畜産排水高度処理からの回収資材を活用した堆肥造粒技術

長谷川輝明¹・田中康男²

¹ 千葉県畜産総合研究センター，八街市 289-1113

² (独)農研機構畜産草地研究所，つくば市 305-0901

(2014. 4. 11 受付, 2014. 6. 11 受理)

要 約 畜産排水高度処理から回収した資材を造粒用結着材として，汎用簡易攪拌機を用いて牛糞堆肥を造粒する手法について試験した．結着材には，高度処理試験施設で，養豚排水の活性汚泥処理水からリン酸，色，大腸菌群を低減する用途で添加した非晶質ケイ酸カルシウム水和物（CSH）を回収して使用した．この回収物は，リン酸が吸着した CSH で，粘性を有するスラリーである．原料堆肥には 1 mm 以下に篩分けした 2 kg の牛糞堆肥（水分 31.8%）を用い，コンクリートミキサー（容積 140 L）に投入した．続いて，回収 CSH スラリー 0.2 L を 5 分間隔で逐次添加し，顕著な造粒が生ずるまで攪拌を行った．その結果，回収 CSH スラリー添加量 1.6 L で，粒径 5～30 mm の造粒堆肥が製造できた．また，風乾後の造粒堆肥の強度を硬度計で測定したところ，0.40～0.78 kg/cm² だったことから，ブロードキャスターで散布できる可能性が示唆された．

日本畜産学会報 85 (3), 351-355, 2014

家畜糞堆肥は，地力の維持増進を図る土壌改良資材であるとともに，化学肥料の代替効果も期待できることから，環境保全型農業を促進する上では重要な資材である．しかし，堆肥の施用にあたっては，ハンドリングの悪さや，肥料成分の不安定さが指摘されており，耕種農家が堆肥を利用する上で障害となっている（農林水産省大臣官房情報課 2005）．

堆肥のハンドリングを改善する手法の 1 つに成型化が推奨されており，ペレット化に関する報告が多くみられる（岐阜県畜産試験場ら 1997；武内と中西 1999）．ペレット化に用いられる成型機のタイプには，低水分原料での成型に適したディスクペレッター方式と高水分含量でも成型可能なエクストルーダー方式の 2 種類に大別される．これらの成型機は，技術は確立されているものの高額であるため，なかなか農家導入に至っていない．そのため，近年ペレット化とは別に簡易成型化手法についても検討されている．成型機に攪拌機を用いて粒状の堆肥を製造する手法で，牛糞堆肥に市販のリグニン材を添加して攪拌することで粒状化する技術が報告されている（長谷川ら 2014a）．また，肥料性も付与した手法では，生豚糞に生石灰を添加して粒状化する技術（宮崎と大村 1997）や，鶏糞と生ごみを混合させた堆肥を原料に，脱臭廃液（硫酸アンモニウム）を添加して顆粒状の堆肥を製造する技術もある（伊藤と水川 2002）．施用の軽労化と同時に高機能が付与された堆肥が製造できれば，いっそうの流通促進を図ることが

期待できる．

そこで，ペレット化に代わる新たな成型化手法として，畜産排水の高度処理用に近年開発された資材（非晶質ケイ酸カルシウム水和物，略称 CSH；太平洋セメント，東京）を利用した処理プロセスから発生した使用済み資材を，堆肥造粒の結着材として利用する簡易な造粒手法について検討した．本資材は，ケイ酸質原料と石灰原料をもとに合成したものであり，カルシウムを 60% 含有する．通常のケイ酸カルシウムと異なり非晶質であることが大きな特徴で，リン酸の吸着効率が高い．CSH を畜産排水に添加することで，排水中のリン酸，色，大腸菌群の低減が図れ，CSH に吸着したリン酸は回収することができる（長谷川ら 2014b；Tanaka ら 2014）．高度処理に使用した後の CSH は，リン酸を含有することから，堆肥に肥料成分を付与する添加資材として活用することが期待できる．また，スラリー状で粘性を有する上に，乾燥により硬化するため，結着材として堆肥の造粒化が図れる可能性がある．排水処理プロセスからの回収資材であることから，コスト面でも有利と考えられる．

材料および方法

1. 結着材

結着材には，養豚農家の活性汚泥法浄化施設流出水の高度処理試験施設（長谷川ら 2014b；Tanaka ら 2014，図 1）で回収された CSH スラリー（造粒試験添加時の固形

連絡者：長谷川輝明（fax：043-445-5447，e-mail：t.hsgw58@pref.chiba.lg.jp）

図 1 高度処理試験施設の概要.

分濃度 8.2%) を用いた.

