

# 遠心振動台実験シミュレーションによる埋込み基礎を有する建物の地震時挙動評価

## Earthquake Response Analysis of Buildings with Embedded Foundation on Centrifuge Shaking Table Test

岩本賢治 萩原一 内海耀司  
鈴木康嗣 安達直人 秀川貴彦<sup>1)</sup>  
酒向裕司<sup>2)</sup> 古山田耕司<sup>1)</sup> 土合博之<sup>1)</sup>

### 要 約

埋込みを有する建物の地震時挙動を精度良く評価するためには、埋込み部の影響を適切に考慮した動的相互作用モデルによる検討が必要である。本報告では建物・基礎・地盤を一体でモデル化した実用的な相互作用解析モデルの提案を行うとともに、遠心振動台実験シミュレーションを通じて、解析モデルの妥当性について検討した。検討対象は直接基礎及びパイルド・ラフト基礎であり、拘束圧の影響を考慮して設定した地盤物性に基づき埋込み部の前後面、側面及び底面の地盤ばねを算定した。提案した解析モデルによる検討の結果、埋込みの有無による建物応答の違いや、埋込み部における地盤の抵抗要素の荷重分担を解析的に評価できることが分かった。また、入力が大きき場合も、埋込み部周辺地盤の局所的な非線形特性を考慮することで精度が高いシミュレーションができ、提案モデルの妥当性が確認できた。

### 目 次

- I. はじめに
- II. 解析モデル
- III. 地盤の応答解析
- IV. 直接基礎及びパイルド・ラフト基礎の地震応答解析
- V. まとめ

#### I. はじめに

埋込みを有する建物の地震時挙動を精度良く評価するためには、上部構造物に加えて埋込み部の側面摩擦や前後面の土圧、底面部の摩擦などの基礎周辺地盤の影響を適切に考慮して、動的相互作用解析モデル<sup>1)2)</sup>に組み込むことが重要である。埋込み部の影響を考慮できる代表的な解析モデルとして、三次元 FEM により建物・基礎・地盤を一体として詳細にモデル化する場合や、地盤部分をアドミッタンスや薄層要素法等の別の手法で算定したスウェイ・ロッキングばねでモデル化して、建物モデルと一体化して検討する SR モデル<sup>3)</sup>等があげられるが、検討を行う場合に目的や解析条件に応じて適切な解析モデルを選定することになる。また、設計検討

において動的相互作用を考慮した設計検討を行う場合、解析モデルには予測精度の高さに加えて、モデル化の簡便さなどの実用性が求められることが多い。

また、解析検討を行う上で、解析モデルの妥当性を事前に確認する事は重要であり、実建物や実験で得られた実測結果との比較を通じて解析モデルの精度や適用範囲を明らかにする必要がある。解析モデルのパラメータ設定を適切に行うためには、比較相手となる実測データに建物応答だけでなく埋込み部周辺の地盤応答が含まれていることが望ましい。筆者<sup>4)5)</sup>らは、埋込み深さをパラメータにして埋込み部周面や底面の土圧や摩擦抵抗を同時に計測した直接基礎及びパイルド・ラフト基礎模型の遠心振動台実験を行い、入力大きさが建物応答や地盤応答に与える影響について実証データの取得を図ってきた。

以上を踏まえて、本報告では埋込みを有する直接基礎及びパイルド・ラフト基礎を対象に、埋込み部周辺の地盤を非線形ばね要素で考慮した実用的な相互作用解析モデルの提案と、提案した解析モデルの妥当性検証を目的に実施した遠心振動台実験のシミュレーションについて報告する。

1) 建築設計本部 Architectural Design Division  
2) 小堀鐸二研究所 Kobori Research Complex Inc.

**キーワード**：埋込みを有する基礎，直接基礎，パイルド・ラフト基礎，遠心振動台実験，地震時挙動評価  
**Keywords**：embedded foundation, spread foundation, piled raft foundation, centrifuge shaking table test, earthquake analysis

II. 解析モデル

1. 解析条件

遠心振動台実験<sup>4)5)</sup>のシミュレーションの解析ケースの一覧を Fig.1 に示す。検討対象は直接基礎及びパイルド・ラフト基礎(以下 PR 基礎)であり、それぞれ埋込み有と埋込み無の2種類とした。

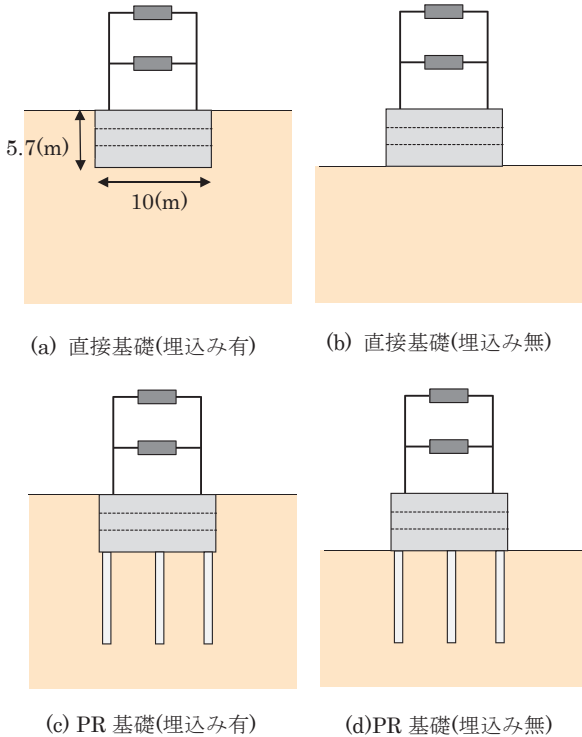


Fig.1 解析ケース (Analysis Case)

解析に用いた地震波は、Fig.2 に示す告示波(八戸 EW 位相)で、最大加速度を調整した微小入力(L0)、告示波の L1 レベル相当(L1)、告示波の L2 レベル相当(L2)の3種類とした。

