

(44) ディスポーザ排水に混入する高比重物質の管路内輸送特性に関する基礎的研究

Transport characteristics of high-density substances of comminuter wastewater in sewer pipes

山口聡世*, 篠原久志*, 楠田哲也**

YAMAGUCHI, Tokiyo*, SHINOHARA, Hisashi*, KUSUDA, Tetsuya**

ABSTRACT; Disposal of raw garbage is one of the major problems on solid wastes in urban areas. One of the solutions is to introduce these matters into "Raw Garbage Recycling System with Comminuter and Sewer." Clogging of sewer pipes followed by deposition of high-density substances is of critical for this system. So that, this paper discusses the possibility of deposition of high-density substances such as seashell and egg shell in sewer pipes. The major conclusions in this study are as follows: (1) Both seashell and egg shell which are over 2.00mm in diameter may deposit under the standard design condition; and (2) The minimum critical friction velocity for heavier 2% of them is 0.04m/s.

KEYWORDS; Comminuter, Wastewater, Critical tractive force, High-density substances, Deposition

1. はじめに

近年、廃棄物排出量の増大とその処理処分が深刻な問題になっている。平成元年以降、一般廃棄物の総排出量は5,000万tレベルで推移しており、その大部分は焼却により減量化され最終処分されている¹⁾が、全国的にゴミの埋立処分場の確保が難しくなっていることから、ゴミ量の削減が急務となっている。一般廃棄物の中で約7割を占める生活系ゴミの中で、生ゴミは湿潤重量比で4~5割を占めており、その重さ故、輸送にかかる負荷が大きく、可燃ゴミとして焼却処分される際には焼却温度が低下することから、ダイオキシン発生量増大につながる等の問題も指摘されている。また、生ゴミは、腐敗による臭気の発生、衛生害虫の発生等、ゴミ投棄による不衛生化等の問題をも発生させる。これらのことから、生ゴミの減量化がゴミ全体の減量化、環境負荷軽減、衛生面の向上への有効な手段の一つと考えられる。

また、近年、生ゴミを含む有機性廃棄物の資源としての有用性が認識され、地球規模の有機物循環およびエネルギー循環の視点から有機性廃棄物の再利用が求められており、下水道は都市域においてその循環を担う根幹施設のひとつとして位置づけられている²⁾。

この問題を解決するためには、生ゴミを分別回収し有機資源として再利用すればよく、その手法の一つとして、ディスポーザと下水管路を用いて生ゴミを下水処理場へ輸送し、有機成分を回収して再資源化するリサイクルシステムが考えられる。しかし、実際にディスポーザ排水が直接、下水管路に流された場合、比重の高い貝類や卵殻は管路内で沈降堆積することが懸念される。下水管路は、土砂等が堆積することなく処理場までスムーズに掃流するような流速を基に設計されているが、多くの管路においては堆積物の存在が確認されている。堆積物は、流下能力の阻害、悪臭の発生、腐食性物質(硫化水素など)による管路の腐食、雨天時越流水による水源の汚濁など、維持管理を行う上での様々な問題を引き起こすことになる³⁾。

* 九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻 (Department of Urban and Environmental Engineering, Graduate School, Kyushu University)

** 九州大学大学院工学研究院環境都市部門 (Department of Urban and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Graduate School, Kyushu University)

国土交通省、北海道と共同で、社会実験として直投型ディスポーザを設置している北海道枝幸郡歌登町では、ディスポーザの運用により管路内堆積物は明らかに増加し、その堆積物中には卵殻や貝殻の様な物体が多く含まれ、管路内にはスライム状の有機性付着物が多数発生していた⁴⁾と報告されている。有機性堆積物の増加は硫化物生成量増加の一因となるので、その増加量を把握して、管渠清掃頻度を推定することも重要な課題となる。我が国では現行制度による制限⁵⁾が撤廃されれば、ディスポーザは本格的な普及段階を迎えると考えられるので、それまでに管路内での沈降堆積に起因する様々な問題を解決しておくことは必須である。そこで本研究では沈降堆積に関わる掃流力に着目し、ディスポーザ排水中の高比重物質である貝殻、卵殻の限界掃流力を測定し、管路内堆積の可能性およびその解決策を検討した。