2. 原料堆肥

供試堆肥には、畜産草地研究所那須拠点で製造された牛糞堆肥を用いた。なお、造粒化の妨げとなる堆肥の塊や藁屑などの夾雑物は、1 mm メッシュの篩であらかじめ除去した。堆肥の水分は 31.8% である。

3. 造粒操作

攪拌には、市販のコンクリートミキサー (WPM70A, 140 L 容量, 回転ドラム直径 60 cm; 京和通商, 神奈川) を用いた。原料堆肥を 2 kg 投入し、回収 CSH スラリーを原料堆肥に散布し、ドラム回転数 23 rpm で攪拌した。試験では、回収 CSH スラリーの添加割合の影響を把握するために、攪拌時間 5 分間ごとに回収 CSH スラリー 0.2 L を追加添加して造粒状況を検討した。回収 CSH スラリーは最終的に 1.8 L まで添加した (総攪拌時間 45 分間)。

4. 分析方法

水分は 105°C 加熱乾燥法で測定した。回収 CSH は乾燥後、< 溶性リン酸 (C-P₂O₅)、< 溶性マグネシウム (C-MgO)、< 溶性カリウム (C-K₂O)、全酸化カリウム (T-K₂O)、全窒素 (T-N) を農林水産省が定めた肥料分析法 (農林水産省農業環境研究所 1992) により測定した。攪拌終了時の造粒堆肥は、JIS 標準篩 (メッシュは 1 mm 未満, 1~2 mm, 2~4 mm, 4~8 mm, 8~16 mm, 16 mm 以上の 6 段階) を用いて 10 分間篩別し、各篩に残留した堆肥の乾燥重量を測定して粒度分布を把握した。また、強度は、プレスサー (圧力計 THP-1U (改良型); 三喜製作所, 東京) を使用して造粒物に圧力をかけた際の崩壊時の値を測定した。

表 1 回収 CSH の含有成分 (乾物あたり)

C-P ₂ O ₅ (%)	C-MgO (%)	T-K ₂ O (%)	C-K ₂ O (%)	T-N (%)
9.12	7.37	0.95	0.88	1.06

結果および考察

回収 CSH の成分組成を表 1 に示した。回収 CSH には、C-P₂O₅ が 20% 以上含まれるとした報告 (長谷川ら 2014b) もあるが、今回使用した回収 CSH の含有率は 9.12% であった。含有率が低かった要因は、CSH 添加量に対する流入リン酸態リンの比 (P/CSH) が低い処理条件での回収物であったためと考えられる (Tanaka ら 2014)。

回収 CSH スラリーの各添加量における造粒状況を図 2 および表 2 に示した。原料堆肥 2 kg に対して、回収 CSH スラリー添加量 0.6 L で造粒が生じ始め、大きいもので粒径 20 mm の造粒堆肥が確認できた。以後、回収 CSH スラリー添加量が増すごとに、造粒物の粒径が大きくなる傾向が見られた。回収 CSH スラリー添加量 1.6 L で堆肥のほぼ全量が造粒化され、粒径 5 mm~30 mm の造粒堆肥が製造できた。

回収 CSH スラリー添加量 1.8 L では、粒径 8 mm~30 mm まで粒径が増大したが、水分過多の状態となり、攪拌機のドラム内面に堆肥が付着するようになった。

以上より、本手法では、回収 CSH スラリー添加量 1.6 L で造粒堆肥が製造できることが示された。この条件で製造した造粒堆肥の含水率は 63.0% であり、原料堆肥の現物重量あたりの回収 CSH スラリー添加割合は、現物換算で

堆肥造粒技術

図 2 各添加量における造粒状況.

表 2 堆肥の造粒状況

攪拌時間	5 分間	10 分間	15 分間	20 分間	25 分間	30 分間	35 分間	40 分間	45 分間
回収 CSH スラリー 添加量	0.2L	0.4L	0.6L	0.8L	1.0L	1.2L	1.4L	1.6L	1.8L
造粒堆肥の 粒径	1 mm 以下～ 5 mm	1 mm 以下～ 15 mm	1 mm 以下～ 20 mm	1 mm 以下～ 20 mm	1 mm 以下～ 20 mm	1 mm～20 mm	2 mm～30 mm	5 mm～30 mm	8 mm～30 mm
造粒堆肥の 性状	全体的に粉状の堆肥が多い。	主は粉状の堆肥である。5 mm 程度の造粒堆肥がわずかに見られる。	主は粉状の堆肥である。大きいもので 20 mm 程度の造粒堆肥が見られる。	主は粉状の堆肥である。徐々に造粒化の傾向にある。	主は粉状の堆肥である。造粒の大きさに変化は見られない。	1 mm 程度の造粒堆肥が多く見られる。	2 mm 程度の造粒堆肥が多く見られる。大きいものでは 30 mm 程度も見られる。	ほぼ全てが粒粒化される。5 mm～30 mm の造粒堆肥が見られる。	8 mm～30 mm の造粒堆肥が見られる。堆肥全体が水分過多となり、攪拌機の壁面に堆肥の接着が見られる。

