

### 3.3.5 遠心振動実験による研究(その2)

## 目次

### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 2カ年の年次実施計画
- (e) 平成17年度業務目的

### (2) 平成17年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 実験装置
  - 2) 基礎根入れ部に作用する土圧と摩擦力の評価法
  - 3) 実験ケース
- (c) 業務の成果
  - 1) 土圧合力および側面摩擦力の妥当性の検討
  - 2) 乾燥砂地盤における杭基礎の遠心実験
  - 3) 液状化地盤における杭基礎の遠心実験
  - 4) 液状化地盤上の乾燥砂表層に根入れされた基礎部に作用する土圧発生メカニズム
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

### (3) 平成18年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 遠心振動実験による研究 (その2)

(b) 担当者

| 所属                                | 役職  | 氏名    | メールアドレス                           |
|-----------------------------------|-----|-------|-----------------------------------|
| 京都大学 防災研究所 地震災害研究<br>部門 構造物震害研究分野 | 助教授 | 田村 修次 | tamura@sds.dpri.kyoto-<br>u.ac.jp |

(c) 業務の目的

「E-ディフェンスによる大型土槽を用いた杭基礎の破壊メカニズム解明」に関連し、E-ディフェンスを用いた実大実験の実験条件の絞込み、実験結果の補足を目的とする。そのため、遠心載荷装置を用いて地盤 - 杭 - 構造物系を対象にしたパラメトリックな実験を行い、最重要な実験パラメータを抽出、E-ディフェンスの実験結果の補足を行う。さらに、遠心載荷実験の結果と E-ディフェンスの実験結果と比較することで、遠心載荷実験の信頼性の検討を行う。

(d) 2カ年の年次実施計画

1) 平成17年度：

側方流動に伴う護岸とその背後杭基礎の破壊メカニズムに及ぼす要因として、飽和砂層、表層非液状化層、杭の剛性、群杭条件、杭径、上部構造物の固有周期および慣性力などが考えられる。H17年度は、遠心載荷装置を用いたパラメトリックな実験を行い、杭基礎の破壊に最も影響する要因を明らかにし、E-ディフェンスを用いた実大実験における最重要な実験パラメータを抽出する。

2) 平成18年度：

液状化地盤および側方流動地盤における杭基礎破壊の1つの要因として、基礎部の根入れ効果がある。H18年度は、E-ディフェンスの土槽サイズを考慮して「固定土槽」を製作するとともに、基礎部の主働面・受働面の土圧、側面の摩擦力および構造物慣性力を計測し、それらが杭応力に及ぼす影響を遠心載荷実験で検討する。

(e) 平成17年度業務目的

H17年度は、基礎の根入れ部に加わる土圧と側面摩擦力の評価手法を提案するとともに、乾燥砂地盤および液状化地盤において杭 - 基礎部 - 上部構造物系の遠心実験を行い、土圧と側面摩擦力を評価するとともに、杭頭せん断力における構造物慣性力、土圧合力、側面摩擦力の寄与を明らかにする。

## (2) 平成 17 年度の成果

### (a) 業務の要約

基礎の根入れ部に加わる土圧と側面摩擦力の評価手法を提案するとともに、乾燥砂地盤、液状化地盤および側方流動地盤において杭 - 基礎部 - 上部構造物系の遠心実験を行い、土圧と側面摩擦力の評価を行うとともに、それらが杭応力に及ぼす影響を検討した。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 実験装置

##### a) 遠心載荷装置

実験は、京都大学防災研究所の遠心載荷装置で行った。遠心載荷装置（写真 1）の概要を表 1 に示す。遠心装置の半径は 2.5m である。実験は全て 40g 場で行った。

表 1 京大防災研遠心載荷装置 概要(京大防災研 WWW から)

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Radius                         | 2.5 m   |
| Max. Centrifugal Acceleration  | 200g for static test<br>50g for dynamic test                        |
| Motor Capacity                 | 37kW  |
| Dimension of model (L x H x W) | 50 x 30 x 15 cm for static test<br>45 x 20 x 15 cm for dynamic test |
| Max. Weight of model           | 120kgf  |
| Experimental Capacity          | 24g-ton   |
| No of Channels                 | 32 ch   |

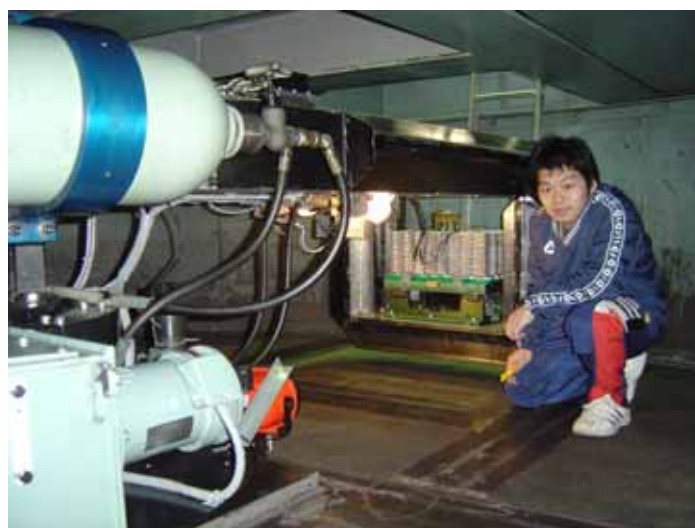


写真 1 遠心載荷装置

## b) 土槽

実験で用いたせん断土槽は、幅 45cm(加振方向)、奥行 15cm、高さ 20cm(実物スケール：幅 18m、奥行 6m、高さ 8m)である(写真 2)。構造は、ベアリングの付きの層が 17 段積み重ねられたものである。



写真 2 せん断土槽

### 2) 基礎根入れ部に作用する土圧合力と側面摩擦力の評価法

本研究では、基礎根入れ部に作用する土圧合力と側面摩擦力の評価を行った。その概略を以下に示す。

支持杭を想定し基礎部底面に加わる摩擦力を無視できると仮定すると、地震時には図 1 に示すように、上部構造物に慣性力  $F_1$ 、基礎部に慣性力  $F_2$ 、主働面土圧  $P_{ea}$ 、受働面土圧  $P_{ep}$  および基礎部側面に摩擦力  $P_{sf}$  が作用する。このうち土圧による外力は、主働面土圧と受働面土圧の差に相当し、土圧合力  $P_{et}$  は次式で与えられる。

$$P_{et} = P_{ep} - P_{ea} \quad (1)$$

杭頭には上部構造物の慣性力と基礎部の慣性力、土圧合力および側面摩擦力が作用するため、杭頭せん断力の和  $Q$  は次式で与えられる。

$$Q = F_1 + F_2 + P_{et} + P_{sf} \quad (2)$$

式(2)から、側面摩擦力  $P_{sf}$  は次式で表される。

$$P_{sf} = Q - F_1 - F_2 - P_{et} \quad (3)$$

杭頭せん断力  $Q$  は杭頭の 2 点の曲げモーメントから、 $F_1$  と  $F_2$  は、上部構造物および基礎部の質量と加速度から算定できる。したがって、基礎部の主働面および受働面において土圧合力  $P_{et}$  を計測すれば、式(3)で側面摩擦力の評価が可能である。

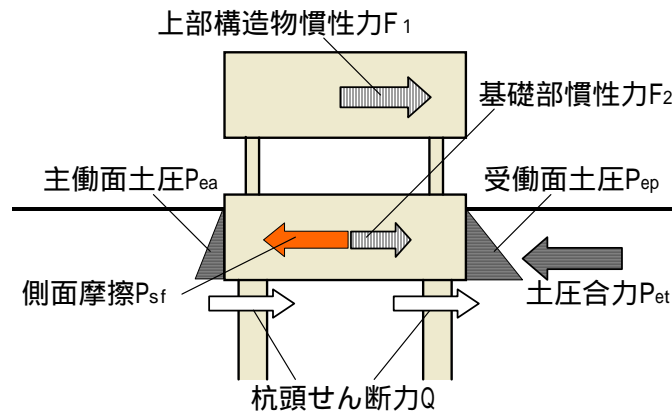


図1 杭頭に作用する力

3) 実験ケース

本研究における実験ケースを表2に示す。Case 1 から Case 5 は、全層単一な地盤モデル、Case 6 は水平成層地盤モデルである。

表2 実験ケース

| 実験ケース  | 地盤条件                               | 主働/受働土圧 | 側面摩擦 | 上部構造物<br>(質量、固有周期) | 杭直径 |
|--------|------------------------------------|---------|------|--------------------|-----|
| Case 1 | 乾燥砂 (Dr=75%)                       | なし      | なし   | 1.1kg, 200Hz       | 8mm |
| Case 2 | 乾燥砂 (Dr=75%)                       | あり      | なし   | 2.1kg, 100Hz       | 8mm |
| Case 3 | 乾燥砂 (Dr=95%)                       | あり      | あり   | 2.1kg, 100Hz       | 8mm |
| Case 4 | 乾燥砂 (Dr=45%)                       | あり      | あり   | 2.1kg, 100Hz       | 8mm |
| Case 5 | 乾燥砂 (Dr=75%)                       | あり      | あり   | 1kg, 100Hz         | 6mm |
| Case 6 | 乾燥砂 (Dr=45%程度)<br>飽和砂 (Dr=95%+40%) | あり      | あり   | 1kg, 100Hz         | 6mm |