2. 掃流力評価のための前実験

2.1 粒度分布測定

破碎粒度の比較対照として、国土交通省による標準生ゴミ⁶⁾を使用した。Table 1に標準生ゴミの組成を示す。実験では、アサリとシジミを等質量ずつ混合した貝殻、標準生ゴミ 250gに同様の貝殻をそれぞれ 20g, 50g加えたもの、卵殻をディスポーザで破碎し粒度分布を測定した。破碎にはアナハイム社製ディスポーザ(950-JF)を使用した。なお、アサリとシジミの貝殻の種類による結果の相違は見られなかったため、以後併せて貝殻と称し、区別せずに表現することとする。Fig.1に標準生ゴミの粒度分布と併せて結果を示す。

Fig.1よりディスポーザで破碎すると、貝殻が混入することにより、標準生ゴミのみの場合と比較して全体として破碎粒度が粗くなり、粒径1.40mm以上に全体の約70%が存在することが解る。また、貝殻のみの場合は粒径2.00mm以上に約65%が存在する。一方、卵殻は粒径1.40mm以上に約50%が存在することが解る。この結果に基づき、後述の限界掃流力の測定においては貝殻、卵殻共に粒径1.40mm以上のものを対象とした。

Table 1 標準生ゴミの組成

Composition	Raw weight [g/cap/day]	Composition ratio [%]
Carrot	45	18
Cabbage	45	18
Peel of banana	25	10
Apple	25	10
Peel of grapefruit	25	10
Dried horse mackerel (boiled)	25	10
Thigh bone of chicken (boiled)	20	8
Egg shell	5	2
Boiled rice	25	10
Used tea leaves	10	4
Total	250	100

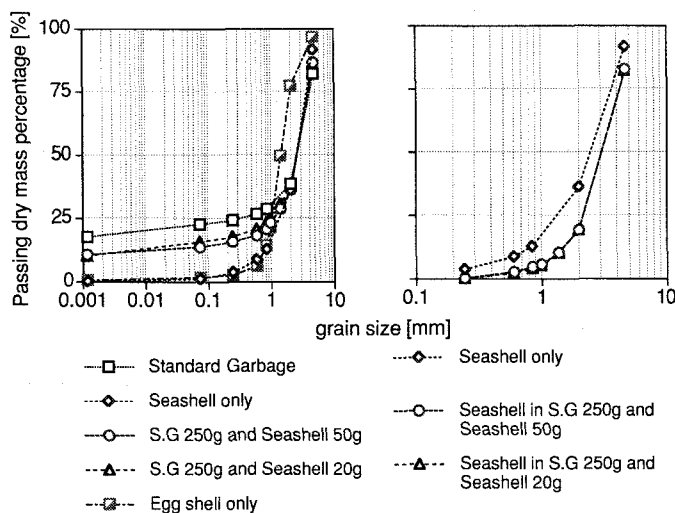


Fig. 1 試料による粒度分布の違い

Fig. 2 標準生ゴミとの相互作用による貝殻の粒度分布の変化

次に、Fig.2に標準生ゴミに貝殻を加えて破碎した後に貝殻のみを取り出したものと、貝殻のみを破碎した場合について粒径0.250mm以上のものを対象に粒度分布を比較した結果を示す。

Fig.2より標準生ゴミと貝殻の間に相互作用が起り、標準生ゴミと共に破碎されることで破碎粒度が粗くなっていることが解る。この原因としては、デイスポーザ内部で破碎された試料は、ターンテーブルと内壁面の固定刃の隙間を流れ落ちるが、標準生ゴミの存在が貝殻が受けるターンテーブルの回転の力を軽減したことが挙げられる。デイスポーザの実際の使用においては、貝殻が単独で破碎されるとは考えにくく、この場合のように単独で破碎した場合よりも粒径の大きなものの割合が増加することが予測される。

2.2 質量分布測定

デイスポーザで破碎した貝殻と卵殻の質量を測定し、質量の累積分布を求めた。その際、貝殻は粒径2.00mm以上、卵殻は粒径0.850mm以上のものの質量を測定し、それ以下の粒径の質量は粒度分布から得られた各篩の存在率から求めた。Fig.3に結果を示す。