表 3 供試材料および造粒堆肥の水分

	水分 (%)	乾物割合 (%)
原料堆肥	31.8	68.2
回収 CSH スラリー	91.8	8.2
造粒堆肥 ^(注1)	63.0	37.0

注 1) 回収 CSH スラリー添加量 1.6 L の条件で製造

80.0%, 乾物換算では 6.56% となる (表 3)。仮に堆肥 1 t を造粒化しようとした場合、回収 CSH スラリー添加量は 0.8 m³, 乾物換算で 65.6 kg CSH/t 堆肥となる。なお、回収 CSH スラリーは適度に希釈しても造粒効果を発揮する可能性がある。希釈して利用できれば、造粒堆肥の製造

図 3 造粒堆肥の粒度分布 (回収 CSH スラリー 1.6 L 添加時)。

量をさらに増やすことが可能になる。どの程度まで希釈できるかは今後の検討課題である。

回収 CSH スラリー添加量 1.6L で製造した造粒堆肥の粒度分布は、粒径 16mm 以上の割合が 71.1% と最も多く、次いで粒径 8-16mm が 28.3% で、8mm 未満は微量であった（図 3）。堆肥の施用においては、均一な散布性が求められることから、なるべく粒径の揃った造粒技術を確立させていく必要がある。堆肥散布では、主に化学肥料散布用機械であるブロードキャスターやライムソーが用いられる。粒径 16mm までの散布適正については報告（宮崎と大村 1997；長谷川ら 2014a）されているが、今回製造した粒径 30mm までの散布特性については今後検討する必要がある。なお、上記報告（長谷川ら 2014b）で機械散布に用いられたブロードキャスター（PS403 型：VICON 社、埼玉）では、堆肥散布の開口部が最大で約 60mm あるため、今回製造した粒径であれば一定の強度が確保できれば散布できる可能性がある。

次に、造粒堆肥の強度について検討した。造粒堆肥は、天日乾燥により水分 $8.1 \pm 1.3\%$ （平均 $\pm$ 標準偏差）まで調整を行った。この状態での造粒堆肥の強度を粒径ごとに測定したところ、 $0.40 \sim 0.78 \text{ kg/cm}^2$ の範囲となり、粒径が大きいほど強度は強くなることが示された（図 4）。強度と機械散布の関係については、ブロードキャスターを用いた散布試験で、強度値 0.40 kg/cm^2 以上の造粒堆肥の崩壊は少ないことが報告されている（長谷川ら 2014a）。そのため、回収 CSH スラリーを用いた造粒堆肥でも同様に、機械散布による崩壊は少ないものと考えられた。

以上の結果から、回収 CSH スラリーを結着材として、コンクリートミキサーを攪拌機に用いた堆肥の造粒化は可能であることが示された。回収 CSH スラリーを含有した造粒堆肥は、緩効性リン肥料成分である $\text{C-P}_2\text{O}_5$ を含む上に、化学肥料散布用機械で施肥できる可能性があるため、堆肥の需要喚起に寄与すると考えられる。なお、一般に、成型した堆肥は、形状の崩壊が少なく、長期間形状が維持されるため、硝酸化成が抑制され窒素無機化が遅いことが

報告されている（宮崎と大村 1998；荒木ら 2007）。施用にあたっては、基肥としての使用や速効性化学肥料との併用など、肥効特性に配慮した利用が必要となる。

また、今回の試験では、防疫上の問題により、試験実施場所には外部から堆肥を持ち込むことができなかったため、同一エリア内で入手可能な牛糞堆肥でしか試験ができなかった。回収 CSH スラリーを牛糞堆肥造粒に使用することも想定されるため、意味のある試験と考えるが、豚糞堆肥への適用も重要と考えている。現時点では、まだ豚糞堆肥での十分なデータは得られていないが、おが屑および籾殻を副資材として小型堆肥化試験装置で製造された豚糞堆肥を用いた予備的な試験を行ったところ、牛糞堆肥と同様の造粒に成功し（図 5）、その粒径は平均 7.1mm（標準偏差 1.4mm）であった。豚糞堆肥での詳細な試験は今後実施する予定である。

さらに、回収 CSH の特殊な性質として、放射性セシウムに対する吸着能が確認されている（田中ら 2014）。この性質は未使用の CSH には見られないことから、汚水の高度処理に使用することで成分組成が変化し吸着能が発現するものと考えられる。この性質が施用後の土壤中放射性セシウムの挙動に何らかの影響を及ぼすか否かについては今後の検討課題である。

今回の手法を実用化するためには、省力的かつ連続的に

図 5 回収 CSH スラリーと攪拌機を用いた豚糞堆肥造粒。

図 4 粒径別に見た造粒堆肥のプレスサーによる崩壊時の圧力。

造粒堆肥を製造できるシステムを構築する必要がある。このため、コンクリートミキサーを利用して、連続的に造粒堆肥が製造可能な簡易システムについてさらに検討を行う予定である。

