

液状化地盤における杭の地盤反力特性に及ぼす入力動の影響

Effect of Input Wave on Subgrade Reaction of Pile in Liquefied Soil

鈴木 康 嗣
安 達 直 人

I. はじめに

筆者らは、液状化地盤における杭の地盤反力に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成分と、流体的な性質によって地盤速度に依存する成分が混在するが、主要な部分は杭と地盤の相対変位に依存することを明らかにしてきた¹⁾。本論文では、飽和砂地盤中に設置した杭基礎模型の振動台実験結果¹⁾に基づき、入力加速度波形の種類やその振幅の相違が液状化地盤における杭の地盤反力特性に及ぼす影響を検討する。

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 $13.9\text{N}\cdot\text{m}^2$)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。

入力波には、Fig. 2 に示す南関東地震を想定して作成された人工地震波(臨海波)²⁾と兵庫県南部地震においてポートアイランドのGL-32mで観測されたNS波(PI波)³⁾の時間軸を相似則に従い1/5に縮め、最大加速度を調整した地震波と、正弦波(2Hz, 7Hz)を用いた。Fig. 3 に臨海波及びPI波の加速度フーリエスペクトルを示す。臨海波は広い範囲の振動数成分を含んでいるが、PI波は5Hz以下の長周期成分が卓越した波である。入力加速度振幅は、大入力時の現象を把握するため加振可能な振幅を最大入力とし、非液状化状態の実

験も含まれるように3~10段階に変化させた。なお、上層を水に置き換えたケースの固有振動数である $6.7\text{Hz}^{1)}$ 付近の成分は、PI波に比べて臨海波で大きい。実験ケース名は、R(臨海波)、P(PI波)を頭文字とし、 10cm/s^2 刻みの加速度最大値を続けた。

III. 実験結果

1. 入力加速度最大値と応答最大値の関係

上層地盤の平均過剰間隙水圧比、C杭の上層部分の総地盤反力(杭頭と層境界位置の杭せん断力の差)、曲げモーメント、及びせん断力の最大値と入力加速度最大値の関係を Fig. 4 に示す。杭頭のせん断力は構造物慣性力を杭本数で除して求めた。臨海波加振は最大加速度 350cm/s^2 程度で、PI波加振は 450cm/s^2 程度で全上層が液状化した。すなわち、臨海波の方が小さな加速度で液状化が生じる。これは、Fig. 2 から明らかなように、臨海波の方が繰返し回数が多いためである。全上層が液状化する加速度振幅より小さな振幅では、臨海波加振のそれぞれの応答値はPI波加振に比べて概ね大きい。一方、全上層が液状化後では総地盤反力は同程度であるが、曲げモーメント、せん断力は逆転する。すなわち、PI波によって液状化を生じさせるには、臨海波よりも大きな加速度振幅が必要であるが、同じ入力加速度で比べると、液状化後の杭に生じる曲げモーメントやせん断力はPI波加振の方が大きい。

総地盤反力は、全上層が液状化する直前の入力加速度で急激に大きくなり、全上層が液状化すると元に戻って臨海波とPI波でほぼ同じ値となる。この総地盤反力の急増に対応してC杭の曲げモーメントやせん断力がやや大きくなる部分もあるが、総地盤反力ほど顕著ではない。

