

軌道における道床バラストは、まくらぎからの衝撃的荷重を繰返し受けて、残留変位を重ね、その結果、まくらぎは次第に沈下するが、これがいわゆる軌道破壊の主原因となっていることは周知の事実である。その場合の荷重繰返数(時間)と沈下量との関係は、実際の軌道の場合でも、実験室内での繰返荷重(静的)試験<sup>2)</sup>、Vibrogirと呼ばれる振動試験機による実験<sup>3)</sup>、さらに振動台による振動実験<sup>4)</sup>でも、いずれの場合にも、ほぼ、図-1に示すような曲線をとることが報告されている。なお、国鉄で用いられている実験式を図中に記した。この式の第2項は道床粒子間の間隙の減少による圧縮に伴う沈下、第3項は粒子がまくらぎの側方に流動することによる沈下であろうと説明されている<sup>5)</sup>。われわれはこのような道床を一応念頭に置きながら、粒状体上に置かれた載荷板の沈下の機構を解明する一つの試みとして、鋼棒積層体を用いた二次元模型実験を行なった。二次元粒状体を用いたのは、粒状体内部の現象観察を容易にするためであり、また荷重として落錘による衝撃荷重を用いたのは、道床を想定したためである。

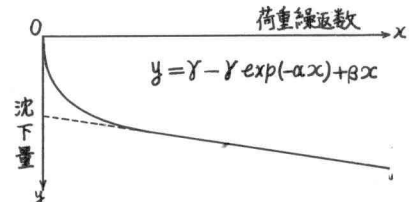
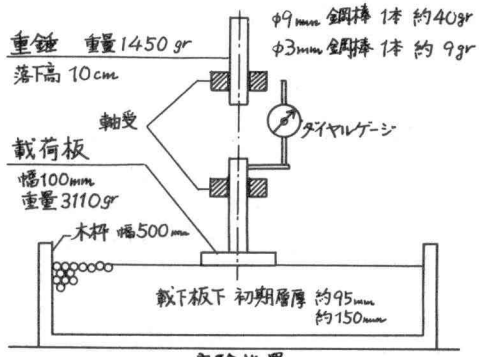


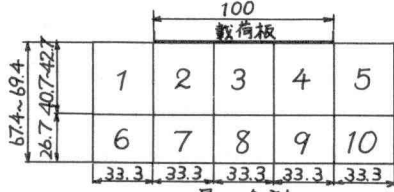
図-1 まくらぎの沈下曲線

1. 実験の概要

粒状体として単一径(直径約9mm)および2種の径(直径約9mm, 3mm)を混合した鋼棒の積層体を用いた。鋼棒は自然に堆積させた場合よりも間隙が多くなるように不規則に積み上げた(写真-1, 写真-2)。



(a) 実験装置



(b) 層の分割

図-2 実験装置, 層の分割

実験装置を図-2に示す。幅50cmの木枠の中に、鋼棒を積み上げ、層厚を約95mm または約150mm とし、その上に幅100mmの載荷板(上下方向にのみ可動)を置き、これに落錘により衝撃を加えた。なお上載荷重は考えていない。衝撃を加えるたびに載荷板の沈下量を測定し、粒子の移動が生じている主要部を写真撮影

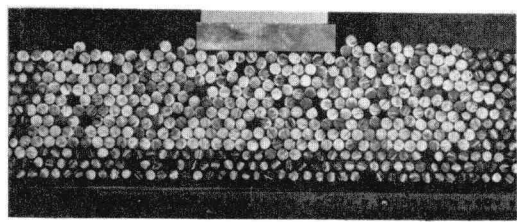


写真-1 単一粒径(9mmのみ) 層厚95mm (A-2)

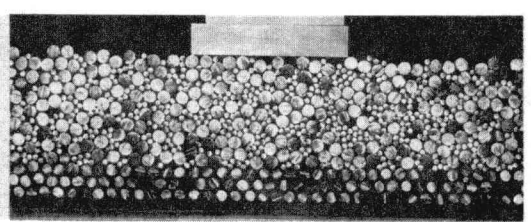


写真-2 2種の粒径(\phi 9mm + \phi 3mm) 層厚92mm (B-2)

