

常時液状化状態にある模型地盤の試作

東京都市大学 学生会員 ○大沼 寛史 正会員 末政 直晃

1. はじめに

2011年3月11日に東北から関東にかけて太平洋三陸沖を震源とした東日本大震災が発生した。千葉県や茨城県では特に液状化により多くの被害となった。このうち、浦安市内では道路の陥没・隆起や電柱の傾斜等、家屋の不同沈下が発生するなどの多大な被害が生じた。このように被害が甚大になった理由として、その継続時間が5~6分と非常に長かったことが挙げられている。このことはほぼ同じ震度であった千葉県東方沖地震と比べても液状化の被害がより大きくなったことから指摘できる。しかしながら、継続時間が長いことで、何がどのように影響したかについてはさらなる議論が必要である。

地震動の長期化によって、せん断応力の繰返し回数が増加するため、地盤が液状化しやすくなることは知られているが、液状化した後の継続時間の長さによって液状化被害はどのように変化するかは、あまり明らかにされていない。しかしながら、通常の模型装置を用いる液状化実験では、砂粒子の沈降が早く、過剰間隙水圧が比較的早期に消散してしまうため、長時間の液状化の再現は難しい。そこで本研究では、長期間の液状化状態を再現するために、土粒子が間隙水に浮き続けているような実験システムを構築するべく、検討を行った。

2. 常時液状化模型装置の検討

液状化状態を再現する方法として、ペットボトルに飽和試料を注入するものがある。簡単に砂をゆるく堆積させることができ、またペットボトルをゆすることにより振動を与え、簡単に液状化の発生を再現できるものである。しかしながら、液状化の継続時間は十数秒である。この理由として使用する模型実験の規模が小さいため、土粒子の沈降が早期に終了してしまうことが挙げられる。ペットボトル実験のみならず、多くの液状化再現実験でも、沈降距離が十分に取れないために、長時間の液状化継続は難しい。

そこで、本研究では“地盤が振動により液状化する”ことを諦めて、常に液状化している地盤を作製することとした。いくつかの検討の

結果、中空ガラスビーズ¹⁾はその比重が1.1前後で、粒状体の中では非常に軽く、種々の粒径があることが分かった。そこで、今回は平均粒径が12 μm である非常に細かい粒径を有するガラスビーズをモデル土粒子とし、間隙流体にブドウ糖液を用いることを試みた。ブドウ糖液の比重は溶液中のブドウ糖濃度を変えることで容易に調整でき、調整可能な比重の範囲が1.075~1.258²⁾であるため、ガラスビーズの比重に合わせられる。計算上では糖液27%時にその比重は約1.10になることが分かったが、実際に作製したところガラスビーズが糖液27%の中に沈殿する様子が見てとれた。ガラスビーズの比重が糖液より重くなった原因には、作製中の配合量の誤差や糖液を作製した時に使用した生理食塩水の蒸発等が考えられたため、27%より高い濃度の糖液をいくつか作製して糖液濃度の微調整を行った。写真-1は糖液28%を用いた際にガラスビーズが浮遊している状態を示している。これより、ガラスビーズが“ちょうど浮かんでいる状態”となる糖液の濃度を28%とし、これを間隙水として使用することとした。



写真-1 糖液 28%時のビーズの浮遊

3. 既往の研究

一般の砂とは異なる微細ガラスビーズを用いて緩~中密地盤を作製するため、まず相対密度の算出を試みた。

Keywords : 液状化, ガラスビーズ, 相対密度, 間隙比

連絡先 : 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-2202 E-mail : g1018024@tcu.ac.jp