2. 伝達特性

振動台に対する構造物の加速度フーリエスペクトル比を Fig. 5 に

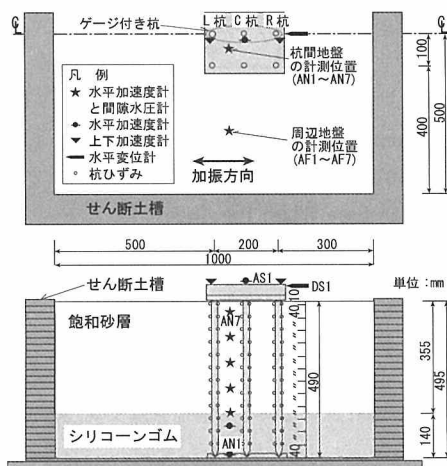


Fig. 1 Shaking Table Test Model and Measuring Instrument

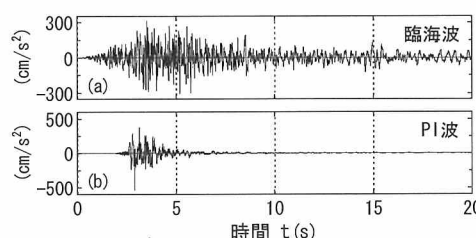


Fig. 2 Input Acceleration Waves

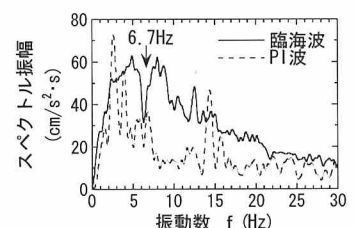


Fig. 3 Acceleration Fourier Spectrum of Input Wave

本報は、日本建築学会構造系論文集 594 号 (2005.8) pp.93-100
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、入力動、
地盤反力、慣性力

示す。Fig.5 には上層が水のケースの1次ピーク振動数(6.7Hz)を併記した。微小加振時に17Hz付近にあった1次ピークは、臨海波加振で液状化していないR160では10Hz付近に、全上層が液状化したR670では6.7Hz付近にある。R670は、上層水のケースとほぼ一致し、上層が液状化後、液体中を突出杭が振動している状態に近いと考えられる。一方、PI波加振で液状化していないP300の1次ピークは9Hz付近にあるが、P660の1次ピークは5Hz付近に認められ、液状化しても6.7Hz付近に明瞭なピークが生じていない。すなわち、PI波加振で上層が液状化すると、上層水のケースよりも低振動数で振動している。

3. 地盤反力と構造物慣性力の位相差

2 ケース(R670, P660)の構造物慣性力 Q_t 及び C 杭の上層部分の総地盤反力 P_c と構造物変位 δ_t の関係、及び構造物慣性力 Q_t 、構造物変位 δ_t 、C 杭の上層部分の総地盤反力 P_c 、杭間地盤地表の水平変位 δ_c 、杭間及び周辺地盤の平均過剰間隙水圧比 U_n/σ_v' の時刻歴を、特徴的な0.5秒間についてFig.6に示す。Fig.6の総地盤反力は同一の図で慣性力との比較を分かりやすくするため1/5倍している。両ケース共に、構造物慣性力が一度大きくなった後に急激に低下している部分で総地盤反力が急激に大きくなっている。この部分は地盤が外力となって杭を押していると判断される¹⁾。P660では構造物の慣性力と変位が同時に大きくなり、慣性力の減少と同時に総地盤反力と地盤変位が増加している。総地盤反力が減少すると慣性力が再び増加しているが、構造物及び地盤の変位は増加し続けている。すなわち、慣性力と地盤反力には位相差が生じているため両者のピークは同時には杭に働かず、慣性力に遅れて地盤反力が働くが、地盤反力はピーク後も大きな値を持続するため、地盤反力が比較的大きな時に慣性力が同時に作用し、構造物変位が減少しないものと判断される。また、総地盤反力が増加するのと同時に、杭間の過剰間隙水圧が減少している。一方、R670の総地盤反力はピーク後に値が減少してしまうため、構造物変位も減少している。

以上の結果より、地盤反力は慣性力より遅れて杭に働くが、PI波加振では慣性力が比較的大きな時に地盤反力が同時に作用するため、臨海波加振に比べて杭応力が大きくなったものと判断される。PI波加振の地盤反力がピーク後も大きな値を持続したのは、Fig.2に示したように長周期成分が卓越する波によって液状化地盤が大きく変形するためと推測される。

