

# 杭に作用する外力評価のための計測杭の開発

田地陽<sup>1</sup>・菅野高弘<sup>2</sup>・田中 剛<sup>3</sup>・海老原健介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>清水建設株式会社 技術研究所(〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

<sup>2</sup>独立行政法人港湾空港技術研究所(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>3</sup>科学技術振興事業団(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

In order to investigate how the lateral ground spreading imposed its effect on a pile foundation, the magnitude of external force that acts to a pile were expected to be measured. In this study, a new pile, which attached load cells to the shaft at eight different levels, was developed and a 1g large-scale shaking table test was performed to examine the precision of the pile. The test result showed that the magnitude of external force, which acts to a pile, was measured precisely.

**Key Words:** pile foundation, liquefaction, shaking table test, lateral spreading

## 1. はじめに

模型実験により杭基礎に作用する液状化に伴う側方流動によって地盤からの外力を算定する場合、弾性杭模型における曲げひずみ分布を基に設定された境界条件から弾性論によって(片持ち梁・単純梁など)作用外力を逆算する手法<sup>例えは1), 2)</sup>, もしくは杭に作用する外力を直接計測するためにロードセル・土圧計<sup>3)</sup>を配置する手法が用いられる。前者の手法では杭の変形が伴っており地盤との相対変位による外力を間接的に評価したものとなっている。後者においては、側方流動上流側の作用力を計測するものであり、下流側の作用力を含め作用力の合力を全て評価したものとはなっていない。

本研究では、作用する外力を直接計測できる杭を新たに開発し、大型振動台を用いた振動実験を行い計測杭の精度検証を行った。

## 2. 計測杭の概要

計測杭の要求性能として、①杭の変位が小さく、地盤と杭の相対変位が地盤変位に極力近いこと、(杭本体が剛体に近いこと)、②杭に作用する外力の深度分布が得られること、③杭に作用する側方流動上流側・下流側の外力を計測できること、④杭に作用する外力の合力を正確に計測できること、⑤杭の幾何学的形状は、側方流動時の地盤と杭の相互作用を考慮できるように一般的な杭と同様に円筒形とすること、を考慮した。

図-1は計測杭の概要を示したものであり、図-2は

図-1に示した計測杭のA-A'断面を示したものである。有効軸長(計測区間)2,877mm、外径309mmとし、杭の芯材は、大きな剛性を有し、ロードセルを介し杭表面の受圧板と結合させるためにチャンネル材を組み合わせた形状とした。ロードセルは、杭本体と受圧板間の限られたスペースに設置し圧縮・引張の両荷重を計測できるように、せん断型ロードセルを選択した。用いたロードセルの容量は10kNである。ロードセルの入出力ケーブルは杭の地表側から外部へ引き出すこととした。受圧板は、杭に作用する荷重を勘案し、外径318.5mmの鋼管を軸方向に2分割したものを用いた。受圧板は深度方向に16断面、杭の前面と後面に取り付けた。深度方向に16設置されている受圧板のうち8体に対しロードセルを取り付けた。1枚の受圧板の高さは177mm、肉厚は10.3mmである。受圧板同士は上下、前後方向ともに3mmの間隔があり、それぞれ独立したものとなっている。杭内部への砂の流入を防ぐために、受圧板を拘束しない程度で、その間隔をビニルテープでシールした。杭近傍の過剰間隙水圧を計測するために杭の前面、後面にそれぞれ4深度計8個の間隙水圧計を取り付けた。

## 3. 大型振動台実験の概要

振動実験は、独立行政法人防災科学技研究所所有の大型振動台<sup>4)</sup>を用いた。土槽は、長さ11.6m、幅3.1m、高さ4.19m、(内寸)のせん断土槽を、土槽のフレーム間を板で固定し、剛体土槽として用いた。