Fig.3より貝殻、卵殻共に、破碎された個々の質量はほぼ対数正規分布していることが解る。確率密度関数にて分布式を以下のように示す。

$$f_{\text{Seashell}}(x; \mu, \sigma) = \frac{0.851}{x} \exp \left[-2.27 (\log x - 0.034)^2 \right]$$

$$f_{\text{Egg shell}}(x; \mu, \sigma) = \frac{0.746}{x} \exp \left[-1.75 (\log x - 0.0021)^2 \right]$$

2.3 密度測定

貝殻、卵殻は、歌登町での実験でも管路内堆積が報告されているように、野菜、果物などの生ゴミと比較して比重がかなり高い。そこで土粒子の密度試験法に従い、貝殻、卵殻の密度を測定した。Table 2にその結果を示す。

東京都の調査⁷⁾では、模擬厨芥を粉碎した試料と0.123mmの篩を用いて25倍に濃縮した生下水中の固形物の比重を測定し、厨芥破碎物は比重1.3以下のものが約81%を占め、生下水中の固形物(ほとんどが比重1.4以上)よりも流れやすいとしている。また、Table 2より貝殻、卵殻ともに標準生ゴミの主な構成成分である野菜類よりも密度がかなり高いことが解る。これらの結果から、貝殻、卵殻は一旦管路に堆積してしまうと、フラッシュ効果がなければ再び浮き上がって掃流されることは困難であると考えられる。

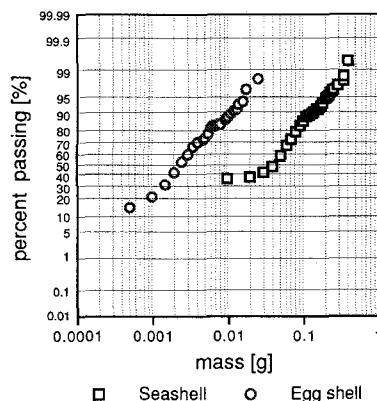


Fig. 3 破碎貝殻、卵殻の質量分布

Table 2 主な生ゴミの密度

区分	密度 [kg / m ³]
野菜	700 - 1,200
卵殻	2,500
貝殻 (アサリ, シジミ)	2,800

3. 開水路における限界掃流力測定

3.1 実験方法

底面路材が塩化ビニルの矩形一様断面水路に整流のための助走区間を設け、試料設置点までを5m以上とした。また、試料を水路底面の中心線上の定点に置いた。Fig.4に水路の概略を示す。

貝殻が流れ出したときの流量、水路勾配、および貝殻を置いた点の上流側、下流側それぞれ5cm, 15cmの水深を測定した。

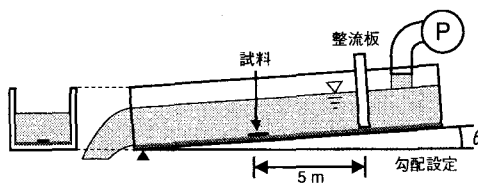


Fig. 4 水路の概略

3.2 結果および考察

開水路にエネルギー勾配 I_e で水が流れるとき、径深を R とすると、水路床には $\tau_0 = \rho g R I_e$ が掃流力として作用する。限界掃流力 τ_c を求める際に貝殻を置いた点の上流側、下流側それぞれ 5cm、15cm の水深測定にて水面勾配が認められた場合は、水路勾配にそれを加えてエネルギー勾配とした。

Fig.5 に実験試料とした貝殻、卵殻の質量と掃流時の摩擦速度との関係を示す。Fig.5 より、貝殻、卵殻をほぼ掃流するには摩擦速度がそれぞれ 0.04m/s、0.03m/s 程度必要なことが解る。また、質量、粒径が大きければ限界流速はより大きくなるが、質量が小さいものであっても限界流速が大きいものがあった。これは形状が細長いために流れの抵抗を受けにくくなっていたためである。一方、粒径 1.40～2.00mm では水平の面の曲りはほとんど見られず平板状であった。