IV. まとめ

入力波の種類と振幅を変え、液状化地盤における杭基礎の振動台実験を行った。本実験から得られた知見は以下のとおりである。

- 波の繰返し回数が少ないPI波加振によって液状化を生じさせるには、臨海波加振よりも大きな加速度振幅が必要であるが、液状化後、同じ入力加速度最大値で比べると、杭に生じる曲げモーメントやせん断力はPI波加振の方が大きい。
- PI波加振では液状化地盤からの外力と慣性力が同方向で同時に大きな値を維持したまま杭に作用するため、臨海波加振より杭応力が大きくなった。これは、長周期成分が卓越する波によ

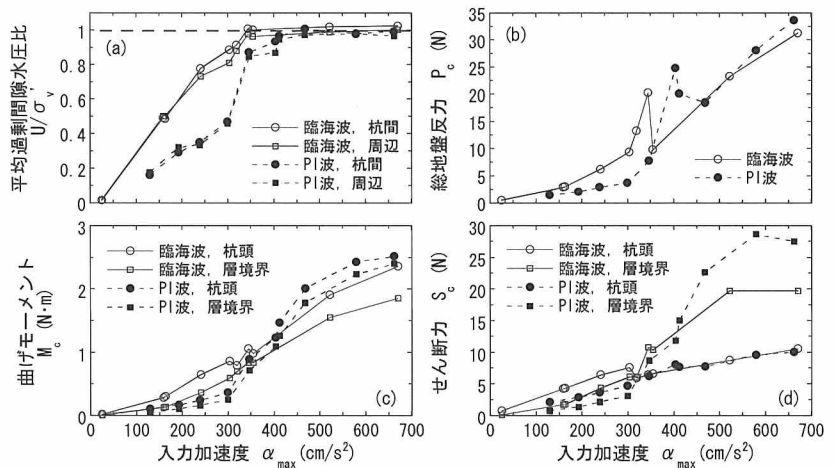


Fig. 4 Relation between Maximum Values and Maximum Input Acceleration

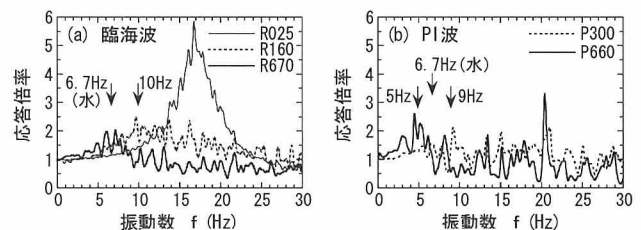


Fig.5 Acceleration Fourier Spectrum Ratio

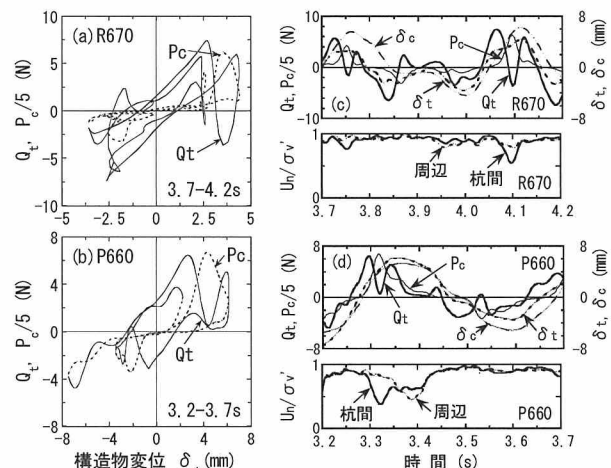


Fig.6 Relations among Shear Force and Displacement at Pile Head, Total Subgrade Reaction and Those Wave Forms with Pore Water Pressure

って液状化地盤が大きく変形するためと推測される。

参考文献

- 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.
- 丹羽正徳, 横田治彦, 藤堂正喜; 動的設計用入力地震動の設定, 建築防災, 通巻182号, (1993), pp.4-17.
- 日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会特定研究課題1-SWG1, 日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会; 1995年兵庫県南部地震強震記録資料集, 日本建築学会, (1996).