

京都大学工学部 正員 黒田勝彦

京都大学工学部 学生員 阿久津 英智

1. まえがき

砂地盤の液状化の原因の1つに、過剰間ゲキ水圧の上昇による有効応力の減少が指摘されている。筆者らは飽和砂層の液状化発生過程および圧深沈下による安定化の過程も定量的に把握するために、飽和砂が振動的外力を受けたときの透水性を明らかにする必要があると考え、振動台上に透水管を固定して、透水試験を実施し、ダルシーの法則が振動的外力を受ける飽和砂において成り立つかどうかを検討した。飽和砂が水平単弦振動を受けるときの鉛直方向の透水性については、既に報告したが、これによると、水平振動を受ける飽和砂の鉛直方向の透水性に関しては、振動時でもダルシーの法則が成り立つ。②上記の透水性に関して、透水係数は振動時において $e'/1+e$ に比例する。③振動時に透水係数が減少すると考えられていたのは、主に間ゲキ比の減少した結果である。等が明らかになった。今回は鉛直振動を与えたときの鉛直方向の透水性に関する実験を行ってきたので、こゝに才=報として、その結果を報告する。

2. 実験装置および実験の概要

実験に用いた透水管を他の装置については既報のものと同じであるが、詳細は略すが、前回の報告で、本実験に用いた透水管では砂がゲイレー・ジョーンズ型では無いという疑問が出たので、こゝに透水管の詳細図を示すと図-1のようである。

右図でもわかるように試料は透水管上部に20mm程の空間があるように詰め、試料の膨張を拘束しないようにした。実験に使用した試料は前回と同様に完全に飽和させた相馬標準砂を用いた。試験が済んだ後、試料を電気で乾燥させ、ふるい試験をした結果、図-2を得た。これによると、 $D_{10}=0.53$, $D_{60}=0.92$, 均等係数1.74でありかなり均一な砂である。なお砂の比重は2.62であった。実験は2つのシリーズに分れる。シリーズIは試料を図-1の透水管中に初期間ゲキ比を変化させるため、突き固め回数を変化(0, 5, 10, 20, 30, 50回)させて、試験供試体を作製した。以下試験番号A等と記したものは、突き固め回数Aの供試体を意味するものとする。シリーズIIでは、700galまででは、体積変化が生じないように、突き固めと水平振動の両方を供試体を十分にし、供試体上端に網を張った輪を固定し、加振中に体積変化を生じないように拘束した供試体を作り、100, 200, 300, 400, 500 galの5段階に加振し、各加振層において、21×ターの水位差を1.5cmから6.0cmまで0.5cm間隔で変化させて、流量を測定した。シリーズIIで

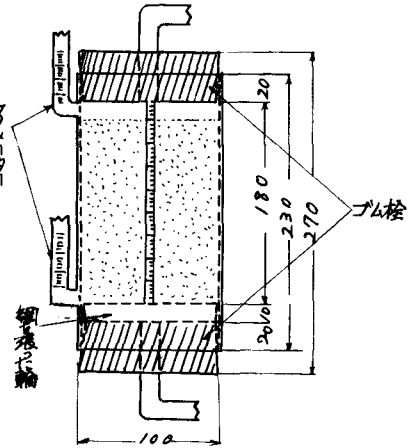


図-1 透水管

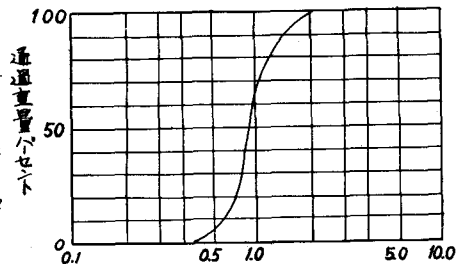


図-2. 粒度分布曲線

は振動中の供試体の各種変化(目撃比の変化)と透水係数の関係を, シリーズIIでは一定加振力のまじでのダルシーの法則の成否をその点を検討するために行ったものである。なお流量の測定は, 静態時においては, 10秒間流量を10秒間隔で, 振動中には, 10秒間流量を15秒間隔で各5回ずつ測定した。

