

# 上下運動による角型容器内における 細粗固体粒子の分離について

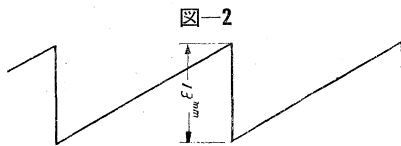
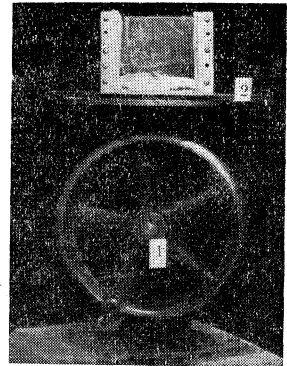
准 員 榎 場 重 正\*

**要 旨** 角型容器内に入れた細粗 2 成分よりなる固体粒子に上下運動を与えた場合の粒子の運動ならびにその際生ずる分離の機構を研究するために行つた実験およびその考察についての報告である。

## 1. 実験装置および実験方法

実験装置としては上下運動を与えるために図-1のようにセメント規格試験用フローテーブル(1)を用い、これに厚さ 1 cm のゴム板(2)で鉄板製容器(10 cm×10 cm×10 cm)(3)を固定した。なお容器内の粒子の運動を観察するため、容器の一面をガラスとした。上下運動は装置の都合上、手廻しハンドルにてカムを回転することにより与えたが、カムの形状により容器に与えられる運動は図-2のような運動となり、その落下する高さは 13 mm である。カムの回転数は 1 分間におおの 60, 90, 120 回転の 3 種とし、固体粒子としては相馬および九味浦のセメント試験用標準砂を粉碎して、骨材用フルイにより No. 1 (1.2~0.6 mm), No. 2 (0.6~0.3 mm), No. 3 (0.3~0.15 mm), No. 4 (0.15~0.088 mm), No. 5 (0.088 mm 以下) の 5 種にフルイ分け使用した。なお分離の状態および粒子の運動状態を観察するため No.1 を黒く染め、使用に際しては常に同様状態をうるためおのおの砂を乾燥器にて充分乾燥させて使用した。実験にはまず最初から細粗固体粒子をよく混合して容器に投入して、上下運動を与えたときの粒子の運動を観察し、最後に寒天

図-1



で固めて内部の状態を観察した。また別に粗粒 (No.1) の一定量 (100 g) に対して細粒 (No.2, No.3, No.4, No.5) をおのおの 50, 100, 150, 200, 300 g とり、二層に分けて投入し、自由表面に下層の粗粒子が出てくる時間を測定し、粒経比、回転速度、投入量などによる相異を観察、その状態において寒天で固め内部の

図-3

図-4

状態を観察した。さらに一部のものにつきこれよりも長時間かけたときの状態について観察した。

## 2. 実験結果

まず細粗粒子を図-3のようによく混合して上下運動を与えると、図-4のように粒子体の自由表面の中央部が山形に盛り上がり、粒子は中央部より落下ごとに僅かずつ自由表面に向つて移動し、一方自由表面に達した後は中央部より容器側壁部へ粒子が流下し、ついには図-5のように中央部に細粒が集まり、側壁部に粗粒が集まる状態に達する。さらに図-5の状態を

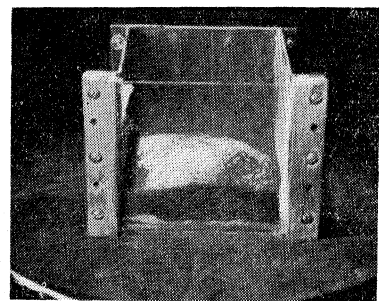
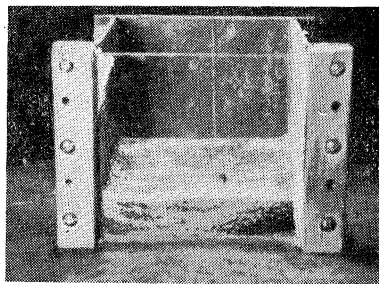
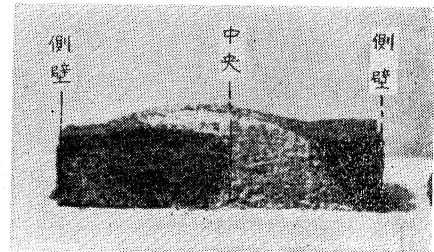
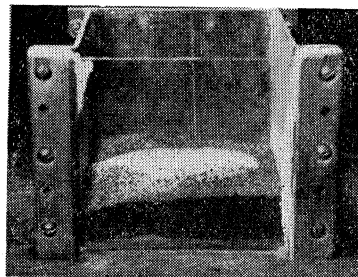


