

農業集落排水汚泥の天日乾燥技術

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-03-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 真人, 柚山, 義人 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/0002000056

農業集落排水汚泥の天日乾燥技術

中村真人*・柚山義人*

目 次			
緒 言	71	汚泥の乾燥実験	75
天日乾燥施設	72	1 実験目的及び条件	75
1 天日乾燥の歴史	72	2 シート使用による乾燥への影響	75
2 天日乾燥の概要	72	3 蒸発を促進する乾燥法の検討	76
天日乾燥の実態調査	73	4 乾燥過程での強熱減量の変化	77
1 方法	73	5 糞便性大腸菌群数の変化	77
2 乾燥過程の含水率変化	74	6 天日乾燥法の改良案	78
3 乾燥汚泥の含有成分	74	結 言	78
4 聞き取り調査	75	参考文献	79
		Summary	80

緒 言

循環型社会形成推進促進法が平成12年に制定され、これまでのような大量消費、大量廃棄の一方通行の社会システムを改め、廃棄物の発生を抑制し、限りある資源を有効活用する循環型社会へ移行していくことが強く求められている。農業集落排水事業においても、平成14年度からの新規採択地区については、すべて農業集落排水資源循環統合補助事業により実施することとし、資源循環促進計画の策定を義務づけ、発生する余剰汚泥を再資源化することを求めている。また、平成15年10月に閣議決定された土地改良長期計画においては、農業集落排水汚泥のリサイクル率を平成14年の45%から平成19年には55%へ向上させることが政策目標として掲げられている。

農業集落排水汚泥の再資源化及び利用先は、コンポスト化して農地還元利用、公園や道路の花壇及び法面保護などの緑地利用などがある。また、公共下水道の広域汚泥処理施設等に搬出されて、焼却灰や溶融スラグなどの建設資材として利用される場合もある（社団法人 日本農業集落排水協会、2003）。しかし、肥料効果や土壌の物理性改善など有機性資源としての価値、再資源化の経済性を考慮に入

れると、現段階でもっとも現実的な再資源化の方法はコンポスト化であるといえる。平均的な農業集落において、農業集落排水施設から発生する汚泥を全量畑地還元することを想定すると、10aあたり0.055t/年（乾燥重量）に過ぎない（山岡・端、1994）。2002年11月時点でとりまとめられた都道府県の指導指針についての調査（山岡・凌、2003）によると、汚泥肥料の年間施用許容量は、10aあたり最大1t（乾物）、最小0.3t（現物）であり、無理なく集落内の農地で利用できる。平成14年現在、農業集落排水汚泥の発生量は62万m³で、そのうち約22%が農地還元されている（社団法人 日本農業集落排水協会、2003）。

汚泥の形態別の農地還元する上での特徴はTable 1のように整理できる。製品の品質、取扱性、衛生面から考えると、コンポスト汚泥が農地還元に適している。そのため、平成14年度新規採択地区の資源循環促進計画によると、多くの計画でコンポスト化が採用されている。しかし、コンポスト化は大規模な施設を必要とし、また、維持管理費も高額となるため、小規模な農業集落排水処理施設では非効率な場合がある。財政的な事情で十分な維持管理費を捻出できない地区や汚泥排出量の少ない小規模の地区には大きな負担になると考えられる。そのため、選択肢の一つとしてコンポスト化以外の経済的で有効な再資源化方法が必要である。

天日乾燥はほとんど化石エネルギーを必要とせず、また、月3時間ほどの作業で済むため、農業集落排水施設の通常の維持管理と併せて行くと、経済的な方法である（端・山岡、1996）。一方、天日乾燥は乾燥が天候に左右され、ま

* 地域資源部資源循環研究室

平成15年2月6日受理

キーワード：再資源化、天日乾燥、農地還元、低コスト、糞便性大腸菌群、乾燥床

Table 1 各汚泥処理形態の特徴
 Characteristics of conditioning processes of sludge

汚泥処理形態	天日乾燥汚泥	脱水汚泥	機械乾燥汚泥	コンポスト汚泥	炭化汚泥
処理方法	濃縮汚泥を乾燥床でろ過させ、水分を蒸発させたもの。	濃縮汚泥を脱水機を用いて水分を減少させ、ケーキ状にしたもの。	濃縮汚泥または脱水汚泥を加熱して、乾燥させたもの。	脱水汚泥を副資材を用いて水分調整した後、好気性発酵させたもの。	脱水汚泥または乾燥汚泥を無酸素状態で数百に加熱したもの。
含水率(%)	10~20%	約85%	30~50%	30~50%	ほぼ0%
衛生面	乾燥により病原菌の数が減じられている。	病原菌の残存が懸念される。	加熱によりほとんどの病原菌が死滅する。	発酵過程の温度上昇によりほとんどの病原菌が死滅する。	加熱により病原菌が完全に死滅する。
処理中の臭気	定期的にはばっ気を行うなど、貯留状態がよければ、臭気は少ない。	脱水して濃縮されるため、多少臭気は強くなる。	汚泥を加熱することにより臭気が発生する。脱臭装置が必要。	アンモニアの揮散により多少の臭気はあるため、脱臭装置が必要な場合があるが、好気的な発酵がうまくいけば、臭気は少ない。	汚泥の熱分解によって臭気が発生する。発生するガスを燃焼させるなどして、脱臭する装置が必要。
農地還元時の臭気	弱(乾燥した汚泥の臭気は弱いため。)	強(脱水した汚泥の臭気は強いため。)	弱(乾燥した汚泥の臭気は弱いため。)	弱(コンポスト化した汚泥の臭気は弱いため。)	ほとんどなし(炭化した汚泥の臭気はほとんどないため。)
必要面積	大(天日乾燥床が必要のため。)	小(脱水機を設置するスペースだけですむため。)	中(脱水機と乾燥機を設置するスペースが必要のため。)	大(脱水機とコンポスト化装置を設置するスペースが必要で、乾燥に比べ、時間がかかるので施設もより大きい装置が必要のため。)	中(脱水機と炭化装置を設置するスペースが必要のため。)
運搬・農地還元時の取扱性	良(含水率が低く、軽いため。)	不良(含水率が高いため。)	良(含水率が低く、軽いため。)	良(含水率が低く、軽いため。)	良(含水率が低く、軽いため。)
設置コスト	中(大型機械は必要ないが、天日乾燥床及び乾燥床までの配管が必要のため。)	中(脱水機のみが必要のため。)	大(脱水機と乾燥機が必要のため。)	大(脱水機とコンポスト化装置が必要のため。)	大(脱水機と炭化装置が必要のため。)
運転コスト	小(ほとんど化石エネルギーを必要としないため。)	中(脱水機のための。)	大(脱水機と乾燥機の運転が必要のため。)	大(脱水機とコンポスト化装置の運転が必要のため。)	大(脱水機と炭化装置の運転が必要のため。)
保存性	中(乾燥しているが、易分解性有機物を含んでいるため。)	不良(含水率が高く、腐敗しやすいため。)	中(乾燥しているが、易分解性有機物を含んでいるため。)	良(易分解性有機物がほぼ分解されているため。)	良(有機物をほとんど含まず、安定しているため。)
土壌中の分解性	易分解性有機物を含み、急速な分解の可能性がある。	易分解性有機物を含み、急速な分解の可能性がある。	易分解性有機物を含み、急速な分解の可能性がある。	発酵過程で易分解性有機物の分解は終了し、急激な分解は起こらない。	ほとんど分解は起こらない。