3. 実験結果とその考察

3-1. マクロ的存取り扱い

先づ, 定常的に鉛直振動を与えたときにダルシーの法則が成り立つかどうかを検討する。表-1は各加速度におけるマノメーターの水位差(以下, 有効水頭差と呼ぶ。)に対応する流量の測定値の平均した値を示したものであるが, これを図示すると, 例えは図-3, 図-4, 図-5のようになる。これらの図を見れば, 流量と有効水頭差 h の間には, 振動外力が大きくなるにつれて正比例の関係が成り立つことがわかる。これは既報の結果と同じである。つまり, 振動的な外力を受ける飽和砂の透水性に関しては, その方向によらず, ダルシーの法則を適用しても大差ないことがわかる。しかしながら注意すべきことは, 既報の結果において, 今回の結果において, 10秒間の流量を測定したものを平均化したものであり, この意味において, 非常にマクロ的存取り扱いしただけであるが, 前述するように, 砂層が不安定(振動的な外力による各種変化を起す)かつある状態)な状態にあっては, これに示したように必ずしもダルシーの法則が成り立たない場合がある。この場合は水平振動を与えた場合の鉛直方向の透水性と異なるようである。

図-6はシリーズIの結果をまとめた例であるが, この図にみられるように, マクロ的に整理すると, 加振中の飽和砂の透水係数は, 既報の結果と同様に $e^3/1+e$ にほぼ比例することからわかる。したがって, 静態時に於ける砂の透水性が, この目撃比によって支配的に影響を受けるのと同様, 動態時に於いても, 砂の目撃比は透水性に大きく寄与していることがわかる。

つぎに, これらの実験結果から, 加速度の変化に対して目撃比と透水係数がどのように変化するかをみると, 図-7に示すように, 加速度の増大とともに, 供試体が沈下しゆま, これに対応して透水係数が著地する過程が明らかである。このことから飽和砂の透水性を検討するときには, 砂層の圧密沈下特性を十分に把握する必要があると思われる。

表-1. 流量-有効水頭差 (単位 cm^3)

加振力	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	17.9	21.5	30.5	36.0	41.7	46.9	52.4	59.6	66.2	71.6
98.8	16.2	21.8	29.0	35.1	41.4	48.2	53.8	60.9	66.5	73.0
197.6	17.8	23.2	30.3	36.6	42.9	49.8	53.3	59.9	66.1	72.1
310.5	17.2	23.5	30.7	34.3	41.5	47.0	52.4	57.8	65.0	68.9
480.0	17.2	24.7	30.7	36.1	41.5	47.0	52.6	59.5	66.0	72.1
800.0	18.0	23.4	28.8	36.0	40.7	46.9	52.5	58.6	66.0	71.4