### (c) 業務の成果

#### 1) 土圧合力および側面摩擦力の妥当性の検討

本研究で得られる側面摩擦力は、杭頭せん断力、上部構造物および基礎部の慣性力および土圧合力の精度に依存する。そこで、土圧合力および側面摩擦力の妥当性の検討を行った。

##### a) 実験モデル

杭 基礎部 上部構造物模型(モデル A)を図 2 に示す。杭模型は直径 8 mm、長さ 18cm、(実物スケール：直径 32cm、長さ 7.2m)、 $EI = 201\text{kNcm}^2$ の真鍮杭 4 本である。杭頭は剛結合、杭端はピン結合とした。杭頭の 2 箇所曲げ歪を測定し、杭頭せん断力の評価を可能としている。基礎部の大きさは幅 10.4cm (加振方向)、奥行 8.8cm、高さ 5cm (実物スケール：幅 4.16m、奥行 3.52m、高さ 2m) であり、質量は 1.6kg である。土圧合力を直接計測するために、図 2 に示すように基礎部に超小型ロードセル(東京測器製)を主働面と受働面に取り付け、受圧板を 3 点で支持した。上部構造物の質量は 1.1kg または 2.1kg である。基礎部と上部構造物には加速度計を設置し、その慣性力の評価を行った。写真 3 にロードセルを設置した基礎部を示す。

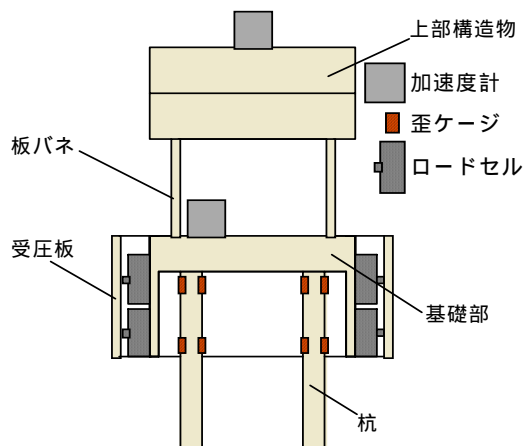


図 2 杭-基礎部-上部構造物模型

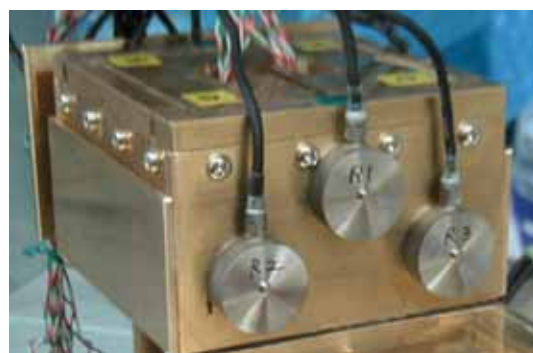


写真 3 主働/受働面のロードセル

地盤モデルは相対密度 75%程度の豊浦乾燥砂である。入力波は、人工地震波の臨海波の振幅を 1 ~ 3mm に調整したものをを用いた。加振は、主働面・受働面の根入れの有無、側面の根入れの有無をパラメータにして 2 ケース行った。それぞれの実験モデルを図 3 に示す。CASE1 は地表面を基礎部底面と同じレベルとし、基礎部の根入れがない。基礎部の質量は 1.0kg で、ロードセルは設置していない。CASE2 は、基礎部の主働面と受働面には根入れがあるが、側面と土槽の間にスポンジを設置し、側面摩擦力を極力軽減したモデルである。なお、CASE2 における基礎部の根入れの深さは 48mm とした。

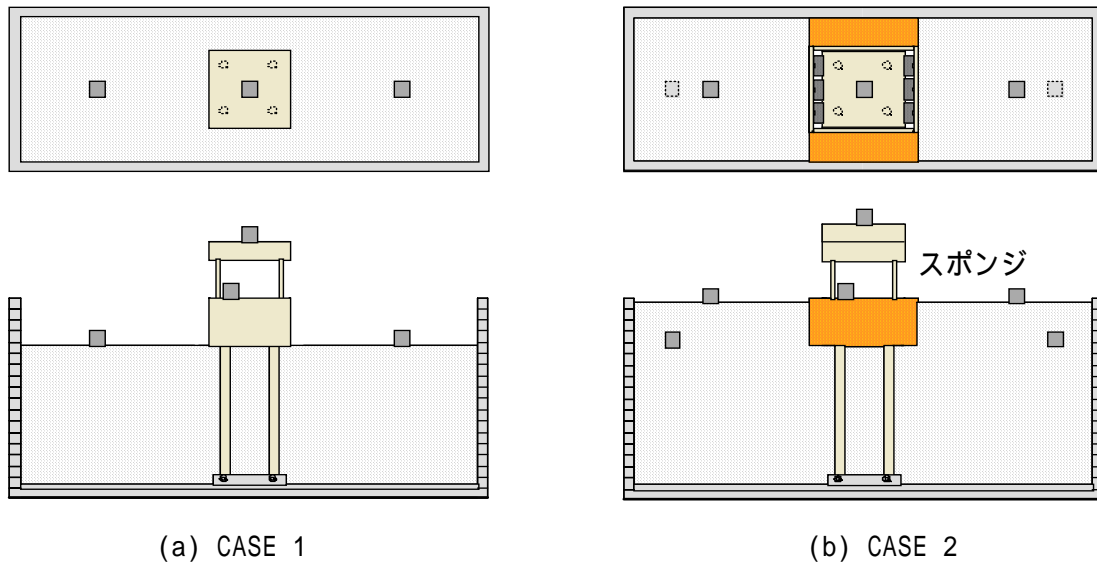


図3 実験モデル

b) 実験結果

杭頭せん断力の精度を確認するために、基礎部の根入れがないCASE1について実験を行った。上部構造物慣性力と基礎部慣性力の和( $F1+F2$ )および杭頭せん断力の和( $Q$ )の時刻歴を図4に示す。両者が良く一致していることが分かる。CASE1では土圧合力と側面摩擦力が働かないことを考慮すると、歪データから、杭頭せん断力が精度良く評価できることが分かる。

次にロードセルによる土圧合力評価の精度を検討するため、側面摩擦力が働かないCASE2で実験を行った。上部構造物および基礎部慣性力の和と杭頭せん断力の差( $Q - (F1+F2)$ )から算定した土圧合力とロードセルで測定した土圧合力( $Pep - Pea$ )の時刻歴を図5に示す。両者は良く一致している。CASE2では側面摩擦力が無視できる( $Psf = 0$ )ことを考慮すると、主動面および受働面に取り付けたロードセルで土圧合力( $Pet$ )を精度良く評価できることが分かる。

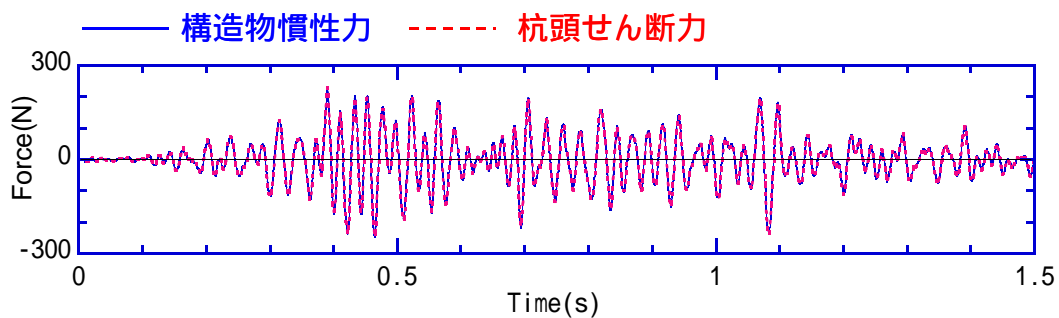


図4 構造物慣性力および杭頭せん断力

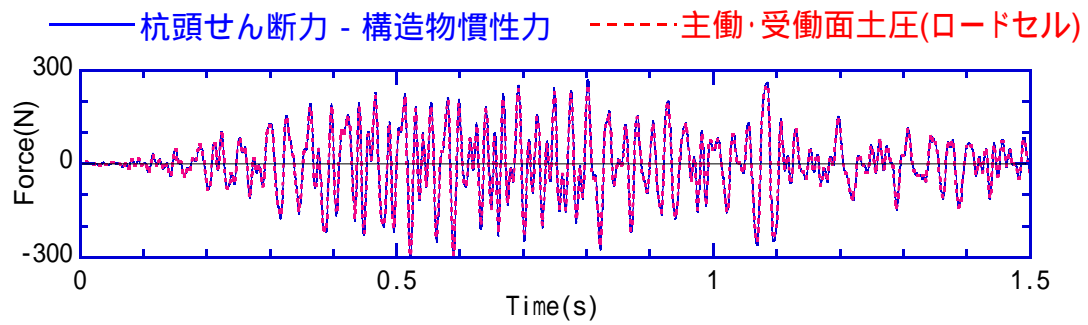


図5 杭頭せん断力と構造物慣性力から評価した土圧合力と  
ロードセルから評価した土圧合力

(c)まとめ

基礎根入れ部の主働面・受働面の土圧および杭頭せん断力を計測することで、基礎部に働く側面摩擦力を評価する手法を提案した。その妥当性を遠心載荷実験で検討したところ、土圧合力および杭頭せん断力を精度良く計測でき、提案手法で基礎部側面の摩擦力の評価ができたと考えられる。



