

海面埋立を想定したモデル廃棄物の沈降・堆積特性と粘土層への影響

福岡大学大学院 学生会員 鍋島 勇太

福岡大学工学部

学生会員 安部 孔明

University of Dundee (UK) 学生会員 永岡 修一

福岡大学工学部

正会員 佐藤 研一 山田 正太郎

日本環境衛生センター 非会員 八村 智明

日本環境衛生センター

正会員 宮原 哲也

愛知臨海環境整備センター 非会員 武馬 雅志 鈴木 裕之

1. はじめに 著者ら¹⁾は、これまでに海面埋立廃棄物処分における、投入廃棄物による遮水層への影響について、円筒水槽を用いて検討を行ってきた。そこで本報告では、大型水槽を用いてモデル廃棄物の沈降、堆積特性及び底部粘土層への影響について検討を行った。

2. 実験概要

2-1 実験試料及び装置 大型水槽実験において、粒径の違いが

沈降挙動に及ぼす影響を検討するために、モデル廃棄物として表-1に示す砂利 4.75, 9.5, 13.2 及び 19.0mm のふるい残留分を使用した。また、一粒子の形状及び密度を統一するため、一辺 40mm の立方体に成型したモルタル塊を用いた。モデル遮水層としては、2.0mm 以下に粒度調整した博多粘土($\rho_s=2.76\text{g/cm}^3$, $w_L=76.4\%$, $I_p=41.7$)を使用した。

本実験では、写真-1に示す大型水槽(高さ 150 × 幅 250 × 奥行き 30cm)を用いた。また、モデル廃棄物の投入は、水槽上部に設置した、投入角度を $\theta=10^\circ \sim 65^\circ$ 、滑り距離を $L=30 \sim 70\text{cm}$ まで変化させることができる投入装置(写真-2)を用いて行った。

2-2 実験条件 表-2に実験条件を示す。沈降、堆積特性を把握するために、投入量を $m=1000, 3000, 5000\text{g}$ 、投入角度を $\theta=30, 45, 60^\circ$ 、滑り距離を $L=30, 50, 70\text{cm}$ と変化させ、投入高さを $h_p=30\text{cm}$ 、水深は $z=120\text{cm}$ 一定として投入した。さらに、モデル廃棄物が底部粘土層に及ぼす影響を検討するために、含水比を液性限界の 1.5 倍である $w=115\%$ に調節した博多粘土を水槽底部に 20cm 敷設し、モルタル塊の投入量を $m=1000, 3000, 5000\text{g}$ として、投入量の違いが粘土層に及ぼす影響を検討した。また、モデル廃棄物の沈降及び着底状況はビデオカメラで撮影した。ここで沈降速度は、試料群の主たる先端部がある区間を沈降するのに要した時間を計測²⁾し、その区間の平均沈降速度として算出した。また、着底直前速度として水深 $z=100 \sim 120\text{cm}$ における平均沈降速度を算出している。さらに終端速度は、別途実施した円筒水槽実験¹⁾より得られた、沈降速度が一定値に収束した時の速度とし、両者の結果の比較を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 沈降速度及び着底状況 図-1に砂利 $d=4.75\text{mm}$ における、投入量及び投入角度を変化させた場合の着底直前速度と終端速度を示す。結果より、 $m=1000\text{g}$ の場合は投入角度の違いによる影響はほとんど見られず、全ての投入角度においてほぼ終端速度に達していることが分かる。投入角度が大きくなるほど、鉛直方向の速度が卓越するため、鉛直方向における沈降速度が速くなると考えられるが、 $m=1000\text{g}$ 程度であれば、投入角度の違いによる影響はないことが分かる。一方、投入量の影響を見ると投入量の増加に伴って着底直前速度が速くなる傾向にある。写真-3に、砂利 $d=4.75\text{mm}$ において $m=5000\text{g}$ とした場合

表-1 モデル廃棄物
(上段: 粒径 d, mm , 下段: 密度 $\rho, \text{g/cm}^3$)

砂利	砂利	砂利	砂利	モルタル
				
$4.75 < d < 9.5$ $\rho_s=2.70$	$9.5 < d < 13.2$ $\rho_s=2.70$	$13.2 < d < 19.0$ $\rho_s=2.70$	$19.0 < d < 44.4$ $\rho_s=2.70$	$40 \times 40 \times 40$ $\rho_d=1.95$