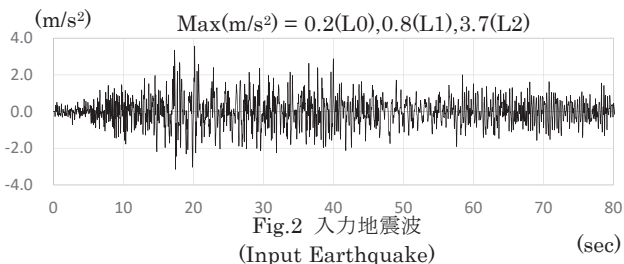


Fig.2 入力地震波 (Input Earthquake)

2. 解析モデルの概要

本報告では、埋込みを有する建物基礎の動的相互作用を、実用的な解析モデルで精度良く評価することを目的に、建物・基礎・地盤の相互作用を一体で考慮できる解析モデルを用いた。パイルド・ラフト基礎を検討する場合に用いた解析モデルを Fig.3 に示す。

建物は柱及び梁からなるフレームモデルとした。埋込み部は剛体とし、埋込み部の質量及び回転慣性は地下部の中心位置に集約した。杭は曲げせん断剛性を有するビーム要素とし

てモデル化してスラブは剛とした。地盤ばねは、建物基礎と地盤の相互作用を詳細に評価するために、埋込み部の前後面の地盤抵抗を考慮する①前後面地盤ばね、埋込み部の側面の地盤抵抗を考慮する②側面地盤ばね、杭を除く基礎底面の地盤抵抗を考慮する③基礎底地盤ばね、各杭に対する地盤抵抗を考慮する④杭周地盤ばねからなり、入力に応じた非線形性を考慮した地盤物性を用いて薄層要素法で算定した。埋込みがある検討ケースについては、①前後面地盤ばねと②側面地盤ばねは、深さ方向の3深度に配置した。自由地盤はせん断剛性を有する質点系モデルとし、HD モデルで非線形特性を考慮した。各種地盤ばね(水平方向)は自由地盤と連結して、建物、基礎、地盤の動的応答を一体で評価できる解析モデルとなっている。

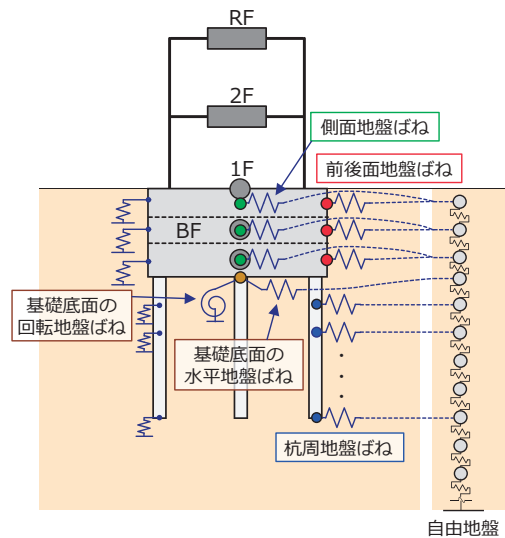


Fig.3 解析モデル (Analytical Model)

3. 地盤の非線形モデル

入力地震動が大きな場合、埋込み部周辺地盤の非線形性を考慮する必要がある。特に、大地震時には基礎底面の浮き上がりや、埋込み部と地盤間の滑り等を評価できる地盤の非線形モデルを導入することが不可欠である。本検討で考慮した地盤の非線形モデルを以下に示す。

(a)埋込み部の前後面の地盤ばね

埋込み部の前後面の土圧は、基礎と地盤の相対変位による土圧の変化を表現するために、Fig.4(a)に示すように3折れ線による非線形モデルを採用した。

(b)埋込み部の底面摩擦及び側面摩擦

本検討では、埋込み部の側面及び埋込み部の基礎底面と地盤の摩擦抵抗を考慮するため、Fig.4(b)に示す摩擦耐力を折れ点とする2折れ線モデルを用いた。側面部の摩擦耐力を求めるときの土圧は静止土圧を、底面部の摩擦耐力を求めるときの土圧をそれぞれ考慮して、摩擦耐力を定めた。

(c)基礎底面の回転地盤ばね

基礎底面の地盤による鉛直方向の抵抗は、浮き上がりの影響も含めて基礎底面位置に設けた回転ばねでモデル化した。初期剛性は薄層要素法で求め、浮き上がりを考慮した非線形性は、文献(6)に示される理論式を、基礎構造設計指針<sup>7)</sup>に示される直接基礎の転倒限界モーメント  $M_u$  に漸近するように修正した式(1)によるモーメントと回転角( $M$ - $\theta$  関係)を元にモデル化した。

$$M = \left\{ 3 - 2 \left( \frac{\theta_0}{\theta} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{3X_f}{L} \left( 1 - \frac{\theta_0}{\theta} \right) \right\} M_0 \quad (1)$$

$X_f$ : 転倒限界モーメント発揮時の地盤反力の作用幅  
 $M_0$ : 浮き上がり限界転倒モーメント  
 $\theta_0$ : 浮き上がり限界転倒モーメント時の回転角  
 $L$ : 基礎幅(回転方向)

非線形モデルは履歴をもたない3折れ線の非線形弾性モデルとし、想定される応答範囲を考慮して、折れ点荷重及び剛性低下率を定めた。Fig.4(c)(d)に(1)式による転倒モーメント-回転角の関係と非線形弾性モデルを示す。

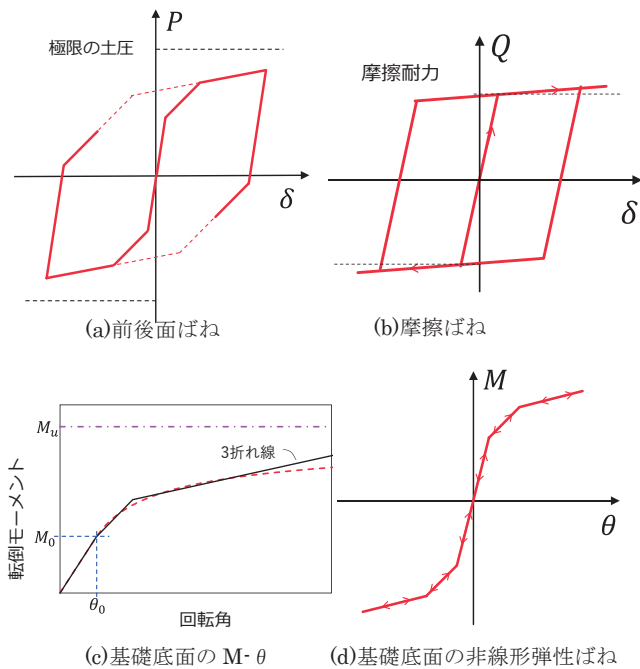


Fig.4 地盤の非線形モデル (Non-linear Soil Spring Model)

