

液状化地盤における杭の地盤反力特性に及ぼす地盤密度の影響

Effect of Soil Density on Subgrade Reaction of a Pile in Liquefied Soil

鈴木 康 嗣
安 達 直 人

I. はじめに

液状化地盤における杭の地盤反力は、地盤の固体的な性質によって杭と地盤の相対変位に依存するという考え方¹⁾や、流体的な性質によって相対速度に依存するという考え方²⁾がある。筆者らは、液状化地盤における杭の地盤反力には両成分が混在するが、主要な部分は相対変位に依存することを示した³⁾。しかし、地盤密度によるメカニズムの違いに関する研究例¹⁾は少なく、不明な部分が多い。

本論文では、液状化地盤において杭が地盤から受ける外力(地盤反力)に及ぼす地盤の相対密度の影響を検討する。

II. 実験概要

実験模型と計測点配置をFig. 1に示す。上層が飽和砂、下層が弾性体(シリコンゴム)の二層地盤中に9本群杭模型(直径20mm, 長さ490mm, 曲げ剛性13.9Nm²)を設置し、地盤の加速度と過剰間隙水圧、構造物の加速度と変位、及び杭の曲げ歪を測定した。

上層(飽和砂)の相対密度を5種類(Dr52~Dr97S)に変えた実験と上層を水に置換えた実験を行った。Dr97Sは微小ひずみ履歴を加えて液状化強度を高めたケースである。入力には臨海波の時間軸を相似則に従い1/5に縮め、最大加速度を500cm/s²程度に調整して用いた。

III. 実験結果

1. 最大値

構造物慣性力とC杭の上層部分の総地盤反力(上層の地盤反力の

和)、及び杭頭と層境界部の曲げモーメントの最大値と、実験ケース(上層の相対密度)の関係をFig. 2に示す。上層が水のケースの総地盤反力はほぼ零であるが、慣性力が極端に大きいため杭の曲げモーメントは最も大きい。Dr52, Dr65では相対密度の増加と共に慣性力は小さくなるが、総地盤反力が大きくなるため曲げモーメントも大きくなる。Dr80~Dr97Sでは相対密度の増加と共に構造物慣性力が徐々に増加しながら総地盤反力が減少し、曲げモーメントは徐々に減少している。以上の結果より、杭の曲げモーメントは相対密度が低い程大きくなるとは限らないことが分かる。

2. 加速度伝達特性

入力に対する構造物の加速度フーリエスペクトル比(AS1/AN1)をFig. 3に示す。Dr52の1次ピークは7Hz付近にあって上層が水のケースの6.7Hz³⁾に近く、応答倍率も4.5倍と大きいことから、上層の飽和砂が液体状になった特性を反映していると判断される。一方、Dr65, Dr80の1次ピークも7Hz付近に存在しているが応答倍率が明らかに小さく、上層が液体状になった特性はそれほど顕著ではないと考えられる。Dr95, Dr97Sの1次ピークは10Hz付近にあり、上層が水のケースとは異なっていると判断される。

3. 構造物応答と総地盤反力

杭頭慣性力と変位の関係をFig. 4に示す。Fig. 4には上層が水のケースの傾きを破線で併記した。Dr52は上層が水のケースの破線とほぼ一致し、液状化後、上層が水に置換わった状態に近い応答を示している。Dr65は慣性力が大きな領域で破線に沿う傾向が認められる

ことから、この部分では地盤が液体状になっていると考えられるが、構造物慣性力が小さな領域で構造物変位だけが大きくなっている部分は、地盤が外力として働いて杭を押していると判断される。一方、Dr95は紡錘形に近づ