図-3は試験体の概要を示したものである。実験

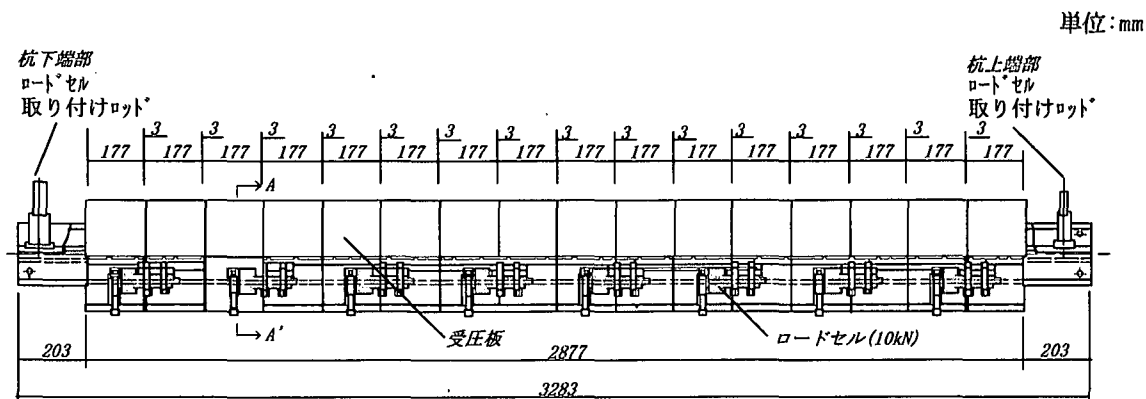


図-1 計測杭の概要

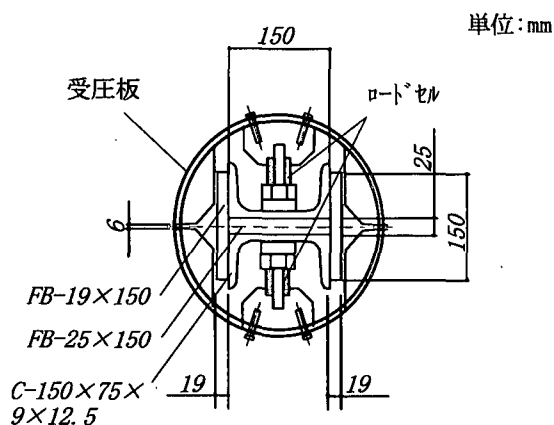


図-2 計測杭の断面 (図-1のA-A'断面)

に用いた砂は霞ヶ浦砂 ( $D_{50}=0.31\text{mm}$ ,  $G_s=2.718$ ,  $e_{max}=0.961$ ,  $e_{min}=0.570$ ,  $F_c=5.4\%$ )である。模型地盤は、水中でフルイを振動させた状態での湿潤砂の水中落下法<sup>5)</sup>により作製し、地表面勾配6%の傾斜地盤とした。地盤の高さは斜面の上流側3.2m、下流側で2.5mである。模型地盤の相対密度 $D_r$ は45%である。地下水位は土槽底盤から2.5mの高さに設定した。

加振方向は斜面方向と直角方向とし、入力は杭の計測精度検証を目的として正弦波3Hz30波35galとした。

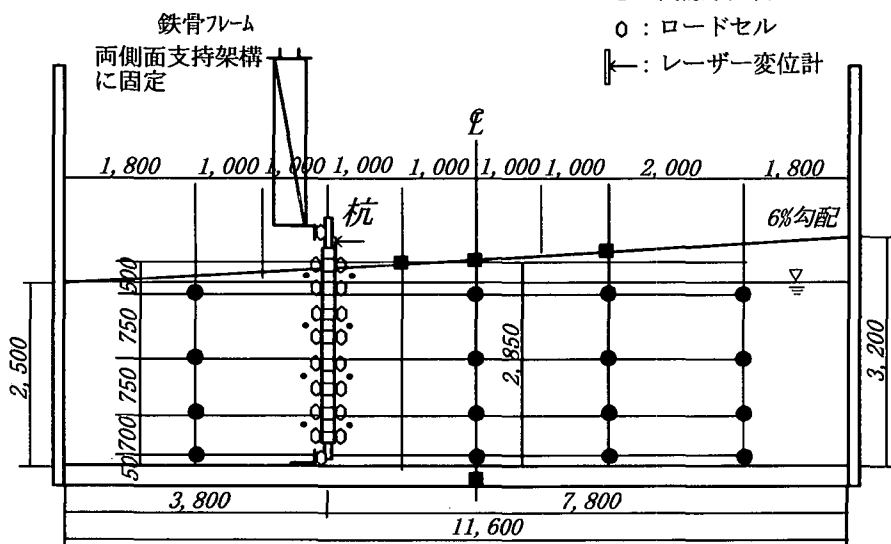
図-4は杭下端部の固定方法を示したものである。杭は土槽中央部から2m下流側に設置した。杭芯材の両端部にロッドを取り付け、全体反力を計測できるようにその先端にロードセルを取り付けた。杭下端部は、全体反力計測用のロードセルを設置した杭