III. 地盤の応答解析

1. 地盤物性について

解析に用いた地盤物性は、建物重量や深さにより異なる地盤重量による拘束圧の違いを考慮して設定した。地盤の非線形特性は Fig. 5 に示すように深さ毎に異なる  $G/G_0$ ,  $h \sim \gamma$  関係に基づいた HD モデルとして、入力の違いによる非線形特性を考慮した。初期の地盤物性(せん断剛性  $G_0$ )は拘束圧を考

慮した(2)式で示す室内実験に基づく回帰式により算定した。

$$G_0 = 9980 \sigma_c^{0.42} \quad (2)$$

$G_0$ : せん断剛性(kN/m<sup>2</sup>),  $\sigma_c$ : 拘束圧(kN/m<sup>2</sup>)

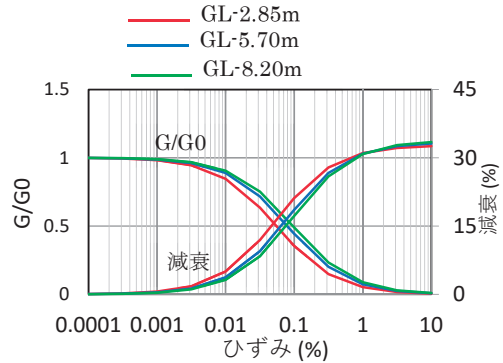


Fig.5 地盤の非線形特性 (Non-linear Characteristics of Soil)

2. 地盤の解析結果

直接基礎のケースについて、各入力レベルの埋込みが無い場合と有る場合の自由地盤の解析結果を以下に示す。

Fig.6 に伝達関数(地表面/入力)を解析と実験と比較して示す。埋込みが無い場合について、L0 及び L1 入力時の実験のピーク振動数は 4.4Hz と 4.3Hz であるのに対して、解析のピーク振動数は 4.6Hz と 4.2Hz である。入力が大きくなるにつれて実験、解析共にピーク振動数は若干低くなるが、入力の大きさによる違いは小さい。L2 入力時については実験、解析共にピーク振動数は明瞭でなく、また振幅は L0 や L1 に比べて小さく、地盤の非線形性の影響が大きいと思われる。埋込みが有る場合について、L0 及び L1 入力時の実験のピーク振動数は 3.1Hz と 3.0Hz であるのに対して、解析のピーク振動数は 3.2Hz と 3.1Hz である。入力の大きさによる応答の違いは埋込みが無い場合と同様である。また、L2 入力時についても、埋込みが無い場合と同様に、実験、解析共にピーク振動数は明瞭でなく地盤の非線形性の影響が大きいと思われる。

Fig.7 に最大加速度と最大せん断歪みの深さ方向の分布を示す。最大加速度については解析と実験を比較して示す。埋込みが無い場合について、最大加速度は実験、解析共に浅いほど応答値は大きく、地表面で最大となる。各入力レベル共に GL-9.3m と GL-12.9m 位置の応答は実験と解析で良く対応している。GL-5.7m 位置については、L0 と L1 は実験と解析は良く対応しているが、L2 について実験は解析に比べて大きい。最大せん断歪みについては、L0 や L1 入力時に比べて L2 入力時の応答値大きく、特に GL-9m 以深の深い位置で大きい。埋込みが有る場合について、最大加速度は実験、解析共に、L0 及び L1 入力時は、浅いほど応答値は大きく地表面で最大値となる。各深さの最大加速度は実験と解析で良く対

応している。L2 入力時について、実験は GL-9.3 位置の応答値が最も小さく、浅くなるにつれて応答値が大きくなるのに対して、解析は GL-12m 付近が最も小さく、また浅くなるにつれて応答値の増幅は実験に比べて小さい。最大せん断歪みについては、埋込みが無い場合と同様に L0 や L1 入力時に比べて L2 入力時の応答値が大きく、特に深い位置で大きい。

衰 (h) を示す。せん断波速度は、埋込みが無い場合、有る場合共に、拘束圧がより大きい地盤の深い位置で大きい。また、入力が大きいほど、地盤に生じたせん断歪みに対応して低減する。地盤の減衰についても、埋込みが無い場合、有る場合共に入力が大きいほど、大きな減衰となる。減衰の深さ方向の分布は地盤の生じたせん断歪みの分布に対応したものとなっている。

