

鹿島建設(株) 正会員 ○ 小川 雄一郎 川商ジェコス 林 尚子
江津市 古川 寿明 枚方市 山本 樹
立命館大学 正会員 福本 武明

1. 緒言

砂地盤の液状化には多数の影響要因があることが知られているが^{1),2)}、それら各因子の影響の仕方と程度を端的に理解できる内容の書物が見当たらない現状である。そこで、相対密度、粒径、外力(地震力)に焦点を絞り、それらの影響を深く調べるために、前報^{3),4)}に引き続き、模型実験装置を用いて液状化実験を実施した。その結果、上記3因子の液状化発生機構への特徴的な影響の仕方と程度がかなり鮮明に把握できたと思われるので、実験要領や最新の考察内容の詳細をまとめて、ここに報告する。

2. 実験方法

実験に用いた試料の粒径加積曲線と物理的性質を Fig.1 と Table 1 に示す。細砂は、滋賀県信楽町産の旧琵琶湖層の硬質な砂岩を人工的に粉碎し、0.105mm のふるいを通したものである。愛知川砂は、滋賀県愛知川の河川砂で、ふるい分けて粒径 0.85~2.0mm のものを取り出して使用した。

今回使用した模型実験装置を Fig.2 に示す。直径 37.5cm で高さ 37cm のアクリル円筒容器①を鉄枠製の台座②上に固定し、その中に試料(乾燥状態)を水中落下法を用いて、高さ 30cm の均等な飽和砂層③をつくる。供試体は 6 層に分けて作製しており、各層は、1 層(5cm)を作製するために必要な試料の重量を計算して作製した。供試体の密度設定については、水中落下時の水深を調節することにより相対密度 45%、60%、75% 相当の各砂層を作製し、75% 砂層作製後に側壁の指定箇所(4 箇所)を木づちで数回打撃することにより、相対密度 90% 相当の砂層を作製した。供試体の作製過程において、間隙水圧計④を砂層上部からほぼ 5cm、15cm、25cm の深さで供試体中央部にくるように設置する。砂層上部に上部蓋⑤を設置し、上盤中央に噴砂を採取する噴砂箱⑥を取り付ける。土被り圧に相当する荷重(50kgf)⑦を載せ、圧密の終了を待ってから、試料高さを正確に測定し、相対密度を算出する。鉄枠台座側面の中央部に、10kgf の鉄球⑧を振り子運動により衝撃力を加える。鉄枠台座の下部にはコロ⑨を、側面にはばね⑩を設置し、実際の地震動の波形に近づくようにしてある。間隙水圧計④とレーザー変位計⑪のデータはパソコン⑫を用いて 0.005 秒間隔で計測している。液状化後に、噴砂箱⑥にたまった噴砂を炉乾燥させ、噴砂量を求める。

砂層の相対密度を上記のようにほぼ 45%、60%、75%、90% の 4 通りに変化させるとともに、鉄球高さ h を種々に変化させながら実験を行い、液状化発生の境界ができるだけの確に捉えられるよう心掛けた。

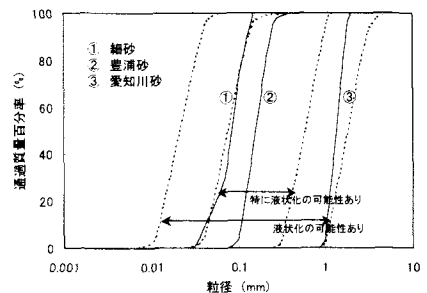


Fig.1 各試料の粒径加積曲線

Table 1 試料の物理的性質

試料名	平均粒径 $D_{50}(\text{mm})$	土粒子比重 G_s	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$
①細砂	0.083	2.639	1.535	0.817
②豊浦砂	0.190	2.639	0.969	0.617
③愛知川砂	1.350	2.662	0.940	0.611

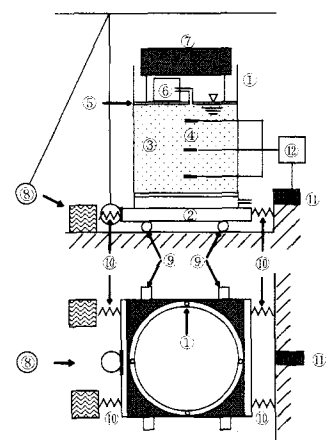


Fig.2 模型実験装置

Yuichiro OGAWA (Kajima Corp.), Naoko HAYASHI (Kawasho Gecoss), Toshiaki FURUKAWA (Gotsu-city), Itsuki YAMAMOTO (Hirakata-city) and Takeaki FUKUMOTO (Ritsumeikan Univ.)

