

海面最終処分場を想定したモデル廃棄物の室内投入実験における沈降現象

日本環境衛生センター 正会員 ○永岡 修一

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一

福岡大学工学部 正会員 藤川 拓朗

福岡大学工学部 学生会員 杉山 詠一

日本環境衛生センター 非会員 八村 智明

愛知臨海環境整備センター 非会員 武馬 雅志

愛知臨海環境整備センター 非会員 大嶋 真由子

1. はじめに

海面最終処分場は大都市近郊に設置されることが多く、大都市近郊に広く堆積している場合が多い沖積粘土層が、処分場の遮水層としてそのまま用いられることが考えられる。この場合、埋立投入された廃棄物が底面遮水層着底時にダメージを及ぼさないように、埋立初期段階では薄層埋立工法により埋立てられる。しかしこの薄層埋立工法によって埋立てられる廃棄物の沈降、堆積状況等の知見や技術的データはほとんどないのが現状である。そこで本研究ではこれまでに、薄層埋立工法における廃棄物の沈降、堆積特性及び底部遮水層への影響を把握し、遮水層の損傷を防ぐ具体的な廃棄物の投入方法を確立することを目的とし、室内投入実験を実施してきた¹⁾。本報告では、投入試料の沈降現象に着目し検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験装置及び試料

実験には、写真1～写真

4に示すような水槽及び

投入装置を用いた。写真

1及び写真3の水槽に、

水道水を水深 $z=120\text{cm}$ に

なるように満し、投

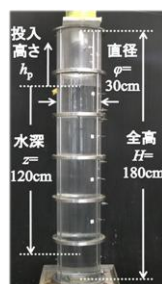


写真1



写真2

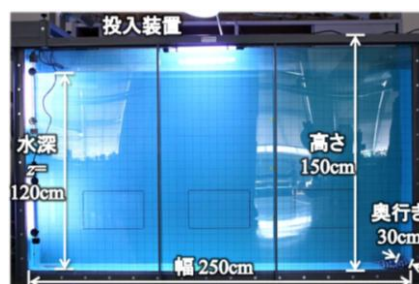


写真3



写真4

1次元円筒水槽 投入装置 ($\theta=90^\circ$)

2次元大型水槽

投入装置 ($\theta=10^\circ\sim65^\circ$)

入角度を $\theta=90^\circ$ で固定 (写真2)、もしくは $\theta=10^\circ\sim65^\circ$ と変化

させて投入できる2種類の投入装置 (写真4) を用い、試料

の投入を行った。一般に廃棄物は、質量や密度が異なる種々

雑多なものを含んでいるので、本研究ではそういった廃棄物

の各種パラメータの中でも、特に粒径が及ぼす影響を検討する

ために、汚泥やダスト類を想定した砂と、鉱さいや熔融ス

ラグを想定した礫をモデル廃棄物として用いている。また各試料には、

沈降現象の観察のためにスプレーで着色を施している。

2.2 実験条件 本検討の実験条件を表2に示す。試料の投入量や投入角度、投入高さや滑り距離に複数パターンを設定し、それぞれ試料の投入を行った。沈降速度は投入試料の沈降挙動をビデオカメラで撮影し、試料が投入される水深 $z=120\text{cm}$ を所定の区間に区切り、最初に粘土層に着底すると考えられる、試料群の主たる先端部が各区間を沈降するのに要した時間を計測し、その区間の平均沈降速度として算出した。特に、粘土層へのダメージを大きく左右すると考えられる、 $z=100\sim120\text{cm}$ における平均沈降速度を着底直前速度 v_p として算出した。

表1 実験に用いた試料
(上段: 粒径 d , mm, 下段: 密度 ρ_s , g/cm³)

砂	礫				
$0.85 < d < 2.0$ $\rho_s = 2.63$	$4.75 < d < 9.50$ $\rho_s = 2.70$	$9.50 < d < 13.2$ $\rho_s = 2.64$	$13.2 < d < 19.0$ $\rho_s = 2.66$	$19.0 < d < 44.4$ $\rho_s = 2.79$	

表2 実験条件

水槽	試料	粒径 d , mm	投入量 m , g	投入角度 θ , °	投入高さ h_p , cm	滑り距離 L , cm
円筒	砂	$0.85 < d < 2.00$	200 500 1,000	90	0	---
		$4.75 < d < 9.50$			10	
		$9.50 < d < 13.2$			20	
		$13.2 < d < 19.0$			30	
大型	砂	$0.85 < d < 2.00$	1,000 3,000 5,000	30 50 70	10	30 50 70
		$4.75 < d < 9.50$				
		$9.50 < d < 13.2$				
		$13.2 < d < 19.0$				
	礫	$19.0 < d < 44.4$				

キーワード 廃棄物, 海面最終処分場, 薄層埋立工法, 沈降速度, 遮水層, レイノルズ数

連絡先 〒816-0943 福岡県大野城市白木原3丁目5番11号 (財)日本環境衛生センター 西日本支局

企画事業部 企画事業課 TEL 092-593-8232 FAX 092-593-8255 E-mail: shuichi_nagaoka@jesc.or.jp

3. 実験結果及び考察

まず、砂と礫の着底直前速度と投入量の関係を図1に示す。投入条件や試料条件の違いはあるものの、投入量の違いにかかわらず、粒径が大きいほど着底直前速度は速い傾向にあることが分かる。またどちらの場合も、投入量の増加に伴い着底直前速度も増加傾向にあり、その範囲は砂の場合で $v_p=13.8\sim62.5\text{cm/s}$ 、一方礫は $v_p=31.9\sim76.9\text{cm/s}$ である。

