

粉体への固体塊押し込み時の AE 計測

松山和広（九大・総理工）, ○桂木洋光（名大・環境）

I. 背景

粉体は砂のような離散的な固体粒子の集合体として定義され、身近な存在として土木、食品、薬剤などの分野で普遍的に現れる。しかし、その物理特性は必ずしも単純ではなく、粒子の非弾性衝突や摩擦などの散逸の効果により、複雑な力学的特性を持つ。例えば固体のように静的につりあった状態であっても、その不均一な配置や接触点の不規則性から、圧力をかけると内部応力の分布が複雑になり、通常の弾性体とは異なった応答を示す。このような特異な性質から、粉体は工業的にも扱いづらい材料と見なされており、その挙動の原理的な理解が必要とされている。

粉体は、全体としてある種の不均質構造を作っている。「不均質媒質」を考える上では、まず均質な状態を作りそこに不均質性を導入する方法が標準と考えられる。しかし、粉体はその逆の手順で不均質性を実現する。つまり、粉体は一つ一つの離散要素（粒子）が均質な最小単位で、それを不均質に積み上げることにより「不均質媒質」を構成する。本研究では、粉体による不均質性のボトムアップ的構成を用い、その中で粒子再配置などの状態を AE (Acoustic Emission) により特徴付けることを目指す。

II. 実験

容器内に積層された直径 d の粉体（ガラスビーズ）層に対して、万能試験機(Shimadzu AG-100NX)を用いた押し込み試験を行う。試験機は一定の速度 v で半径 r の球体を粉体層へ押し込み、粉体層表面からの距離 z と、球にかかる抵抗力 F を計測する。粉体層内に微弱な弾性波を捕らえる AE センサー(NF AE-900S-WB)を埋め込み、球体押し込みの際に生じる AE シグナル A [V] を計測する。図 1 に実験系の概略図を示す。粉体の直径 d 、押し込む球の半径 r 、押し込み速度 v を以下の実験条件で示したように変化させ、同一の設定で 3 回ずつ実験を行った。

実験条件：

$d=0.4, 0.8, 2$ [mm] (ガラスビーズ)

$r=5, 10, 20$ [mm] (ステンレス球)

$v=0.5, 1, 5$ [mm/s]

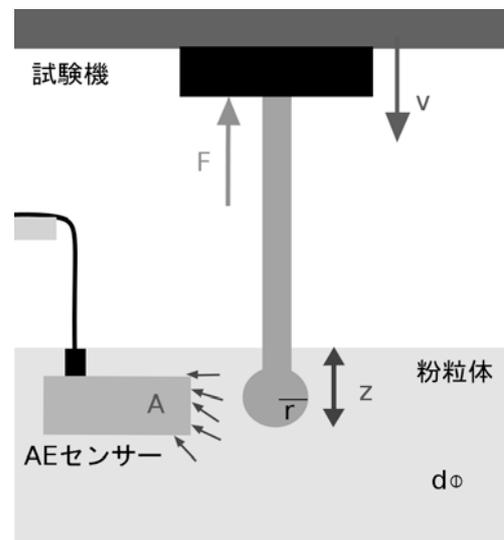


図 1 実験概略図

III. 結果と議論

まず、押し込まれた球にかかる抵抗力については、押し込み深さとの間に $F \propto z^\alpha$ という関係が確かめられた。この関係は基本的に先行研究[1]と同様の結果であるが、指数 α の値は先行研究では 1.5 であったのに対して、本研究ではおよそ 1.3 となった。

一方、押し込み時に粉体層内で計測された AE シグナルは、図 2 に示すようにいくつかのバーストを持った時間変化を示した（不連続 AE）。このような AE シグナルから、各バース

