

# 鉛直管による土砂投入時の流動と堆積に関する遠心模型実験および SPH 法解析

名古屋工業大学 正 前田 健一, 学 今瀬 達也  
 東洋建設(株) 正 鶴ヶ崎和博, 正 澤田 豊, 菱沼由美子

## 1. はじめに

我が国における主要港湾では、高度経済成長期以来、埋立用材やコンクリート骨材の土砂採取が行われ、深掘跡地が多数存在している。深掘跡地では海水交換の悪化と有機物の分解などにより、貧酸素水塊及び青潮が発生し、水質環境等の悪化が懸念されている。また、生物の生息・生育環境に対しても影響が懸念されることから、窪地を埋め戻す必要性が検討されている<sup>1)</sup>。一方、海底の埋め戻し工は様々であるが、代表的な工法として鉛直管を用いた土砂投入がある。この工法に関しては、管内流動に伴う施工性について多く検討されているが<sup>2)</sup>、その後の堆積および濁りの影響評価に関しては未だ十分な検討が行われていない。そこで、本研究では土砂を投入した際の管内流動および堆積形状に関する施工性と濁りの拡散や土砂投入による窪地内およびその周辺に与える影響について一連の検討を行うことを目的とし、遠心模型実験および SPH 法を用いた数値シミュレーション手法の開発を行った。

## 2. 遠心模型実験

### (1) 実験概要

本研究では、東洋建設(株)鳴尾研究所が所有するビーム型遠心力载荷装置を用いて、遠心模型実験を実施した。図 1 に鉛直管施工を模擬した実験機を示す。ただし、実験の詳細は参考文献<sup>3)4)</sup>に詳しい。実験では投入試料に、乾燥豊浦砂および実現場施工に合わせてシリンダー法によるフロー値が 180mm になるように含

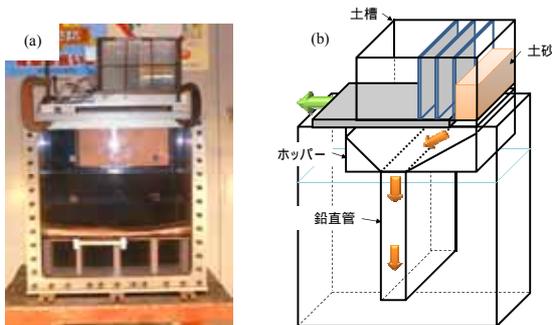


図 1 実験土槽と搭載装置、全景：(a)、模式図(b)

水比を調節した NSF カオリンを用いた。ここでは材質の違いによる管内流動および堆積形状について述べる。

### (2) 実験結果と考察

まず、管内流動について、図 2 に投入時の様子を示す。豊浦砂の場合は、投入に伴う管内水位変動差が重力場換算で約 0.11m と小さく、脈動せずに沈降することがわかった。さらに、沈降速度は PIV (Particle Image Velocimetry) 解析の結果、Stokes の沈降速度に等しくなることがわかった<sup>3)</sup>。一方、NF カオリンの場合は、投入時に土塊は激しく分散し、濁りが拡散した。また、土塊投入時における水面衝突に伴い、管内の水面が大きく変動したこと(最大水面変動差約 2.38m)で脈動が発生し、土砂の沈降を遅らせた。沈降速度に関して PIV 解析を試みたが、正確な計測が困難なため断念した。

以上の結果から、管内流動における脈動や濁りの発生に関しては、投入土砂が管内水面に投下される際の衝撃に大きく寄与すると考える。一般に、物体が着水する際、物体に作用する衝撃力はニュートンの第 2 法則に従う。ここで、物体の落下速度は、自由落下であり物質によらず一様である。よって、衝撃力の大小は落下体の質量に依存する。NSF カオリンが土槽より落下する場合、土の塊として落下するため質量が大きくなる。そのため、水面から受ける衝撃は豊浦砂に比べて大きくなり、同時に水面を大きく変動させることとなる。その後、衝撃力により塊構造を失った土粒子は管内水流が支配的な流動となる。

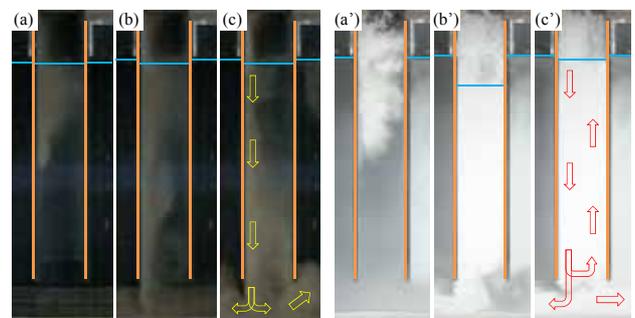


図 2 土砂投下時の管内流動の様子、豊浦砂投下時：(a)-(c)、NSF カオリン投下時：(a')-(c')

