

パイルド・ラフト基礎に関する研究 (その2)

- 大型遠心せん断土槽実験による地震時挙動評価と実用的設計法 -

藤 森 健 史 西 山 高 士
関 崇 夫 石 井 雄 輔

Study on Piled Raft Foundation (Part2)

Behavior Evaluation during Earthquake based on Centrifuge Large Shear Box Tests
and Practical Aseismic Design Method

Takeshi Fujimori Takashi Nishiyama
Takao Seki Yusuke Ishii

Abstract

The piled raft foundation is a construction method that can control differential settlement rationally by using friction piles together with a raft foundation. However, there are many unknown factors concerning its behavior during earthquakes. Therefore, an investigation based on centrifuge tests was performed to clarify these factors, and a practical design method was proposed. The following main conclusions were obtained. The piled raft foundation has a much larger lateral resistance than the bearing pile foundation. The shearing force share ratio of the pile increases with increase in seismic force. The proposed design method is applicable to usual designs.

概 要

パイルド・ラフト基礎は、直接基礎に摩擦杭を併用することにより合理的かつ経済的に不同沈下量を抑制できる工法として注目を集めているが、地震時挙動に関しては、杭の水平力分担率等、不明な点が多く、耐震設計上の課題となっている。そこで、これらを解明し、合理的な耐震設計法の構築に資することを目的として、遠心実験に基づく検討を行った。また、合わせて実用的設計法の提案を行い、実験結果を用いてその適用性について検討した。その結果、パイルド・ラフト基礎は、支持杭基礎に比べて水平抵抗力が大きく、同一荷重時の杭応力は極めて小さくなること、地震動レベルの増大に伴い杭のせん断力負担割合が増加する傾向にあること、提案設計法は、実務設計レベルにおいて十分適用可能であること、より高度で経済性を追求した設計を行う場合には、より高精度な動的解析方法を選択することも有効であること等の結論を得た。

1. はじめに

大型遠心せん断土槽実験によりパイルド・ラフト基礎の強震時挙動特性を明らかにし、合理的かつ実用的な設計法を提案したので報告する。

パイルド・ラフト基礎は、直接基礎に摩擦杭を併用することにより合理的かつ経済的に不同沈下量を抑制できる工法として注目を集めているが、地震時挙動に関しては、杭の水平力分担率等、不明な点が多く、耐震設計上の課題となっており、実証的な検討例¹⁾も極めて少ない状況にある。このような基礎と地盤の動的な相互作用に関連した問題については、従来、モデル化が難しいため実験的な検証は限定的なスケールで行わざるを得ない状況にあった。本論文では、このような背景に対し、広域な地盤領域(平面100×50m,深さ27.5m)をモデル化でき、なおかつ、阪神大震災と同等以上の極大地震入力(地表面速度応答スペクトル最大値300cm/s以上)が可能な大型遠心せん断土槽を用いることによって、より現実に近い形でパイルド・ラフト基礎の強震時の挙動を再現し、その特性を明らかにした。また、合わせて実用的設計法

の提案を行い、実験結果を用いてその適用性について検討した。

実験実施内容は、大型遠心せん断土槽内に設置したパイルド・ラフト基礎模型、直接基礎模型および支持杭基礎模型の小、中、損傷限界、安全限界、極大の各地震波加振実験および静的加力実験であり、実験結果の分析・シミュレーション解析により、その地震時挙動特性を評価した。また、実用的設計法としては、杭に及ぼす基礎スラブ(ラフト)による水平荷重の影響を応答変位法に準じて評価する簡易な方法を提案した。

2. 地震波加振実験

2.1 地震波加振実験概要

2.1.1 実験方法 上部建物を同じくするパイルド・ラフト基礎、直接基礎、支持杭基礎建物模型を設置したせん断土槽の、遠心場における振動台による地震波加振実験である。地盤は第2種地盤相当の2層地盤とした。計測は、杭ひずみ、建物加速度、地盤加速度、基礎底面せん断力等について行った。せん断土槽の大きさは約2×1×0.

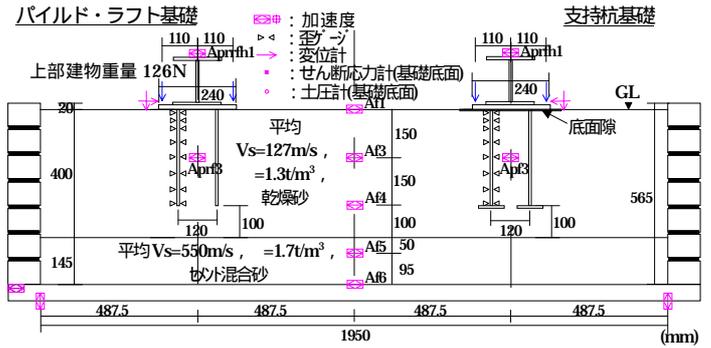
55m,遠心力は50Gであり,平面が100×50m,深さが27.5mの地盤領域をモデル化した。なお,以降,本文中の遠心実験に係わる記述においては,基本的に,実現象との対応を考慮して,相似則を考慮した1G場相当スケール(実際の建物と同じスケール)[長さ,変位:50倍,速度:1倍,加速度:1/50,時間,周期50倍,振動数:1/50,荷重50²倍]に換算して記述した。

