

## 油温乾燥汚泥を添加した土の物理的性質

大坪，政美

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座土環境学研究室

中司，敬

九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門農業生産生態学講座農業生産生態学研究室 | 九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座土環境学研究室

中園，修三

株式会社プロレックス | 九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座土環境学研究室

中園，英司

株式会社プロレックス | 九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座土環境学研究室

他

<https://doi.org/10.15017/21070>

---

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 55 (1), pp.71-75, 2000-11. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

## 油温乾燥汚泥を添加した土の物理的性質

大坪 政美・中司 敬\*・中園 修三\*\*  
中園 英司\*\*・徳留 斉将\*\*

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座土環境学研究室  
(2000年7月21日受付, 2000年8月18日受理)

### Physical Properties of Soil with Addition of Sewage Dried with Heated Edible Oil

Masami OHTSUBO, Kei NAKAJI\*, Shuzo NAKAZONO\*\*,  
Eiji NAKAZONO\*\* and Narimasa TOKUTOME\*\*

Laboratory of Environmental Soil Engineering, Division of Regional Environment Science,  
Department of Bioproduction Environmental Science, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

#### 緒 論

わが国では公共下水道, 流域下水道, 農村下水道などの整備が進むにつれて, 廃水処理により発生する下水汚泥は増加の傾向にある。現在行われているおもな下水汚泥の処分法として埋立, 焼却がある。埋立は, 処分場の不足や土壌・地下水の汚染, 焼却はダイオキシンの発生などの諸問題をかかえている。一方, 廃棄物の減量, 資源の再利用がうたわれている今日, 下水汚泥を農業用資材として有効利用する試みがなされている。農業用資材としては, 天日で乾燥した下水汚泥肥料と下水汚泥堆肥(コンポスト)が知られている。近年, 油温減圧式乾燥システム—廃食用油を利用して減圧下で下水汚泥を乾燥する一が開発され(中園, 1998; Nakazono, *et al.*, 1998), このシステムで処理された汚泥も農業用資材として有効利用される可能性をもつ。

農業用資材が農地へ還元されたとき, それは肥料としての効果を発揮するだけでなく, 土壌の物理的性質に対しても何らかの影響を与えると予想される(Ekwue and Stone, 1997; Lindsay and Logan,

1998)。本論文では, 油温減圧式乾燥システムで乾燥した汚泥を土壌に添加したときの, 汚泥添加土の水分保持, 密度, 透水, 膨潤などの諸特性について報告する。比較のために, 天日乾燥汚泥と汚泥堆肥についても同様の実験を行った。

#### 試料と方法

##### 1. 土壌試料

土試料としては, 2 mm のフルイを通過させた風乾状態のマサ土を使用した。このマサ土の粒径加積曲線は図1に示す。それによると粘土分 (< 5  $\mu\text{m}$ ) 4%, シルト分 (5 ~ 75  $\mu\text{m}$ ) 9%, 砂分 (75  $\mu\text{m}$  ~ 2 mm) 87%であり, 三角座標を用いた土の分類によるとこのマサ土試料は砂に分類される。マサ土の土粒子密度は 2.79 g/cm<sup>3</sup>である。

##### 2. 下水汚泥試料

実験には, 油温乾燥汚泥, 天日乾燥汚泥, 汚泥堆肥の3種類の汚泥を用いた。油温乾燥汚泥(以下油温汚泥とよぶ)は, 廃食用油を乾燥熱媒体にして減圧状態で水分を除くことにより生成された。この方法は減圧油温乾燥処理システムとよばれ, 汚泥の減量化・再

\* 九州大学大学院農学研究院植物資源科学部門農業生産生態学講座農業生産生態学研究室

\*\* Laboratory of Agricultural Ecology, Division of Agricultural Ecology, Department of Plant Resources, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

\*\* 株式会社プロレックス

利用・資源化という環境調和型の技術として実用化されている(中園, 1998; Nakazono, *et al.*, 1998). 天日乾燥汚泥(以下天日汚泥とよぶ)は下水汚泥を天日にさらして乾燥したもので、汚泥堆肥は下水汚泥を発酵させたものである。汚泥の粒子密度と成分を表1に示す。油温汚泥は29%の油分を含んでいる。炭素含量は油温汚泥で最大である。これは汚泥に29%の油分が含まれているためである。密度は汚泥堆肥で最も高く、その値はマサ土の土粒子密度に近い。天日汚泥と油温汚泥の密度は堆肥汚泥に較べかなり小さい。

