

散水ろ床に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDIES ON TRICKLING FILTER

松本 順一郎*・長谷川 信夫**

By Junichiro Matsumoto and Nobuo Hasegawa

1. 緒 言

し尿消化処理場において、脱離液の処理は散水ろ床法による場合が多い。しかし、この散水ろ床の設計および運転は下水処理場の場合に準じて経験的に行なわれており、BOD 除去率は 30~50% といわれている。

本研究では、し尿消化槽の脱離液を用いて実験用散水ろ床の機能について実験を行ない、ろ床の機能が最大に発揮される BOD 負荷および散水負荷を求め、あわせて返送、二段ろ過および温度などがろ床の機能におよぼす影響について考察を行なった。

2. 実験装置および方法

実験装置は図-1 に示すとおりである。

図-1 の希釈調整槽でし尿消化槽の脱離液を水道水で希釈調整し、これをビニール管で引き出し、倒立ロートで実験用散水ろ床に均一に散水した。なお、実験用散水ろ床は塩化ビニール製(内径 20 cm, 高さ 200 cm)のものを使用し、側壁による影響を少なくするために 50 cm 間隔にろ床の内側に遮水板(図-1)をそう入した。

使用した脱離液の性状は表-1 に示すとおりである。ろ膜(Bacterial Film)が形成し、ろ床の機能が平衡状態に達してから、ろ床の浄化効果について調査した。すなわち、ろ床流入水および放流水(ろ床流出水を 2 時間静置沈殿させた上澄液)の水質を調べ、またろ材表面のろ膜の生物相(原生動物および後生動物)を調べることにより、し尿消化槽の脱離液を散水ろ床で処理する場合の最適 BOD 負荷および最適散水負荷を求め、さらに返送比、二段ろ過および水温などの浄化におよぼす影響について実験的に研究した。

図-1 実験用散水ろ床

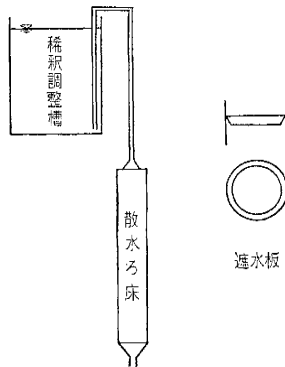


表-1 脱離液の性状

| 測定項目 | 表示単位 | 測定値 |
|-------------|---------------------|--------|
| pH 値 | — | 8.4 |
| 蒸発残留物 | ppm | 18 106 |
| 熱灼減量 | ppm | 7 016 |
| 熱灼残留物 | ppm | 11 090 |
| 浮遊物質 | ppm | 3 156 |
| 溶解性物質 | ppm | 14 950 |
| B O D | O ppm | 1 259 |
| COD (酸素消費量) | O ppm | 2 535 |
| COD (酸素吸収量) | O ppm | 4 155 |
| アンモニア性窒素 | N ppm | 4 406 |
| アルブミノイド窒素 | N ppm | 217 |
| 亜硝酸性窒素 | N ppm | 0 |
| ヨウ素消費量 | I ppm | 2 472 |
| 塩素イオン | Cl ⁻ ppm | 4 064 |

3. ろ材の数理的考察

ろ材には径 30~80 mm のカコウ岩の砕石を用いた。本実験で用いたろ床の物理的性質は表-2 に示すとおりである。

表-2 ろ床の物理的性質

| 測定項目 | 測定値 |
|--|--------|
| ろ床 1 m ³ 当りの砕石の個数 (個) | 10 622 |
| 空 げ き 率 (%) | 45.6 |
| 砕石 1 個当りの平均空げき量 (cm ³) | 44.8 |
| ろ床 1 m ³ 当りの砕石の全表面積 (m ²) | 83.3 |
| 砕石 1 個当りの平均表面積 (cm ²) | 81.7 |

Schroepfer¹⁾ は実験から砕石の径が 50~100 mm 程度では、ろ材の表面積は 50~60 m²/m³ であり、ろ床の空げき率は 49~55% であると報告している。一方、左合²⁾はろ材の粒径が 12.5~90 mm の範囲では、ろ床の空げき率は 30~40% になると報告している。本実験では、流動パラフィンを用いて砕石の表面積を測定したところ、ろ床 1 m³ 当りの砕石の全表面積は 83.3 m² であり、またろ床の空げき率は 45.6% であった。

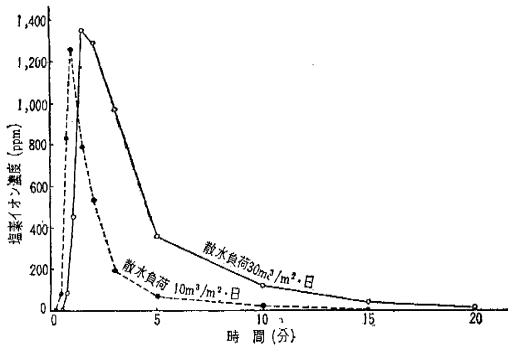
つぎに、ろ床における平均滞留時間を各散水負荷について求めるためにつぎのような実験を行なった。散水負荷を一定にして、飽和食塩水を 10 cc 注射器を用いて 1~2 秒くらいでろ床流入水に注加し、ろ床流出水の塩素イオン濃度の時間的変化を測定した。両者の関係を図-2 に示す。