た、処理中に70~80℃まで温度が上がり病原菌が混入した場合でも死滅が期待できるコンポスト化過程とは異なり、病原菌の残存の可能性が懸念される等の問題がある。そこで、本報では、天日乾燥技術の実態を事例的に調査した結果及び留意点を見出すために行った実験結果をとりまとめた。

本報は農業工学研究所の交付金研究「天日乾燥による簡易な汚泥乾燥技術の開発」と農村振興局からの受託研究「農業集落排水新技術開発に関する研究」の成果の一部である。現地調査に当ってご協力頂いた農業集落排水施設の維持管理担当者の方々に感謝申し上げます。

天日乾燥施設

1 天日乾燥の歴史

天日乾燥は下水処理施設から出る汚泥を脱水する方法として、19世紀後半には英国において行われ始めており、1960年代までは一般的な汚泥の脱水方法であった。しか

し、天日乾燥による脱水法は(1)労働集約型である、(2)天候に左右される、(3)悪臭が発生することがある、(4)乾燥汚泥の性状をコントロールできない、(5)広い土地が必要である、などの問題があり、脱水機の性能が向上するとともに機械脱水にシフトしていった(CIWEM, 1999)。日本では、初期の排水処理において、大部分の下水汚泥が海洋投棄され、わずかに数都市で天日乾燥していたにすぎなかった(大口, 1996)。

農業集落排水事業においては、平成2年に愛知県豊橋市の施設が設置されて以来、東海地方を中心に10施設ほど稼働している。岐阜県ではドロコロジーという運動を展開し、集落排水汚泥の有効利用を推進しており、天日乾燥がそのメニューの一つとして位置付けられている(岐阜県, 2002)が、全国的に見ると、農業集落排水汚泥の処理形態としては、主流とは言えない。

2 天日乾燥の概要

農業集落排水施設における一般的な天日乾燥の流れ及び

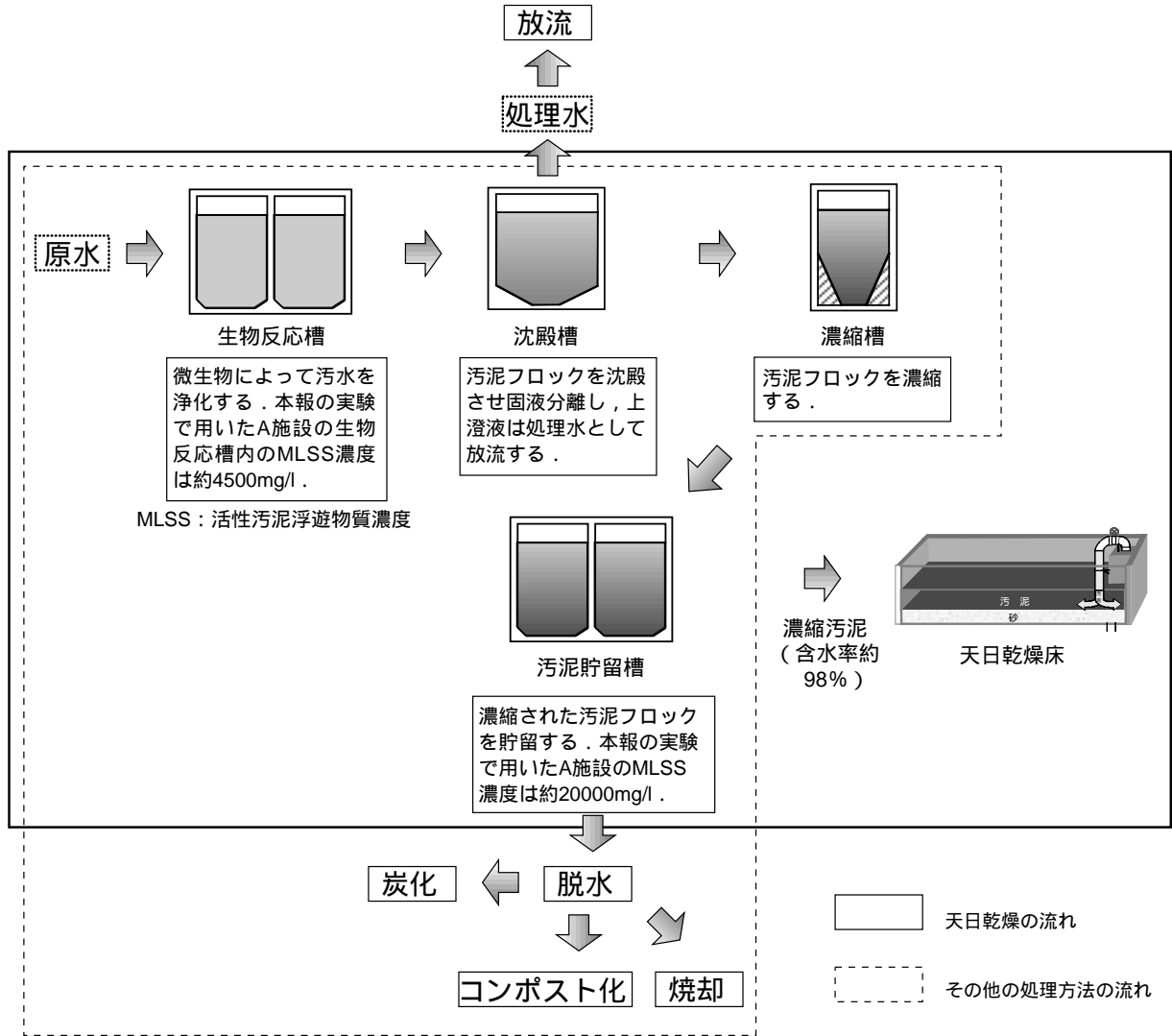


Fig.1 天日乾燥の流れ及びその他の処理方法での流れ
Flow of solar drying system and other conditioning processes