Fig.8 に地盤の非線形解析で求めたせん断波速度(Vs)と減

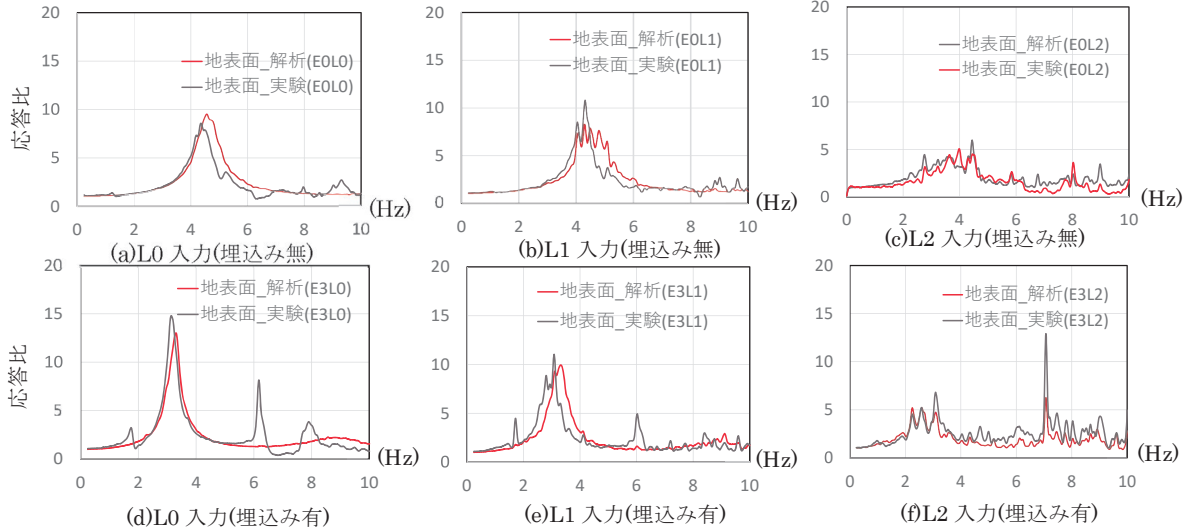


Fig.6 地盤の伝達関数(地表面/入力位置)  
(Transfer Function of Soil)

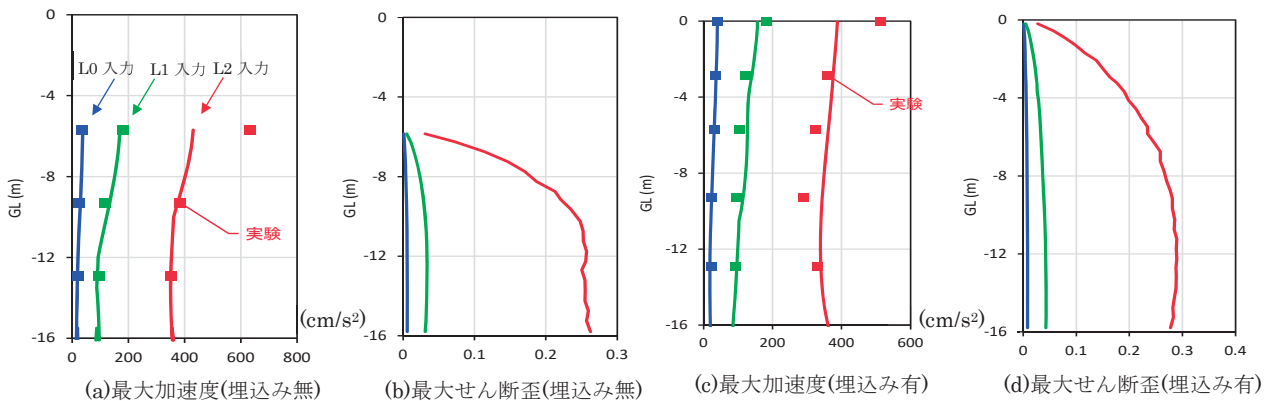


Fig.7 地盤の最大応答  
(Maximum Response of Soil)

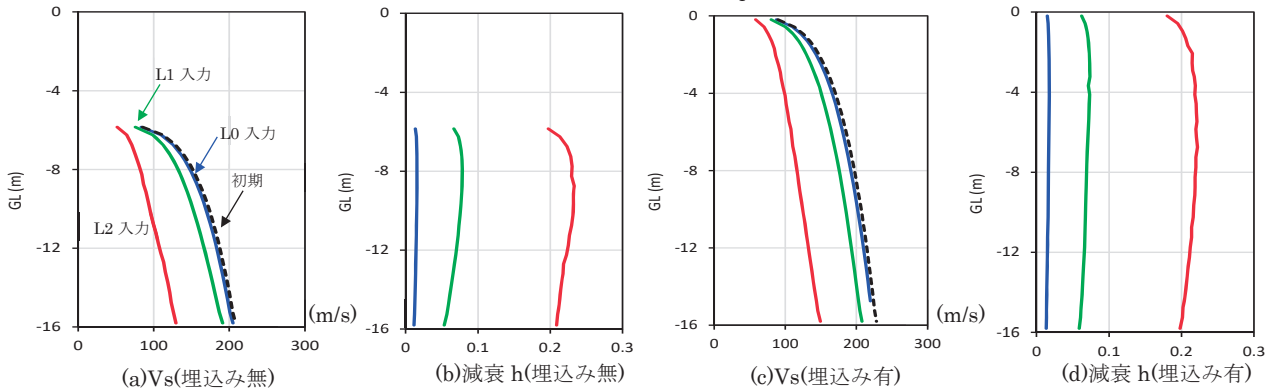


Fig.8 地盤物性  
(Soil Property)



IV. 直接基礎及びパイルド・ラフト基礎の地震応答解析

直接基礎及びパイルド・ラフト基礎の地震応答解析結果を以下に示す。埋込みが無い直接基礎はL1入力(E0\_L1)について、埋込みがある直接基礎はL1入力(E3\_L1)及びL2入力(E3\_L2)について検討した。パイルド・ラフト基礎についても同様として、埋込み無(PR0\_L1)、埋込み有(PR3\_L1, PR3\_L2)についてそれぞれ検討した。

1. 直接基礎

各ケースのRFの加速度応答スペクトルと、最大加速度応答の高さ方向の分布を、実験と解析を比較してFig.9及びFig.10にそれぞれ示す。最大加速度応答については建物応答(実線)と地盤応答(波線)を合わせて示した。加速度応答スペクトルについて、埋込みが無いL1入力(E0\_L1)は、1次ピー