図-2 の各散水負荷に対するグラフからそれぞれの図心を求めて、その時間をろ床における平均滞留時間とし

* 正員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

** 正員 工修 東北大学大学院博士課程学生 (土木工学専攻)

図-2 塩素イオン濃度の時間的变化



た。一方、散水された水は砕石の全表面積をつつむようにして流下すると仮定した場合の水膜の厚さを各散水負荷に関して求めた結果をあわせて表-3に示す。

表-3 平均滞留時間と水膜の厚さ

| 散水負荷 (m³/m²・日) | 平均滞留時間 (秒) | 水膜の厚さ (計算値) (mm) |
|----------------|------------|------------------|
| 10 | 210 | 0.29 |
| 20 | 164 | 0.44 |
| 30 | 92 | 0.46 |
| 40 | 85 | 0.47 |
| 60 | 37 | 0.31 |
| 100 | 28 | 0.39 |

Howland³⁾, Schulze⁴⁾ および Velz⁵⁾ などは散水負荷とろ床での滞留時間との相関関係はつきのごとくであると述べている。

$$t = C \frac{D}{Q^{2/3}} \dots\dots\dots (1)$$

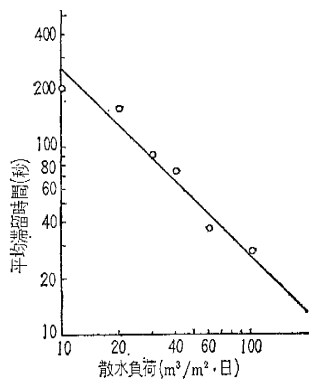
ここで、 t :ろ床での滞留時間(秒)、 C :定数、 D :ろ床厚(m)、 Q :散水負荷(m³/m²・日)

散水負荷と平均滞留時間との関係を図-3に示す。両者の関係を両対数で表わすと、図-3のように直線関係で示されると考えられるので、次式が導かれる。

$$t = \frac{2600}{Q} \dots\dots\dots (2)$$

左合²⁾は球を用いて散水負荷と水膜との関係を実測して、散水負荷がある範囲内であれば水は球の表面を水膜となってそれをつつむようにして流下し、その厚さは0.2~0.8mmで、散水負荷が大きいほどその厚さも厚くなると報告している。筆者らの実験結果によると表-3からわかるように、散水負荷が10~

図-3 散水負荷と平均滞留時間との関係



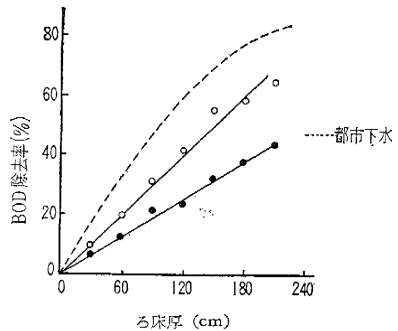
40 m³/m²・日の範囲では散水負荷の増加につれて水膜の厚さは0.29mmから0.47mmと増加しているが、散水負荷が60 m³/m²・日以上の場合には水膜の厚さはかえって減少している。これは、本実験で用いた内径20cmの散水ろ床では、散水負荷が60 m³/m²・日以上になると側壁の影響が大きくなり、ろ床の平均滞留時間が短くなり、したがって計算上の水膜の厚さはかえって減少するからであると推察される。このように散水負荷が増加するにつれて、ろ床の側壁の影響が大きくなり、ろ床の平均滞留時間は実際のろ床のそれにくらべて短くなる。したがって本実験で用いたろ床での平均滞留時間は実際のろ床のそれにくらべて散水負荷の変化により敏感に影響されると考えられる。

4. ろ床の浄化機構

汚水を散水ろ床の表面に散水すると、ろ材の空げきを伝わって汚水が流下する間に、ろ材の表面に発達したろ膜にふれて酸化される。ろ膜の働きは汚水中の浮遊性および溶解性の有機物(炭水化物、脂肪および蛋白質など)を吸着あるいは吸収し、ろ膜中の細菌の作用によりこれらの有機物はより安定なものになり最終的にはCO₂、H₂O、NO₃およびNO₂が生成される^{6),7)}。

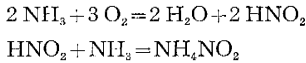
それゆえろ床が深くなるにつれて、汚水の生物学的酸化(BODを基準として)がどのように行なわれて行くかについて調べるために、し尿消化槽の脱離液を用いてろ床厚とBOD除去率との関係を調べた。2回の実験結

図-4 ろ床厚とBOD除去率との関係

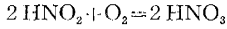


果を図-4に実線で示す。この場合に散水負荷は20 m³/m²・日、BOD負荷は0.7 kg/m³・日であった。都市下水では図-4に点線で示したようにろ床厚は1.8m程度で十分であると考えられる⁴⁾。脱離液では二度の実験結果とも、ろ床厚にほぼ比例してBOD除去率は増加していることがわかり、ろ床が1.8mくらいではBOD除去率はせいぜい60%である。それゆえろ床厚をさらに増せば有機物の分解によるBOD除去率はさらに増加すると期待されるので、その効果をさらに大きくするためには、ろ床厚をさらに増したり、あるいは二段ろ過を行なうことが必要であると推察される。

つぎに、ろ床における硝化(Nitrification)について考察する。窒素化合物の除去は普通、つぎのように示される。下水はろ材表面のろ膜に吸着され、ろ床上部において細菌の働きによってアンモニア性窒素は亜硝酸性窒素となり、中には亜硝酸アンモニウムが生成される。すなわち、

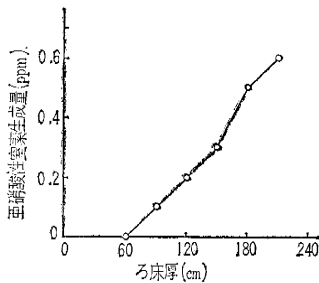


ろ床の下部ではさらにつぎの変化が起こり、硝酸が生成される。



この二作用は普通硝化と呼ばれている^{6), 9)}。亜硝酸性窒素の生成量について

図-5 ろ床厚と亜硝酸性窒素生成量との関係



ろ床厚との関係を実験的に調べた。その結果を図-5に示す。図-5から明らかなように下水の場合と異なり、し尿消化槽の脱離液では亜硝酸性窒素の生成はろ床の中ほどから下部にわたって進行して

