

Ⅲ－B418

個別要素法を用いた粒度偏析現象の数値シミュレーション

清水建設(株)和泉研究室 正会員 吉田 順

1. はじめに

粒子の大きさ・密度・形状などによって、その分布に片寄りが生じる偏析現象は、地盤工学においても土石流や噴砂現象の場合に粒径の大きさにより位置や速度が異なる現象として知られている。この偏析現象は粒子の流動・振動に伴って生じるものであり、粒子のミクロな構造の変化を捉えるためにはその解明が必要と考えられる現象の一つである。偏析現象は古くから研究の対象とされており、すでに1925年にはGarve¹⁾による研究報告がある。

従来よりの実験的研究に加えて、近年では分子動力学解法²⁾やセルラオートマトン法³⁾などによる数値解析的な表現がなされるようになってきた。本報では、2次元の個別要素法を用いた検討を行うが、従来の研究においてはほとんどが容器内の粒度偏析現象を取扱っているのに対し、今回のモデルでは側方を周期境界としたモデルを用いて容器壁面の影響を排し、粒子層の振動あるいは流動による影響のみによる偏析現象のシミュレーションを試みたものである。ただし、振動および流動の影響を見るために最大粒子速度が同程度となることを考慮した。

2. 解析モデルおよび条件

解析モデルは幅50cmの領域に粒径 $d=1.0\text{cm}$ の粒子と $d=2.0\text{cm}$ の粒子をTable 2のような割合で、ランダムな位置に発生させたものであり、初期状態ではほぼ均等な分布をしているものである。用いた材料定数はTable 1に示すものである。境界条件は底部境界を剛、側方境界を周期境界とするが、

物性	記号	単位	数値
単位体積重量	γ	g/cm^3	2.0
比例減衰定数	β	sec	5.0×10^{-5}
垂直(せん断)剛性	$k_n(k_s)$	dyn/cm	$1.0 \times 10^7 (2.0 \times 10^6)$
摩擦係数(壁面)	μ		0.70(0.50)

振動入力の場合には底部境界を加振している。解析1ステップの時間増分は $5.0 \times 10^{-5}\text{sec}$ 、ステップ数 10^6step すなわち50secの解析を実施した。振動入力の周期は0.1sec、振幅2.0cm、正弦波入力であり、流動解析の場合には粒子の最大水平速度が50cm/sec前後となるように水平加速度をコントロールする解析とした。

3. 解析結果および考察

3.1 振動入力による偏析

モデル1について振動入力の解析を行った。初期および50sec後の粒子層の状態をFig. 1に示す。初期には比較的均等に混合されていた粒子が、50sec後には粒径の大小により分離していることがわかる。これをFig. 2に示す層厚3cm毎の小粒径粒子の個数比率で見ると時間経過に伴って下部に小粒子が移動する様子が見られる。この振動に伴う偏析現象はよく知られたものであり、過去の解析では容器側壁の影響が大きいと考えられていたが、本解析結果は側壁のない場合にも顕著な偏析が見られることを示している。

	$d=1.0\text{cm}$	$d=2.0\text{cm}$	計
モデル 1	135	115	250
モデル 2	155	95	250
モデル 3	218	82	300

3.2 流動による偏析

モデル1について流動時の解析を行った。Fig. 3に粒子層の変化を示す。Fig. 1よりも顕著な偏析が見られ、その分布を示したFig. 4を見ると偏析が時刻歴で進行しており、徐々に粒度分布が変化していることがわかる。また、振動入力の場合に比べて偏析の傾向が強く現れており、偏析現象は基本的に流動によるものであり、振動による偏析は振動に伴う流動が原因であることを示唆している。また、小粒径粒子を多くしたモデル2、モデル3の流動解析結果を示したFig. 5～Fig. 8でも同様に偏析の傾向が強く見られるが、偏析の傾向は分布により異なっている。したがって、初期の粒度分布が流動に伴う偏析に影響すると考えられるが、その違いは明確でない。

4. まとめ

2次元個別要素法解析を用いて、2粒径モデル解析を行い、振動および流動による偏析現象が時刻歴で明らかに

個別要素法, 偏析, 周期境界, 振動

〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-2富国生命ビル27F TEL 03-3508-8101 FAX 03-3508-2196

見られることを示した。今回の検討では側壁のない場合にも振動による偏析が見られることを示し、流動による影響が卓越するものと考えた。ただし、偏析に関する詳細検討には資料不足であり、特に3次元効果の影響が非常に大きい現象であると考えられるため、今後3次元解析を行うことにより、その原因を解明していきたい。

参考文献 1) Garbe, T.W.: J.Am.Cer.Soc., No.8, p.666, 1925 2) Rosato, A., et al.: Phys.Rev.Lett., No.58, p.1038, 1987
3) Sakaguchi, H., et al.: Soils & Found., No.36, 1996

