

3.3.9 地盤・基礎実験における三次元数値シミュレーションによる実験の予測解析
(水平地盤中の杭基礎解析、その2)

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 2カ年の年次実施計画
- (e) 平成17年度業務目的

(2) 平成17年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 解析対象の三次元有限要素法(FEM)によるモデル化
 - 2) 地盤のモデル化
 - 3) 杭のモデル化
 - 4) 準備解析
 - 5) 地震応答解析
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願, ソフトウエア開発, 仕様・標準等の策定

(3) 平成18年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地盤・基礎実験における三次元数値シミュレーションによる実験の予測解析
(水平地盤中の杭基礎解析、その2)

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
株式会社竹中工務店 技術研究所先端研究開発部	主任研究員	吉澤 睦博
	マネージャー	塩見 忠彦
	主任研究員	鬼丸 貞友

(c) 業務の目的

E - ディフェンスで実施される実大スケールの地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験の予備検討解析を行い、実験でのケーススタディの絞込みに資する。また、予備検討解析結果および震動台実験結果の分析から、「数値震動台」の一部となる地盤の3次元数値シミュレーション手法の開発・高度化で課題となる地盤の構成モデルの設定、杭構造の非線形特性のモデル化、および減衰の設定に関する知見を得る。

(d) 2カ年の年次実施計画

1) 平成17年度：

解析対象のモデル化

E - ディフェンスで実施する実大スケールの地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験のうち、乾燥砂を用いた震動台実験の予測解析を行うための三次元FEMによるモデルを作成する。準備解析を行った後、必要に応じてモデルの修正を行う。

地盤のモデル化

地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験の予測解析を行う際に重要となる地盤の構成モデルの設定を行う。必要に応じて構成モデルの改良を行う。

解析実施と結果の整理

動的有効応力解析の定式化に基づく三次元 FEM 解析を竹中工務店所有の計算機により行う。

2) 平成18年度：

解析対象のモデル化

E - ディフェンスで実施する実大スケールの地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験のうち、湿潤砂を用いた震動台実験の予測解析を行うための三次元FEMによるモデルを作成する。準備解析を行った後、必要に応じてモデルの修正を行う。

地盤のモデル化

地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験の予測解析を行う際に重要となる地盤の構成モデルの設定を行う。必要に応じて構成モデルの改良を行う。

解析実施と結果の整理

動的有効応力解析の定式化に基づく三次元 FEM 解析を竹中工務店所有の計算機により行う。解析結果を整理するとともに、解析結果と震動台実験結果の分析から、「数値震動台」の一部となる地盤の 3 次元数値シミュレーション手法の開発・高度化で課題となる地盤の構成モデルの設定について、主に湿潤砂の液状化時の挙動に着目した知見の抽出を行う。

(e) 平成 17 年度業務目的

E - ディフェンスで実施する実大スケールの地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験のうち、乾燥砂を用いた震動台実験の予測解析を行うための三次元 FEM による地震応答解析を行う。入力地震動の入力レベルの違いによる杭体の損傷レベルを予測し、震動実験での入力レベルの検討に資する。また震動実験結果と解析結果の比較により、地盤 - 基礎 - 構造物系の解析で必要となる知見を抽出する。

(2) 平成 17 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 17 年度は次の各項目を実施した。

1) 解析対象の三次元有限要素法 (FEM) によるモデル化

実験に用いるせん断土槽および杭基礎、上部構造物を三次元 FEM でモデル化した。

2) 固有値解析

三次元 FEM モデルの固有値解析を行い実験モデルの振動特性の予測を行った。

3) 地震応答解析

三次元 FEM モデルの地震応答解析を実施し、実験結果の予測を行った。入力地震動は 1995 年兵庫県南部地震の鷹取波を用いた。実施した解析ケースは以下の通りである。

- ・乾燥地盤 密詰めモデル 基礎埋め込み無し 鷹取波を 1/20 倍 水平二方向加振
- ・乾燥地盤 密詰めモデル 基礎埋め込み無し 鷹取波原波 水平一方向加振
- ・乾燥地盤 密詰めモデル 基礎埋め込み無し 鷹取波原波 水平二方向加振
- ・乾燥地盤 密詰めモデル 基礎埋め込み無し 鷹取波原波 水平二方向 + 鉛直方向加振