いくことがわかる。このように、ろ床では下水よりも脱離液の方が硝化の効果が劣ると推定される。

最後に、ろ床において除去される有機物(除去されるBOD)について行なった実験結果を表-4に示す。なおこの場合、散水負荷は $20\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 、BOD 負荷は $0.7\text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ であった。

表 4 BOD 除去率

| | BOD (ppm) | 除去量 (ppm) | 除去率 (%) |
|------------------------|-----------|-----------|---------|
| ろ床流入水 | 68.6 | 4.0 | 5.8 |
| ろ床流出水 | 64.6 | | |
| ろ床流入水を2時間静置沈殿させた上澄液 | 53.9 | 14.7 | 27.3 |
| 放流水 | 39.2 | | |
| ろ床流入水をNo. 5Bのろ紙でろ過したる液 | 9.7 | 3.3 | 44.0 |
| ろ床流出水をNo. 5Bのろ紙でろ過したる液 | 6.4 | | |

表-4 よりろ床の BOD 除去率はつぎのように示される。

$$\frac{(68.6 - 39.2)}{68.6} \times 100 = 42.9(\%)$$

また、希釈調整した脱離液をろ床を通さずに単に2時間静置沈殿させた場合の BOD 除去率はつぎのように示される。

$$\frac{(68.6 - 53.9)}{68.6} \times 100 = 21.4(\%)$$

したがって、ろ床の BOD 除去率が 21.4% 以下であればろ床の浄化効果は実質上ないと考えられる。つぎに、除去された BOD をつぎのようにわけて考えてみる。

$$(\text{除去された全 BOD}) = (\text{除去された浮遊物質の BOD}) + (\text{除去された溶解性物質の BOD})$$

すると表-4 より

$$(\text{除去された全 BOD}) = 68.6 - 39.2 = 29.4(\text{ppm})$$

$$(\text{除去された溶解性物質の BOD}) = 3.3(\text{ppm})$$

よって

$$(\text{除去された浮遊物質の BOD}) = 29.4 - 3.3 = 26.1(\text{ppm})$$

これより、(除去された浮遊物質の BOD) の (除去された全 BOD) に対する割合は 89% であり、(除去された全 BOD) のおもな成分は浮遊物質であることがわかる。これから、脱離液の浄化に対して浮遊物質を除去させることが有効であり、かつ、重要な問題であると推察される。

5. BOD 負荷

ろ床の浄化は散水される汚水の濃度と関係があると思われるので、散水負荷を $20\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ と一定にして、BOD 負荷を $0.3\sim 3.0\text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ と変化させた時のろ床の浄化効果について実験を行なった。BOD 負荷と BOD 除去率との関係についての実験結果を図-6に示す。図

図-6 BOD 負荷と BOD 除去率との関係

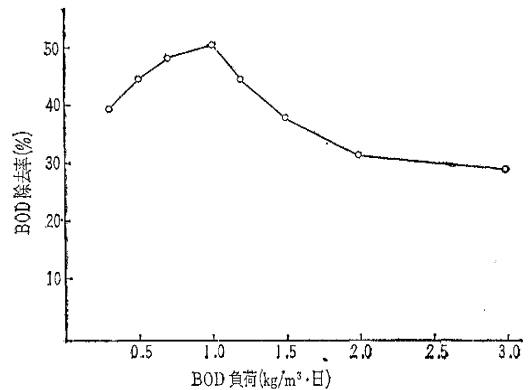
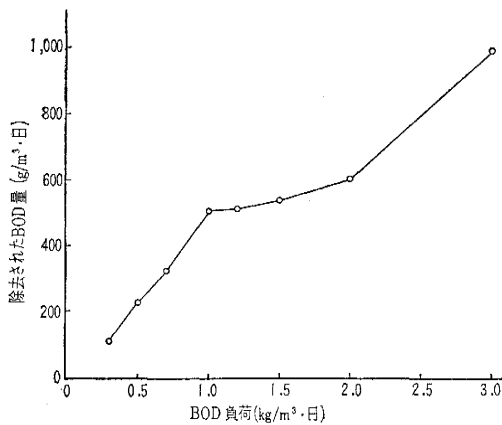


図-6 より、BOD 負荷が $1.0\text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ の時に BOD 除去率は最大であり、50.2% であった。図-7 に BOD 負荷と除去された BOD 量との関係を示す。図-7 より BOD 負荷が $1.0\text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以下では BOD 負荷が増加するにつれて除去された BOD 量は直線的に増加するが、BOD 負荷がこれ以上になると除去される BOD の増加量は急激に減少する傾向がみられた。すなわち、単位体積のろ材によって除去される BOD 量には限度のあることがわかる⁹⁾。この限度における BOD 負荷を限界 BOD 負荷とすると、脱離液の場合には限界 BOD 負荷は $1.0\text{ kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ であると考えられた。