3. 相対密度と噴砂量の関係

前述の模型実験において、鉄球高さ $h=100\text{cm}$ と統一したときの、相対密度と噴砂量の関係を Fig.3 に示す。ここで図中の縦軸は、採取された噴砂の乾燥質量(g)そのものではなく、供試体全体の質量(g)で除した噴砂量比を用いて整理してある。

図から、相対密度の減少に伴い噴砂量比が明らかに増加し始める領域があり、粗砂ほど低い相対密度の領域でゆるやかな増加の傾向を示すのに対し、細砂になるとかなり高い相対密度の状態でも急激に立ち上がる傾向にあることが分かる。

4. 相対密度と最大加速度の関係

Fig.4 は、鉄球高さ(地震力)を種々変えて行った一連の実験から、試料の相対密度 D_r と、その相対密度で液状化を起こす最小の鉄球高さのときの実験装置に作用した最大加速度 a を求めて、両者の関係をプロットしたものである。なお、最大加速度 a の算出は、レーザー変位計の実測波形を次式を用いて近似し、その結果を

$$\alpha = A_1 \cdot e^{-A_2 \cdot t} \cdot \sin(A_3 \cdot t) \cdots \cdots (1)$$

2階微分することにより求めている。式中、 t は時間、 A_1 、 A_2 、 A_3 は係数である。

液状化発生の有無を判定する際、各相対密度の砂に対し、i) 過剰間隙水圧比が 1 を超える、ii) 鉄球の衝撃による供試体の沈下が認められる、の 2 つのいずれか、もしくは両方が生じることを基準とした。図中の□、○、△印がそれぞれ、この基準に従い押えた細砂、豊浦砂、愛知川砂の各相対密度における境界点である。さらに、これら各点を取り囲むような形で細砂側と粗砂側に境界線(実線)を引くことができる。砂の相対密度と最大加速度の関係は、これらの境界線で分ければ、粗砂側境界線の左側を「液状化する領域」、中央の斜線部分を「液状化の境界域」、細砂側境界線の右側を「液状化しない領域」と明確に区別することができる。また図中の数字は、上下の境界線のところに相当する試料の透水係数の概略値を示している。

この図から、①液状化する領域としない領域にははっきりと区別できること、②ゆるい砂が小さい加速度で液状化すること、③液状化の有無を分ける境界域が幅を持ち、砂の粒径が大きいほど、透水係数が大きいほど、図上の上部に位置する傾向にあること、などが分かる。

5. 結言

以上のように、砂の液状化への影響要因として今回取り上げた 3 因子、つまり相対密度、粒径、外力(地震力)による、液状化発生状況の違いを、かなり鮮明に把握できたのではないと思われる。今後は、上記の知見の信ぴょう性を一層高めるために振動三軸試験を行うなど、異なる手法で別の視点から詳細な検討を加えてゆきたい。最後になりましたが、実験試料の細砂作成の際に御協力いただきました(株)びわこ興産の方々、特に奥基樹氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土質工学会編：日本の特殊土,1974
- 2) 地盤工学会編：地盤工学ハンドブック,1999
- 3) 杉山太郎, 松井聡, 松尾沙登子, 山本雅則, 福本武明：砂地盤の液状化現象に関する模型実験,第 54 回年次学術講演会講演概要集,pp.260～261,1999
- 4) 小川雄一郎, 倉田華絵, 福本武明：砂地盤の液状化発生機構に関する一考察,第 37 回地盤工学研究発表会,pp.2151～2152

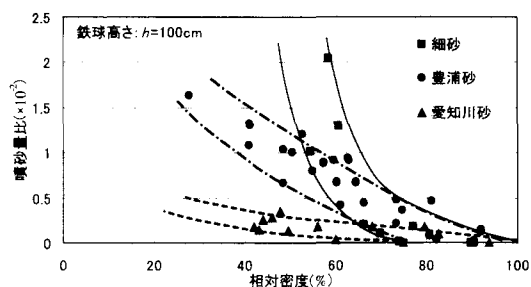


Fig.3 相対密度と噴砂量比の関係

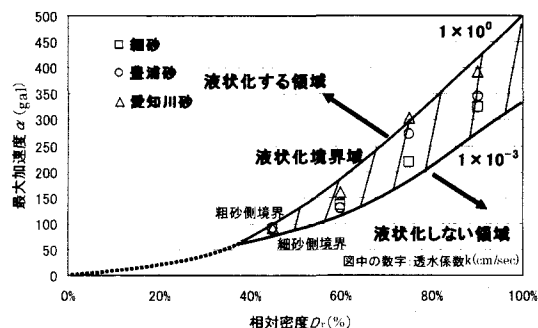


Fig.4 相対密度と最大加速度の関係