

地盤材料を変化させた液状化現象の模型振動実験

田口 善文*

Shaking table test on liquefaction with changing ground material

Yoshifumi TAGUCHI *

Liquefaction is a phenomenon in which the water pressure between particles rises due to the shake of large earthquakes due to the high groundwater level and loose sandy ground and becomes like a liquid. Recently, liquefaction damage occurred in Urayasu City in Chiba Prefecture, which was far away from the hypocenter of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. On the other hand, in Mie prefecture, within the next 30 years the probability of occurrence of a large earthquake of M8 ~ M9 with the Nankai-Trough was raised to around 70 ~ 80% in 2018.

In order to prepare for the Nankai-Trough earthquake that is expected to occur in the future, the author conducted a model test using a small shaking table about the liquefaction phenomenon of the sandy ground which is expected to occur in the sand ground along the coast, basic experiments were carried out on the ease of liquefaction phenomena by changing the material of the model ground.

Keywords: liquefaction, model test, shaking table test, pore water pressure, ground material

1. はじめに

液状化現象は地下水位が高い緩い砂地盤などで大きな地震の揺れにより粒子間の水圧が上昇して液体のようになる現象であり、それによって建物が不同沈下したり、道路に沈下や不陸が発生したり、地中の軽い構造物が浮き上がる被害が発生する^{1)~2)}。

液状化の被害は1964年の新潟地震で大きく注目され、1995年の兵庫県南部地震、2004年の新潟県中越地震、最近では2011年の東北地方太平洋沖地震で震源地から大きく離れた千葉県浦安市などでも液状化被害が発生し、住宅やインフラ施設などが大きな被害を受けた^{3)~5)}。一方、三重県付近では、南海トラフにおいて今後30年以内にM8~9クラスの地震が発生する確率が2018年1月に70%~80%に引き上げられた⁶⁾。

筆者らは、今後発生が予想される南海トラフ地震に備え、海岸沿いの低平地で発生が予想される地盤の液状化現象について、小型振動台を使った模型実験により⁷⁾、模型地盤の種類(粒径、密度)を種々変化させ、液状化現象の発生のしやすさなどについて基礎的な確認実験を行った。本報告では加速度及び間隙水圧波形の差異について述べる。

2. 模型実験

2.1 模型実験概要

模型地盤は、幅36cm×奥行き22cm×高さ26cmの透明な水槽に水を満たし、所定の寸法の出口から砂を落下させ一様な地盤模型を作製した。模型地盤は空気乾燥状態の豊浦砂、5号硅砂および豊浦砂と5号硅砂の1:1の混合砂を用いた。砂の投入は、高さ60cmの位置で一定の寸法の出口から水中落下させ、厚さ15cmになるまで投入し作成した。

この地盤模型を小型振動台上に設置し、所定の入力地震波で加振した。小型振動台の諸元は、テーブル寸法400×250mm、最大加振加速度1000gal、最大加振変位±40mmである。計測項目は、加速度と間隙水圧であり、図1に示すように、加速度計は振動台上と地中のセンター部7.5cmの深さに合計2個を、間隙水圧計は土槽中心から10cm離れた位置で深さ7.5cmのところを設置した。間隙水圧系は左右対称に2箇所設置し、間隙水圧計(東)および(西)と表記する。図2に実験装置の状況を示す。

2.2 実験ケース

本報告では、①豊浦砂を用いた場合、②5号硅砂を用いた場合、③豊浦砂に振動締固めを行い、密度を密にした場合、④豊浦砂と5号硅砂を1:1の割合で混合した砂を用いた場合の4ケースの実験結果について報告する。