(b) 業務の実施方法

1) 解析対象の三次元有限要素法 (FEM) によるモデル化

三次元 FEM で用いる解析モデルの作成では、杭による砂の排除体積分を考慮したメッシュを用いた。またせん断リングの質量が振動系に与える影響が小さいことを確認し、せん断リングは剛な梁要素で地盤要素をつないでモデル化した。

2) 固有値解析

株式会社竹中工務店技術研究所保有の三次元非線形有限要素法解析プログラム MuDIAN¹⁾の固有値解析機能を用い、同研究所の EWS を用いて行った。

3) 地震応答解析

株式会社竹中工務店技術研究所保有の三次元非線形有限要素法解析プログラム MuDIAN の地震応答解析機能を用い、同研究所の EWS を用いた計算を行った。

(c) 業務の成果

1) 解析対象の三次元有限要素法 (FEM) によるモデル化

三次元 FEM によるモデル化は杭を線形の梁要素でモデル化し、地盤を六面体のソリッド要素でモデル化した。杭による地盤の排除体積分をモデル化した。図 1 に本検討で用いた解析モデルのメッシュ図と設定した解析条件を示す。また図 2 に杭とその周辺の地盤との境界条件を示す。

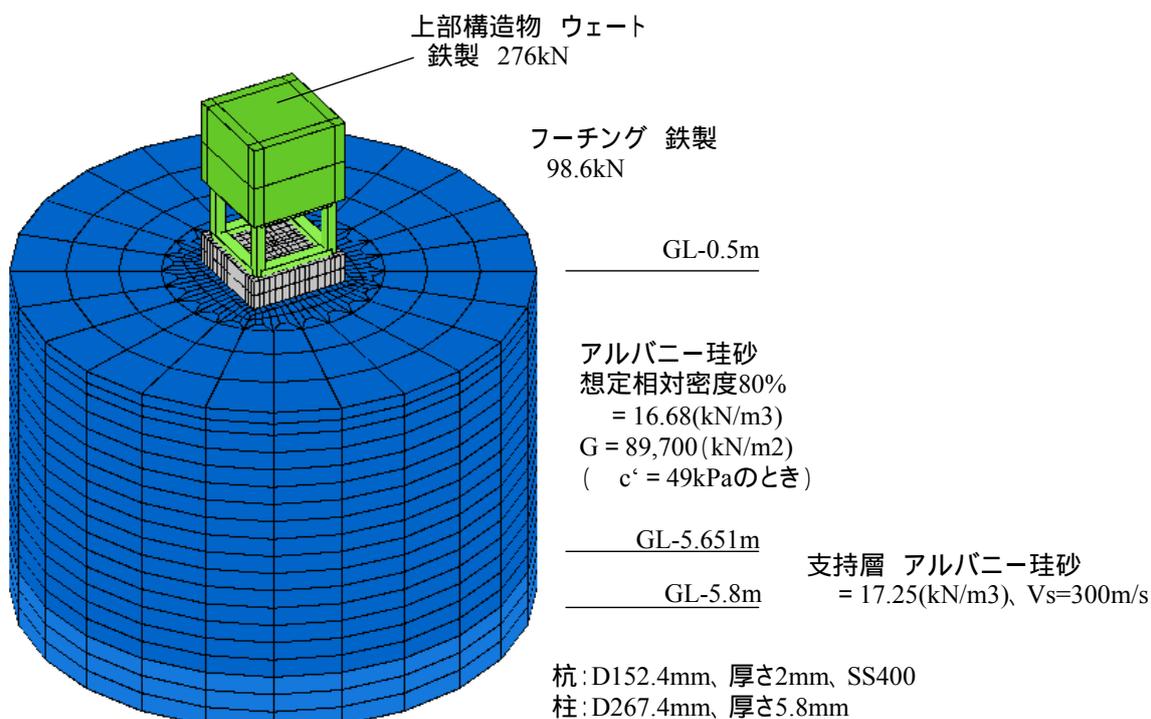


図 1 三次元 FEM による解析モデルの概要

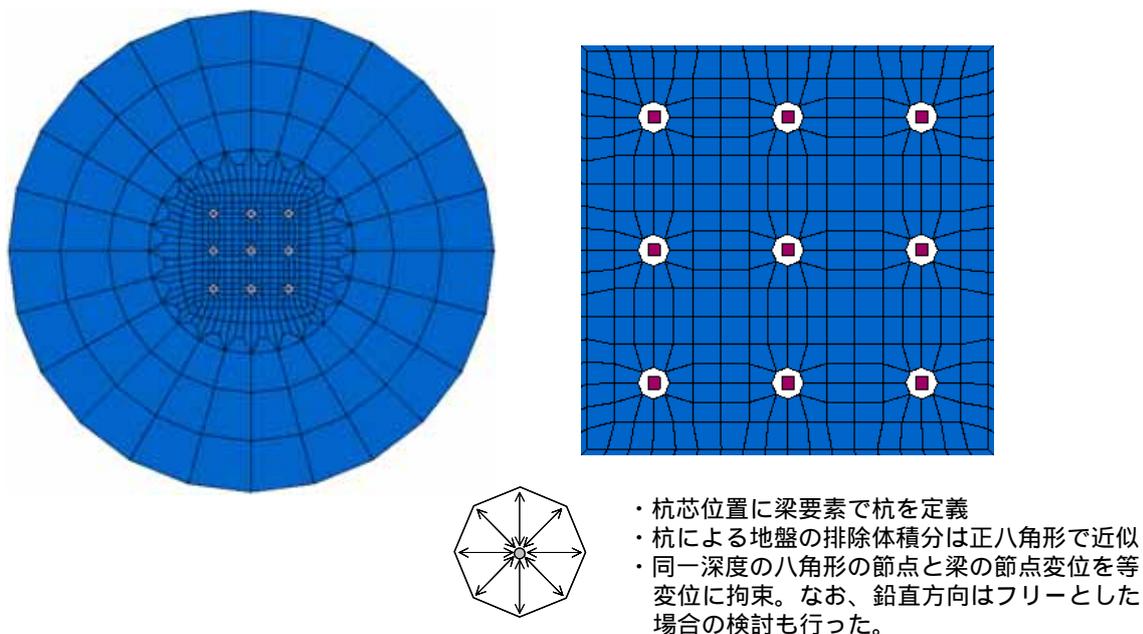


図 2 FEM による平面方向のモデル化

また図 3 は杭頭 - 上部構造物の取り付け部のモデル化である。発生する杭の応力分布は杭頭と杭先端の境界条件に大きく依存する。杭先端は土槽底面深さの位置でピン支持とし、杭頭は厚さ 0.5m のフーチングを 0.25m に分割し、メッシュつ分の厚さだけ梁要素を飲み込ませた。したがって杭頭の固定度はメッシュ形状とフーチングの剛性（一般鋼材の物性とした）より決まる。実際の試験体は高強度コンクリートにより杭とフーチングが一体化されている。

