

# 側方流動が地中壁に及ぼす外力に関する実験的研究

濱田政則<sup>1</sup>・三野栄作<sup>2</sup>・小松宏至<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)

<sup>2</sup>学生会員 早稲田大学大学院建設工学専攻土木工学専門分野 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)

<sup>3</sup>学生会員 早稲田大学大学院建設工学専攻土木工学専門分野 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)

本研究の目的は、側方流動が地中壁に及ぼす外力の特性を模型実験によって明らかにすることにある。長さ 3m、水平幅 1m の土槽内に層厚 25cm の飽和砂層 (液状化層) を設置し、さらにその上部に 5cm~15cm の厚さの不飽和層 (非液状化層) を作成した。加振 (5Hz, 5 波、約 800gal) により飽和砂層を液状化させた後、土槽を傾斜させることにより側方流動を発生させ、土槽中央に設置した地中壁に作用する土圧を測定した。土圧と地表面傾斜角および非液状化層厚との相関性を検討し、非液状化層より地中壁に作用する外力の要因は液状化土の流動によって生じる非液状化層との境界のせん断力であることが明らかにされた。

*Key Words: Liquefaction, Ground displacement, Inground Wall, Earthpressu, Experimental study*

## 1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震で被害を受けた橋脚の残留変位の逆解析から、側方流動によって受動土圧に近い大きい外力が橋脚の基礎に作用したことが報告されている。<sup>1)</sup> 仮に側方流動中の地盤から受動土圧に近い外力が作用したとすれば、側方流動地盤における構造物基礎の耐震性に重大な影響を与える。本実験では、非液状化層を含む模型地盤を流動させて、模型地盤中に設置された剛壁に作用する土圧を測定し、その特性について基礎的な知見を得た。

## 2. 実験の方法

本実験に用いた地盤材料は、遠州灘の浜砂で、図 1 にその粒度構成を示す。図 2 に実験に用いた土槽を示す。流動方向の土槽の長さ 3m、水平幅 1m で、土槽左端のヒンジと右端の油圧ジャッキで任意の角度で地表面を傾斜させることができる。図 3 に土槽の中央に設置した地中壁の概要および土圧計の配置を示す。上流側表面に 3 列、4 段、計 12 個の土圧計が設置されている。地中壁は肉厚 1cm のエンピ板で作製され、ほぼ剛と考えることができる。

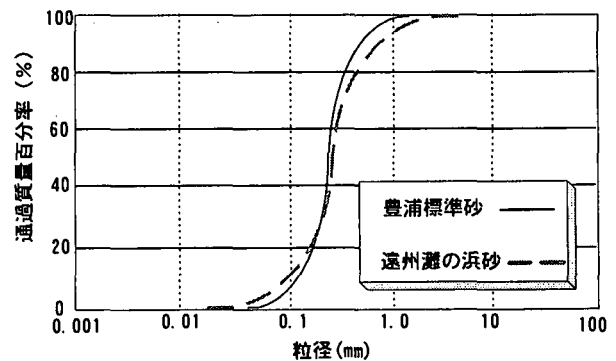


図 1. 遠州灘浜砂の粒径加積曲線

実験の手順は以下に示す通りである。土槽に遠州灘の浜砂をいれ土槽底面より注水し、人工的に砂を攪拌 (ポイリング) することにより目標の相対密度 40% の飽和地盤 (液状化層) を作成する。その上に乾燥砂を巻きだし非飽和層 (非液状化層) を作成する。加振 (5Hz, 5 波, 800gal) により液状化を発生させ、その後土槽を傾斜させて側方流動を生じさせ、地中壁に作用する土圧を測定する。本実験ケースと実験条件を表 1 に示す。非液状化層厚 (5cm, 10cm, 15cm) および地表面傾斜角 (2%, 6%) を変化させて実験を行った。

