杭頭剛結度が静的水平載荷時のパイルド・ラフト基礎の挙動に与える影響

大成建設(株)　正　渡邊　徹　正　堀越研一
金沢大学　　学　橋爪芳徳　正　松本樹典

１．はじめに　パイルド・ラフト基礎は，杭とラフト双方の抵抗を見込むため，従来の群杭基礎と比較して杭本数を大幅に削減できるメリットがある。パイルド・ラフト基礎中の杭は沈下抑止を目的としているため，鉛直挙動に関する研究は進んでいるが，水平荷重を受けた際の挙動についての研究は限られている。筆者らは，水平抵抗特性の解明を目的とした，静的水平載荷試験および振動実験を遠心載荷装置を利用して実施してきた[1)2)]。本論文では，一連の実験のうち，杭頭の剛結度がパイルド･ラフト基礎の水平挙動に与える影響を検討する目的で実施した静的水平載荷実験結果を中心に報告するものである。なお，同一モデルを用いた振動実験結果については，別報3) 4)を参照されたい。

２．実験の概要　**図-1に**実験モデルの概要を示す。奥行き400mmの剛土槽中に模型地盤を作成し，基礎模型を設置した。パイルド・ラフト基礎は４本の杭で支持されている。模型杭は，アルミパイプ（長さ180 mm，直径10mm，肉厚1mm）を用いて製作し，先端閉塞とした。これらの杭には，載荷実験中の軸力，曲げモーメント，せん断力を計測するため，ひずみゲージを貼付した。杭頭剛モデルでは，杭の地表面突出部をラフト部材で挟み込む形で剛結度を確保し，杭頭自由モデルでは，市販のユニバーサルジョイントを杭頭部に埋め込む構造とした。模型ラフトは，幅80mmの正方形硬質アルミの上に荷重調整のための鋼板を載せた構造となっており，底面を粗くすることにより，ラフト－地盤間の摩擦係数の増加を図った。模型地盤には，乾燥豊浦砂を用い，杭を所定の位置に設置した後，空中落下法により相対密度60%となるように作成した。

実験では，まず，ラフトの自重を利用して50g場で約2300 Nの鉛直荷重を与えた。この状態で４本の杭が分担する鉛直荷重の割合は，約40%であった。その後，**図-2**に示す水平載荷装置を利用して，地表面より25mmの高さで載荷速度0.1mm/minの繰り返し水平載荷実験を行った。実験に際して，模型の水平変位および鉛直変位をレーザー変位計で計測した。

