

II - 4 下水場汚泥を土壌還元した場合の汚水の浸透性について

空蘭工業大学 正会員 穂積 津
空蘭工業大学 学友員 ○阿部 昌昭

1. まえがき

近年下水処理場の普及および高度処理技術の発展に伴ない余剰汚泥の発生量が増加しており、汚泥の最終処分のはとんどは、陸上および海面埋立によられている。しかしながら、埋立用地の不足や環境汚染等の問題が生じている。この増大する汚泥を単なる廃棄物としてではなく、資源としての再利用が叫ばれておりその一方法として土壌への還元が注目されつつある。下水汚泥の堆肥化^{1),2)}や汚泥中重金属の作物への影響等についての報告はみられるが、消化汚泥あるいは、濃縮汚泥をそのまま土壌へ還元した場合の諸問題についての検討は、不十分のようである。

そこで本報告では、土壌浸透水の地下水汚染への影響をみるため濃縮汚泥と火山灰土壌とを混合させた場合の浸透水の水量と水質に関して、実験を行ない若干の知見を得たので報告しない。

2. 実験装置および実験方法

実験は、空蘭市内沼米処理場より採取した超送汚泥と樽前山産出の火山灰を用いて行なった。

各火山灰土層厚について円筒土層底部より水が流出してこない混合土の混合比(これを限界混合比とする)を求める実験は次のようである。

実験装置は、図-1に示すように円筒は内径10 cm、高さ50 cmおよび100 cmの亚克力樹脂製のものを用いた。円筒の下部には、ゴム栓がはめ込まれており集水できるようにになっている。なお、ゴム栓の中央に、内径4 mmのガラス管が挿入されている。またゴム栓の上面には、土の流出を防ぐために水をしこみさせたガーゼと、十分水をしこみさせた少量の清浄な砂がはめ込まれている。実験条件は、表-1に示すように手順手順は次のようである。①前もって湿度、全重量および色水比を測定しておいた火山灰を所定の層厚となるよう6本の円筒に入

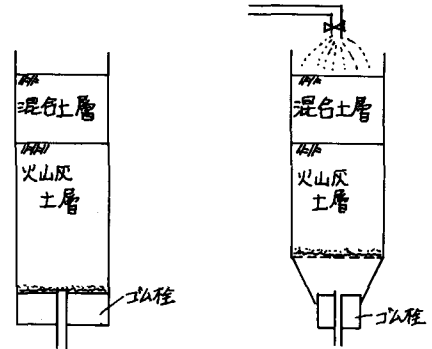


図-1

実験装置

図-2

	図-1による実験	図-2による実験
実験装置 円筒断面積	78.5 cm ²	314 cm ²
汚泥濃度 (乾燥残留物)	8000 mg/l	8000 mg/l
混合比(%)	任意に6段階に 変化させる。	各火山灰土層厚での 限界混合比を用いる。
火山灰土層厚 (cm)	0, 5, 10, 20, 30, 40	0, 20, 40
混合土層厚 (cm)	常に20 cmとする	左に同じ
締め固め	竹棒により5 cm毎 お層15回。	左に同じ

