高崎市水道局若田浄水場　特別鋤取り（削り取り）時の砂層断面調査　所見

調査者実施者　　中本信忠　信州大学名誉教授、NPO 地域水道支援センター理事
荒川朋明　NPO 地域水道支援センター新潟支部

１．調査日　　2019 年 11 月 20 日（水）午前中

２．調査対象　６号ろ過池（ろ過継続 45 日）

図１　若田浄水場と採取場所（○）
グーグルマップより

なお、通常のろ過継続は１月で鋤取り、
試験的に５号池 80 日、10 号池 70 日ろ過継続中

３．採取方法、砂層断面、採取状況

鋤取りをせずに残しておいた場所（ろ過池南西隅）で砂層柱状採取器により調査を実施した。

図２　調査６号ろ過池（９時 20 分撮影）

図３　採取場所

図４　砂層断面状況調査

図５　砂層断面況

午前９時前（推定）から鋤取り作業をしていたので、調査をし始めた午前９時 40 分頃は鋤取った砂面の汚れがなく、砂面が少し乾燥していた。砂層断面を観察したところ、表面 1～2 ㎝程度の砂は少し汚れていたが、その下層の砂は汚れていない（図５）。

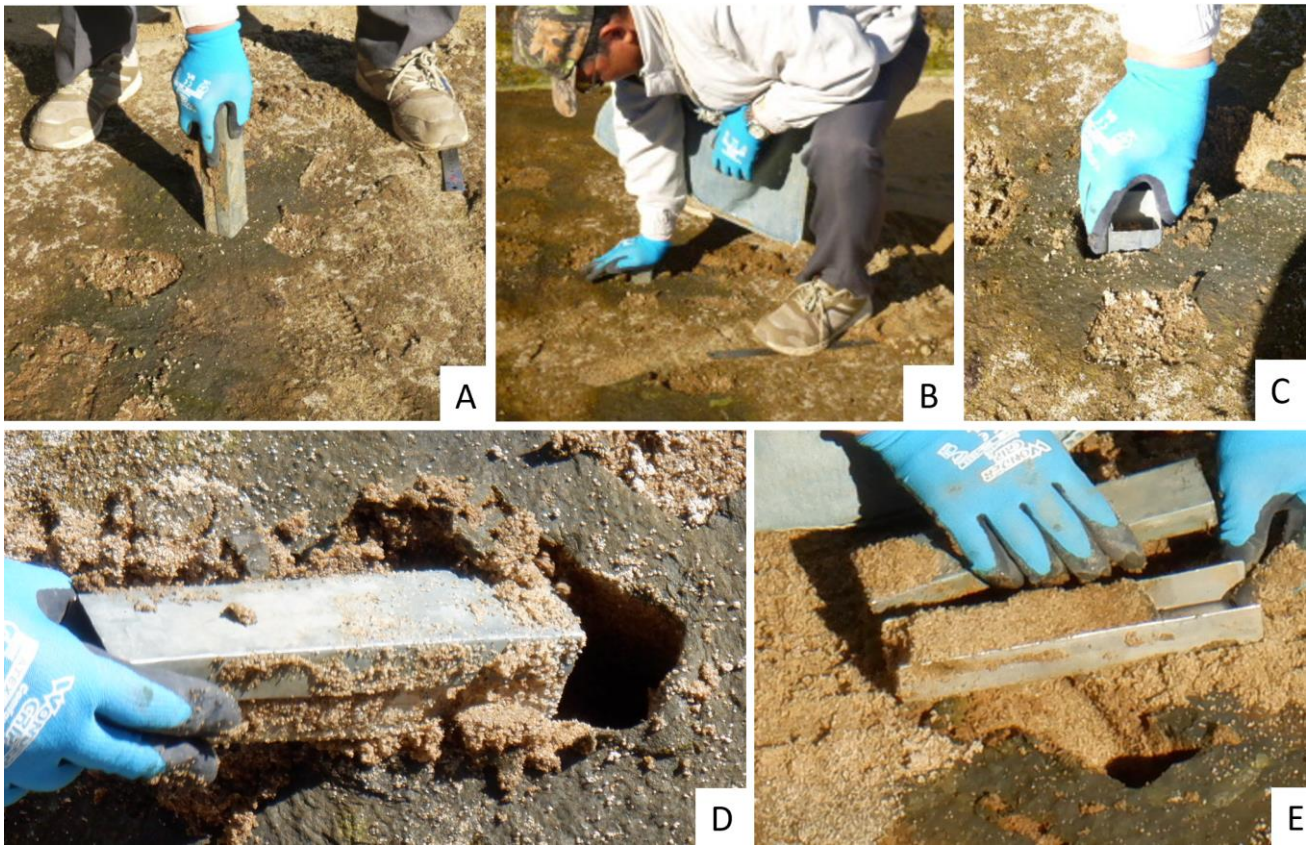

図６ 手製の砂層柱状採取器での採取状況（ABCDE）、砂層面がパッチ上に泥が濃い場所で採取。

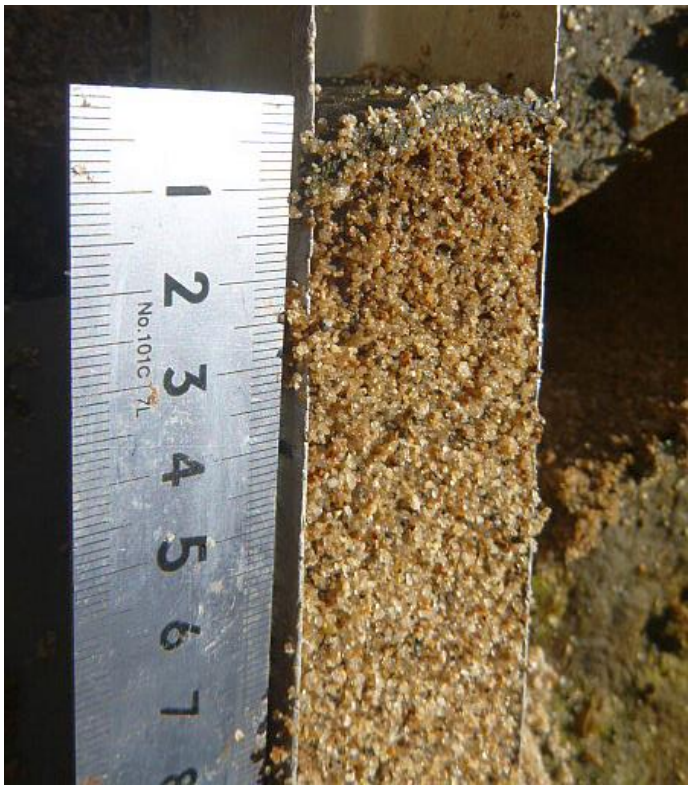

図７ 砂層断面状況
砂面の上２mm程度は泥状であった。
表面下の砂は約２㎝が汚れている。
汚れはだんだんと無くなっている。

図８ スコップで砂層を掘り深部を採取
４０㎝程度、掘ってみたが、水がでてる兆候はなかった。約 30 ㎝深の砂を採取し、ビニール袋へ。

４．洗浄濁度調査

採取した砂層柱状試料を下方より砂層表面へ向かって深度別に砂を５ｇづつ採取し、100ml の水でスターラーで１分間撹拌して、洗浄濁度を HACH21000 の濁度計で計測した。