## 2) 乾燥砂地盤における杭基礎の遠心実験

### a) 実験概要

地震時の支持杭の基礎根入れ部には、主働面、受働面の土圧、側面の摩擦力が作用する。これらの力は、杭応力および上部構造物の応答に大きな影響を及ぼすと考えられる。しかし、地震時土圧、側面摩擦力の検討例は少なく未解明な部分が多い。そこで本研究では、地盤-基礎-上部構造物系の遠心载荷実験を行い、地盤の相対密度が土圧合力と側面摩擦力に及ぼす影響を検討する。

図6に実験モデルを示す。杭-基礎部-上部構造物モデルは、前述のものと同じである。基礎部の根入れ深さは48mmである。基礎部は真鍮製で、実際の基礎部より滑らかな表面を持つ。そこで本研究では、基礎部表面に紙やすり#800を貼り付けている。入力波は、人工地震波の臨海波の振幅を4.7mmに調整したものをを用いた。地盤は豊浦乾燥砂を用い、地盤の相対密度95%と45%の2ケースで加振実験を行った。

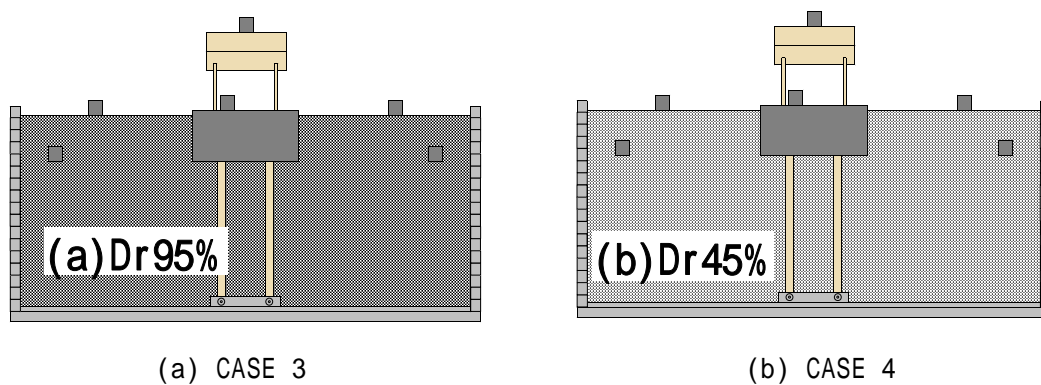


図6 実験モデル

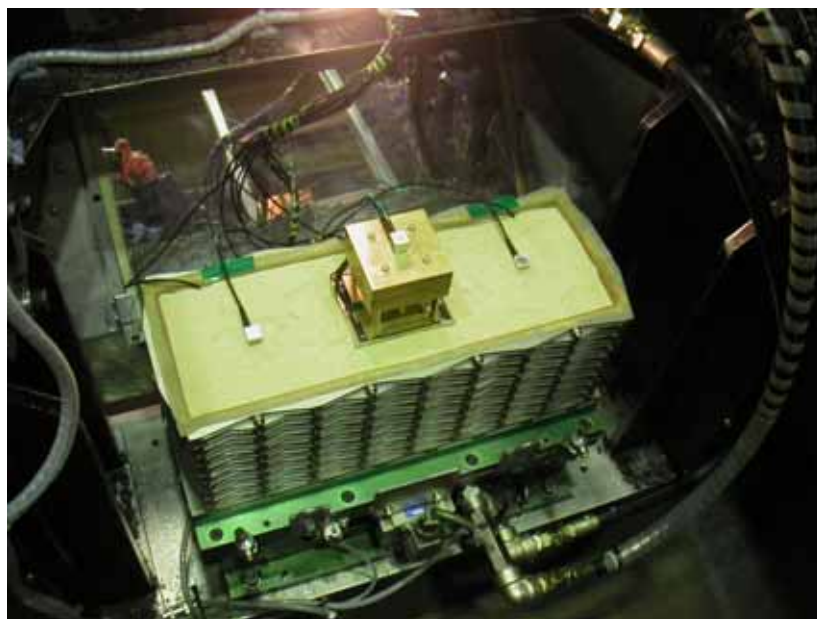


写真4 実験モデルの写真

b) 実験結果

図7に土圧合力の時刻歴を示す。Dr95%とDr45%ともに、0.0~0.5秒で土圧合力の振幅が増加している。0.5秒以降では、Dr45%では土圧合力の振幅がほぼ一定となっているが、Dr95%では土圧合力の振幅が変化している。

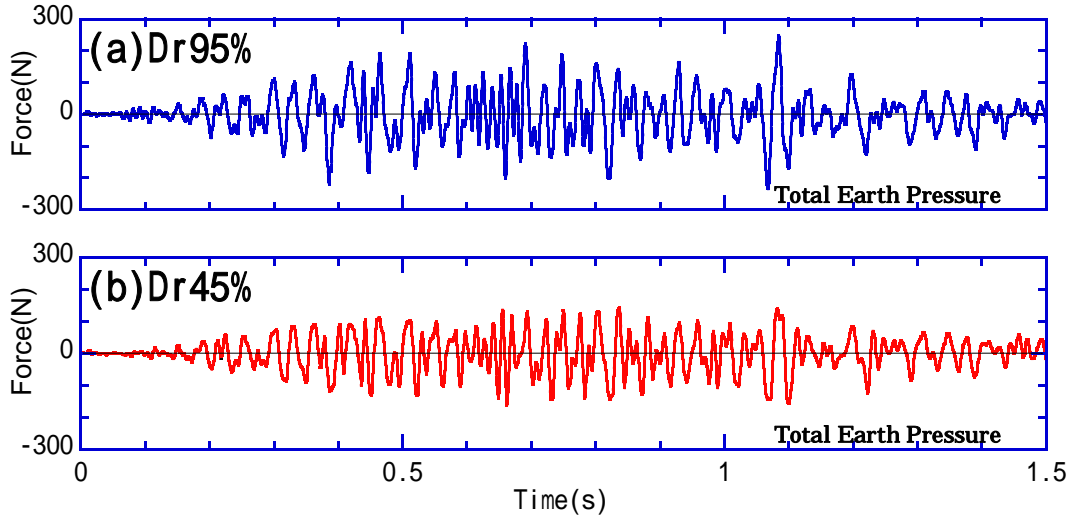


図7 土圧合力の時刻歴

図8に地盤と基礎部の相対変位と土圧合力の関係を示す。地盤および基礎部の変位は加速度の2階積分で算定している。Dr95%の相対変位と土圧合力の関係は、扁平した楕円型であり減衰の小さいことが分かる。一方、Dr45%の相対変位と土圧合力の関係は、やや円に近い楕円型であり、減衰が大きい。図9に相対変位と土圧合力のピークの関係を示す。Dr95%の土圧合力は、Dr45%のそれに比べて、同じ相対変位でも大きい振幅を示す。Dr95%では、相対変位が大きくなると土圧合力の振幅が大きくなる。一方、Dr45%では、相対変位0.1mm程度までは土圧合力が大きくなるが、それより相対変位が大きくなると土圧合力は概ね一定である。これから、Dr45%では土圧合力が受働状態に達したと考えられる。Dr95%の土圧合力の最大値は240N、Dr45%のそれは163Nであり、Dr95%の方がDr45%より約1.5倍大きい。