2.1.2 模型概要 模型概要をFig. 1(パイルド・ラフト基礎,支持杭基礎)に示す。上部建物は,一般的な10階建建築構造物をモデル化したものである。杭は,パイルド・ラフト基礎,支持杭基礎ともに500 20tの鋼管杭(2×2本, l=15m, E=1.89×10⁵N/mm²)とし,パイルド・ラフト基礎では基礎スラブ底面を地盤に密着,支持杭基礎では離間させ支持力を確保するため杭先端部に杭径より大きい鋼製の円盤を設置した。また,柱脚固定状態の自由振動加振実験より,上部建物の固有振動数(1.52Hz, 0.66s)と減衰定数(1%)を求め,10階建RC建物としてほぼ妥当な値であることを確認した(T=0.02*h, T;周期, h;高さ)。地盤は,空中落下法により作成した乾燥砂地盤(8号ケイ砂, Dr50%)である。Vsは,微小振動レベルにおける伝達関数から上載圧を考慮して逆算評価した。その結果,平均Vsは127m/s(64~151m/s)となった。また,密度は1.3t/m³である。基礎は,モルタル混合砂により作成した。材料試験より,そのVsは533m/s,密度は1.7t/m³である。なお,パイルド・ラフト基礎の鉛直荷重の分担割合は,実験開始直前の遠心力50Gにおいて杭2割,基礎スラブ(ラフト)8割程度であった。

2.1.3 入力地震動 入力地震動として,小,中,損傷限界,安全限界,極大の5地震を設定した。損傷限界,安全限界地震は,建築基準法の告示波スペクトル²⁾に対応した模擬地震波であり,小地震は安全限界地震の1/20,中地震は1/10,極大地震は1.5倍の大きさとした。最大加速度は,小地震が15gal,極大地震が418galである。代表例として,極大地震入力地震波をFig. 2に示す。なお,極大地震は速度応答スペクトル最大値(工学的基盤レベル相当)が120cm/sを超える極めて大きな入力動である。

2.2 地震波加振実験結果

2.2.1 パイルド・ラフト基礎の地震時挙動特性 パイルド・ラフト基礎の速度応答スペクトルをFig. 3に示す。小地震時,地盤と地盤-建物連成系の線形1次卓越周期ピークをとともに0.7秒付近に,極大地震時,地盤のそれを1.4秒付近に,連成系のそれを0.7秒付近にそれぞれ確認できる。いずれの結果も連成系の固有周期は柱脚固定のそれとほとんど変わらず,地盤連成効果が小さいことがうかがわれる。これは,地下階や基礎梁がなく建物が軽量であること,摩擦杭のため基礎構造と地盤間の相対変形量が小さいこと等に起因すると推察される。なお,地表面スペクトルは300cm/sを超えており,阪神大震災時に最も大きな記録が得られた観測点の一つである神戸海洋気象台や葺合の応答値³⁾に対して同等以上の値となって



注)図中の寸法は実スケール

Fig. 1 模型概要

Outline of Test Model

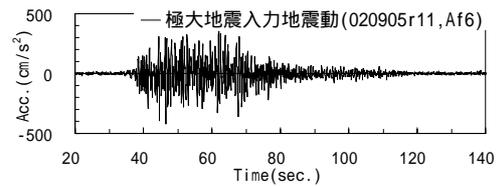
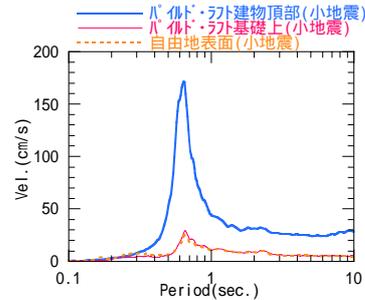
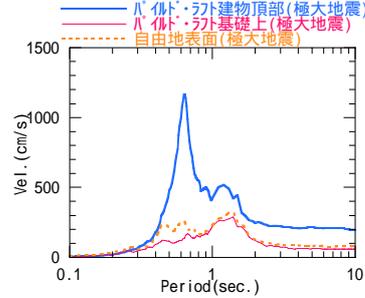


Fig. 2 入力地震波

Input Motion



(a) Small Earthquake



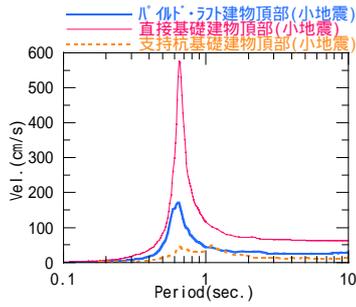
(b) Great Earthquake

Fig. 3 速度応答スペクトル(h=0.05)
Response Spectrum

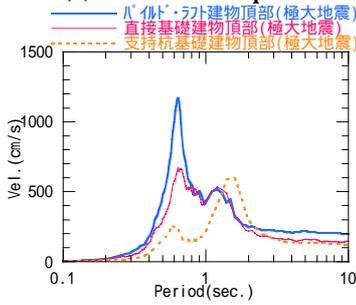
Table 1 基礎スラブ底面と杭の地震時せん断力分担率
Share Ratio of Shearing Force during Earthquakes

	上部建物 慣性力 (kN)	基礎底面 せん断力 (kN)	杭頭 せん断力 (kN)	せん断力 分担率 -基礎底面-	せん断力 分担率 -杭頭-
極大地震	8656.3	6833.8	1822.5	0.79	0.21
安全限界地震	6459.2	5406.2	1052.9	0.84	0.16
損傷限界地震	2510.8	2343.4	167.4	0.93	0.07
小地震	1338.7	1264.8	73.9	0.94	0.06