次に、Fig.6 に摩擦速度と掃流率との関係を示す。掃流率を求める際に、貝殻ではデイスボーズで破碎した後に粒径 2.00mm 以上に約 65% が存在し、卵殻では粒径 1.40mm 以上に約 50% が存在することから、貝殻は粒径 2.00mm 以上を、卵殻では粒径 1.40mm 以上を対象とした。その際、対象粒径の中で最小質量のものを掃流できる摩擦速度が得られれば、対象粒径以下のものは全て掃流できると仮定した。Fig.6 から、例えば 0.02m/s の摩擦速度を与えたとき、貝殻の 40%、卵殻の 6% が管路内に残留することが解る。また、Fig.3 から、貝殻では累積で 60% に対応する質量は 0.05g、卵殻では累積で 94% に対応する質量は 0.015g となるので、この質量以下のものは掃流されることが解る。Table 3 に、このようにして摩擦速度と管路内残留率、堆積する破碎物の最小質量との関係を示す。

現在、沈殿物や土砂等を沈積させないための最低流速として 0.6m/s を採用し污水管を設計するようになっている³⁾。実際の管路設計では、この最低流速が満管流時に出現するように管路勾配などが決められることが多いが、実際の管路では管径に対して通常 1/3～2/3 程度の水深であり、また、管路は平均値を用いて余裕を持った設計とされているため、雨天時を除いて、まず満流の状態となることはない³⁾。管径 200mm の硬質塩化ビニル管を想定し、現行の設計基準である最低勾配 2.0 %、マニングの粗度係数を 0.010 とした場合、水深比が 45～65% のときの摩擦速度は 0.030～

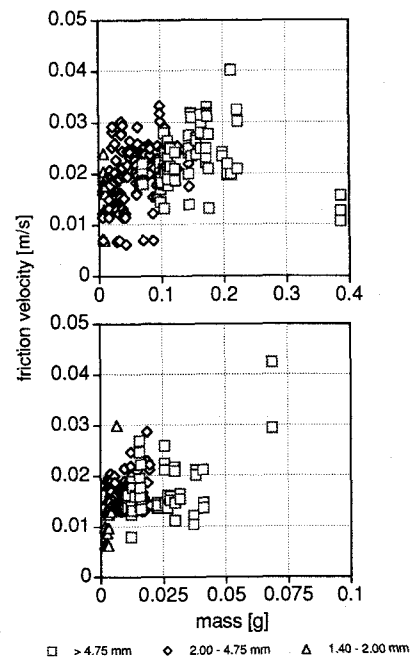


Fig. 5 質量と摩擦速度との関係
(上段：貝殻、下段：卵殻)

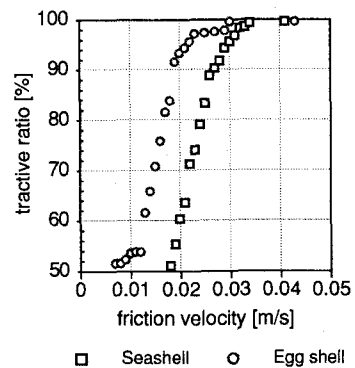


Fig. 6 摩擦速度と掃流率の関係

Table 3 摩擦速度と管路内残留率、堆積する最小質量との関係

friction velocity [m/s]	residual ratio [%]		mass of residual piece [g]	
	Seashell	Egg shell	Seashell	Egg shell
0.020	40	6	0.05	0.015
0.025	16	3	0.1	0.02
0.030	4	1	0.25	0.04
0.035	1	1	0.4	0.04

0.034m/s 程度である。摩擦速度が0.03m/s の場合は、Table 3 から貝殻では4%、卵殻では1%が堆積することになる。また、Fig.5より、この摩擦速度で堆積が懸念される貝殻は粒径2.00mm以上に分布することが解る。

実際の下水管では前述のように土砂やラードといった堆積物が存在することを考慮すると、現行の設計基準では全ての貝殻を掃流するのに掃流力が十分でない場合が生じる。

4. 二次堆積現象の検討とその解決策

これまでの議論は貝殻や卵殻が単独で存在するような状況を想定しており、相互作用により掃流されにくくなっている状況や二次堆積は考慮していない。しかし、3.2での考察から、そのように単独で存在するような場合であっても、管路内堆積の可能性が十分考えられる。

