

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

福岡大学工学部 学生会員 安部 孔明 福岡大学大学院 学生会員 鍋島 勇太
 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 海面埋立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、廃棄物が遮水層を傷めないよう、埋立ての初期段階で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。また、一般的に遮水層として用いられている沖積粘土層の厚さは一様でなく、密度の大きい廃棄物(金属類、鉱さい等)が廃棄物着底時に衝撃を与えるとともにめり込み等を生じ、遮水機能の低下を引き起こす可能性が懸念されている。そこで本研究では、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ている。

これまでの研究で、モデル廃棄物である砂利及び球体の形状を有する鉛玉の粒子形状の違いが、沈降挙動に影響を及ぼすことが明らかになっている¹⁾。この結果を踏まえ、本報告では粒子形状に着目し、これを明確に差別化した上での沈降、堆積特性及び水槽底部に敷設した粘土層に及ぼす影響について報告する。また、異なる形状のモデル廃棄物を混合した試料において、単一で投入した場合との比較も行っている。

2. 実験概要

2-1 実験試料 実験では、写真-1に示す体積、質量を一定とした立方体、直方体及び球体の3種類のモルタルにより作製したモデル廃棄物を用いた。また遮水層のモデルとして、水槽底部には2mm以下に粒度調整し、初期含水比を液性限界の約1.5倍である $w=115\%$ に調整した博多粘土($\rho_s=2.76\text{g/cm}^3$, $w_L=76.4\%$, $I_p=41.7$)を約20cm敷設した。

2-2 実験装置 実験は、図-1に示す大型水槽(2500×1500×300mm)を用いて行った。水道水を用い、水深 $z=120\text{cm}$ 一定条件として、海面埋立処分場のモデルとした。また、写真-2に示す投入角度を $\theta=10\sim65^\circ$ 、滑り距離を $L=30\sim70\text{cm}$ と変更できる投入装置を水槽上部に設置し、モデル廃棄物の投入実験を行った。

2-3 実験条件 表-1に実験条件を示す。単一試料の投入実験では、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を検討した。また、各形状のモルタル塊3種をそれぞれ1000gずつ配合した混合試料について、単一試料の場合との比較を行った。これまでの研究で、投入された試料は図-2に示す通り、ある程度水深までは2次元的に沈降し、ある水深からは1次元的な沈降経路を示すことが分かっている²⁾。実験では各条件における沈降状況をビデオカメラで撮影し、沈降速度は、試料が1次元的な沈降に移行した

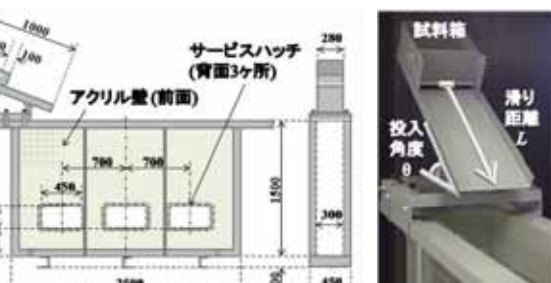
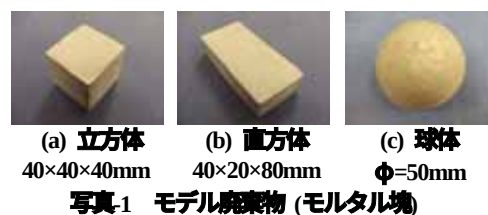


写真-2 投入装置

表-1 実験条件

試料	寸法 mm	投入量 m, g	密度 ρ g/cm ³	投入 角度 $\theta, ^\circ$	滑り 距離 L, cm	敷設粘土	
						層厚 h, cm	含水比 w, %
モル タル 塊	立方体 (40×40×40)	1000	1.95	60	70	20	115 ($w/w_L=1.5$)
	直方体 (40×20×80)						
	球体 (φ=50)						
	3種混合	1000×3=3000					

後の水深を20cm毎に区切り、最初に粘土層に着底すると思われる試料群の主たる先端部(写真-3)が各区間を沈降するのに要した時間を計測し、各区間の平均沈降速度として算出した。特に、着底直前速度として水深 $z=100\sim120\text{cm}$ における平均沈降速度を算出し、さらに終端速度は、別途実施した単粒子投入実験より得られた、沈降速度が一定値に収束した時の速度とし、両者の比較を行

った。

3. 実験結果及び考察

3-1 粒子形状による影響の違い 図-3 に各形状におけるモルタル塊の沈降速度を示す。結果より、球体が最も速く沈降し、次いで立方体、直方体の順に遅くなっていることが分かる。これは、粒子形状の違いに伴う流体からの抵抗力の違いが影響しており、流体からの抵抗力が少ない球体は速く、最

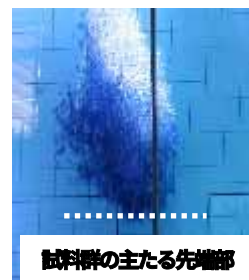
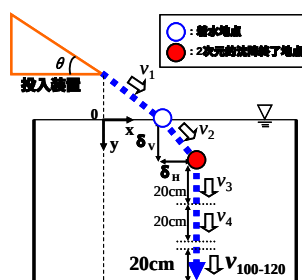