### 3. pF 試験

pF 試験は、吸引法と遠心法により行った。重量比で4, 8, 16, 26, 34%の汚泥を風乾状態のマサ土に加えた試料と、風乾状態のマサ土を pF 試験用の容器につめ、容器の下方から脱気水を供給し試料を飽和した。まず、それぞれの試料について、吸引法により pF1.0, 1.5, 1.8, 2.0, 2.2 に相当する負圧を与え、そのときの含水比を測定した。次に、吸引法の試験を終えた試料を遠心装置にセットして、pF2.5, 3.0, 3.5, 3.8, 4.0, 4.2 の負圧を与え、各 pF 値での含水比を求めた。これをもとに水分特性曲線を描いた。

### 4. 圧縮・透水試験

重量比で4, 8, 16, 26, 34%の汚泥を風乾状態のマサ土に加えて汚泥混合試料を作成した。75g の汚泥

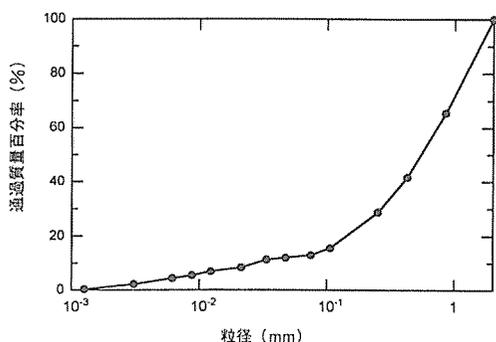


図1 マサ土の粒径加積曲線

混合試料とマサ土試料を標準圧密試験機の圧密容器につめて0.2kgf/cm<sup>2</sup>の圧力を加え、その圧力のもとで下部から水を浸潤させて試料を飽和させた。このとき水の浸潤にともない試料は圧縮するが、いずれの試料の場合も圧縮は10分以内で終了した。この状態の試料について変水位透水試験を行い、透水係数を決定した。透水試験終了後、0.4kg/cm<sup>2</sup>の圧力を加えて試料を圧縮した。圧縮は10分以内で終了した。この試料について再び透水試験を行った。同様な要領で0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8kg/cm<sup>2</sup>の順で圧縮し、それぞれの圧縮供試体について透水試験を行った。

### 5. 膨張試験

重量比で4, 8, 16, 26, 34%の汚泥を風乾状態のマサ土に加えて、汚泥混合試料を作成した。各混合試料とマサ土試料についてそれぞれ4個の供試体を準備して、それらを標準圧密試験機の圧密容器につめた。これらの供試体にそれぞれ0.2, 3.2, 6.4, 12.8kgf/cm<sup>2</sup>の圧力を加えて締め固め、異なる乾燥密度をもつ供試体を作成し、その後荷重を除去した。荷重を除去した供試体に下部から水を浸潤させて、供試体の自由膨張量の時間的変化を調べた。

## 結果と考察

### 1. 水分特性曲線

マサ土に油温汚泥、天日汚泥、汚泥堆肥を混合した試料(以下それぞれ油温汚泥、天日汚泥、汚泥堆肥とよぶ)についての水分特性曲線を図2に示す。油温汚泥は天日汚泥と同様の傾向を示し、汚泥を混合することにより pF 水分曲線は大幅に右側に移動した。例えば、34%の汚泥を加えることにより、pF=1での含水比は50%から94%に増加した。一方汚泥堆肥については、汚泥の添加による含水比の増加は、油温汚泥と天日汚泥の場合に較べて小さく、34%の汚泥を加えることにより pF=1での含水比は、50%から63%に増加するにとどまった。以上の結果から、マサ土に汚泥を加えることにより、土の保水性は汚泥の種類にかかわらず増加するが、その程度は堆肥汚泥より油温汚泥

表1 汚泥の物理・化学的性質

	粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	炭素 (C) (%)	窒素 (N) (%)	灰分 (%)	油分 (%)
油温乾燥汚泥	1.74	42.8	4.5	21.4	29.1
天日乾燥汚泥	1.77	25.9	5.5	27.2	—
堆肥汚泥	2.50	31.6	5.6	16.0	—