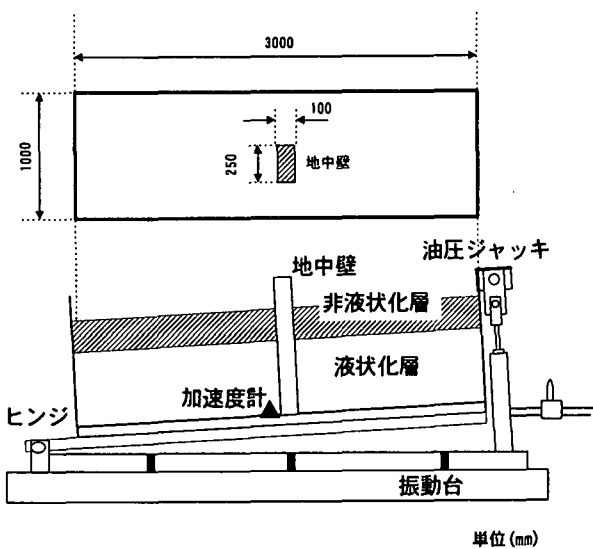


図2. 傾斜土槽の概要

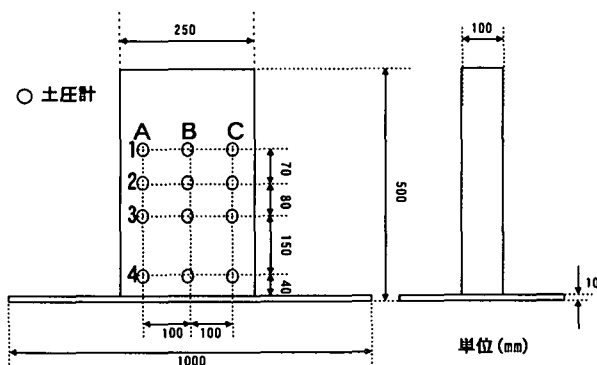


図3. 地中壁の概要

表1. 実験ケース

| 実験<br>ケース | 非液化化層厚<br>(cm) | 液化化層厚<br>(cm) | 傾斜角<br>(%) | 加振条件 |         |          |
|-----------|----------------|---------------|------------|------|---------|----------|
|           |                |               |            | 波数   | 周波数(Hz) | 加速度(gal) |
| CASE1     | 5.0            | 25.0          | 2.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE2     | 5.0            | 25.0          | 2.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE3     | 10.0           | 25.0          | 2.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE4     | 10.0           | 25.0          | 2.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE5     | 15.0           | 25.0          | 2.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE6     | 15.0           | 25.0          | 2.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE7     | 5.0            | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE8     | 5.0            | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE9     | 10.0           | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE10    | 10.0           | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE11    | 15.0           | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE12    | 15.0           | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |
| CASE13    | 10.0           | 25.0          | 6.0        | 5    | 5       | 800      |

※CASE13は非液化化層の地盤長が半分(75cm)

### 3. 側方流動による土圧の特性

図4に土槽底板における加速度と地中壁の土圧計の時刻歴の一例を示す。図中の波線は加振時間を、点線は傾斜開始時間を示す。非液化化層の土圧は加振中は増加せず、土槽の傾斜後増大している。一方、液化化層の土圧は、加振と同時に間隙水圧の上昇により増加する。さらに土槽の傾斜後、液化化土の流動圧により土圧が増加する。

図5は、地中に垂直に埋め込まれたナイロンテープにより測定された深さ方向に沿った地盤の最大変位分布である。液化化層の変位は、上部の非液化化層に比較して著しく大きく、液化化層が非液化化層の下で流動していることを示唆している。

