

地下階を有する異種基礎の水平挙動

渡 辺 和 博 佐 原 守
西 山 高 士 鈴 木 直 子

Lateral Behavior of Composite Foundation with Underground Floors

Kazuhiro Watanabe Mamoru Sahara
Takashi Nishiyama Naoko Suzuki

Abstract

A composite foundation should be designed carefully to control the torsion behavior between the spread and the pile foundation parts. This paper examines the lateral behavior of a composite foundation by both the centrifuge model test and the finite element method analysis. The results obtained are as follows. The lateral load sharing ratio of the spread foundation part is larger than its vertical live load sharing ratio. The time at which the sharing loads of each foundation part become the maximum differs depending on the arrangement of those foundation parts with respect to the load direction. Further, piles closer to the spread foundation part share lower lateral loads. We also found that the pile head loads can be estimated reasonably using the abbreviated calculation method.

概 要

異種基礎は、一つの建物を支持するために異なる基礎形式を組合せた基礎である。異種基礎の設計では、基礎形式ごとの鉛直挙動や水平挙動の違いを考慮し、不同沈下やねじれの影響を慎重に検討する必要がある。本研究では、地下階を有する異種基礎に着目し、その地震時の水平挙動を遠心模型加振実験と有限要素法による数値解析で検討した。その結果、異種基礎が水平力を受ける際には、地下階を支持する直接基礎部における地震時の水平荷重分担率は常時の鉛直荷重分担率より大きいこと、加振方向に対する直接基礎部と杭基礎部の並び方によって各基礎部の分担荷重が最大となる時刻が異なること、直接基礎部に近い杭ほど水平分担荷重が小さいことが明らかになった。さらに、杭の水平分担荷重の評価に略算法を適用できることを見出した。

1. はじめに

杭基礎と直接基礎を組合せて異種基礎として一つの建物を支持する場合、杭基礎部と直接基礎部のそれぞれが鉛直方向にも、水平方向にも異なる挙動を示す。すなわち、常時には不同沈下の発生の懸念が、地震時にはねじれの発生の懸念がある。したがって、力の釣合い条件と変形の連続条件を満足する詳細な数値解析を行い、その結果を踏まえた慎重な設計を行う必要がある。Fig. 1に示すように同じ建物の中に地下階の有る部分と無い部分があり、地下階の有る部分を直接基礎で、地下階の無い部分を杭基礎で支持する場合がある。この異種基礎を採用する場合、特に地震時のねじれに対する検討を慎重に行う必要がある¹⁾。

一方、このような地下階を有する異種基礎のねじれ挙動に関する既往の報告²⁾⁻⁵⁾はあるものの、杭基礎部と直接基礎部の水平荷重分担率には不明な点が多い。また、実務設計では、杭基礎部の各杭頭に作用する常時軸力に水平震度を乗じて得た値を、各杭の水平分担荷重とする略算法を利用している。すなわち、各杭の常時の鉛直荷重分担率が、地震時の水平荷重分担率と等しいと想定し

ているが、この略算法の妥当性も明らかではない。

そこで本論文では、まず地震時の杭基礎部と直接基礎部の水平分担荷重の実状を把握するために実施した、遠心模型加振実験の結果を示す。なお、異種基礎が共振を起こす場合の水平挙動は非常に複雑であるため、ここではまず共振しない場合について検討する。代表的な例として、杭の長さが一定で、建物の全接地面積に対して杭基礎部の占める面積が50%の異種基礎を対象とした。続いて、この実験結果に対する再現解析を実施し、解析手法の妥当性の検証結果を示す。共振しない場合を対象としていることから、静的解析にて検証を行った。さらに、

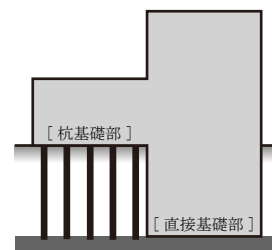


Fig. 1 地下階を有する異種基礎
A composite Foundation with Underground Floors

検証した解析手法を利用して、基礎全体に占める杭基礎部の面積率と建物の重心位置を種々変化させた場合の杭に生じる水平分担荷重を検討した。また、略算法による水平分担荷重と解析結果による水平分担荷重の比較を行い、略算法の適用性を検討した結果を示す。

2. 遠心模型加振実験

2.1 実験条件

地下階を有する異種基礎の水平挙動を明らかにすることを目的として、遠心模型加振実験を実施した。Fig. 2に、遠心模型の平面図および断面図を、Photo 1に模型の外観を示す。同じ建物の中に地下階の有る部分と無い部分があり、地下階の有る部分を直接基礎で、地下階の無い部分を杭基礎で支持する異種基礎を実験の対象とした。実験は1/50模型を用い、50 G場で行った。以降、実験に関する数値は原則として1 G場に換算した値を表記し、模型スケールを表記する場合にはそれを明示した。

異種基礎の平面形状は20 m×10 mの長方形で、10 m×10 mの同じ平面寸法を持つ杭基礎部と直接基礎部から成る。直接基礎の底面と、杭の先端面の深さは基盤層上端面にあつて根入れはなく、深さはいずれもG.L. -7 mである。形状が同じ基礎模型を2つ用意し、Fig. 2に示すように向きを変えて配置した。以降、模型の長辺方向に加振し杭基礎部と直接基礎部が水平力に対して直列に抵抗する模型を直列モデル、短辺方向に加振し水平力に対して並列に抵抗する模型を並列モデルと称する。模型杭は、直径1 mの場所打ち杭を想定し、等価な曲げ剛性を持つステンレス鋼管で作製した。杭頭の接合条件は、回転を

