

写真 2-1-12 測定結果

7) 生物群集の発達確認

新しい環境での生物群集の発達には、10日から2週間程度必要であるが、今回の試験では、試験期間が短いので実際のろ過池から浮上藻をろ過槽に移植し、早期に生物群集の発達を試みた。この操作は、畑で野菜を育てる際に畑に苗を移植し育てる方法に準じた。



写真 2-1-13 藻状況（左：1月30日、右：2月2日）

藻を移植した砂ろ過槽を観察し続け、藻の状態変化、砂表面の変化を観察し続けた。その結果、1月30日の設置開始直後には水中に沈んでいた藻が、移植した環境に適応しだし、発達しながら2月2日午後には水面に浮かび始めた。

2月2日には藻から酸素が発生している様子が見られた。その時点では、砂表面では顕著な変化は見られなかった。また、藻の捕食動物のユスリカの確認はできなかった。



写真 2-1-14 砂ろ過槽 藻状況（2月2日）



写真 2-1-15 砂ろ過槽 酸素発生状況
(2月2日)

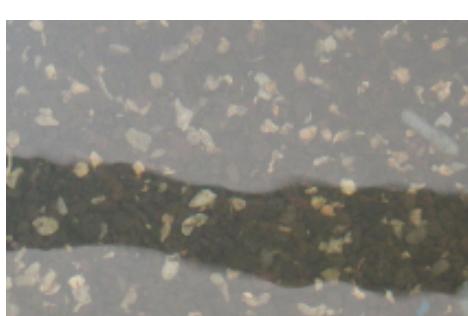


写真 2-1-16 砂表面状況（2月2日）

2月6日には酸素の気泡発生が増え、それにより藻の形状が変化した。砂表面に藻が繁殖したし、藻やバケツ壁面でのユスリカの生育を確認することができた。

水中ではヤゴの脱皮後の抜け殻も確認され、バクテリアやそれを捕食するユスリカ、さらに上位の捕食者であるヤゴの存在も確認されたことから、ろ過速度 5m/d、10m/d、20m/d で生物群集による食物連鎖系が形成されただと考えられる。



写真 2-1-17 砂上藻の定着 (2月6日)



写真 2-1-18 藻の状態 (2月6日)



写真 2-1-19 ユスリカの痕跡 (2月6日)



写真 2-1-20 ヤゴの抜け殻 (2月6日)

また、藻を採取し顕微鏡で確認したところ、ユスリカの幼虫を確認した。脱皮回数の少ない幼虫を確認できることから当初の藻に付着していたものではなく、試験開始後に繁殖したものだと考えられる。



写真 2-1-21 ユスリカ顕微鏡 (2月6日)



写真 2-1-22 ユスリカ顕微鏡 (2月6日)

2月8日にはろ過砂表面上の藻の定着が多くなったことから、ろ過砂表面上の藻の光合成を活性化させるため、水面に浮かぶ藻を取り除いた。



写真 2-1-23 砂ろ過槽状況写真 (2月8日)



写真 2-1-24 ろ過砂水中写真 (左: 5m/d、中: 10m/d、右: 20m/d)

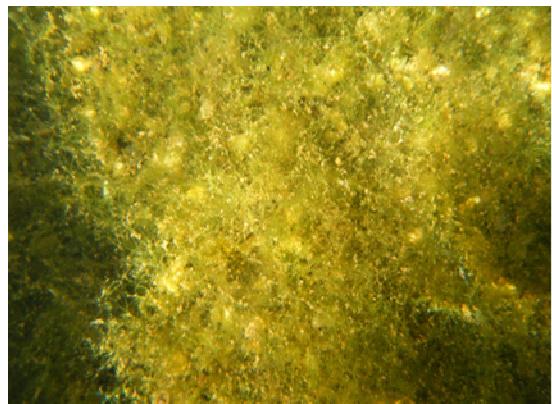
連続的な日照や原水水質が安定する期間があれば、ろ過速度が 20m/d でも約 1 週間で生物浄化機能は形成される推測される。