表-1 実験条件

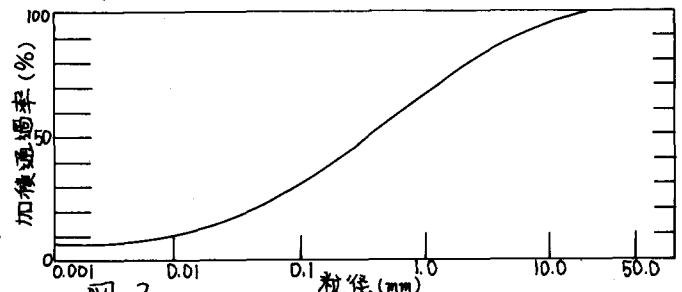


図-3

れる。②次にポリ容器で、火山灰土と8000 mg/lとなるよう静置濃縮した汚泥とを十分混合させて、混合比を任意に6段階に変化させた混合土を作製し、③それぞれ混合土の湿潤密度と含水比を測定した後、一定容積を円筒中に入れる。なお、火山灰土と混合土の湿潤密度は、内径14 cm、高さ13 cmのモールドを用いて測定し、また混合比については、 $(\text{汚泥量}(g)) / (\text{汚泥量}(g) + \text{火山灰土重量}(g)) \times 100 (\%)$ と定義して行なった。④円筒の底部から流出する浸透水量を水量に応じて1～2時間度に測定する。⑤さらに、採取したそれぞれの浸透水に対して、全窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全リン酸、PHIを測定する。また、混合土を作製する際に用いた汚泥について同項目の水質の測定を行なった。なお、全窒素はケルダール法、アンモニア性窒素は酸水の程度に応じて、直接比色法、蒸留比色法、蒸留滴定法により、亜硝酸性窒素は、 α -ナフタルアミン・スルファニル酸法、硝酸性窒素はブルシソ法、全リン酸は、硝酸と硫酸により正リン酸塩とした後にモリブデン青法により測定を行なった。

次に、以上により求めた限界混合比のものに対して、一定量の水量を散布した場合の実験は次のようである。実験装置は、図-2 に示すように塩化ビニル製の内径20 cm、高さは土層厚に応じたものを用いた。下部には、土層を支えるために、内径5 mmの89個の穴(開孔率4.86%)のあいた厚さ3 mmの真鍮製の円板が置かれている。なお、この板は土粒子の流出を防ぐため水を含ませたガーゼをおおわれ、その上に水を十分含ませた静置な砂がおおれている。実験条件は、表-1 に示すように、実験は混合土表面に雨量強度10～20 mm/hrの水通水を4～5時間程度散布する。円筒底部から流出する浸透水量については約1時間毎、また前述した水質項目については2～3時間毎に測定を行なった。なお、実験に用いた火山灰は、図-3 に示すような粒度分布を示し、比重2.346、最大粒径19.1 mmである。

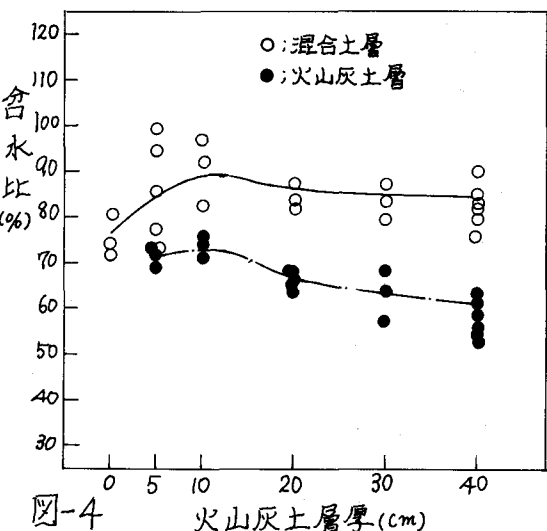


図-4 火山灰土層厚(cm)

3. 実験結果および考察

図-4は、実験終了後の火山灰土層および混合土層の含水比の関係を含水比と縦軸に、火山灰土層厚を横軸にとり示したものである。データは、限界混合比を求める実験で円筒底部から浸透水が流出したものを用い、図中、各土層厚に示す各点は、混合比が異なり0.2～1.5(%)の範囲の値をもつものである。混合土層では、混合比により含水比が大きく変化する。特に土層厚5 cmの場合には70～100%にわたりに変化する。一方、火山灰土層では、各土層とも混合比による影響は少ない。図に示した曲線は、各土層厚の平均値を示したものである。この曲線の傾向をみると混合土層、火山灰土層とも土層厚0～10 cmくらいまでは土層厚の増大とともに含水比が大きくなり土層厚10 cmくらいで最大となる。さらに土層厚が大きくなると、含水比は次第に減少する。この減少の割合は特に混合土層で小さく、土層厚20 cm～40 cmを考えると混合土層では、ほぼ一定値85%程度となり、