その他の処理方法の流れをFig.1に、天日乾燥床の模式図をFig.2に示す。沈殿槽から引き抜かれた余剰汚泥は濃縮された後、管路を通して天日乾燥床に投入される。天日乾燥では、その他の処理方法と異なり、脱水を行わない。投入時の汚泥の厚さは約20cmである。天日乾燥床は最上層から粗砂層、砂利層があり、砂利層の下部に傾斜をつけて、パイプによる暗渠排水となっている。投入された汚泥は粗砂層でろ過され、汚泥中の浮遊物質が砂上に残り、ろ過水は処理槽に返送される。汚泥はその後、含有水分の下層への浸透と汚泥表面からの蒸発により脱水され、含水率が10～20%程度に下がった時点で回収され、農地還元される。

天日乾燥の実態調査

1 方法

U施設（接触曝気法）とO施設（回分式活性汚泥法）の

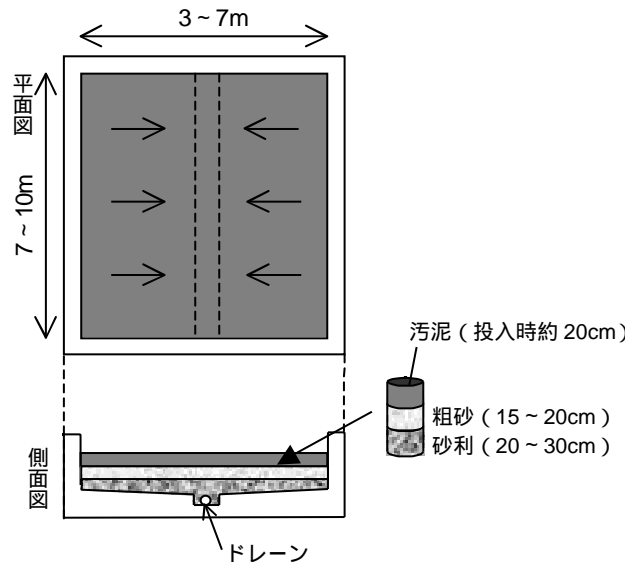


Fig.2 天日乾燥床の概略図
Natural drying facility of sludge with drying bed

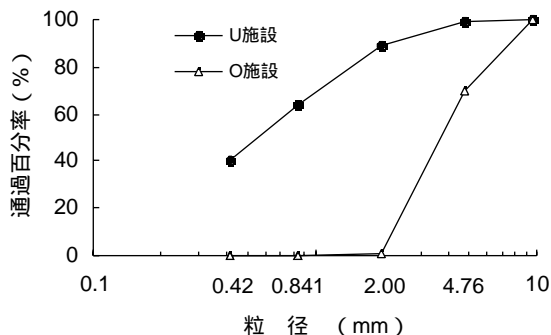


Fig.3 乾燥床最上層の砂の粒径加積曲線

Sand size accumulation curve of surface sand at U and O-Facilities

Table 2 施設の基礎データ (U施設, O施設)
Fundamental data at U and O-Facilities

	U施設	O施設
汚水処理量 (m ³ /年)	203255	82771
汚泥発生量 (m ³ /年) (うち天日乾燥したもの)	258.2 (189.2)	200.1 (200.1)
天日乾燥汚泥製造量(kg)	12455	6428
天日乾燥床一床あたりの面積 (m ²)	51.1	73.5
天日乾燥床の数	3	3

天日乾燥施設 (乾燥床数床, 屋根付き, 側壁なし) において, 実態調査を実施した。調査項目は天日乾燥施設における汚泥含水率の変化, 乾燥汚泥の成分分析であり, 2002年7月から2003年3月にかけて, それぞれの施設について3回づつ行った。施設の基礎データをTable 2に, 最上層の砂の粒径加積曲線をFig.3に示す。含水率の測定は下水汚泥分析方法 (社団法人 日本下水道協会, 1996) に準じて求め, 解析に用いた気温は近傍のアメダスデータを使用した。また, 施設管理者に対して聞き取り調査を実施した。

2 乾燥過程の含水率変化

Fig.4, Fig.5は, それぞれU施設, O施設において濃縮槽から引き抜いた汚泥を乾燥床に移送してからの含水率の変化である。投入直後の汚泥の厚さは約12~15cmであり, 乾燥には3~8週間を要した。Fig.4で含水率が再上昇している箇所があるが, これは乾燥床へ雨が吹き込んだためである。乾燥第1週における含水率の季節的变化は顕著ではない。しかし, 2週間後以降では乾燥速度に差が生じている。これは初期の段階では浸透による脱水が主であるのに対し, それ以降は蒸発が主であるため, 季節による差 (気温差による影響) が出たものと考えられる。含水率を20%にまで低下させるのに要した日数とその期間の平均気温の関係をFig.6に示す。平均気温が高いほど乾燥速度が大きくなっており, 気温の影響が大きいことが明らかである。蒸発速度は気温の他に風, 湿度などさまざまな環境

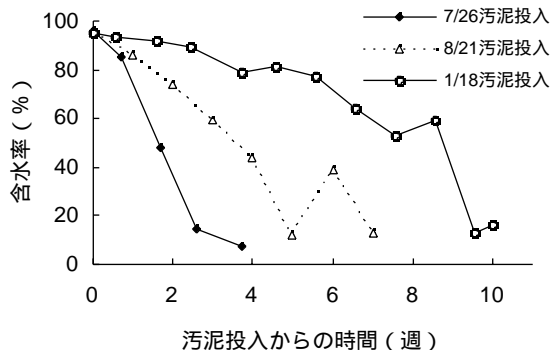


Fig.4 含水率の変化 (U施設, 2002年度)
Change of water content (U-Facility)