8) 2月9日以降

2月10日のろ過槽水面と水中写真を以下に示す。2日で状況は一変し、ろ過砂表面は藻で覆われ藻が繁殖している様子が判る。また、顕微鏡による撮影でもゾウリムシのような微小動物や糸状藻類も確認できた。繁殖した糸状藻類が光合成の気泡で浮き上がり越流管から流出する藻類の連続培養径が形成された。



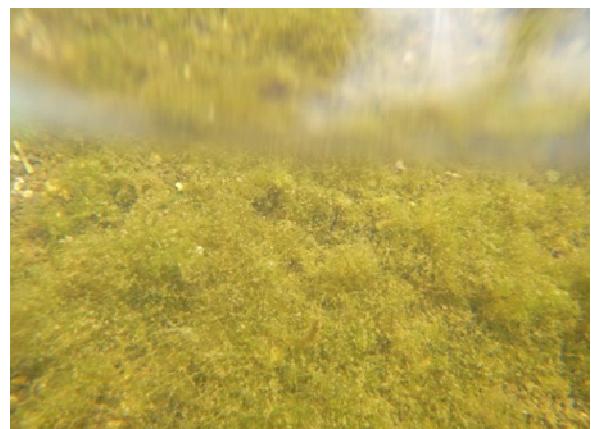
写真 2-1-25 砂ろ過槽



2月9日状況(左:水面、右:水中)



写真 2-1-26 砂ろ過槽



2月10日状況(水中)



写真 2-1-27 ゾウリムシ (2月12日)

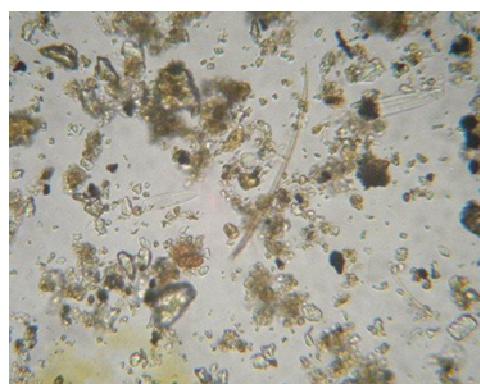
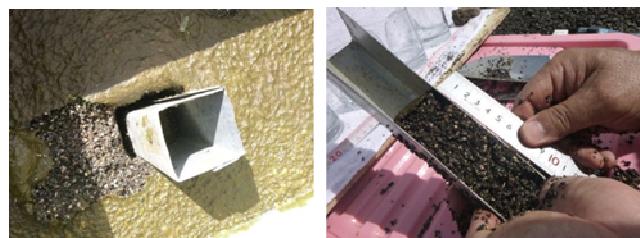
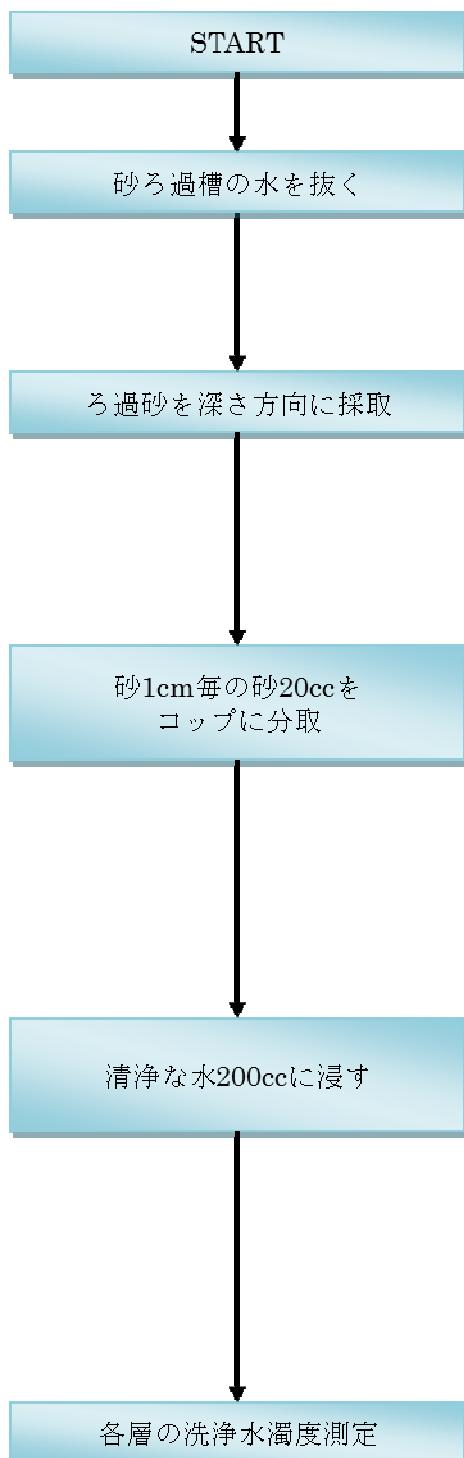