拘束する剛接合とした。

単位床面積あたりの建物重量は、RC造14階建ての建物に相当する206 kN/m²とした。また、上部構造は剛なモデルを想定し、建物重量に相当する重錘を建物の1階レベルに設置した。

地盤は、N値が10未満のゆるい砂からなる表層とN値が50程度の基盤層の2層地盤を想定した。基盤層には一軸圧縮強さが1,100 kN/m²のソイルモルタルを用いた。表層には7号珪砂を用い、乾燥砂の状態では相対密度を47%とした。土槽の平面寸法は、100 m×33 m(模型寸法2,000 mm×660 mm)である。土槽は上下2段に分かれており、下部15 m(模型寸法で300mm)が加振時にも変形しない剛土槽、その上に側壁が加振時にせん断変形をするせん断土槽が組合せられている。実験では、剛土槽部分が基盤層、せん断土槽部分が表層になるよう基盤層高さを設定した。

地震力は振動台を用いて土槽底面に与えた。Fig. 3に土槽底面へ与えた入力波を示す。稀に発生する地震による荷重を想定し、周期1.0 s、最大加速度1.5 m/s²、継続時間120 sの正弦波を入力波とした。

2.2 計測項目と計測方法

Fig. 2の赤丸で示す位置で加速度を計測した。模型杭には、地表面レベルとそれより0.5 m上の突出部の2断面にひずみゲージを貼付し、曲げひずみを計測した。Fig. 4に直接基礎部の荷重計測点を示す。直接基礎部の側面および底面の各面は独立しており、それぞれのパネルは片持ち梁で支持されている。片持ち梁の図示した位置でひずみを計測し、ここから、各面に垂直に作用する受働抵抗力と各面に平行に作用する摩擦力を算出した。

