

細粒土層における液状化時の間隙水の滞留現象に関する一考察

福島工業高等専門学校 学生会員 西丸あずさ
 福島工業高等専門学校 正会員 森田年一
 茨城大学工学部 フェロー会員 安原一哉

1. はじめに

1987年に発生した千葉県東方沖地震¹⁾や1993年に発生した北海道南西沖地震、1999年に発生したトルコ地震などでは非塑性シルトを含む砂地盤でも液状化し易いということが明らかになった。また、同様の現象が模型振動実験によっても確認されている²⁾。そこで本研究では、非塑性シルトを含む砂地盤における液状化時の間隙水挙動のメカニズムを解明することを目的とし、振動実験及び数値解析を行った。

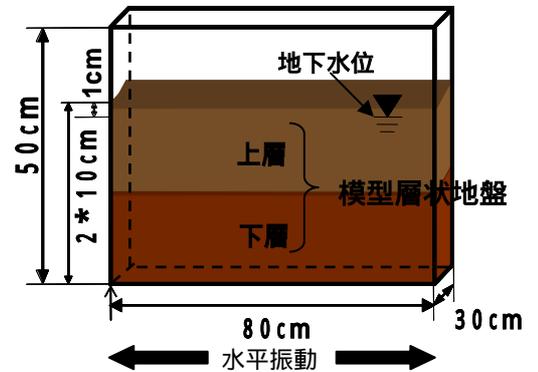


図-1 模型振動土槽

2. 研究方法

2.1 実験方法

土槽は、80cm×30cm×50cm(図-1)のものを使用した。土槽内には、1層10cmで2層から成る高さ20cmの水平成層地盤を水中落下法により作成し、地下水位は地表面から1cmとした。図-2に使用した試料の粒径加積曲線を示す。この2種類の試料を用いた2層から成る3ケースの地盤について実験を行った。実験ケースを図-3に示す。また、ケース3における層の境界面には、変位を測定するためのマーキングを施した。

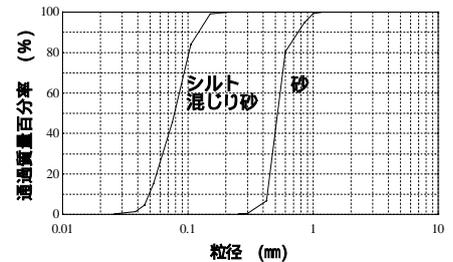


図-2 試料の粒径加積曲線

加振は水平一軸方向で入力加振波は5 Hzの正弦波(5秒)とし、振幅レベルを徐々に上げていくステージ加振とした。また、液状化発生時の地盤挙動の観察や地表面沈下量の測定を目的として加振時の様子を動画撮影した。

2.2 解析方法

液状化発生時の地盤内の間隙水圧の上昇を考慮できる有効応力解析プログラム(FLIP³⁾⁴⁾を用い、液状化発生時の地盤の挙動を探った。解析においては、振動実験における液状化発生時の様子を再現する目的で、図-3と同様の3ケースについて実施した。



ケース1 ケース2 ケース3

図-3 実験ケース

3. 研究結果

振動実験における各ケースの液状化発生時の入力加速度、数値解析における各ケースの過剰間隙水圧比を表-1に示す。

ケース1では、振動実験において入力加速度2.93m/s²で液状化が生じた。数値解析において入力加速度が2.93m/s²で過剰間隙水圧比が0.95を超えており、振動実験の挙動と整合する結果となっている。

また、ケース2では、振動実験において全層シルトを50%程度含む地盤であっても、入力加速度が7.62m/s²で液状化が生じた。数値解析において入力加速度が7.62m/s²で過剰間隙水圧比が0.95を超えており、振動実験の挙動と整合する結果となっている。

表-1 液状化時の入力加速度及び過剰間隙水圧比

		ケース1	ケース2	ケース3
入力加速度(m/s ²)		2.93	7.62	5.61
過剰間隙水圧比	上層	0.95	0.95	0.19
	下層			0.96

ケース3では、振動実験において、下層である砂層の液状化が発生し、その間隙水排出の過程で非液状化層であるシルト混じり砂層の支持力が失われ、地表面に間隙水が排出する挙動が見られた。また、加振終了間際、上層と下層の境目に間隙水が滞留した影響で上層のシルト混じり砂層が瞬間的に浮遊状態となる現象も見られた。このような現象は北海道南西沖地震の際の現地調査でも確認されており¹⁾、この挙動が側方流動の要因の一つとして考えられている。