いる。上部建物慣性力と杭頭せん断力の計測結果の最大値から求めた基礎スラブ底面と杭の地震時せん断力分担率をTable 1に示す。杭の分担率は,地震力が大きくなる



(a) Small Earthquake



(b) Great Earthquake

Fig. 4 速度応答スペクトルの比較(h=0.05)
Comparison of Response Spectrum

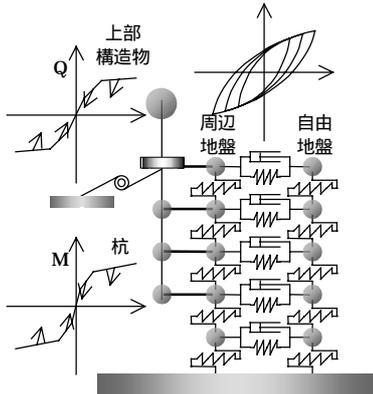
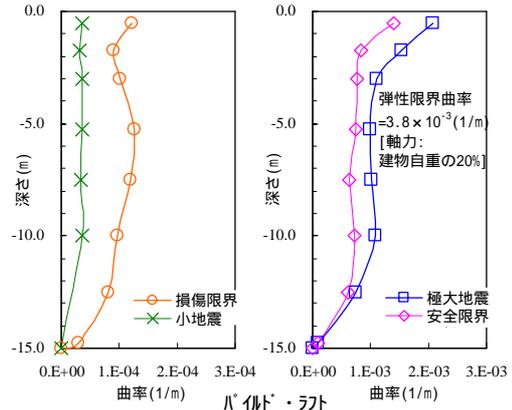


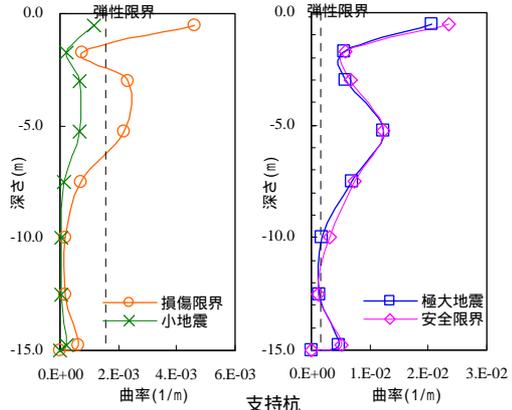
Fig. 6 解析モデル
Analytical Model

のに伴い5~20%前後の範囲で増加する傾向を示した。これは、変形量の増大にともなう基礎底面地盤ばね剛性の低下に起因すると推察される。なお、上部建物慣性力と基礎スラブ底面せん断力の計測結果から求めた分担率も概ね同様の傾向を示した。

2.2.2 パイルド・ラフト基礎、直接基礎、支持杭基礎の比較
パイルド・ラフト基礎、直接基礎、支持杭基礎の速度応答スペクトルを比較してFig. 4に示す。いずれの地震の結果も、パイルド・ラフト基礎と直接基礎の地盤-建物連成系1次卓越周期ピークをとともに0.7秒付近に確認できる。支持杭基礎のそれは、小地震時に1.1秒付近、極大地震時に1.6秒付近に確認できる。パイルド・ラフト基礎は、小地震時において直接基礎より減衰が大きい、極大地震時にはその傾向が逆転している。杭による逸散減衰効果が極大地震時には杭周地盤の非線形性のため潜在化するためと推察されるが、今後の更なる検討

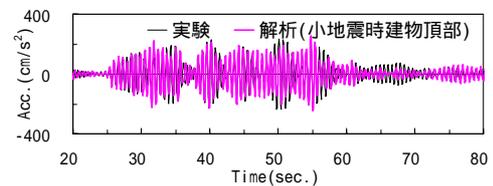


(a) Piled Raft Foundation

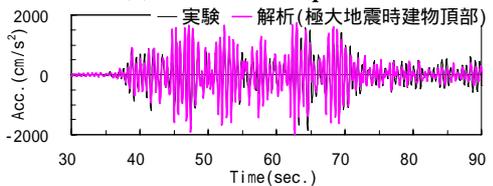


(b) Bearing Pile Foundation

Fig. 5 杭最大曲率分布
Distribution of Maximum Curvature



(a) Small Earthquake



(b) Great Earthquake

Fig. 7 応答波形(建物頂部)
Time History of Acceleration

が必要である。パイルド・ラフト基礎と支持杭基礎の杭曲率分布を比較してFig. 5に示す。パイルド・ラフト基礎では上部建物慣性力の多くを基礎底面が負担するため、極大地震時においても杭本体は線形状態を保っているとともに、いずれの震動レベルにおいても支持杭基礎に比べて慣性力の影響が小さい分布形状を示している。

2.3 地震波加振実験シミュレーション解析結果

ベンゼン型モデルによりパイルド・ラフト基礎の実験

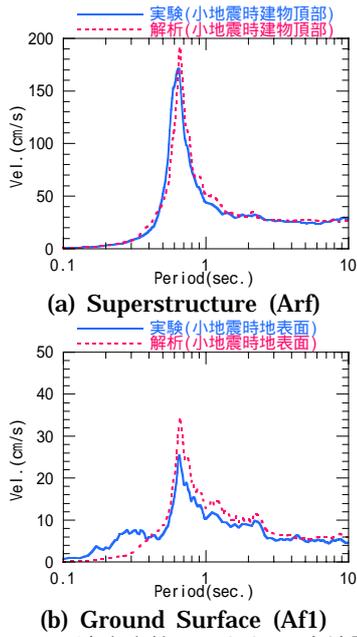


Fig. 8 速度応答スペクトル(小地震)
Response Spectrum (Small Earthquake)