した。大きく引伸した印画をトレースし、重ね合わせることで、個々の粒子の移動を追跡し、移動量を求めた。また図-2(b)のように載荷板付近を10部分に分割し、各部分の面積とその中にある粒子部分の占める面積を求め、各部分の間隙比を計算した。なお、使用した鋼棒の断面は完全な円形でないものが多いが、近似的に円として計算を行った。その結果、計算した間隙比はやや大きくなっているが、定性的な検討には差しつかえないと思う。

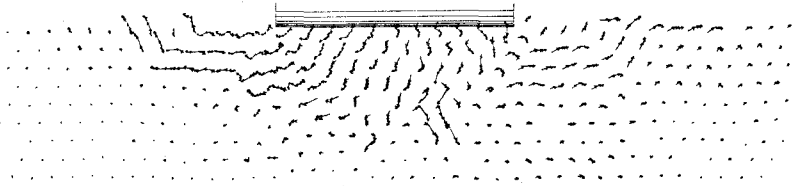
## 2. 粒子の移動

載荷板からの衝撃は、載荷板に接しているいくつかの粒子から、順次遠方の粒子に伝達されるが、粒子配置が不規則な部分では、粒子間圧力の伝達経路、その大きさなども不規則となり、したがって、個々の粒子の移動方向、移動量にもその影響が見られるようである。

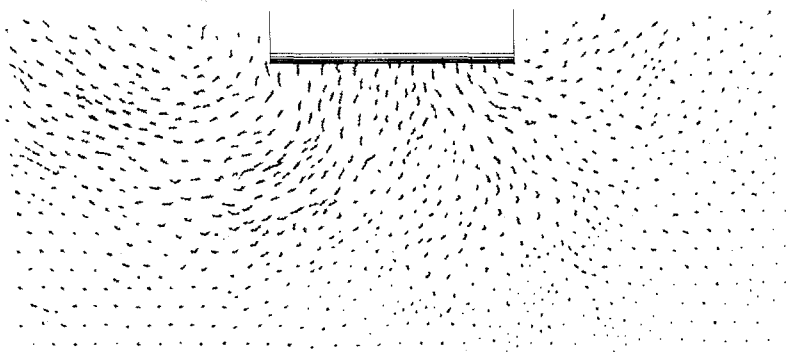
図-3は粒子の中心点の動きを追跡し、その移動方向と移動量を矢印で示したもので、(a)は単一粒径( $\phi 9\text{mm}$ )層厚 $95\text{mm}$ の場合、(b)は2種の粒径( $\phi 9\text{mm}$ ,  $\phi 3\text{mm}$ )層厚 $149\text{mm}$ の場合の1例である。

(a)の場合、粒子は水平に対しては水平に対して $60^\circ$ の方向に移動するものが多いが、これは六角形配列が多いためである。また各所に存在する大きな間隙を含む骨格は、次第に崩壊するが、保存されるものもある。なお粒子の相対移動の大きいすべり線が認められる。(b)の場合は(a)の場合よりも粒子配列が不規則なので、特に卓越した移動方向は見られず、粒子の流れはむしろなめらかな曲線状となっている。すべり線も判然としていない。

図-4は図-3(a)の45点の粒子の衝撃回数5, 15, 30回目の(a)鉛直および(b)水平移動量を示したものである。各回の移動量に注



(a)  $\phi 9\text{mm}$ , 層厚 $95\text{mm}$  (A-8)



(b)  $\phi 9\text{mm} + \phi 3\text{mm}$ , 層厚 $149\text{mm}$  (C-3)