下線部の粒径を呼び径とする。

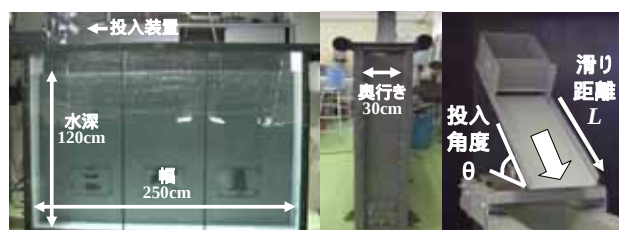


写真-1 大型水槽

写真-2 投入装置

表-2 実験条件

試料	粒径 d, mm	密度 $\rho, \text{g/cm}^3$	投入量 m, g	投入高さ h_p, cm	投入角度 $\theta, ^\circ$	滑り距離 L, cm	敷設粘土	
							層厚 h, cm	含水比 $w, \%$
砂利	$4.75 < d < 9.50$	2.70	1000	30	30	30	-	-
	$9.50 < d < 13.2$		3000		45	50		
	$13.2 < d < 19.0$		5000		60	70		
	$19.0 < d < 44.4$							
モルタル	$40 \times 40 \times 40$	1.95	1000	10	60	70	20	115 ($w/w_L=1.5$)
			3000					
			5000					

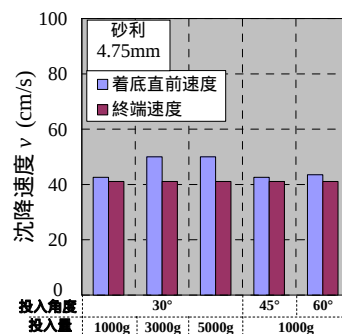


図-1 各条件における終端速度と着底直前速度

の沈降状況を示す。この写真から、砂利は沈降中に矢印の向きに循環流が生じ、後から沈降してくる粒子が前に押し出されながら沈降することが分かる。この現象は、粒径が小さく、かつ投入量が多い条件下で顕著に表れ、投入量が多い場合は、この循環流により、沈降速度が増加するものと考えられる。



写真-3 砂利 $d=4.75\text{mm}$, $m=5000\text{g}$ における沈降状況

図-2 に各投入量における試料粒径が着底幅に及ぼす影響を示す。ここで、着底幅 B_L は写真-4 に示すように、水槽底面における着底分布の、水平方向における幅と定義し、そのとき堆積しているモデル廃棄物の厚さを着底厚とする。この着底幅が狭い場合には着底厚が厚く、すなわち局部的に着底していることになり、粘土層へのダメージがより懸念されることが分かる。図より、いずれの投入量においても粒径が大きくなるほど着底幅は狭くなることが分かる。また投入量の増加に伴い着底幅は広くなり、 $m=1000\text{g}$ と $m=5000\text{g}$ ではほとんどの粒径で、約 2 倍の差が表れている。しかしながら、 $m=1000\text{g}$ の場合は粒子の重なりがあまり見られなかったのに対し、 $m=5000\text{g}$ の場合は写真-5 に示すように粒子の重なりが見られ、着底厚が厚くなっていることが分かる。従って、投入量の増加に伴い、着底時における局所的な圧力が大きくなり、粘土層へのめり込み量の増加が懸念される。