キーワード 鉛直管, 管内流動, 堆積形成, 遠心模型実験, SPH 法

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

次に、堆積形状について比較する。図3に最終堆積形状を示す。豊浦砂の場合、管排口直下に砂山を形成し、その後の続投されてきた土砂流動の影響を受けて、堆積頂部を乱しながら緩く堆積していくことがわかった。しかし、NSFカオリンの場合は一様に薄層を形成し、土槽内の海底面全域に堆積した。同様に投下した他の粘性土では、実験前の初期含水比より堆積含水比は1割程度高くなっていたことが確認されている<sup>4)</sup>。

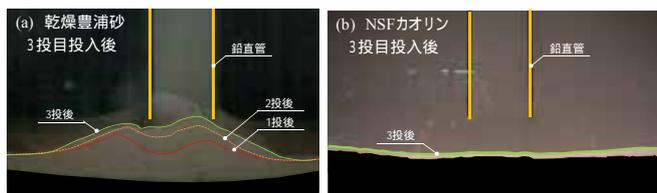


図3 土砂投入後の堆積状況，乾燥豊浦砂の堆積：(a)，NSFカオリンの堆積：(b)

### 3. 数値解析

#### (1) SPH法の概要

SPH法は宇宙物理分野から発達した手法で、連続メッシュの代わりに運動する計算粒子素片(半径h)を用いたLagrange的手法である。粒子素片の重なり合いで近似的な連続場を表現しており、物理量は粒子素片中心とともに移動する(図4)。

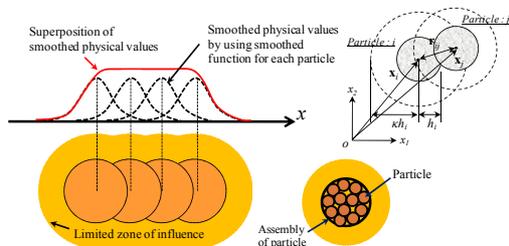


図4 SPH法による平滑化関数を用いた空間物理場の表現

ここで、注目する粒子素片*i*の中心 $x_i$ における物理量 $f(x_i)$ は、影響範囲内にある粒子素片*j*の物理量 $f_j$ を平滑化関数 $W$ によって内挿することで次のように表現する。

$$\langle f(x_i) \rangle = \sum_{j=1}^N m_j \frac{f_j}{\rho_j} W_{ij}(x_i - x_j, h) \quad (1)$$

ここで、粒子素片*i*の質量および密度を $m_i, \rho_i$ とする。また、平滑化関数 $W$ においては、現在までに多数の関数が提案されているが、本研究においては関数が滑らかでかつ影響範囲が大きくなることを考慮して、3次B-Spline関数を用いている。

Lagrange的解法による運動方程式は、速度を $v$ 、応力テンソル $\sigma$ 、物体力を $f_i$ とすると次式のようになる。

$$\frac{dv_i}{dt} = -\sum_{j=1}^N m_j \left( \frac{\sigma_{ij}}{\rho_j} + \frac{\sigma_{ji}}{\rho_i} + \Pi_{ij} \mathbf{I} \right) \cdot \nabla W_{ij} + f_i \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{I}$ は単位行列、 $\Pi_{ij}$ は人工粘性で粒子素片同士の衝突を緩和させるダンパーの役割を果たす。

#### (2) 解析結果

図5に鉛直管から排出された土砂の流動挙動について示す。

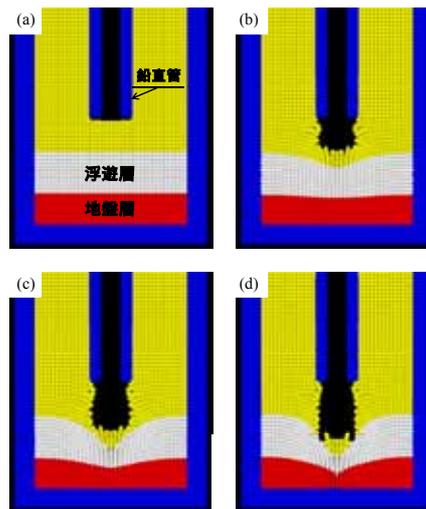


図5 鉛直管より排出された土砂の流下挙動(a)-(d)

鉛直管より排出された土砂は海底表層に浮遊する弱層を掻き分けるように流動する様子が再現できている。この現象は1G場で実施した簡易実験を定性的に表現していることがわかった。詳細は発表時に説明する。

### 4. おわりに

鉛直管に土砂を投入する際の衝撃力は、管内流動やその後の堆積に与える影響が大きい。そのため、この衝撃力を緩和させる工夫を行うこと今後検討する。

#### 参考文献

- 1) 環境省(2006): 海域における深掘り跡等の埋め戻しに関する考え方(案)。
- 2) 例えば、五明美智男(2000): 二重式鉛直管を用いた土砂投入における管内水循環機構について、海洋工学論文集, pp.981-985, 第47巻。
- 3) 今瀬達也 他(2010): 鉛直管に投入した土砂の流動と堆積に関する遠心模型実験, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, -231。
- 4) 鶴ヶ崎和博 他(2011): 鉛直管を用いた粘性土砂投入に関する遠心模型実験, 第46回地盤工学研究発表会(投稿中)。