図-5

図-6



\* 金沢大学助教授, 工学部土木工学教室

図-7

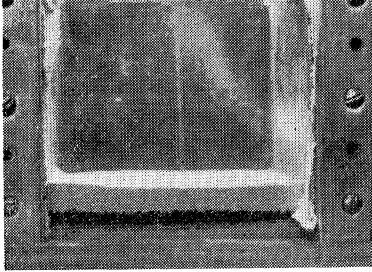
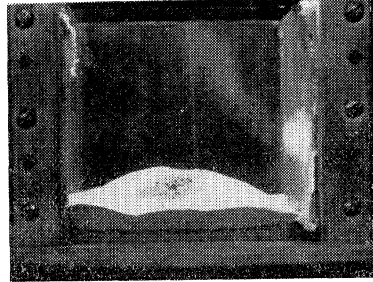


図-8



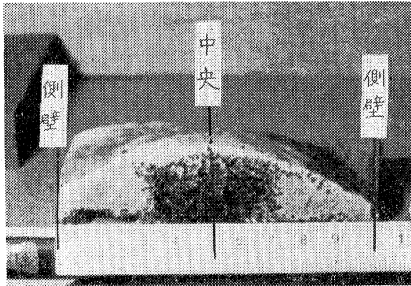
くわしく知るために寒天で固め中央で切断すると図-6のように内部でも明らかに中央部に細粒が集まり、側壁部に粗粒が集まった状態を観察することができる。

つぎに粗粒と細粒を層にわけて入れたときの下層の粗粒が上層の細粒の自由表面にあられる時間を測定し細粒相互の運動について観察した。その結果を見ると図-7のように粗粒を下層に、細粒を上層にして上下運動を与えると、まえと同じく自由表面は運動につれて山形をなし、ついには

図-9



図-10



中央部より粗粒がわずかつ 図-8 のようにあらわれ粗粒で自由表面が覆われる状態となる。

さらに運動をつづけ、図-6 と同じように寒天で固め中央で切断すると 図-9 のように細粗粒子が部分的に混合してくる。しかしこの状態でも見られるようにその混合は全体的に見てごく一部に過ぎず、ほかの部分は細粗粒子が部分的に集合した状態を示し、運動をさらにつけると混合よりむしろ図-4 より 図-6 に示したような分離の作用が目立つてくる。

図-8 における内部の状態を見ると 図-10 のように運動の初期においてもほとんど細粗粒子は明らかな境界をもうけて運動していることがわかる。

つぎに上のような状態における粒子の経時変化を見るために 上記の実験において 下層の粗粒が細粒の自由表面にあられる時間を測定して、横軸に上層粒子の投入量、縦軸に表現時間をとれば 図-11 より 図-16 のようになる。さらに上層の細粒量を一定 (100 g) として下層の粗粒子の投入量を変えたときは 図-17 より 図-22 のようになる。

### 3. 考察および分離の機構

以上のべた実験の結果より角型容器内に入れられた固体粒子は、上下運動にともなつて、中央部においては下部より上部に上昇し、自由表面では中央より周辺に向つて流下し、周辺では中央部の粒子の上昇運動につれて下降運動を行つている。これらの運動をさらに確めるために一応同一粒径の砂層の中に 図-23 のように水平な縞をつくり、これに前と同じように上下運動を与えてその結果を寒天で固め、切断して見ると 図-24 のようになり、明らかに粒子体内には 図-25 に示すような流れを生じていることがわかる。

つぎに 図-11 より 図-22 について考察して見るに、図-7 より 図-10 において見られるような細粗粒子を層にして投入したときは上下運動を与えて相当時間を経過しても混合は進まず細粗粒子はお互に別個の運動をし

