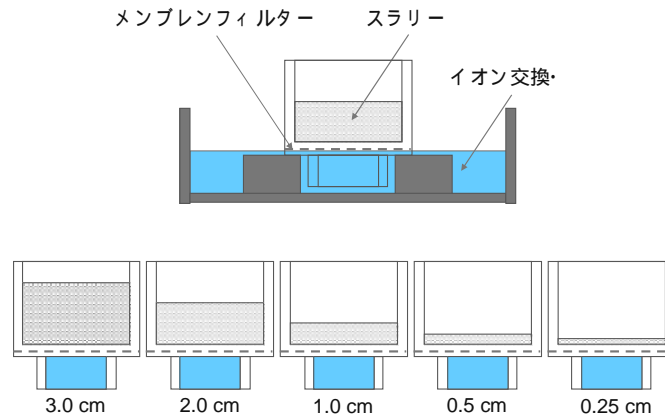


図3 スラリーの吸水量測定装置概要

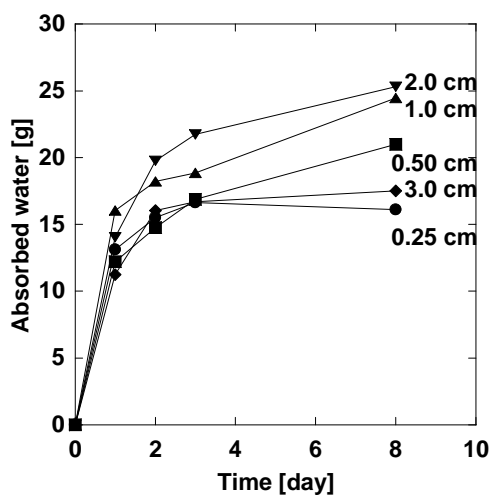


図4 アルミナスラリーの積算吸水量

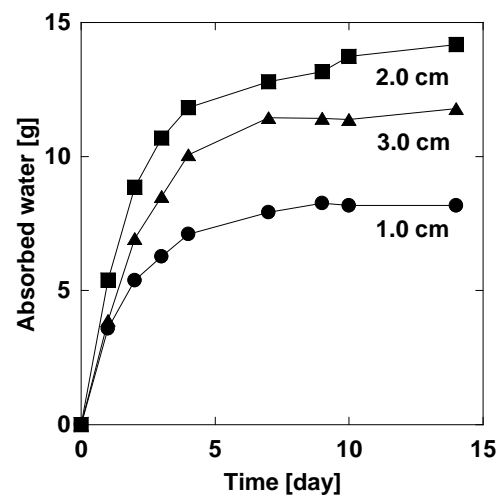


図5 チタニアスラリーの積算吸水量

さらに、粒子の表面に高分子電解質を吸着させ帯電させた場合についても検討した。実験結果を図6に示す。この図は図4と同じアルミナにポリカルボン酸アンモニウムを吸着させ、粒子を負に帯電させた粒子濃度45 vol%のスラリーの積算吸水量を示している。高分子電解質を吸着させて帯電させた場合も吸水が確認されたが、pH調整した同粒子濃度、同程度の帯電粒子の場合と比較すると吸水量は小さいことがわかった。高分子電解質を吸着させればどんな粒子であっても帯電させることができるため、本技術の汎用性は高まったと言えるが、吸水量を最大化するためにはpH調整のみで大きく帯電する粒子がより好ましいと考えられる。

一方で、沈降堆積層の吸水が起こりうる粒子径範囲についても検討した。同じ材質（アルミナ）で異なるサイズの粒子から同粒子濃度（45 vol%）のスラリーを調製し、吸水実験を行なった。異なる粒子径のアルミナスラリーの積算吸水量を図7に示す。図からわかるように、粒子径が小さいほど吸水量は増加し、逆に、粒子径が2 μm まで大きくなると吸水しないことがわかった。アルミナの場合、粒子の熱拡散による移動速度と沈降速度を比較した時に、両者がほぼ同程度の大きさになるのがおよそマイクロメートルのオーダーであることから、粒子径が2 μm になると、沈降速度がまさり、粒子が完全に固化した堆積層が形成されたために、吸水が起きなかったと推察される。すなわち、吸水することで堆積層が膨張し、堆積層の浸透圧が解消されることになるため、堆積層が膨張できない状態では吸水は起こらないと考えられる。