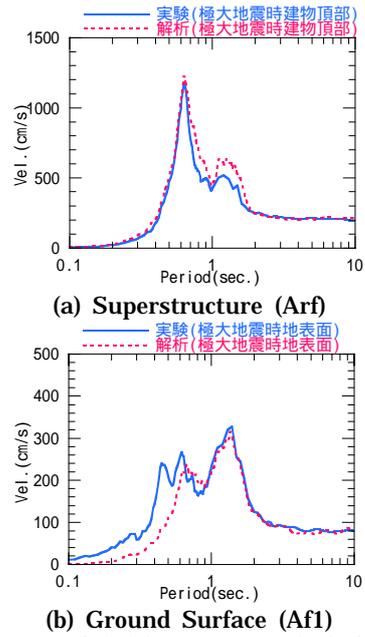
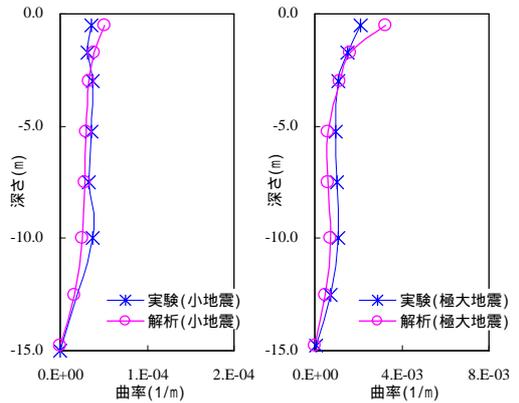


Fig. 9 速度応答スペクトル(極大地震)
Response Spectrum (Great Earthquake)

結果のシミュレーション解析を行った。解析手法、モデル化手法の詳細は文献^{4), 5), 6)}のとおりである。解析モデルの概要をFig. 6に、実験結果と解析結果の応答波形の比較をFig. 7に、速度応答スペクトルの比較をFig. 8, Fig. 9に示す。ここでは、代表例として、小地震時と極大地震時の建物頂部波形および建物頂部と地表面の速度応答スペクトルに関する比較を示した。実験時の短周期雑振動による差異が若干見受けられるが、全体的には、いずれの解析結果も実験結果と概ね対応している。また、杭最大曲率分布に関しても、Fig. 10に示すように、実験結果と解析結果は概ね対応した。なお、このときの杭頭固定度は概ね0.5~0.6の範囲である。



(a) Small Earthquake (b) Great Earthquake
Fig. 10 杭最大曲率分布
Distribution of Maximum Curvature

3. 静的加力実験

3.1 静的加力実験概要

静的加力実験は、遠心力50Gを作用させた状態でパイルド・ラフト基礎および比較のために準備した支持杭基礎の各モデルの頭部を電動ジャッキにより一定速度で水平方向に強制変位させる方法で行った。載荷速度は、0.1cm/minである。地震波加振実験と同様に、パイルド・ラフト基礎と支持杭基礎の特性を明確にするため、支持杭基礎は基礎スラブ(ラフト)の底面と地表面との間に隙間を設け、全水平荷重が杭に作用する状態とした。また、土槽、地盤、杭体についても地震波加振実験と同様のものを用いた。実験装置をFig. 11に示す。なお、静的加力実験結果についても地震波加振実験結果と同様に、前記の相似則を考慮した1G場相当スケールの記述とした。

3.2 静的加力実験結果

3.2.1 荷重 - 変位関係 パイルド・ラフト基礎および

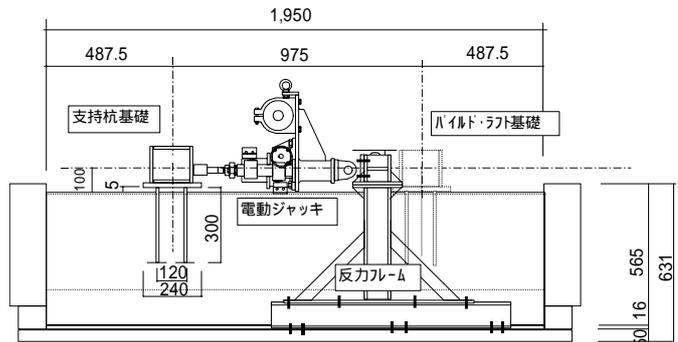


Fig. 11 実験装置概要
Outline of Testing Equipment

支持杭基礎の杭頭部の荷重 - 変位関係を Fig. 12 に示す。同図中には、パイルド・ラフト基礎の挙動に関して、杭頭部のひずみ分布から算出した杭負担水平力(細一点鎖線)とラフト負担水平力(細二点鎖線)を杭体が弾性とみな

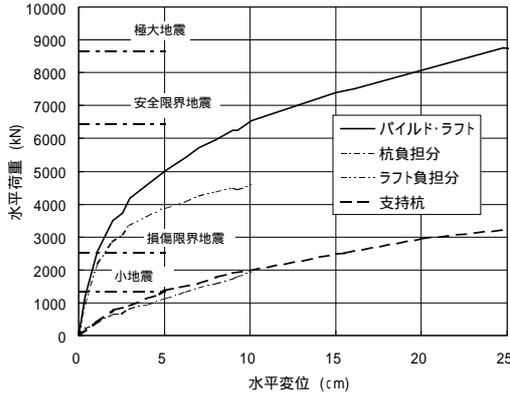


Fig. 12 荷重 - 変位関係
Load-Displacement Relationship

せる範囲について示した。また、地震波加振実験時に得られたパイルド・ラフト基礎の最大慣性力(極大地震, 安全限界地震, 損傷限界地震, 小地震)も合わせて示した。同図から、同一変位量におけるパイルド・ラフト基礎全体の水平抵抗力は支持杭に比べて3倍程度は大きく、スラブと地盤が密着することで水平抵抗力がかなり増大することを確認できる。また、パイルド・ラフト基礎の杭部分が負担する水平力は、支持杭と比較して同等もしくはやや小さな値となっていることがわかる。これは、パイルド・ラフト基礎に関しては、ラフト直下の地盤全体がラフトの変位に伴って変形を生じ、杭の挙動に影響を与えるためと考えられる。