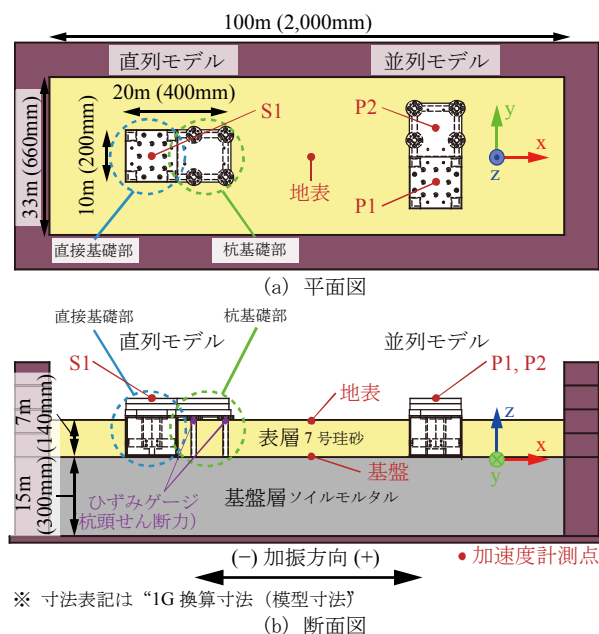


Fig. 2 遠心模型の平面図および断面図
Plan and Cross Section of the Centrifuge Model

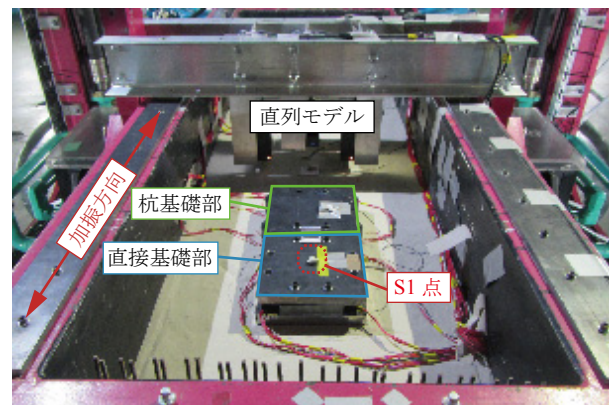


Photo 1 遠心模型
Centrifuge Model

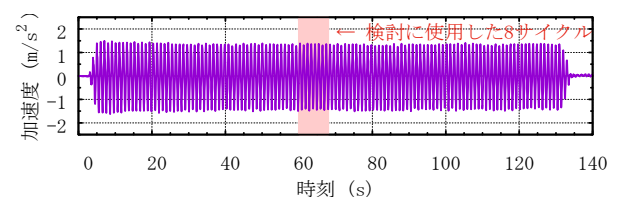


Fig. 3 入力波
Input Wave

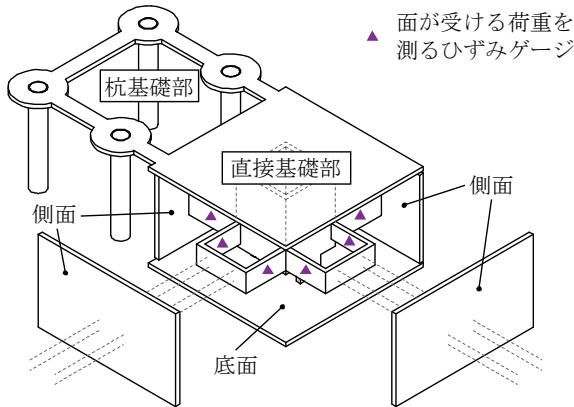


Fig. 4 直接基礎部の荷重計測点
Measurement Points on the Spread Foundation Part

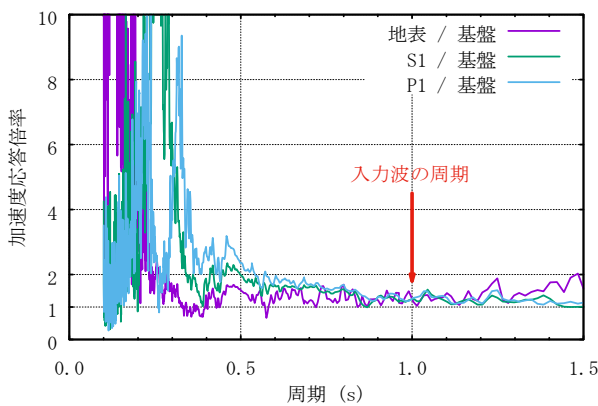


Fig. 5 遠心模型の加速度応答倍率
Acceleration Amplification Factor of the Model

2.3 実験結果

Fig. 5に実験で得られた地表、S1およびP1の各計測点の基盤に対する加速度応答倍率を示す。表層地盤、直列モデル、および並列モデルの固有周期は0.4 sよりも短く、入力波の周期1.0 sに対する各部の応答倍率はほぼ1である。すなわち、入力波の周期は、異種基礎の固有周期より十分長く、共振は発生していない。

Fig. 6に直列モデルのS1点にて計測された応答加速度の時刻歴の一部を示す。加振開始60 s～68 sの8サイクルの記録を、サイクルごとに重ねて示した。この8サイクルの範囲はFig. 3中に赤で示してある。Fig. 6に示した加速度は、8サイクル全てがほぼ同じ波形を描いており、基礎の応答は定常振動の状態であることが確認できる。以降の実験結果は、この8サイクルを算術平均した値を示す。

Fig. 7に1階スラブの応答加速度として、直列モデルのS1点、並列モデルの直接基礎部P1点および杭基礎部P2点の計測値を示す。最大加速度はS1では 2.21 m/s^2 、P1では 2.05 m/s^2 、P2では 2.19 m/s^2 となり、応答加速度に大きな差異は見られなかった。Fig. 7では、それぞれを基盤面の応答加速度と比較している。いずれの地点も基盤面との位相差は小さい。P1とP2を比較しても位相差はなく、顕著なねじれ振動は確認できなかった。

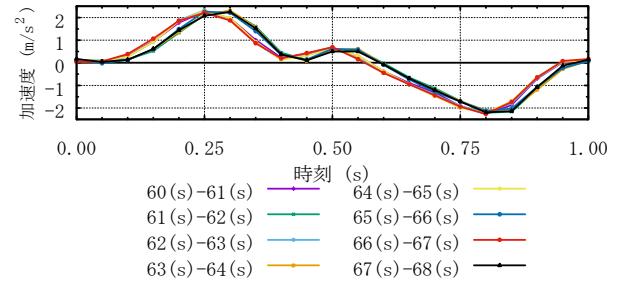


Fig. 6 S1点の応答加速度(8周期分を重ねて表示)
Acceleration Response at Point S1 (Overlaid 8 Cycles)

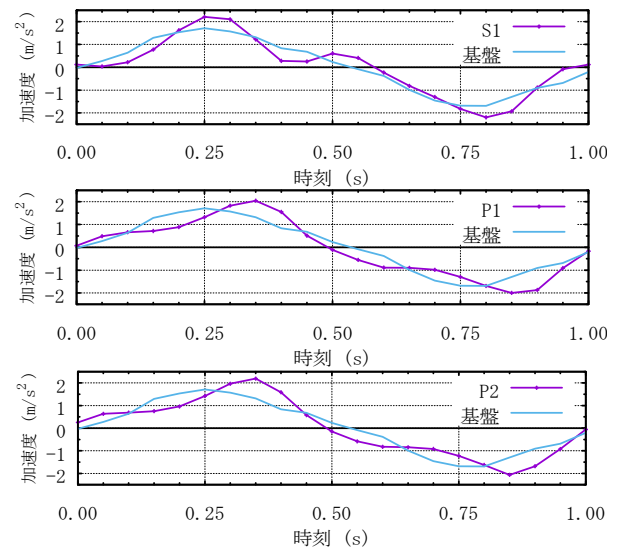


Fig. 7 1階スラブの応答加速度
Acceleration Responses on the 1st Floor Slabs

Fig. 8に基礎各部の水平分担荷重を示す。分担荷重は、直接基礎部の側面に垂直に作用する受働抵抗力、直接基礎部の側面に作用する摩擦力、直接基礎部の底面に作用する摩擦力および、杭頭荷重に分けて算出し、色を塗り分けて示した。以降、それぞれを側面受圧、側面摩擦、底面摩擦、杭頭荷重と称する。ただし、並列モデルに関しては、底面摩擦を測る2つのひずみゲージのうち1つに不具合があり、底面摩擦のおよそ半分の荷重が計測されなかった。Fig. 8では計測できた値のみを参考値として示す。最大荷重を比較すると、直列モデルが7,500 kN、並列モデルが6,900 kNとなり、直列モデルの方が僅かに大きい。これは直列モデルの方が応答加速度が大きいことによる。直列モデルの分担荷重を見ると、杭基礎部と直接基礎部は同時刻に最大荷重が発生している。各部の荷重分担率も荷重の大小や正負によらず、ほぼ一定であった。一方、並列モデルで得られた分担荷重を見ると、基礎の各部の荷重が最大値を迎える時刻が異なった。荷重の増加とともに、まず底面摩擦が発生し、続いて側面摩擦と側面受圧、最後に杭頭荷重が発生する。これは、杭基礎部と直接基礎部の水平挙動の違いにより、慣性力にねじれが生じたためと考えられる。底面摩擦が最大となる時刻から見て、杭頭荷重が最大となる時刻は0.1 s (= 1/10周期)遅れ