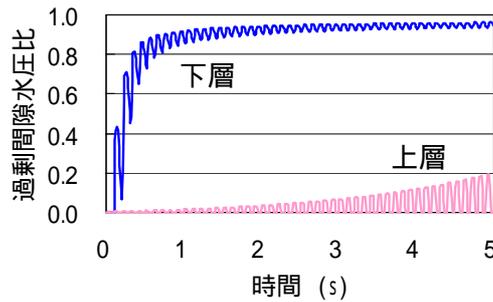


図-4 過剰間隙水圧比時刻歴

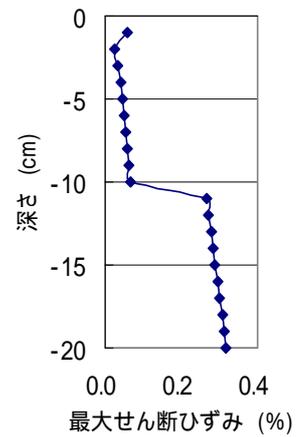


図-5 深さごとの最大せん断ひずみ

数値解析においては、入力加速度を 5.61m/s^2 としたケースにおいて、下層である砂の過剰間隙水圧比が 0.96 となり、一方、上層であるシルト混じり砂の過剰間隙水圧比は 0.19 となった。この数値解析結果は、前述の振動実験の挙動と整合するものとなっている。また、数値解析の結果より得られた過剰間隙水圧比時刻歴を図-4 に示す。過剰間隙水圧比の上昇過程に着目すると、下層である砂の過剰間隙水圧比が 0.8 を超えたのは加振開始から 0.34 秒後の比較的早い時点であり、このとき上層であるシルト混じり砂の過剰間隙水圧比は 0.01 未満となっており地盤の支持力が全く低下していないことがわかる。加振開始直後から、上層と下層の過剰間隙水圧比には大きな違いがみられ、その状態が維持されたまま加振が継続したため、下層の間隙水が層の境目に滞留する現象が見られたのではないかと推測できる。

図-5 に数値解析の結果より得られた深さ(深度)ごとの最大せん断ひずみを示す。下層である砂のせん断ひずみは上層であるシルト混じり砂のせん断ひずみの約 $4 \sim 5$ 倍になっており、上層と下層の変位挙動には大きな差異が見られた。これらの変位は、液状化に起因すると考えられることから、液状化の程度に大きな差異が生じていることが、せん断ひずみの比較からも推測できる。また、下層におけるせん断ひずみの値は概ね 0.3% 程度であり、図-4 に示す過剰間隙水圧比の上昇と比較すると小さめの値となっている。これは、上層であるシルト混じり砂の存在が関係していると考えられ、砂層と同じ厚さのシルト混じり砂が上層として載荷されていることによって下層のひずみが拘束され、通常の液状化時のひずみの値よりも全体的に小さい値になったと考えられる。

4. 結論

- 1) 砂層の上部にシルト混じり砂が存在することによって液状化時に砂層の間隙水が層の境目に滞留する傾向が見られた。この現象は既往の地震時の挙動¹⁾と整合するものであった。
- 2) ケース1~3において数値解析の結果は振動実験の結果を模擬するものとなった。
- 3) 数値解析によって、間隙水の滞留現象の発生が過剰間隙水圧比の上昇過程および最大せん断ひずみの値から推測できた。

参考文献

- 1) 陸野雅雄：液状化による砂層の堆積構造の変化が強度特性に及ぼす影響に関する基礎的研究、文部省科学研究費補助金研究成果報告書、1998年
- 2) 西丸あずさ、森田年一、安原一哉：地盤の土層特性が液状化に及ぼす影響について、平成17年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要、2006年
- 3) Susumu Iai, Yasuo Matsunaga, and Tomohiro Kameoka: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol.32, No2, pp.1-15, 1992.
- 4) 森田年一ら：液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法、港湾技術研究所資料、No869、1997年