

1. まえがき

えびの地震以来、シラスの動的特性に関する研究がだんだん行なわれるようになったが、その大部分は斜面の安定性とシラス地帯の沖積層における流動化現象に限られている。しかし、将来、シラス地帯の開発が進むにつれて、河川堤防や上堰堤に構築材料としてのシラス採用の可能性の問題が当然生じてくるものと予想され、さらに土堰堤などを築造した場合には貯水池周辺のシラス地帯からの漏水問題も重要になる。この場合、シラスの特性として、耐浸蝕性の低さという点から、地震時における噴砂現象あるいはパイピング現象が静止時に比べてどのように変動するかという点と把握することも残された重要な課題である。

本文は、このような観点から乱さない地山シラスの静止時と振動時における噴砂ないしはパイピング現象の把握が先決と考えて行なった基礎実験の結果をまとめたものである。そのため、データの整理理解前にあつては、取あらず限界動水勾配の概念によることにして、理論的検討は後日にゆずることとした。

2. 試料と実験方法

2-1 試料：乱さない試料は都城市関ノ尾の一次シラス層から、山中式土壤硬度計による硬度 $30 \sim 31.5 \text{ mm}$ ($40 \sim 50 \text{ g/cm}^2$) のもの（試料-A）6個、同硬度 $20.0 \sim 23.0 \text{ mm}$ ($7 \sim 10 \text{ g/cm}^2$) のもの（試料-B）3個、計9個を採取した。サンプラーは肉厚 6 mm の鋼板製で内法寸法 $20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ である。サンプラーの下端刃先には $\theta = \tan^{-1}(6/20) = 16^\circ 45'$ のチーバをつけてある。このサンプラーで地山から削り出した試料に鋼板製の透水層（内法 $22 \text{ cm} \times 42 \text{ cm} \times 24 \text{ cm}$ ）を嵌め、溶かしたパラフィンで流シムで固結させた後、衝

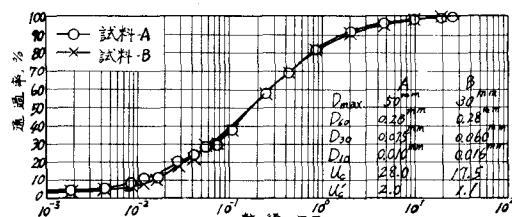


図-1. 試料の粒度曲線

表-1. 試料シラスの物理的指数

試料	G_s		W_n	ρ_s	e	S_r	Consistency
	$< 2.0 \text{ mm}$	$< 4.8 \text{ mm}$					
A	2.39	2.34	20.8%	1.479	0.91	54.6%	N.P.
B	2.44	2.44	26.6%	1.390	1.22	53.2%	N.P.

撃を予めぬようにして自動車で実験室に運搬した。図-1に試料の粒度曲線を示す。他の物理的性質は表-1に示したとおりで、粒度の良い典型的な非熔結シラスである。軽石や角礫の混入は鹿児島附近のものに比べて少なく、それらの径も小さい。

2-2. 実験装置：装置は図-2に示したように、小型の懸垂式振動台、透水槽、送水部からなる。振動台は、周期(T)が運転中に 0.6 sec から 0.1 sec まで、振幅(A)は最大 40 mm まで自由に変えられる。振動加速度(a)は煤煙紙ドラムに記録した振動波形（正弦振

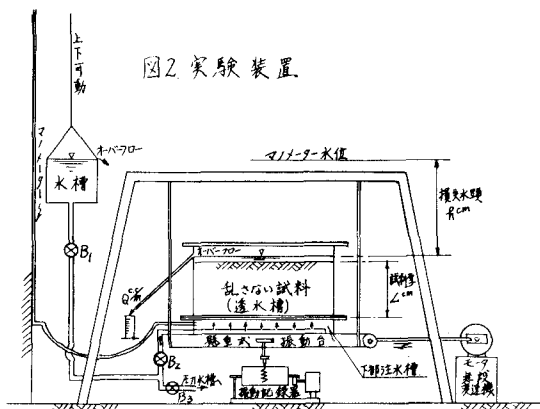


図-2. 実験装置

動)から計算した。試料の入った透水槽は、振動台に固定した下部注水槽にゴムパッキングを介してボルト締めで装着される。下部注水槽にはストレーナ付の注水管と試料面の水頭測定用のマノメーターが取り付けられていて、実験時には粒径 $2\sim 10\text{ mm}$ の碎石を填充し、その上に 350μ の金網を敷く。送水装置には、水頭が $h=3\text{ m}$ までは上下可動水槽を、 $h=3\sim 30\text{ m}$ までは圧力水槽を使用するようにした。送水装置の切換えはバルブ B_1 、 B_2 と B_3 の操作で行なう。試料の層厚(浸透流路長)(L)と断面積(A)は各試料毎に計測した。