図-7 BOD 負荷と除去された BOD 量との関係



汚水がろ床を流下する間に硝化が行なわれることはすでに述べた。BOD 負荷と亜硝酸性窒素の生成量との関係を 図-8 に示す。散水ろ床では流出水の外観が悪く、透視度も低いにもかかわらず、窒素化合物の酸化が高度に進行し、硝酸の生成がいちじるしいといわれている⁹⁾。それゆえ、ろ床による亜硝酸性窒素の生成量も多いと考えられる。しかし、図-8 から明らかなようにし尿消化槽の脱離液の場合には亜硝酸性窒素の生成量は小さい。すなわち、BOD 負荷が 1.2 kg/m³·日 の時にアンモニア性窒素は約 250 ppm あるにもかかわらず亜硝酸性窒素の生成量は最大で 0.7 ppm にすぎなかった。Eckenfelder¹⁰⁾ は、生物酸化処理を行なう場合、BOD と

図-8 BOD 負荷と亜硝酸性窒素生成量との関係

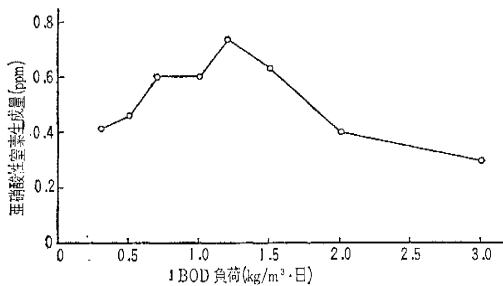


表-5 分類表

| 生 物 相 | |
|---------------------|---|
| 原生動物類 (Protozoa) | 繊毛虫類 (Ciliate) { 固着型 (attached) 匍匐型 (stalked) 遊泳型 (free-swimming) |
| | 鞭毛虫類 (Mastigophora) |
| | 根足虫類 (Rhizopoda) |
| 後生動物類 (Metazoa) | 線虫類 (Nematoda) |
| | 輪虫類 (Rotatoria) |

窒素 (N) との比が 20 : 1 のとき最もよく消化が行なわれ、その下限は 17 : 1 であるとのべている。し尿消化槽の脱離液の場合には BOD : N がほぼ 1 : 2 と窒素が過剰なために硝化は十分行なわれないと考えられる。

つぎに、ろ床をおおっているろ膜中に生息する生物には細菌類、原生動物類、後生動物類および葉状植物類などがあるが、本論文では、ろ床の状態の判定の助けとなる原生動物類と後生動物類について調べた¹¹⁾。その分類表は表-5 に示すとおりである。中島¹²⁾は繊毛虫類を指標として表-5 のように固着型、匍匐型および遊泳型の三型に生態的に分類し、固着型繊毛虫が優位を占めている時にはろ床の状態が良好であるとのべている。また Jenkins ら¹³⁾は活性汚泥中の原生動物を調べて、放流水の BOD が低くなるにつれて固着型繊毛虫が増加するとのべている。そこで、生物学的浄化と固着型繊毛虫との間にはなんらかの関連性があると思われる。ろ床の生物試験の結果を表-6 に示す。表-6 から明らかなように都市下水を処理する場合にくらべて、し尿消化槽の脱離液を処理する場合には生物相はかなり限られた種類のものとなっていることがわかる。すなわち、後生動物および根足虫類はほとんど出現せず、繊毛虫類と鞭毛虫類とが主として生物相を構成していることがわかる。特に、固着型繊毛虫が量的にも質的にも繊毛虫類の主要構成員となっているので、ろ床はだいたい良好な状態にあると推察される。

つぎに、全生物相および固着型繊毛虫の生物密度と BOD 負荷との関係を 図-9 に示す。図-9 より BOD 負荷が 1.0~1.2 kg/m³·日 の時に全生物相および固着

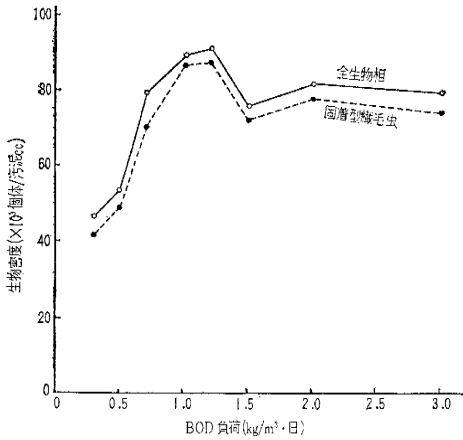
表-6

| | B O D 負 荷 (kg/m³·日) | | | | | | | | 都市下水* |
|-----------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | |
| 全 生 物 相 | 47 100 | 52 600 | 79 800 | 89 600 | 91 600 | 76 700 | 81 300 | 79 800 | 142 800 |
| 原 生 動 物 類 | 46 800 | 52 200 | 79 800 | 89 600 | 91 600 | 75 800 | 80 300 | 77 500 | 138 090 |
| 繊 毛 虫 類 | 43 200 | 50 200 | 79 800 | 89 000 | 91 600 | 75 800 | 79 600 | 75 800 | 128 360 |
| 固 着 型 | 40 200 | 48 500 | 70 000 | 87 000 | 87 300 | 73 000 | 77 800 | 74 800 | — |
| 匍 匐 型 | 3 000 | 1 400 | 9 800 | 2 000 | 4 000 | 2 800 | 1 200 | 0 | — |
| 遊 泳 型 | 0 | 300 | 0 | 0 | 300 | 0 | 600 | 1 000 | — |
| 鞭 毛 虫 類 | 2 500 | 2 000 | 0 | 600 | 0 | 0 | 700 | 1 700 | 8 050 |
| 根 足 虫 類 | 1 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 680 |
| 後 生 動 物 類 | 300 | 400 | 0 | 0 | 0 | 900 | 1 000 | 2 300 | 4 710 |
| 線 虫 類 | 300 | 400 | 0 | 0 | 0 | 900 | 1 000 | 2 300 | 2 840 |
| 輪 虫 類 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 870 |

* 中島による。

(個体/汚泥 cc)