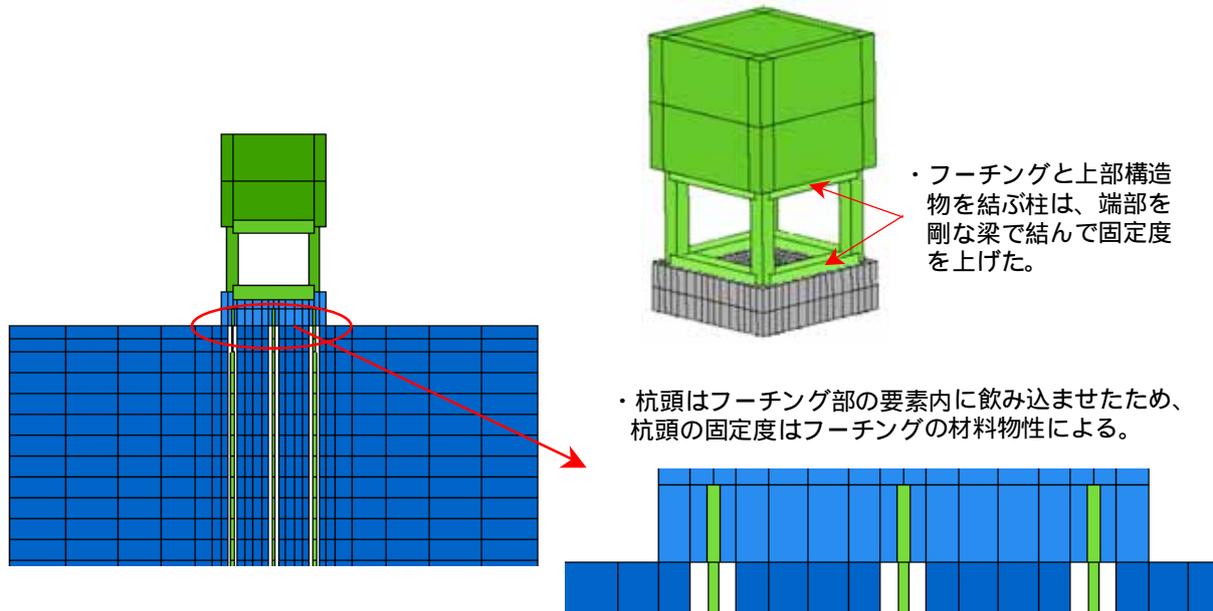


図 3 FEM による構造物の取り付け部分のモデル化

2) 地盤のモデル化

振動実験で用いる乾燥砂の地盤モデルは、繰返し変形試験から得られるせん断剛性と等価せん断減衰定数のせん断歪み依存特性をモデル化して行った。図 4 は今回の実験に関係して実施された土質試験結果よりせん断応力 - 歪み関係を表示したものに、モデル化したせん断応力 - 歪み関係の骨格曲線を示したものである。骨格曲線が双曲線モデル（HD モデル）の骨格曲線を用いた。振動実験で用いるアルバニー珪砂は、試験体作成状況で Dr90 が難しいとの報告を受けたため、Dr80 相当に修正した。初期せん断剛性は拘束圧 49kPa 時の Hardin の式より設定し、最大せん断応力は内部摩擦角を 45° として算出した。

以上の設定した HD モデルの骨格曲線から G - 特性をモデル化した結果を図 5 に示す。また図 6 は拘束圧を考慮して各層で用いられている G - 特性である。

解析で用いる地盤モデルは、振動におけるせん断特性を振動方向ごとに独立した G - 特性を用いる福武の方法²⁾を用いた。福武の方法では R0 モデルを用いてモデル化しているが、今回は図 6 の G - 特性をそのまま応答解析に取り込む石原・吉田³⁾の方法を用いた。福武の方法では土の体積弾性係数を各振動方向で用いた G - 特性で得られるせん断剛性の算術平均により定義しているが、今回は体積弾性係数を初期応力の拘束圧の 0.5 乗に比例させて要素毎に分布させ、応答解析中は一定値として扱った。

