

福井大学大学院工学研究科 学生員 ○宮本 崇広
 元・福井大学工学部 芹川 鉄平
 福井大学大学院工学研究科 正会員 小林 泰三
 立命館大学理工学部 フェロー 建山 和由

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、震源から離れた地域においても、加速度の小さい地震動でも揺れが長時間継続することによって広範囲に液状化が発生した。東京湾北部の埋立地では、シルトを主体とする細粒土の噴砂が多く見られたことなどからも、土の粒度特性と液状化に至る地震継続時間には関係のあることが示唆される。

土の粒度を考慮した液状化判定手法^(例えば 1)~3)が実務でも利用されているが、基本的には液状化発生の有無を判定するものであり、特に細粒分を含む土の粒度特性が液状化挙動に及ぼす影響メカニズムについてはまだ十分に調べられていないように思われる。そこで、本研究では、粒度の異なる土質試料を用いた簡易振動台土槽実験を行い、液状化に及ぼす粒度特性の影響について考察した。

2. 水平振動台による液状化実験

本研究では、図-1 に示すような小型の箱型土槽（内寸 330×230×250 mm）を振動台に設置し、水平方向に加振する実験を行った。土槽には上下 2 個所に水圧計を設置し、加振に伴う地盤内の過剰間隙水圧変化を計測した。

図-2 及び表-1 に本実験に用いた土質試料の粒度分布と基本的物理特性をそれぞれ示す。本実験では、0.18 mm の平均粒径 D_{50} を持つ硅砂 7 号に加え、硅砂 9 号、6 号、2 号及び硅砂微粉を $D_{50} = 0.18 \text{ mm}$ となるように混合調整した試料 A~C の全 4 種類の試料を用いた。図-2 から分かるように、実験に使用した試料は、「港湾の施設の技術上

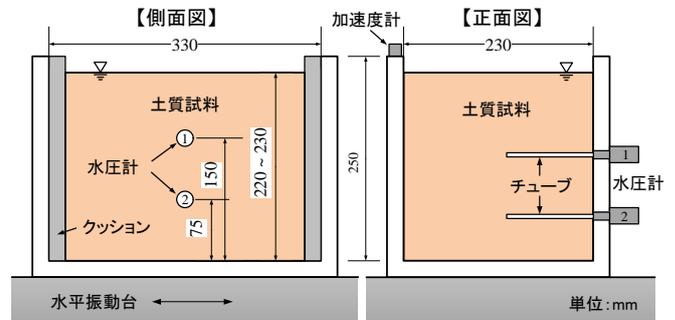


図-1 水平振動実験土槽の模式図

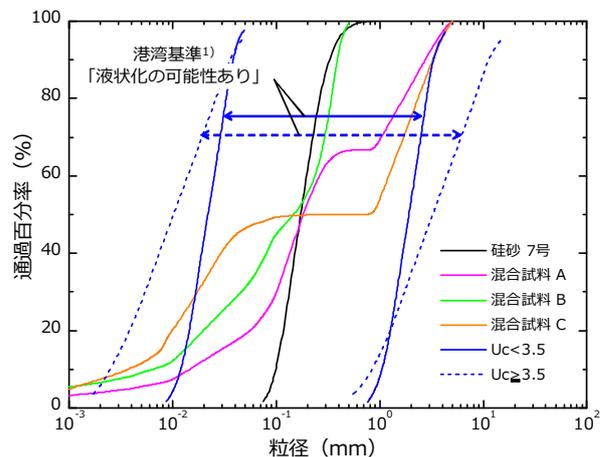


図-2 試料の粒度分布

の基準¹⁾で「液状化の可能性あり」とされる粒度範囲内に収まっているが、表-1 に示すように均等係数 U_c や細粒分含有率 F_c が異なっている。本研究では、振動数 5 Hz、最大加速度 0.5 m/s^2 (50 Gal) のサイン波を入力波とした（ただし、硅砂 7 号のみにおいては 0.5 m/s^2 では液状化しなかったため、 2.5 m/s^2 (250 Gal) で加振した）。

表-1 試料の基本的物理特性

| 試料名 | 硅砂混合材料 (混合比) | 均等係数 U_c | 細粒分含有率 F_c (%) | 間隙比 e | 飽和密度 ρ_{sat} (g/cm ³) | 相対密度 D_r (%) |
|--------|-------------------------|------------|------------------|---------|--|----------------|
| 硅砂 7 号 | 7 号 | 1.9 | 0 | 0.87 | 1.872 | 55.1 |
| 混合試料 A | 9 号+7 号+2 号 (1 : 1 : 1) | 19.2 | 24 | 0.52 | 2.089 | 55.4 |
| 混合試料 B | 9 号+6 号 (1.2 : 1) | 41.7 | 39 | 0.69 | 2.012 | 55.4 |
| 混合試料 C | 硅砂微粉+2 号 (1 : 1) | 275 | 48 | 0.65 | 2.006 | 72.5 |