図-9 BOD 負荷とろ床の生物相との関係



型繊毛虫の生物密度は最大となっており、BOD 負荷がそれ以上増加しても生物密度はほぼ一定で汚泥 1 cc 当り約 80 000 個体である。これはちょうど、細菌は汚水の濃度の増加とともにその密度は増加するが、ある濃度に達すると細菌はそれ以上ほとんど増加しないといわれている¹⁴⁾のと類似の傾向を示しており、興味のあることと思われる。

6. 散水負荷

ろ床の浄化は散水量に関係があるといわれている。すなわち、汚水がろ膜と接触する時間が長いほど、ろ床の浄化は良好になると考えられており、一般に、次式が提唱されている^{3), 4), 5), 15)}。

$$\frac{L_e}{L_0} = e^{-kt} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 L_e : 放流水の BOD 濃度 (ppm), L_0 : 放流水の BOD 濃度 (ppm), k : 定数, t : ろ床での滞留時間 (秒)

式 (1) を式 (3) に代入すると次式がえられる。

$$\frac{L_e}{L_0} = e^{-K \frac{D}{Q_2^{2/3}}} \dots\dots\dots (4)$$

散水負荷がろ床の浄化におよぼす影響についてつぎのことを考慮した。すなわち、BOD 負荷を一定にした場合と、ろ床流入水の BOD 濃度を一定にした場合である。

(1) BOD 負荷を 1.0 kg/m³・日とした場合

BOD 負荷をすでに求めた最適 BOD 負荷 1.0 kg/m³・日とし、散水負荷を 10~40 m³/m²・日の範囲で実験を行なった。散水負荷と BOD 除去率および除去された BOD 量との関係を 図-10 に示す。図-10 より散水負荷が 20 m³/m²・日 以上になると散水負荷の増加につれて、BOD 除去率および除去された BOD 量はともに減少する傾向を示している。これは、散水負荷の増加につれて汚水がろ膜と接触する時間が短くなるために、ろ床の浄化効果が低下するためと推察される。

図-10 散水負荷とろ床の浄化効果

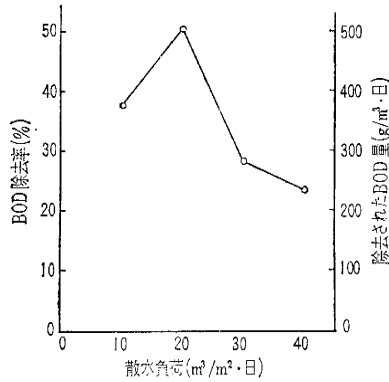


図-11 散水負荷と亜硝酸性窒素生成量との関係

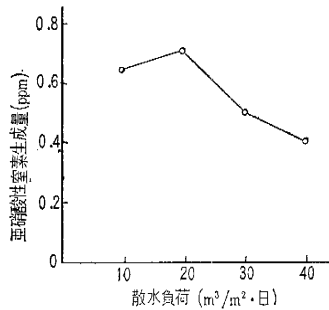
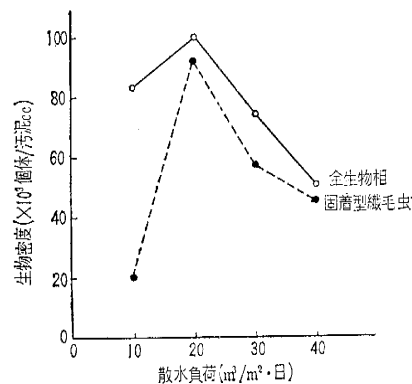


図-12 散水負荷とろ膜の生物相との関係



つぎに、散水負荷と亜硝酸性窒素の生成量との関係を 図-11 に示す。亜硝酸性窒素の生成量はいずれも少ないが、散水負荷が 20 m³/m²・日の時にその生成量は最大で 0.7

ppm であった。図-10 および 図-11 よりろ床の浄化効果が最大に発揮されるのは散水負荷が 20 m³/m²・日の時であると思われる。つぎに、ろ床の生物相について、散水負荷と全生物

相および固着型繊毛虫の生物密度との関係は 図-12 に示すとおりである。図-12 より散水負荷が 20 m³/m²・日の付近が生物相は量的にも質的にも

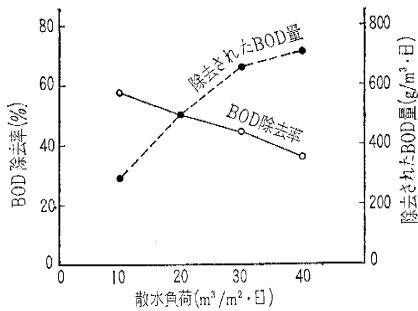
良好な構成を示しており、ろ床の状態は良好であると考えられる。

以上の結果から総合的にみて、BOD 負荷を 1.0 kg/m³・日 と一定にして散水負荷を変化させた場合には、ろ床の浄化効果は散水負荷が 20 m³/m²・日の時に最大となると推論される。

(2) BOD 濃度を 100 ppm とした場合

ろ床流入水の BOD 濃度を 100 ppm と一定にして、散水負荷を 10~40 m³/m²・日 と変化させて実験を行なった。散水負荷と BOD 除去率および除去された BOD 量との関係は 図-13 に示すとおりである。図-13 より散

図-13 散水負荷とろ床の浄化効果との関係



水負荷が増加するにつれて BOD 除去率はほぼ直線的に減少していることがわかる。しかしながら、散水負荷が 10~40 m³/m²・日 の範囲なので、式(4)で示したような両者の関係を求めるにはさらに散水負荷についての広範囲の研究が必要であると思われる。ろ床の浄化効果が最大に発揮される散水負荷は BOD 除去率と除去された BOD 量とから考察すると 20~30 m³/m²・日 付近であるように考えられる。