2-3. 実験方法：(1)試料表面にフーチージのない状態で静止時の透水係数(k_s)と噴砂現象発生時の限界水頭(h_{sc})を求める。このために、 h を段階的に漸増し、その各段階で浸透流量(Q)を測定する。 Q の測定は $1\sim 2$ 分間隔で行ない、少くも、3回以上 Q の等値を得たときをもって定常浸透とみなし次の水頭段階に移るようにした。(2)振動時の透水係数(k_v)と限界水頭(h_{sc})を求める。この場合、(a) h と振幅(A)を一定にして T のみを変動させて α を大きくしていき、噴砂現象発生時の周期(T_0)と加速度(α)を求める。(b)一定の A と T 、つまり一定加速度の下で限界水頭(h_{sc})を求める、という2種類の方法を採用した。振動継続時間は各振動段階で原則として10分間とした。噴砂現象の発生は、静止時には試料表面の変動で確認できるが、振動時には Q の急増と h の急減によって確認できた。

3. 実験結果と考察

3-1. 地山シラスの限界動水勾配の計算値

静止時における限界動水勾配 i_{ct} を計算すると次のようになる。但し、間隙比 e は採取地実の自然間隙比である。

試料-A ($G_s=2.34\sim 2.39$, $e=0.91$)

$$i_{ct} = (G_s - 1) / (1 + e) = 0.702 \sim 0.720$$

$L=20\text{ cm}$ とした場合の限界水頭(h_{ct})は

$$h_{ct} = 14.04 \sim 14.56\text{ cm}$$

試料-B ($G_s=2.44$, $e=1.22$)

$$i_{ct} = 0.648$$

$$L=20\text{ cm} \text{ の } \therefore h_{ct} = 12.96\text{ cm}$$

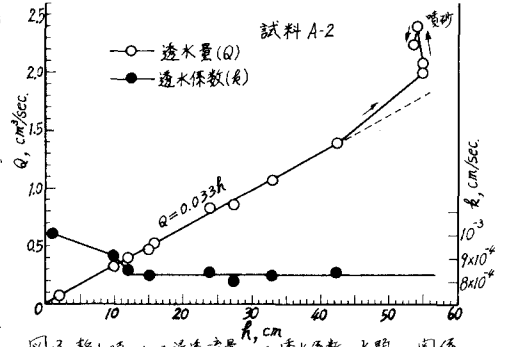


図3. 静止時における浸透流量 Q と透水係数 k と水頭 h の関係。

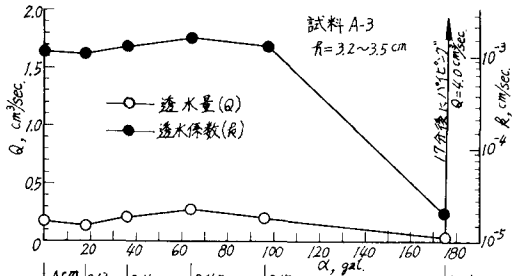


図4. 振動時における浸透流量 Q と透水係数 k と加速度 α の関係。

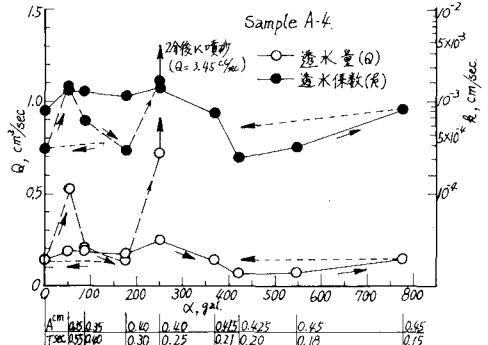


図5. 浸透流量 Q と透水係数 k と振動加速度 α の関係。

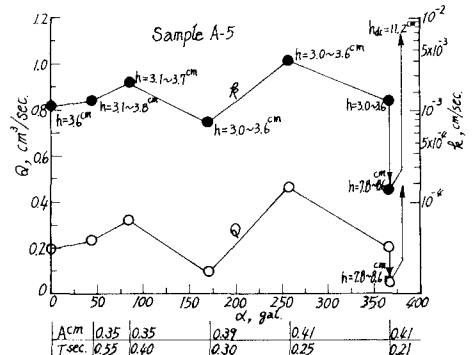


図6. 浸透流量 Q と透水係数 k と振動加速度 α の関係。

3-2. 静止時の透水係数と限界動水勾配

図-3に静止時における実験結果を示す。これより、 $h=43.0\text{ cm}$ までは定常的な透水現象を示していることが確認できる。この定常状態での透水係数は $k_s=8.3 \times 10^{-6}\text{ cm/sec}$ となった。噴砂時の限界水頭は $h_{sc}=55.0\text{ cm}$ であった。この実験では $L=21.1\text{ cm}$ であったので、限界動水勾配は $i_{sc}=2.607$ となる。この値は計算値の3.6倍である。