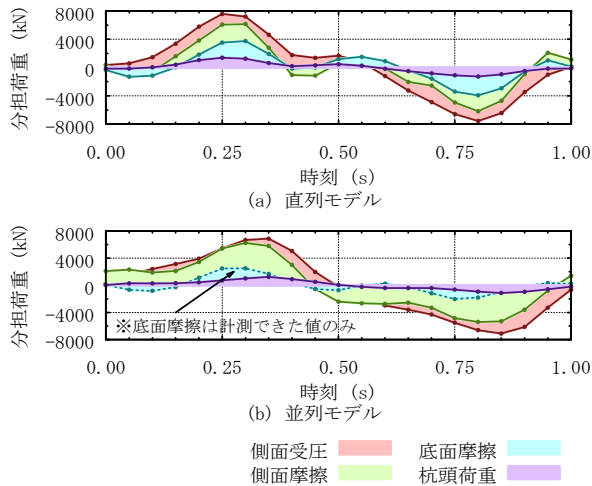


Fig. 8 基礎各部の水平分担荷重

Lateral Load Respect to Foundation Parts

Table 1 慣性力最大の時の各部の荷重分担率

Load Sharing Ratio at Maximum Inertial Force

	杭基礎部	直接基礎部		
		杭頭荷重	側面受圧	側面摩擦
直列モデル	18%	20%	34%	28%
並列モデル	18%	- ※	- ※	- ※

※ 並列モデルは底面摩擦の絶対値が不明なため算出せず。

ている。荷重分担率は側面摩擦の比率が最も大きい。

Table 1に、建物の慣性力が最大となる時の各部の荷重分担率を示す。並列モデルの直接基礎部の分担は、参考値として示した。並列モデルについては直列モデル、並列モデルのいずれにおいても、直接基礎部の荷重分担率が大きく、杭基礎部と直接基礎部の荷重分担率は、およそ2:8の割合であった。

3. 再現解析

3.1 解析条件

異種基礎の水平挙動を詳細に把握するため、2章で実施した遠心模型加振実験の有限要素法(FEM)による再現解析を行った。解析には、汎用FEM解析ソフトSoilPlus[®]を用いた。解析手法は、静的プッシュオーバー解析とし、直列モデルと、並列モデルについて個別に解析を行った。

Fig. 9に並列モデルのFEMメッシュを示す。地盤には、非線形ソリッド要素を用いた。Table 2に地盤に与えた物性値を示す。物性値は実験に用いた砂の繰返し三軸試験、およびソイルモルタルの一軸圧縮試験の結果に基づいて設定した。Fig. 10に地盤のせん断剛性-せん断ひずみ関係($G/G_0-\gamma$ 関係)¹⁾を示す。

1階スラブのモデル化には線形のシェル要素を、地下階には線形のソリッド要素を用い、鋼材で作製した遠心模型と等価な剛性を与えた。Fig. 11に杭のモデルを示す。杭には、軸、せん断および曲げ剛性を表現する線形の梁

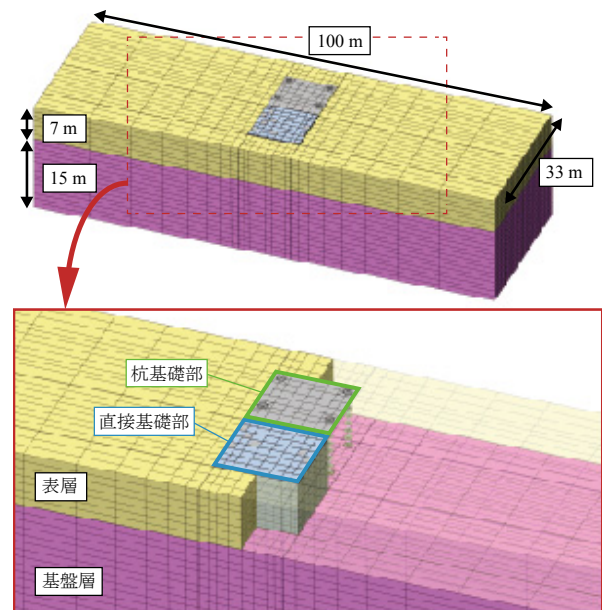


Fig. 9 再現解析FEMモデル

FEM Model for Simulation

Table 2 地盤の物性値

Material Constant of Soil

	初期弾性係数	ポアソン比	$G/G_0-\gamma$ 関係
表層	$1.02 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$	0.33	砂
基盤層	$2.50 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$	0.45	粘土

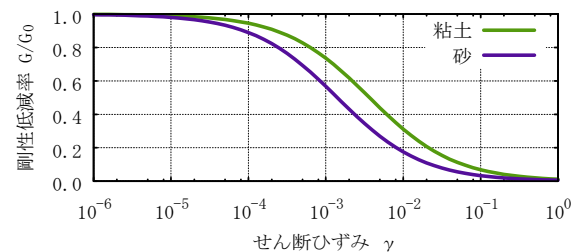


Fig. 10 せん断剛性-せん断ひずみ関係

Relationships Between Shear Stiffness and Shear Strain

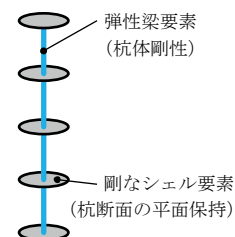


Fig. 11 杭のハイブリッドモデル

Hybrid Model (FEM Pile Model)