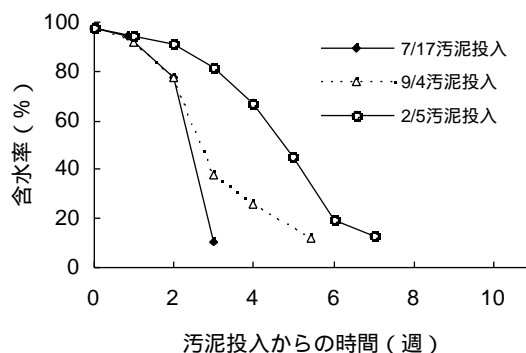


Fig.5 含水率の変化 (O施設, 2002年度)
Change of water content (O-Facility)

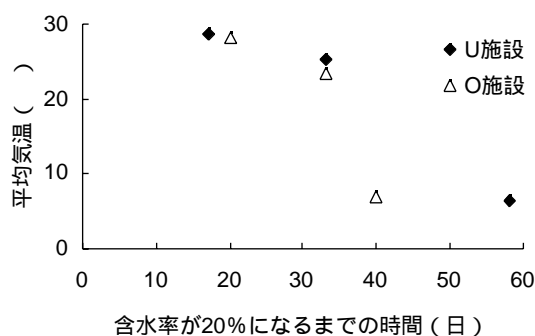


Fig.6 気温と乾燥速度の関係

Relationship between temperature and drying speed

因子の影響を受ける。脱水性向上のためには, 乾燥の初期においては浸透量を大きくすること, 後期には蒸発を早めるための工夫が重要であると考えられる。

3 汚泥の含有成分

Table 3にU施設, O施設及び後述の乾燥実験で用いたA施設の乾燥汚泥の含有成分分析結果, 参考として, し尿処理施設から発生する汚泥の含有成分の全国平均値 (有機質資源化推進会議, 1997), 肥料取締法による重金属の基準値及び全国農協中央会によるCu, Znの推奨基準値を示す。製品としての乾燥汚泥の含水率は10~13%程度となっている。カドミウム, 鉛などの重金属成分は肥料取締法

Table 3 天日乾燥汚泥の含有成分
Constituents of naturally dried sludge

施設 (試料採取日)	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cu (mg/kg)	pH (20)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	C (%)	C/N 比	大腸菌群数 (個/g)
U施設(02/8/22)	<1	540	7	11	2.2	0.64	210	6.5	25000	21000	3000	32.3	12.9	2.4 × 10 ⁵
U施設(02/10/9)	1	820	22	31	2.5	0.31	490	6.4	25000	21000	2400	31.1	12.4	2.4 × 10 ⁴
U施設(03/3/29)	1	880	18	32	2.5	0.34	440	7.1	30000	32000	1900	34.6	11.5	3.3 × 10 ³
O施設(02/8/13)	<1	1000	6	20	2.6	0.51	580	5.8	40000	30000	1200	35.2	8.8	1.3 × 10 ⁴
O施設(02/10/12)	1	530	18	19	1.9	0.42	250	5.4	44000	31000	850	36.6	8.3	1.3 × 10 ⁵
O施設(03/3/26)	<1	480	4	15	2.3	0.34	170	6.2	57000	27000	3200	40.9	7.2	3.3 × 10 ²
A施設 (02/9/13)	<1	430	5	15	1.5	0.17	370	6.7	37000	28000	1400	30.3	8.2	-
A施設 (02/10/29)	<1	280	7	11	2	0.24	340	6.0	22000	10000	1300	17.1	7.8	-
A施設 (03/1/20)	<1	600	12	15	4.8	0.14	570	6.8	85000	31000	4100	39.1	4.6	-
し尿処理汚泥の 全国平均値	2.66	468	12.9	12.1	4.81	0.82	146	7.13	51200	47700	5100	54.3		
許容最大量	5	1800	100	500	50	2	600							

(注) 許容最大量は肥料取締法が定める基準値。Cu, Znについては全国農協中央会による推奨基準値。

の定める基準値を下回っており、し尿汚泥の平均値に比べても低い値を示している。肥料成分である窒素、リン、カリウムの値を見ると、し尿汚泥の傾向と同様にカリウムの割合が窒素、リンに比べて小さいことがわかる。糞便性大腸菌群数については後述するが、米国環境保護庁(U.S.EPA)が定める安全基準がある(U.S.EPA, 1999)。Table 3に示す分析結果は大腸菌群数であり、直接比較することはできないが、大腸菌等の細菌が乾燥に対しても耐えうる可能性があることを示している。

4 聞き取り調査

聞き取り調査より、以下のことが明らかになった。

汚泥の引き抜きは月一回程度である。

汚泥を貯留層から乾燥床へ移送するための作業はバルブの開閉だけで管理作業の負担増にはほとんどならない(乾燥床一床あたり約15分)。

施設内の作業の中で乾燥床からの乾燥汚泥の回収作業が最も作業性が悪い。

乾燥汚泥を使用する耕種農家にとっては散布作業が大変である。

汚泥への砂の付着が商品価値を下げている。

以上より、乾燥汚泥の回収作業、農地還元時の散布作業の作業性改善が必要であることがわかった。

汚泥の乾燥実験

1 実験目的及び条件

実態調査の結果を踏まえ、以下の目的で実験を行った。また、天日乾燥汚泥の性質を調べるために、乾燥過程での有機物の分解性についても実験を行った。

汚泥回収作業性の向上を目的とした回収シートの探索。

蒸発を促進する乾燥法の検討。

乾燥過程での有機物の分解性の把握。

乾燥過程での糞便性大腸菌群数の変化の把握。

実験は平成15年5月から12月にかけて、農業工学研究所内に実験装置を設置して行った。実験にはA地区農業集落排水処理施設(OD法)の汚泥貯留層から採取した濃縮汚泥を使用した。使用した汚泥の性状はTable 4のとおりである。ここで、MLSSは活性汚泥浮遊物質濃度、MLVSSは活性汚泥有機性浮遊物質濃度である。実験装置は天日乾燥床を模したFig.7に示す装置を使用した。実験装置は側壁のないビニールハウスに設置し、風通しはよいが、雨は吹きこまない条件で実験を行った。砂利(20mmのふるいをとおり4.75mmのふるいに残るもの)、粗砂(粗砂の粒度分布はFig.8に示す)はそれぞれ3.5kg、5kg用いて砂層を作成した。その際、ふるいをうい、一定高さから砂をまくことにより、砂層の条件を一定にした。粗砂の粒度分布はU施設、O施設の中間の分布になるように設定した。投入汚泥量は10L、面積負荷(砂る床単位面積あたりにかかる汚泥の固形物量)は約1.24kg/m²とした。この面積負荷は実施施設の約半分である。