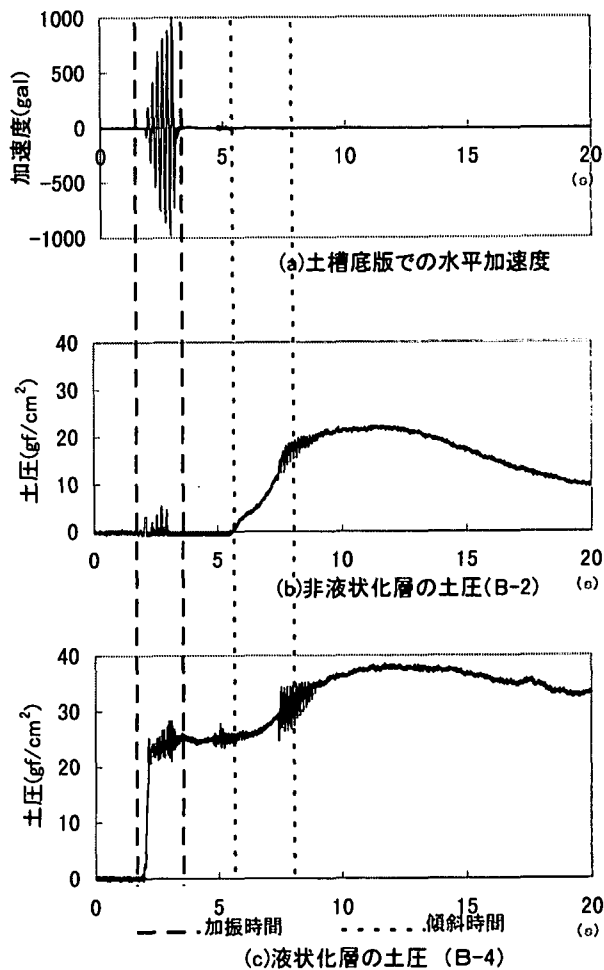


図4. 加速度計と土圧計の時刻歴

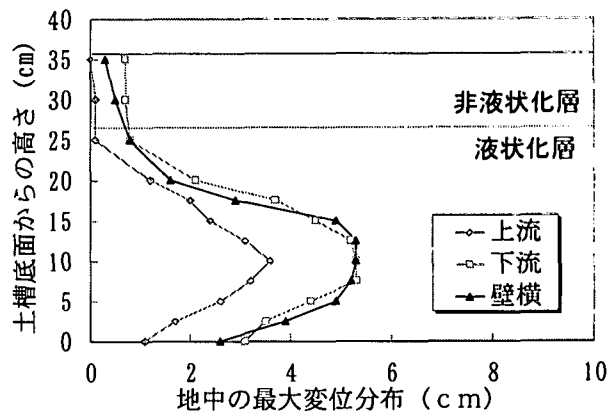
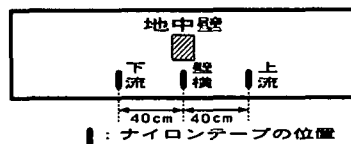
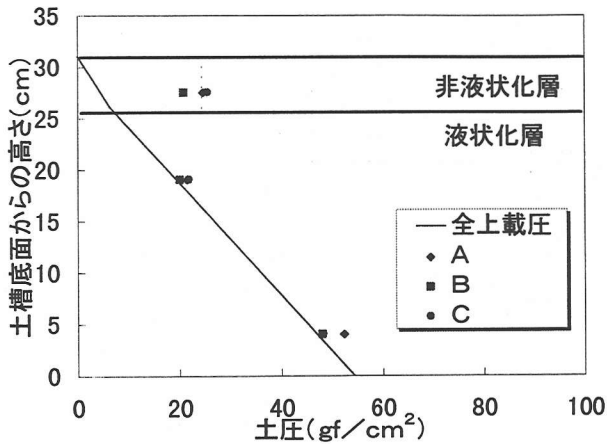
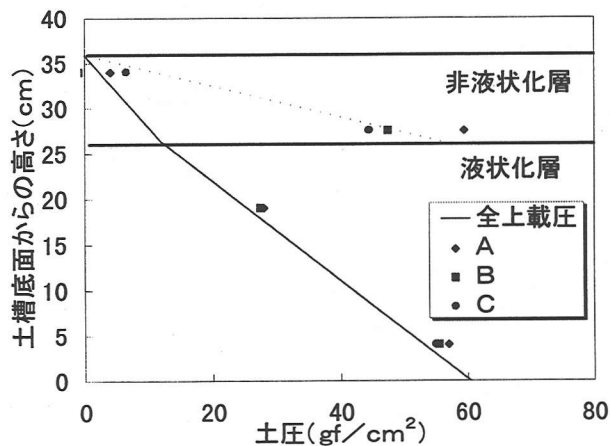


図5. 地中の深さ方向に沿った地盤の最大変位分布



(a)非液化化層厚(10cm)



(b)非液化化層厚(5cm)

図6. 地中壁に作用する土圧と全上載圧

図6は土圧の最大値の深さ方向分布を示す。非液化化層厚10cmおよび5cmの場合ともに、液化化層が地中壁におよぼす土圧は全上載圧にほぼ等しい。一方、非液化化層の土圧は全上載圧の3~5倍となっている。図6の結果は、兵庫県南部地震による橋脚の残留変位の逆解析の結果、すなわち非液化化層から受動土圧に近い外力が橋脚に作用したという結果と整合している。

非液化化層から地中壁に作用する外力の要因として、次の二つが考えられる。

- 1) 本実験では地表面を傾斜させているため、図7に示すように非液化化層の自重の分力が作用する。
- 2) 液化化層の流動によって、非液化化層と液化化層の境界にせん断力が作用する。

図8, 9は、それぞれ土圧の合力と地表面傾斜角および非液化化層厚の関係を示す。ここで、土圧の合力は非液化化層の深さ方向2測点の土圧を直線で結ぶことにより算定している。但し、非液化化層厚5cmの場合は測定点が1点のため、土圧分布は矩形分布と仮定した。