写真 2-1-28 藻類 (2月12日)

9) ろ過砂の汚れ調査

2月20日、設置後3週間を経過してバケツモデル実証試験を終了した。その際、ろ過砂の汚れ具合を調査した。



ろ過砂を浸漬攪拌し、洗浄水の濁度を測定した結果を図 2-1-12 に示す。

ろ過砂内部の汚れは、0~1cm でとどまっており、それ以降はほとんど同じである。しかし、ろ過速度 5m/d→10m/d→20m/d の順に、わずかだが深層部まで到達していることが判る。しかし、11cm までの深さまでは砂が汚れていない。

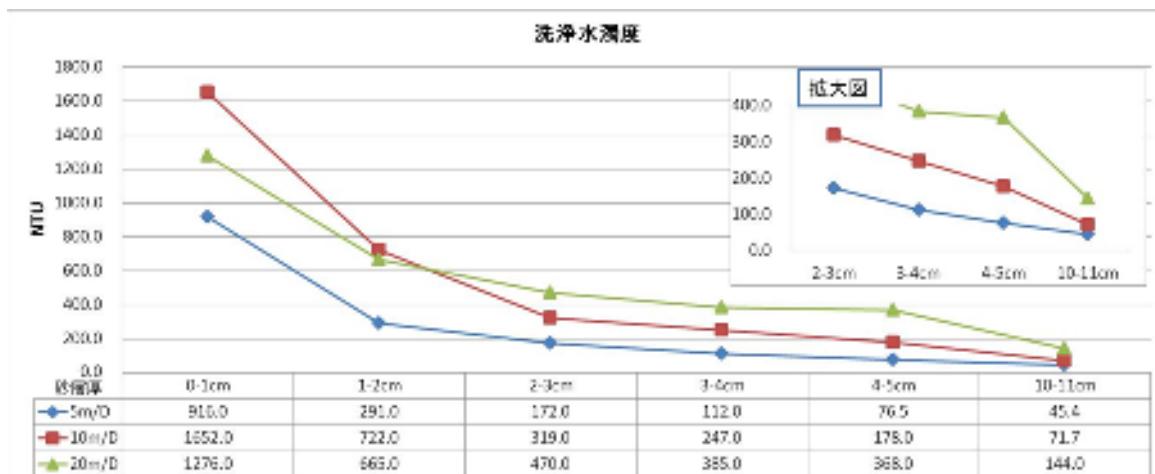


図 2-1-12 洗浄水濁度

ろ過速度が速いと生物群集の負荷が高まり、生物が活躍する層が厚くなり、砂深部まで濁度が浸透することが判る。しかし、10cm の深さでは、どのろ過速度でも洗浄濁度は小さくなつた。

この試験結果は、生物群集が発達し食物連鎖系が成立するには、新たな砂を導入した場合、10 日から 2 週間が必要であることを示していた。また、新たな砂の表面には、汚れがあり、細菌や原生動物が繁殖し、それらを捕食するワムシ、線虫やミミズ、水生昆虫の幼虫などが繁殖し、汚れた砂をきれいにする。その期間が 10 日から 2 週間が必要ということを意味している。

