

廃棄物の海面投棄を想定した試料群の静水中における2次元沈降挙動

福岡大学大学院
University of Dundee (UK)
福岡大学工学部
日本環境衛生センター

学生会員
学生会員
正会員
正会員

○鍋島 勇太
永岡 修一
佐藤 研一
八村 智明

山田 正太郎
宮原 哲也

1. はじめに 廃棄物の海面埋立処分において海底地盤である沖積粘土層を遮水層とする場合、埋立てられる廃棄物が遮水層を傷めないように、埋立当初は薄層埋立工法により埋立てられる場合が考えられる。しかし、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限られているのが現状である。一方、埋立てられる廃棄物には鉱さいのような密度の大きいものも想定される。そのような廃棄物が、比較的層厚の薄い場所でめり込みや粘土の巻き上げを生じさせ、規定の層厚を満たすことができなくなる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、堆積特性を調べるとともに、埋立てられる廃棄物が遮水層を傷めない具体的な投入方法を検討することを目的としている。

これまでの研究¹⁾では、円筒水槽を用いて投入試料の一次元沈降挙動及び水槽底部に敷設した粘土層に及ぼす影響について検討している。本報告では、2次元大型水槽を用いて行った投入試料の2次元沈降挙動の把握を目的とした投入実験において得られた結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 粒径の違いが沈降挙動に及ぼす影響を検討するために、粒径の異なる4種類の試料を用いて実験を行った。投入試料は絶乾状態の砂利4.75、9.5、13.2及び19.0mmふるい残留分を使用した。

2-2 実験装置 図-1に示す大型水槽を用いて2次元投入実験を行った。この水槽内に水道水を満たし、水深 $z=120\text{cm}$ 一定条件下で、写真-1に示す2次元投入装置を用いて実験を行った。

この2次元投入装置では、投入角度 $\theta=0\sim65^\circ$ 、また滑り距離 L を30cmから70cmまで変化できるようになっている。さらに写真-2に示す、 $\phi=30\text{cm}$ の円筒水槽を用いた1次元投入実験で使用した投入装置を用い、投入角度を $\theta=90^\circ$ として試料の投入を行った。この大型水槽で行った実験結果と、別途行った円筒水槽での実験結果とを比較し、水槽壁による拘束効果が1次元沈降挙動に及ぼす影響を検討した。

2-3 実験条件 表-1に実験条件を示す。投入角度 $\theta=90^\circ$ とした1次元投入装置を用いた実験では、試料の粒径 $d=4.75, 13.2\text{mm}$ 、投入量 $m=200, 1000\text{g}$ とし、水面から $h_p=0, 10, 20, 30\text{cm}$ 上部位置において試料の投入を行った。2次元投入装置を用いた実験では、粒径 d を9.5、19.0mm、投入量 m を1000g、3000gとし、投入角度の違いによる影響を $\theta=30, 45$ 及び 60° の3パターンで比較した。ここで、装置の都合上、投入高さは約30cmとしている。なお、滑り距離 L は70cm一定として行った。以上の条件下で投入試料の沈降挙動をビデオカメラで撮影し、沈降速度を計測した。

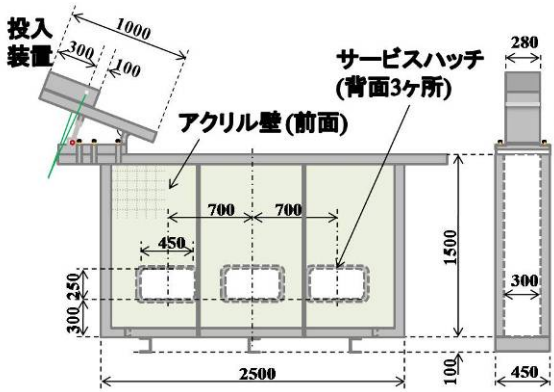


図-1 2次元投入実験装置



写真-1 2次元投入装置



写真-2 1次元投入装置

表-1 2次元投入実験条件(粘土層ナシ)

試料	粒径*1 d, mm	投入量 m, g	投入角度 $\theta, ^\circ$	投入高さ h_p, cm
砂利	$4.75 < d < 9.5$	1000	90	0
	$13.2 < d < 19.0$			30
	$9.5 < d < 13.2$ $19.0 < d < 44.4$	1000	30 45 60	≈ 30

*1 砂利の粒径において、太字の粒径を呼び径とする。

3. 実験結果及び考察

3-1 水槽壁による拘束効果が1次元沈降挙動に

及ぼす影響 図-2 に円筒水槽と大型水槽でそれぞれ行った投入実験における、沈降速度分布を示す。

図-2(a)に粒径 $d=4.75\text{mm}$ 、図-2(b)に粒径 $d=13.2\text{mm}$ の試料を用いた場合の沈降速度分布を示す。両者とも、投入高さの違いが水深 $z=15\sim$

45cm での沈降速度に顕著に表れている。また $d=4.75\text{mm}$ では水深 $z=75\text{cm}$ でほぼ終端速度に達しているのに対し、 $d=13.2\text{mm}$ では水深 $z=45\text{cm}$ でほぼ終端速度に達していることが分かる。これは、粒径が大きい方が流体からの抵抗力を大きく受け、沈降速度が大きく減少するためであると考えられる。さらに両粒径において、円筒水槽と大型水槽を比較すると、その値がほとんど変わらないことが確認できる。これより、 $\phi=30\text{cm}$ の円筒水槽による水槽壁の拘束効果が1次元沈降挙動に及ぼす影響は非常に小さいものであり、この寸法の円筒水槽を用いて1次元沈降挙動を把握することは妥当であると考えられる。