図-11

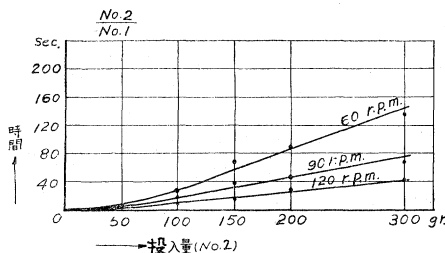


図-12

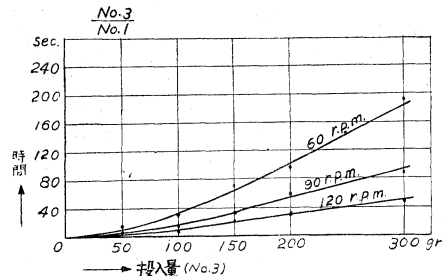


図-13

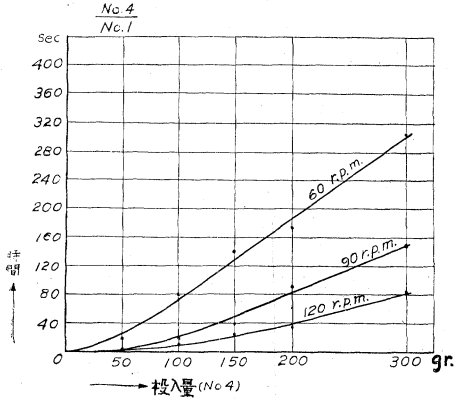


図-14

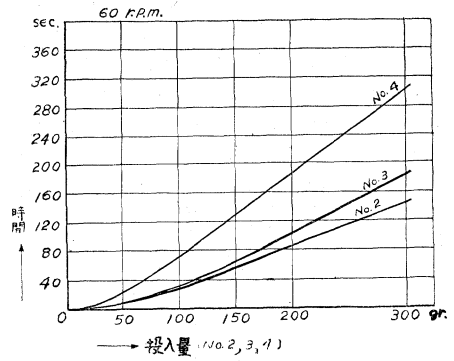


図-15

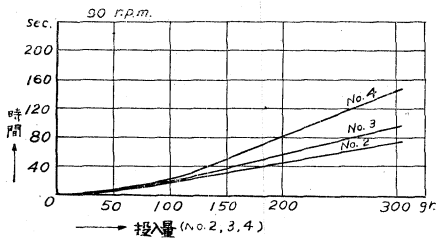


図-16

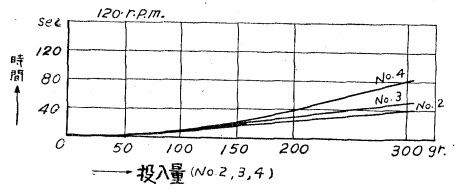


図-17

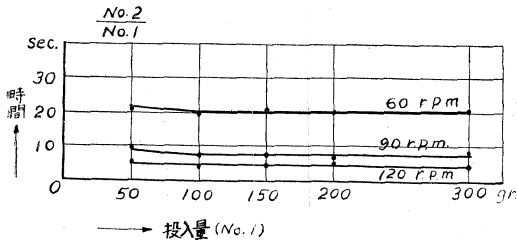


図-18

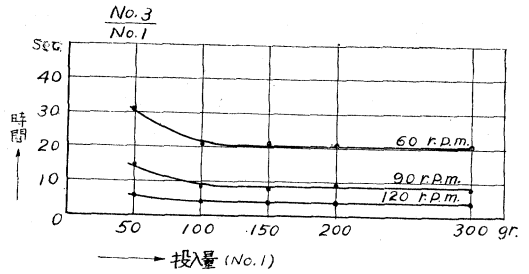


図-19

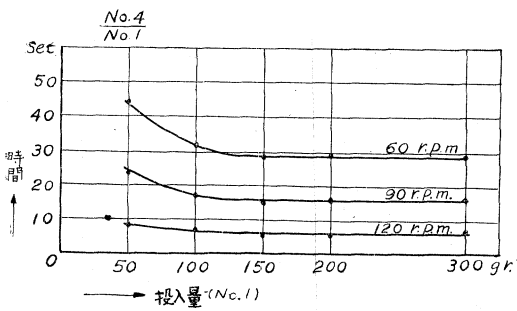


図-20

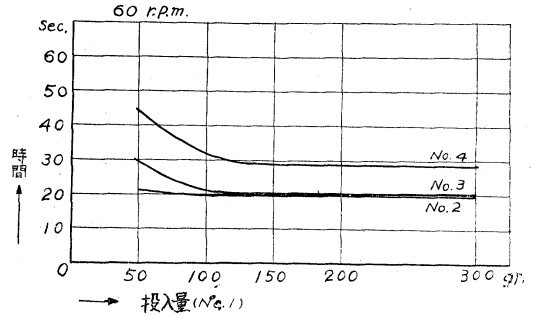


図-21

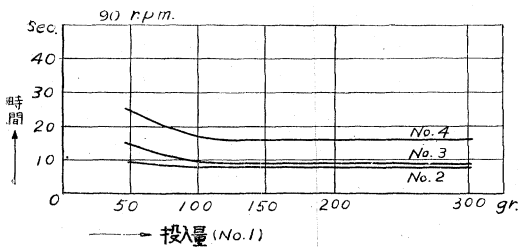


図-22

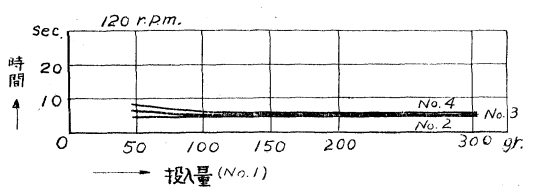
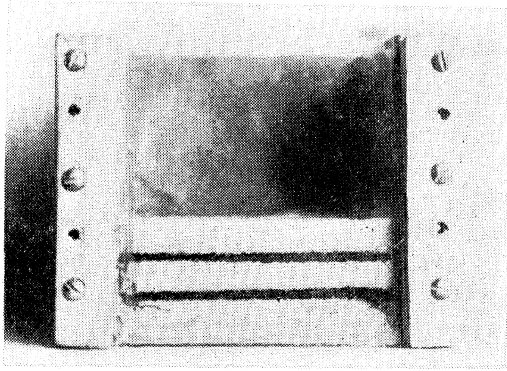


図-23