その結果、今回の実験でも実験当初は、ろ過水中には一般細菌や大腸菌が多数検出されたが、10 日目以降ではどのろ過速度でも、ろ過水中からは大腸菌は検出されなかった。

これは、砂層表面ばかりか砂層内部では生物群集が発達し、砂槽内部の砂表面がきれいになり、砂槽内部の生物群集がエサを求めて、砂層上部に移動したことを意味していると考えられる。空腹状態の生物群集が砂層上部にいて、上から流入し砂層内部に侵入した濁り物をエサと思い、必死で捕食するのでろ過水が清浄になり、大腸菌も検出されなくなる。

また、砂面上の水深が 10~15 cm と浅く、底まで日射が十分に当たり光合成が盛んになる。水深が浅いので、水圧が小さくなり光合成により生じた酸素が容易に過飽和状態になり、気泡が生じやすく、その浮力で藻が水面に浮き易くなる。その結果、砂面上の藻類被膜に付着した、流入懸濁物質は浮上藻と一緒に水面に浮き上がり、越流口から自

動的に排出され砂面への懸濁物質負荷は低減する。

砂面上、藻類被膜が剥離した面には砂が目視される。この砂面から流入懸濁物質が砂層内部へ侵入する懸念があるが、この部分は空腹状態の微小動物がいて侵入してくる濁りを必死で捕捉するので、砂層深部へは濁り物質は侵入しない。

ろ過速度の違いにより早いろ過速度の方が、砂層上部での洗浄濁度が高いのは、砂層内部で活躍する生物群集の深さが大きいためである。

水温により、生物活性が異なり水温が低い高緯度地方では、生物が活躍する層が厚くなり、水温が高い熱帯地域では生物活性が高いので生物が活躍する層は薄い。この現象は、気温が低い高緯度地域での森林での腐食層が厚く、熱帯では薄いのと同じ現象である。

これまで日本ばかりでなく、世界中で緩速ろ過池での浄化機能は砂面上に発達した膠状の生物膜によるとされているが、砂面状に真綿状に発達した藻類膜が削り取り時などで砂面上の水を抜いた状態を、膠状の生物膜と言われる元である。生物膜、ドイツ語起源の Schumutzdecke（砂面状の汚泥の意味）で呼ばれているが、稼働中の砂面状はこの様な状態ではない。砂層上部で発達した微小動物群集の発達、空腹状態の生物群集による食物連鎖の発達、生態系の形成が浄化機能を発現する重要なカギである。

微小動物が活躍する砂層上部で変色した部分を汚泥、汚砂、Dirty sand と言われるが、この層が浄化機能が発達する主体であるのでこの層を取り除くことは、極力、避けなければいけない。

そのために、活躍する微小動物が驚かない安定した環境が必須である。それが、「SLOW」生物群集にやさしい速度という意味で、ろ過速度が速い方が溶存酸素濃度が極端に低下しないので、生物群集にとって良い環境である。ろ過速度を早くするために、細かな砂でなく大きな砂で、機械的なろ過抵抗を小さくするのが良い。

生物群集の活躍による浄化、生物浄化法 Ecological Purification System という視点での従来の緩速ろ過を再評価し、再認識すると、熱帯地域に向いた浄化法であるのが理解できる。

日本発の新たな視点での、設計基準、維持管理指針が生まれるのが理解される。

流入濁度が高い時でも、薬品を使わず、沈殿池と粗ろ過で、濁りを少なくすることで、緩速ろ過槽での生物浄化機能が発揮させることができる。沈殿池では、重い粒子を沈殿させ、沈降しにくいコロダル粒子、シルト状粒子を上向き粗ろ過槽では、礫面に吸着し、その吸着した粒子を捕食分解する生物群集が発達して流入懸濁物質を除去する。

事実、アラオア浄水場の粗ろ過池では、サイクロン Evan 襲来後、粗ろ過池を洗浄した際、多数のエビが生息していたのが確認された。また、モデル実験での粗ろ過池を、底から汚泥を排出した際の汚水は、コロイダル状の泥ではなく、沈降性が良い、活性汚泥状態であった。生物群集による排泄物が固まったものであった。