*近畿大学工業高等専門学校
総合システム工学科 都市環境コース

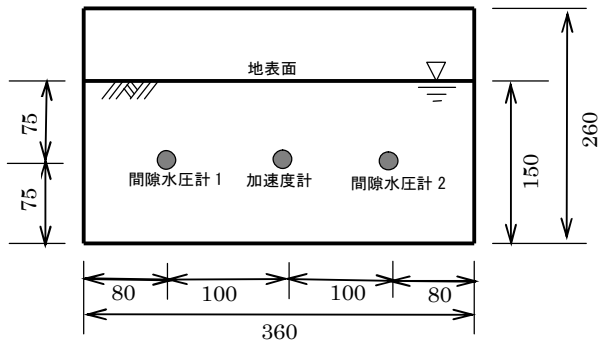


図1 実験装置



図2 実験装置の状況

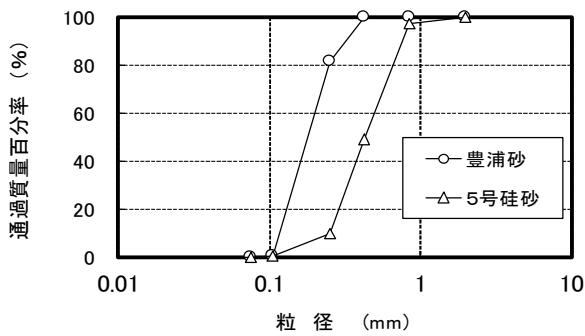


図3 粒径加積曲線

図3に使用した地盤材料の粒径加積曲線を示す。

3. 実験結果

3.1 豊浦砂の場合

図4は振動数2Hzで100galの正弦波を10秒、200galで

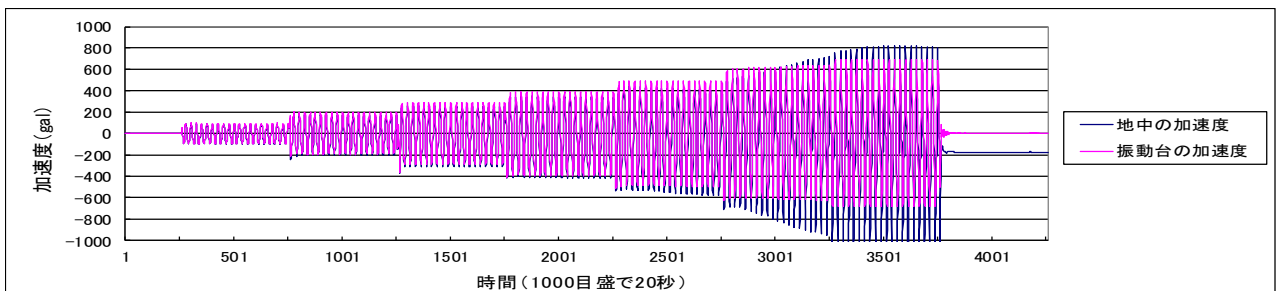


図4(a) 加速度の計測結果 (豊浦砂 2Hzの正弦波 100galで10秒、200galで10秒と段階的に加振)

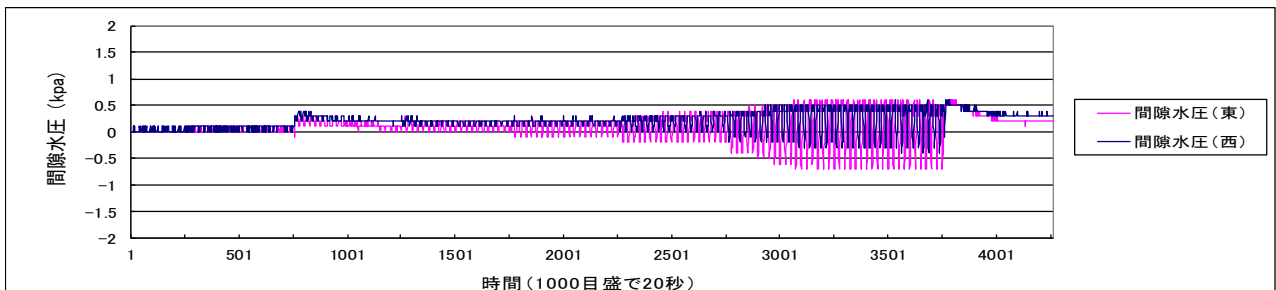


図4(b) 間隙水圧の計測結果 (豊浦砂 2Hzの正弦波 100galで10秒、200galで10秒と段階的に加振)

10秒、300galで10秒、400galで10秒と段階的に加速度を上げて、模型を加振した場合の加速度および間隙水圧波形を示す。この図から、200galの加振時に間隙水圧が少し上昇し始めるが、地盤の乱れはこの時点では見られない。さらに加振を続けると、500gal付近で地盤の加速度波形が乱れており、また間隙水圧も500gal付近で上昇しており、この時点で完全な液状化が発生したことが分かる。600galからは、間隙水圧がさらに大きく上昇し、地盤中の加速度も大きく乱れている。