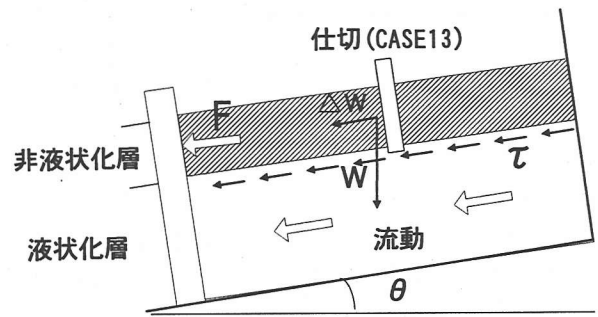


図7. 非液化化層から剛壁に作用する外力の想定原因

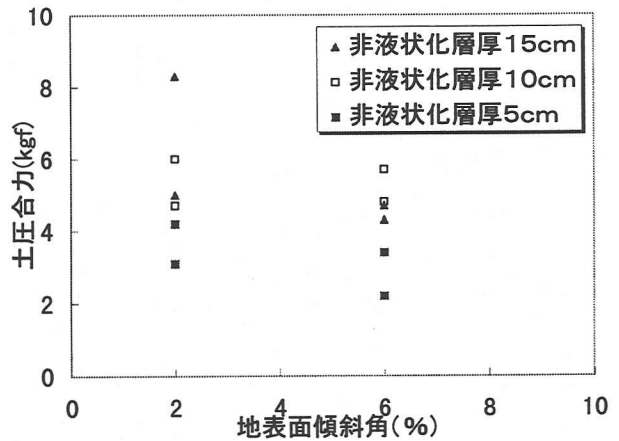


図8. 土圧合力と地表面傾斜角の関係

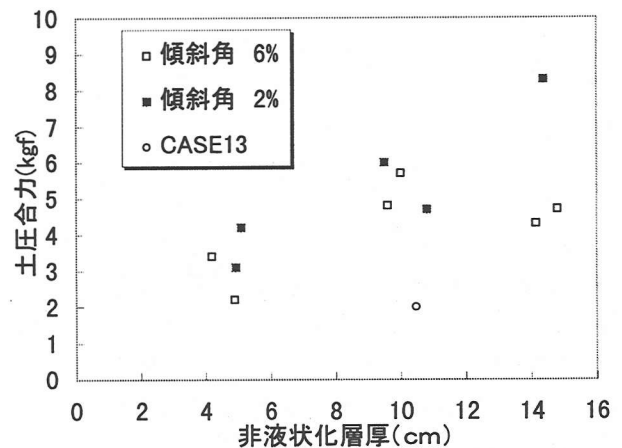
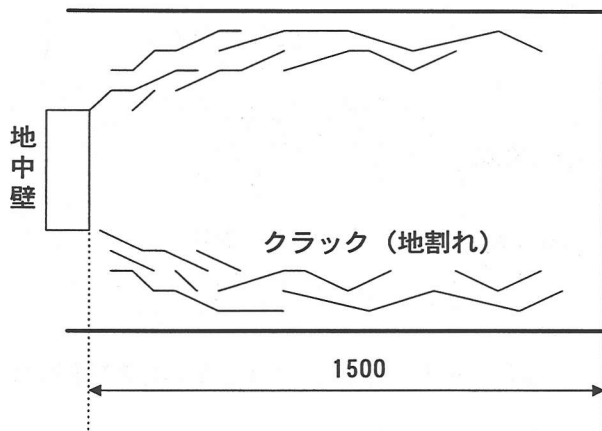
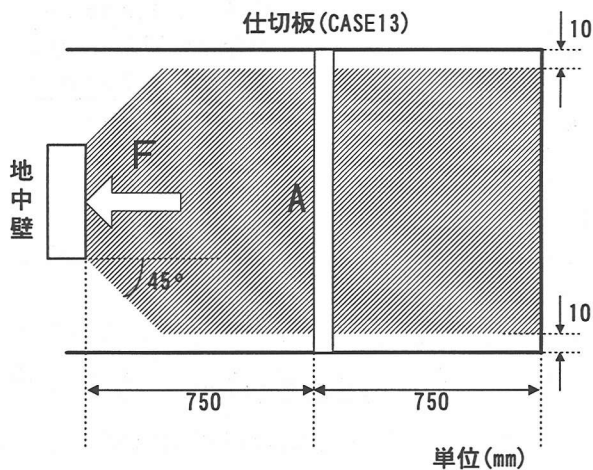