図９　柱状試料を深度別に５ｇ採取し洗浄濁度測定

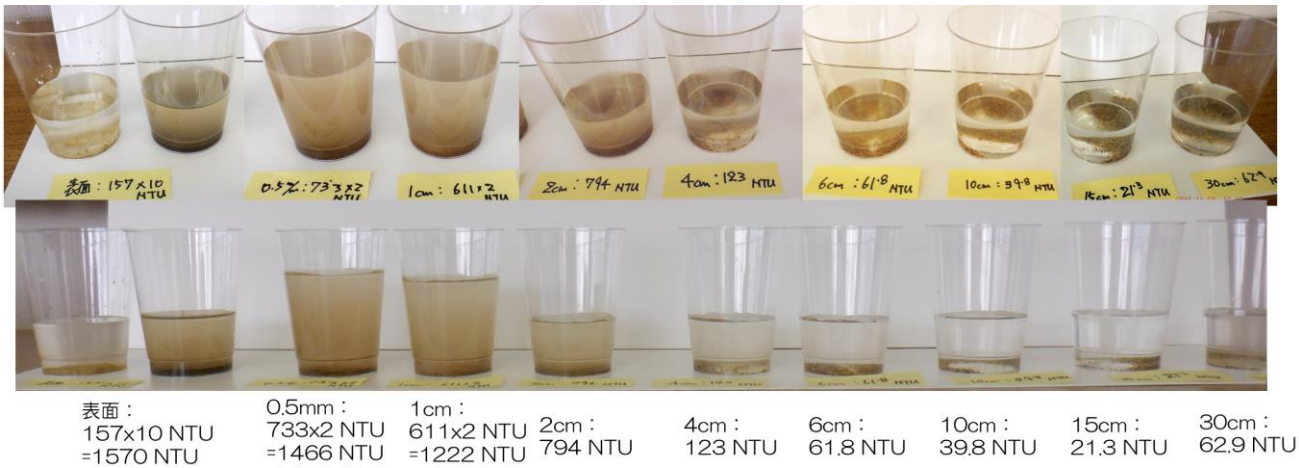

図１０　深度別の濁度、表面は 10 倍希釈、0.5 ㎜と１㎝試料は２倍希釈して測定。

濁度の単位は NTU（Nephelometric Turbidity Unit）でアメリカで用いられている単位である。日本は濁度単位はカオリン濁度で、日本だけが用いている濁度である。**NTUx0.7≒度（カオリン）で換算**で

きるが、現在の日本は NTU の測定単位をそのまま用いることが多くなってきている。

砂所見①砂表面について

砂表面の濃い泥状の表面試料は、スターラーで撹拌しても細かく分散しにくく、外観より洗浄濁度は高くなかった。砂層表面で活躍している生物群集および生物群集の糞塊などが集積していると推測される。スターターで撹拌しても直ぐに沈降した。（図１０左端）

砂所見②砂層２㎝以浅の砂について

表面直下（0.1 ㎜）、１㎝、２㎝の試料はスターラーで撹拌すると、容易に分散し、沈降性が悪い。粘土粒子状、コロイド状の細かな粒子と思われる。砂層に捕捉されている粒子は砂層表面から約２㎝までに多く、４㎝になると極端に少なくなった。

砂所見③砂層４㎝以深の砂について

スターターで撹拌しても濁りがほとんどなかった（図１０、図１１）。深さ 30 ㎝の砂の洗浄濁度は少し高い原因は、採取した砂をビニール袋で保存していたこと、および多少湿り気があったと思われる。落水した水面に近いと推測されるが良くわからない。