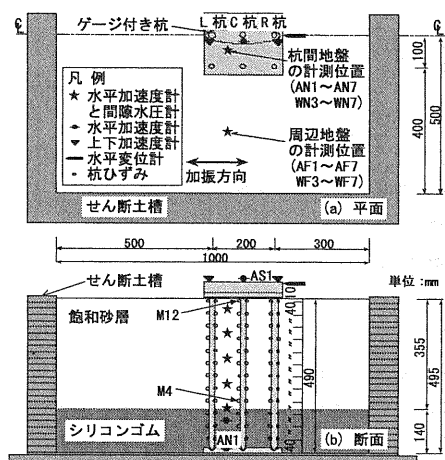


Fig.1 Shaking Table Test Model and Measuring Instruments

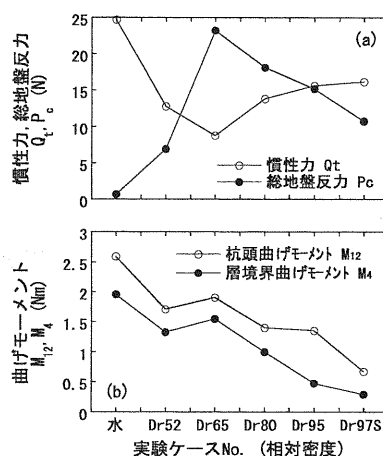


Fig.2 Relations between Maximum Values and Relative Density

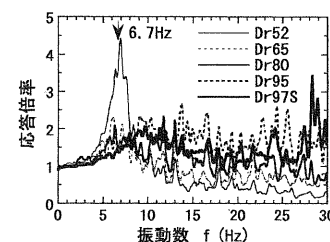


Fig.3 Acceleration Fourier Spectrum Ratio

本報は、日本建築学会構造系論文集592号(2005.6) pp.97-104

掲載論文の要約である。

キーワード：液状化，杭基礎，振動台実験，地盤密度，地盤反力，サイクリックモビリティ，杭応力，構造物応答

き破線よりも傾きが大きい。これは、上層地盤が反力となって杭の変形を抑えているためである。これらの傾向は、Fig. 3に示した1次ピーク振動数の傾向と整合している。

杭頭慣性力とC杭の総地盤反力の関係をFig. 5に示す。Dr52の総地盤反力は慣性力に比べて小さく、正の相関関係を示す部分が認められる。Dr95では明らかに負の相関関係が認められ、慣性力と総地盤反力が逆向き、すなわち総地盤反力が反力として働いていることが分かる。一方、Dr65の総地盤反力は慣性力に比べて2倍以上と大きく、総地盤反力には慣性力と正と負の相関関係を示す部分が交互に認められ、総地盤反力が反力と外力の両方に变化している。

IV. 地盤反力特性

深度17cmにおける地盤反力と相対変位、及び鉛直有効応力比の関係をFig. 6に示す。なお、地盤反力の線種は深度17cmにおける杭変位 δ_p と杭間地盤変位 δ_{sc} の大小関係から次のように定義した³⁾。

δ_p と δ_{sc} が同符号で、	$ \delta_p < \delta_{sc} $ の場合	実線
	$ \delta_p \geq \delta_{sc} $ の場合	点線
δ_p と δ_{sc} が異符号の場合		破線

すなわち、実線は地盤が杭を押して地盤が外力として働く状態を、点線は杭が地盤を押して地盤が反力として働く状態を、破線はどちらとも判断できない状態を示している。

地盤反力と相対変位の関係は、Dr65では地盤のサイクリックモビリティの影響で三角形を二つ足したような履歴特性を示し、地盤反力は概ね外力(実線)となっている。Dr95では地盤反力が反力(点線)となって逆S字型の履歴特性を示し、Dr52でも外力(実線)となって逆S字型の履歴特性が認められるが、やや傾向があいまいである。地盤反力と鉛直有効応力比の関係は、Dr65では有効応力の回復に対応して地盤反力が増加し、有効応力経路(せん断応力と有効応力の関係)で通常認められる関係と同様な関係が認められる。これは、サイクリックモビリティによるせん断応力の増加と同様に、地盤反力が有効応力の回復によって生じていることを示している。Dr95ではこの傾向がさらに顕著である。一方、Dr52でも地盤反力が有効応力の回復によって生じる傾向を示しているが、傾向は明確ではない。以上の結果より、地盤反力は地盤の固体的な性質によって生じていることが分かる。

