

# パイルド・ラフト基礎の杭頭接合部回転剛性に着目した模型載荷実験 (その1: 実験概要)

正会員 ○新井 寿昭\*1 同 武内 義夫\*1 同 八重樫 光\*2  
同 三上 博\*3 同 松本 樹典\*4

パイルド・ラフト 模型実験 杭頭接合部  
三軸圧縮試験 コーン貫入試験

## 1. はじめに

筆者らは、パイルド・ラフト基礎の合理的な設計・解析技術の確立を目指して実験的・解析的検討を行っている。今回、模型基礎の鉛直載荷実験と地震時の等価水平力に対する挙動を把握するための水平載荷実験を行った。特に、杭頭部とラフト接合部の固定条件の違いによる影響に着目し、種々の固定条件を設定した実験を行った。本報では、模型実験の概要と模型地盤の力学特性について報告する。

## 2. 実験概要

### 2-1 模型基礎と模型地盤

模型概要を図-1 に示す。模型基礎では、正方形 (400×400mm、 $t=40\text{mm}$ ) の剛なステンレス板をラフトとして用いた。模型杭には、外径  $d=40\text{mm}$ 、肉厚  $t=2\text{mm}$ 、杭長  $L=600\text{mm}$  のアルミ製のパイプ(閉端)を 4 本用い、ラフトに等間隔に配置した(杭中心間隔 200mm)。なお、杭の周面摩擦を増加するために杭周面に模型砂を貼付けた。

杭とラフトの接合部については後述する各実験ケース(表-2)の条件に応じたモデル化を行った。半剛接合の各実験ケースでは、あらかじめ実施した予備解析の結果に基づいて、これに相当する模型部材条件を設定し、その条件に整合する細径に断面縮小した円柱部材を介して杭とラフトを接合した。なお、半剛接合ケースにおける固定度とは本地盤条件において、杭頭が完全剛接合の場合の杭頭曲げモーメント値を基準(1.0)とした場合の杭頭部曲げモーメント比率を意味する。

模型地盤材料には気乾状態の豊浦標準砂(表-1)を用い、鋼製土槽 (B1500×L1500×H1500mm) の上部 1000mm の範囲に、空中落下により 100mm 毎の薄層で投入し、敷き均しを行い、相対密度  $D_r=80\%$  を目標値としてバイブレータで締固めた。地盤への基礎の設置は、先ず模型杭を所定の配置に仮固定した状態で、周囲の地盤を順次締固めて作製し、杭の天端と地表面レベルが同一となるように表面を平坦に均した。なお、杭頭にはラフト側に埋め込まれる所定の固定度をもった接合部材があらかじめ取り付けられている。続いて、自重によって地表面に接するようにラフトを杭頭部にかぶせ、杭頭とラフトをボルトで固定し一体化を図った。パイルド・ラフトの場合には、ラフト底面に設置した土圧計によりラフトと地盤の接地を確認した。

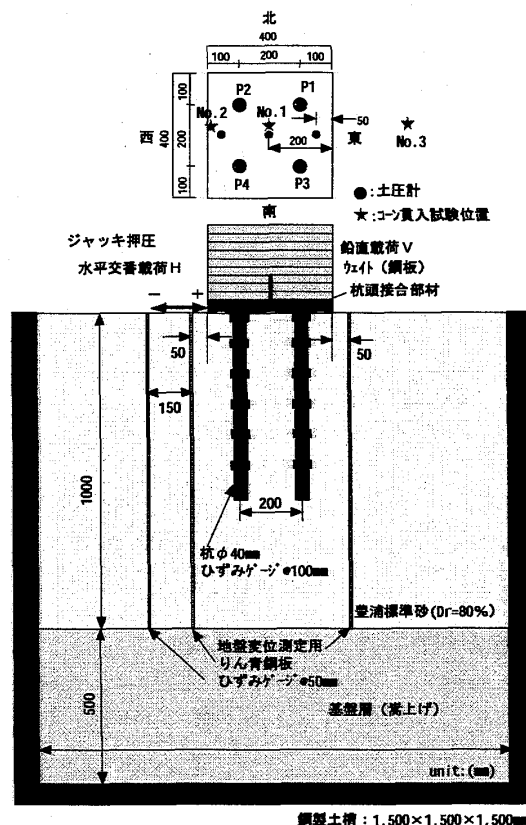


図-1 実験模型概要

表-1 豊浦砂の物理特性

土粒子密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.637
平均粒径 $D_{50}$ (mm)	0.17
均等係数 $U_c$	1.44
最大間隙比 $e_{\max}$	0.986
最小間隙比 $e_{\min}$	0.627
最大乾燥密度 $\rho_{d\max}$ ( $\text{g/cm}^3$ )	1.621
最小乾燥密度 $\rho_{d\min}$ ( $\text{g/cm}^3$ )	1.328
内部摩擦角 $\phi'$ (deg.)	39.8

### 2-2 実験方法・手順と実験ケース

一連の実験における載荷は、先ず所定の鉛直載荷 ( $p_v=21\text{kPa}$ ) を行い、鉛直荷重を保持したまま、引き続き多サイクルの水平交番載荷 (荷重制御方式) を行った。鉛直載荷はラフト上に鋼板ウェイト (9 枚) を順次重ね、水平載荷については油圧ジャッキ 2 台を用いて行っている。