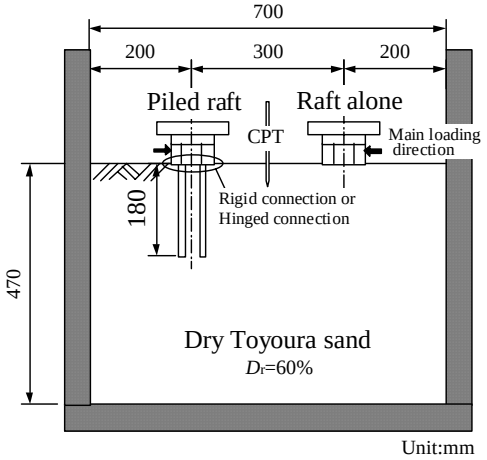

図-1　静的実験モデル概要

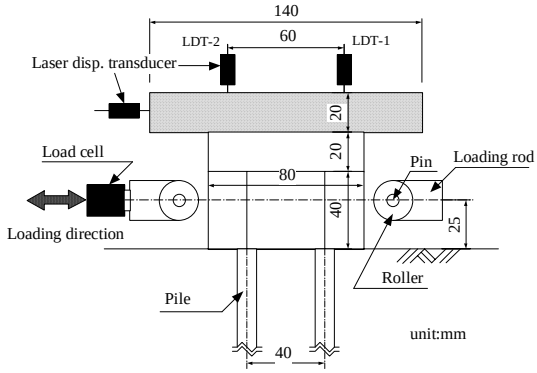

図-2　水平載荷装置概要図

３．実験結果　以下に示す結果は，すべてモデルスケールで記載するものとする。**図-3**は，パイルド・ラフト基礎を構成するラフト単体で別途実施した水平載荷実験で得られた水平荷重－水平変位関係である。ラフト単体の水平抵抗は，水平変位約5mmで極限を示し，その値は973Nであった。したがって，ラフト底面と地盤の境界摩擦係数は0.42 (摩擦角23°)と算定される。**図-4**は，パイルド・ラフト基礎の水平荷重－水平変位関係を杭頭剛モデルと杭頭自由モデルとで比較したものである。これらの図では，杭頭部のせん断ひずみと全体水平抵抗より算出したパイルド・ラフト基礎中のラフトの抵抗およびラフト単体の結果（**図-3**）も併せて示している。同図より，同一水平変位時のパイルド・ラフト基礎の水平抵抗力の大小関係は，概ね，杭頭自由モデル＜ラフト単体＜杭頭剛モデルとなった。このように，杭頭自由モデルの水平剛性が小さくなるのは，(1)

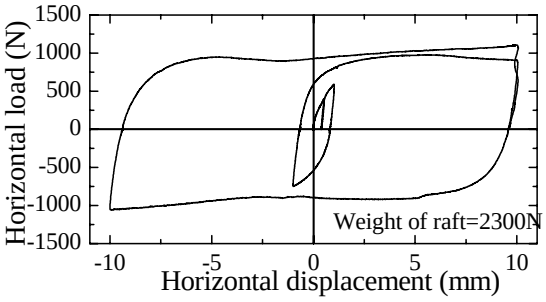

図-3　水平荷重－水平変位関係(ラフト単体)

キーワード　パイルド･ラフト基礎，水平荷重，荷重分担，遠心模型実験，杭頭剛結度
連絡先　〒245-0051　横浜市戸塚区名瀬町344-1　大成建設株式会社　技術センター　Tel 045-814-7235

ラフト単体と比較してラフトからの鉛直荷重伝達が小さいため，ラフト直下の拘束圧による地盤剛性増分が少なくなり，パイルド・ラフト基礎中のラフトの水平剛性が低下すること，(2)杭頭自由の機構上，パイルド・ラフト基礎中の杭の水平剛性が小さくなること等に起因していると考えられる。**図-5** にならびに**図-6** に，水平載荷中の杭 4 本の水平荷重と鉛直荷重の分担率の推移を示す。杭の水平荷重分担率は，杭頭の剛結度に関わらず，載荷初期（水平変位で 1mm 程度まで）に急激に増加した後に漸増する傾向を示すが，杭頭剛モデルの方が杭頭自由モデルより大きな分担率となっている。**図-6** によれば，杭の鉛直荷重分担率の変動は，水平荷重分担率の変動量よりも小さいこと，杭頭剛モデルの変動が杭頭自由モデルよりも大きいことが読み取れる。また，いずれのモデルとも水平変位の増加とともに分担率がやや減少する傾向にある。前述した通り，本模型地盤は拘束圧の影響を強く受けることから，これらの鉛直荷重分担の変動も上記の水平荷重ー水平変位関係に影響を与えていると考えられる。**図-7** は，同一水平変位時の杭の曲げモーメント分布を比較したものである。杭頭自由モデルの分布は，杭頭部で小さく地中部で最大値となる杭頭自由の場合の典型的な分布性状を示した。杭頭自由のモデルでは，杭への水平伝達荷重が小さいことに起因して，杭頭剛モデルと比較した曲げモーメントの絶対値は小さくなっている。