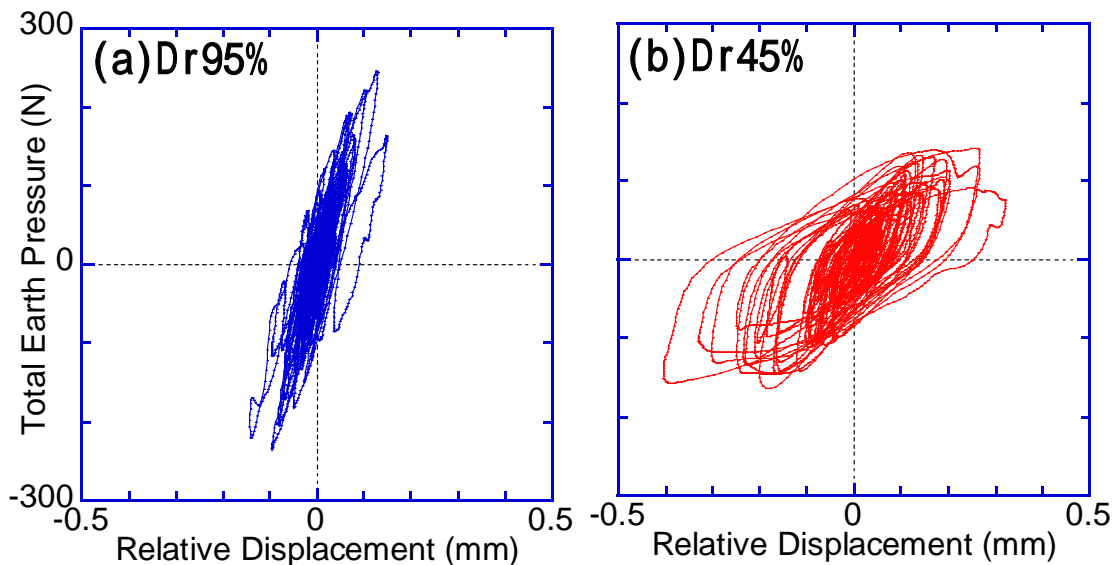


図8 相対変位と土圧合力

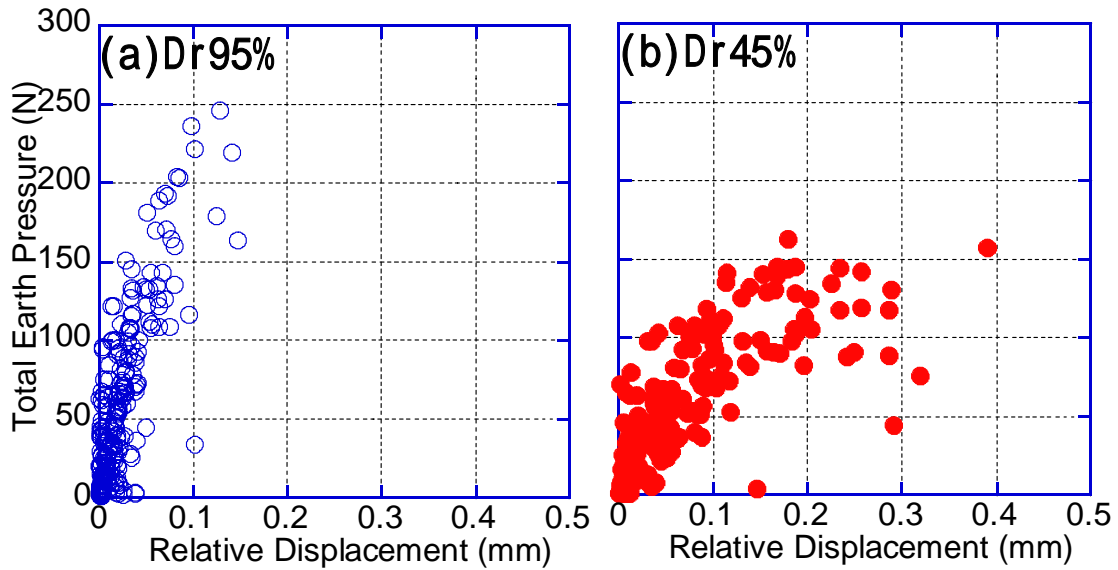


図 9 相対変位と土圧合力のピーク

図 10 に、側面摩擦力の時刻歴を示す。相対密度によらず、側面摩擦力の振幅は、0.0～0.5 秒で増加し、それ以降はほぼ一定である。図 11 に、地盤と基礎部の相対変位と側面摩擦力の関係を示す。Dr95%の相対変位と側面摩擦力の関係は、扁平した楕円型であり減衰の小さいことが分かる。一方、Dr45%の相対変位と側面摩擦力の関係は、やや円に近い楕円型であり、減衰が大きい。さらに検討するため、図 12 に相対変位と側面摩擦力のピークの関係を示す。相対密度によらず、極めて小さい相対変位から、側面摩擦力は最大値に近い振幅を示す。Dr95%の側面摩擦力の振幅の最大値は 62N、Dr45%のそれは 53N であり、Dr95%の方が Dr45%より約 1.2 倍大きい。Dr95%と Dr45%の側面摩擦力の最大値の差は小さいことが分かる。

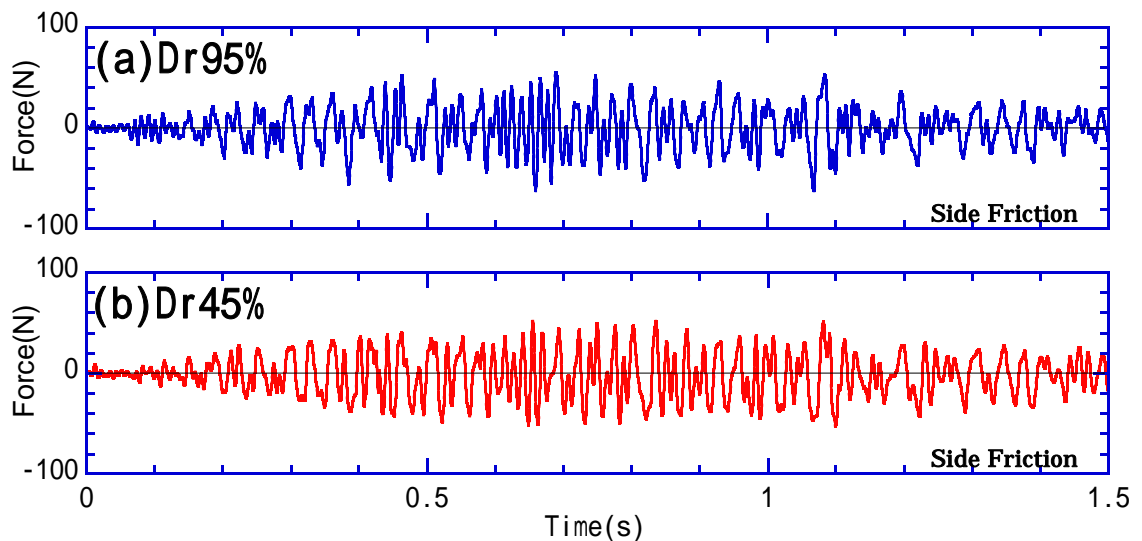


図 10 側面摩擦力の時刻歴

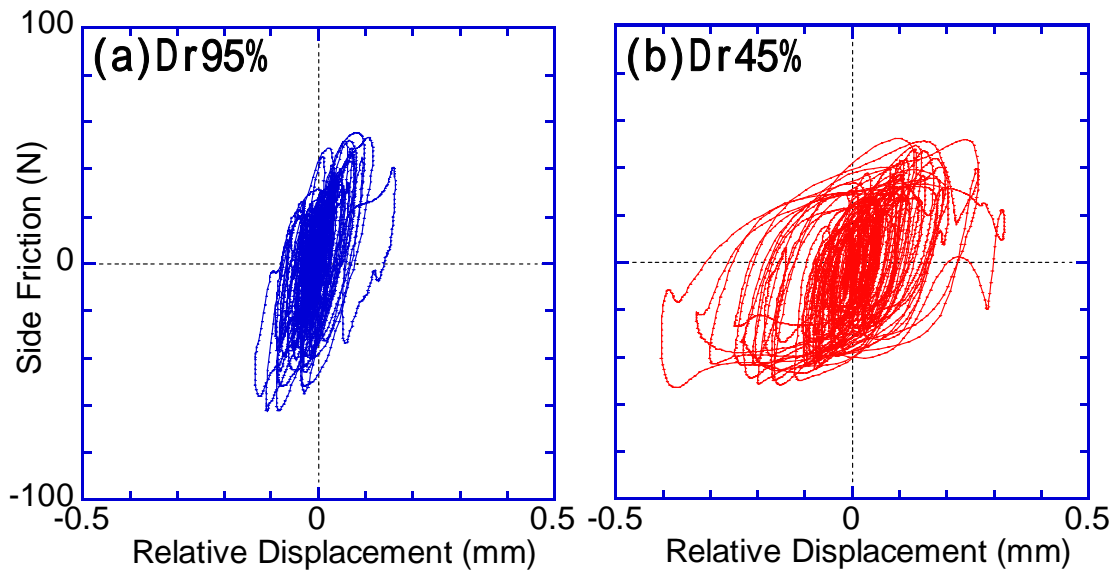


図 1.1 相対変位と側面摩擦力の関係

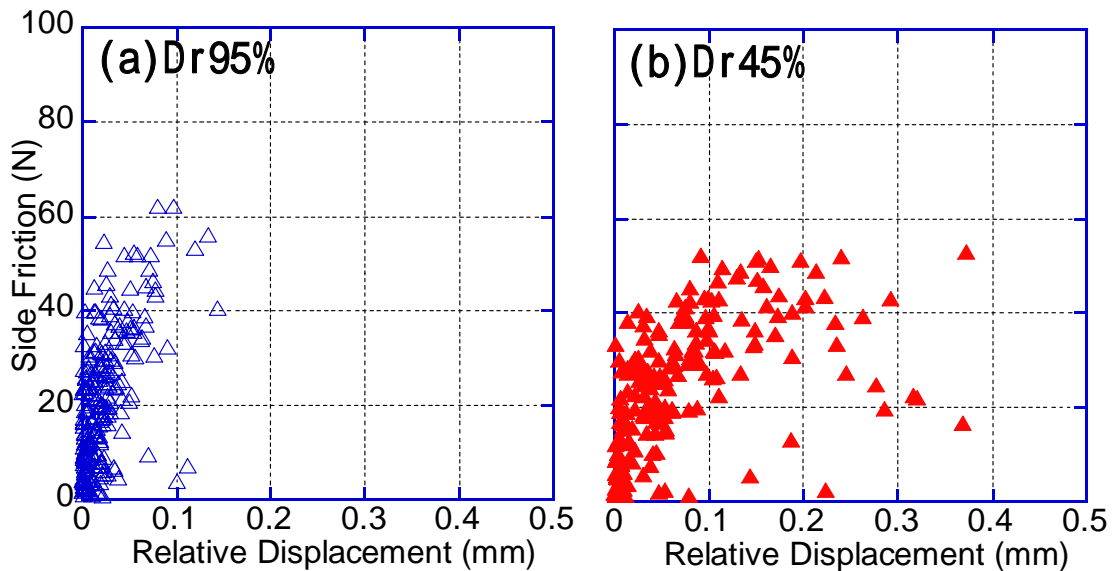


図 1.2 相対変位と側面摩擦力のピーク

図 1.3 に相対変位と土圧合力のピークおよび側面摩擦力のピークの関係を示す。ただし、各ピークのうち、相対変位が過去に生じた相対変位の最大値を上まわるものをプロットしている。Dr95%の場合、小さい相対変位から土圧合力が側面摩擦力より大きいことが分かる。Dr95%の土圧合力の最大値は、側面摩擦力のその約 4 倍となっている。Dr45%の場合も、小さい相対変位から土圧合力の振幅が側面摩擦力のそれより大きいことが分かる。Dr45%の土圧合力の最大値は、側面摩擦力のその約 3 倍となっている。Dr95%の土圧合力と側面摩擦力の差は、Dr45%のそれに比べて大きい。これは相対密度の違いが、土圧合力の振幅には大きく影響し、側面摩擦力の振幅にはそれほど大きく影響しないためである。