ている。しかし下層の粗粒を一定量(100g)にして上層の細粒の粒径および投入量をかえると、粒子の循環する速度は上層の細粒の投入量の多いほど遅くまた粒径の小さいほど遅い。投入量の多いほど遅いことは層の厚さが厚くなり下層が上層の重量により上昇をさまたげられるため、上層が同一量でも粒子のこまかいほど遅いのは上下運動により粒子は次第に締め固められるようになり、この作用は細粒ほどはなほだしく、したがって粗粒が自由表面に現われにくくなるものである。とくに No.5 を上層におくときは相当長時間運動をつづけても下層の粗粒は自由表面に現われない。

図-24

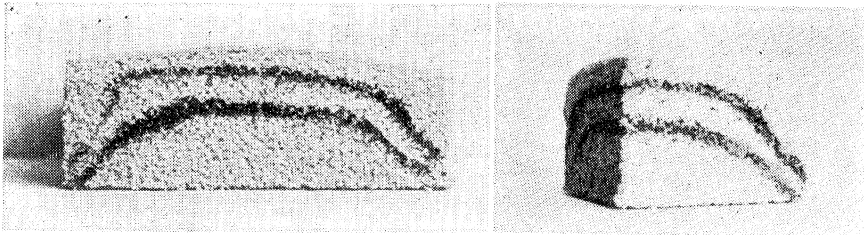
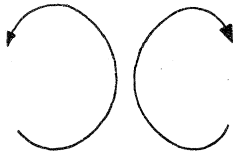


図-25



て粒子の移動が容易になるためと考えられる。

さらに上層の細粒量を一定(100g)として下層の粗粒量を変化させてみると、下層の量に対してはほとんど関係なく同一回転数に対しては循環速度は一定している。また上層の粒子の粒径に対して No.4 のようにごく細かい場合は下層の粒子が自由表面に現われる時間がやや遅くなるが、No.2, No.3 のようなものに対してはほとんど同じである。ただいずれの場合でも下層が薄い場合に現われる時間の遅いのは、上下運

動により上下層の境界部で細粒が粗粒の間隙をぬつてある厚さ侵入するが、下層の粗粒が少ない場合には侵入した細粒が粗粒の底部に近づくためさらに下に移動することができず、したがって下層の粗粒が多い場合よりも下層単位体積当りの細粒混入率が大きくなり粗粒の上方への移動率を減少する結果と考えられる。