Fig. 13は、パイルド・ラフト基礎の全水平荷重に対して杭部分が負担する水平力の割合(杭の水平力分担率)を、水平変位および水平荷重を横軸に示したものである。同図から、杭が弾性範囲における杭の水平力分担率は、地震波加振実験と同様に水平変位(水平荷重)の増大とともに増加する傾向が認められる。これは、パイルド・ラフト基礎の水平変位(水平荷重)の増加によりラフト直下の地盤が表層から塑性化し、ラフト - 地盤間の摩擦抵抗による水平剛性が低下するに伴い、地中部の地盤抵抗力が杭を介して発現されるためと考えられる。

3.2.2 杭の変位, 曲率分布 パイルド・ラフト基礎および支持杭基礎について、深さ方向の杭の変位分布と曲率分布をFig. 14に示す。同図中には建物荷重による長期軸力を考慮して求めた杭材の弾性限界における曲率を一点鎖線で示した。低荷重時においても支持杭の実験結果では弾性限界を超えている部分が見られる。また、パイルド・ラフト基礎の杭は、ラフト部分の摩擦抵抗により負担する水平力が低減されるため、基礎全体に作用する水平荷重が同一の場合、支持杭基礎のそれに比べて変形、応力とも極めて小さいことが分かる。

3.3 静的加力実験シミュレーション解析結果

3次元非線形FEMによりパイルド・ラフト基礎の実験結果のシミュレーション解析を行った。Fig. 15に解析モ

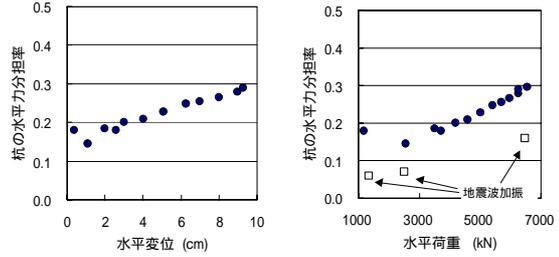


Fig. 13 杭の水平力分担率 (パイルド・ラフト基礎)
Lateral Resistance Ratio of Piles (Piled Raft Foundation)

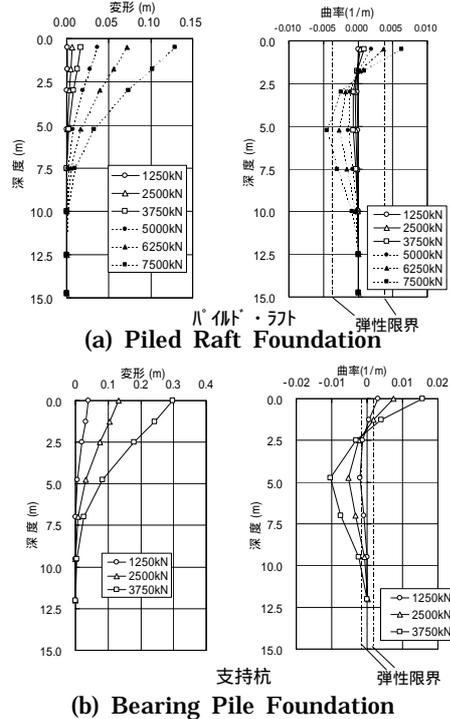


Fig. 14 パイルド・ラフト基礎と支持杭基礎の比較
(杭の変位, 曲率分布)

Displacement and Curvature Distribution of Piles

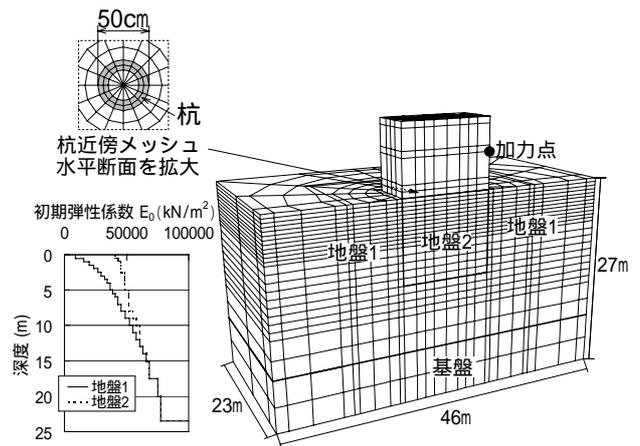


Fig. 15 解析モデル
FEM Model

デルを示す。解析は、杭頭変位量が杭径の10%に達するまでを対象に、杭を弾性、地盤をひずみに依存した非線形材料として行っている。地盤の初期剛性は、表層地盤全体の平均せん断波速度を基に、地盤と建物の自重によ

る拘束圧の変化を考慮して、要素の深度に応じた値を用いた(Fig. 15参照)。地盤の非線形性は、別途実施した室内要素試験結果を基に Misesの相当応力とひずみの関係として与えた。また、パイルド・ラフト基礎のスラブ・地盤間の滑動は、摩擦係数を0.5と仮定して評価し、杭頭部分の拘束条件は、別途実施した支持杭基礎のシミュレーション解析結果を基にモデル化した(固定度 は0.5程度)。