ろ過砂洗浄、篩い分け

バケツモデルに使用するろ過砂は、アラオア浄水場内に積まれているろ過砂を洗浄し、2種類の篩を使い、1.5mm～2.0mmの砂を篩分けした。

これは、現在アラオア浄水場で使用されている、ろ過砂はシルト成分、細かな砂が多いため、そのままバケツモデルに使用するとろ過抵抗が大きくなり、計画しているろ過速度（10m/d、20m/d）を得ることが困難になる可能性があるためである（後述、室内実験にてろ過抵抗試験測定）。

篩分け試験方法：

アラオア浄水場からろ過砂約1kgを採取し、2mmメッシュの篩と1.5mmメッシュの網で篩分け、重量を計測した。これを5回計測し、平均値を算出した。



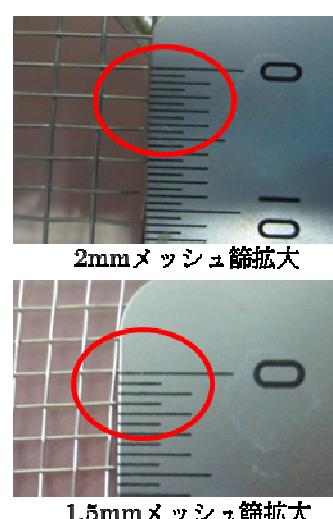
写真 2-1-29 使用した篩



写真 2-1-30 砂洗浄、篩分け作業



写真 2-1-31 2mm メッシュ篩、1.5mm メッシュ網



2mmメッシュ篩拡大

1.5mmメッシュ網拡大

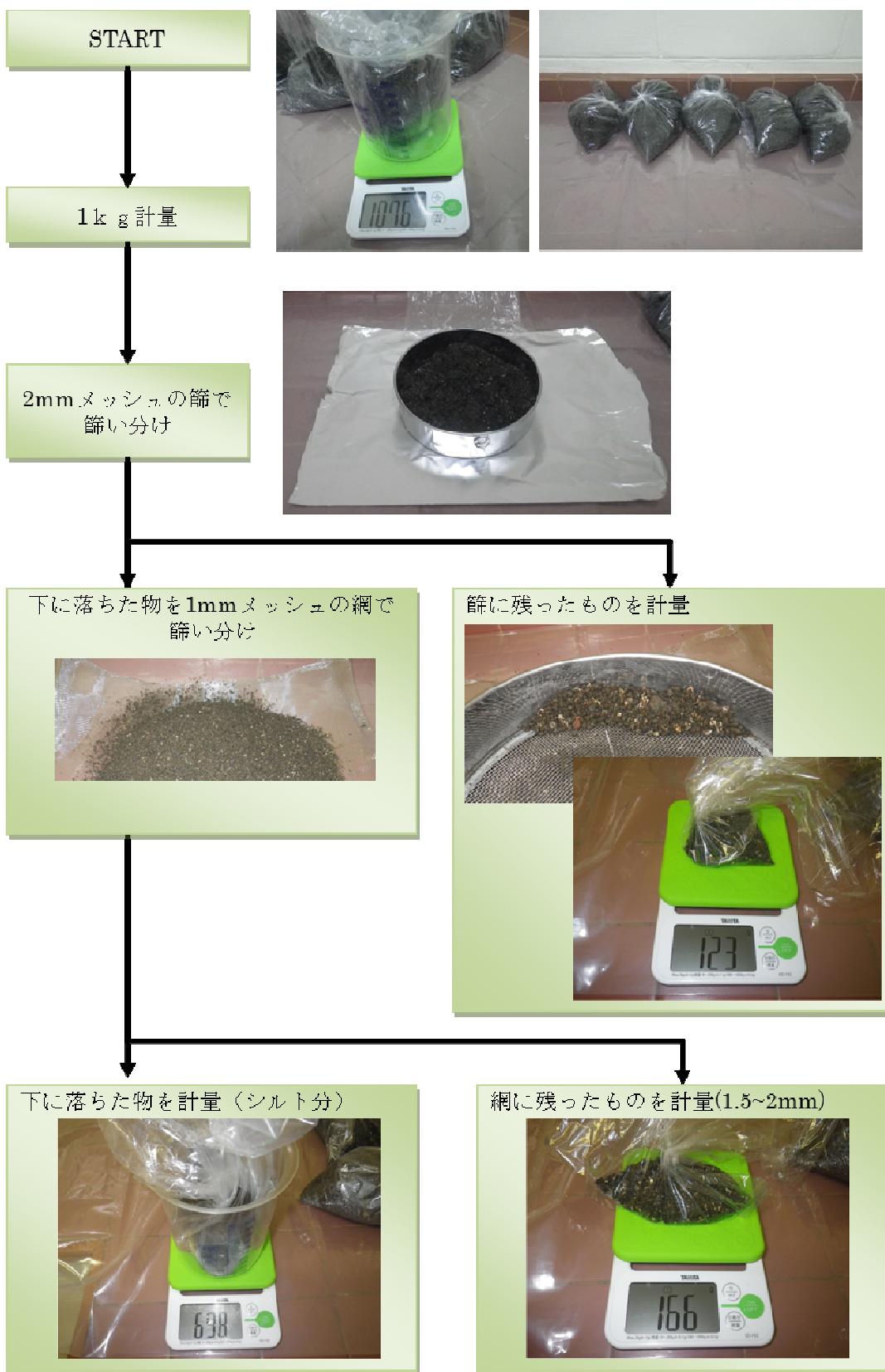


図 2-1-13 篭分け試験フロー

試験結果：

篩分け試験の結果を以下表と図に示す。