図-3 粒子の動き

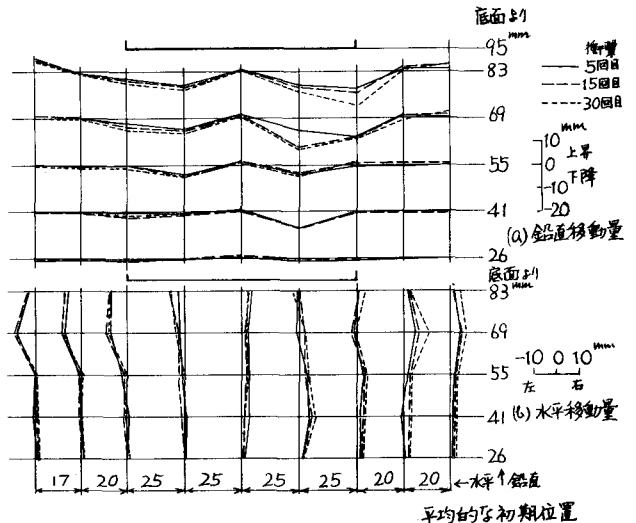


図-4 粒子移動量

見てみると、初期に大きく移動し、その後の増分は小さくなるのが一般であるが、必ずしもそうでない粒子もあり、粒子骨格構造の影響が大きく現われている。したがって、比較的粒径が大きい場合には、粒子骨格構造が直ちにその挙動に影響するものと考えられ、砂のように粒径が小さく粒子数が統計量となり得るほど十分な材料と、考え方を考える必要があるように思う。なお今後、応力伝達との関連も考えてゆく予定である。

### 3. 間隙比の変化と沈下の機構

衝撃荷重に対して沈下量および積層内各部分(図-2(b))の間隙比をプロットしたのが図-5~8である。図-5~7は単一径の場合、図-8は2種の径の場合である。この両者の沈下曲線は明らかにその様相を異にしている。単一径の場合、最初の数回で大きく沈下し、その後はほぼ直線的に沈下が進行するのに対して、2種の径の場合は、最初からゆるやかに沈下してゆく。これら2種の粒度分布以外には実験を行っていないが、粒度分布が粒状体の力学特性を左右する重要な要素の一つであろうと考えられる。

次に積層内各部分の間隙比が沈下の進行とともにどのように変化するかを、図中の中、下段に示した。中段は上層(図-2(b)の1~5部分)、下段は下層(同図6~10部分)各部の間隙比およびそれぞれの平均値である。これらを沈下曲線と対応させながら検討すると、まず載荷板に近い上層では、初期に急激に間隙比が小さくなり、その後やや増加して、ほぼ一定値となる。図-6の場合、8回目ではじめて急激に小さくなっているのは、7回まで、付近の骨格が崩壊しなかったやや特殊な状況が現われたも

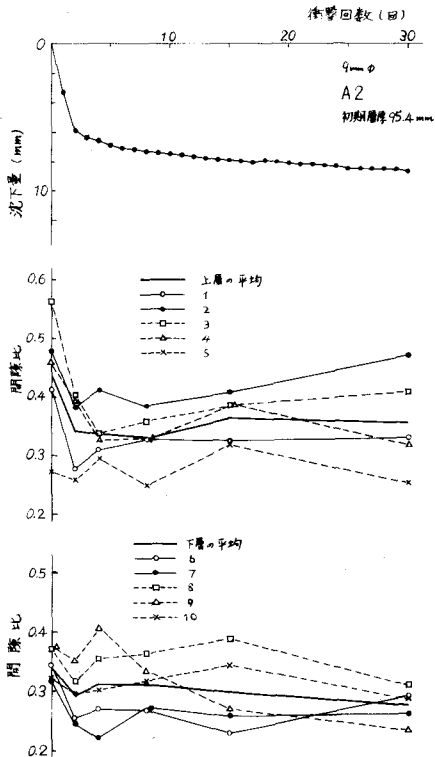


図-5 沈下量 および 間隙比 ( $\phi 9\text{mm}$ のみ)

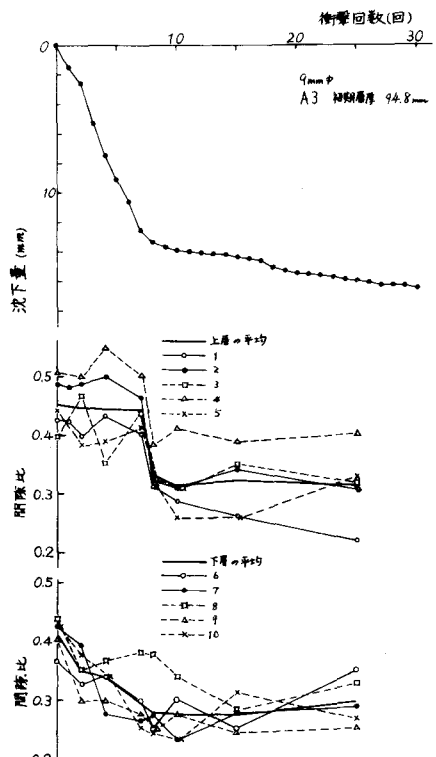


図-6 沈下量 および 間隙比 ( $\phi 9\text{mm}$ のみ)