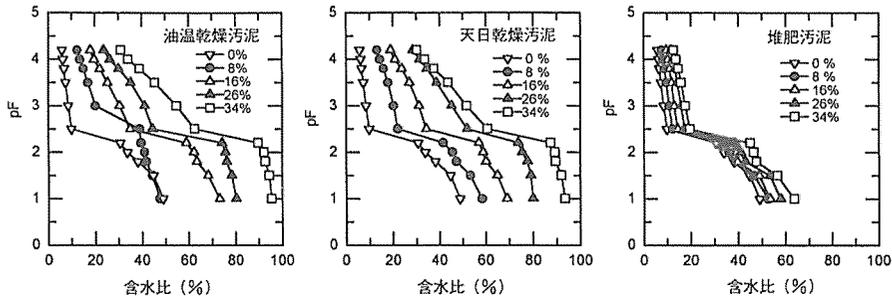


図2 水分特性曲線

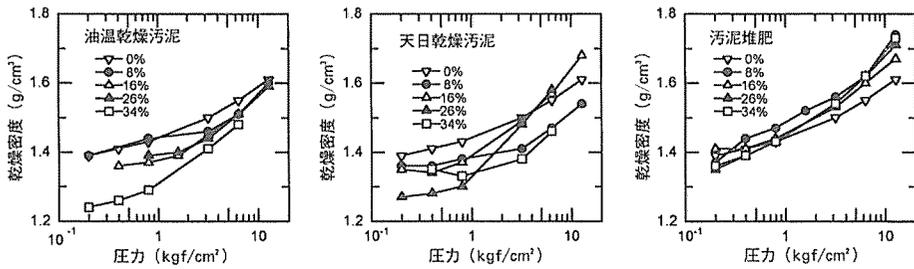


図3 圧力と乾燥密度の関係

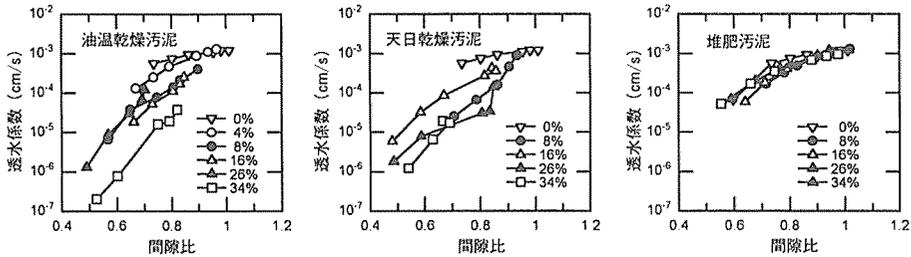


図4 間隙比と透水係数の関係

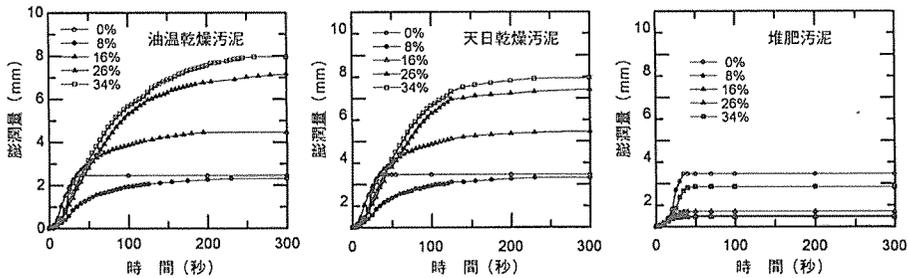


図5 時間経過による膨潤量の変化

と天日汚泥の方が大きいことがわかる。このような保水性の増加は、汚泥粒子の比表面積がマサ土の粒子より大きいことによる。汚泥堆肥より油温汚泥と天日汚泥の方がより大きな比表面積をもつことから、両者の間に保水性の違いが生じたと思われる。

## 2. 圧縮特性

図3は、マサ土に油温汚泥、天日汚泥、汚泥堆肥を加えた試料の乾燥密度と圧力の関係を示す。油温汚泥と天日汚泥の場合、同一圧力のもとでの乾燥密度は、汚泥を加えることにより減少した。即ち、汚泥を加えることによりマサ土は縮まりにくくなるといえる。一方、汚泥堆肥については、 $0.8\text{kgf/cm}^2$ より高い圧力では、汚泥を加えることにより乾燥密度が増加していることがわかる。

