水平荷重を受けた際のパイルド・ラフト基礎の挙動(静的載荷実験)

金沢大学	学	福山 英樹	ΤĒ	松本	樹典
大成建設㈱	正	堀越 研一		渡邊	徹

筆者らは、パイルド・ラフト基礎の耐震設計法の確立を目指した一連の遠心載荷模型実験を実施 <u>1. はじめに</u> している ¹⁾²⁾³⁾。本報告では,単杭,ラフト単体に対する鉛直・水平載荷試験結果¹⁾を踏まえて実施したパイルド・ ラフトの静的水平載荷実験と振動実験のうち,特に前者に関する結果を報告する。実験では,1/50の縮小模型に 50gの遠心加速度を作用させ載荷実験を行った。なお、以下の結果は、すべてモデルスケールで記載されている。

図-1 に実験モデルの概要を示す。幅 700 mm, <u>2.実験モデルの概要</u> 高さ 470 mm, 奥行き 400 mm の地盤モデル中にラフトやパイルド・ラフト などのモデルを設置した。図-2 はパイルド・ラフトの杭配置を示したもの である。模型杭は,外径10mm,内径8mm,長さ170mmのアルミ製パイ プ(材料試験によれば,材料の降伏,破断応力度はそれぞれ149 MPa,243 MPa)を用いており,先端を閉塞させている。模型杭の実物換算の曲げ剛性 は,直径 500mmの中実コンクリート杭に相当し,軸力と曲げモーメント分 布, 杭頭部のせん断力を計測するために, ひずみゲージを貼り付けた。ラフ トは,硬質アルミニウム製で,ほぼ剛とみなせる厚さ(35mm)とした。なお, ラフト底面を粗くすることにより、地盤との摩擦係数の増加を図っており、 ラフト単体の水平載荷実験より得られた底面の摩擦係数はμ = 0.62 (摩擦角 32°)であった²⁾。

模型地盤は,杭を所定位置に設置した後に,乾燥豊浦砂を空中落下法によ り初期相対密度 60%になるよう作製した。実験では,杭のみを設置した状 態で 50 gの遠心加速度を与え,自重によって地盤を沈下させた後に遠心載 荷装置を止め,質量 4.7 kg (50g 場では,2.3 kNの荷重に相当)のラフトを

杭上部に設置,固定した。その後,再び遠心加速度を50gに与えた 後に約 0.1 mm/min の変位速度で水平方向に繰り返し載荷を行った。 載荷実験直前の地盤の相対密度はほぼ 67 %であり,地盤強度の再現 性,均一性を確認するため,コーン貫入試験を実施した。

3. 実験結果 水平載荷直前のラフトの鉛直荷重分担率は、約 38%であった。図-3は、パイルド・ラフトとラフト単体の水平載荷実 験で得られた荷重~変位関係であり,杭径程度までの水平変位を与 えたことが分かる。全水平抵抗でみた場合,ラフト単体では,約5mm の水平変位で極限値を示しているのに対し、パイルド・ラフトでは、 13mm 程度の変位で極限値を示しており,しかもその値が大きい。ま た,図-4は,荷重-変位関係の初期の段階において,全水平抵抗を杭 の水平抵抗力(杭頭せん断力の和)とラフト底面せん断抵抗に分け て示したものである。 図-3 と図-4 とを比較すると,パイルド・ラフト とラフト単体とでラフトの極限水平抵抗が異なっているが、これは、 ラフトから地盤への鉛直方向伝達荷重が異なっていることに起因し ている。また,図-3 によれば,載荷初期の段階の荷重変位関係の勾



load

Horizontal

 $\widehat{\mathbf{Z}}$

load

Horizontal

0.2

0.4

キーワード:遠心載荷実験,杭,ラフト,パイルド・ラフト,水平載荷 連絡先:〒920-8867 石川県金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科 TEL:076-234-4625

0.6

Horizontal displacement (mm) 図-4 水平荷重-水平変位関係(初期段階)

0.8

1.0

配(変位剛性)は、両者でほとんど同じであった。これは、パイ ルド・ラフトでは、載荷初期段階では、主としてラフト底面と表 層の砂との間のせん断抵抗で外力に抵抗しようとするが、杭の存 在によってラフト直下の砂地盤に伝達される鉛直荷重がラフト単 体の場合と比較して小さく、この部分の拘束効果が小さいためで あると考えられる。初期の荷重-変位特性は、使用限界状態に関連 する重要な特性であるので、さらなる検証を進めたい。なお、参 考文献²⁾³⁾でも報告しているように、水平変位の増加につれて、ラ フトの鉛直荷重分担率は増加し最終的に約 60%となったのに対し、 水平荷重分担率は、除々に小さくなる傾向にあった。

図-5,図-6 はそれぞれ杭頭軸力ならびに軸力分布の推移を示し たものである。図中,Pile A は圧縮側,Pile A'は引抜き側を示して いる。水平載荷前の両者の杭頭荷重は一致しているが,水平変位 の増加とともに,引抜き側の杭の軸力が急激に減少するものの圧 縮側の杭では漸増している。さらに,圧縮側の杭の軸力は水平荷 重の除荷過程においてもほとんど減少していない。これらの性状 は,ラフトの回転・沈下運動と密接な関係をしている。引き抜き 側の杭では,ラフトの浮き上がりに伴い,急激な除荷を伴ってい ることが予想されるが,詳細な挙動については,現在,分析を進 めている。

図-7 は杭の曲げモーメント分布の推移示したものである。杭頭 固定条件を意図してモデルを設計したが,計測で得られた杭頭曲 げモーメントは常に小さく,むしろ杭頭自由条件に近い結果とな った。水平変位が3mmまでは,pile A と A'の分布はかなり一致し ているが,水平変位 6mmでは,地中の最大曲げモーメントはPile A の方が大きくなっており,その位置も深い。図-7 に示された最 大曲げモーメント位置について,歪み値とパイルド・ラフトの水 平変位の関係を示したのが図-8 である。この図によれば,繰り返 し載荷の最終ステップにおいて歪み値が2000µを超えており,これ 以前では杭の応力度は弾性範囲であったことがわかる。すなわち, 荷重変位特性の非線型性の大部分は,地盤の非線型性に起因して いるものと考えられる。なお,写真-1 は,載荷試験後のモデルの 浮き上がり状況,周辺地盤の変形状況を示したものである。引抜 き杭側が浮上がり,圧縮杭側が地表面にめり込んでいる。

4. おわりに 水平荷重を受けるパイルド・ラフトの挙動は極めて複雑であり、今後、杭頭の固定度を変えた場合、或いは(ラフトの接地を考慮しない)群杭としての挙動を検討し、その挙動を明らかにしていく方針である。

<u>参考文献</u>1)福山他:遠心載荷実験による単杭およびラフトの沈下特性の 検討,土木学会第55回年次学術講演会,III-A207. 2)福山他:遠心力 場におけるパイルド・ラフトの静的水平載荷実験,第36回地盤工学研究 発表会(投稿中) 3)Watanabe, T. et al.: Centrifuge Modeling of Piled Raft Foundations subjected to Horizontal Loads, Paper submitted to 5th Int. Conf. Deep Foundation Practice, Singapore, April, 2001.



写真-1 実験後のモデルの状況