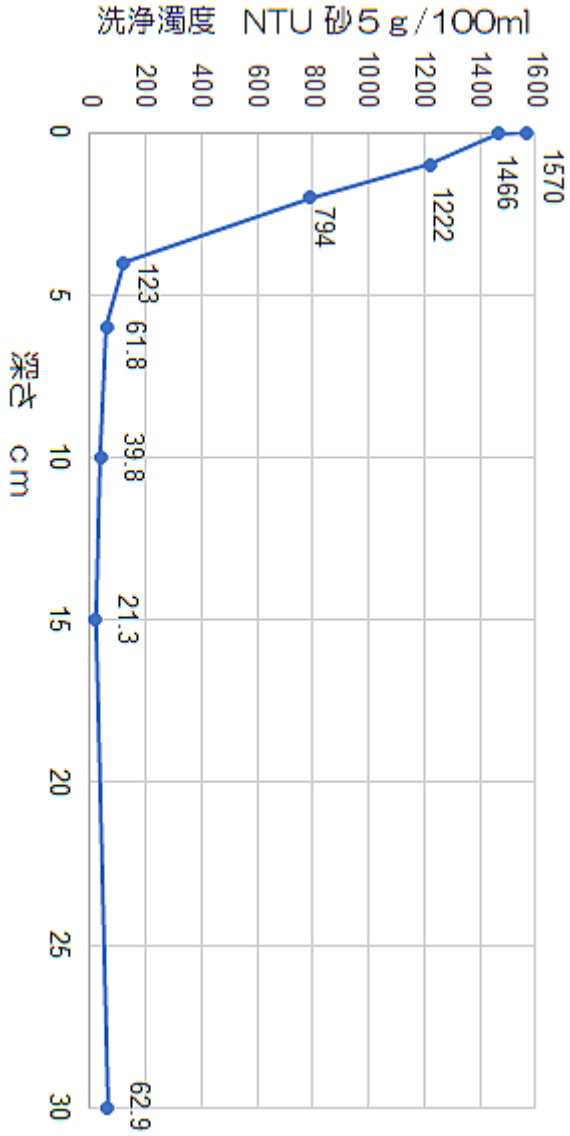

図１１　深度と洗浄濁度

砂所見④砂層の糸状緑藻について

こげ茶色の泥は、糸状珪藻メロシラでありが。砂面には糸状緑藻のアミミドロが見られた。ろ過池で最初に盛んに繁殖する藻は糸状珪藻メロシラが多い。珪藻は捕食動物に食べられやすい。

緑藻は細胞が大きく堅固なセルロースの細胞膜で覆われているので、捕食動物に食べられにくいので、ろ過継続が長い池で目立つことがある。

図１２　糸状緑藻のアミミドロ

砂所見⑤捕食動物について

砂層表面下を注意深く少し掘ると、赤いユスリカ幼虫が多数見られた。このユスリカ幼虫は砂層表面で繁殖する糸状珪藻メロシラを捕食しているが、水を抜いたので表面から砂層内へ逃げたのである。

図１３　ユスリカ幼虫

台風 19 号（10 月 12日夕から夜通過）の記録的豪雨でのろ過池の状況はどうであったかを尋ねるために 20 日後の 10 月 31 日に若田浄水場を訪問した。その際、ろ過継続中の砂層状態を観察した。水中での砂面（図１４）はフワフワとした畑土壌の様相である。