3.2 5号珪砂の場合

図5は振動数2Hzで100galの正弦波を10秒、200galで10秒、300galで10秒、400galで10秒と段階的に加速度を上げて、模型を加振した場合の加速度および間隙水圧波形を示す。この図から、200galの加振時に間隙水圧が少し上昇し始めるが、豊浦砂の場合より、値は小さくなってい

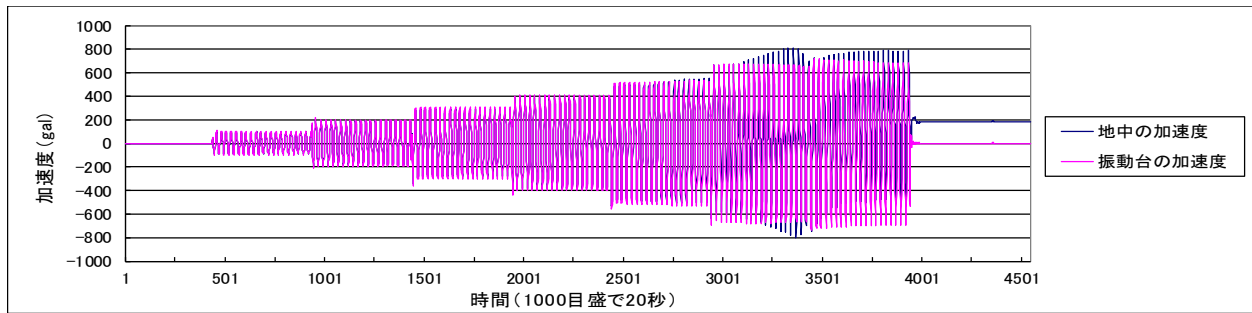


図 5(a) 加速度の計測結果 (5 号珪砂 2Hz の正弦波 100gal で 10 秒、200gal で 10 秒と段階的に加振)

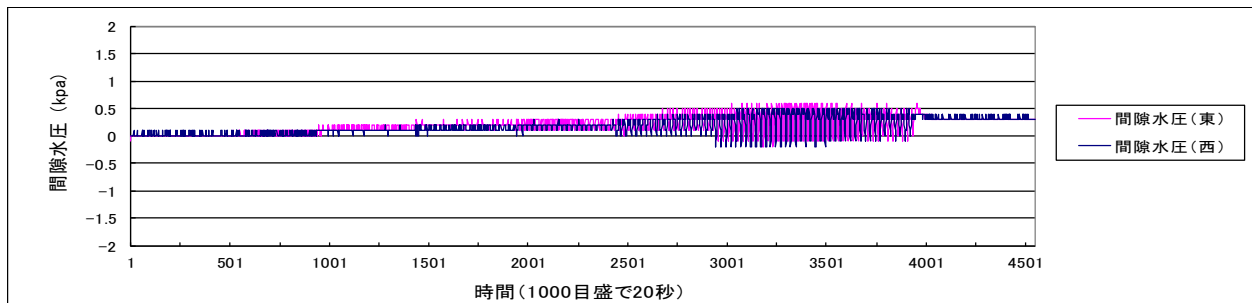


図 5(b) 間隙水圧の計測結果 (5 号珪砂 2Hz の正弦波 100gal で 10 秒、200gal で 10 秒と段階的に加振)

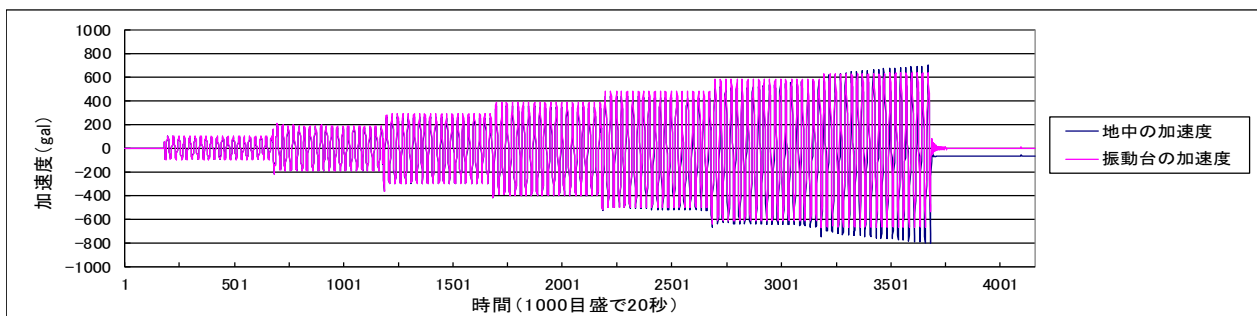


図 6(a) 加速度の計測結果 (豊浦砂振動締固め 2Hz の正弦波 100gal で 10 秒、200gal で 10 秒と段階的に加振)