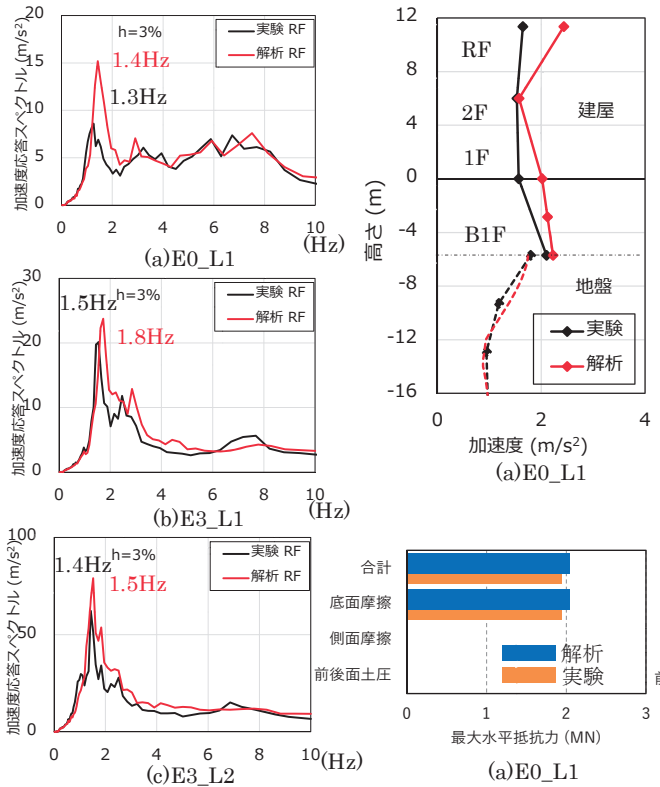


Fig.9 加速度応答スペクトル

(Acceleration Response Spectrum)

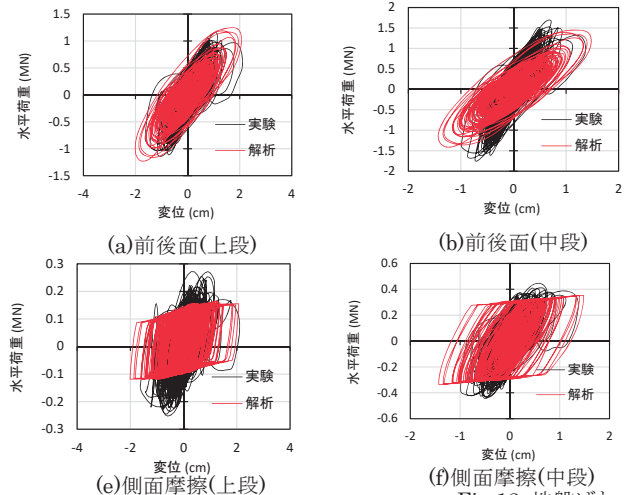


Fig.12 地盤ばねの荷重-相対変位関係(E3\_L2)

(Relationship between Force and Relative Displacement)

ク振動数は、解析が実験に比べて若干高めである。埋込みが有るL1入力(E3\_L1)は、解析のピーク振動数が実験よりやや高めであるが、解析と実験は良く一致している。埋込みが有るL2入力(E3\_L2)についても、解析のピーク振動数が実験よりやや高めであるが、解析と実験は良く一致している。

最大加速度応答について、埋込みが無いL1入力(E0\_L1)は、B1Fに対するRFの応答値の増減が小さい傾向は実験と解析で対応しているが、建物全体では解析が実験より大きめの評価となっている。埋込みが有るL1入力(E3\_L1)について、各高さの応答値は解析が実験より大きめであるが、高さ方向の応答値の分布性状は良く対応している。埋込みがあるL2入力(E3\_L2)についても、解析と実験を比べた場合の、各高さの応答値の大小関係や高さ方向の応答値の分布性状の対応状

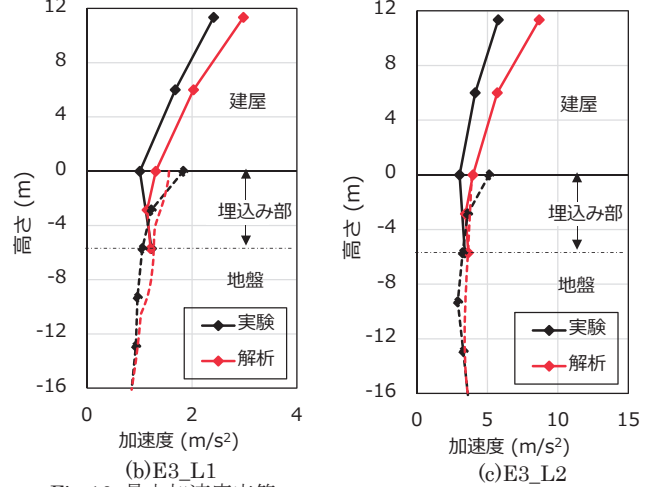


Fig.10 最大加速度応答

(Maximum Acceleration Response)

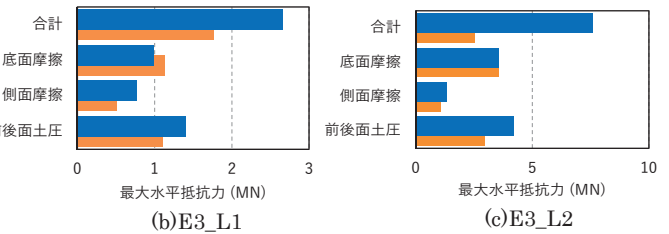


Fig.11 最大水平抵抗力

(Maximum Horizontal Resistance Force)

況は、L1と同様である。埋込み部の建物応答は、実験、解析ともに、埋込み部による拘束効果により、同一深さの地盤応答より小さくなる。

各ケースの前後面、側面摩擦、底面摩擦の最大水平抵抗力を、実験と解析で比較して Fig.11 にそれぞれ示す。埋込みが無い場合の L1 入力(E0\_L1)について、実験と解析は良く一致している。埋込みが有る場合の L1 入力(E3\_L1)について、実験は底面摩擦と前後面の負担力がほぼ同等であり、側面摩擦は両者に比べて小さい。一方、解析は前後面が最も大きく、次いで底面摩擦、側面摩擦の順になる。埋込みが有る場合の L2 入力(E3\_L2)について、実験は底面摩擦が最も大きく、次いで前後面、側面摩擦の順になる。L1 入力、L2 入力共に側面摩擦が最も小さい傾向は実験と解析で一致しているが、前後面と底面摩擦の大小関係については違いがみられる。

