

III-20 粉体力学に関する一実験

東京大学

最上 武雄

1 序 説

粒子、粉体の力学は Coulomb, Rankine の時代から一種の連続体として論じられ、一体系をなしてゐる。粒子を粒子として考へその力学を築くことは、ガス分子などには行はれ統計力学の名の下に知られてゐる。この力学と直接微粒の集りのようなものに適用することは原理的な困難を持つてゐる。粒体を統計的に考へ方から論じることは久しくともごく最近までは成功してゐない。Stochastic Process の理論の応用があることは多くの人が報じてゐるが著者はまた原論文を見てゐない。約 10 年程前に著者は、粒体の力学と統計力学に似た方法で扱う試みをしたことがあるが、その理論が不完全なものであることは自から良く知つてゐた。理論構成は理論構成として、いくつかの場合に実際の現象がどのように起るかも知ることと大切なことであり、これを亦二九つ九事が 10 年前の過誤の大きな原因をなしてゐたと思つてゐる。この意味で約 1 年半前からやつてゐる小実験の結果を報告したい。

2 実 験

15 cm × 25 cm の薄い矩形の箱に直径 5 mm の鋼球を入れ、その箱の一边（短い辺）を静かに押し込んで行き、押し込み量、押し込み力とを測定した。押し込みの各段階に於て球の状態の写真ととり後の整理に備へる。鋼球の置き方は出来るだけ不規則にし、球数は 1200, 1300, 1400 の三種とした。

3. 実 験 結 果

(i) 力と変位との関係

丁度次の Confined Compression test の場合に得られるような力・変位曲線が得られる。面目いのは初めの密度によつて曲線がはつきり変ることである。一边を押して行くにつれて押してゐる辺に近い所の鋼球の密度が大きくなり、これが次第に遠方に傳はつて行く。これから見て此現象は明らかに非定常な現象のようと思ふ。かつて著者が考へた定常的な現象に対する理論はそのまゝでは、この現象には便さないことがはつきりした。

(ii) 球の動き

箱に入れた鋼球の中のいくつかを指定して壁の動きにつれてどのように動くかを観察する。これらの球は箱の面積を 3 列 5 行に分割した時にそれぞれ水の正方形の中央付近にある球である。観察によれば各球は大作辺の移動する方向に動き側方への動きは余り大きくない。また移動辺から遠い処にある球は辺が可成り動いてから初めて動き出す。辺の移動量と球の移動量とは強ば比例する。そしてこの兩者の関係をあらはす直線は殆ど平行である。

(iii) 間隙比または密度の変化

辺の移動の各段階に於て上方からとつた球の写真に柵目を入れ各段階に於て柵目内の球

の数と数える。境界線上の球については目分量で球の数に入れる。辺の押込量と柵目中の球のあちまりの間隙比との関係と調べると移動辺から2, 3番目の柵の間隙比はまづ辺の動きについて小さくなるが、辺の動きがある程度大きくなつた所で最小となり再び大きくなる。そして2番目の柵の方が3番目の柵よりも辺の移動が稍や小さい所で間隙比が最小になる。つまり、この辺りでは現象が波動的に起つてゐると思はれる。この波動現象の傳播する速さは δ と単位として大体4~5位である。可動辺から4番目以上の柵になると間隙が波動的に傳播することはなくなり傳導的になる。柵目内の間隙比は辺の移動がある値(8)になるまで大体不変で δ とこゝろと小さくなる。例へば鋼球全数が1200の場合で言うと7, 8, 9番目の柵目内の間隙比は辺の移動の影響を奇々初めるまでに必要な辺の移動量 δ 。はそれぞれ7, 7.5, 8.3 位であつて可動辺から遠い柵目には影響が及ぶまでには辺の動きがより大きくなる必要がある。

今球の全数が1200の場合、矩形箱の長辺に平行な中央列に沿つた柵目の番号を可動辺に接する方から数えて x とし、 x/δ を算術目盛で横軸に、 $\sqrt{x}$ 密度を対数目盛で縦軸にどうしてプロットすると、これらの点は可なりよくまとまつた直線になる。尤も詳しく見ると δ が大きくなるにつれて直線は上方に平行移動するように見える。 δ の範囲とある程度限定すると一本の直線と見做してもそれ程大きな誤りもないように思はれるので、密度 ρ と柵目番号 x 、辺の移動量 δ との関係と求めると、鋼球全数が1200の場合

$$\delta = 4 \sim 7 \text{ に対して} \quad \rho = \frac{1.876}{\sqrt{\delta}} e^{-0.008 \frac{x}{\delta}}$$

$$\delta = 8 \sim 11 \text{ に対して} \quad \rho = \frac{1.334}{\sqrt{\delta}} e^{-0.018 \frac{x}{\delta}}$$

が成立つ。

(4) 総括と結論

この実験のように、水平な箱に鋼球を入れ、その一边を押し込んで行くような場合に起る現象は粉体又は粒体の圧縮現象のモデルとして役立つであらうが、現象はまづ可動辺の近くでは波動的遠くでは傳導的と思はれる。

ここで報告した実験は準備的なもので、例へば柵目中の球の数なども写真の上で直接数えたりしたので非常に手間かつ分割に多くの観察は出来なかつた。現在この数をPhoto-cellを用いて計量する方法が出来たので、これによつて色々な條件を変えて観察を繰返して上理論的な考察を加えて行きたいと思つてゐる。少なくとも今後の実験でも統計的な取扱ひの可能性は示唆されてゐるようによろしく思はれる。