のである。間隙比が急激に減少するのは、骨格が崩壊し、圧縮されるためであって、その後少し大きくなり、ほぼ一定となるのは、圧縮がほぼ終了した後、いわゆる流動過程に移行していることを示している。下層でも大体同様の経過をとどるが、上層より遅れるのは、伝播される力が粒状体内で減少し、圧縮が上から下へとひろがってゆくことを示している。

単一径の場合(図5~7)と2種の径の場合(図8)と比較すると、後者の方が間隙比変化の幅が小さいが、傾向はほぼ同じであって、沈下曲線では圧縮過程が判然としていないが、間隙比の変化を追うことにより、1~4回で圧縮され、その後流動過程に移行していることが推測される。

本文のはじめに述べた、実際の道床における沈下の過程(図-1)も、その沈下曲線が同様の傾向をとどることから、ここに掲げた鋼棒積層体の場合と同様の過程を経るものと考えてよからう。

最後に、本研究の実験を共にした、角道正士君(京阪神急行電鉄、当時本学学生)に謝意を表する。

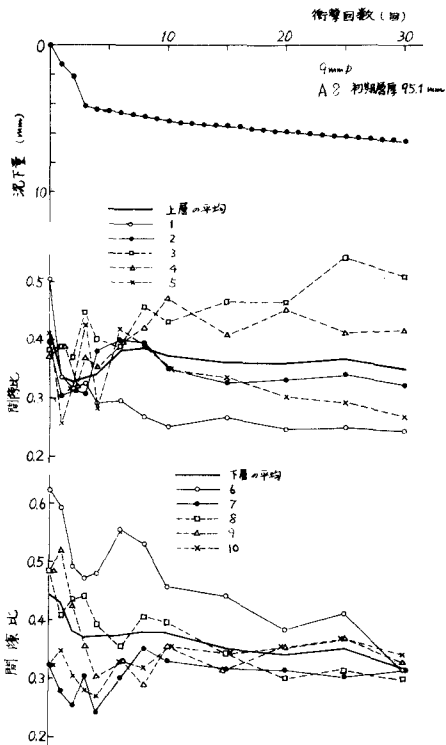


図-7 沈下量および間隙比(φ9mmのみ)

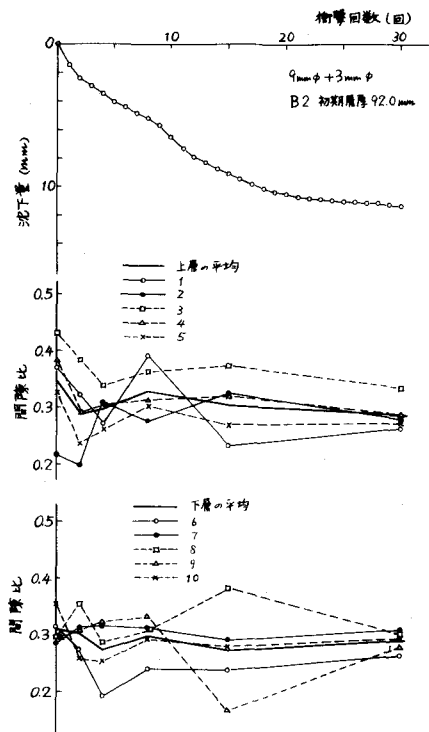


図-8 沈下量および間隙比(φ9mm+φ3mm)

1) 関西支部年次学術講演会(1969年5月)において一部を発表(Ⅲ-16)。

2), 3) 佐藤 裕: 軌道力学(鉄道現業社, 1964) 44~48ページなど。

4) 後藤, 小西, 坂東: 道床バラストの振動数特性について, 関西支部年次学術講演会 講演概要集(1968年5月) IV-43。

5) 上掲 2), 3)。