

粒状体の力学的特性に関する実験

東北大学工学部 正員 佐武正雄
東北大学工学部 学生員 浅野照雄

1. 緒言

粒状体の力学的性質は、構成する粒子の挙動が複雑であるために未だ十分に解明されていない。従来、種々の実験的研究¹⁾や、粒子の形状を理想化した理論的研究²⁾がなされているが、ここでは、砂、砂利、碎石等比較的粒径の大きな粒状体に対して、粒子の形状、大きさ及び表面粗さ等が、その力学的性質にどのように影響しているか調べる目的で、以下の実験を行った。

実験(I) 振動締固め試験

実験(II) 載荷試験

実験(III) 安息角測定試験

これらの実験から粒状体の力学的特性と思われる三つの結果が得られたので報告する。

2. 試料

試料は、フルイによって分類し表-1に示す。(水で洗浄し、乾燥させたものである。)

粒径 (mm)	砂利		碎石	
	番号	比重	番号	比重
20-15	I	2.54	1	2.70
15-10	II	2.60	2	2.70
10-5	III	2.60	3	2.70
5-2.5	IV	2.63	4	2.70
2.0以下	V	2.71		

3. 実験の概要

先づ、上記の三種類の実験の概要を述べる。

(1) 実験(I)

写真-1に示すようなモールド(内径中40mm、高さ15mm)に試料を10mm位入れ、松平式振動試験機を用いて、振中2.0mm、水平振動を約4分間かけて締固め、モールド上端から試料表面迄の高さを測定して、試料の乾燥密度を求めた。

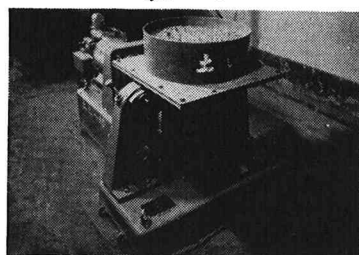
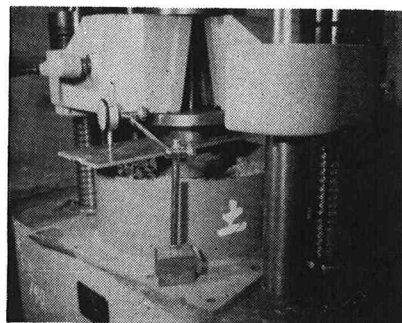


表-1

(2) 実験(II)

実験(I)の結果を基とし、締固めに最適な振動数において、振動締固めを行う。その試料に対して、写真-2に示す万能試験機により、載荷試験を行った。載荷板は鋼製(直径15mm、厚さ3mm)の円板である。荷重速度1kg/secとして、沈下量を2ヶ所でダイヤルゲージにより測定した。



(3) 実験(III)

写真-3に示すような安息角測定装置を試作して実験を行った。内部にサンドペーパーを貼付した容器(5mm×15mm×60mm)に試料を満たし、傾斜装置に設置し、傾斜速度は1度/分で、容器を傾けて行く。安息角は、容器内の試料が全体的に崩壊する時の傾斜角であるとした。

写真-2

4. 実験結果

(1) 実験(I)

振動数と間ゲキ比との関係を図-1に示す。

図から、各試料とも、締固め最適振動数が存在すること、碎石は砂利より間ゲキ比は大きい、最適振動数ではよく締固まることと分かる。

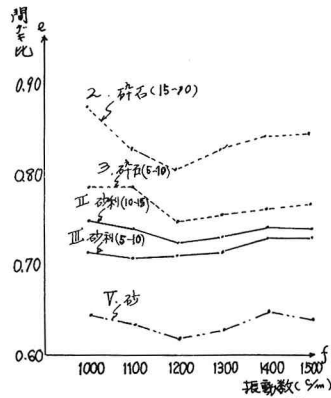


図-1

(2) 実験(II)

粒径5mm以上の場合は、応力 σ (載荷板面積当りの荷重)と沈下量 y との関係として図-2が得られる。この図は、3回の実験値を平均したものである。粒径5mm以下の場合は、この範囲の荷重で降伏や流動等の現象が起るので除外した。結果として次のことがあげられる。常に詰った状態の試料に対して、

① 砂利、碎石とも、粒径が大きくなるに従い、同一荷重に対する沈下量が大きくなる。

② 同じ粒径に対して、砂利と碎石の沈下量を比較すると、砂利は碎石より大きい。

③ 弾性歪と思われる歪の回復が、各試料とも、全歪量の10%内外あることがわかった。

(3) 実験(III)