3-2 投入角度が2次元沈降挙動に及ぼす影響 写真-3 に2次元投入実験の一例として、砂利 $d=9.5\text{mm}$ を投入量 $m=1000\text{g}$ 、投入角度 $\theta=30^\circ$ の条件下で投入した場合の沈降軌跡を示す。また、図-3 に2次元沈降挙動の概略を示す。投入試料は、ある程度

の水深までは2次的に沈降するが、ある水深からは1次元沈降挙動を示めすようになる。ここで、水面と投入装置先端部からの鉛直線との交点を原点とし2次元沈降中の鉛直変位を δ_v 、水平変位を δ_h としている。

図-4 に変位方向における沈降速度と変位位置を示す。図中のプロットと座標は、着水地点と2次元沈降終了地点を示している。また v_1 は投入装置先端から着水地点までの、また v_2 は2次元沈降時の、 v_3 、 v_4 、 v_5 は2次元沈降終了地点からの30cmピッチの平均沈降速度となっている。ここで、円筒水槽を用いた1次元沈降実験において、砂利 $d=9.5\text{mm}$ の終端速度が $v_t=45\text{cm/s}$ であったことから、 v_5 は未だ減少過程にあり、図-2の結果と併せて考えると、投入角度を $\theta < 90^\circ$ として投入した場合、終端速度に達するまでの沈降距離が長くなると考えられる。

図-5 には投入角度 $\theta=30, 45, 60^\circ$ の場合の各沈降軌跡を示している。図より、投入角度が大きくなるに従い、着水地点は投入装置側にシフトしていることが分かる。またそれに伴い、2次元沈降終了地点も同様に装置側にシフトしており、さらにその深さも深くなっていることが分かる。

図-6 に砂利 $d=9.5\text{mm}$ 及び 19.0mm の2次元沈降時における鉛直及び水平方向変位を示す。粒径の違いを比較すると、粒径が大きくなると、 δ_v 、 δ_h とともに大きな値を示すことが分かる。また投入角度が小さい方が、粒径の違いによる影響を受けやすいということも分かる。

4. まとめ 2次元投入実験により、以下の知見を得られた。① $\phi=30\text{cm}$ の円筒水槽を用いて1次元沈降挙動を把握することは妥当である。②2次的にある角度をもって静水中に投入された試料は、ある深さから1次元的な沈降挙動へと移行する。③投入角度の違いは投入試料の着水地点や、2次元沈降終了地点の位置に影響を及ぼす。④投入試料の粒径及び投入角度の違いは2次元沈降時の鉛直及び水平変位に影響を及ぼす。

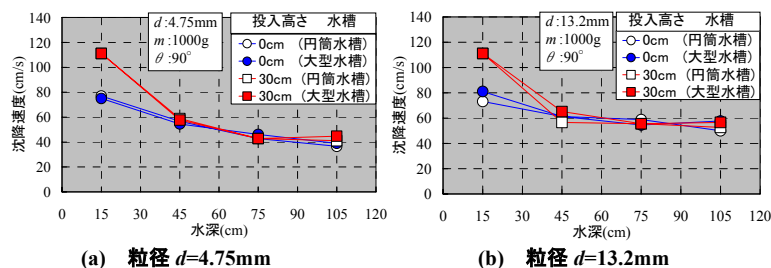


図-2 1次元投入実験との比較

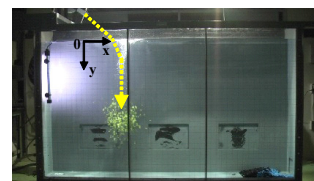


写真-3 砂利 $d=9.5\text{mm}$ の沈降軌跡

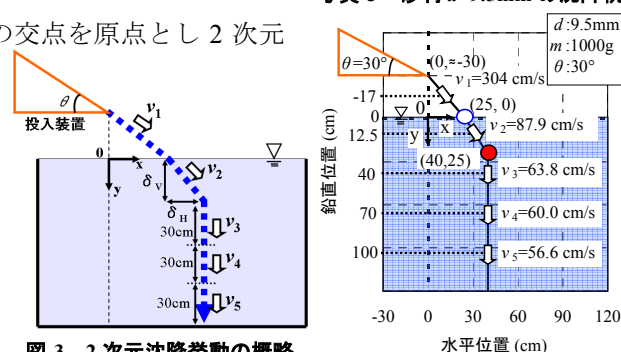


図-3 2次元沈降挙動の概略

図-4 変位方向における沈降速度

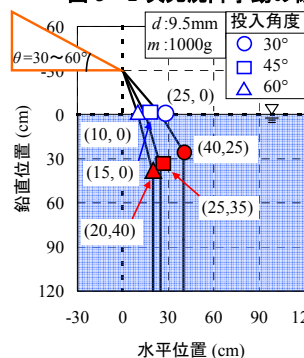


図-5 各投入角度における沈降軌跡

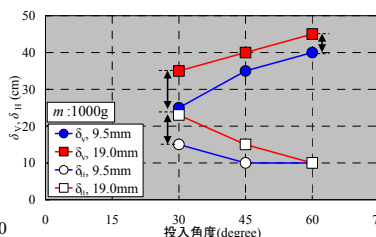


図-6 2次元沈降終了時までの鉛直及び水平方向変位