解析結果を代表して、パイルド・ラフト基礎の荷重 - 変位をFig. 16に、前杭の曲げモーメント分布をFig. 17に示す。Fig. 16から、荷重レベルが大きくなると、解析結果における基礎の水平抵抗力は実験結果に比べてやや大きくなる傾向がみられる。これは、実験では変位が大きくなると、基礎スラブの回転による浮上りや杭と背面地盤の離間等により基礎の水平抵抗力が低下するが、今回の解析ではこれらを考慮していないためと考えられる。しかしながら、解析対象範囲(杭径の10%まで)では、FEMによる解析結果は実験で得られたパイルド・ラフト基礎の挙動を、変形、応力とも概ね表現できているといえる。

4. 地震波加振実験と静的加力実験の比較

Fig. 18は、パイルド・ラフト基礎および支持杭基礎の地震波加振実験時と静的加力実験時の杭最大曲率分布を比較したものである。静的加力実験結果は、地震波加振実験における最大慣性力に対応した水平荷重時の曲率分布を絶対値で示している。ここでは、パイルド・ラフト基礎については安全限界地震相当と極大地震相当の結果を、支持杭基礎については小地震相当と損傷限界地震相当の結果を代表して示した。また、図中にはFig. 14と同様に建物自重による軸力を考慮して求めた杭材の弾性限界における曲率を一点鎖線で示した。同図から、支持杭基礎では、地震波加振実験と静的加力実験の結果はほぼ対応するのに対して、パイルド・ラフト基礎では、両実験結果に明確な差異がみられ、杭先端付近を除いて静的加力実験結果の杭曲率は地震波加振実験結果のそれより大きくなっている。この原因として、動的な群杭効果による地震波加振時の杭周地盤ばね値の低下や静的加力時に考慮されない地震時の地盤変形の影響、また、加力方法の違いによる接地圧状態の差異等が考えられる。

5. 水平力に関する実用的設計法

5.1 設計方法

パイルド・ラフト基礎の水平抵抗の検討に際しては、厳密には地盤を介した杭とラフトの相互作用を考慮する必要があるが、ラフト荷重による地盤変位の影響が最も支配的と考えられる。そこで、ここでは、杭に及ぼすラフト荷重の影響を応答変位法で評価した簡易な設計法を提案する。具体的な手順を以下に示す。

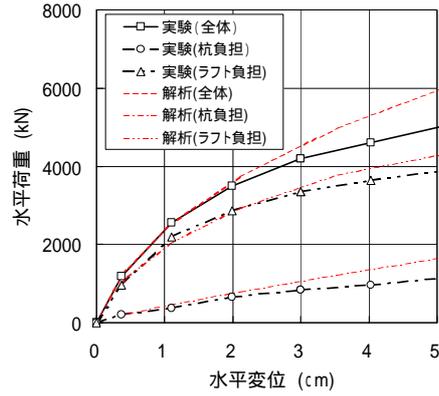


Fig. 16 荷重 - 変位関係 (解析結果)
Load-Displacement Relationship (Calculated Results)

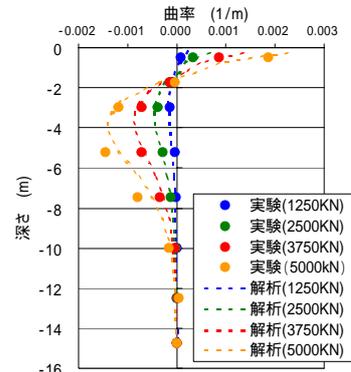
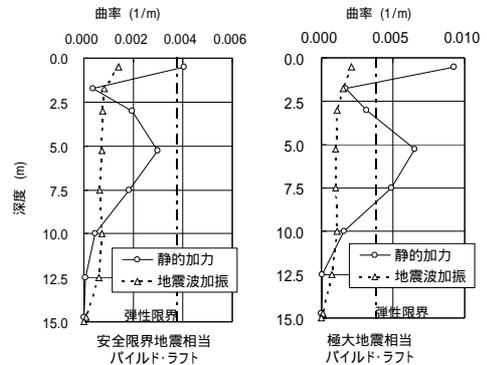
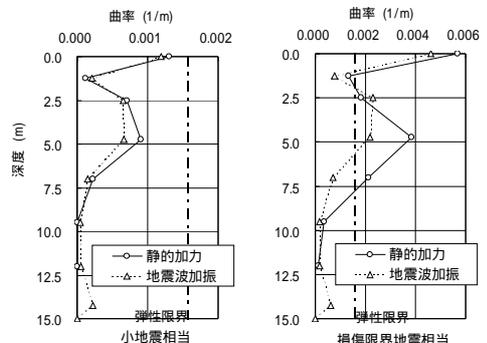


Fig. 17 曲率分布 (解析結果)
Curvature Distribution of Piles (Calculated Results)



(a) Piled Raft Foundation



(b) Bearing Pile Foundation

Fig. 18 静的加力実験と地震波加振実験の比較
Comparison of Curvature Distribution
(Static Loading Test and Seismic Loading Test)

1) ラフト荷重による地盤変位の評価 Fig. 19に示すコーンモデル⁷⁾を用いて、ラフトの荷重～変位関係 (Fig. 21中の曲線(1))および各荷重レベルでの地中の地盤変位分布 (z)を(1)式を用いて算定する。多層系地盤においては、各層の変位を重ね合わせて全体系の地盤変位分布とする。なお、ラフト荷重による地盤変位分布は建物中央位置で代表するものとする。

$$\delta_0 = \frac{Q_r}{K_{hb}}, \quad \delta(z) = \delta_0 \frac{Z_{h0}}{z} \tag{1}$$

$$K_{hb} = \pi G \frac{r_{h0}^2}{Z_{h0}}, \quad Z_{h0} = \pi r_{h0} \frac{2-\nu}{8}$$