単位: mm

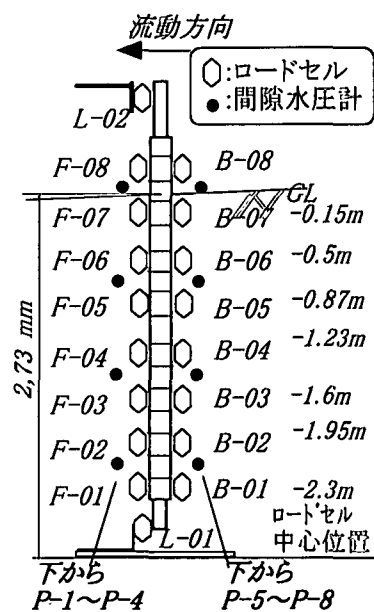
加振は紙面直角方向

凡例

- : 加速度計
- : 間隙水圧計
- : ロードセル
- ┆: レーザー変位計



(a) 計器配置



(b) 杭に取り付けた計器の配置

図-3 試験体の概要

を鉄製のL型アングルを介し土槽底盤に固定した。地盤作製中は、土槽の側面支持架構から桁を渡し、そこからワイヤーで懸垂し杭の中心軸がずれないようにした。地盤作製後、土槽の側面支持架構から渡した桁に鉄製のL型アングルを溶接し杭の上部を固定した。全体反力計測用のロードセルの容量は、上端部20kN、下端部100kNとした。

#### 4. 実験結果

図-5は入力加速度と杭周辺地盤の過剰間隙水圧の時刻歴を示したものである。上流側と下流側の過剰間隙水圧の発生を比較すると、GL-0.7m以浅では下流側の方が過剰間隙水圧は上昇しているが、GL-1.4m以

深では同程度である。過剰間隙水圧比は、GL-0.7m以浅の上流側で0.45、下流側で0.7、GL-1.4m以深では上下流側共に概ね0.8である。

図-6は杭に取り付けたロードセルにより計測された荷重の時刻歴を上下流側4深度について示したものである。加振レベルが小さいにもかかわらず、上流側、下流側共に精度良く荷重が計測されている。下流側の上部で引張力作用しているが、それ以外では加振するにしたいが、上流側、下流側ともに杭に圧縮力が作用している。図-5と図-6を比較すると、過剰間隙水圧が上昇するにしたいが、杭に作用する荷重も増加しており、両者の挙動は調和的であることがわかる。

図-7(a), (b)は杭の上流側、下流側に作用する荷重の時刻 $t=8.77s, 9.43s, 10.09s, 12.04s, 17.3s$ における深度方向分布を示したものである。上流側では概ねどの時刻においても杭下端部から地表に近づくにつれ荷重は増加しているが、下流側では下端部からGL-2.0mまで増加しそれ以浅では荷重は減少している。時刻 $t=8.77s, 9.43s, 10.09s, 12.04s, 17.3s$ と加振が進行するにしたいが、上流側では作用する荷重は全体的に大きくなっているが、下流側ではその傾向は顕著ではない。

図-7(c)は時刻 $t=8.77s, 9.43s, 10.09s, 12.04s, 17.3s$ における上流側に作用する荷重と下流側に作用する荷重の差の深度方向分布を示したものである。杭に作用する荷重は概ね杭下端部から地表に近づくにしたいが増加しており、加振が進行するにしたいがその値は大きくなっている。荷重の分布形状と値を、図-7(b)の上流側に作用する荷重のものと比較すると、分布形状は両者とも類似しているが、値は地表部を除いて全体的に小さくなっている。