3-3. 振動時の透水係数と限界動水勾配

図-4は試料-A3の実験結果で、 α の増大に伴って透水性が若干よくなった後、 $\alpha=174\text{ gal}$ 程度で急に低下し、その17分後に噴砂現象が発生した。この現象は、振動によって乱さないうすの骨格構造が一旦乱され、次々ダイレイタンシー効果によって間隙が減少した後に噴砂現象が起ったものと考えられる。このときの限界動水勾配は $i_{dc}=0.153 \sim 0.162$ で、この値は i_{sc} に比較して約 $1/15$ に、計算値 i_{ct} に比較して約 $1/4$ に低下している。

図-5は試料-A4の実験結果で、はじめ $h=3.7\text{ cm}$ の水頭と一定に保ち、周期と速めて α を増大させた実験である。これより、 $\alpha=400\text{ gal}$ までは図-4と同様の傾向を示したが、噴砂を起さなかったため $\alpha=770\text{ gal}$ に達した後一旦静止状態に戻し、振中一定($A=0.4\text{ cm}$)のまま水頭を $h_d=8.7 \sim 9.4\text{ cm}$ にして再振動をさせた。その結果、 $\alpha=180\text{ gal}$ で Q が急減した後、 $\alpha=252\text{ gal}$ で噴砂が見られた。このときの限界動水勾配は $i_{dc}=0.413 \sim 0.446$ で計算値 i_{ct} の約60%になる。 i_{sc} の値に対しては15.8~17.1%に低減している。

図-6は試料-A5の場合で、 R_d と A を一定値に保って T を変化させて α を増大させた。この場合、 $\alpha=367\text{ gal}$ 附近で Q が急減したのでその所実で h を増大させたところ $h_{dc}=11.2\text{ cm}$ の限界水頭を得た。この場合の i_{dc} は $0.430 \sim 0.534$ で、 i_{ct} の70~80%に低下している。この値はまた実測値 i_{sc} の16.5~20.5%となる。以上の実験ではサーチャージがない。

図-7は試料表面にサーチャージとして350 μ mの金網と径17mmのガラス玉を2重に敷き並べ、さらにプラスチック製の透明板で押えて玉の動きを拘束した場合の実験結果である。サーチャージは 0.0046 kg/cm^2 となる。実験は、はじめ h_d と A を一定にして T を変化させて α を増大させたが、 $\alpha=237\text{ gal}$ でも変動が見られなかった。それで、 $\alpha=237\text{ gal}$ の状態では h を増したが $h=95\text{ cm}$ に達しても定常浸透の状態が続いた。そこで、ガラス玉を押えているプラスチック板を取り外したところ、 $h_{dc}=96.5\text{ cm}$ でガラス玉が盛り上がり、 Q が急増して噴砂した。

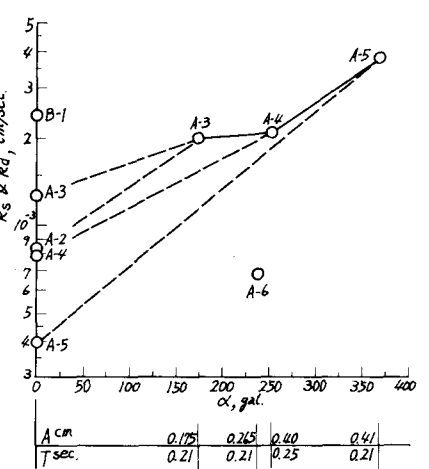
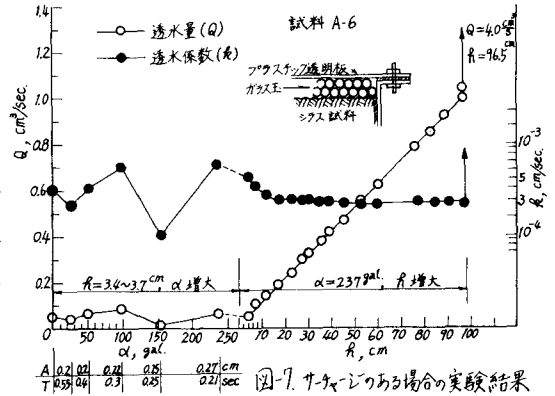