2 シート使用による乾燥への影響

回収作業の効率化、高含水率汚泥の回収、汚泥への砂付

Table 4 実験に用いた汚泥の基礎データ
Fundamental data of sludge

	平均値	標準偏差
含水率(%)	98.2	0.06
強熱減量(%)	76.1	0.41
MLSS(mg/l)	17400	1970
MLVSS(mg/l)	13400	1530

MLSS: 活性汚泥浮遊物質濃度

MLVSS: 活性汚泥有機性浮遊物質濃度

測定回数7回。

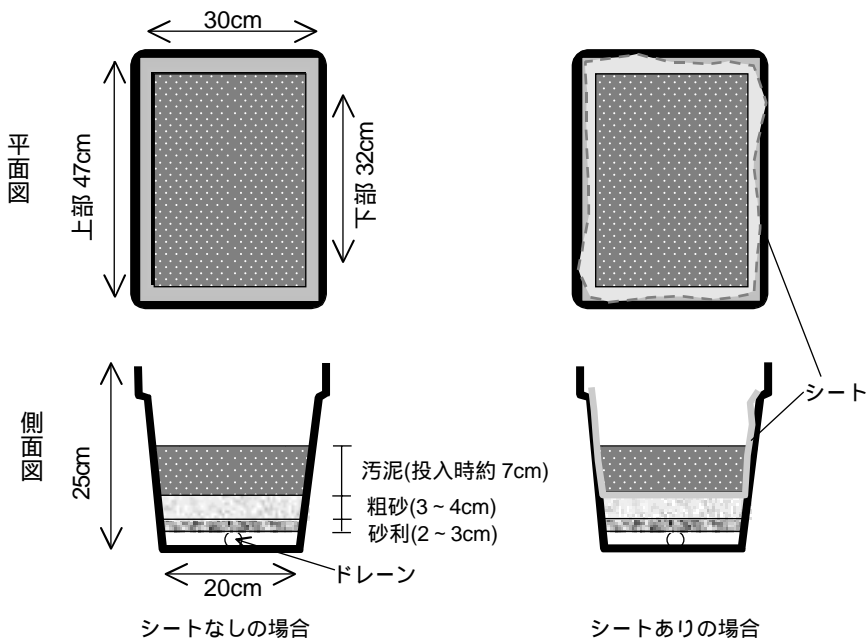


Fig.7 実験装置の概略図

Structure of experimental sand filter system

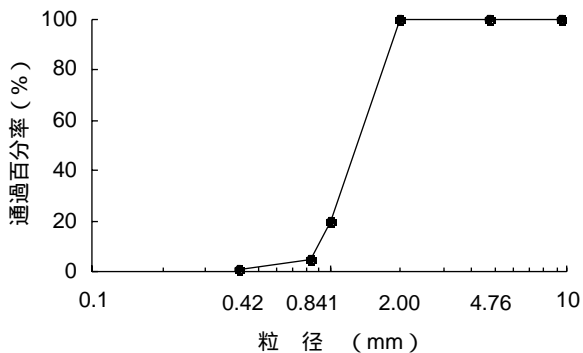


Fig.8 実験に用いた粗砂の粒径加積曲線

Sand size accumulation curve of surface sand used in experiment

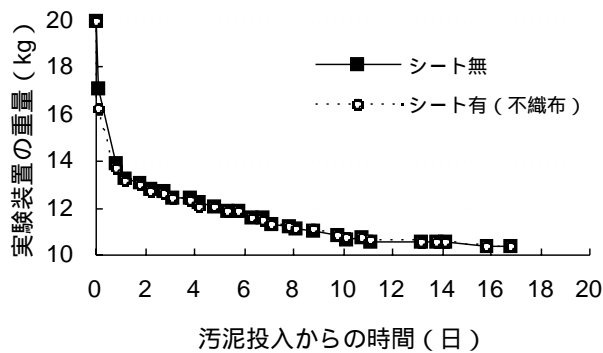


Fig.9 シートの有無による乾燥への影響

Influence on drying by sheet

着防止,をはかるため,乾燥床と汚泥の間にシートを敷いて,回収作業の効率化をはかった。シートを敷くことにより,天日乾燥床の汚泥を速やかに集めることができ,回収作業の能率が上がる。シートが備えておかなければならない条件としては 浸透を妨げないこと, 汚泥を吸収せず,汚泥とからみつかないこと, ある程度の強度があること, 安価なこと,があげられる。種々の資材を試したところ,

農業用マルチングに用いられるポリエステル製不織布が最もよく上記の条件を満たしていることがわかった。

そこで,乾燥床と汚泥の間に不織布を敷いた場合と敷かない場合の乾燥への影響を確認した。汚泥の採取による影響を避けるため,乾燥過程は含水率ではなく,実験装置全体の重量を測定するにより間接的に把握した。

Fig.9に不織布の有無別の乾燥状況を示す。不織布を敷くことによる浸透,蒸発への影響はなく,不織布を用いない場合と同様の乾燥過程をたどった。不織布がフィルター

の働きを果たすので,汚泥中の固形分はほぼ不織布上に残る。そのため,現場の実態調査で見られたような汚泥に砂が付着する状態にはならなかった。また,砂層に汚泥が混入しないので,砂の取り替え,洗浄回数を減らすことができる。含水率が20%前後まで乾燥した時,不織布と汚泥が多少からみつく場合があるが,浸透過程が終了した直後の含水率が90%前後から蒸発過程が進んで50%程度の汚泥を回収する場合には問題にならない。また,耐久性についての検討は行っていないが,ポリエステル製不織布はある程度は繰り返し利用できる。