V. まとめ

振動台実験から得られた知見は以下のとおりである。

- 杭に生じる曲げモーメントは、構造物慣性力と地盤からの外力(総地盤反力)の組合せにより相対密度に依存して増減するが、相対密度が低いほど大きくなるとは限らない。
- 地盤の相対密度が低いと地盤が液体状になり、総地盤反力が慣性力に比べて極端に小さく、杭は液体中を振動している状態になる。
- 地盤反力は、地盤の相対密度が高いと反力として働き、低いと外力として働くが、いずれの場合も有効応力の回復に依存して生じるため、杭と地盤の相対変位に依存する。

参考文献

- 1) 時松孝次, 鈴木比呂子, 鈴木康嗣, 藤井俊二: 大型振動台実験

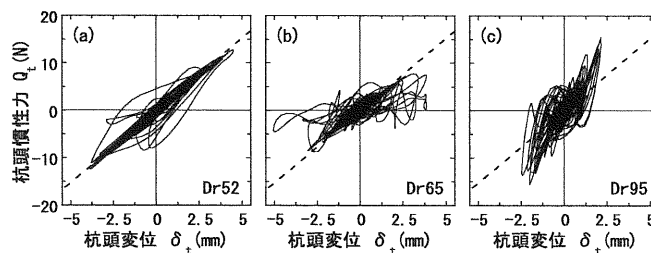


Fig.4 Relations between Inertia Force and Displacement at Pile Head

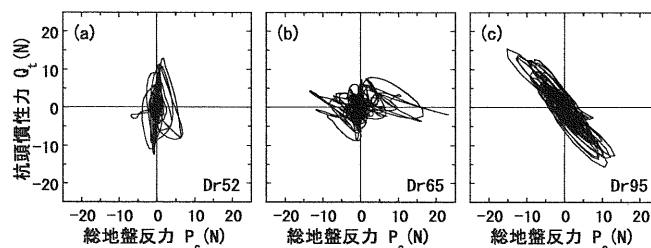


Fig.5 Relations between Inertia Force and Total Subgrade Reaction at Saturated Sand Layer

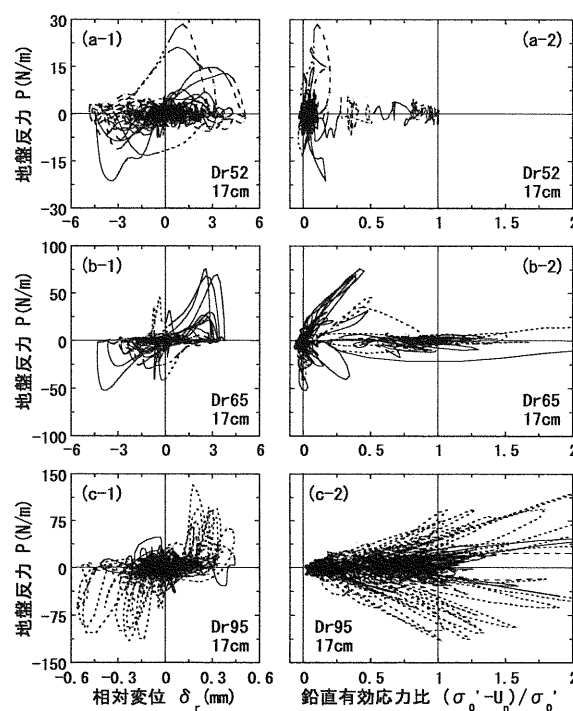


Fig.6 Relations among Subgrade Reaction, Relative Displacement and Effective Normal Stress Ratio

に基づく液状化過程における杭の水平地盤反力の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第553号, (2002), pp. 57-64.

- 2) 田村修次, 小林健一: 杭頭加振実験に基づく液状化過程における杭の水平地盤反力のメカニズム, 日本建築学会構造系論文集, 第577号, (2004), pp. 55-61.
- 3) 安達直人, 鈴木康嗣, 三浦賢治: 振動台実験による杭の地盤反力と液状化地盤応答の関係, 日本建築学会構造系論文集, 第578号, (2004), pp. 75-82.