文 献

- 荒木雅登, 山本富三, 小山 太, 満田幸恵. 2007. 家畜ふん堆肥の成型が窒素無機化に及ぼす影響. 福岡県農業総合試験場研究報告 **26**, 31-34.
- 岐阜県畜産試験場, 栃木県農業試験場, 三重県農業技術センター, 愛知県農業総合試験場. 1997. 家畜ふん尿堆肥の成型及びブレンドによる高付加価値化技術の確立. 平成 6~8 年度地域重要新技術開発促進事業研究成果報告書, pp. 1-142. 岐阜県畜産試験場, 岐阜.
- 長谷川輝明, 杉本清美, 細谷 肇. 2014a. モルタルミキサーを利用した牛ふん堆肥の造粒技術の検討. 日本畜産環境学会誌 **13**, 36-43.
- 長谷川輝明, 杉本清美, 明戸 剛, 三浦啓一, 美濃和信孝, 山下恭広, 田中康男. 2014b. 畜舎排水の高度処理に適した非晶質ケイ酸カルシウム水和物 (CSH) の開発. 日本畜産学会報 **85**, 329-336.
- 伊藤 元, 水川 誠. 2002. 堆肥化施設から発生する臭気の薬液脱臭とその廃液のリサイクル. 関東東海北陸農業研究成果情報 **1**, 4-5.
- 宮崎成生, 大村裕顕. 1997. 生石灰処理による豚ふんの粒状肥料化 (第 1 報) 製造方法及び製品の性質. 栃木県農業試験場研究報告 **46**, 19-28.
- 宮崎成生, 大村裕顕. 1998. 生石灰処理による豚ふんの粒状肥料化 (第 2 報) 畑作物への施用効果. 栃木県農業試験場研究報告 **47**, 29-36.
- 農林水産省大臣官房情報課. 2005. 平成 16 年度農林水産情報交流ネットワーク事業: 家畜排せつ物たい肥の利用に関する意識・意向調査結果. 農林水産省, 東京; [cited 3 June 2014]. Available from URL : <http://www.maff.go.jp/j/finding/mind/pdf/20050119cyosa.pdf>
- 農林水産省農業環境研究所. 1992. 肥料分析法. 日本肥糧検定協会, 東京.
- 武内徹郎, 中西隆男. 1999. ペレット化による堆肥の高付加価値化試験. 徳島県畜産試験場研究報告 **40**, 100-103.
- 田中康男, 三浦啓一, 明戸 剛, 美濃和信孝, 戸田雅也, 長谷川輝明. 2014. 養豚廃水の高度処理に使用後回収した非晶質ケイ酸カルシウム水和物による非放射性セシウム, ストロンチウム, および放射性セシウムの収着. 日本畜産学会報 **85**, 179-185.
- Tanaka Y, Hasegawa T, Sugimoto K, Miura K, Aketo T, Minowa N, Toda M, Kinoshita K, Yamashita T, Ogino A. 2014. Advanced treatment of swine wastewater using an agent synthesized from amorphous silica and hydrated lime. *Environmental Technology*. 2014. doi : 10.1080/09593330.2014.927533

Granulated compost formulation technique using recovery material from advanced livestock wastewater treatment

Teruaki HASEGAWA¹ and Yasuo TANAKA²

¹ Chiba Prefectural Livestock Research Center, Yachimata, Chiba 289-1113, Japan

² National Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0901, Japan

Corresponding : Teruaki HASEGAWA (fax : +81 (0) 43-445-5447, e-mail : t.hsgw58@pref.chiba.lg.jp)

Granulation technique of animal manure compost was examined using liquid form binding agents and a widely used simple concrete mixer. The binding agent used was recovered material from advanced swine wastewater treatment facility in which calcium silicate hydrate (CSH) was added to biologically treated swine wastewater for reducing phosphate, color, and coliform bacteria. Recovered material is slurry of phosphate adsorbed CSH with some viscosity. Two kilogram cattle manure compost passed through 1 mm mesh sieve (moisture content 31.8%) was fed to the concrete mixer (effective capacity 140L). The recovered CSH slurry of 0.2L was added to the compost every five minutes until the granulation of mixed material became apparent. The diameter of most granulated compost was 5-30mm after adding 1.6L of recovered CSH slurry. Strength of the granulated compost determined by hardness meter after air drying was 0.40-0.78kg/cm². Those results suggest that the granulated compost would be suitable for broadcasting by chemical fertilizer broadcaster.

Nihon Chikusan Gakkaiho 85 (3), 351-355, 2014

Key words : animal manure compost, compost pellets, granulated compost, granulation technique.