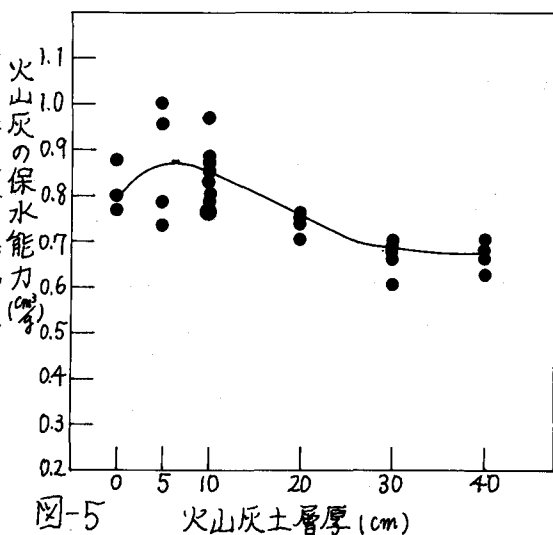


図-5 火山灰土層厚(cm)

また火山灰土層では60~70%の値をとる。以上の結果を考察すると次のようである。土層厚により混合比は異なるが火山灰土層上の混合土は、高含水比の活性汚泥を含んでいる。この汚泥のうち、汚泥物成分は混合土層中もしくは、火山灰土層の一部に残留されるが、これらの土層の中では時間とともに混合土および汚泥フロックの自重によりフロックは押し潰され水分を放出する。本実験のように、3日程度円筒内に混合土を放置しても汚泥は、かなりの水分を含んでいると思われる。このような理由により、図-4に示す各土層厚の混合比によるパラツキは、混合土層の場合に大きく、また含水比も火山灰土層に比べ、混合土層の場合の方が大きくなると考えられる。

円筒底部からの浸透水量が測定できたものについて、火山灰土の保水能力を算出し、これを縦軸にとり、横軸に火山灰土層厚をとり混合比のパラメーターとして示すと図-5のようである。保水能力は、実験開始に含まれる水量、つまり汚泥および全土層(火山灰土層+混合土層の火山灰土)に含まれる水分と実験終了後までに円筒底部から流出する浸透水量を測定することにより求めた。保水能力は、火山灰土層厚5cmをピークとしてその後ゆるやかに減少し30cm以降ほぼ一定となる。同じ土量では、実験終了後の含水比が高いもの程より多くの水を保水するので実験終了後の含水比および保水能力の火山灰土層厚に対する関係は同様である。

図-5より求めた火山灰土の保水能力を用いることにより、浸透水量、混合比、火山灰土層厚および火山灰の含水比が計算で求められることが出来る。実験前後の水量の差が、全土層中の水量に等しいことから次式が導かれる。なお、図-5およびこの計算では、混合土層の表面から蒸発する水分は各条件とも同一であると考えている。

$$\frac{W_1 + W_2}{(1+w)} \gamma_w + Q_1 - Q_2 = \frac{W_1 + W_2}{1+w} \cdot A \quad (1)$$

ここで、 W_1 : 火山灰土層の浸潤重量(g) W_2 : 混合土層の火山灰土浸潤重量(g) Q_1 : 混合土層中の汚泥量(cm^3) Q_2 : 浸透水量(cm^3) A : 火山灰土の保水能力(cm^3/g) w : 火山灰土の含水比(%) γ_w : 水の単位体積重量(g/cm^3)とし、汚泥の比重を概略1.0とする。また火山灰土の比重を γ_s とすると混合土層の体積は、実験では常に一定であるので、その体積 V は次式のようになる。