篩わけ試験の結果、アラオア浄水場の砂は、その大部分（66.3%）が細かいシルト成分で形成されており、1.5mm以上2mm以下の砂の割合は17.2%となっている。

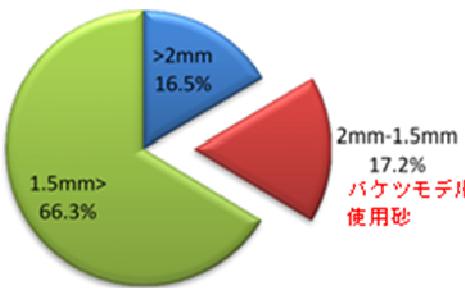


図 2-1-14 砂粒径割合

表 2-1-7 篩わけ試験結果

	2mm 以上 (小石)	2mm 以下 1.5mm 以上 (砂)	1.5mm 以下 (シルト)	合計
サンプル 1 :	重量(g)	123g	166g	698g
	比率(%)	12.5%	16.8%	70.7%
サンプル 2 :	重量(g)	156g	221g	618g
	比率(%)	15.7%	22.2%	62.1%
サンプル 3 :	重量(g)	169g	161g	664g
	比率(%)	17.0%	16.2%	66.8%
サンプル 4 :	重量(g)	204g	154g	637g
	比率(%)	20.5%	15.5%	64.0%
サンプル 5 :	重量(g)	165g	153g	675g
	比率(%)	16.6%	15.4%	68.0%
平均		163.4g	171.0g	658.4g
比率(%)		16.5%	17.2%	66.3%
				992.8g
				100.0%