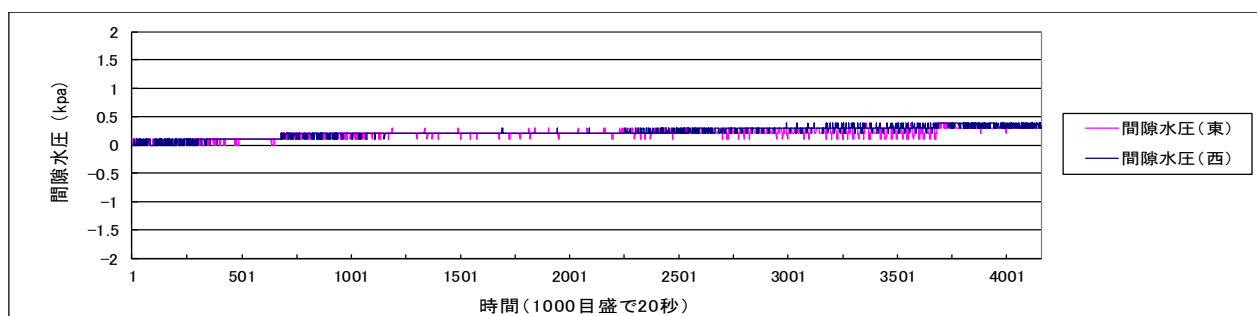


図 6(b) 間隙水圧の計測結果 (豊浦砂振動締固め 2Hz の正弦波 100gal で 10 秒、200gal で 10 秒と段階的に加振)

る。さらに加振を続けると、500gal 付近で地盤の加速度波形が乱はじめる、間隙水圧も上昇しはじめる。600gal からは、間隙水圧がさらに大きく上昇し、地盤中の加速度も大きく乱れている。この時点で完全な液状化が発生したことが分かる。豊浦砂の場合よりその値は小さい。

3.3 豊浦砂を振動締固めた場合

3.1 の豊浦砂の実験模型を、5Hz100gal で 30 秒間加振し、密な地盤を作製した。図 6 は振動数 2Hz で 100gal の正弦波を 10 秒、200gal で 10 秒、300gal で 10 秒、400gal で 10 秒と段階的に加速度を上げて、模型を加振した場合の加速度および間隙水圧波形を示す。この図から、600gal 付近で地盤の加速度波形が乱れているが、間隙水圧はさほど上昇

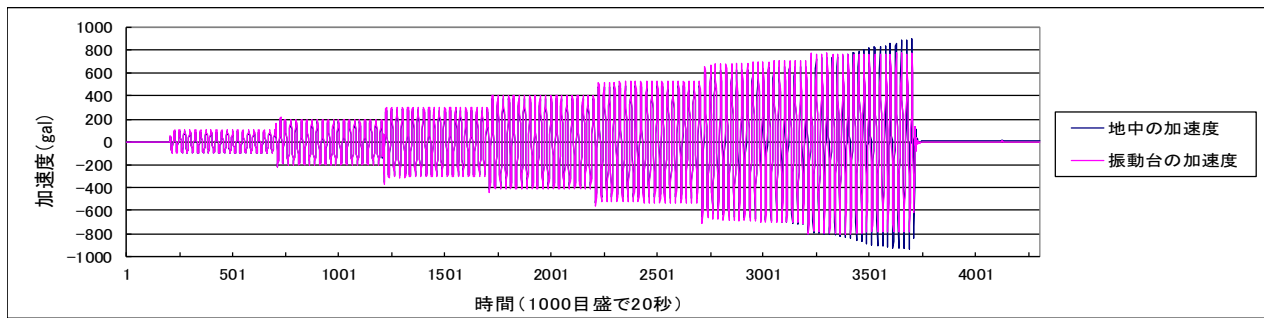


図 7 (a) 加速度の計測結果 (混合砂地盤 2Hzの正弦波100galで10秒、200galで10秒と段階的に加振)