計測は、鉛直載荷時には各載荷段階の計 9 段階で、水平載荷時には連続的に計測を行った。計測項目は、ジャッキ荷重、ラフトの鉛直・水平変位のほかラフト底面の接地圧（土圧計 3 点）、杭体のひずみ（4 本）、基礎周辺地盤の地中変位分布（ひずみゲージ付きりん青銅板 3 測線）などである。

実験ケースの一覧を表-2 に示す。実験は、抵抗機構を比較するために、パイルド・ラフトのほかにラフトのみ、杭のみの 3 種類の模型に対して実施した。また、杭頭接合条件の影響を検討するために、杭のみの場合には剛接合とピン接合の 2 ケースを、パイルド・ラフトの場合には剛接合とピン接合に加えて半剛接合の固定度 0.5 および 0.25 の 4 ケースを実施した。

表-2 実験ケース一覧

実験ケース	基礎条件	杭頭接合条件
Case 1	ラフトのみ (べた基礎)	—
Case 2	杭のみ (4 本杭基礎)	剛接合
Case 3		ピン接合
Case 4	パイルド・ラフト	剛接合
Case 5		半剛接合 (固定度 0.5)
Case 6		半剛接合 (固定度 0.25)
Case 7		ピン接合

3. 模型地盤に用いた砂の三軸試験

模型地盤の力学特性を把握するために、実験に用いた豊浦砂の三軸圧密排水せん断試験（CD試験）を行った。試験は、初期拘束圧 $p_0$ を 4 段階（49～245kPa）に変化させて実施した。

三軸圧縮試験から得られた結果を表-1 および表-3 に示す。豊浦砂の内部摩擦角 $\phi'$ は 39.8deg.であった。図-2 に示すように、初期せん断弾性係数 $G_0$ は、初期拘束圧 $p_0$ の増加に伴い増加した。一方、ポアソン比 $\nu$ は、拘束圧によらず、ほぼ一定値となった。

上記によって得られた結果から、(その 5) に示すシミュレーション解析に用いる地盤定数 $G_0$ を設定する。図-2 の曲線は、式(1)による $G_0$ の値である。

$$G_0 = G_{ref} (p_0 / p_{ref})^{0.5} \tag{1}$$

ここで、 $p_{ref}$ は基準拘束圧(= 0.1 MPa)、 $G_{ref}$ は $p_{ref}$ における $G$ の値である。

実験結果は、 $G_{ref} = 13 \sim 17$  MPaの範囲で、式(1)によって近似できる。実際の模型地盤の拘束圧は三軸実験での拘束圧よりも低い。そのため、模型地盤の $G_0$ は式(1)に基づいて算定する。

その後、ポアソン比 $\nu$ とせん断弾性係数 $G_0$ の関係により、拘束圧に依存した地盤のヤング率 $E_0$ を求める。

表-3 地盤のパラメータ

拘束圧 (kPa)	せん断弾性係数 $G_0$ (kPa)	ポアソン比 $\nu$
49	6,020	0.26
98	17,570	0.29
147	15,313	0.29
245	26,978	0.28

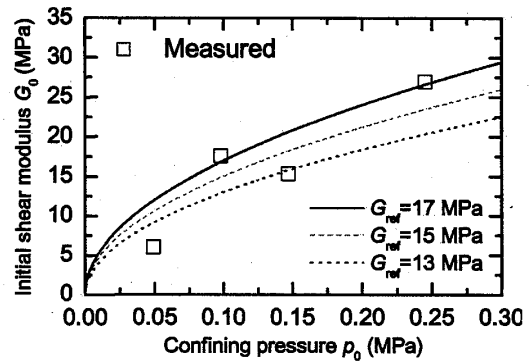


図-2 拘束圧とせん断剛性の関係

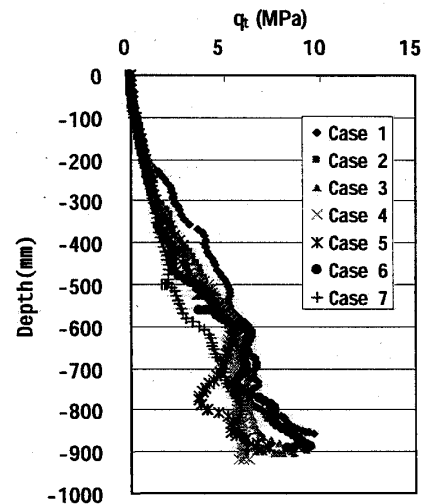


図-3 コーン貫入試験結果（計測点 No.1）

4. 模型地盤の三成分コーン貫入試験

深度方向の連続的な土質性状分布を把握するために、各載荷実験終了後に図-1 に示す 3 地点において三成分コーン貫入試験を行った。各実験ケースで比較した代表的な 1 地点(No.1)のコーン先端抵抗 ( $q_t$ ) の深度分布を図-3 に示す。コーン先端抵抗は深さ方向に伴って増大する傾向を示しており、実験ケース間の比較では概ね同様の値を示している。このことから、各実験ケースは概ね同一の地盤条件下で実施できたものと考えられる。

謝辞：三軸試験の実施において、金沢大学学生 新谷将人氏の御助力を得たことに記して深謝の意を表します。

\*1 西松建設、\*2 間組、\*3 三井住友建設、\*4 金沢大学

\*1 Nishimatsu Construction, \*2 Hazama Corporation, \*3 Sumitomo Mitsui Construction, \*4 Kanazawa University