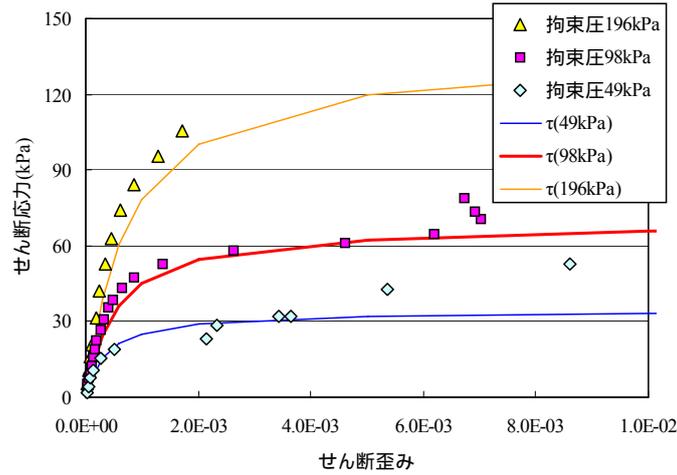


図 4 双曲線モデルの骨格曲線でモデル化したせん断応力 - 歪み関係

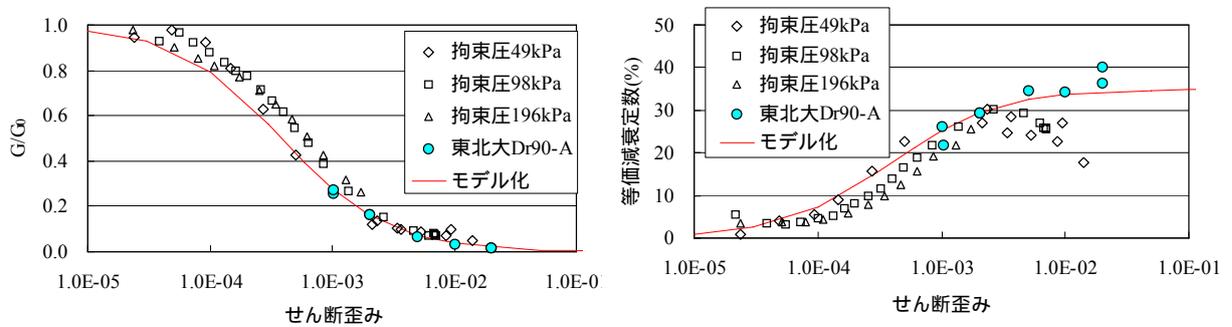


図 5 提供されたアルバニー珪砂のせん断歪み特性

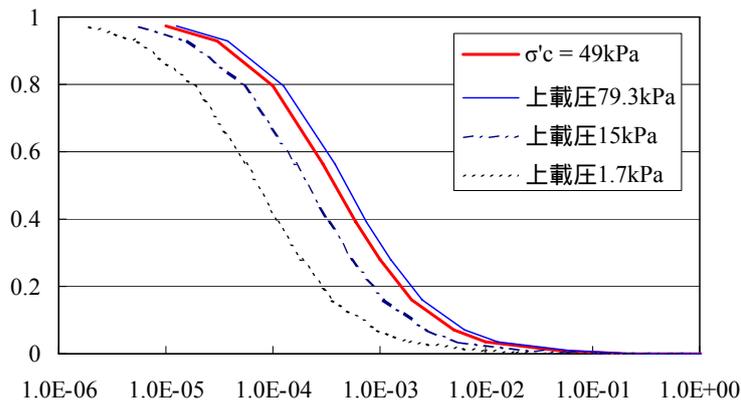


図 6 地震応答解析で用いたせん断応力 - 歪み関係

3) 杭のモデル化

杭の非線形特性は杭の M - ϕ 関係をバイリニア型の履歴則を持つとしてモデル化した。M - ϕ 関係でモデル化する終局限界曲げモーメント M_u 全塑性曲げモーメント M_p 降伏圧縮限界耐力 N_y は、建築基礎構造設計指針に準拠して下式より算出した。

$$M_u = M_p \cos\left(\frac{\pi N}{2N_y}\right) \quad M_p = 4r^2 t \sigma_y \quad N_y = 2\pi r t \sigma_y$$

ここで r : 鋼管の半径、 t : 鋼管の厚さ、 $\sigma_y = 2.4 \text{ tf/cm}^2$

$$M_p = 4 \times 0.0762^2 \times 0.002 \times 2.4 \times 10^4 = 1.11 (\text{tf} \cdot \text{m}) = 10.88 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$N_y = 2\pi \times 0.0762 \times 0.002 \times 2.4 \times 10^4 = 23.0 (\text{tf})$$

ここで長期軸力は