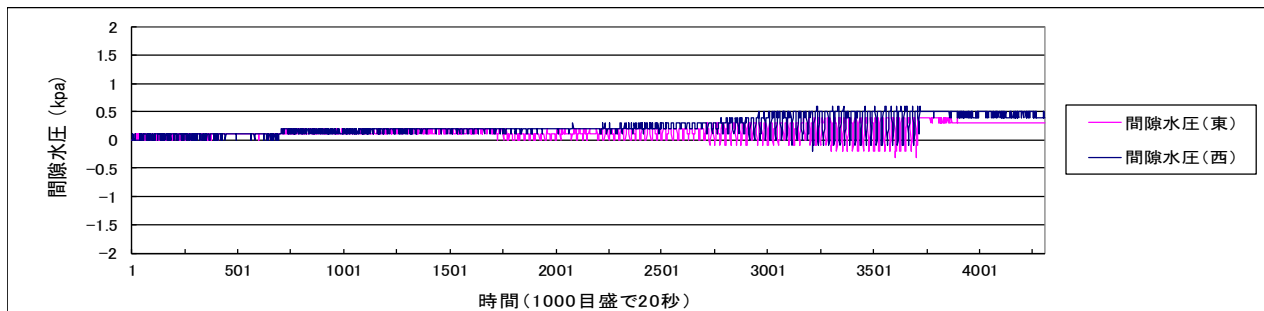


図 7 (b) 間隙水圧の計測結果 (混合砂地盤 2Hzの正弦波100galで10秒、200galで10秒と段階的に加振)

していない。3.1 の実験ケースに比べて、液状化抵抗が大きくなるのが分かる。

3.4 豊浦砂と5号硅砂を混合した場合

豊浦砂と5号硅砂を1:1の割合で混合した砂を使用して同様の実験を行った。図7は振動数2Hzで100galの正弦波を10秒、200galで10秒、300galで10秒、400galで10秒と段階的に加速度を上げて、模型を加振した場合の加速度および間隙水圧波形を示す。この図から、600gal付近で地盤の加速度波形が乱れており、また間隙水圧も600gal付近で上昇しており、この時点で完全な液状化が発生したことが分かる。3.1の豊浦砂の実験ケースにくらべて、液状化抵抗が大きくなるのが分かる。

4. まとめ

小型振動台を使った模型実験により、①豊浦砂を用いた場合、②5号硅砂を用いた場合、③豊浦砂に振動締めを行った場合、④豊浦砂と5号硅砂を混合した砂の場合の4ケースについて、液状化現象の発生のしやすさについて基礎的な模型実験を行った。その結果、以下のことが分かった。

- ① 豊浦砂の場合、200galの加振時に間隙水圧が少し上昇し始め、500gal以上では間隙水圧が大きく上昇し、地盤の加速度波形が乱れ、完全な液状化が発生した。
- ② 5号硅砂の場合、200galの加振時に間隙水圧が少し上昇し始めるが、豊浦砂の場合より値は小さい。

- ③ 豊浦砂を振動締めした場合、600gal付近で地盤の加速度波形が乱れているが、間隙水圧はさほど上昇しない。
- ④ 豊浦砂と5号硅砂を混合した砂の場合、豊浦砂のみや5号硅砂のみのケースに比べて、液状化抵抗が大きくなる。

参考文献

- 1) 吉見吉昭: 砂地盤の液状化 (第2版)、技報堂出版、1991
- 2) 地盤工学会液状化対策工法編集委員会: 地盤工学実務シリーズ18、液状化対策工法、2004
- 3) 堀内佑樹、桑野玲子、桑野二郎: 液状化による噴砂発生メカニズムに関する模型実験、生産研究、Vol. 67、No. 4、pp. 351-353、2015
- 4) 若松加寿江: 2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化、日本地震工学会論文集、第12巻、第5号、pp. 69-88、2012
- 5) 石川敬祐、安田進、萩谷俊吾: 千葉県浦安市の液状化現象の発生状況調査、日本地震工学会論文集、第12巻、第4号、pp. 56-64、2012
- 6) 政府地震調査研究推進本部: 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版)、2013.5
- 7) 田口善文: 地盤の液状化挙動に与える影響に関する模型振動実験、近畿大学工業高等専門学校研究紀要、第10号、pp. 79-82、平成29年3月