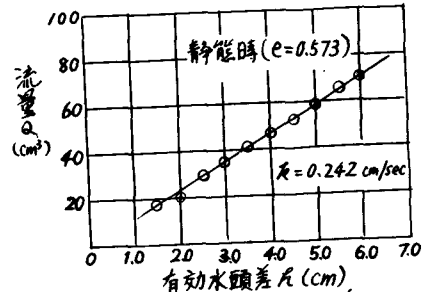


図-3. 流量-有効水頭差

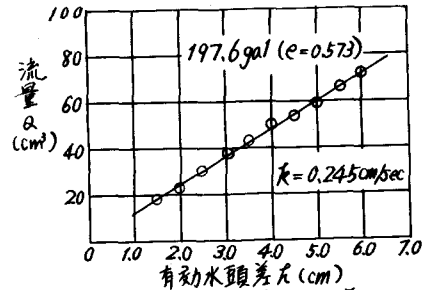


図-4. 流量-有効水頭差

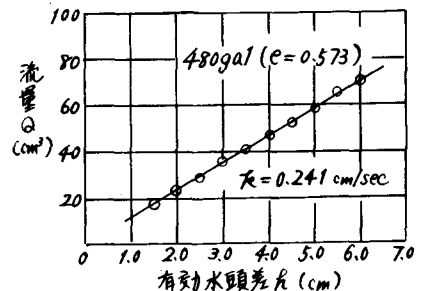


図-5. 流量-有効水頭差

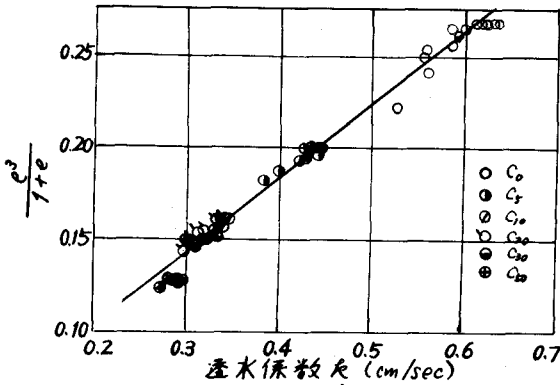


図-6. $k \sim \frac{e_0}{1-\epsilon}$

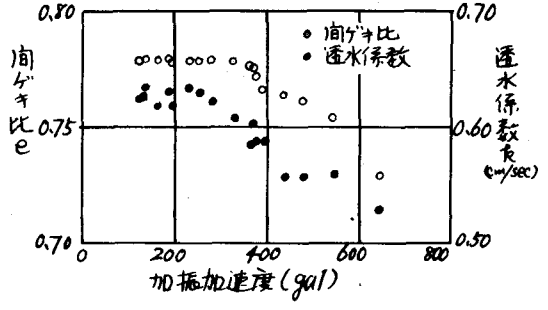


図-7. 加速度~間欠比~透水係数

3-2. 加振中の透水係数の変化過程について (ミクロに見た場合)

先に触れたように砂層が不安定な状態にあるときは、必ずしも上記のような関係が成立するとは限らない。図8および図9は供試体C₀について、加振中の間欠比の変化と、透水係数の変化の過程を示したものである。プロットした印に付した数字は、加振直後の時間を秒単位で示したもので●印は静止時の値である。図8の場合には振動的外力によって圧縮の過程であることがわかり、図9の場合には、圧縮の後に膨張するダイレクシンの過程を示している。このようなときは、透水係数は必ずしも間欠比の変化と対応しあわず、砂層中の流れは、複雑な非定常流であることが推察される。換言すれば、砂層が沈下したり、膨張したりしているときには、砂粒子の沈降や上昇は等速度ではないと考えられる。このことは、飽和砂層が流動化を起し圧縮される過程においても、砂粒子は等速度で運動していないのだからというべきを考慮してこのように考へる。このような結果は、除渣の停止実験の事実と相反するものであるが、更に精密な実験を行ってみたいと早急には断念放棄を...

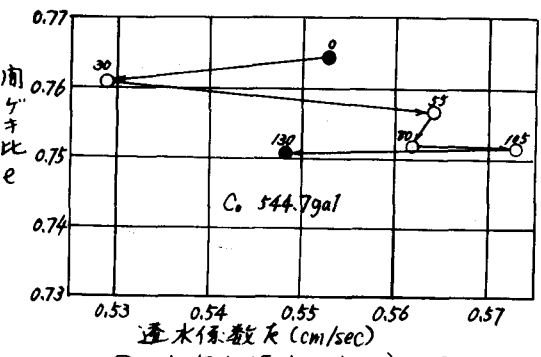


図-8 加振中の透水係数の変化過程

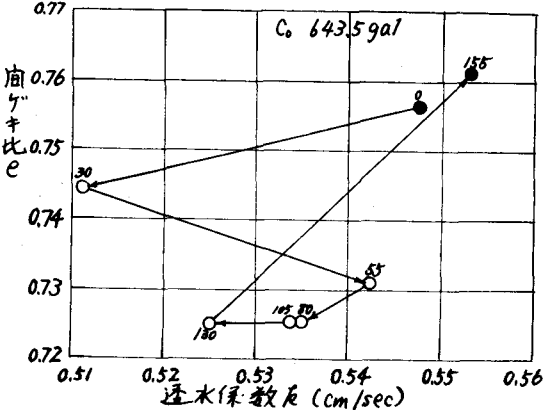


図-9 加振中の透水係数の変化過程

3-3. 飽和砂の振動外力による圧縮特性

砂層が静的な繰り返し荷重を加えられたときには、図10に示すような過程を示すことは、従来の研究により明らかにされているが、振動的繰り返し荷重を受けたときも同じような変化を示す。つまり、供試体の間欠比は加えられる外力に応じて変化する。バーカン (D.D. Burkan) は砂質土につい