図9. 土圧合力と非液化化層厚の関係

図8, 9によれば土圧合力は地表面傾斜角にはほとんど依存せず、非液化化層の厚さにほぼ線形的な関係が有ることが分かる。ここで図9においてCASE13(図中○印)は、他のデータに比較して土圧合力が小さくなっているが、CASE13は上流側の非液化化層の面積を約二分の一にしたものであり、これについては、後述する。土圧合力が地表面傾斜角に依存しない理由は、非液化化層の自重と液化化層の浮力がバランスして、重力の分力が生じないためと考えられる。



(a) 地割れの状況のスケッチ



(b) 有効面積の領域

図 10. 液状化層と非液状化層の境界に作用するせん断力算定のための有効面積

上記の結果は、非液状化層から地中壁に作用する外力の要因は、液状化層と非液状化層の境界に作用するせん断力であることを示している。このことを確認するため、CASE13 では、図 10(b)に示す位置に仕切板を設け、上流側の非液状化層の面積を約 1/2 にした。図 9 によれば、CASE13 の土圧は、同じ非液状化層厚の他のケースの土圧の約 1/2 になっており上記の考察が正しいことを示している。

図 11 は、非液状化層と液状化層の境界に作用するせん断応力と非液状化層厚の関係を示す。ここでせん断応力は、土圧合力を図 10(b)に示す有効面積 A で除して求めた。有効面積とはせん断応力が作用していると考えられる面積で、図 10(a)に示す実験後の地表面の地割れの状況より図 10(b)のように設定した。

さらに、非液状化層と液状化層の境界に作用するせん断応力が摩擦力によるものとして液状化層の内部摩擦角を算定した。この結果を図 12 に示す。内部摩擦角は非液状化層厚に関係なく 2～4 度の値を示している。

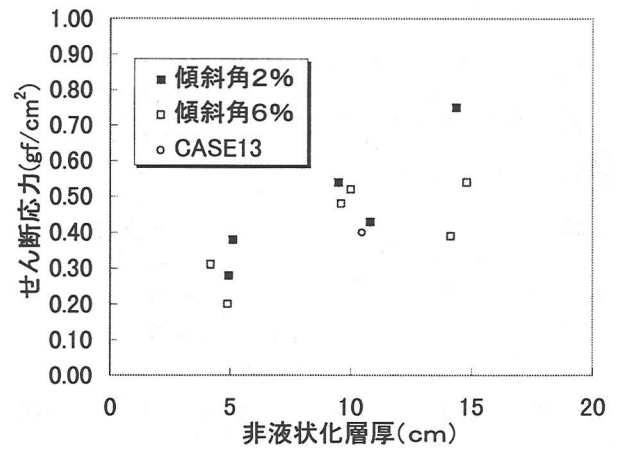


図 11. せん断応力と非液状化層厚の関係

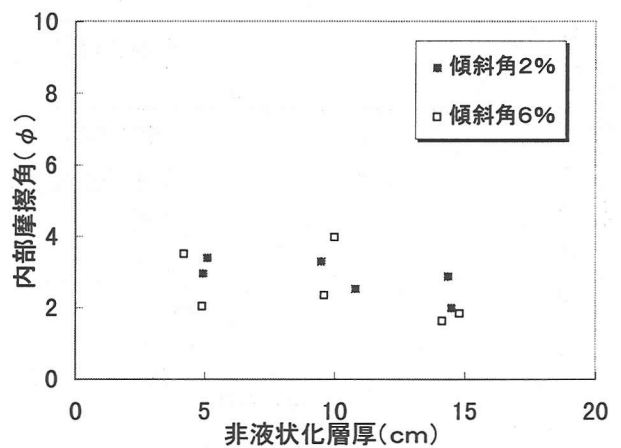


図 12. 内部摩擦角と非液状化層厚の関係

#### 4. 結論

- 1) 液状化層から地中壁に作用する土圧は、ほぼ全上載圧に等しい。
- 2) 非液状化層から地中壁に作用する土圧は受動土圧に近い値を示した。
- 3) 非液状化層から地中壁に作用する土圧は、液状化層と非液状化層の境界面に作用するせん断力の合力である。したがって、非液状化層から地中壁に作用する外力を推定するためには、境界面に作用するせん断応力の大きさとせん断応力が作用すると考えられる面積の評価が重要となる。
- 4) せん断応力より推定される液状化土の見かけ上の内部摩擦角は約 2～4 度である。

#### 参考文献

- 1) 濱田 禎, 二宮 嘉朗, 田村 敬一: 橋脚基礎に及ぼす地盤流動量の評価/土木学会第 51 回年次学術講演会 (I-B404)