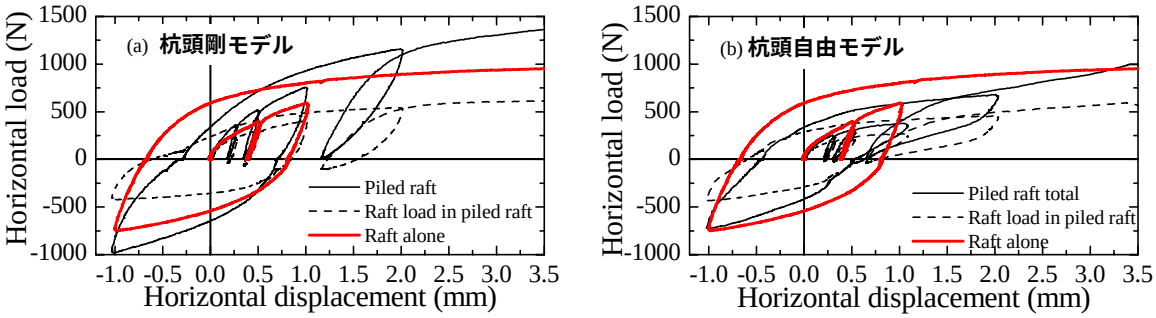

図-4　水平荷重-水平変位関係の比較

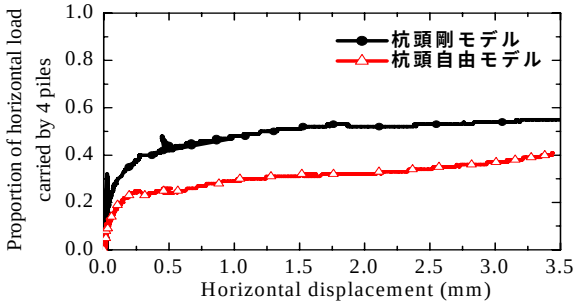

図-5　杭の水平荷重分担率の変化

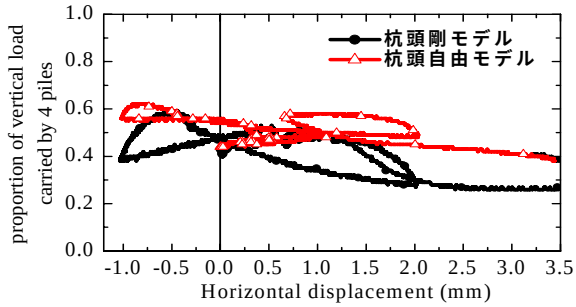

図-6　杭の鉛直荷重分担率の変化

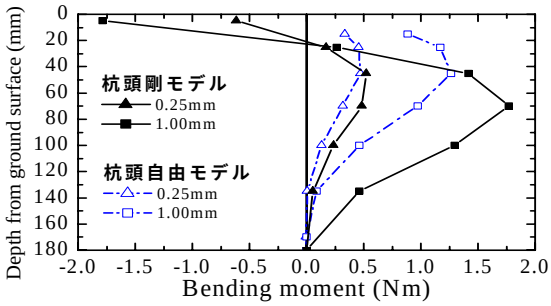

図-7　曲げモーメント分布

4．まとめ

杭頭の剛結度を変化させた静的水平載荷実験で得られた結果を以下にまとめる。

1) 本実験モデルの場合，同一変位時の水平抵抗力は，杭頭自由モデル＜ラフト単体＜杭頭剛モデルであった。ラフト直下地盤の拘束圧の大きさや杭頭構造の違いが，パイルド・ラフト基礎中のラフトや杭の水平抵抗に影響を与えたものと思われるが，今後さらなる検討を進めたい。
2) 水平載荷中の杭の水平荷重分担率は，初期にその変化が顕著であり，パイルド・ラフト基礎の変位が大きくなるにつれて頭打ちする傾向にある。杭頭剛モデルでの分担率は，杭頭自由モデルと比較して大きく，杭の寄与が大きい。また，水平載荷中の杭の鉛直荷重分担率の変動は，水平荷重分担率の変動と比較して小さく，杭頭自由モデルよりも杭頭剛のモデルで大きい。
3) 同一水平変位時に杭に発生する最大曲げモーメントは，杭への水平伝達荷重率の差異に起因して，杭頭剛モデルの方が，杭頭自由モデルよりも大きくなった。

参考文献：1) Watanabe T., Fukuyama H., Horikoshi K. and Matsumoto T. (2001) “Centrifuge modeling of piled raft foundations subjected to horizontal loads”, Proc. 5th Int. Conf. Deep Foundation Practice incorporating PILETALK International, pp. 371-378.　2) 堀越，松本，福山，渡邊 (2001), “水平荷重を受けるパイルド・ラフト基礎の挙動”，第 46 回地盤工学シンポジウム，pp. 241-246　3) 松本，橋爪，堀越，渡邊 (2003) “杭頭剛結度が振動載荷時のパイルド・ラフト基礎の変位特性に与える影響”，第 58 回土木学会年次学術講演会（投稿中）　4) 橋爪，松本，堀越，渡邊 (2003) “杭頭剛結度が振動載荷時のパイルド・ラフト基礎の荷重分担性状に与える影響”，第 58 回土木学会年次学術講演会（投稿中）