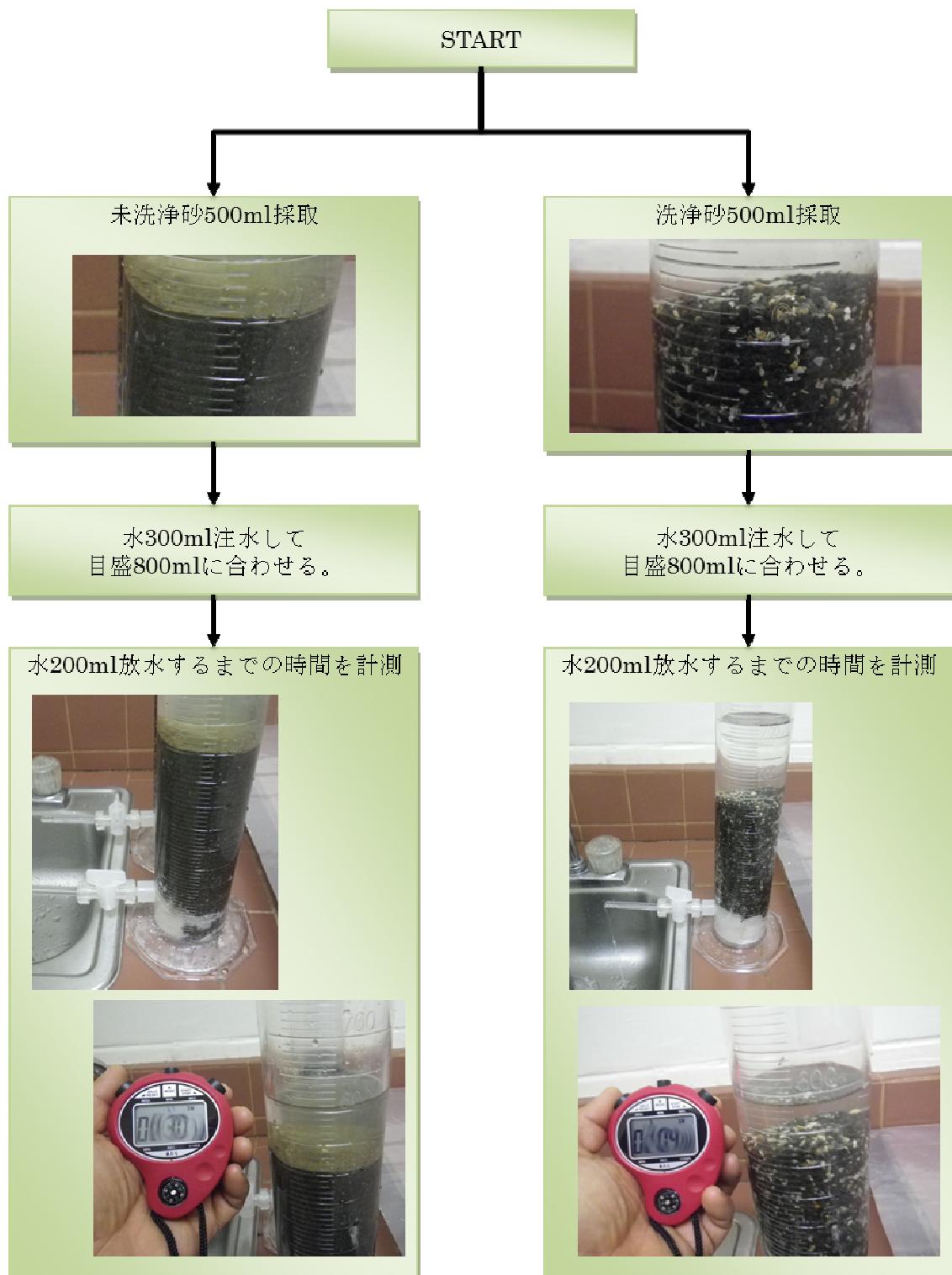


写真 2-1-32 砂粒別写真

ろ過池に必要な量の砂を篩分け、洗浄作業を人力で行うことは不可能である。そのため、砂洗浄装置、篩分け装置の導入が必要である。

砂透水試験

現在、サモア国での砂ろ過池に使用されている砂（未洗浄砂）と、今回バケツモデルで使用した砂（洗浄砂）の透水試験を行った。



試験結果：

透水試験の結果は以下の通りとなった。

表 2-1-8 砂透水試験結果

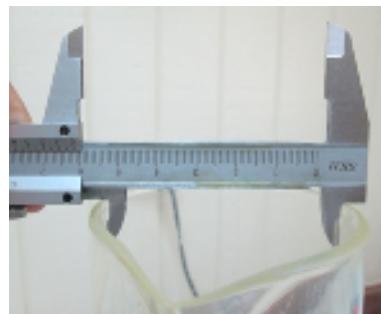
	未洗浄砂	洗浄砂
1回目	8分30秒73 (510.73秒)	1分40秒08 (100.08秒)
2回目	8分34秒89 (514.89秒)	1分40秒03 (100.03秒)
3回目	8分33秒63 (513.63秒)	1分37秒96 (97.96秒)
4回目	8分32秒72 (512.72秒)	1分42秒16 (102.16秒)
平均値	8分32秒99 (512.99秒)	1分40秒06 (100.06秒)