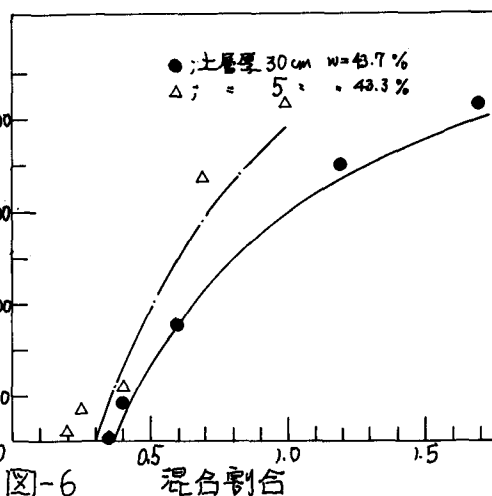


図-6

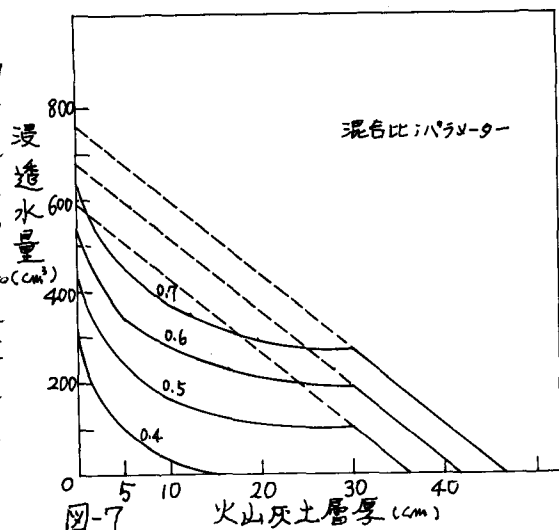


図-7

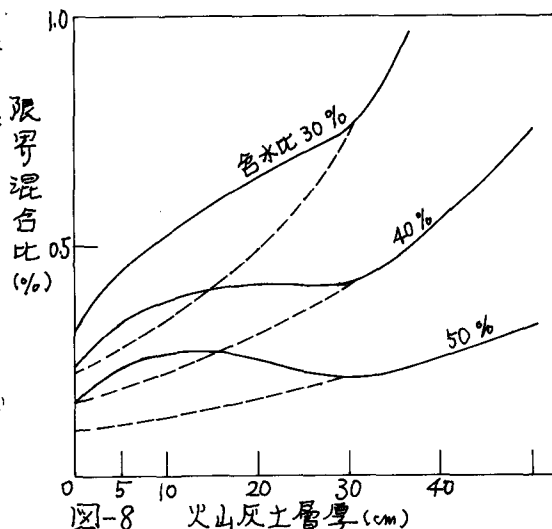


図-8

$$V = Q_1 + \frac{W_2}{\gamma_w(1+w)} \cdot \left(\frac{1}{G_s} + w \right) \quad (\text{cm}^3) \quad (2)$$

また、混合比 P は、前述したように次式で示される。

$$P = \frac{Q_1 \cdot C}{Q_1 \cdot C + W_2} \times 100 \quad (\%) \quad \text{ここで、} C: \text{汚泥濃度 (g/cm}^3\text{)} \quad (3)$$

式(1)と式(2)より、浸透水量 Q_2 を求めると、

$$Q_2 = V - W_2 \cdot \frac{1}{(1+w) \cdot \gamma_w} \cdot \left(\frac{1}{G_s} + A \right) - W_1 \cdot \frac{1}{1+w} \cdot \left(A - \frac{w}{\gamma_w} \right) \quad (4)$$

となる。 W_2 を求めると、

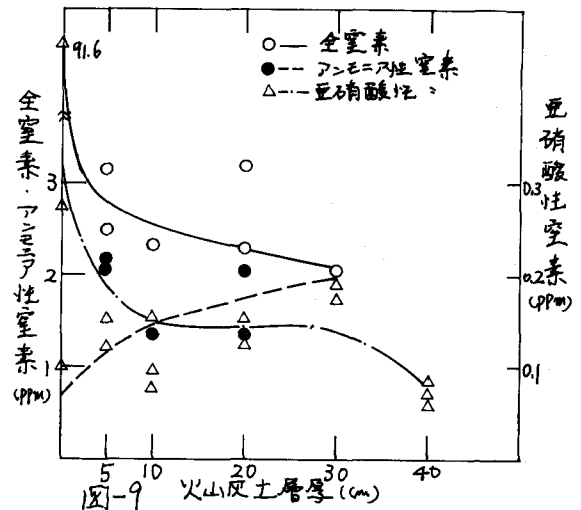
$$W_2 = \frac{100-P}{P} \cdot C \cdot V / \left\{ 1 + \frac{1}{(1+w) \cdot \gamma_w} \cdot \left(\frac{1}{G_s} + w \right) \cdot \frac{100-P}{P} \cdot C \right\} \quad (5)$$