要素と、断面の平面保持のための剛なシェル要素を組合せたハイブリッドモデル⁷⁾を用いた。

地盤と杭、および地盤と直接基礎の間には剛塑性ジョイント要素を設け、剥離と摩擦を考慮した。Table 3にジョイント要素の極限摩擦力度を示す。杭周囲および直接

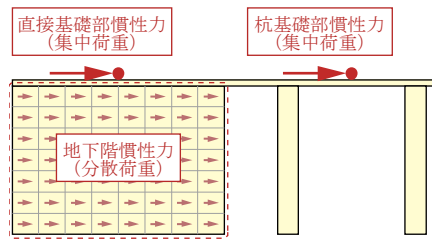


Fig. 12 荷重の入力位置
Position of Input Load

Table 4 入力荷重
Input Loads

	直接基礎部 慣性力	杭基礎部 慣性力	地下階 慣性力
直列モデル	3,876 kN 2.21 m/s ² ×1,750 ton	1,984 kN 2.10 m/s ² ×950 ton	1,718 kN 1.41 m/s ² ×1,210 ton
並列モデル	3,589 kN 2.05 m/s ² ×1,750 ton	2,087 kN 2.19 m/s ² ×950 ton	1,191 kN 0.98 m/s ² ×1,210 ton

Table 3 ジョイント要素の極限摩擦力度
Ultimate Friction of Joint Element

杭の周面および 直接基礎の側面	16 kN/m ² (摩擦係数0.5)
直接基礎の底面	114 kN/m ² (摩擦係数0.4)

Table 5 各部の荷重分担率(FEM計算値)
Load Sharing Ratio (FEM Results)

	杭基礎部	直接基礎部		
	杭頭荷重	側面受圧	側面摩擦	底面摩擦
直列モデル	17%	83%		
		32%	27%	24%
並列モデル	22%	78%		
		34%	29%	15%

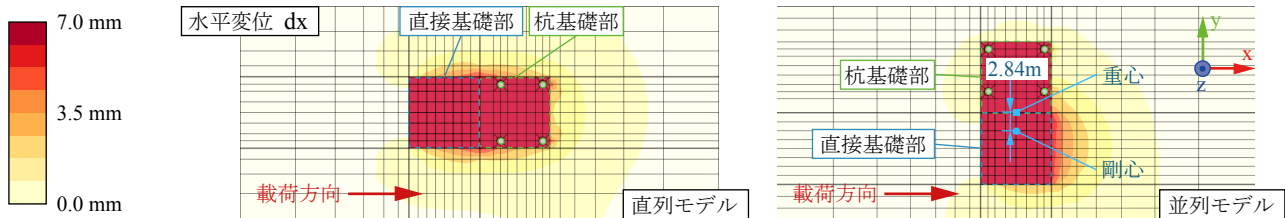


Fig. 13 x方向変位
Displacement of x-direction

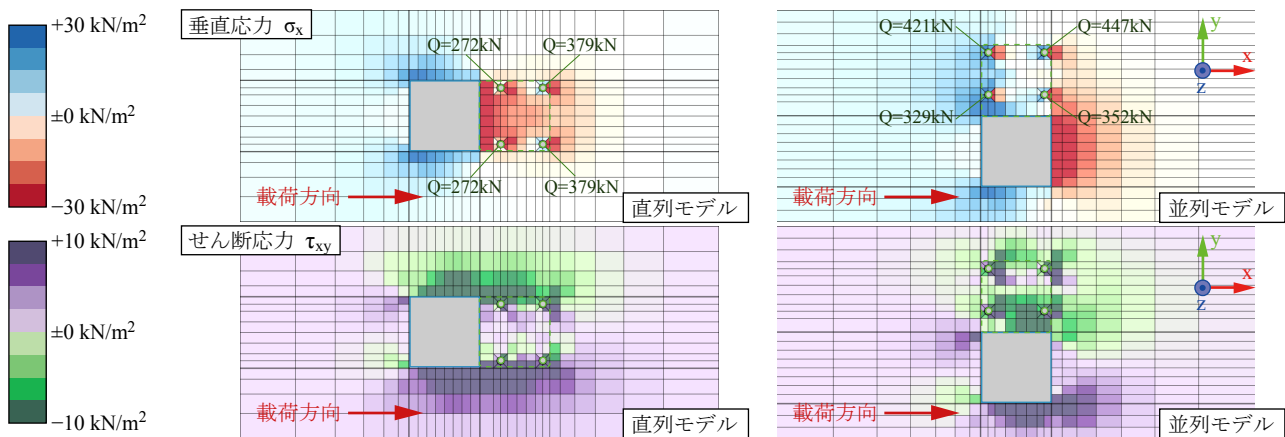


Fig. 14 増加地中垂直応力 σ_x および増加地中せん断応力 τ_{xy}
Incremental Normal Stress σ_x and Shear Stress τ_{xy} in the Ground

基礎部の側面摩擦には、根入れ長の 2/3 にあたる G.L. -4.7 m における静止土圧に、鋼材と表層の摩擦係数を乗じた値を用いた。直接基礎部の底面摩擦には、基礎の平均接地圧に鋼材と基盤層の摩擦係数を乗じた値を用いた。摩擦係数は Table 3 に示す値で、それぞれ解析結果から同定した。この値は既往の砂と鋼材の摩擦試験結果⁸⁾ および直接基礎の滑動抵抗の評価に用いる摩擦係数の概算値⁹⁾ とも対応する。

