

(122) ホッパーにおける粒状体の運動解析

住友金属工業株式会社 総合技術研究所 ○田中 努 梶原義雅 稲田隆信

1. 緒言 粒状体の運動を記述する従来の数式モデル¹⁾²⁾は連続体を前提とすること、境界条件に実験的知見を必要とすることなどから適用上の制約が多い。本報告では粒状体の粒子毎の運動方程式を構成方程式とする数式モデルを開発し、粒子径の分散系に適用した。

2. 数式モデル 円柱状粒子を対象に粒子間相互作用をFig. 1に示すスライダを持つVoigt-Kelvin模型で近似した。

Cundall⁸⁾の場合と異なり、スライド条件にスプリングとダッシュボットの合力に対してCoulomb則を適用した。ダッシュボットに臨界制動条件を適用し、力と変位の関係を用いて粒子の回転および併進に関する運動方程式を時間積分した。

3. 計算結果の妥当性の検証 ホッパーから排出する木の棒、アクリル棒などの円柱状粒子を対象に実験との対比を行なった。計算条件： $\Delta L/L = 1/3.5, d/L = 1/17, \mu = 0.36, mg/K_n \cdot d = 1.5 \times 10^{-3}, K_s/K_n = 1/4$ 、実験条件： $L = 23\text{cm}, \Delta L = 6.6\text{cm}, d = 1.4\text{cm}$

Fig. 2に粒子の排出挙動の計算結果を示すが、まずスリット上方の粒子が排出され、ホッパーの隅からの排出は遅いことがわかる。排出粒子数の時間変化をFig. 3に示す。排出の後期を除いて単位時間あたりの排出粒子数はほぼ一定であり、実験との対応も良好である。その他、排出順序、堆積形状、棚吊り形状などについて実験との対応を確認した。

4. 適用例 本モデルをホッパーから排出する粒子の粒径経時変化の抑制に適用した。粒径比1:2の表面の粗いアルミ棒粒子をホッパーの中央部から充填したときの粒子の配列をFig. 4に示す。反発箱を設置した場合(ケースB)、黒塗りで示した細粒は水平方向の分散に優れている結果が得られた($\sigma_A = 0.36, \sigma_B = 0.42$)。そのため、排出時の粒径偏差はケースAの0.6倍に減少した(Fig. 5a)。類似の現象がアルミ球を用いた3次元の模型でも確認され(Fig. 5b)、反発箱の設置が粒径偏差の抑制に有効なことが判明した。

5. 結言 制約条件の少ない粒状体の運動解析手法を開発した。今後、粒子形状の影響について検討する予定。

文献 1)W.W. Mullins: Powder Tech., 9 (1976), p. 29
 2)桑原ら: 鉄と鋼, 65 (1979), S 565
 3)P.A. Cundall: Symp. ISRM, Nancy, France, Proc., 2 (1971), P. 129

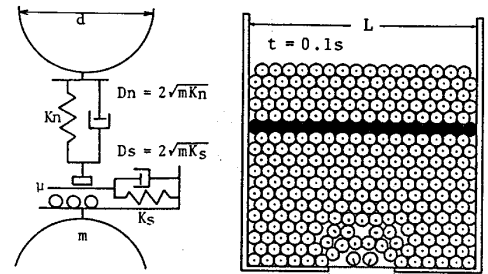


Fig. 1 Rheological model

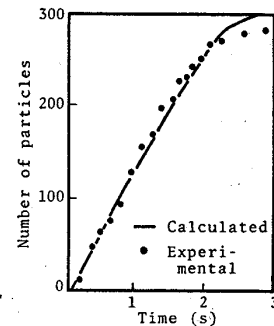


Fig. 3 Time dependence for the number of particles discharged

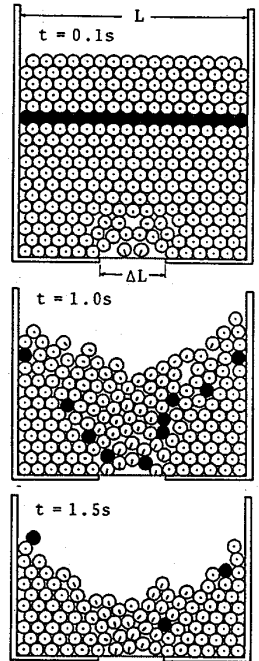


Fig. 2 Movement of particles in the discharge

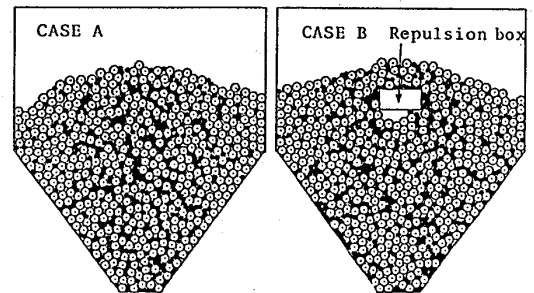


Fig. 4 Arrangement of particles in the filling

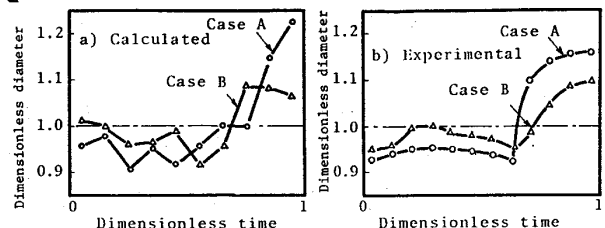


Fig. 5. Effect of a repulsion box on a particle diameter in the discharge