となる。

火山灰土層厚をパラメーターとし、浸透水量 Q_2 と混合比 P の関係を式(4)と式(5)を用いて計算した値と、実験値と比較して示すと図-6 のようである。なお、火山灰の含水比 w と火山灰土層の湿潤重量 W は実験値を、火山灰の保水能力 A は図-5 より得られたものを用いた。浸透水量は、混合比の増加に伴ない上に凸のなめらかなカーブを描いて増加する。図に示すように実験値と計算値のバラツキは、火山灰土層厚 5 cm まで多く、一方 30 cm では比較的少ない。この相違は、図-5 に示されているように混合比により保水能力がバラツクための影響と考えられる。

浸透水量、火山灰土層厚、混合比および火山灰の含水量を式(3)、式(4)、式(5)を用いて算出しこれらの関係を図表化して示すと、図-7 および図-8 のようである。ここで、保水能力は、図-5 より土層厚 30 cm 以上では一定値 0.67 となし、 W は筆者らの実験結果では火山灰土層厚 10 cm の間に、概略ではあるが直線関係が成立し $W = 80L$ が得られているのぞこの関係を用いている。図-7 は、火山灰土の含水量を 40% とし、混合比をパラメーターにとり浸透水量と火山灰土層厚の関係を示したものである。浸透水量は、混合比の増加に伴ない上昇し火山灰土層厚が 0 cm ~ 30 cm までは火山灰土層厚の増大とともに上に凸の曲線を示しながら減少し、それ以降では直線的に減少する。なお、図中の破線は直線関係の延長を示したものである。図-8 は、火山灰土の含水量をパラメーターとし限界混合比と火山灰土層厚の関係を示したものである。限界混合比は、含水量の増加に伴ない減少し火山灰土層厚が 0 cm ~ 30 cm までは、火山灰土層厚の増大とともに上に凸の曲線を示して 30 cm 以降では急激に増加する。また含水量が小さいほど火山灰土層厚の増加に伴ない限界混合比が急激に増加する。図-7 および図-8 において、火山灰土層厚 0 cm ~ 30 cm までの領域で上に凹および凸の曲線と破線との相違は、図-5 で示したように 0 cm ~ 30 cm では前述した保水能力の平均値とかなり相違していることによるものである。平均の保水能力と実際の保水能力との差は、図-7 および図-8 で示されるようになり、保水能力の影響はかなり大きいことを示している。

次に混合土層の表面から水道水を散布した場合と、そうでない場合との浸透水の水量について考察する。水を散布しない場合の火山灰土層厚と浸透水の全窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素および全リン酸との関係を