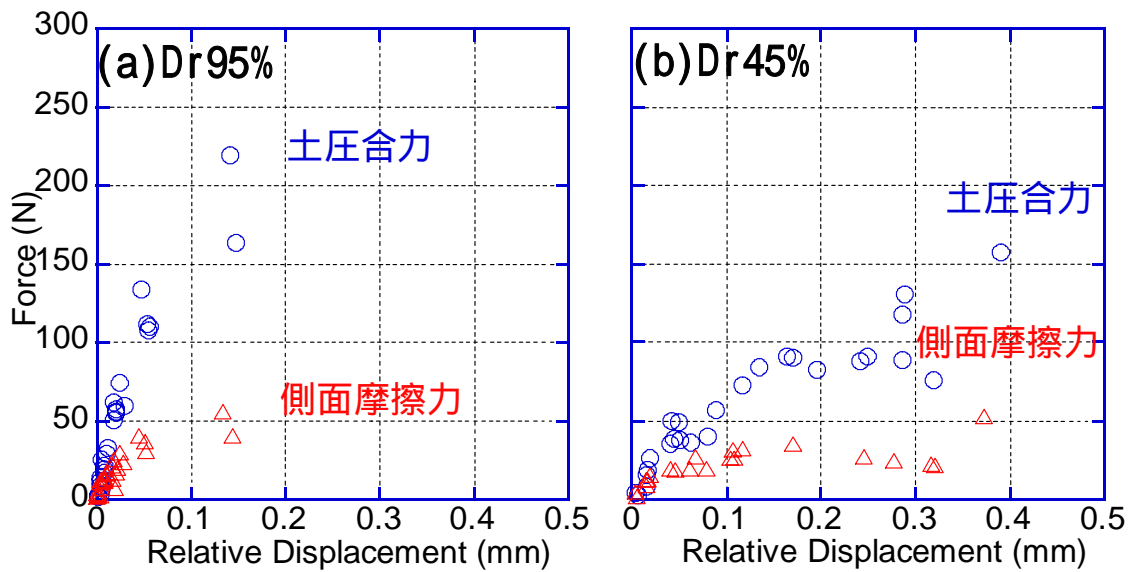


図 1.3 相対変位と土圧合力ピークおよび側面摩擦力ピーク

c) まとめ

遠心実験に基づく地盤-基礎-上部構造物系の加振実験で、地盤の相対密度が、主働・受働面の土圧合力と側面摩擦力に及ぼす影響を検討し、以下の結果を得た。

Dr95%の土圧合力および側面摩擦力の減衰は、Dr45%のそれより小さい。Dr95%の土圧合力の最大値は、Dr45%のそれより約 1.5 倍大きく、Dr95%の側面摩擦力の最大値は、Dr45%のそれより約 1.2 倍大きい。Dr95%の土圧合力と側面摩擦力の振幅の差は、Dr45%のそれに比べて大きい。これは相対密度の違いが、土圧合力振幅に大きく影響し、側面摩擦力の振幅にそれほど大きく影響しないためである。

### 3) 液状化地盤における杭基礎の遠心実験

#### a) 実験概要

遠心载荷装置を用いた地盤杭構造物系での加振実験を、乾燥砂地盤および飽和砂地盤で行い、杭基礎構造物に作用する主働面・受働面の土圧、側面の摩擦力および上部構造物応答の評価をし、液状化地盤での基礎部の根入れが、杭応力に及ぼす影響について検討した。図14に実験モデルを示す。CASE5は全層乾燥砂モデル、CASE6は飽和砂層上に乾燥砂表層のあるモデルである。地盤材料にはアルバニー#48珪砂を用いた。使用したせん断土槽は、幅45cm(加振方向)、奥行15cm、高さ20cmである。杭-基礎部-上部構造物模型は、前節の乾燥砂実験のケースより小型のものを用いた。杭は直径6mm、長さ18cm、 $EI = 67\text{kNcm}^2$ の真鍮杭4本で、杭頭は剛結合、杭端はピン結合とした。杭頭の2箇所曲げ歪を測定し、杭頭せん断力の評価を行った。基礎部の大きさは幅6cm(加振方向)、奥行5cm、高さ5.3cmであり、質量は約0.7kgである。基礎部内には土圧合力を直接計測するために、超小型ロードセル(東京測器製)を主働面と受働面に取り付け、受圧板を3点で支持した。上部構造物の質量は約1kgである。基礎部と上部構造物には加速度計を設置し、その慣性力の評価を行った。入力波は、人工地震波の臨海波の振幅を4.2mmに調整したものである。

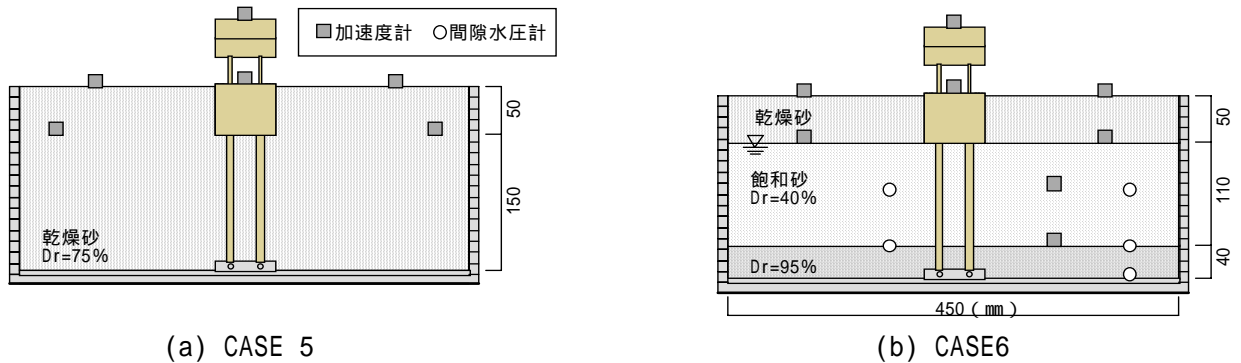


図14 実験モデル

#### b) 実験結果

図15にCASE2の飽和砂モデルにおける過剰間隙水圧比(GL.-10.5cm)を示す。0.3秒付近から過剰間隙水圧が上昇し、0.45秒程度で液状化した。図16にCASE1とCASE2における入力波、地表面、基礎部および上部構造物の加速度の時刻歴を示す。乾燥砂モデルでは、入力波の加速度振幅の増減に概ね比例して地表面、基礎部、上部構造物の加速度振幅も増減している。一方、飽和砂モデルにおいては、0.3秒から0.45秒付近の液状化進行過程で地表面、基礎部および上部構造物の加速度振幅は増加している。しかし、液状化する0.45秒付近以降ではそれらの振幅は減少する。