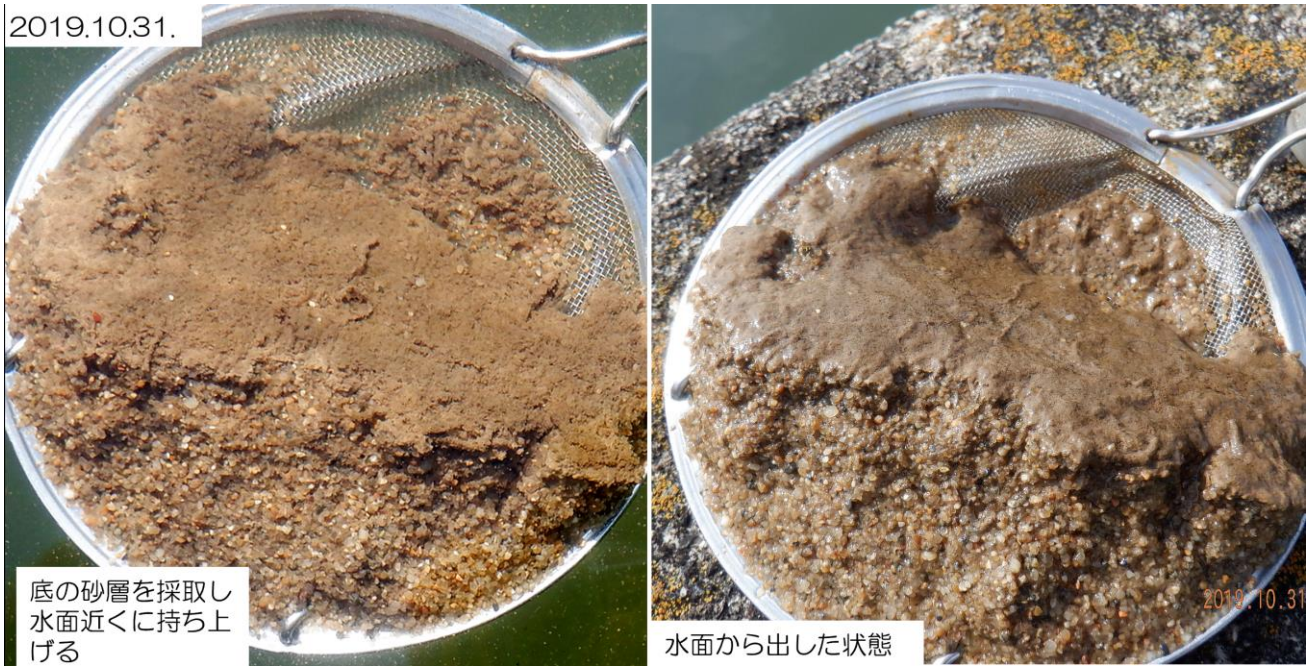

図１４　台風 19 号通過後 20 日（10 月 31 日）のろ過継続中のろ過池砂層状態

台風 19 号による記録的な豪雨による濁水がきた際、神山取水口の流木等の除去を徹夜で行った。神山取水口で取水した水は、沈砂池後、直径 800mmの導水管により 6.5 キロを運ばれ浄水場に届く。濁度測定は、採水し、濁度計で測定し、着水井で濁度 250～300 度程度で、沈殿池後の濁度は 50 度程度で、そのままろ過池に流入させても、ろ過速度、ろ過損失は変わりがないとのことであった。

10 月 31 日のろ過池水深は１ｍ１０ｃｍ程度の深さのろ過池が多く、日射量が少ない 10 月は光合成活動が活発でなく気泡の生産は目立たなかった。7 号池のろ過継続中の砂層表面を採取してみると砂層表面は泥状であるが、注意深く観察すると、毛糸屑の様な紐状なのが目立った（図１４）。この紐状の部分はユスリカ幼虫の巣で、多数生息していると推察された。砂層表面に捕食動物が多数生息し、その糞塊

が団粒構造になり、フワフワ土壌の構造と同様で、ろ過閉塞が起こらないと推測された。

砂所見⑥砂層の生物層について

ろ過池は上から下への流れがあるが、砂は動かないので生物群集は安心して活躍する。ろ過池の砂層表面に日射が当たると、流れに逆らってでも繁殖できる糸状になる藻類（茶色に見える糸状珪藻メロシラなど）が繁殖する。この藻を餌とする動物（ユスリカ幼虫など）が増えてくる。生物群集は餌がある場所を好み、砂層上部のみで活躍している。砂層深部は餌が無いので生物群集はいない。この断面構造は、森林や草原の土壌構造と似ている。茶色に変色している砂層上部は汚泥、汚砂とも言われているが、生物活躍層である。生物群集による浄化をしている生物浄化の一番重要な層である。砂層が１ｍもあるのは、砂層表面近くで生物が万が一、濁りなどを捕捉し損ね、生物活躍層を通過した場合に、砂の表面に付着（吸着）して濁りを除くための保険的な層である。