$$N = \frac{7.86 \times (1.6 \times 1.6) \times (1.4 + 0.5)}{9} = 4.25 (\text{tf})$$

$$M_u = 1.11 \times \cos\left(\frac{\pi \times 4.25}{2 \times 23}\right) = 1.068 (\text{tf} \cdot \text{m}) = 10.47 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\phi_u = \left| -\frac{M_u}{EI} \right| = \frac{1.068}{56.12} = 0.019$$

(ϕ_u, M_u) までを弾性と仮定し、そこからの勾配を 1/100 としたバイリニアを仮定して設定した M - ϕ 関係を図 7 に示す。

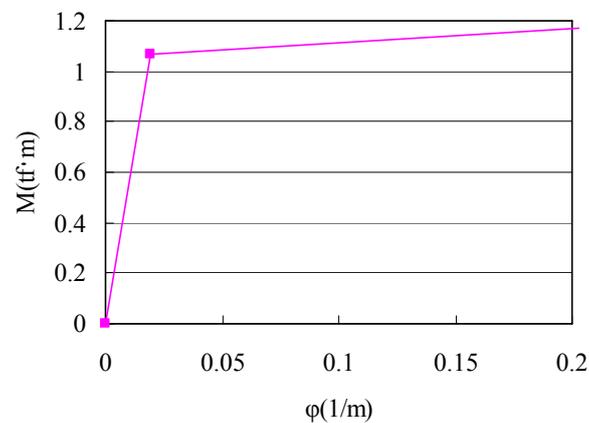


図 7 設定した杭の非線形モデル (M - ϕ 関係)

4) 準備解析

a) 自由地盤の応答解析

震動実験で用いるアルパニー珪砂の応答特性を把握するために、震動実験の土槽を土柱にモデル化し三次元の自由地盤の応答解析を行った。入力地震動は図 8 に示す鷹取波を原波入力する場合と、1/2 倍した場合を行った。原波入力の場合の結果を図 9 に、1/2 入力の場合の結果を図 10 に示す。今回の解析では NS 成分よりも EW 成分の方が増幅して伝達すると予想された。また図 9 のせん断歪み分布では入力が大きくなった EW 方向の応答では、地表面付近の方が歪みレベルが大きい結果となった。これは図 6 で示したように拘束圧の低い領域では小さい歪みで剛性低下が発生しやすいようにモデル化したためである。