相対密度を求めるために必要な最大・最小密度試験は、通常、粒径が $200\mu\text{m}\sim 75\mu\text{m}$ の間の粒径を持つ粒子を対象とする試験であるため、平均 $12\mu\text{m}$ を有する本ガラスビーズはその適用範囲外となる。しかしながら、試みとしてガラスビーズを用いた最大密度試験を 5 回、最小密度試験を 3 回行ったところ、最大密度は 0.502、最小密度は 0.358 となり、最大間隙比は 2.07、最小間隙比は 1.19 となった。中空ガラスビーズは土粒子と違い、球状の形をしていることから、同様の形状を有する中空ガラスビーズについて最大・最小密度試験を行った戸田³⁾の文献を参照した。これによると、球状粒子の単一粒子の最大間隙比は理論上最も緩い構造である単純立方格子になり、またその最小間隙比は理論上最も密になる構造になって、それぞれ最大間隙比 $e_{\text{max}}=0.90986$ 、最小間隙比 $e_{\text{min}}=0.35047$ となる。図-1 は、戸田の実験結果に、後述する本研究結果を追記したものである。これより、粒径が $1700\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ の広い範囲でも最大間隙比の差は 0.031、最小間隙比は 0.055 であり、その差は非常に小さいことが分かった。よって今回使用しているガラスビーズの最大・最小間隙比もこの延長線上に位置するはずと推測した。実際、試験においてはガラスビーズの粒径が非常に小さいことから、空気中に含まれる水分を吸収して、粘着力が増したことが考えられた。そこで、改善策として水中で最大最小密度試験を行うことにした。水中で水とよく攪拌し試験を行うことで、粒子の結合を許さず粒子ごとに分離できるのではないかと考えたためである。最大密度試験ではモールドに水を七分目程まで入れ、その後ガラスビーズを何回にも分け入れ、よく攪拌し空隙をなくす作業を行った。写真-2 は試験後にモールドを乾燥炉に入れて十分乾燥させた際の様子を示している。モールド内にはガラスビーズがぎっしりと満たされていることが見てとれる。また最小密度試験では水を十分に入れたバケツの中にモールドを入れ、ガラスビーズと水をよく攪拌した混合物を漏斗の中に入れ、それを水中に置いたモールドの底から緩やかに上昇させて水中落下させた。この結果、最大間隙比は 0.707、最小間隙比は 0.573 となった。これらの値は文献による値の範囲内にあることから、本ガラスビーズの最大最小間隙比とした。

4. 今後の方針

写真-3 は常時液状化した状態にあるガラスビーズ糖液中に、それよりも比重が大きい構造物模型を載せて、振動させたときの様子である。模型は、それを設置した際にはいくらか沈下したものの、その後静止した。ガラスビーズの再構築によりそれ以上の沈下を抑制したと考えられる。その後、打撃するごとに模型が沈下していく様子が分かる。今後は、このようなラチェット効果について調べる予定である。

参考文献：1) <http://www.pqj.co.jp/product/16.html>

2) http://www.otsukakj.jp/med_nutrition/haigou/hiju.html

3) 戸田研吾：粒状体のせん断特性に及ぼす粒径および粒度分布の影響，理工学研究科修士論文，2005

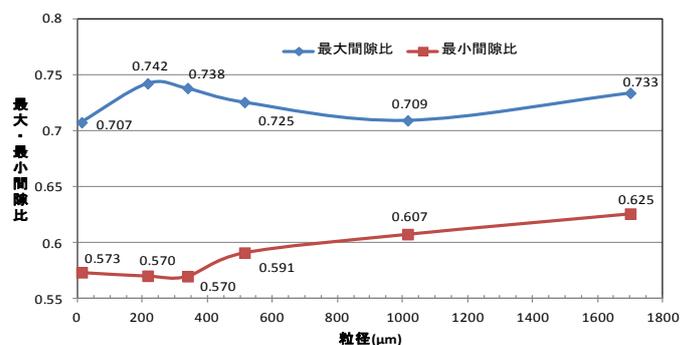


図-1 粒径と最大・最小間隙比



写真-2 最大密度試験時の乾燥させたガラスビーズ



写真-3 沈下の様子