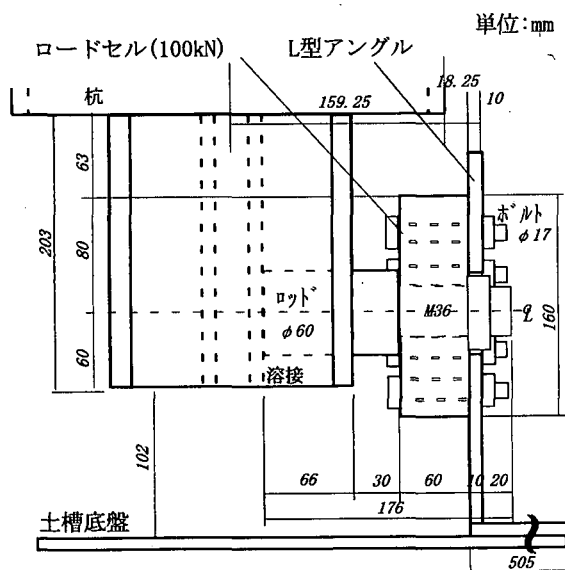


図-4 杭下端部の固定方法

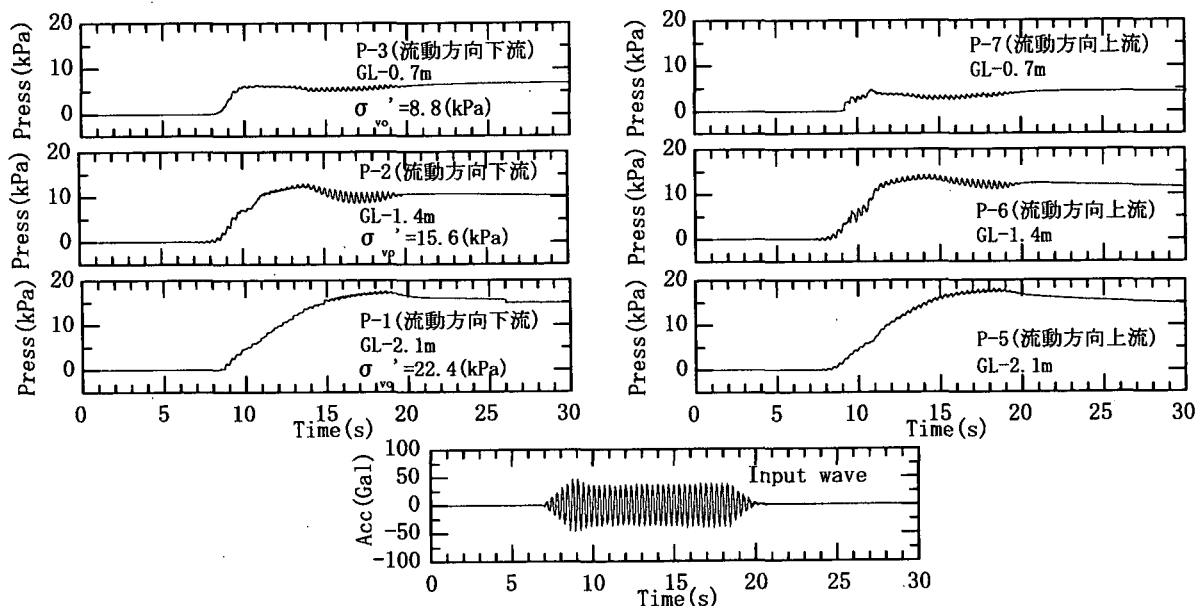


図-5 入力加速度と杭近傍の過剰間隙水圧の時刻歴

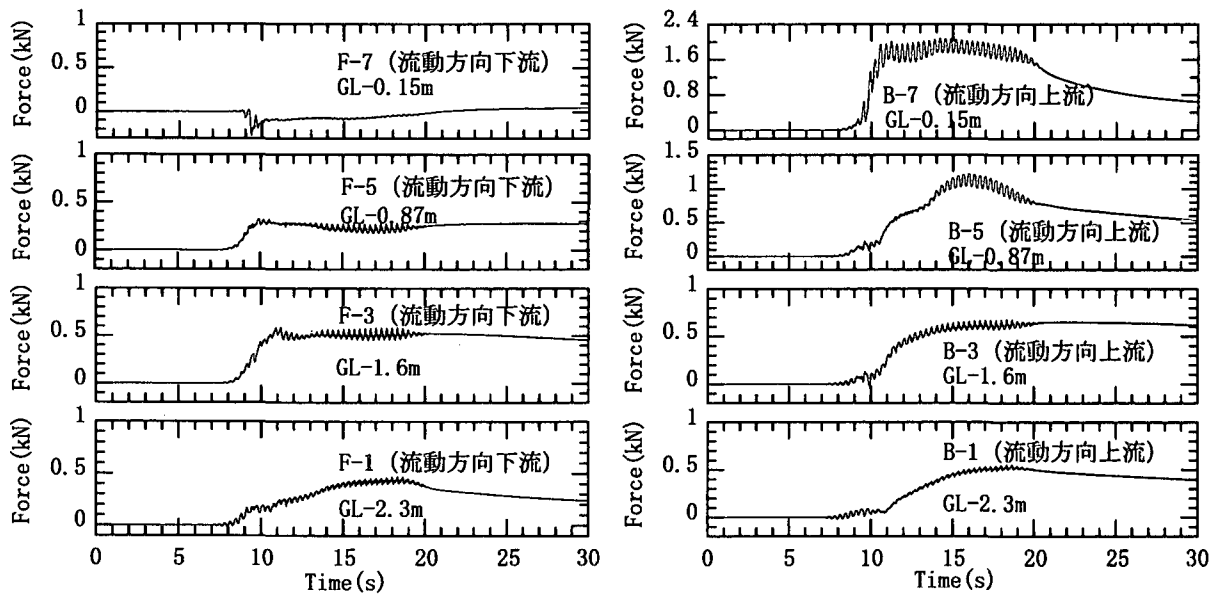


図-6 杭に取り付けたロードセルにより計測された荷重の時刻歴

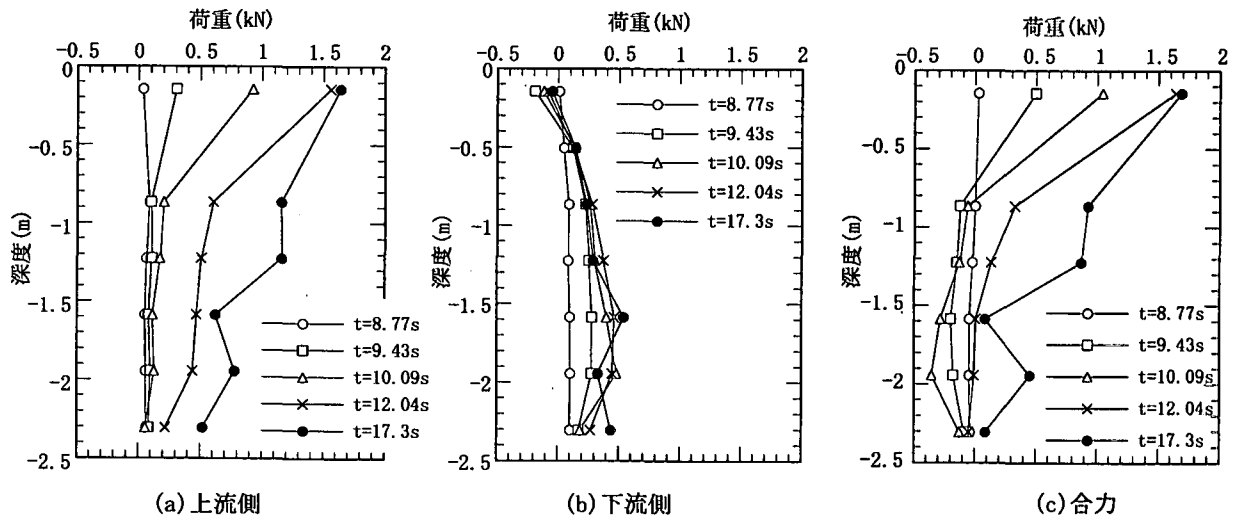


図-7 杭に作用する荷重の深度方向分布

## 5. まとめ

杭に作用する外力を直接把握することを目的とした計測杭を新たに開発し、大型振動台を用いた振動実験を行った。その結果、杭の上流側・下流側に作用する荷重を精度よく計測でき、両者を考慮した荷重の深度方向分布が得られた。

謝辞:本研究は平成13年度科学技術振興調整費による総合研究「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上」によるものである。ここに記して関係各位に謝意を表します。また、計測杭の開発に際し、株式会社星理化学機器高橋氏にご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

1) 森伸一郎, 込山貴士: 杭の地盤反力-変位関係の推定と推定法の検討, 土木学会第55回年次学術講演会講

演概要集, III, CD-ROM, 2000. 9

- 2) 樋口俊一, 三浦房紀, 濱田政則, 菅野高広: 流動する液状化地盤中の杭の挙動に関する遠心荷重実験, 第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム, pp. 281-286, 2001. 3
- 3) 平出 務, 水野二十一, 杉本三千雄, 飯場正紀, 森利弘: 大型せん断土槽を用いた杭基礎-液状化地盤系の振動実験, 第5回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム-近年の大地震の教訓と相互作用の設計への展開-, pp. 169-174, 1998. 5
- 4) 科学技術庁防災科学技術研究所: 大型せん断土槽を用いた液状化地盤におけるRC杭基礎の振動実験, 防災科学技術研究所研究資料, 第190号, 1999. 3
- 5) 佐藤正義, 阿部秋男, 水野二十一, 田村修次: 液状化土槽実験における飽和度評価のためのP波測定と液状化時の地盤変位測定, 第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, pp. 89-94, 2001. 3