## 3. 透水性

マサ土に汚泥を加えた試料の透水係数と間隙比の関係を図4に示す。いずれの汚泥についても、間隙比が減少するにつれて透水係数は低下した。即ち透水性は低くなった。しかし、汚泥の混合割合と透水係数の関係をみると、油温汚泥および天日汚泥と汚泥堆肥の間では大きな違いがある。堆肥汚泥の透水係数が汚泥の混合割合の影響をあまり受けないのに対し、油温汚泥と天日汚泥の透水係数は汚泥の混入量が増えるほど小さくなる傾向がある。これは、図2の水分特性曲線からわかるように、汚泥堆肥をマサ土に添加しても保水性はあまり増えないが、油温汚泥と天日汚泥を添加すると保水性が著しく増加したことに対応している。

## 4. 膨潤性

図5は、マサ土と汚泥を混合した試料に $3.2\text{kgf/cm}^2$ の圧力を加えて締め固め、その後水を浸潤させたときの、時間経過にともなう自由膨潤量の変化を示している。汚泥を添加しないとき、膨潤量はおよそ50秒で最大値に達した。油温汚泥の膨潤量は、汚泥添加量の違いによらずおよそ250~300秒で最大値に達した。膨潤量の大きさは、添加量8%ではマサ土とほぼ同じであるが、16%以上の添加では汚泥添加量が増えるにつれて増加した。この結果は、油温汚泥がマサ土に較べて高い膨潤性をもつことを示している。油温汚泥の高い膨潤性は、汚泥の粒子径がマサ土のそれより小さいことに起因する。汚泥添加量が8%のときの膨潤量がマサ土のみの場合とあまり変わらないのは、汚泥粒子が間隙を埋めるような形で膨潤し、土塊の膨潤には反映されなかったものと推察される。天日汚泥の膨潤曲線

は油温汚泥とはほぼ同様の傾向を示す。このことから油の存在は、汚泥添加試料の膨潤挙動に影響を与えることはないといえる。

汚泥堆肥では、油温汚泥と天日汚泥の場合とは逆に、マサ土に8, 16, 26%の汚泥を添加することにより膨潤量は大幅に減少した。これは、汚泥堆肥が土の膨潤を抑制する役割をもつことを示している。

## 5. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 油温汚泥と天日汚泥の密度はおよそ $1.7\text{g/cm}^3$ 、堆肥汚泥のそれは $2.5\text{g/cm}^3$ である。油温汚泥は29%の油分を含んでいる。
- (2) 水分特性曲線によると、油温汚泥および天日汚泥の添加試料の方が、汚泥堆肥の添加試料に較べ保水性は大きい。
- (3) 圧縮試料の乾燥密度と透水性は、油温汚泥と天日汚泥の添加試料では添加量が増えるにつれて減少するが、汚泥堆肥の添加試料では添加量の影響をあまり受けない。
- (4) 膨潤量は、油温汚泥と天日汚泥の添加試料では添加量の増加により大きくなるのに対し、汚泥堆肥の添加試料では添加量の増加により低下する。

## 文 献

- Ekwe, E. I. and Stone, R. J. 1997 Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 40(2): 317-323
- Lindsay, B. J. and Logan, T. J. 1998 Field response of soil physical properties to sewage sludge, *J. Environ. Qual.*, 27: 534-542
- 中園修三 1998 油温減圧式乾燥技術による都市厨茶のリサイクル技術開発について、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集: 366-369
- Nakazono, S., Nakazono, E., Tokutome, N., Nakaji, K., Okano, K., Yamanaka, S., Chikushi, J., and Ohtsubo, M. 1999 Drying of sewage sludge by using wasted edible oil under heating and decompression, *Geoenvironmental Engineering, Ground contamination: pollutant management and remediation*, R. N. Yong and H. R. Thomas (Eds.), Thomas Telford: 551-558

## Summary

The present study investigates the water holding capacity, density, permeability, and swelling properties of the soil samples mixed with the sewage that was dried with heated edible oil. For comparison similar experiments were conducted for the soil samples mixed with sun-dried sewage and sewage compost. The water holding capacity was higher for the soil samples with oil-dried and sun-dried sewage addition than for those with sewage-compost addition. For statically compacted soil samples, with increasing sewage percentage the dry density and permeability decreased for oil-dried and sun-dried sewage addition while the effects were small for sewage compost addition. Due to an increase of sewage percentage, the amount of swelling increased for oil-dried and sun-dried sewage addition while decreased for sewage compost addition.