測定に使用したメスシリンドラーの直径が 6.1 cm であるため、メスシリンドラーの表面積は
 $0.0612 \times \pi / 4 = 0.0029 \text{m}^2$

洗浄砂の場合：

$$\begin{aligned} & 200\text{ml} \text{ の水を透過するのにかかった時間 } 100.06 \text{ 秒なので、} \\ & 0.2(1) \div 100.06 \text{ 秒} = 0.0019988 \text{ (l/s)} \\ & 0.0019988 \text{ (l/s)} \times 24 \times 60 \times 60 \div 1000 \\ & = 0.17(\text{m}^3/\text{d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{充填率 } 50\% \text{、表面積 } 0.0029 \text{m}^2 \text{ なので} \\ & 0.17(\text{m}^3/\text{d}) \div 0.0029(\text{m}^2) \div 0.5 = \underline{117.24(\text{m/d})} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$



未洗浄砂の場合：

$$\begin{aligned} & 200\text{ml} \text{ の水を透過するのにかかった時間 } 404.60 \text{ 秒なので、} \\ & 0.2(1) \div 512.99 \text{ 秒} = 0.0003899 \text{ (l/s)} \\ & 0.0003899 \text{ (l/s)} \times 24 \times 60 \times 60 \div 1000 \\ & = 0.034(\text{m}^3/\text{d}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{充填率 } 50\% \text{、表面積 } 0.0029 \text{m}^2 \text{ なので} \\ & 0.034(\text{m}^3/\text{d}) \div 0.0029(\text{m}^2) \div 0.5 = \underline{23.45(\text{m/d})} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

上記結果から未洗浄砂は透過速度 23.45m/d となり、本試験で検討しているろ過速度 20m/d の条件を満足することができるが、これは新しい砂の状態での透過速度で、長く使用するとろ過抵抗が上昇し、所定の透過速度を得ることができなくなる恐れがある。

バケツモデル実証試験考察

約 3 週間のバケツモデル実証試験により、サモア国のような熱帯地域ではろ過速度が 20m/d でも良好に生物群集が活躍し、良質な水を得ることが可能ということが判った。

今回の実証試験では、モデル設置後の 5 日間は大雨が続いたため日照時間が短く、生物浄化法にとっては悪い条件となつたが、その後、天気が回復し晴天日が続いたため、約 1 週間（2 月 7 日）で生物群集の発生を確認することができた。

各水質測定項目の結果やモデル状況から、2 月 9 日に生物浄化作用が形成され、2 月 12 日頃に熟成したと考えられる。

表 2-1-9 バケツモデル実証試験における水質測定項目の考察

水質測定項目	結果と考察
濁度 (Turbidity)	試験前半は大雨のため高濁度となつたが、中半（2 月 5 日）～後半（2 月 20 日）には生物浄化作用により濁度は安定していた。
溶存酸素 (Dissolved Oxygen)	試験期間中は低い値であったが、生物浄化作用が十分形成された 2 月 10 日以降は飽和値を超えた。
水素イオン濃度指数(pH)	砂ろ過水は原水よりも高い値を示したが、生物浄化作用による pH の変化は見られなかった。
一般細菌 (Bacteria)	砂が新しい実験前半はほとんど検出されなかつたが、中半には多数検出された。生物浄化作用が形成された 2 月 12 日の試験では検出されなかつた。
過マンガン酸カリウム消費量 有機物消費量	簡易試験であったため、試験結果を得ることはできなかつた。
砂層表面の観察	藻の状態確認、光合成による気泡、微生物、微小動物の確認、砂層への藻の定着、藻の浮き上がりなど、藻の越流、再生などが確認された。