示す図-9および図-10のようである。ここで上述の水質項目は、実験装置中円筒底部より流出する浸透水を実験終了後に測定したものである。又図-9および図-10では、各火山灰土層厚により混合土の汚泥の全窒素、全リン酸等の濃度が異なるので一極濃度の低い値を基準にして補正を行なったものである。両図とも横軸に火山灰土層厚を、縦軸に図-9では窒素全量を、図-10では全リン酸量として示している。図-9に示すように亜硝酸性窒素は火山灰土層厚 0cm で最大となり 0.3 mg/l 程度の値をとり、火山灰土層厚の増大とともに減少するが、全窒素、アンモニア性窒素に比べ微量である。また硝酸性窒素は、本実験では検出されなかった。全窒素は、火山灰土層厚の小さいところで急激に減少し、その後ゆるやかに減少する。逆に、アンモニア性窒素は火山灰土層厚 0cm で最小で火山灰土層厚の増大とともに徐々に減少する。以上の結果をまとめると次のようである。図-9に示すように、全窒素は火山灰土層厚 0cm の場合に 91.6 mg/l もある。たまた、土層厚 5cm では約 27 mg/l と急激に減少し土層厚の増大とともに徐々に減少する。従って火山灰土層を通過することにより全窒素は、減少することになる。混合土中の汚泥フロックは、火山灰土中に滞留されることは前述したとおりである。この全窒素の減少を考察するために、同一汚泥を用いて遠沈を行なった場合と、そうでない場合との全窒素、アンモニア性窒素濃度を比較したところ、アンモニア性窒素はほとんど変わらないものの全窒素は約 1/10 に減少する結果を得た。従って汚泥の浮遊物成分に含まれる全窒素の割合は、溶解性成分に含まれるよりも大きいことから、火山灰土層の有無による全窒素の変化は汚泥フロックの滞留によるものと思われる。しかしながら、火山灰粒子が全窒素を捕集することも考えられ、この点については今後さらに検討することとしたい。図-10に示す全リン酸は、火山灰土層厚 20cm まで急激に減少し、その後徐々に減少する。汚泥の全リン酸は、遠沈をかけた測定していること、および浸透水の浮遊物成分がほとんど無視できるものであることを考え合わせると、火山灰土は、全リン酸を除去する点で優れているものと考えられる。

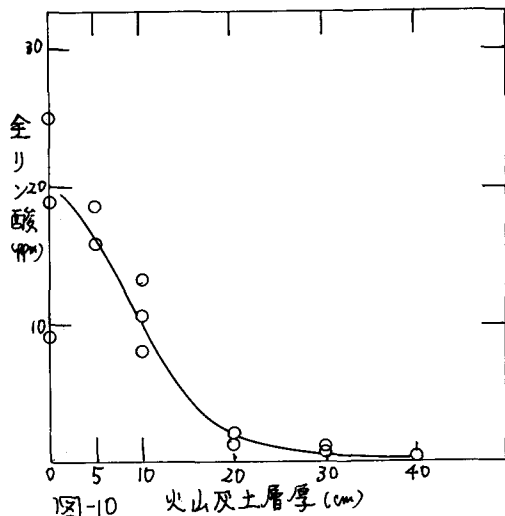


図-10 火山灰土層厚 (cm)

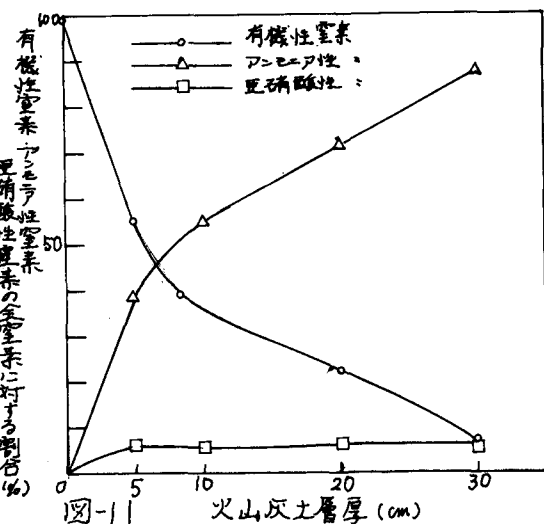


図-11 火山灰土層厚 (cm)