埋込みが有る場合の L2 入力(E3\_L2)について、各深さにおける地盤ばねの荷重-相対変位関係を、実験と解析で比較して Fig.12 にそれぞれ示す。解析の地盤ばねは、深さ方向の3深度に対して設定し、地表面に近い位置から順に上段、中段、下段とした。前後面について、上段と中段の荷重は実験と解析で良く対応しているが、下段については解析の履歴面積が実験より大きく、解析の荷重は実験の2倍程度になっている。側面摩擦は、解析、実験共に深い位置ほど負担が大きい。上段、中段において解析は摩擦耐力を越えている。上段の荷重は解析より実験が大きい、下段の荷重は実験より解析が大きく、深さ方向の摩擦の分担は、実験と解析で違いがみられる。底面回転について、実験は回転角の増大に伴いモーメントの頭打ちが見られ、基礎底面に浮き上がりが生じていると思われる。同一回転角に対するモーメントは、実験より解析がやや大きい、解析においてモーメントの頭打ちが見られ、基礎の浮き上がりが解析的に評価できていると考えられる。

Fig.9～Fig.12の結果から評価すると、同一の入力レベルについて、埋込み無(E0\_L1)と埋込み有(E3\_L1)を比較すると、加速度応答スペクトルについて、実験、解析共に埋込み有のピーク振動数は埋込無に比べて若干高くなる。また、建物の最大加速度について、B1Fに対するRFの増幅は埋込み有が埋込み無に比べて大きく、埋込みで地盤の水平及び回転方向の抵抗が増える事に起因すると考えられる。

埋込み有についてL1入力とL2入力を比較すると、RFの加速度応答スペクトルのピーク振動数は、地盤の非線形の影響で実験、解析共にL2入力がL1入力より低い。

## 2. パイルド・ラフト基礎

各ケースのRFの加速度応答スペクトルと、最大加速度応答の高さ方向の分布を、実験と解析を比較して Fig.13 及び Fig.14 にそれぞれ示す。最大加速度応答については建物応答(実線)と地盤応答(波線)を合わせて示した。加速度応答スペクトルについて、各ケースの1次ピーク振動数は、解析が実験に比べて若干高めであるが、応答特性は解析と実験で良く対応している。最大加速度応答について、埋込みが無いL1入力(PR0\_L1)は、実験、解析共にB1Fに対するRFの応答値の増減は小さい。建物全体では解析が実験より大きめの評価と

なっている。埋込みがあるL1入力(PR3\_L1)について、各高さの応答値は解析で良く一致している。埋込みがあるL2入力(PR3\_L2)については、解析が実験より大きめであるが高さ方向の応答値の分布性状の対応状況は、解析と実験で概ね対応している。埋込み部の建物応答は、実験、解析ともに直接基礎と同様に、埋込み部による拘束効果により、同一深さの地盤応答より小さくなる。

各ケースの杭、底面摩擦、側面摩擦、前後面の最大水平抵抗力を、実験と解析で比較して Fig.15 にそれぞれ示す。埋込みが無い場合のL1入力(PR0\_L1)について、杭に比べて底面摩擦の負担が大きい傾向は実験と解析で同様であるが、それぞれの負担力は実験より解析が大きい。埋込みがある場合のL1入力(PR3\_L1)について、実験は前後面が最も大きく、次いで底面摩擦、側面摩擦、杭の順となる。解析の各抵抗要素の負担力は実験より大きめの評価となっているが、抵抗要素間の大小関係は解析と実験で対応している。埋込みがある場合のL2入力(PR3\_L2)について、実験は前後面が最も大きく、次いで底面摩擦が大きく、側面摩擦と杭はほぼ同等である。L1入力と同様に解析の各抵抗要素の負担力は実験より大きめの評価となっているが、抵抗要素間の大小関係は、解析と実験で対応している。

埋込みが有る場合のL2入力(PR3\_L2)について、各深さにおける地盤ばねの荷重-変位関係を、実験と解析で比較して Fig.16 に示す。前後面は、解析、実験共に中段が最も大きな荷重を負担しており、履歴形状についても解析と実験は良く対応している。側面摩擦は、解析、実験共に深い位置ほど負担が大きい。上段、中段において解析は摩擦耐力を越えている。一方実験については中段、下段において頭打ちがみられ、解析と傾向が異なっている。底面摩擦及び杭のせん断力については、履歴形状は若干異なるものの、最大荷重は概ね同等である。底面の回転については、直接基礎の場合(E3\_L2)と同様に、実験、解析共に基礎の浮上がり起因すると考えられるモーメントの頭打ちが見られ、両者は良く対応している。

各ケースの杭の曲げモーメントの深さ方向の分布を実験と解析を比較して Fig.17 に示す。本検討の解析では、一般的に設計と同様に杭の地盤ばねの杭位置による違いを考慮しておらず、杭応力は位置によらず同一値となる。埋込みが無いL1入力(PR0\_L1)について、解析はGL-8m付近が最も大きくなるのに対して、実験は位置により傾向が異なるが左側については解析と同様である。埋込みが有るL1入力(PR3\_L1)について、実験、解析共に杭頭部で最も大きく、深い位置では小さくなる。杭頭部の曲げモーメントについて、解析は位置により異なる実験の平均的な値と対応する。埋込みが有るL2入力(PR3\_L2)についてもL1入力と同様な傾向である。

Fig.13～Fig.17の結果から評価すると、同一入力レベルに対する、埋込み無(PR0\_L1)と埋込み有(PR1\_L1)の加速度応答スペクトルのピーク振動数や最大加速度の対応関係は直接基礎と同様である。また、埋込みが有る場合のL1入力とL2入力の加速度スペクトルのピーク振動数の対応関係についても、直接基礎と同様である。