図-2 2次元沈降挙動の概略 写真3 沈降する試料群の様子

も大きい直方体が遅くなったと考えられる。次に、各形状のめり込み深さを図-4 に示す。めり込み深さは、立方体が最も深い結果を示している。ここで、各試料の着底直前速度と衝撃力、ひいてはめり込み深さの関係を検討するため、モデル廃棄物の流体における着底衝撃力 $f_{\max}$ を、漁礁の着底衝撃力の算出のために導入された以下の式(1)より算出した³⁾。なお、 M 、 M_w はモデル廃棄物の質量及びモデル廃棄物と同体積の流体の質量、 U は着底直前速度、 C_{MA} は付加質量係数、 α は衝突入射角、 e は反発係数である。

$$f_{\max} = (\pi/2\Delta T)(M + C_{MA} + M_w)U \sin \alpha(1 + e) \quad (1)$$

また、 ΔT は地盤の変位が最大になるまでの時間を表し、式(2)より算出した³⁾。なお、 $\varepsilon_{\max}$ は地盤の最大変位量、 v_0 はモデル廃棄物の着底直前速度の鉛直成分である。

$$\Delta T = 2\varepsilon_{\max} / v_0 \quad (2)$$

上式に各形状の条件を代入すると、モデル廃棄物の衝撃力は着底直前速度の2乗に比例し、これら3種類の形状の中では球体が最も大きいという結果が得られ、めり込み深さと異なる結果となった。ここで、実験ではめり込み深さが大きい立方体は角から着底している様子が確認されたことから、モルタル塊が着底する際に粘土層に与える圧力の違いが、立方体が球体より深くめり込んだ一因として考えられる。すなわち、これら3種類の形状の場合、立方体が面ではなく、角の部分から着底した際に大きい圧力を粘土層に及ぼし、衝撃力の大きい球体よりも深いめり込みを生じたと推測される。

3-2 混合試料における影響 各形状のモルタル塊を1000gずつ混合した試料のめり込み深さを図-5 に、着底状況を写真-4 に示す。めり込み深さに関して、図-4 の単一試料の結果と比較すると、立方体及び直方体の最大めり込み深さに変化は見られなかったが、球体の最大めり込み深さは約1.5cm 深くなっている。写真による着底状況を確認すると、いくつかの球体の上に立方体及び直方体が重なって着底している様子が分かる。従って、沈降速度が速い球体が先行して着底し、その上に立方体及び直方体が着底したことが、球体の最大めり込み深さに寄与したと考えられる。

4. まとめ

- (1) モデル廃棄物の粒子形状が異なることで、沈降速度や粘土層に及ぼす衝撃力も異なり、それにより粘土層へのめり込み深さにも影響を及ぼす。
- (2) 粘土層のめり込み深さは、廃棄物の衝撃力だけでなく形状にも影響すると推測される。
- (3) 現場における埋立廃棄物の投入において、粒径の小さい廃棄物は緩衝効果が期待できることがこれまでの研究で明らかになっている。しかし、投入初期の廃棄物の中に深いめり込みを生じるものが含まれている場合、遮水層へのめり込みがさらに大きくなることが懸念される。従って、ある程度の寸法を有する廃棄物を投入する場合には、その形状が及ぼす影響についても注意を払う必要がある。

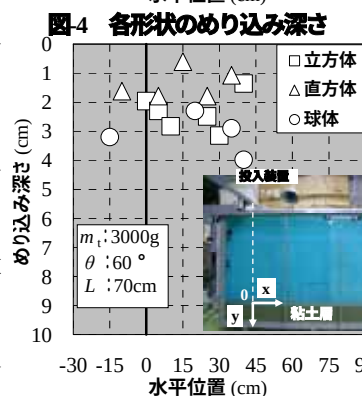
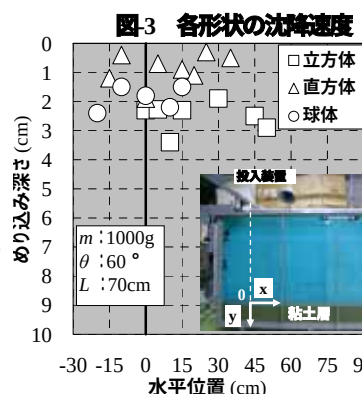
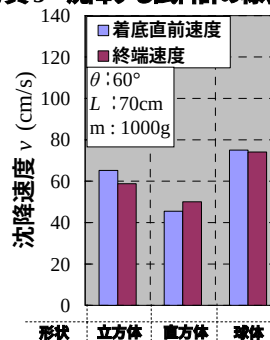


写真4 混合試料の着底状況

参考文献 1) 永岡ら：薄層埋立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発表論文集，pp.363-366，2009
2) 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 3) 松見ら：漁礁沈設時の着底衝撃力に関する研究，鳥取大学工学部研究報告第20巻，pp.203-212，1989