つぎに、ろ床の生物相を表-7 に示す。生物相の質的および量的構成は散水負荷が 20~30 m³/m²・日 が良好であると推察される。

表-7 ろ床の生物相

| 散水負荷 生物相 | 10 m ³ /m ² ・日 | 20 m ³ /m ² ・日 | 30 m ³ /m ² ・日 | 40 m ³ /m ² ・日 |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 全生物相 | 49 500 | 67 800 | 80 000 | 39 000 |
| 原生動物類 | 49 500 | 65 400 | 80 000 | 39 000 |
| 繊毛虫類 | 37 800 | 61 400 | 78 000 | 37 500 |
| 固着型 | 18 000 | 58 600 | 78 000 | 36 000 |
| 匍匐型 | 9 900 | 2 800 | 0 | 0 |
| 遊泳型 | 9 900 | 0 | 0 | 1 500 |
| 鞭毛虫類 | 11 700 | 4 000 | 2 000 | 1 500 |
| 根足虫類 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 後生動物類 | 0 | 2 400 | 0 | 0 |
| 線虫類 | 0 | 2 400 | 0 | 0 |
| 輪虫類 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(個体/汚泥 cc)

7. 返送

返送を行なうことによって、BOD 負荷および散水負荷の変動が大きい時にはそれらの負荷を平均化することができる¹⁵⁾。し尿消化槽の脱離液を処理する場合には、希釈水量の確保が問題となるが、希釈水が十分得られない場合には返送による希釈が考えられる。それゆえ、返送がろ床の浄化効果におよぼす影響についてつぎのような実験を行なった。すなわち、BOD 負荷を 1.0 kg/m³・日 および散水負荷を 20 m³/m²・日 とし、返送比(希釈した脱離液に対して)を 0~2 と変化させて aero-filter 方式で実験を行なった。返送比と BOD 除去率との関係は図-14 に示すとおりである。返送比が 0~2 の範囲では BOD 除去率は返送比とは無関係に大体 50% であっ

図-14 返送比とBOD除去率との関係

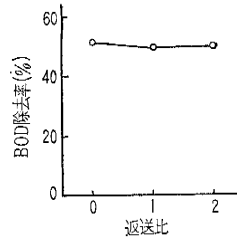
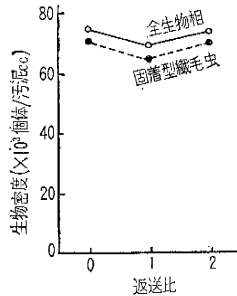


図-15 返送比とろ床の生物相との関係



た。左合²⁾も都市下水による返送比の実験から、同様に返送比とは無関係に BOD 除去率はほぼ一定であると報告している。それゆえ、返送によりろ床流入水を希釈する効果はあると考えられるので、希釈水が十分確保できない場合には、返送を行なうことは有効な方法と考えられる。返送比とろ膜中の全生物相および固着型繊毛虫の生物密度との関係を図-15 に示す。図-15 から生物相は返送比とは無関係にほぼ同一の構成をなしていることがわかる。このように返送比は、0~2 の範囲では、ろ床の浄化効果に影響を与えとは認めえない。

8. 二段ろ過

散水負荷を 20 m³/m²・日 と一定にして、BOD 負荷を 2.0 および 3.0 kg/m³・日 にして二段ろ過の実験を行なった。一段目のろ床流出水の 2 時間静置沈殿後の上澄液を二段目のろ床の流入水として用いた。表-8 にこの場合のろ床の浄化効果を示す。

表-8 ろ床の浄化効果

| | BOD | BOD 負荷 2.0 kg/m ³ ・日 | | | | BOD 負荷 3.0 kg/m ³ ・日 | | | |
|------------|-----|---------------------------------|---------|-------|--------|---------------------------------|---------|-------|--------|
| | | 流入水 ppm | 放流水 ppm | 除去率 % | 全除去率 % | 流入水 ppm | 放流水 ppm | 除去率 % | 全除去率 % |
| BOD | 1 段 | 205.8 | 141.4 | 31.3 | 60.3 | 303.0 | 213.6 | 29.5 | 53.3 |
| | 2 段 | 133.0 | 80.6 | 39.4 | | 211.2 | 141.3 | 33.1 | |
| 亜硝酸 性窒素 | 1 段 | 0 | 0.30 | — | — | 0 | 0.30 | — | — |
| | 2 段 | 0.30 | 0.70 | — | | 0.30 | 0.65 | — | |

二段ろ過による BOD 除去率は、BOD 負荷が 2.0 kg/m³・日の時に 60.3% および BOD 負荷が 3.0 kg/m³・日の時に 53.3% を示している。一方、二段目のろ床への流入水の BOD は表-8 より、それぞれ 133.0 ppm および 211.2 ppm であるので、二段目のろ床への BOD 負荷は約 1.4 kg/m³・日 および 2.2 kg/m³・日 となる。この場合の BOD 除去率はそれぞれ 39% および 33.1% である。さて、図-6 より BOD 負荷が 1.4 kg/m³・日 および 2.2 kg/m³・日の時の BOD 除去率はそれぞれ 40% および 31% 程度であることが示される。それゆえ、一度ろ床で処理した脱離液でも、はじめて処理する脱離液と同程度の除去効果があることが推察される。このよ