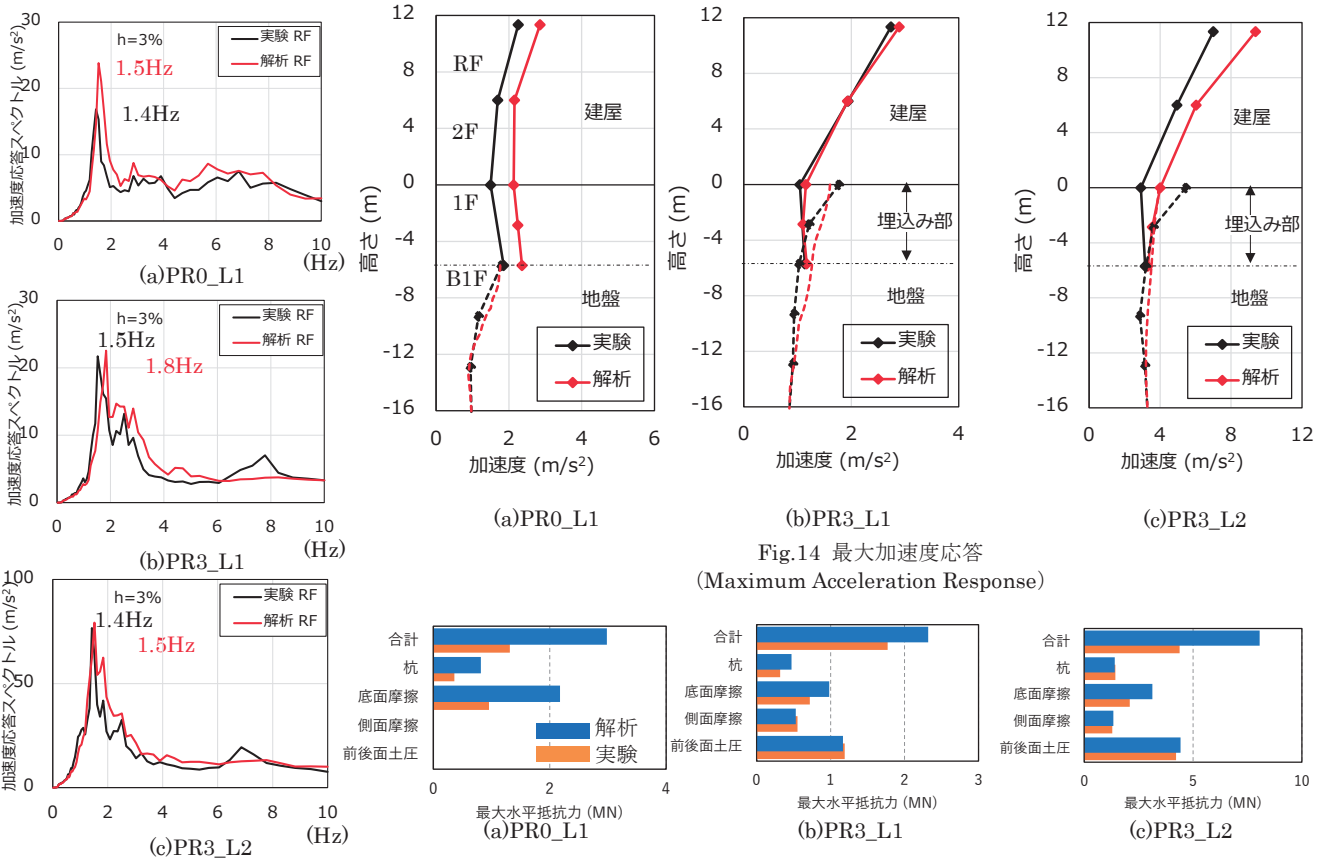


Fig.13 加速度応答スペクトル (Acceleration Response Spectrum)

Fig.14 最大加速度応答 (Maximum Acceleration Response)

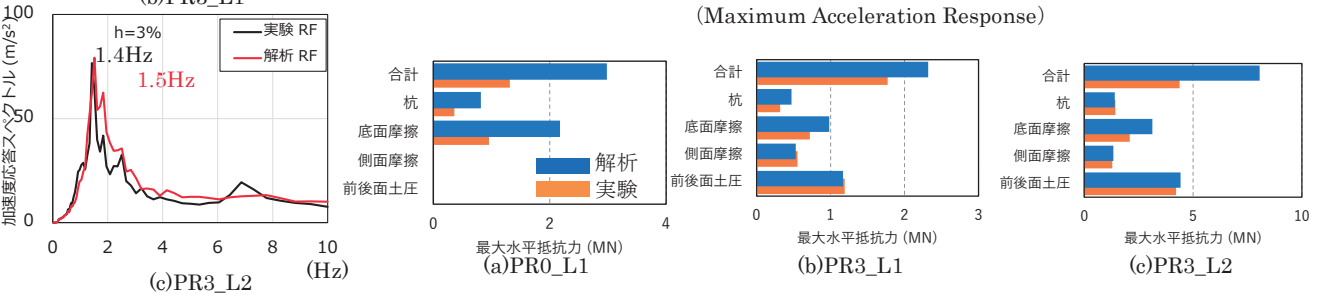


Fig.15 最大水平抵抗力 (Maximum Horizontal Resistance Force)