単一粒子の静水中での沈降において、粒子が受ける抵抗と重力が釣り合って等速状態となる時の速度、すなわち終端速度を求める式としては、表3に示す式があり、レイノルズ数 Re の違いにより適用する式が異なる。本実験におけるレイノルズ数をまとめると、図2のようになる。まず砂の場合、レイノルズ数は $195 \leq Re \leq 885$ であり、投入量の増加に伴い沈降状態はアレン域からニュートン域へと移行する一方、礫の場合は $2,257 \leq Re \leq 24,212$ であるので、ニュートンの式が適用される。即ち、砂と礫の粒子群の沈降挙動は異なったものであるということが明示されたと言える。

また図3には、アレンの式、もしくはニュートンの式により導出した終端速度と、着底直前速度の比較図を示している。ここで粒径の代表値は、本論文で便宜上用いている呼び径の値ではなく、各試料の粒径範囲における中央値としている。まず砂の場合、着底直前速度は沈降速度式による終端速度より高い値を示していることが分かる。これは、粒径が小さいために着水後粒子群全体が一塊として沈降したことに起因するものと考えられる。一方礫の場合は、粒子群として投入しても沈降過程において単体になりやすいため、ある程度ニュートンの式にのるものの、粒径が大きくなるに従って着底直前速度の方がニュートンの式による終端速度より低い値を示すようになっていく。

4. まとめ

海面最終処分場を想定し、砂と礫をモデル廃棄物とした室内投入実験より、その沈降挙動について以下のことが明らかとなった。

- (1) 本検討における砂及び礫のレイノルズ数より、それぞれアレンの式及びニュートンの式が適用されることから、砂と礫の沈降挙動は異なったものであると推察される。
- (2) 砂の着底直前速度は、アレンの式による終端速度より高い値を示した。これは、粒径が小さいために着水後粒子群全体が一塊として沈降したことに、その一因があると考えられる。
- (3) 礫の着底直前速度は、粒子群として投入しても沈降過程において単体になりやすいため、ある程度ニュートンの式にのるものの、粒径が大きくなるに従って着底直前速度の方が、ニュートンの式による終端速度より低い値を示した。

参考文献 1) 永岡ら：薄層埋立工法における廃棄物の投入方法に関する実験的検討，第8回環境地盤工学シンポジウム論文集，pp. 363-366，2009。

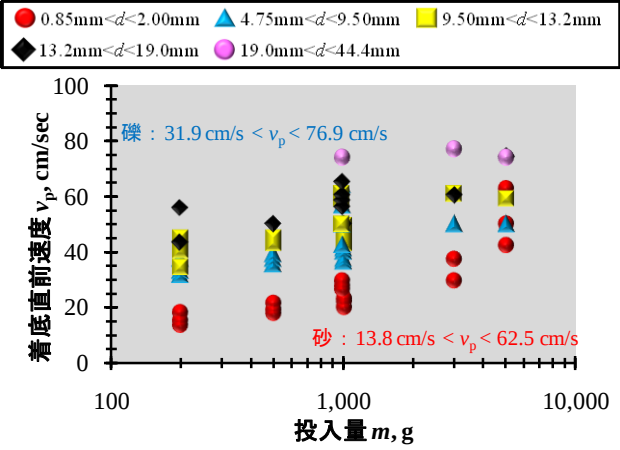


図1 着底直前速度 v_p と投入量の関係

表3 沈降速度式		
レイノルズ数 Re の適用範囲	式の名前	沈降速度式
$Re < 1$	ストークスの式	$v_t = \frac{d^2(\rho_p - \rho_f)g}{18\mu}$
$1 \leq Re \leq 500$	アレンの式	$v_t = d^2 \left\{ \frac{4}{225} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_f)^2 g^2}{\mu \rho_f} \right\}^{\frac{1}{3}}$
$500 < Re$	ニュートンの式	$v_t = \sqrt{\frac{3(\rho_p - \rho_f)gd}{\rho_f}}$
v_t : 沈降速度 (cm/s), ρ_p : 粒子の密度 (g/cm^3), ρ_f : 流体の密度 (g/cm^3), d : 粒子の直径 (cm), g : 重力加速度 ($=9.80665 \text{ cm/s}^2$), Re : レイノルズ数, μ : 流体の粘性係数 ($\text{g/cm}\cdot\text{s}$)		

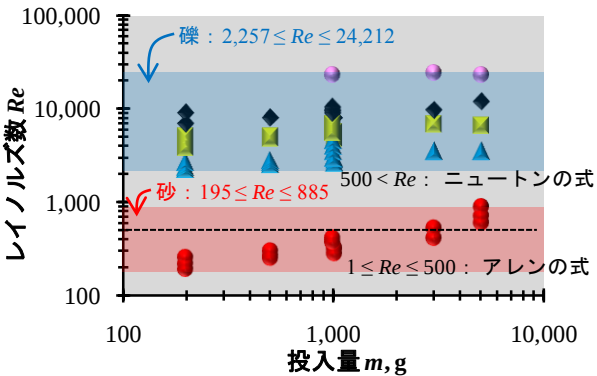


図2 レイノルズ数 Re と投入量の関係

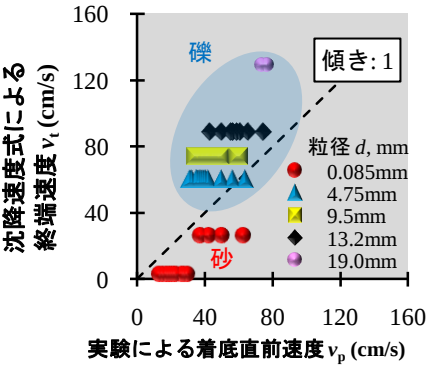


図3 沈降速度式による終端速度と着底直前速度の関係