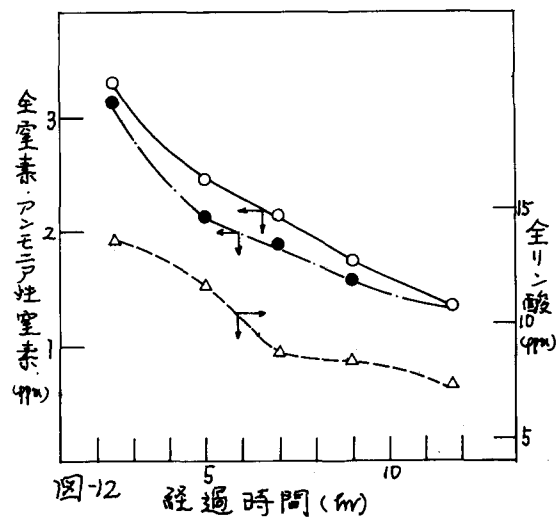


図-12 経過時間 (hr)

次に火山灰土層中を通過した場合の有機性、無機性窒素の変化を考へる。図-8の結果を用いて、浸透水の全窒素に対するアンモニア性窒素、硝酸性窒素、有機性窒

素の割合ととり、火山灰土層厚に対してプロットしたものが図-11である。(有機性窒素/全窒素)は、火山灰土層厚の増加に伴い減少しているが、これは、上述したように火山灰土層厚が小さいほど浮遊物成分、つまり有機性窒素が浸透とともに流出してくる割合が大きくなる結果と考えられる。(アンモニア性窒素/全窒素)は、全窒素から(有機性窒素/全窒素)を引いたものであり、図には参考のために示している。又(亜硝酸性窒素/全窒素)は、火山灰土層厚0cm~5cmまでは増加するが、それ以降ではあまり変化しない。

混合土層表面に水を散布した場合の浸透水の全窒素、アンモニア性窒素、および亜リン酸の経過時間に対して示したのが図-12である。なお、実験は、火山灰土層0cm、雨量強度14.3 mm/hr、雨量継続時間5時間の条件で行なった。全窒素、アンモニア性窒素、および亜リン酸は、ともに経過時間が進むにつれて同じように減少する。これは、次のように考えられる。混合土層の表層に水を散布することにより、混合土中に含まれる溶解性成分、および浮遊物成分のうち、比較的小さな汚泥フロック、および浮遊物成分からの溶出は、実験開始後は比較的短時間のうちに、洗い流されるような形で円筒底部より流出される。水の散布時間が長くなるに従い、これらの溶出しやすいものはなくなり、図のような結果となると思われる。また、火山灰土との共存により汚泥の有機性窒素の分解が促進される³⁾ことを考慮すると、さらに経過時間が進めば有機性窒素が減少し全窒素にアンモニア性窒素は、ほぼ一定値に近づくものと考えられる。

4. あとがき

火山灰土と汚泥とを混合し、浸透水の水量と水質に関して、検討を加えた結果を要約すると次のようである。

1) 浸透水量を表わす諸量として、火山灰の保水能力、火山灰の含水比、火山灰土層厚および混合比があげられる。これらの関係は、実験により火山灰土の保水能力を求めれば、計算により求められ図表化ができ、概略の数値を推定できる。

2) 火山灰土は、汚泥の浮遊物成分の大半を滞留することにより、全窒素、有機性窒素を除去する。またリンについても、高い除去率を示す。

浸透水量を算定するにあたっては、火山灰の保水能力の影響が大きいので、火山灰の保水能力については、種々の条件で実験を行なって、さらに検討を加えたい。また、水を散布する実験においても種々の条件で水質、水量の変化を調べ、また土中における有機物の変化についても実験を行なう予定である。

最後に、実験面で御苦労願った、野口健次(室工大4年目学生)君、石垣信治(室工大4年目学生)君に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 三木伸夫、森忠洋、成田愛世：下水汚泥の農業利用に関する研究(I) - 下水汚泥の堆肥化方法の開発 - 下水道協会誌, Vol.15, NO.170, 7月号, 1978.
- 2) 田中英至：下水汚泥の堆肥化と他の利用計画の検討, 下水道協会誌, Vol.15, NO.170, 7月号, 1978.
- 3) 香川尚徳、白石忠男、栗原康：水田土壌中における下水汚泥の分解、用水と灌漑, Vol.20, NO.12, 12月号, 1978.