一つの間ゲキ比に対する安息角を3回以上測定し、平均した。間ゲキ比と安息角との関係を図-3に示す。この図から次の結果が得られる。即ち、

① 直観的にもわかるが、全ての試料は、間ゲキ比が小さくなるに従い、安息角が大きくなる。そして、間ゲキ比-安息角の関係は直線である。

② 或る間ゲキ比に対して、砂利又は碎石の各粒径の安息角を比較すると、粒径が大きくなるに従い、安息角は大きくなっている。

③ 同じ間ゲキ比で砂利と碎石の安息角を比較

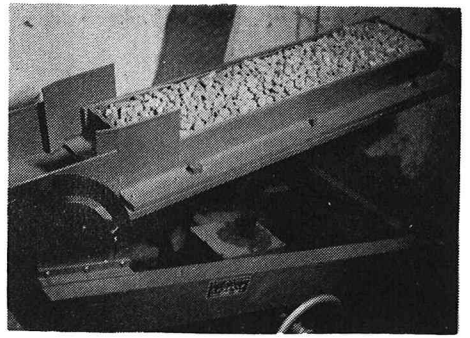


写真-3

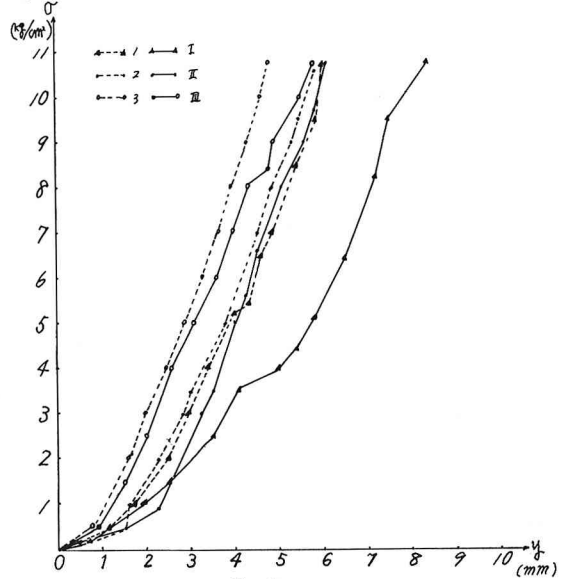


図-2

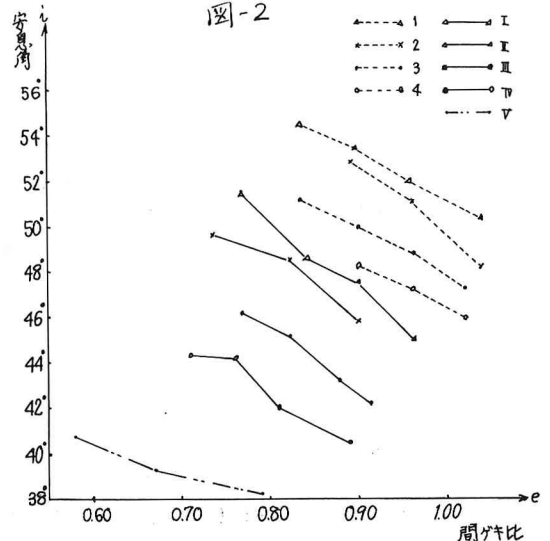


図-3

すると、碎石の方が砂利より大きい。

5. 実験結果の考察

(1) 締固めの最適振動数が存在し、それと過ぎると振動による粒子の流動化が生ずることが観察された。締固めの最適振動数はいずれの試料も、1100~1200 %であった。又、碎石の方が砂利より大きく締固まるが砂利の方が、碎石より密に締固めるとができることも認められたが、これは粒子の形状の影響と思われる。