2) 杭の分担水平力の評価 ラフトに水平力 Q_r が作用して、ラフト(地表面)が δ_0 変位した場合の、杭の分担水平力および応力・変位を、応答変位法を用いて算定する。すなわちFig. 20に示すように、(1)で算定した地盤変位を、ばねを介して杭に作用させるとともに、杭頭に水平力を作用させて、杭頭変位がラフト変位(δ_0)と等しくなる杭頭水平力 Q_p (Fig. 21中の点(2))を求める。また、この場合の杭の応力・変形を算定する。

3) パイルド・ラフト基礎の荷重～水平変位関係の評価 想定する水平変位に対応するラフトの水平荷重 Q_r と全杭の分担水平力 Q_p とを足し合わせ、パイルド・ラフト基礎に作用する全水平力 Q_{tot} を算定する (Fig. 21中の点(3))。以下、同様の手順で各変位に対応する水平荷重を算定し、パイルド・ラフト基礎の荷重～水平変位関係 (Fig. 21中の曲線(4))を求める。

5.2 適用性の検討

5.2.1 検討条件 ラフト荷重による地盤変位を算定する際の地盤の初期せん断剛性 G_0 は、実験地盤の平均S波速度が $V_s=127\text{m/s}$ であることを考慮して、 $V_s=100\text{m/s}$ (地表面)～ 152m/s (支持層上端)として算定した。なお、等価線形化手法により地盤の非線形性を考慮した。また、応答変位法に用いる地盤の強度・変形定数は、 $V_s=127\text{m/s}$ に相当する地盤のN値を $N=4$ と想定して、経験式により算定した。変形定数に関しては非線形性を考慮した。静的加力実験の結果によれば、水平変位10cm(実物換算)程度まで、杭は概ね弾性範囲にあることから、杭は弾性とした。なお、実験では杭頭の傾斜が認められたため、ここでは実験結果に合わせて杭頭の固定度を低減させている($\alpha=0.5\sim0.6$)。

また、本手法は実用性と簡易性を重視したものであり、前章で述べた動的効果等の影響を考慮しないため、適用性検討のための比較対象は静的加力実験結果とした。

5.2.2 検討結果 パイルド・ラフト基礎の荷重～変位関係に関する、実験結果と解析結果との比較をFig. 22に示す。図中には、杭およびラフトの荷重～変位関係も併記している。Fig. 22から、解析結果は実験結果と比較的良好に対応していることがわかる。ただし、損傷限界を超えると、同一変位における荷重は解析の方がやや大きく

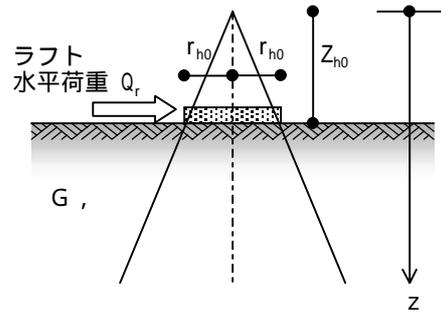


Fig. 19 コーンモデル Cone Model

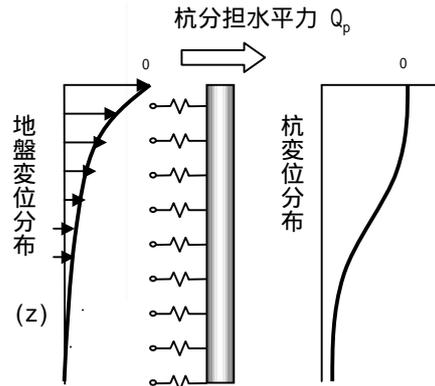


Fig. 20 杭分担水平力の算定法 Calculation of Lateral Load of Pile

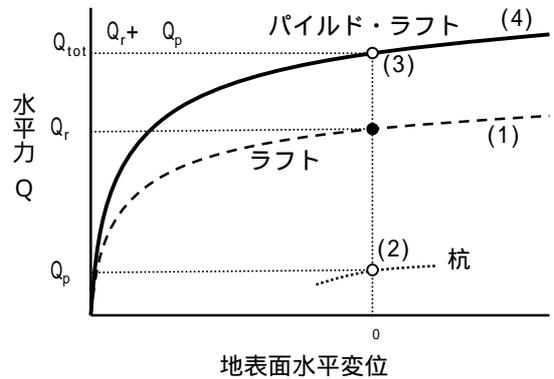


Fig. 21 パイルド・ラフト基礎の水平抵抗 Q- Relationship of Piled Raft Foundation

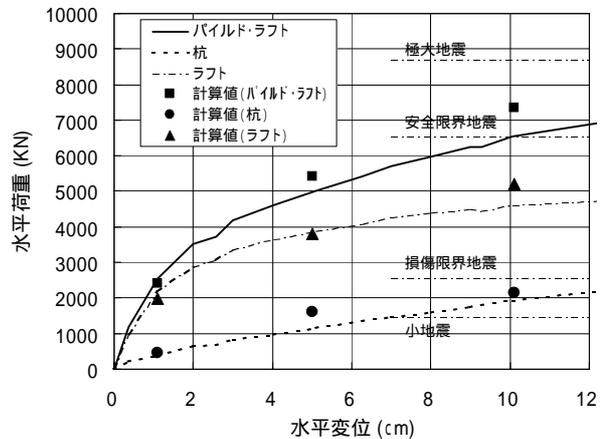


Fig. 22 水平荷重～水平変位関係の比較 Comparison of Q- Relationship

なる傾向にあるため、実設計においては留意する必要がある。なお、損傷限界時および安全限界時における杭の分担率は、それぞれ18.6%、29.3%であり、実験結果とほぼ対応している。