3 蒸発を促進する乾燥法の検討

水分の蒸発には様々な要因が考えられるが,その一つに汚泥の空気接触面積の影響が考えられる。一般的に空気に触れる表面積が大きい方が蒸発は速い。汚泥を破碎すると,空気露出面積を大きくすることができる。その効果を調べ

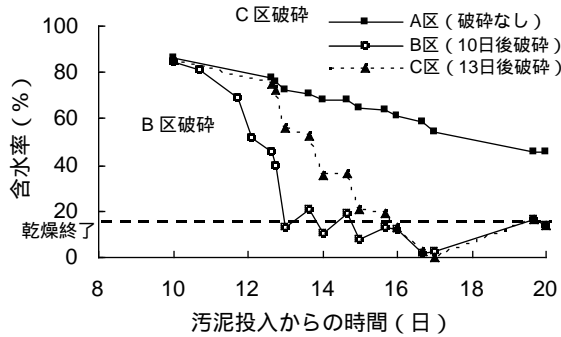


Fig.10 破碎による乾燥への影響 (2003.8-2003.9)
Influence on drying by breaking of sludge

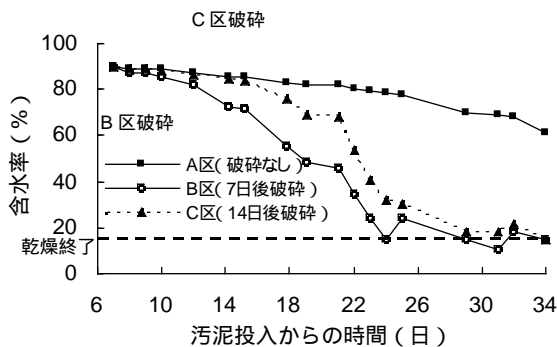


Fig.11 破碎による乾燥への影響 (2003.11-2003.12)
Influence on drying by breaking of sludge

るための実験を行った。3つの実験装置を用意し、汚泥を破碎しないものをA区、10日後に破碎したものをB区、13日後に破碎したものをC区とする。ここでいう破碎とは、乾燥途中の板状の汚泥を葉さじで切断、分割し、それぞれの破片が角砂糖ほどの大きさすることである。それぞれの汚泥について乾燥過程の違いを測定した。含水率は測定した各測点の汚泥重量から、投入汚泥量、汚泥濃度、乾燥終了時の含水率を用いて換算し、求めた。低含水率のところ、含水率の値が安定していないが、これは低含水率域では重量の変化に対する含水率の変動が大きいためである。重量で見るとほぼ一定の値となっている。

Fig.10は2003年8月～9月に行った実験の結果で、A区、B区、C区での汚泥の乾燥過程を示し、含水率の変化がほとんどなくなった、含水率15%を乾燥終了としている。B区、C区とも破碎なしのA区に比べ、破碎直後に急激な乾燥が進んでおり、破碎による乾燥促進効果が大きいことがわかる。また、B区とC区を比較すると、破碎する時期の早いB区の方が乾燥が速く、乾燥が早く終了している。このことより、比較的早期に汚泥を破碎することが乾燥促進に有効であることが確かめられた。

また、Fig.11は同様の実験を2003年11月～12月に行った結果である。8月～9月の結果ほど明瞭ではないが、同様の乾燥促進効果が見られた。浸透による脱水が完了し、含水率が90～70%程度になった時、汚泥は固めのゼリー

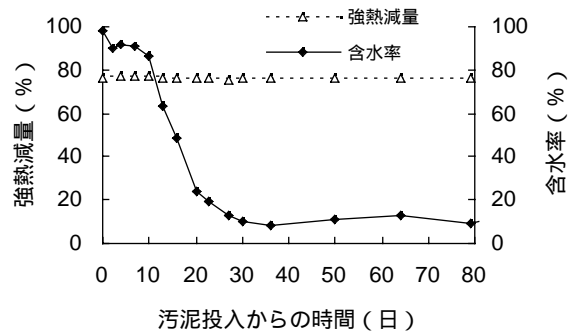


Fig.12 乾燥過程での強熱減量の変化
Change of ignition loss during drying

のような性状であり、人力での破碎作業が容易で、時間がかからない。

4 乾燥過程での強熱減量の変化

乾燥過程での有機物の分解特性を確認するために、乾燥過程の汚泥を定期的に採取し、その強熱減量を測定した。強熱減量は有機物含量を示す指標であり、乾燥試料を600℃で1時間強熱灰化した際の重さの減量で、試料中に含まれる有機物の含有量を示す指標である。測定法は下水汚泥分析方法(社団法人 日本下水道協会, 1996)を用いた。なお、汚泥投入から20日目に汚泥の含水率が20%を切った時に汚泥を乾燥床から取り出し、引き続き強熱減量の測定を行い、保存性の検討を行った。その間、汚泥は実験装置を設置しているビニールハウス内で保存した。

Fig.12は乾燥過程での強熱減量の変化である。強熱減量がほとんど変化していないことから、乾燥過程において有機物の分解はほとんど起こらないことがわかる。この状況をコンポスト化の場合と比較するため、S村堆肥センターにおけるコンポスト化過程の0日目から15日目について強熱減量を測定した。その結果をFig.13に示す。この堆肥センターではコンポストの主原料に脱水汚泥、副資材に粉殻、刈草を用いているが、副資材の影響を小さくするため、0.85mmのふるいを通過したものについて強熱減量を測定した。コンポスト化過程では強熱減量が59.3%から51.7%に減少している。このことから、乾燥汚泥と汚泥コンポストの違いは有機物の分解の有無にもあることが確認できた。また、乾燥汚泥では保存期間中も強熱減量の減少が起きていないことから、含水率を低く保てば、有機物の分解が起こらないことがわかった。天日乾燥汚泥は未分解の有機物が残存しているため、農地還元時に急激な分解を起こし、作物に悪影響を及ぼす可能性がある。施用から作付けまではある程度時間をとる方が無難である。