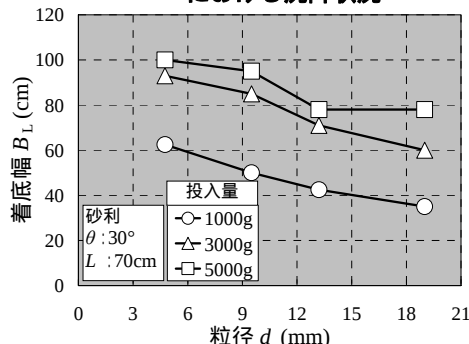


図-2 粒径及び投入量と着底幅の関係

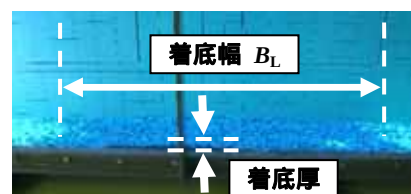


写真-4 投入試料の着底幅と着底厚



(a) 全体写真



(b) 拡大写真

写真-5 $m=5000\text{g}$ における着底状況

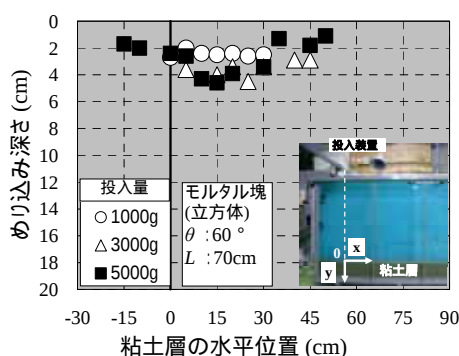


図-3 各投入量におけるめり込み深さ

3-2 底部粘土層への影響 図-3 に投入装置先端部から粘土層表面に垂直に下ろした点を原点として、モルタル塊の投入量を $m=1000, 3000, 5000\text{g}$ と変化させた場合のめり込み深さと着底幅を示す。ここでめり込み深さは、各水平位置における最大めり込み深さとしている。図より、 $m=1000\text{g}$ が最大 2.7cm、 $m=3000\text{g}$ では最大 4.5cm と増加し、全体的に見ても $m=3000\text{g}$ の方が大きくめり込んでいることが見て取れる。写真-6(a), (b) に示すように、 $m=1000\text{g}$ の場合、それぞれの粒子の着底地点がばらついていていたのに対して、 $m=3000\text{g}$ の場合は粒子数が増加したことから、重なって堆積していた。すなわち、先に着底した試料がその上から着底した試料によって押し込まれ、めり込みが深くなったと考えられる。次に、 $m=5000\text{g}$ の場合を見ると、めり込み深さは最大 4.6cm であり $m=3000\text{g}$ の場合とほぼ同程度であった。一方、写真-6(b), (c) に示すように、粒子の重なりは、両条件とも最大で 2 つ程度であり、着底厚に違いは見られなかった。以上より、この程度の投入量の増加であれば、投入量の違いは着底幅の増加にのみ現れ、着底厚は両件とも同等となったために最大めり込み深さが変わらなかったと考えられる。しかしながら、埋立現場においては 10t 程度の廃棄物が一度に投入され、着底幅のみならず沈降速度や着底厚も増すものと考えられる。従って、遮水層の規定値である層厚 5m 程度の粘土地盤が存在する地点では、廃棄物投入時に投入量を少なくすることや、粘土地盤上に保護シートを敷設する等の対策が必要であると考えられる。

4. まとめ 今回実施した実験より、投入量が多くなると、沈降速度が速くなり、また着底厚が厚くなることで、粘土層へのダメージが大きくなることが分かった。さらに実際の埋立現場では、遮水層の規定値を辛うじて満たしている地点における廃棄物投入は、粘土地盤の損傷を防ぐような対策が必要であると考えられる。

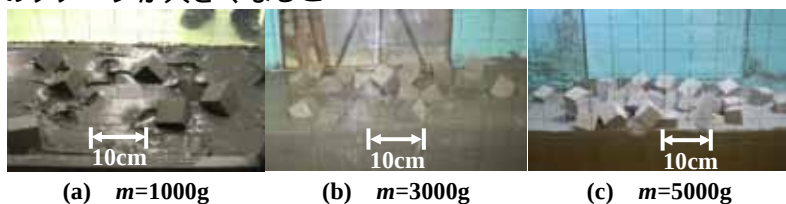


写真-6 各投入量におけるめり込み状況

参考文献 1) 鍋島ら：廃棄物の海面投棄を想定した試料群の静水中における一次元沈降挙動と底部粘土層への影響，第 8 回環境地盤工学シンポジウム論文集，pp.359-362, 2009 2) 安部ら：海面埋立を想定したモデル廃棄物の粒子形状の違いが沈降、堆積特性及び粘土層に及ぼす影響，平成 21 年度土木学会西部支部研究発表会(投稿中)