図-8. 透水係数と振動加速度との関係

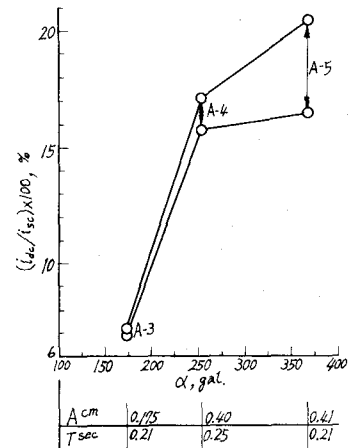


図-9. 静止時限界動水勾配に対する振動時限界動水勾配の比と振動加速度との関係

図-8は、最上ら α に k_s と α との関係を示したものである。図-9は振動時の限界動水勾配と静止時の限界動水勾配との比を振動加速度に対してプロットしたものである。図-8から、透水係数は限界状態に達するまでは振動加速度が大きくなるにつれて大きくなることが明らかである。図-9から、 i_{dc}/i_{sc} は α が大きくなると7%から20%程度に変化することが明らかになった。

図-10は i_{dc} と i_{sc} なら α に限界動水勾配の計算値 i_{ct} に対するそれらの比を振動加速度に対してプロットしたものである。これより、 $\alpha=170 \text{ gal}$ 附近で i_{dc} は最小値を示し、その値は計算値の20%前後に低下することがわかる。

図-11は限界動水勾配の逆数、いわゆる限界フリップ比と振動条件との関係を示したもので、これから振動時の限界フリップ比は $\alpha=170 \text{ gal}$ 附近で最大値を示し、静止時の4~12倍を要することが指摘できる。

4 まとめ

今回の実験報告は全く現象論的な傾向の指摘のみにとどまったが、以上を要約すると次のとおりである。(1)乱さないシラスの静止時の透水係数は、山中式土壌硬度計硬度30~32mmで $k_s=8.3 \times 10^{-6} \sim 1.3 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 。同硬度20~23mmで $k_s=2.4 \times 10^{-3}$ 以上と推定される。(2)振動時の透水係数は限界状態に達する前なら静止時の2~4倍(2~3.5 $\times 10^{-3} \text{ cm/sec}$)と考えられる。(3)静止時の限界動水勾配は硬度30~32mmで $i_{sc}=2.60$ 、硬度20~23mmで $i_{sc}=0.74$ 程度である。この値は計算値の3.7~4.8倍なら α に1.45~1.63倍である。つまり、硬いシラス程実測値と計算値との開きが大いまいようである。(4)

振動時($\alpha=174 \sim 370 \text{ gal}$)における限界動水勾配は硬度30~32mmでは $i_{dc}=0.153 \sim 0.534$ となり、静止時の計算値の22~76%に低下する。(5)限界フリップ比は地震時には静止時の2~7倍が必要であろう。

本研究は九州農政局からの依頼によったもので、同局都城調査事務所 栗原英一所長、菅原利夫技官、なら α K、乱さない試料採取に協力していただいた基礎地盤コンサルタンツKKの森田泰吾氏、立山正行氏、さらに実験に従事してもらった宮崎大学工学部学生の古沢、利重、田村の3君に級上より改めて謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 藤本 廣：振動時における砂の透水性並 α にフィソナント現象に関する実験的研究。宮崎大学工学部研究報告 第6号、昭和34年11月。
- 2) KK、三福コンサルタンツインターナショナル：昭和45年度南九州地域治水効果予測試験業務報告書。昭和45年12月。

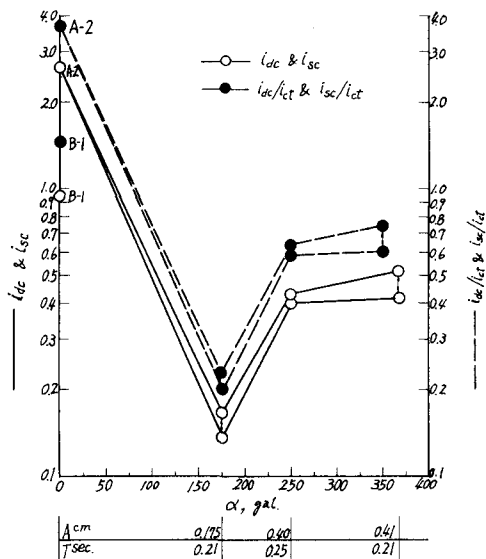


図-10. 限界動水勾配なら α に限界動水勾配の実測値と理論値の比と振動加速度との関係。

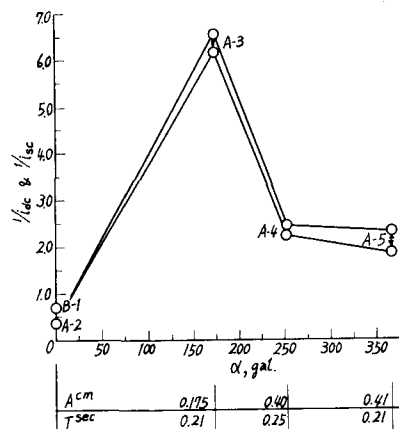


図-11. 限界フリップ比と振動加速度との関係