5 糞便性大腸菌群数の変化

糞便性汚染の指標微生物である糞便性大腸菌群数を測定した。乾燥過程で定期的に汚泥を採取し、寒天培地による

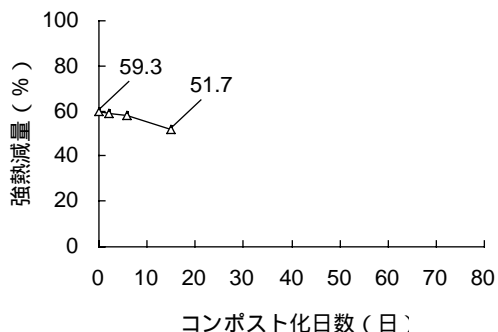


Fig.13 コンポスト化過程での強熱減量の変化
(S村堆肥センター)

Change of ignition loss during composting

平板法を用いて、糞便性大腸菌群数を測定した。米国環境保護庁では下水汚泥の利用に関する基準を定めている (U.S. EPA, 1999)。その中で汚泥を用途の制限なしに農業再利用できる安全基準として、クラスA規制 (糞便性大腸菌群数が乾燥汚泥重量 1gあたり1,000個以下) がある。これを満たさない場合はクラスB規制 (同2,000,000個以下) があり、この場合は汚泥施用後一定期間の農作物収穫禁止等の汚泥施用地制限規制を満足させなければならない。実験室内における汚泥の乾燥過程での糞便性大腸菌群数の変化については48日後に米国環境保護庁のクラスA規制を満たしたことが報告されている (Ueda et al., 2002)。

本研究では天日乾燥床を模した屋外の実験装置での変化を測定した。乾燥過程での糞便性大腸菌群数の変化は Fig.14のとおりである。乾燥過程で糞便性大腸菌群数は増加しないが、ほとんど減少しなかった。本研究の結果ではクラスB規制は満足したが、クラスA規制は満足しなかった。Ueda et al.の実験とは実験条件、試料として用いた汚泥が異なるので、実験結果の違いを説明することができない。同じ汚泥を用いて、実験室内と屋外で実験を行う等の調査が必要である。

6 天日乾燥法の改良案

天日乾燥法の改良案として、Fig.15に示すような方法を提案する。汚泥と粗砂層の間に天日乾燥床の面積より少し大きめポリエステル製不織布を敷くことにより、回収作業の作業性を向上させる。汚泥の含水率が90~80%程度になった時点 (1~2週間後程度) で汚泥を乾燥床からコンクリート床に移動させ、破碎により表面積を大きくする。このことにより、蒸発が促進され、乾燥時間を短縮することができる。この程度の含水率では汚泥は柔らかい状態であるため、スコップのようなものを用い、人力で容易に破碎でき、機械は不必要である。この改良案により回収作業性の向上、乾燥期間の短縮、破碎作業の簡易化がはかれる。不織布により汚泥層と砂層が直接接しないので、乾燥

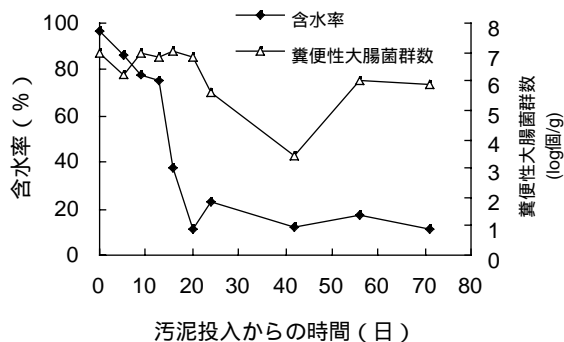


Fig.14 乾燥過程での糞便性大腸菌群数の変化
Change of fecal coliforms

汚泥への砂の混入を防止できる。また、不織布はある程度の強度をもっているため簡単には破れず、繰り返し使用できる。

実施施設の乾燥床面積、汚泥投入量から計算すると、乾燥床一床あたり、含水率85%で1.36~1.96t、同15%で0.24~0.35tである。高含水率状態で取り出すほど乾燥が速くなるが、取り出す汚泥の重量が大きくなり、労力が増すという問題がある。負担が大きい場合には、乾燥床でもう少し脱水させ、含水率を下げた後に取り出す等の対応が必要である。

結 言

本研究では農業集落排水汚泥の天日乾燥技術について現地調査及び実験を行った。得られた結論を以下にまとめる。

天日乾燥施設の実態調査より、低温期の乾燥速度が遅く、施設規模の限定要因になっている、天日乾燥汚泥の成分はカリウムの割合が窒素、リンに比べて小さい、汚泥の農地への施用作業性が悪い、という結果が得られた。

ポリエステル製不織布を用いることにより、回収作業性が向上し、汚泥への砂の付着防止、汚泥混入による砂層の汚れ防止に効果があった。

乾燥途中に汚泥を破碎し、空気接触面積を大きくすることによる蒸発促進効果が確かめられた。天日乾燥においては低温期の乾燥速度が施設の処理速度の限定要因になるが、汚泥を破碎することにより改善される。砂層への浸透過程終了後、速やかに破碎することが最も効果的である。

Fig.15に示すように、汚泥と粗砂層の間にポリエステル製不織布を敷き、乾燥床からの1~2週間後程度の早期の取り出し、破碎を行うことにより汚泥の乾燥が早まる。そのため、乾燥床の使用時間が減少し、結果として、乾燥施設の回転率がよくなる。このことは乾燥施設利用の安定性、管理の柔軟性を高めることにつながる。また、発生汚泥量への対応を容易にするとともに、施設設計に関しては、コンクリート床の面積が必要になるが、設置