以上により大体固体粒子が容器内で上下動を与えられたときの運動および細粗粒子の相互の運動をすることができたが、さらにすすんで前にものべたように二層に分けて粒子を入れても、あらかじめ良く混合して入れてもある時間を経過すると分離の作用が大きく現われる。この運動中における分離の機構について考察してみると、従来水平回転円筒<sup>9)</sup>および傾斜回転円筒<sup>10)</sup>につき実験を行い、やはり分離の作用が現われいろいろの段階で説明してきたが、本実験の場合には上昇運動をする中央部、自由表面および下降運動をする容器周辺部と三つの部分に分けて考えられる。

すなわちききしめした 図-25 のような粒子の運動が容器に上下運動を与えられたことによつて粒子体内に生じているが、上昇運動をする部分では細粗粒子の何れもが上方へ移動しようとするが、移動につれて細粒は粗粒の間隙をぬつて移動できるのに反し、粗粒は細粒の間隙をぬつて移動できぬため、細粗粒子の移動量は細粒の方がはるかに大きいがつて細粒の方が早く自由表面に現われてくる。しかし全体として上昇運動をしているから粗粒も次第に自由表面に近づき、ついに落下の反動で上層の薄い細粒層をつきやぶつて自由表面に現われる。

自由表面では上下動につれて粒子は中央が山形に盛り上るため周辺に向つて流下する。その際細粒は粗粒に対して転落に対する抵抗が大きく、また自由表面のわずかな間隙にも着の期間に重力により下へ侵入しようとするから粗粒のみが周辺に集まり 図-4 のような状態になる。

一方周辺部では下降運動をしているからわずかな間隙でも侵入しやすい細粒は粗粒の間隙をぬつて下降し、周辺では次第に粗粒がとりのこされついに 図-5 のように中央部に細粒が集まる。さらに下部の周辺と中央では中央部の粒子が上昇するにつれて周辺より中央へと粒子が移動するが、この場合も上と同じく細粒が早く移動して結局 図-6 のような分離の状態を生ずるものと考えられる。

つぎに上下運動の回数については回数の多いほど循環速度がはやい。これは粒子は上下運動により攪乱と着の動作を交互に行われるが、上下動の回数の多いときほど着の時間が短く、したがつ

結 言

以上上下運動を与えられた角型容器内の細粗固体粒子の運動および分離の機構について実験的に究明したが、さらに広い分離の機構について研究する必要がある、従来行ってきた水平回転円筒および傾斜回転円筒の分離の機構とあわせて研究を進めるつもりである。

終りに本研究にたいして終始御指導を賜った京都大学村山朔郎博士および実験にあたり御協力を得た小村亮七、村木主君に深謝の意を表すものである。

なお本研究は昭和 28 年度文部省科学研究助成費の交付をうけたものである。

参 考 文 献

- 1) 村山朔郎, 榑場重正: 土木学会誌, 36—10 (1951) p 26.
- 2) 村山朔郎, 榑場重正: 昭和 28 年度文部省科学研究費報告集録, 29 年集録, No.4, p 172.  
(昭. 31. 5. 16)

“石川時信: 副座標による Beam Theory について”

(論文集第 38 号登載)

正 誤 表

頁	行	誤	正
1	図-1	$b, a$ の文字	$b$ を $a$ に $a$ を $b$ に替える
2	2 行以下 6 行まで	$\alpha_1, \beta_1, \dots, \epsilon_1$ $\alpha_2, \dots, \delta_2$	$\alpha_{1A}, \beta_{1A}, \dots, \epsilon_{1A}$ $\alpha_{2A}, \dots, \delta_{2A}$
3	27 行	……(3 a)	不要 (省く)
4	20 行以下 23 行まで	$I_A, I_B, I_C$	不要 (省く)
4	22 行	$M_{CB} = \frac{EI_B}{A_0} \left\{ \quad \right\}$	$M_{CB} = -\frac{E}{A_0} \left\{ \quad \right\}$
4	28 行	$V_E = \frac{D-HC}{E}$	$V_E = \frac{D-H_C C}{E}$
5	8 行 (7 a) 式中	$\frac{1}{2} h l_1^2 \alpha_{1A}$	$\frac{1}{2} h l_1 \alpha_{1A}$