(2) 載荷試験の応力-沈下量曲線を、両対数方眼紙にプロットすると次の図4~図12のようになる。

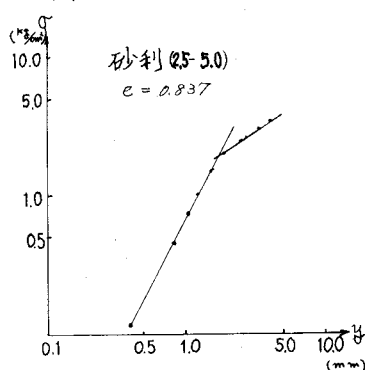


図-4

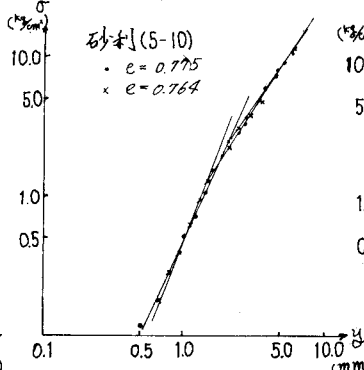


図-5

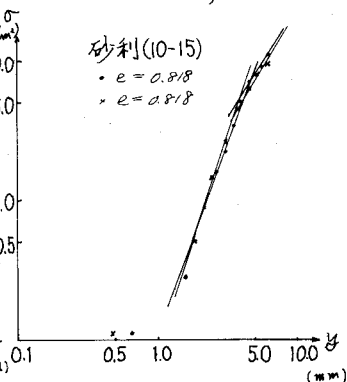


図-6

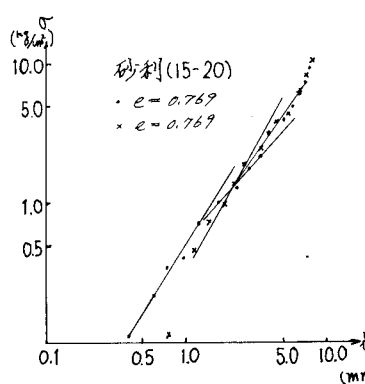


図-7

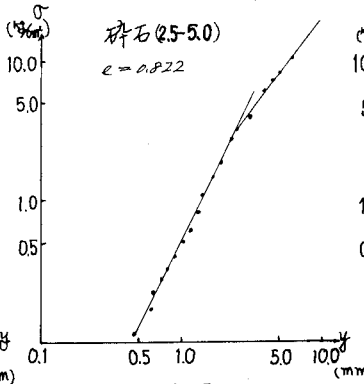


図-8

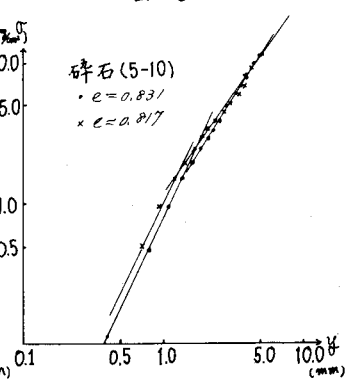


図-9

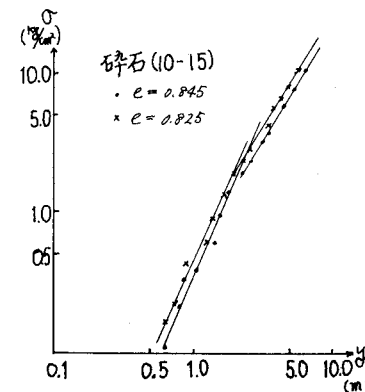


図-10

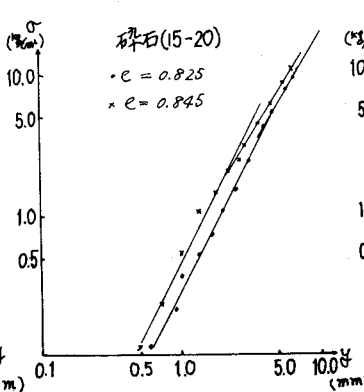


図-11

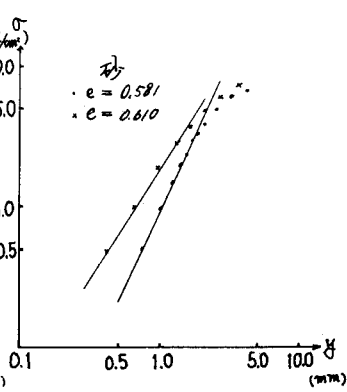


図-12

これらの図から次のことが考察される。各試料とも、 σ と y の関係は、幾つかの直線によって近似でき、この直線の傾きが変わる点では、粒状体内部で、粒子間に大きいスベリが生じていると思われる。そして、そのスベリによって、前と別の安定した状態に移ると考えられる。スベリ前後の沈下率を比較してみると、概して、スベリの後の直線の傾きが小さくなっており、沈下率は大きくなる。低応力に対する $\log \sigma \sim \log y$ 関係としては、次式が得られる。(θ は傾斜角)

$$\log \sigma = a \log y + b \quad (a, b : \text{定数}) \quad (1)$$

又は、

$$\sigma = k y^a = k y^{\tan \theta} \quad (k : \text{定数}) \quad (2)$$

試料の各々の粒径に対して、定数 a 、 b 及び θ 、 k を求めると、表-2 のようになる。

表-2 から、 θ は各粒径に対し、概して、砂利に対する値の方が、碎石に対するものより大きいことが分かる。

試験回数が少ないので、今後、更に検討を重ねたいと思う。

(3) 安息角試験の結果、表面の粗さが同一と見做される試料において、同一間ギャ比に対する安息角は、粒径の大きい程、大きく現われた。容器容量は一定であるから、同一間ギャ

比であれば、粒径が大きくなる程、粒子間接触面積は小さくなると考えられる。しかし実際は、粒子の形状も変化して、反って内部抵抗を増大させているものと考えられるが、更に検討を行いたい。

6. あとがき

以上、3 種類の実験について述べ、粒状体の力学的特性について考察した。粒状体の力学的特性については、更に種々見地から研究を進めたいと考えている。

7. 参考文献

1) 村山翔郎, 他, 側方拘束土の振動締固めに関する実験的研究 土木学会論文集 (1957) 才 43 号 59-63

2) Duffy, J. and Mindlin, R.D. : Stress-Strain Relations and Vibrations of a Granular Medium, J. Appl. Mech (1956), Paper no. 57-APM-39

3) Á. Kezdi : Contributions to the Investigations of Granular Systems

4) Morris, H.C. : Effect of Particle Shape and Texture on the Strength of Non cohesive Aggregates, A.S.T.M.