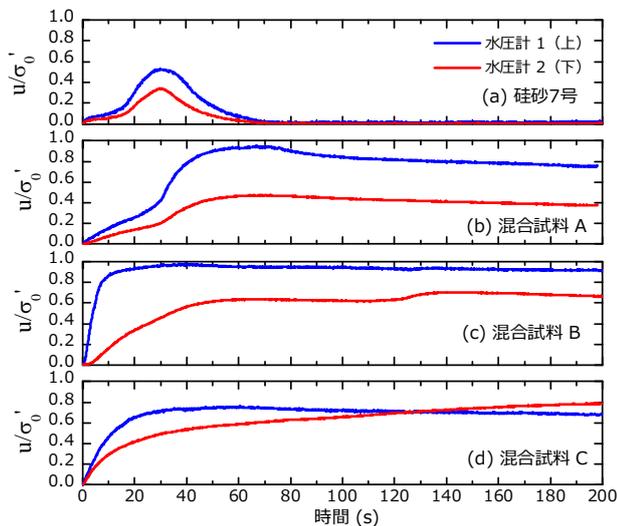


図-3 過剰間隙水圧比の経時変化

3. 液状化に及ぼす U_c 及び F_c の影響

図-3 は、加振による土槽内の過剰間隙水圧比 u/σ'_0 の経時変化を示したものである。この図から、珪砂 7 号では u/σ'_0 が一旦上昇した後なだらかに低下していく一方、試料 A~C では徐々に上昇していくか高止まりしていることが分かる。 U_c および F_c が增大すると排水性が低下し、上昇した水圧の消散が起こりにくいことに起因するものと考えられる。このことは、 U_c や F_c の大きい地盤では、過剰間隙水圧が経時的に蓄積しやすく、長期間振動で液状化が発生しうることを示唆している。

図-3 の過剰間隙水圧比変化の最大値 u_p/σ'_0 を抜き出し、 U_c 及び F_c の及ぼす影響を調べたものを図-4 に示す。この図より、 F_c および U_c の増大に伴って u_p/σ'_0 も大きくなること分かる。このことは、 U_c や F_c の大きい地盤は、有効応力の低減率が大きく、液状化した際の地盤の流動性が高くなることを示唆している。 U_c および F_c の常用対数値に u_p/σ'_0 がほぼ比例して増加している点が興味深い。

図-5 は、 u_p/σ'_0 を振動の繰返し回数で除した値（水圧上昇率と称す）と U_c 及び F_c の関係である。ここに、水圧上昇率は、加振 1 サイクル当りの過剰間隙水圧比の上昇率であり、この値が大きいほど水圧の上昇スピード（液状化の時間的な発生しやすさ）が高いことを意味する。この図より、 F_c および U_c の増大に伴って水圧上昇率が低下していることが分かる。図-3 で明らかになったように、粒度の良い地盤あるいは細粒分を多く含む地盤においては過剰間隙水圧の最大値は大きくなるが、最大値に至るまでの時間が長くなることを意味している。 U_c と F_c は意味の異なる特性値であるが、蓄積しうる過剰間隙水圧の大きさや水圧蓄積の時間的影響については同様の傾向が見られたことは興味深い。

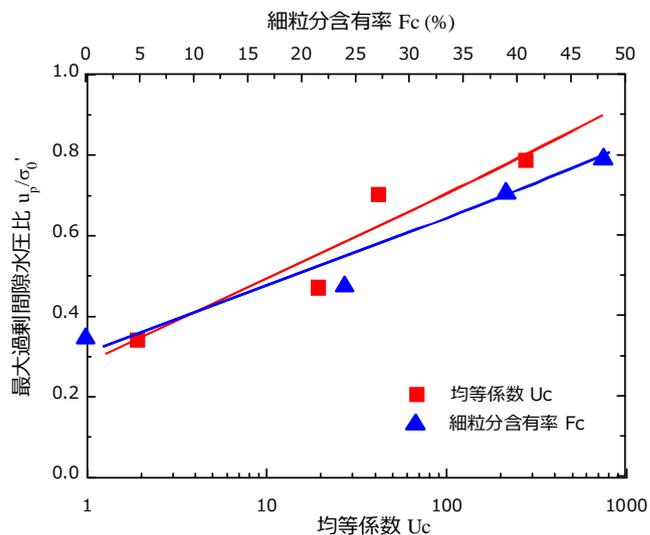


図-4 最大過剰間隙水圧比に及ぼす U_c と F_c の影響

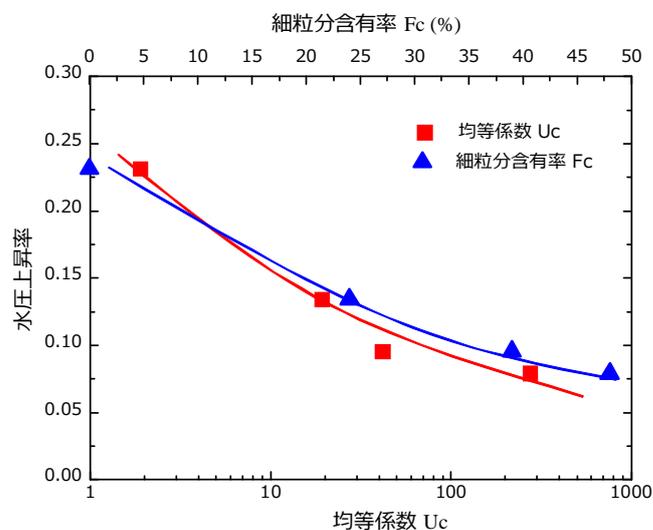


図-5 水圧上昇率に及ぼす U_c と F_c の関係

4. おわりに

一般に、 F_c の大きい地盤は液状化しにくいとされており、実際の実務でも液状化抵抗を大きく見積る設計^{2), 3)}が行われている。一方、本研究の結果は、 F_c や U_c が大きい場合には振動 1 サイクル当りの水圧上昇率は小さくなるものの、地盤内部で蓄積しうる水圧は大きくなる傾向を示した。このことは、短期間の地震では確かに F_c が大きいほど液状化は起こりにくいと解釈できる一方、地震動が長時間継続するような場合には液状化の被害が大きくなる可能性のあること示唆している。

今後は、繰返し三軸圧縮試験機等を利用するなどして拘束圧やひずみ振幅等の依存性等も考慮した定量的データの蓄積を図り、振動の継続時間と粒度特性の関係について検討を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- 2) 日本道路協会：道路橋設計示方書・同解説, 1996.
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 1988.