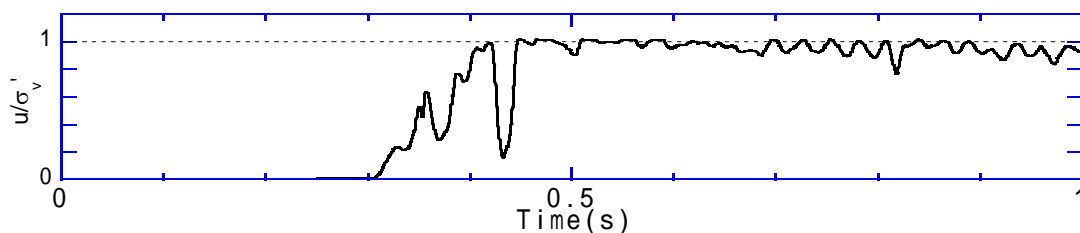


図15 過剰間隙水圧比

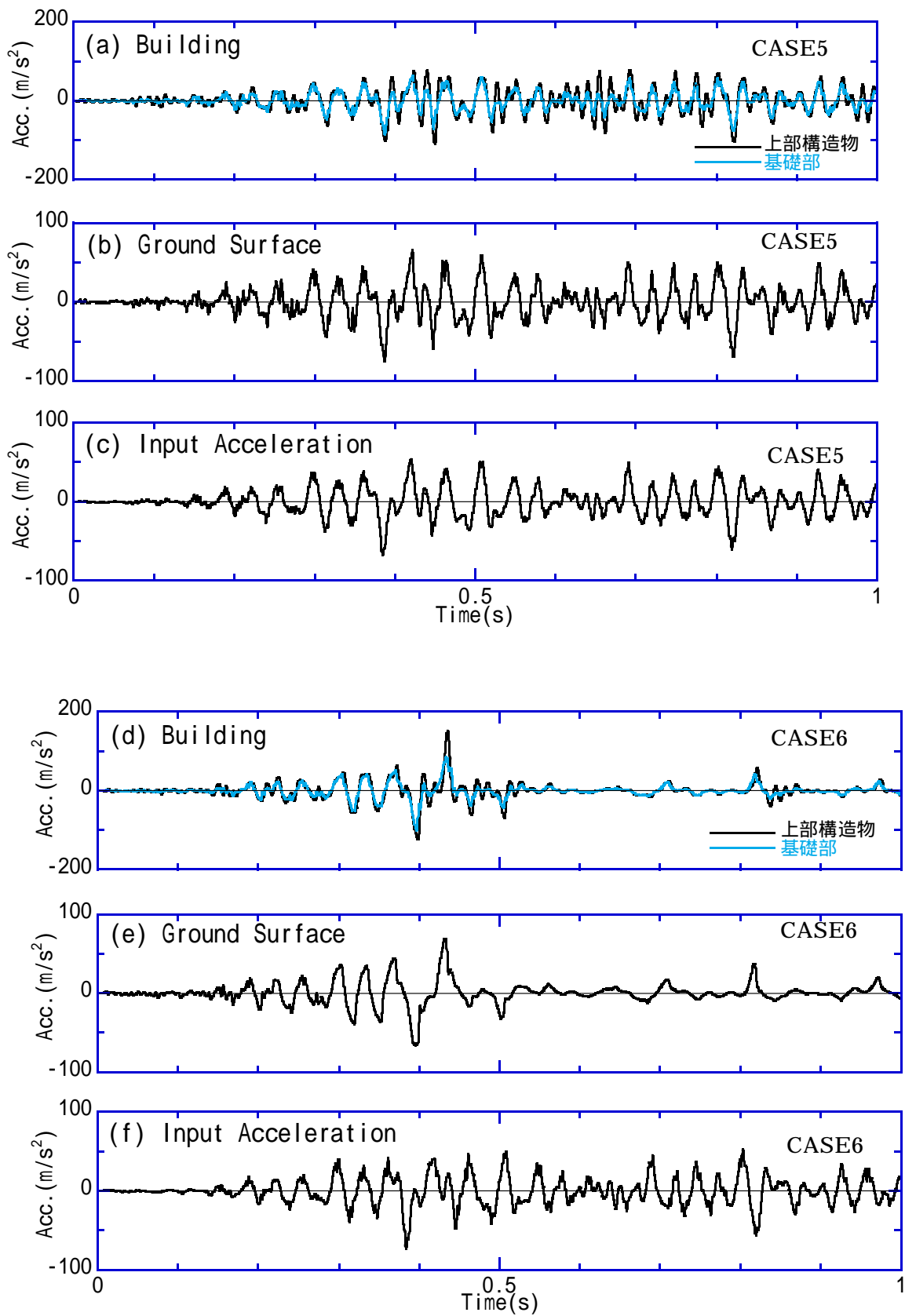


図 1 6 上部構造物、基礎部、地表面、入力波の加速度



図 1 7 に CASE5 の  $t=0.2-0.9s$  における構造物慣性力(上部構造物慣性力+基礎部慣性力)、杭頭せん断力、土圧摩擦合力(土圧合力+側面摩擦力)、土圧合力および側面摩擦力の時刻歴を示す。乾燥砂実験では、つねに構造物慣性力と土圧摩擦合力が逆位相の関係にある。杭頭せん断力は、構造物慣性力と同位相であり、かつその振幅は極めて小さい。これから、土圧摩擦合力は構造物慣性力の反力として作用したことが分かる。土圧合力と側面摩擦力は同位相であり、土圧合力の方が大きい。

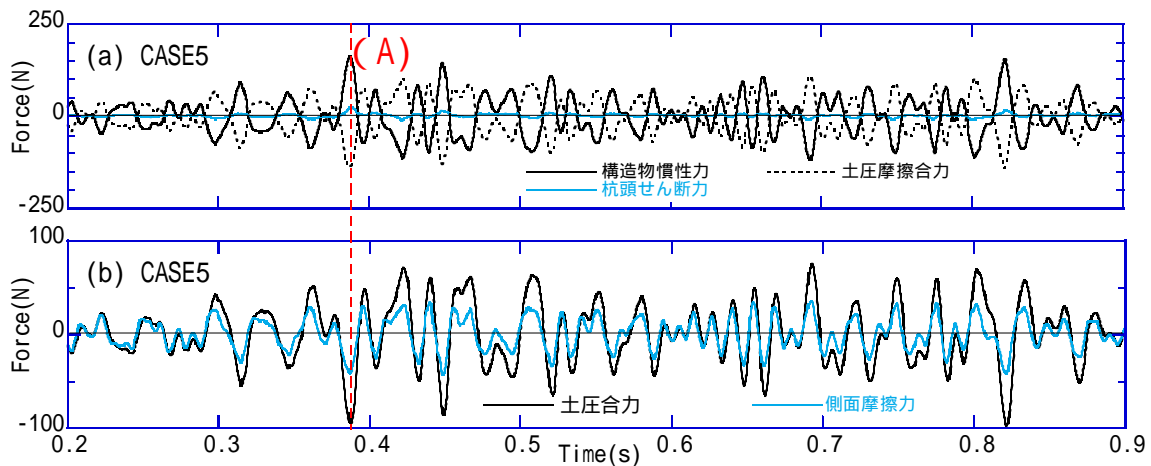


図 1 7 構造物慣性力、杭頭せん断力、土圧摩擦合力、土圧合力および側面摩擦力

図 1 8 に CASE6 の  $t=0.2-0.9s$  における構造物慣性力、杭頭せん断力、土圧摩擦合力、土圧合力および側面摩擦力の時刻歴を示す。飽和砂実験でも、時刻歴全体を通して構造物慣性力と土圧摩擦合力が概ね逆位相の関係にある。杭頭せん断力は、液状化前 ( $t=0.2-0.3s$ )、液状化進行過程 ( $t=0.3-0.45s$ )、液状化後 ( $t=0.45-0.9s$ ) で異なった応答を示している。液状化前、杭頭せん断力は小さいが、液状化進行過程では構造物慣性力ピークの時点で杭頭せん断力が極めて大きい。液状化以降では、杭頭せん断力が土圧摩擦合力と同位相となっており、比較的大きな値を示している。また液状化後も、土圧合力と側面摩擦力は、時刻歴を通し概ね同位相といえる。

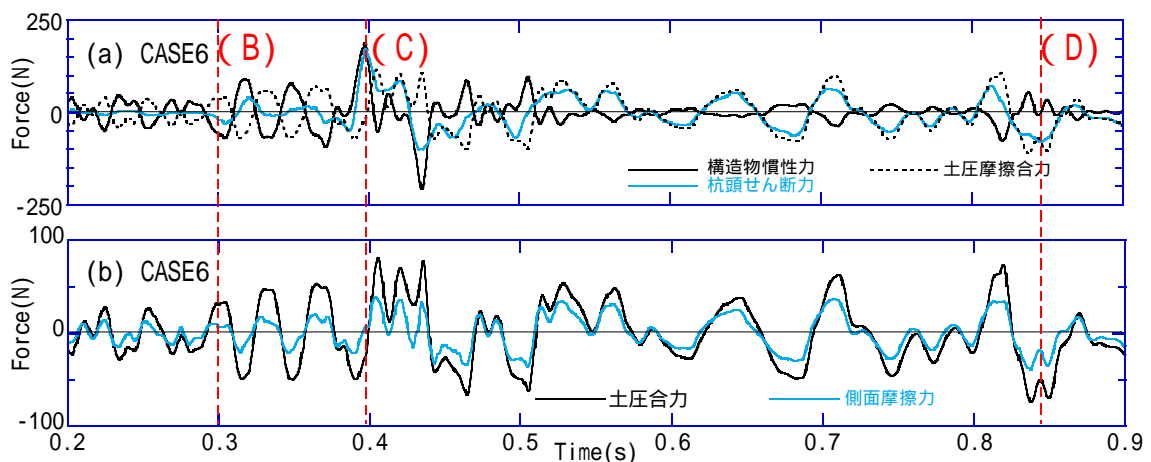


図 1 8 構造物慣性力、杭頭せん断力、土圧摩擦合力、土圧合力および側面摩擦力



c) 杭頭せん断力発生メカニズム

図17と図18の時刻歴中に、CASE5およびCASE6の液状化前、液状化進行過程、液状化後の各時間領域で、杭頭せん断力が最大値を示す時刻(A)～(D)を示す。その時刻(A)～(D)での上部構造物慣性力、基礎部慣性力、土圧合力、側面摩擦力および杭頭せん断力の関係を図19に示す。乾燥砂実験の時刻(A)では、土圧合力と側面摩擦力が上部構造物と基礎部の慣性力の反力として作用し、杭頭せん断力は小さい。飽和砂実験の液状化前の時刻(B)も時刻(A)と同様である。液状化進行過程にある時刻(C)では、上部構造物と基礎部に大きな慣性力が作用しているのに対し、基礎根入れ部に働く土圧合力と側面摩擦力が非常に小さいため、杭頭に極めて大きなせん断力が働いている。土圧摩擦合力が小さいのは、土圧合力と側面摩擦力が小さく、かつ逆向きに働いているからである。液状化後の時刻(D)では、上部構造物と基礎部に小さな慣性力が作用している時に、基礎根入れ部に大きな土圧合力と側面摩擦力が発生している。その結果、杭頭に大きなせん断力が働いている。液状化後では、杭頭せん断力に対し、土圧摩擦合力の影響が支配的といえる。