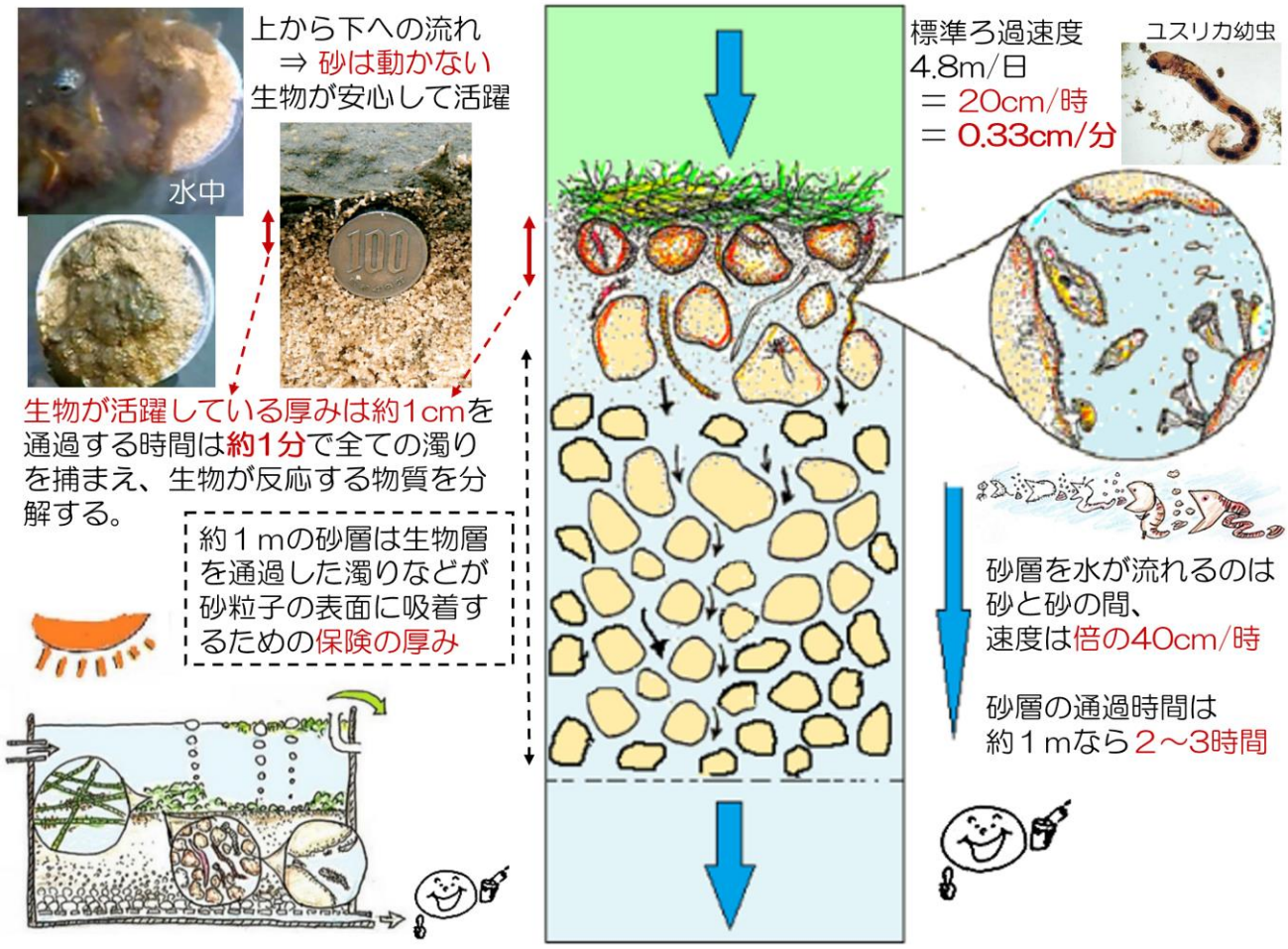

図１５　生物群集の活躍と砂層の説明図

砂所見⑦水の砂層通過時間について

ろ過速度とは砂面上の水層（未ろ水）中を上から下への流れる速度である。緩速ろ過の標準ろ過速度は１日に 4.8m で１時間 20 ㎝、１分間に 0.33 ㎝である。砂層の中では砂の間隙を流れる。砂層の間隙は約５０％で流速は未ろ水の倍の１時間に 40 ㎝（１分間に 0.66 ㎝）の流速になる。生物群集が活発に活躍している砂層の厚みは約１㎝で、その層を通過する時間は約１分である。この短時間で大部分の濁りや生物が反応する物質を分解する。また、砂層１ｍを通過する時間は 2～3 時間である。

５．特別鋤取り、天地替えについて

砂層表面の鋤取り（削り取り）を繰り返し、水深が深くなったときに砂層を少し深く削り取りをして補砂をすることが多い。図１０、図１１で示した様に砂層上部２㎝より深い部分はほとんどよごれていない。台風による濁りも図１４に示すように砂層面だけに汚れがあり、砂層内部には汚れは入っていない。補砂をする場合、特別に深くまで鋤取り（削り取り）は必要なく通常の鋤取りでけで補砂で十分である。また、天地替えも必要ない。