損傷限界時、安全限界時における杭の変位分布および曲げモーメント分布を、それぞれFig. 23およびFig. 24に示す。変位分布、曲げモーメント分布とも、解析結果は実験結果に概ね対応した。

実現象においては、地震波加振実験結果に見られるとおり、本設計法では考慮されない、動的効果や地震時の地盤変位の影響等が杭応力や分担率に現れると考えられるが、前章の結果を鑑みれば、杭応力評価について本設計法が安全側の結果を与えることは明らかであり、簡易性・実用性を重視した実務設計レベルにおいては十分適用可能と考えられる。また、より高度で経済性を追求した設計を行う場合は、2.3節に示したより高精度な方法を選択することが望ましいといえる。

6. まとめ

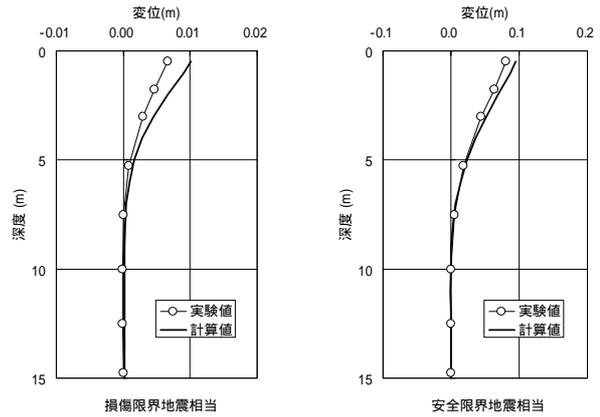
パイルド・ラフト基礎の地震時挙動特性評価と実用的設計法の提案を行い以下の結論を得た。

パイルド・ラフト基礎の地震時挙動特性および水平抵抗特性に関して、

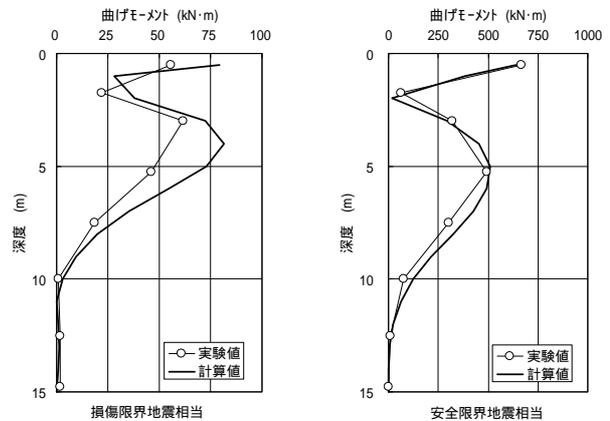
- 1) パイルド・ラフト基礎の杭は支持杭に比べて負担水平力が小さいので、地盤連成効果へ与える影響も少ない。
- 2) 地震動レベルの増大に伴い基礎スラブ底面地盤ばね剛性が低下するため杭のせん断力負担割合が増加する傾向にある。
- 3) パイルド・ラフト基礎は、支持杭基礎に比べて水平抵抗力が大きく、同一荷重時の杭応力は極めて小さくなる。
- 4) 杭頭の変位が同じ場合、パイルド・ラフト基礎では基礎スラブ底面密着の影響により、杭が負担する水平力は支持杭より若干小さくなる。
- 5) 静的加力実験によるパイルド・ラフト基礎の杭応力と同等の建物慣性力が作用する地震波加振実験によるそれを比較すると、動的効果や地震時の地盤変形の影響等により、前者のほうが大きくなる傾向が認められる。

パイルド・ラフト基礎の水平抵抗に係わる実用的設計法の提案に関して、

- 6) 提案設計法は、パイルド・ラフト基礎の杭応力評価において、安全側の評価を与えるものであり、簡易性・実用性を重視した実務設計レベルにおいては十分適用可能である。
- 7) 動的効果や地震時の地盤変位の影響が大きいと考えられる場合や、より高度で経済性を追求した設計を行う場合には、より高精度な動的解析方法を選択することが望ましい。



(a) Damage Limit (b) Safe Limit
Fig. 23 杭変位分布の比較
Comparison of Pile Displacement Distribution



(a) Damage Limit (b) Safe Limit
Fig. 24 杭応力の比較
Comparison of Bending Moment of Pile

参考文献

- 1) 真野英之, 中井正一, 他: 水平力を受けるパイルドラフト基礎の遠心模型実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp. 661~664, (2002.8)
- 2) 建設省: 建設省告示第1461号, (2000.5)
- 3) 日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会特定研究課題1-SWG1, 日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会: 1995年兵庫県南部地震強震記録資料集, (1996.1)
- 4) 藤森健史, 他: 動的地盤ばねの周波数依存性を考慮した群杭基礎構造物の非線型地震応答解析法, 大林組技術研究所報, No.56, pp. 9~14, (1998.1)
- 5) 栗本修, 他: 周辺地盤の液状化および杭の非線形性を考慮した杭支持建物の地震応答解析, 大林組技術研究所報, No.60, pp. 73~80, (2000.1)
- 6) 藤森健史, 他: 大型遠心せん断力槽実験に基づく群杭基礎の強震時応力特性評価, 大林組技術研究所報, No.66, pp. 31~36, (2003.1)
- 7) 国土交通省建築研究所: 改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景, pp. 79~83, (2001.3)