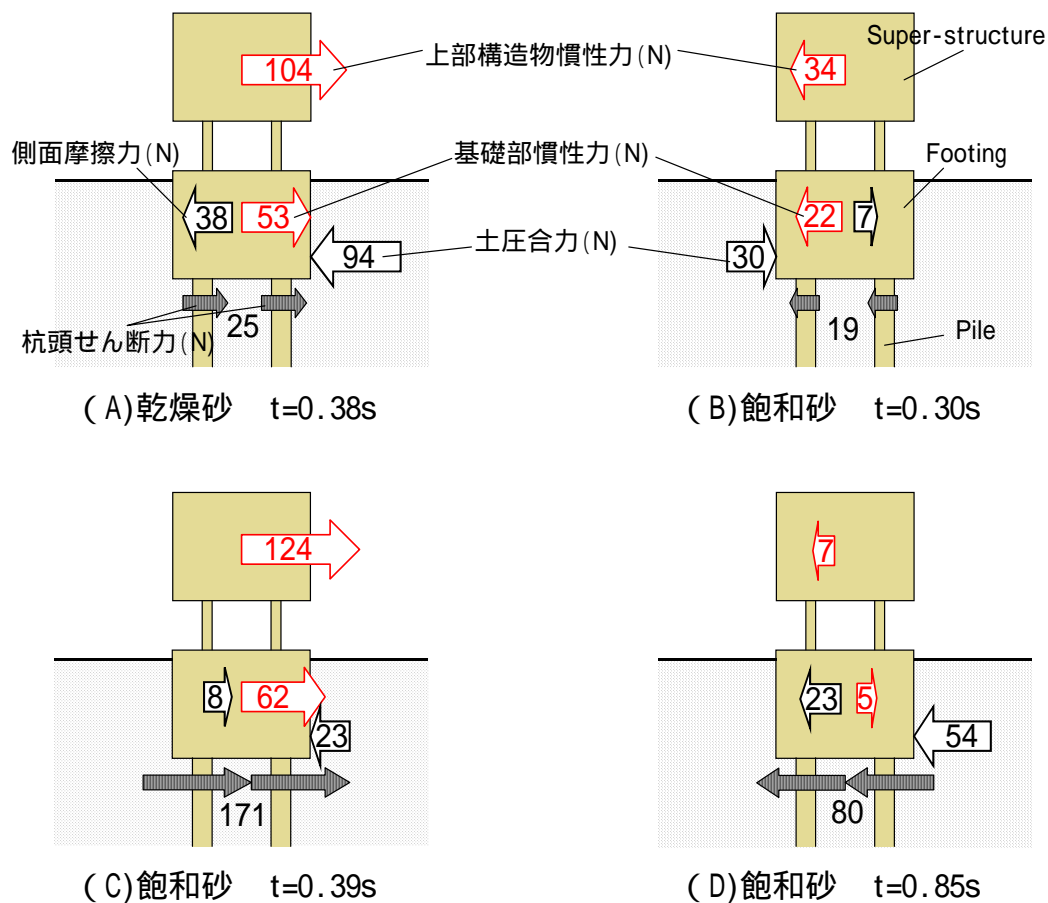


図19 各時刻において上部構造物、基礎部および杭頭に働く力

#### d) まとめ

遠心載荷装置を用いた加振実験を、乾燥地盤および液状化地盤で行い、液状化地盤での杭基礎構造物の根入れが、杭応力に及ぼす影響について検討した。乾燥砂実験や飽和砂実験の液状化前では、基礎根入れ部に働く土圧合力と側面摩擦力が構造物慣性力の反力として働き、杭頭せん断力を下げていた。一方、液状化進行過程では、上部構造物と基礎部に大きな慣性力が作用している時、基礎根入れ部に働く土圧摩擦合力が小さく、杭頭に大きなせん断力が発生していた。また、液状化後では、基礎根入れ部に働く土圧摩擦合力が主体となって、杭頭に大きなせん断力を生じさせていることが分かった。

4) 液状化地盤上の乾燥砂表層に根入れされた基礎部に作用する土圧発生メカニズム

a) 実験概要

本研究では、液状化地盤上の乾燥砂表層に根入れされた基礎部に作用する土圧および摩擦力の発生メカニズムを検討する。実験モデルは、前節の「液状化地盤での杭基礎構造物の根入れの影響」と同じである。

b) 土圧合力と側面摩擦力

図 20 に基礎根入れ部の主働/受働面に作用する土圧合力、側面に作用する摩擦力および地盤と基礎部の相対変位を示す。液状化すると土圧合力、側面摩擦ともに長周期化することが分かる。飽和砂実験における土圧合力および側面摩擦力の振幅は、乾燥砂実験におけるそれらとほぼ同程度である。ただし、飽和砂実験における相対変位は、乾燥砂実験におけるそれより大きい。

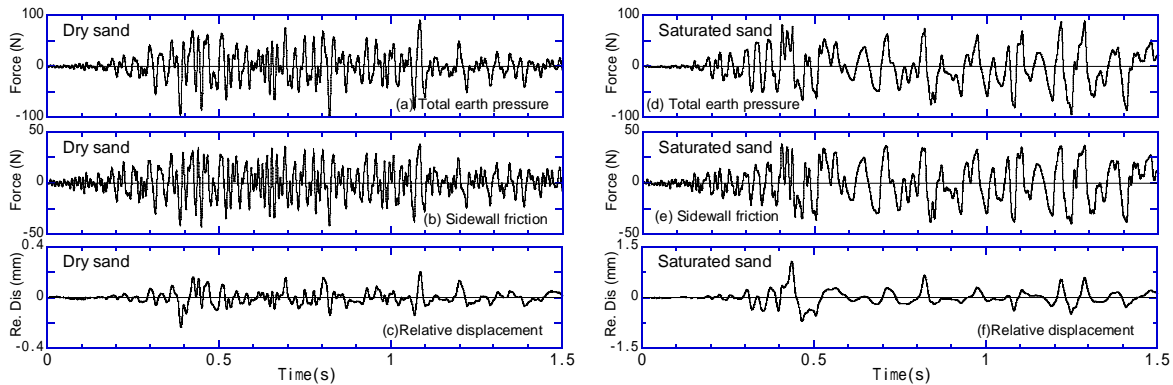


図 20 土圧合力、側面摩擦力および地盤と基礎部の相対変位

図 2 1 は、相対変位と土圧合力、相対変位と側面摩擦力の関係を示す。乾燥砂実験の場合、相対変位が大きくなるほど、土圧合力は大きくなる傾向を示す。それに対し、側面摩擦力は極めて小さい相対変位で、最大値に近い振幅を示す。また、土圧合力の減衰は、側面摩擦力のそれよりも小さい。これらの傾向は飽和砂実験でも同様である。ただし、飽和砂実験の場合、乾燥砂実験のケースより 3~4 倍程度大きい相対変位で、乾燥砂実験と同程度の土圧合力が発生している。

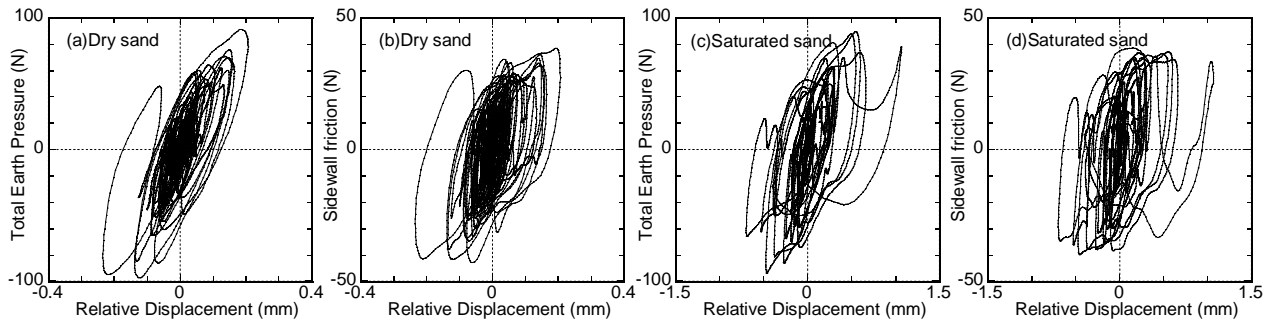


図 21 相対変位と土圧合力・側面摩擦力

c) 過剰間隙水圧が土圧合力・側面摩擦力に及ぼす影響

乾燥砂実験と飽和砂実験で、相対変位と土圧合力の関係が大きく異なった要因を検討するため、図 2 2 に、 $t=1.0-1.5s$  における土圧合力と過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。50N 程度よりも大きい土圧合力のピークの時間は、サイクリックモビリティによって過剰間隙水圧が減少する時間と一致している。このことは、乾燥砂表層の下に液状化層が存在する場合、基礎根入れ部に作用する土圧は液状化層の影響を受けることを示唆している。この傾向をさらに検討するため、過剰間隙水圧比と土圧合力の関係および過剰間隙水圧比と側面摩擦力の関係を図 2 3 に示す。液状化層の過剰間隙水圧比が 1 付近だと土圧合力は小さい。過剰間隙水圧比が 0.9 程度より減少すると土圧合力は大きくなる。一方、側面摩擦力については、振幅変化と過剰間隙水圧に相関が見られない。以上から、液状化地盤の上に存在する乾燥砂表層に基礎部が根入れされている場合、土圧は液状化層のサイクリックモビリティに依存し、側面摩擦力はそれに依存しないと考えられる。