上記のような粒子径の影響があることがわかったため、さらに粒子径が小さいナノ粒子分散液（ア

ルミナゾル：公称粒子径15~30 nmのアルミナナノ粒子の6 vol%スラリー）を使って、同様に積算吸水量を測定した。その結果、図8に示すようにわずか1日（24 h）で20g（アルミナ45 vol%で2日吸水させた量とほぼ等しい）の水を吸水しており、桁違いに吸水速度を高めることができることがわかった。しかしながら、図8が示すように、吸水にともないナノ粒子も舞い上がり、堆積層上部に清澄な上澄み層が形成されることはなかった。すなわち、これは通常の溶液の浸透圧による吸水と同じく、浸透圧発生物質が吸水にともない系外に排出されてしまうことになるため、使用する粒子は、吸水による水の上昇速度よりも大きな沈降速度を持つ粒子の中で最小の粒子径を持つものを選択することが有効であると考えられる。

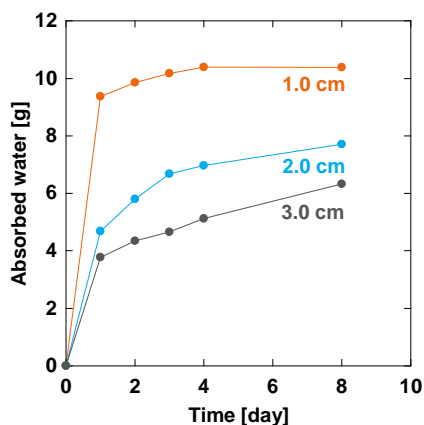


図6 高分子電解質を吸着させたアルミナの吸水量

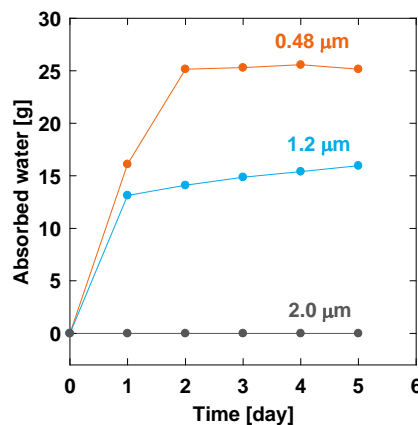


図7 吸水現象に及ぼす粒子径の影響

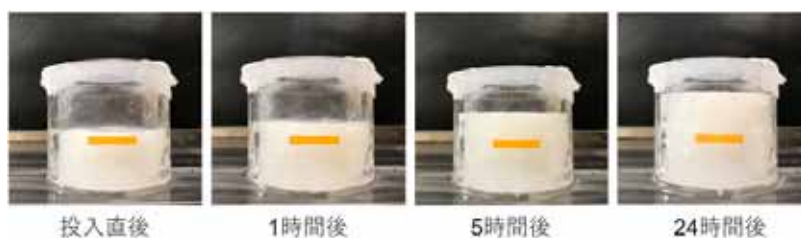


図8 アルミナナノ粒子スラリーの吸水現象

3. 将来展望

本研究によって、微粒子堆積層の負圧発生及び吸水現象が発現するためのスラリー条件について、かなり詳細に明らかにすることができ、その発生メカニズムについてもおおよそ解明することができた。今後はまず吸水装置を多段化することによって実用化可能性を検証する。多段化が実現できれば、原理的には水を汲み上げることができる高さは任意に設定できるため、地下水汲み上げなどへの大規模装置への応用が見込める。多段化装置の構成を検討していくことがまず第一にすべきことであると考えている。多段化装置の基本構成が決定できた後は、特許の共同出願者である企業（海和工業株式会社）を中心に、装置の大型化、大規模化を検討し、実用化を目指していく予定である。

4. 研究発表

【査読付き論文】

1. J. Tsubaki, T. Mori, M. Okawa, T. Yoshimura, M. Aoyama, Sediment of Well-Dispersed Slurry as a Novel Osmotic Pump, Colloids Surf. Aに投稿中

【査読なし論文】

1. 椿 淳一郎、森 隆昌、無動力永久吸引ポンプ、名古屋産業科学研究所年報2018（名古屋産業科学研究所HPで公開予定）

【学会発表】

1. 森 隆昌、椿 淳一郎、微粒子沈降濃縮層の浸透圧と吸水現象、2018年度粉体工学会春期研究発表会、2018年5月5日16日、京都リサーチパーク

2. G. Tsutsui, T. Mori, J. Tsubaki, 18th Asian Pacific Conference of Chemical Engineering (APCChE2019), 2019年9月23日~27日（札幌）、発表申込・受理済

【特許出願】

1. 森 隆昌、椿 淳一郎、山田 克彦、送水装置及び送水方法、特願2018-086714