て実験した結果、 e 比は振動加速度 γ と図11のような関係にあると報告している。筆者らも、実験シリーズについて、(供試体の沈下量を測定したが、その例を図12および図13に示した。これらの図から、各供試体は加速度の増大にともなう一定の e 比に近づいていく様子が見られる。この一定の e 比がボーカンのいう e_{min} かどうかは、この範囲の加速度では明らかに出来ず。また、これらの結果から飽和砂について、ボーカンの示すような1つの沈下特性曲線が存在するかどうかを判定することは出来ませんが、もしそのような沈下特性曲線が得られるならば、筆者らの得た結果と合わせ、振動時の透水係数を加速度の関数として定めることが可能となるであろう。

以上述べたように振動中において、飽和砂の透水性は e 比とは密接な関係にあるから、今後、振動的な外力を受ける飽和砂の沈下特性を定量的に把握する研究が待たれる。

4. 結論

以上の考察により、本研究が明らかにした点を列挙すると以下のようなものである。

- ①鉛直振動を受ける鉛直方向の飽和砂の透水性に関しては、水平振動を受ける場合と同様、マクロ的に、振動時でもゲルマの方法が成り立つ。
- ②上記の透水性に関して透水係数は $e^2/1re$ に比例する。

終りに臨み、本研究の実施に際し、始終、適切な御助言と御指導を賜りました京都大学工学部、若長義三教授と松尾 稔助教授に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 黒田勝彦、高田邦彦、"飽和砂の振動時透水係数について"、土木学会関西支部講演報告、昭.44年5月。
- 2) 阪道夏彦、"不安定飽和砂の振動性状"、日本建築学会論文報告集、114号、pp.1~10、1965。
- 3) D.D.Barkan, "Dynamics of Bases and Foundations." pp.69~pp.74. 1962.

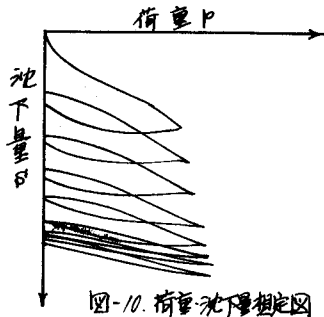


図-10. 荷重-沈下量関係図

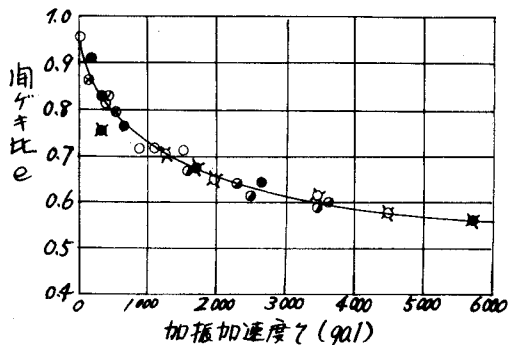


図-11. 加速度- e 比 (Barkan 1962)

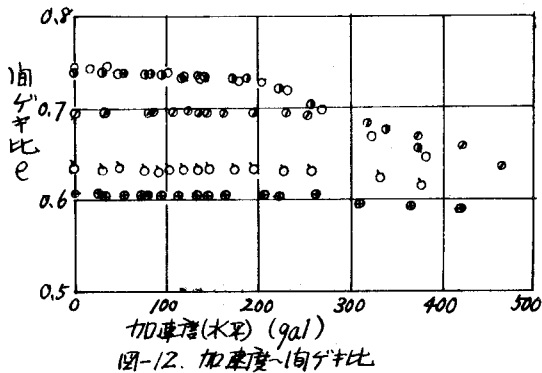


図-12. 加速度- e 比

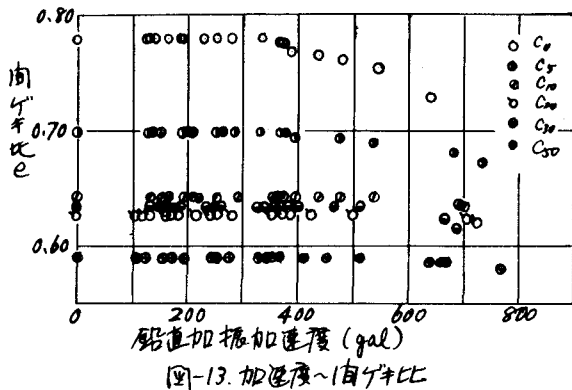


図-13. 加速度- e 比