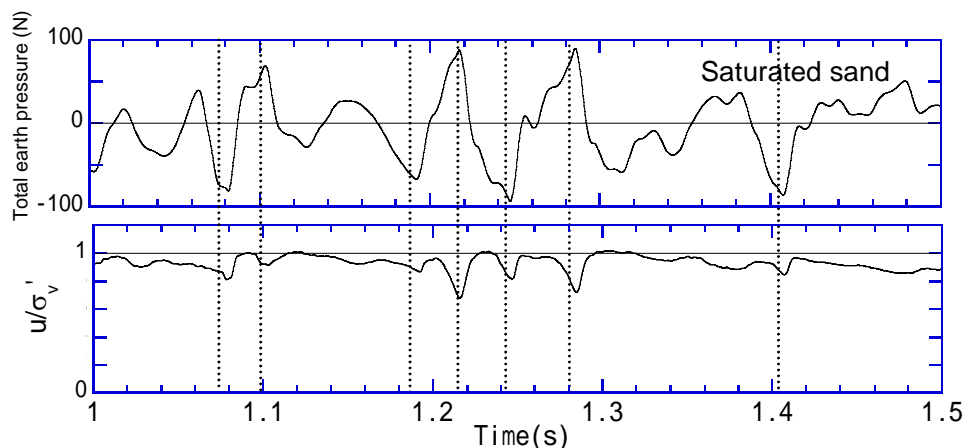


図 2 2 土圧合力と過剰間隙水圧比の時刻歴

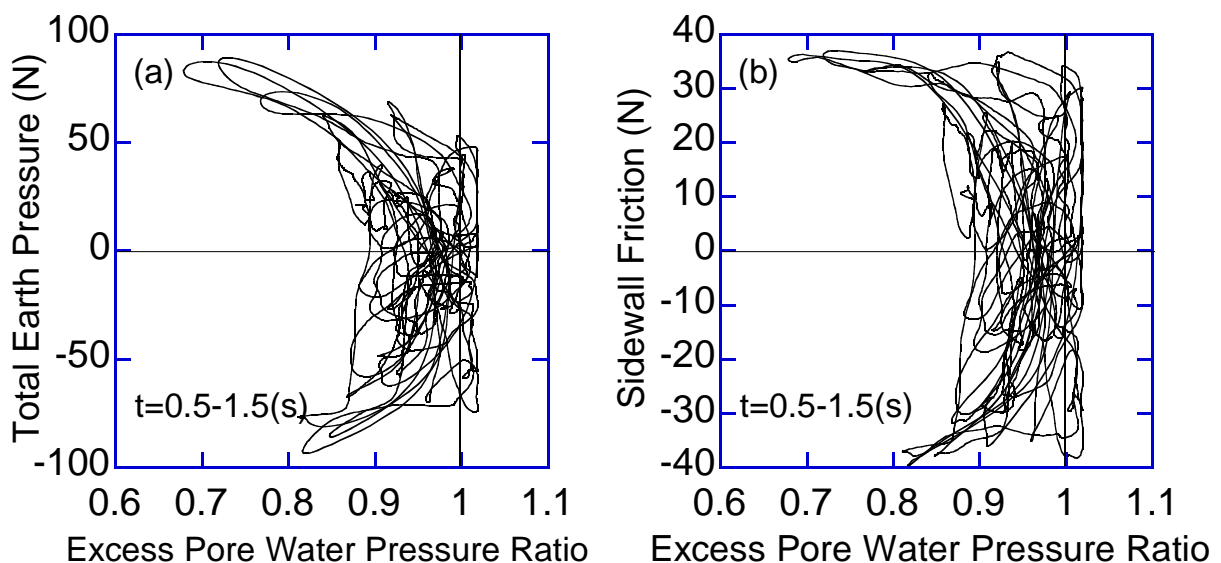


図 2 3 過剰間隙水圧比と土圧合力および過剰間隙水圧比と側面摩擦力

乾燥砂実験および飽和砂実験において、想定される土圧発生メカニズムを模式図として図 2 4 に示す。物部・岡部の地震時土圧理論によると、一般的に基礎根入れ部の受働面の土圧は、図 2 4 (a)のように土くさびに沿った破壊面で説明することができる。乾燥砂実験は、これに対応すると考えられる。一方、飽和砂実験の場合、飽和砂層の過剰間隙水圧比が 1 付近では、液状化層のせん断剛性が極めて小さいため、破壊面は表層非液状化層と液状化層の境界に現れると考えられる。この場合、ある程度相対変位が大きくても土圧は小さい。サイクリックモビリティによって、飽和砂層の過剰間隙水圧比が 0.9 程度より小さくなると、液状化層のせん断剛性が回復し、破壊面は乾燥砂実験と同様に土くさびに沿ったものになると考えられる。したがって、相対変位が大きくなると、土圧合力も大きくなる。

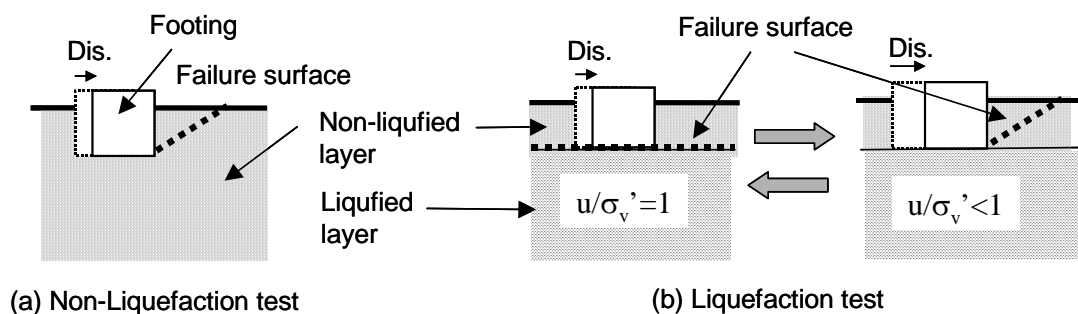


図 2 4 土圧の発生メカニズム (模式図)

#### d) まとめ

乾燥砂地盤モデルおよび乾燥砂表層の下に液状化層が存在する地盤モデルで、杭 - 構造物系の遠心載荷実験を行い、基礎部主働/受働面の地震時土圧および基礎部側面の摩擦力を検討した。液状化実験の場合、乾燥砂実験の 3~4 倍程度大きい相対変位で、乾燥砂実験と同程度の土圧合力が発生した。液状化層の過剰間隙水圧比と土圧合力の関係を検討したところ、液状化層の過剰間隙水圧比が 1 付近だと、相対変位が生じても土圧合力は小さく、過剰間隙水圧比が 0.9 程度より減少すると、土圧合力は大きくなることが分った。一方、側面摩擦力では、そのような傾向は見られなかった。以上から、液状化地盤の上に存在する乾燥砂表層の土圧は、液状化層のサイクリックモビリティに依存する可能性のあることが分った

#### (d) 結論ならびに今後の課題

H17 年度は、基礎の根入れ部に加わる土圧と側面摩擦力の評価手法を提案するとともに、乾燥砂地盤、液状化地盤において杭 - 基礎部 - 上部構造物系の遠心実験を行い、土圧と側面摩擦力を評価するとともに、杭頭せん断力における構造物慣性力、土圧合力、側面摩擦力の寄与を明らかにした。今後は、液状化地盤、側方流動地盤において、基礎の根入れ効果を明らかにするとともに、E-Defense の実験パラメーターの抽出および E-Defense の実験結果の補完を行っていきたい。

e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

| 著者                         | 題名   | 発表先           | 発表年月日            |
|----------------------------|--|---------------|------------------|
| 田村修次<br>今吉毅                | 遠心載荷実験に基づく地下外壁に作用する土圧合力と摩擦力の評価                   | 日本地震工学会大会梗概集  | 2005年11月         |
| 田村修次<br>今吉毅<br>坂本忠<br>初山将昌 | 液状化地盤上の乾燥砂表層に根入れされた基礎部に作用する土圧発生メカニズム             | 第41回地盤工学研究発表会 | 2006年7月<br>(投稿中) |
| 今吉毅<br>坂本忠<br>初山将克<br>田村修次 | 遠心実験における液状化地盤での杭基礎構造物の根入れの影響                     | 第41回地盤工学研究発表会 | 2006年7月<br>(投稿中) |
| 坂本忠<br>田村修次<br>今吉毅<br>初山将克 | 遠心実験における乾燥砂地盤での基礎根入れ部に働く土圧と側面摩擦力<br>-地盤の相対密度の影響- | 第41回地盤工学研究発表会 | 2006年7月<br>(投稿中) |

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成18年度業務計画案

液状化地盤および側方流動地盤における杭基礎破壊の1つの要因として、基礎部の根入れ効果がある。H18年度は、液状化地盤、側方流動地盤において、基礎部の主働面・受働面の土圧、側面の摩擦力および構造物慣性力を計測し、それらが杭応力に及ぼす影響を遠心載荷実験で検討する。