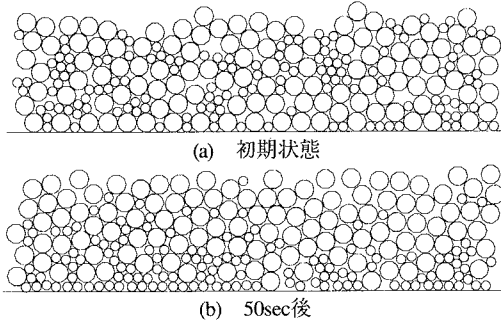


Fig. 1 解析結果（モデル1ー振動）

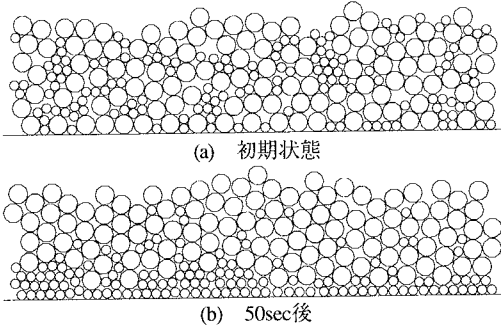


Fig. 3 解析結果（モデル1ー流動）

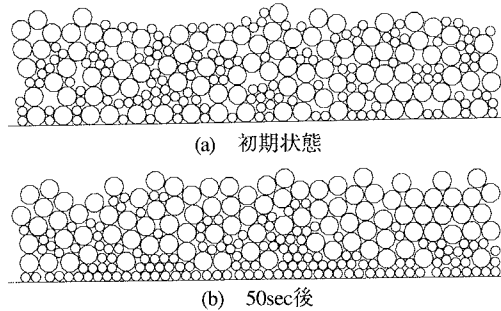


Fig. 5 解析結果（モデル2ー流動）

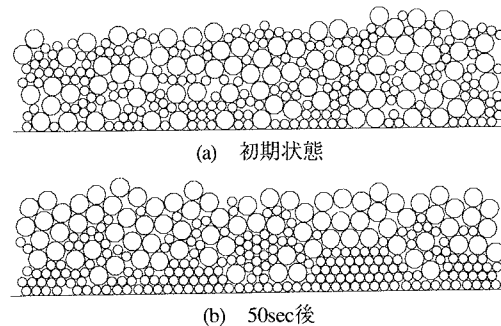


Fig. 7 解析結果（モデル3ー流動）

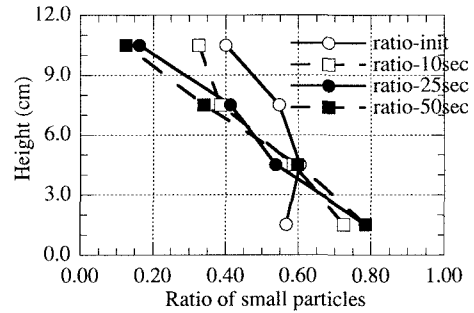


Fig. 2 小粒子の高さ方向分布（モデル1ー振動）

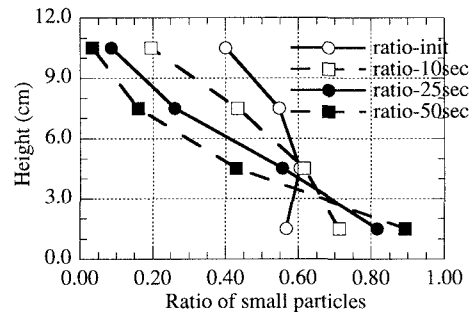


Fig. 4 小粒子の高さ方向分布（モデル1ー流動）

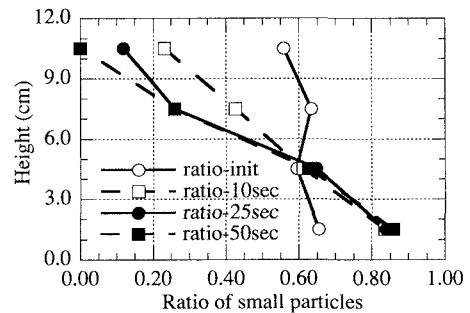


Fig. 6 小粒子の高さ方向分布（モデル2ー流動）

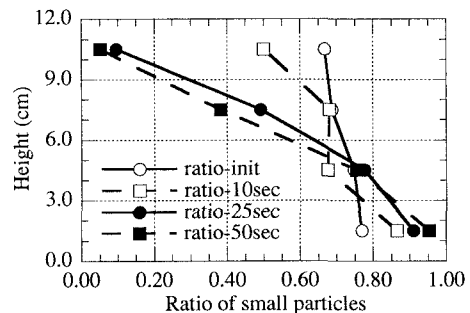


Fig. 8 小粒子の高さ方向分布（モデル3ー流動）