Fig. 12 に荷重の入力位置を示す。地上階の慣性力を建物 1 階スラブに集中荷重として、地下階の慣性力をソリッド要素に分散荷重としてそれぞれ与えた。Table 4 に入力荷重の一覧を示す。荷重は、遠心模型加振実験において各測点で得られた応答加速度から算出した。

3.2 解析結果

Table 5 に解析で得られた各部の荷重分担率を示す。い

ずれのケースにおいても杭基礎部と直接基礎部の荷重分担率はおおよそ2:8の割合で、遠心模型加振実験と同様の傾向を再現している。

Fig. 13にx方向(载荷方向)の変位コンターを示す。直列モデルは、基礎全体がx方向に平行移動し、ねじれ変位は生じなかった。並列モデルも、杭基礎部と直接基礎部はほぼ同じ変位となり、ねじれ変位は極めて小さい。Fig. 13の並列モデルには、解析結果から算定した基礎の剛心位置および重心との偏心距離を示してある。基礎の剛心は建物中央よりやや直接基礎側に位置し、偏心距離は2.84 (m)であった。遠心模型加振実験では、並列モデルにおいて、偏心による慣性力のねじれが生起し、基礎の各部の水平荷重に位相差を生じさせたと考えられる。

Fig. 14に、モデルの地表面レベルにおけるx方向の増加地中垂直応力 σ_x 、および xy方向の増加地中せん断応力 τ_{xy} を示す。杭基礎部と直接基礎部が接する部分の地中応力を見ると、直列モデルでは、直接基礎部から地中に伝播する垂直応力によって、隣接する杭の周辺地盤にも大きな垂直応力が生じている。一方、並列モデルでは、直接基礎部から地中に伝播するせん断応力によって、隣接する杭の周辺に大きなせん断応力が生じている。Fig. 14には、杭頭の水平分担荷重 Q の値も示した。水平分担荷重は、直接基礎部に近い杭ほど小さくなる傾向が見られる。

4. 杭基礎部の面積率と建物の重心位置を変化させた解析的検討

4.1 解析条件

基礎全体に占める杭基礎部の面積率および建物の重心位置と、杭基礎部の水平荷重分担率の関係を明らかにすることを目的として、解析的検討を実施した。Fig. 15に検討パラメータを示す。ここでは、杭基礎部の面積率と、建物の重心位置をパラメータとし、解析ケースとしてTable 6に示す12ケースを設定した。

Fig. 16に解析検討モデルを示す。3.1節と同様に、汎用FEM解析ソフトSoilPlusを用いて有限要素法による静的ブッシュオーバー解析を実施した。本検討では、希に発生する地震による荷重を想定している。地盤内に発生するひずみは小さく、地盤の非線形の影響が小さいことを予備解析を行って確認した。これを踏まえ、地盤は線形のソリッド要素でモデル化した。Table 7に地盤の物性値を示す。表層はN値10未満のゆるい砂層、基盤層はN値50程度の砂礫層に相当する物性値をそれぞれ与えた。1階スラブを剛な線形シェル要素、地下階を線形のソリッド要素、杭をハイブリッドモデルでそれぞれモデル化した。杭と地盤の間には、ジョイント要素を設け、剥離と摩擦を考慮した。Table 8に極限摩擦力度を示す。極限摩擦力度は、コンクリートと地盤の標準的な摩擦係数として、建築基礎構造設計指針¹⁾に示された埋込み杭の極限摩擦力度、直接基礎の滑動抵抗評価に用いる極限摩擦力度をそれぞれ与えた。建物平面は32 m×16 mの長方形で、地

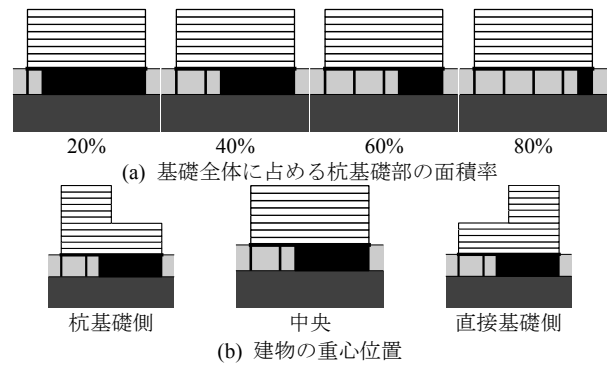


Fig. 15 検討パラメータ

Study Parameters

Table 6 検討ケース

Study Cases

		杭基礎部の面積率			
		20%	40%	60%	80%
重心位置	杭基礎側	case 1	case 4	case 7	case 10
	中央	case 2	case 5	case 8	case 11
	直接基礎側	case 3	case 6	case 9	case 12