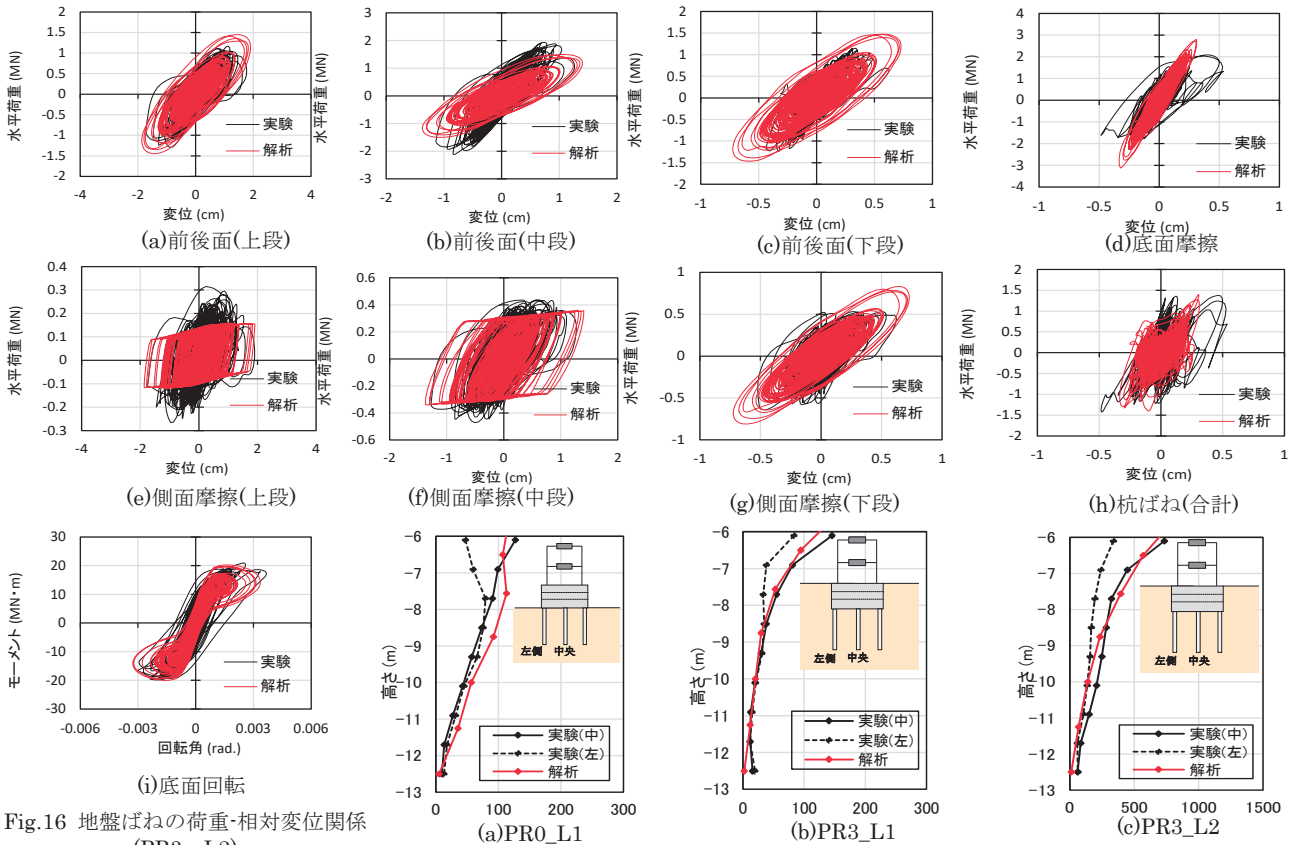


Fig.16 地盤ばねの荷重-相対変位関係 (PR3\_L2) (Relationship between Force and Relative Displacement)

Fig.17 杭の最大曲げモーメント (Maximum Bending Moment of Pile)

## V. まとめ

埋込みを有する建物基礎の地震時挙動を評価できる実用的な相互作用解析モデルの提案を行うと共に、提案モデルによる直接基礎及びパイルド・ラフト基礎の遠心振動台実験のシミュレーションを行い、以下の知見が得られた。

- ①拘束圧の影響を考慮して設定した初期地盤剛性、室内実験に基づく地盤の非線形特性を解析モデルに取り込むことで、微小から L2 入力時の地盤の非線形応答を、精度良くシミュレーションすることができた。
  - ②提案モデルを用いて、直接基礎及びパイルド・ラフト基礎を対象にした L1 入力時の実験シミュレーションを行い、建物の加速度応答や基礎の荷重分担を精度良く評価できた。
  - ③L2 入力時についても、埋込み部の前後面、側面摩擦、基礎底面の各地盤抵抗要素の非線形性を適切に考慮することで、建物の加速度応答や埋込部の荷重分担、各深さの地盤ばねの非線形履歴等、埋込みがある場合の直接基礎及びパイルド・ラフト基礎の地震時挙動を精度良く評価することができた。
- 今後、埋込み深さが異なる他の実験ケースについてもシミュレーションを行い、提案モデルの妥当性検証を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会；建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，2006.
- 2) 宮本裕司；地震時における非線形相互作用と建物応答，第8回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム，2006. 12, pp.3-12.
- 3) 土方勝一郎ほか；表層地盤の増幅特性を考慮した埋込みSRモデルの研究，日本建築学会構造系論文集，第480号，1996.2, pp.103-112.
- 4) 鈴木康嗣ほか；埋込みを有するパイルド・ラフト基礎の動的応答（その1～4），日本建築学会大会学術講演梗概集（構造I），2019.9, pp.559-566.
- 5) 秀川貴彦ほか；埋込みを有する直接基礎の動的応答（その1～2），日本建築学会大会学術講演梗概集（構造I），2020.9, pp.571-574.
- 6) 日本電気協会；原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC4601-2008，2008, pp.172-176.
- 7) 日本建築学会；建築基礎構造設計指針(第3版)，2019.

## Earthquake Response Analysis of Buildings with Embedded Foundation on Centrifuge Shaking Table Test

*Kenji Iwamoto, Hajime Hagiwara, Yoji Utsumi, Yasutsugu Suzuki, Naohito Adachi, Takahiko Hidekawa<sup>1)</sup>, Yuji Sako<sup>2)</sup>, Kohji Koyamada<sup>1)</sup> and Horoyuki Doai<sup>1)</sup>*

Analysis with a dynamic soil-structure-interaction model, which can account for the effect of embedment, is important for evaluating the dynamic response of a structure with an embedded foundation during earthquakes. In this paper, a practical analytical model is proposed for structural design, and the validity of the model is verified through a centrifuge shaking table test simulation. The shaking table test targeted for simulation was on spread and piled raft foundations. Soil spring, which represents the resistance of the front, rear, sides, and bottom surface of basements, was evaluated on the basis of soil properties considering the restraining pressure.

As a result, the main conclusions below were obtained. The proposed analytical model was useful in evaluating the differences in the dynamic response of structures with or without an embedded foundation. This model was also applicable for evaluating the distributed resistant force along with the depth of the embedded foundation. In addition, considering the local non-linearity of soil around the embedded foundation was effective for evaluating for a large earthquake input equal to the L2-level in Recommendations for Design of Building Foundations. Through simulation under various conditions, the validity of the analytical model was verified.