開水路の水路床に粒径4.75mm以上の貝殻を水路幅を満たすように敷いた後、標準生ゴミのデスポーザ排水を循環させたところ、Fig.7に示すような貝殻に起因する二次堆積が確認できた。貝殻の周囲に堆積したものは、卵殻、米飯、鳥骨、魚の骨などであり、標準生ゴミに多く含まれる野菜や果物は堆積しなかった。また、誤接続などにより土砂が下水管に流入した場合を想定し、水路床に小石を置いて同様にデスポーザ排水を循環させたところ、石の下流側で米飯や鳥骨が渦を描くようにその場に留まり、掃流は困難であった。

このような二次堆積を解消するための有効な手段の一つとして、下水管網の上流側に位置する汚水管のマンホールから、雨水を降雨開始時に流入させることが挙げられる。それにより、管路内堆積物を高い摩擦速度で掃流できると考えられる。しかし、流速が過大になることで管路の内面壁の摩耗などの問題が発生する可能性があるため、管路内の水深を監視し、流入させる雨水量を適切にコントロールする必要がある。

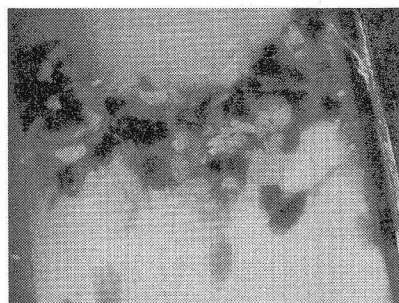


Fig. 7 貝殻に起因する二次堆積

5. 今後の課題

デスポーザの普及が本格化すれば、管路内堆積の問題は深刻化するに違いない。今後は、貝殻、卵殻の実際の家庭における消費量を考慮した上で、実際に下水管に流入を許容する粒度分布を決定する必要がある。また、二次堆積についてはそれを引き起こす物質質量を変化させた場合の堆積量の変化の検討が必要である。更に、実際の下水管に付着しているスライム等が掃流率に与える影響についても考慮する必要がある。一方で、実際に堆積が起こっている状況を解消するための効果的な技術の開発は、デスポーザ導入の如何にかかわらず急務である。

また本実験では、円形管壁の摩擦速度の分布が明らかになっていないために矩形開水路のみの実験で高比重物質の沈降堆積の可能性を検討したが、矩形開水路では掃流される場合でも、円形管になると管壁に沿って底に集まった際に、相互に挟み合う作用によって堆積が懸念されるものもあり、管路特有の掃流形態については今後の検討が必要である。

6. 結論

- (1) デスポーザで破碎された貝殻、卵殻の中で、0.03m/s の摩擦速度で管路内堆積が示唆される粒径は2.00 mm 以上のものであった。
- (2) デスポーザで破碎された貝殻、卵殻を99%以上掃流するには、0.04m/s の摩擦速度が必要である。
- (3) 現行の設計基準では全ての貝殻を掃流するのに掃流力が十分でない場合が生じる。また、二次堆積現象により、管路内での堆積が増加することが示唆された。

謝 辞

なお、本研究は平成 13 ～ 15 年度科学技術振興調整費による「都市ゴミの高付加価値資源化による生活排水・廃棄物処理システムの構築」の一環として行われたこと、また、実験に使用した水路を提供してくださった九州大学流域システム工学研究室に対し深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境省編：平成 14 年版環境白書，pp.171，2002
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部 国土技術政策総合研究所下水道研究部：デスポーザー普及時の影響判定の考え方(案)，pp.1，2002 年 5 月
- 3) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 -1994 年版-，pp.130-131，1994
- 4) 国土交通省都市・地域整備局下水道部 国土技術政策総合研究所下水道研究部：デスポーザー普及時の影響判定の考え方(案)，pp.12，2002 年 5 月
- 5) 篠原久志ら：デスポーザ排水中の有機成分の効率的回収技術の開発に関する検討，環境工学研究論文集，第 39 巻，pp.439-447，2002
- 6) 山海敏弘ら：デスポーザ排水の標準組成と負荷特性，水環境学会誌，第 22 巻，第 1 号，pp.67-73，1999
- 7) 東京都下水道局：粉碎厨芥の下水道に及ぼす負荷について，1973
- 8) 田中修司 編：下水道管渠学，環境新聞社，pp.214-221，2001