表-9 ろ床の生物相

| | BOD 負荷 2.0 kg/m ³ ・日 | | BOD 負荷 3.0 kg/m ³ ・日 | |
|-------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| | 1 段目 | 2 段目 | 1 段目 | 2 段目 |
| 全生物相 | 81 300 | 75 300 | 79 800 | 74 600 |
| 原生動物類 | 80 300 | 74 800 | 77 500 | 71 600 |
| 繊毛虫類 | 79 600 | 73 200 | 75 800 | 69 300 |
| 固着型 | 77 800 | 71 500 | 74 800 | 67 300 |
| 匍匐型 | 1 200 | 1 500 | 0 | 1 500 |
| 遊泳型 | 600 | 200 | 1 000 | 500 |
| 鞭毛虫類 | 700 | 1 600 | 1 700 | 2 300 |
| 根足虫類 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 後生動物類 | 1 000 | 500 | 2 300 | 3 000 |
| 線虫類 | 1 000 | 500 | 2 300 | 3 000 |
| 輪虫類 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(個体/汚泥 cc)

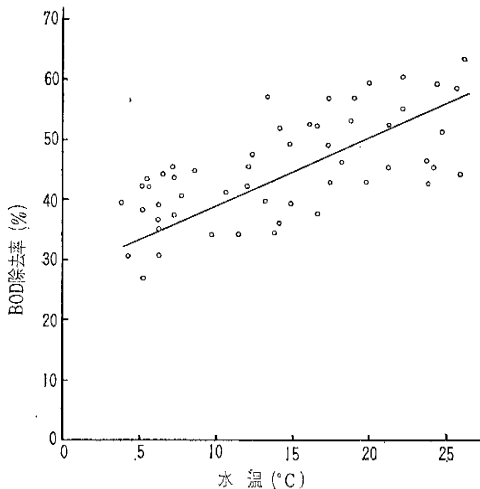
うに、散水ろ床でし尿消化槽の脱離液を処理する場合には通気を十分に行なえば、多段ろ過を行なったりろ床の深さを 1.8 m 以上にしたりしてもかなりの除去効果が期待できると考えられる。つぎに、ろ床の生物相を表-9 に示す。表-9 よりいづれのろ床においても生物密度は 75 000~80 000 個体/汚泥 cc とかなり多く、また、固着型繊毛虫の繊毛虫類に対する割合も大体 98% なの

9. 温度の影響

生物酸化処理において水温が重要な因子となる。温度が上昇すると化学反応速度は増加するが、生物酸化に関与する酵素は最適温度以外では変性し、活性が弱まる。また、酸素移動機構により、夏には増加する呼吸速度や減少する酸素溶解度は調節され、冬には呼吸速度は調節されるといわれている¹⁵⁾。このような複雑な作用のために、ろ床の浄化効果は温度によってあまり大きく影響されないと考えられる。

BOD 負荷を 0.7 kg/m³・日 および散水負荷を 20 m³/m²・日 とした場合、水温と BOD 除去率との関係は図-

図-16 水温と BOD 除去率との関係



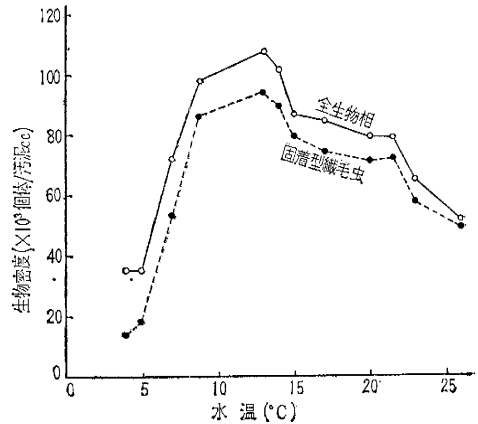
16 に示すとおりである。両者の間に直線関係が成り立つとして次式を導いた。

$$Y=1.11X+27.9 \dots\dots\dots(5)$$

ここで、Y: BOD 除去率(%), X: 水温(°C)

式(5)より水温が 1.0°C 変化すると BOD 除去率は 1.1% 変化することがわかる。それゆえ、上述したように水温の変化によるろ床の浄化効果はそれほど大きく変化しないと推察される。つぎに、水温と全生物相および固着型繊毛虫との関係を図-17 に示す。図-17 より水温が 10°C 以下になると生物密度は急激に減少し、特に固着型繊毛虫の占める割合が小さくなる傾向がみられた。水温が 10~15°C の範囲で生物密度は最大で約 100 000 個体/汚泥 cc を示しており、水温が 15~22°C の範囲では生物密度は幾分少なく 70 000~80 000 個体/汚泥 cc であり、水温が 22°C 以上では生物密度は減少する傾向がみられる。それゆえ、固着型繊毛虫の構成比をも考慮すると、水温が 15~22°C の時にろ床の状態はかなり良好なものと推察された。結局、温度がろ床の浄化効果におよぼす影響は BOD 除去率に関してある程度認められた。

図-17 水温とろ床の生物相との関係



10. 都市下水との比較および Scale-Effect について

都市下水を用いて、BOD 負荷 0.7 kg/m³・日・散水負荷 20 m³/m²・日の条件で実験を行ない、散水ろ床の機能について調べたところ表-10 に示すような結果がえられた。し尿消化槽の脱離液を処理した場合にはくらべると除去効果は全般的に良好であった。BOD 除去率は 54.4% であったが、実際の処理場で上記の条件で散水ろ床で処理する場合には BOD 除去率は 70~80% になると予想される²⁾。実験用散水ろ床と実際の散水ろ床の浄化効果の差異を考慮すると、し尿消化槽の脱離液を処理する場合、し尿消化処理場における散水ろ床では実験でえた最大 BOD 除去率 50.2% よりも良好な除去効果が期