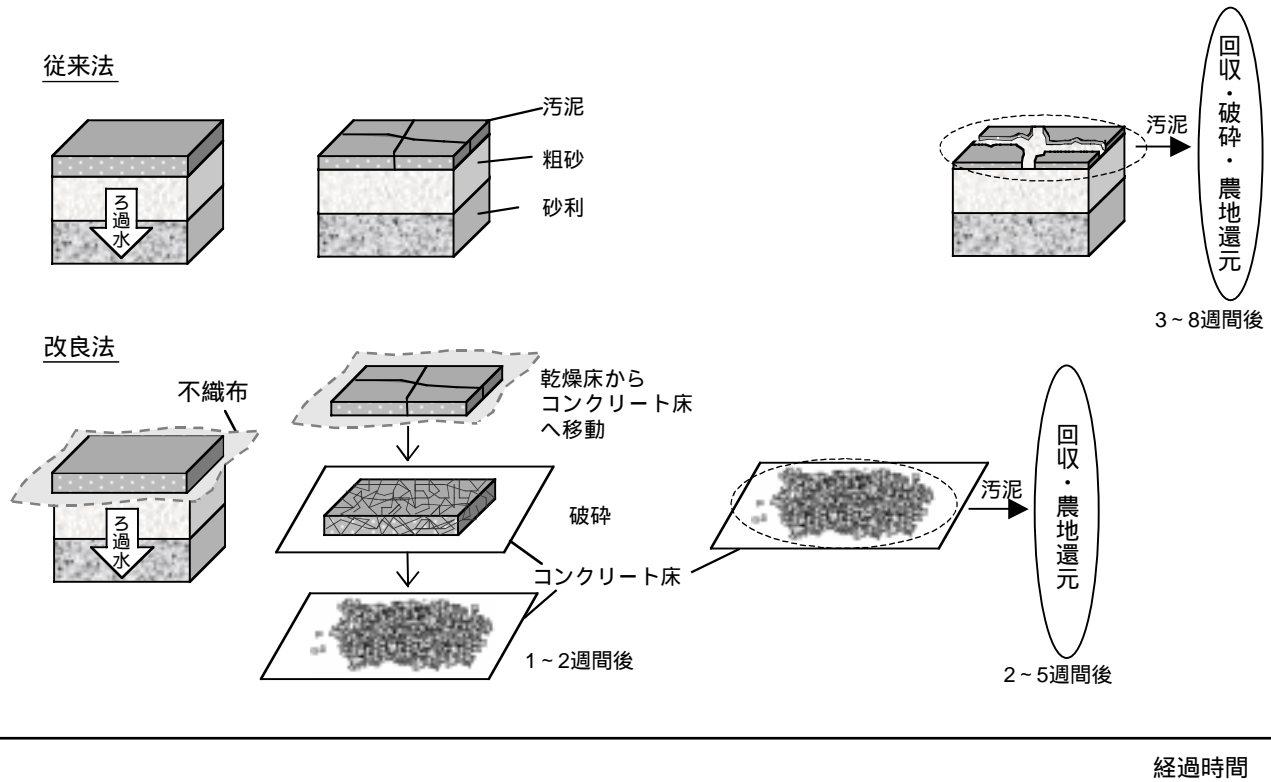


Fig.15 天日乾燥法の改良案
Improvement of natural drying process

コストの高い乾燥床面積を小さくできる。

天日乾燥過程ではコンポスト化とは異なり、有機物の分解が進まず、農地還元時に有機物の分解に注意する必要があることがわかった。

天日乾燥後の糞便性大腸菌群数は米国環境保護庁のクラスB規制（糞便性大腸菌群数が乾燥汚泥重量1gあたり2,000,000個以下）は満たしたが、A規制（同1,000個以下）までは満足しなかった。各々の施設で実態調査を行った上で、必要があれば生石灰と混合してpHを上げ減菌する等の対策が必要である。この場合、pHが高くなるので、施用可能な農地は限定される。

参考文献

- 1) CIWEM (1999) : Handbooks of UK Water Practice Sewage Sludge Conditioning, Dewatering, Thermal Drying and Incineration, The Chartered Institution of Water and Environmental Management, 55-56
- 2) 岐阜県 (2002) : ドロコロジーのすすめ, 3
- 3) 端憲二・山岡賢 (1996) : 汚泥自然乾燥のすすめ, 農士誌64(6), 45-48
- 4) 大口太郎 (1996) : 有機性スラッジの乾燥・燃焼, 用水と排水, 8(5), 51-56
- 5) 社団法人 日本下水道協会 (1996) : 下水汚泥分析方法改訂増補版, 7
- 6) 社団法人 日本下水道協会 (1996) : 下水汚泥分析方法改訂増補版, 9
- 7) 社団法人 日本農業集落排水協会 (2003) : 農業集落排水汚泥利用マニュアル(案), 1
- 8) 社団法人 日本農業集落排水協会 (2003) : 農業集落排水汚泥利用マニュアル(案), 117-129
- 9) Ueda T., Hata K., Honma S. and Yamaoka M. (2002): Direct Air Drying of Excess Sludge for a Membrane Bioreactor, The 3rd IWA World Water Congress, Melbourne, 9 p.
- 10) U.S. EPA (1999) : Environmental regulations and technology : control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, EPA/625/R-92/013, U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, USA, 26-42
- 11) 山岡賢・端憲二 (1994) : 集落排水汚泥の農地還元に関する課題と研究方向, 農工研技報, 189, 55-74
- 12) 山岡賢・凌祥之 (2003) : 集落排水汚泥の農地還元に関する都道府県の指導指針についての調査結果, 水と土, 134, 62-70
- 13) 有機質資源化推進会議 (1997) : 有機廃棄物資源化大事典 166-167 (日本環境整備センター (1993) : 合併処理浄化槽による生活排水処理の高度化・安定化に関する研究)

Natural Drying of Rural Sewage Sludge with a Drying Bed System

NAKAMURA Masato and YUYAMA Yoshito

Summary

The annual amount of sludge generated in small-scale rural sewage projects is about 600 thousand ton. At present, approximately only 20 % of the sludge is applied to agricultural fields.

There are several ways of conditioning sludge before application to agricultural field. In this study we focused on natural drying with a drying bed system. The drying bed system is almost free of maintenance cost. Chemicals and fossil energy are not required and the dried sludge can be directly applied to agricultural fields. On the other hand, this system has a problem with unstable periods during the drying process because the system depends on solar, wind and rainfall conditions. Therefore we investigated the characteristics of drying the sludge at practical treatment facilities. Techniques to accelerate dehydration and to improve handling of sludge were also examined.

The results of these experiments indicate that inserting polyethylene non-woven fabric between sludge and the sand filter, then taking out the sludge after one or two weeks and breaking the sludge on concrete have three benefits; 1) shortening dehydration time, 2) improvement of handling, 3) obtaining sludge without sand.

Keywords : Renewable Resources, Natural Drying, Application to Agricultural Fields, Cost saving, Fecal Coliforms, Drying Bed