若田浄水場は、濁り対策で凝集剤を使用していないので、生物群集が凝集剤という生物毒に晒されることがないので砂層内部は汚れない。

生物毒の影響があるろ過池の場合、砂層上部での生物群集が活躍しないことがあり、砂層内部が汚れる。この場合は、特別鋤取りや天地替えが必要になってくる。

中本は染屋浄水場と高崎市の浄水場を比較するために若田浄水場を1991 年（?）に訪問し緩速ろ過の解説をした。当時の長谷川宏場長は日本原料㈱に頼んで砂層深部の状態を検査したところ、砂層内部は一切汚れていないことの報告受けていた。またキリンビール醸造工場から濁り水対策で凝集剤を添加すると水質が悪くなるとの苦情がきて、剣崎浄水場では凝集剤をいれないでもろ過継続できるので、若田浄水場でも凝集剤添加を中止した経緯を教わった。生物毒の凝集剤を使わない効果と思われる。

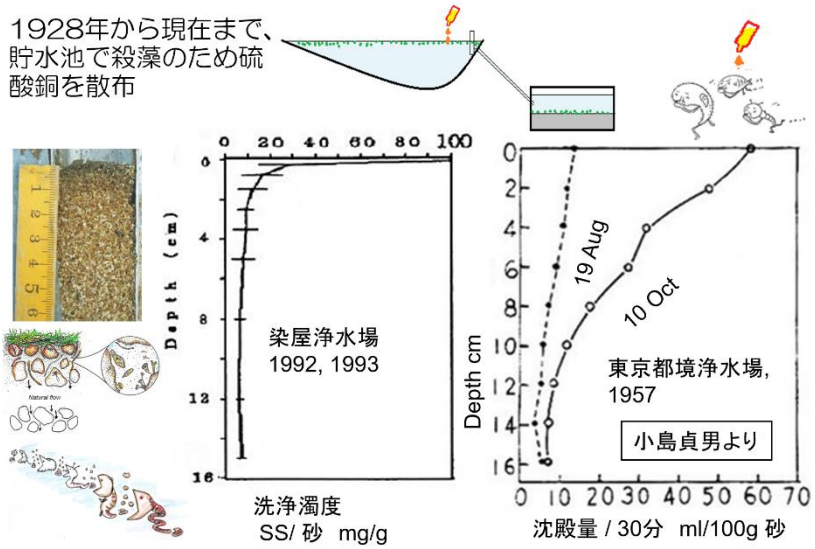

図１６　染屋浄水場および東京都境浄水場の砂層断面

６．ろ過池水深を浅くする効果について

水深①生物活性と水深

緩速ろ過処理は生物群集による浄化で、その仕組みは生物群集の食物連鎖です。生物群集が活発に活躍しやすくすることが重要です。

水深を浅くし、底への日射量を多くすることで、砂層表面で藻類の光合成活動が盛んになり、酸素生産量が増える。水深が浅いと水圧もちいさく気泡生産が盛んになり、藻類被膜の剥離浮上現象がみられる。その際に、藻類被膜に絡まっている流入してきた細かな懸濁粒子も一緒に浮上し、越流管から流出しやす