表-10 ろ床の浄化効果

| 測定項目 | 表示単位 | 測定値 | |
|-------------|--------|-------|------|
| | | ろ床流入水 | 放流水 |
| pH 値 | — | 7.1 | 7.2 |
| 蒸発残留物 | ppm | 210 | 182 |
| 熱灼減量 | ppm | 90 | 84 |
| 熱灼残留物 | ppm | 120 | 98 |
| 浮遊物質 | ppm | 46 | 22 |
| 溶解性物質 | ppm | 164 | 160 |
| B O D | O ppm | 68.6 | 31.3 |
| COD (酸素消費量) | O ppm | 41.1 | 20.8 |
| COD (酸素吸収量) | O ppm | 31.1 | 15.2 |
| アンモニア性窒素 | N ppm | 6.1 | 2.0 |
| アルブミノイド窒素 | N ppm | 3.3 | 1.4 |
| 亜硝酸性窒素 | N ppm | 0.1 | 0.6 |
| ヨウ素消費量 | I ppm | 47.1 | 26.6 |
| 塩素イオン | Cl ppm | 8.7 | 4.8 |

表-11 ろ床の生物相

| | 個体/汚泥 cc | 構成比 (%) |
|-------|----------|---------|
| 全生物相 | 62 050 | — |
| 原生動物類 | 62 050 | 100 |
| 織毛虫類 | 61 950 | 99.8 |
| 固着型 | 54 500 | 88.0 |
| 匍匐型 | 6 750 | 10.9 |
| 遊泳型 | 700 | 1.1 |
| 鞭毛虫類 | 100 | 0.2 |
| 根足虫類 | 0 | 0 |
| 後生動物類 | 0 | 0 |
| 線虫類 | 0 | 0 |
| 輪虫類 | 0 | 0 |

待できる。つぎに、ろ床の生物相について調べた結果を表-11に示す。表-5の下水処理場におけるろ床の生物相と表-11とをくらべてみると、生物密度は表-5の142000個体/汚泥ccに対して表-11では62000個体/汚泥ccと少ないが、織毛虫に対する固着型織毛虫の割合が88%と良好な構成比を示していることがわかる。

11. 総括および結論

し尿消化槽の脱離液を、実験用散水ろ床で処理したところつぎのような結果がえられた。

(1) ろ床の浄化効果は BOD 負荷 $1.0 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ および散水負荷 $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の時に最大に発揮されると推察された。この時の BOD 除去率は 50.2% であり、除去された BOD の大部分は浮遊物質によるものであった。なお、硝化は窒素が過剰なために十分行なわれないように推察された。

(2) 返送や二段ろ過を行っても、ろ床の浄化効果があまりそなわれなかった。したがって、希釈水が十分えられない時には、これらはかなり有効な方法と考えられた。

(3) 温度による浄化効果の影響はあまり大きなものではないと推察された。

(4) し尿消化処理場における散水ろ床の浄化は本実験でえたものより幾分良好なものになると推察された。

この論文は筆者のうちの長谷川の修士論文を基とし、その後に行なった研究結果をあわせて取りまとめたものである。この研究を行なうに当りご指導いただいた東京大学名誉教授 広瀬孝六郎先生、生物試験についてご助言いただいた 国立公衆衛生院 中島文夫博士、実験上便宜を与えられた山形市および角田市に対して深甚な謝意を表します。なお、この研究の一部は昭和 37 年度文部省科学研究費によるものであることを付記します。

参考文献

- 1) Schroepfer, G.J.: Effect of Particle Shape on Porosity and Surface Area of Trickling Filter, Sewage Works Journal, Vol. 23, pp. 1356~1366 (1951).
- 2) 左合正雄: 散水ろ床の基本問題に関する実験的研究, 水道協会雑誌, 239号, pp. 30~41 (昭和29年).
- 3) Bloodgood, D.E., Teletzke, G.H., and Pohland, F.G.: Fundamental Hydraulic Principles of Trickling Filters, Sewage and Industrial Waste, Vol. 31, pp. 243~251 (1959).
- 4) Schulze, K.L.: Trickling Filter Theory, Water and Sewage Works, Vol. 32, pp. 100~103, (1960).
- 5) Velz, C.J.: A Basic Law for the Performance of Biological Filter, Sewage Works Journal, Vol. 20, pp. 607~617 (1948).
- 6) Keefer, C.E.: Sewage Treatment Works, pp. 264~297, McGraw-Hill, (1940).
- 7) Butterfield, et al, The Study of Sewage Purification, Public Health Report. Vol. 56, pp. 2445~2464, (1941).
- 8) 広瀬孝六郎: 下水道学, pp.280~295, 誠文堂新光社 (昭和35年).
- 9) Schulze, K.L.: Load and Efficiency of Trickling Filters, Journal of Water Control Federation, Vol. 32, pp. 245~261 (1960).
- 10) McCabe, B.J. and Eckenfelder, W.W.: Biological Treatment of Sewage and Industrial Waste, Vol. 1, pp. 1~26, Reinhold (1959).
- 11) 中島文夫: 生物酸化処理における生物相について, 用水と廃水, Vol. 3, pp. 7~16 (昭和36年).
- 12) 中島文夫: 散布濾床管理の基礎的事項について, 水道協会雑誌, 218号, pp. 55~58, (昭和27年).
- 13) Baines, S., Hawkes, H.A., Hewitt, C.H. and Jenkins, S. H.: Protozoa as Indicators in Activated Sludge Treatment, Sewage and Industrial Waste, Vol. 25, pp. 1023~1033 (1953).
- 14) 大蔵 武: 有機性排水の生物酸化処理, 工業用水, 27号, pp. 4~12 (昭和35年).
- 15) Eckenfelder, W.W., and O'Corner, D.J.: Biological Waste Treatment, pp. 221~245, Pergamon Press, (1961).