トを AE イベントとして取り出し、AE イベントの緩和時間について調べた。図 3 に AE イベントの平均プロファイルを示す。AE イベントは立ち上がり以降、

$$A \propto \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

のように、指数関数的に減衰しており、その緩和時間 τ を求めた結果、粒子径が大きい程、緩和時間が長くなることが分かった。

また、AE イベントの統計的な解析として AE イベント中の最大振幅を測定し、その確率密度分布を求めた。図 4 に示すように、サイズ分布は広い範囲でベキ分布、

$$P(s) \propto s^{-\beta} \quad (2)$$

となった。ベキ分布は、固体材料の圧縮試験過程における AE シグナルでも見られるが、本実験の場合はセンサーのごく近傍での粒子配置の信号を捉えている可能性が高い。一般にサイズ分布の指数は破壊や変形の様式に依存するが、本実験におけるこの指数の物理的意味は未だ明確ではない。一様圧縮による粉体 AE を測定した先行研究[2]においても AE イベントサイズがベキ分布で現れるが、 $\beta=1.15$ と本実験と大きく異なる。この原因は、力のかけ方の違いによる変形挙動の違いにあると考えられる。容器径と球径の比を変化させるなど、より詳細な実験により、変形挙動を β によって定量化できる可能性がある。

IV. まとめ

ボトムアップ型の不均質媒質である粉体（ガラスビーズ）層への固体球押し込みにおける粒子再配置等を捉えるために、AE 計測を行った。AE イベントの指数緩和が粉体粒子径に依存することや AE イベントのサイズ分布がベキ分布になることが分かった。

【参考文献】

- [1] H. Katsuragi, *Phys. Rev. E* **85**, 021301 (2012); *Chem. Eng. Sci.* **76**, 165 (2012).
 [2] R. C. Hidalgo et al., *Phys. Rev. Lett.* **89**, 205501 (2002).

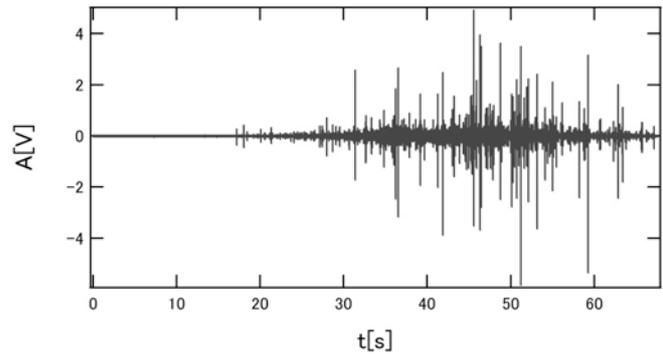


図 2 AE シグナル

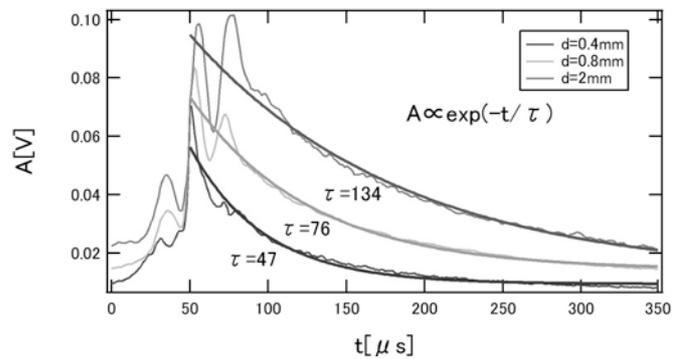


図 3 AE イベントの平均プロファイル

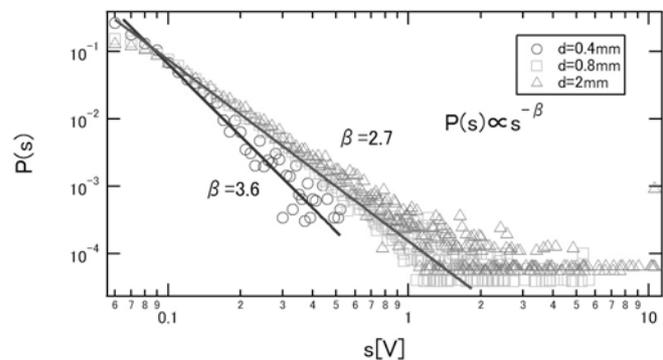


図 4 AE イベントサイズ分布