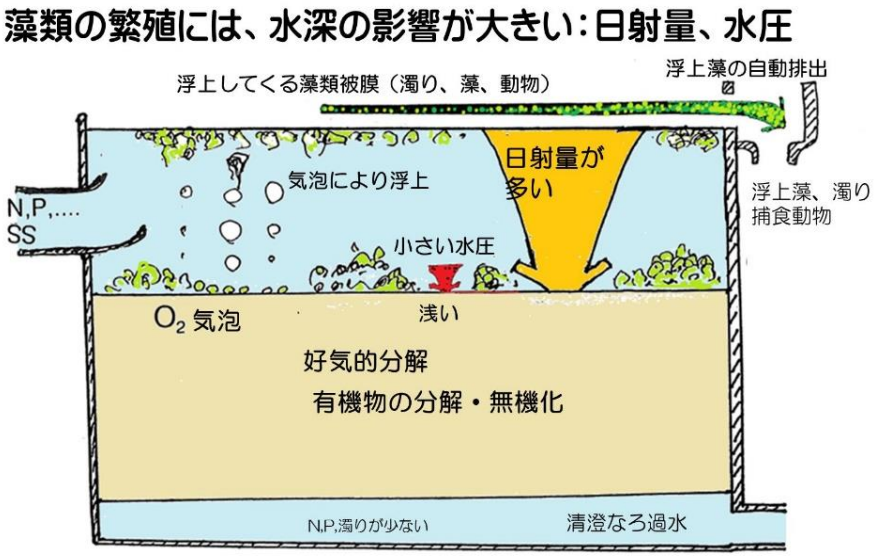

図１７　浅い水深のろ過池での生物活性の説明図

くなる。藻類が繁殖すると藻類を捕食する動物も増える。

水深②1991 年当時の深い水深

若田浄水場のろ過池水深は 1991 年当時は２m近かった。当時は藻の繁殖が悪いと考え、また、藻類被膜の剥離浮上は悪いと考えていて、水深を深くしていた。生物活性を良くするために、水深を浅くするように助言し、補砂をし約１m と浅くした。

図１８　1991 年当時の削り取り作業

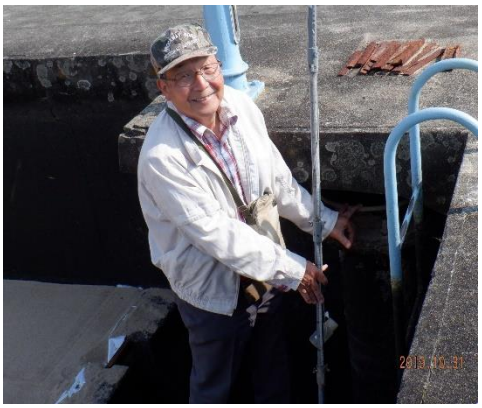

図１９　浅くしたろ過池

水深③ろ過継続 80 日の５号ろ過池について

６ 号ろ過池の砂層断面調査開始前に、５ 号ろ過池の砂層表面を確認した。水深約 1m の底の砂層表面には流入してきた泥が厚く覆っていた。しかし、ろ過抵抗、ろ過流量の変化はないとのことであった。

図２０　５号ろ過池、午前９時 30 分の水位

図２１　砂面状態

水深③5 号池の剥離浮上現象

砂層断面調査が終了し、剣崎浄水場を見学し、若田浄水場に戻り洗砂装置を見に午後２時頃に戻り、５号ろ過池の水面に底から剥離浮上し水面に浮いている藻類被膜があるのにきづいた。水深が深い状態の午前 9 時 30 分には見られない現象があった。水深が 70 ㎝になり、底が良く見え、砂面の藻類被膜に多数の気泡の浮力で浮上しだしていた。

図２２　５号ろ過池砂面状態

図２３　５号ろ過池　砂面状態

砂面採取道具で砂面を採取してみると、泥交じりのフワフワ状態であった。

図２４　５号ろ過池および沈殿池

５号ろ過池の水深が明らかに浅くなり、越流管が水面よりでていた。水深が更に浅くなったので、何か異常があったのかを確かめるために、沈殿池をみたら、流入水がほとんどなくなっていた。ろ過池水深は

50㎝を下まわった。この状態は全てのろ過池でも同じで浅くなっていた。そこで事務所に問い合わせをしたところ取水口の清掃で取水を一時的に停止をしているために水が来ていないことが判明した。夕方には、清掃が終了し、水位は回復するとのことであった。

水深④水深を浅くする効果のまとめ

水深を浅くすると冬季でも藻の光合成活動が盛んになることがわかった。気泡生産が盛んになるなら、流入してくる濁りを捕捉したまま浮き上がる。浮き上がった藻を越流管から自動排出できれば理想である。もし、現在の越流管を越流管の高さ調節できるように改良できたら理想である。

図２５　５号池越流管

図２６　上下可動式越流管

７．砂層断面調査のまとめ

①ろ過継続を長くしても、砂層の汚れは表面から２㎝程度である。
②砂層深部は汚れていない。
③特別鋤取り（削り取り）の必要性は認められない。
④砂層内部は汚れていないので天地替えも必要ない。
⑤補砂は砂面排水堰の高さまで補砂をし、できるたけ水深を浅く保つようにする。
⑥剥離浮上した藻には流入してきた濁りが捕捉されているので、越流させるのが好ましい。
⑦常に越流させて無駄に水を捨てることを避けるために、可動式の越流管に変更するのが好ましい。

報告書作成日　　2019 年 11 月 25 日

中本信忠、荒川朋明