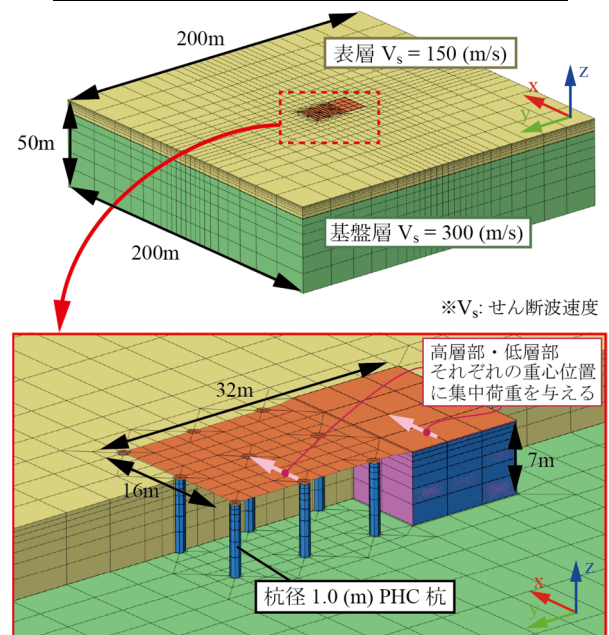


Fig. 16 解析検討モデル

FEM Model for Parametric Study

Table 7 地盤の物性値

Material Constant of Soil

	初期弾性係数	ポアソン比
表層	6.00×10^4 kN/m ²	0.30
基盤層	2.40×10^5 kN/m ²	0.30

Table 8 ジョイント要素の極限摩擦力度

Ultimate Friction of Joint Element

杭周の面および直接基礎の側面	30 kN/m ² (埋込み杭の極限摩擦)
直接基礎の底面	75 kN/m ² (直接基礎の滑動抵抗)

下階底面深度および杭先端深度はG.L. -7 mである。

Fig. 16に示すように、高層部、低層部それぞれの重心位置に水平荷重を集中荷重として与えた。載荷の方向は、杭基礎部と直接基礎部が荷重に対して並列に抵抗する向きとした。Table 9に入力荷重を示す。重心位置が中央のケースでは、荷重はRC造 9階建てに相当する自重に、重心位置に偏りがあるケースでは、高層部をRC造 12階、低層部をRC造 6階に相当する自重に、それぞれ水平震度 0.2を乗じた値とした。

4.2 解析結果

Fig. 17に代表的な解析結果として、重心位置に偏りがなく、基礎全体に占める杭基礎部の面積率が60 %である case 8の水平変位を示す。水平変位は杭基礎側の端部で6.3 mm、直接基礎側の端部で3.2 mmとなり、わずかながらねじれ変位が認められる。地盤に生じる変位は、Fig. 13で示す再現解析結果と同様の分布が見られる。

Fig. 18に、杭基礎部の面積率とねじれ変形角の関係を示す。杭基礎部の面積率の増加に対応して、ねじれ変形角も増大するが、その値は 10^{-4} 程度とわずかである。

Table 10に各ケースの杭基礎部の荷重分担率を示す。いずれのケースも杭基礎部の面積率に比べて、荷重分担率は小さくなっている。遠心模型加振実験とは基礎の平面規模や地盤の極限摩擦力が異なるため、単純な比較はできないものの、定性的な傾向は一致する。

Table 11にケースごとに各杭に生じた杭頭の水平分担荷重の解析値、および、後述する水平分担荷重の略算値の安全率を示す。表の上段に示した水平分担荷重には、直接基礎部に近いほど小さく、遠いほど大きくなる傾向が見られ、再現解析から得られた結果とも一致する。

Fig. 19に、実務設計で用いられている、各杭頭の水平分担荷重の略算法を示す。略算法では、各杭の常時軸力はその負担面積に比例し、水平分担荷重も、常時軸力に比例して配分されると仮定する。

略算法の適用性を確認するため、Table 11の下段には略算法で算定した水平分担荷重を、FEMから得られた水平分担荷重で除し、略算法で設計を行った場合の安全率を示す。地下階を有する異種基礎においては、杭基礎部の荷重分担率とその基礎全体に占める杭基礎部の面積率に比べて小さくなるため、水平分担荷重を略算法で評価した場合の安全率は平均的には1.0を上回り、安全側の評価となる。最も安全率が小さいのは、重心位置が直接基礎側にある場合の、直接基礎部から遠いX1通の杭で、安全率は0.78である。概算段階の余裕度として2割程度を見込むと、略算法で水平分担荷重を評価できる。

5. まとめ

本研究では、杭の長さが一定で、地下階を有する異種基礎の水平挙動について、遠心模型加振実験、および数値解析により検討した。得られた知見を以下に示す。

Table 9 入力荷重

		Input Load	
		杭基礎部	直接基礎部
重心位置	杭基礎側	9,216 kN	4,608 kN
	中央	6,912 kN	6,912 kN
	直接基礎側	4,608 kN	9,216 kN

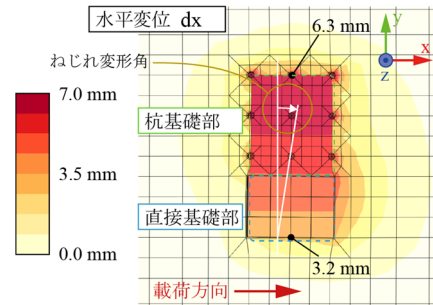


Fig. 17 case 8の水平変位
Horizontal Displacement in Case 8

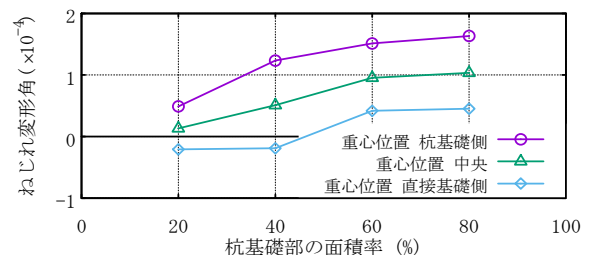


Fig. 18 杭基礎部の面積率とねじれ変形角
Relationships Between Area Ratio of Pile Foundation Part and Torsion Angle

Table 10 杭基礎部の荷重分担率
Load Sharing Ratio of Pile Foundation Part

		杭基礎部の面積率			
		20%	40%	60%	80%
重心位置	杭基礎側	10%	34%	47%	68%
	中央	8%	29%	40%	61%
	直接基礎側	7%	24%	34%	54%

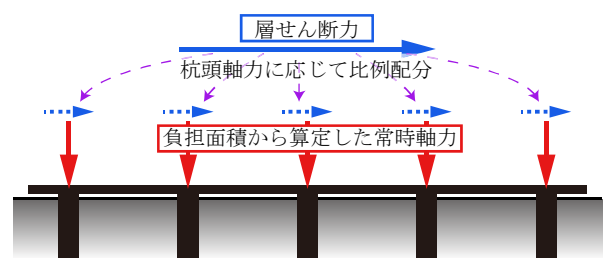


Fig. 19 杭頭の水平分担荷重の略算法
Abbreviated Calculation Method for Pile Head Load

Table 11 杭頭の水平分担荷重の解析値および略算値の安全率

Pile head loads of FEM analysis and safety factor of abbreviated method calculation

[杭基礎部] [直接基礎部]					
	X1				
通芯	X1				
重心位置	杭基礎側	449.8 2.73			
	中央	375.6 2.45			
	直接基礎側	309.7 1.98			
(a) case 1, 2, 3					
[杭基礎部] [直接基礎部]					
	X1	X2			
通芯	X1	X2			
重心位置	杭基礎側	987.2 1.24	583.0 2.11		
	中央	818.8 1.13	514.0 1.79		
	直接基礎側	664.5 0.92	454.9 1.35		
(b) case 4, 5, 6					
[杭基礎部] [直接基礎部]					
	X1	X2	X3		
通芯	X1	X2	X3		
重心位置	杭基礎側	989.1 1.24	717.9 1.71	439.2 2.10	
	中央	812.5 1.13	618.6 1.49	413.9 2.23	
	直接基礎側	650.4 0.94	526.1 1.17	370.8 2.49	
(c) case 7, 8, 9					
[杭基礎部] [直接基礎部]					
	X1	X2	X3	X4	
通芯	X1	X2	X3	X4	
重心位置	杭基礎側	1,158.2 1.06	881.8 1.39	675.7 1.36	420.7 1.46
	中央	969.5 0.95	774.7 1.19	644.4 1.43	429.1 2.15
	直接基礎側	792.0 0.78	671.2 0.92	590.6 1.56	436.9 2.81
(d) case 10, 11, 12					

上段: 杭1本あたりの水平分担荷重 (kN) (FEM解析値)

下段: 略算法で設計した場合の安全率 (= 略算値/FEM解析値)

- 1) 地下階のある直接基礎部は底面摩擦力のみならず、側面摩擦力や側面受働抵抗力も大きいので、水平荷重分担率が大きい。その水平荷重分担率は、常時の鉛直荷重分担率よりも大きくなる。
- 2) 杭基礎部と直接基礎部と並列に抵抗する向きに水平荷重を受けると、大局的には杭基礎部より直接基礎部が、局所的には直接基礎部の側面の受働抵抗力より側面の摩擦力が先に抵抗する。各抵抗力の最大値は、異なる時刻に発生する。
- 3) 地下階を支持する直接基礎部に近い杭ほど水平分担荷重は小さい。
- 4) 各杭の負担面積から算定した常時軸力に、水平震度を乗じた値を杭の水平分担荷重と仮定する略算法の妥当性を定量的に検討した。略算法は概ね安全な評価が可能であるが、直接基礎から遠い杭では水平分担荷重を2割程度小さく評価する場合が見られた。略算法を適用する際には設計上の余裕度を見込む必要がある。

既存建物の建替え計画では、既存地下躯体と新設地下躯体の深度や平面的な位置関係により、結果的に異種基礎となる場合がある。本研究で得られた知見を今後の異種基礎の安全かつ合理的な設計に役立てたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 第2版, 486p.,

2001.10

- 2) 長瀧慶明, 田口典生, 長尾俊昌, 真島正人: 異種基礎の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 407-410, 2001.9
- 3) 金田菜都美, 篠崎洋三, 渡辺征晃, 渡邊徹, 長尾俊昌: 既存地中構造物に近接する異種基礎の検討と沈下計測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 683-686, 2010.9
- 4) 佐原守, 鈴木直子, 北山宏貴, 富安祐貴: 床付け深度の異なる超高層免震建物を支持する異種基礎, 第50回地盤工学研究発表会(札幌), pp. 1279-1284, 2015.9
- 5) 佐原守, 鈴木直子, 富澤健, 今林光秀, 富安祐貴, 並木康弘: 異種基礎に支持させた基礎底面深度の異なる超高層駅ビル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 609-614, 2015.9
- 6) 伊藤忠テクノソリューションズ: Soil Plus 2017, 2017.10
- 7) 小西厚夫, 渡辺一成, 鈴木直子, 関崇夫, 佐藤清, 茶谷文雄: 超高層タワーを支持する壁節杭の群杭効果の評価, 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第37号, pp. 855-860, 2011.10
- 8) 加藤史彦, 山肩邦男, 小椋仁志, 伊藤淳志: 摩擦試験による砂一杭材間の摩擦特性の検討(その1 中空単純せん断試験機を用いた試験の結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1785-1786, 1993.