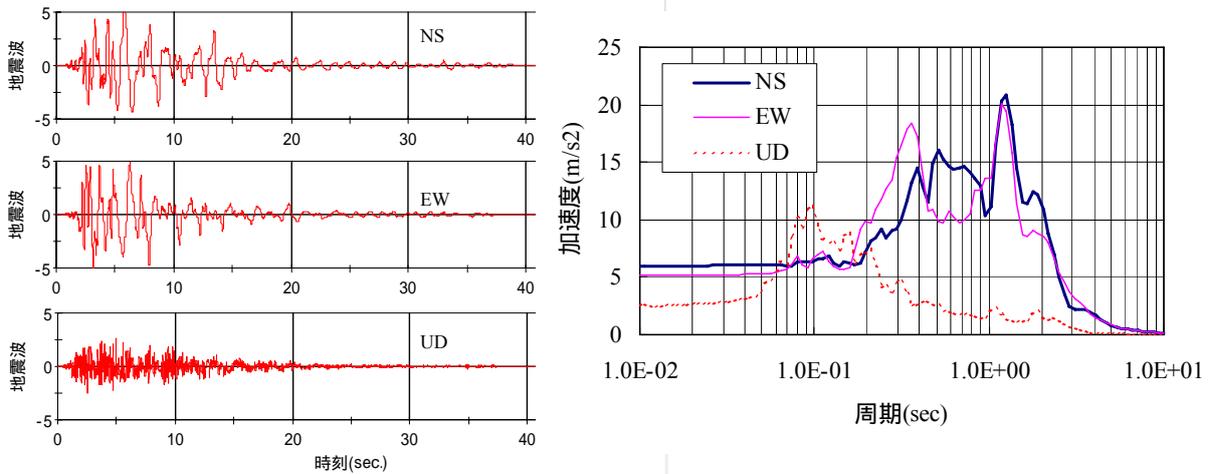


図 8 入力地震動 (1995 年兵庫県南部地震・鷹取)

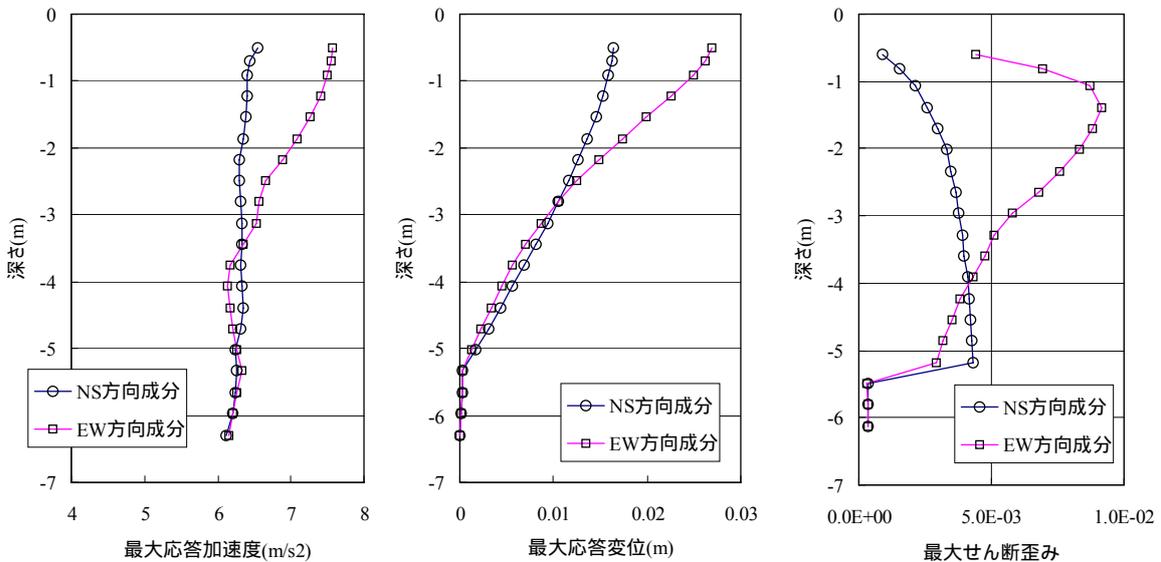


図 9 自由地盤の応答解析結果 (原波入力の場合)

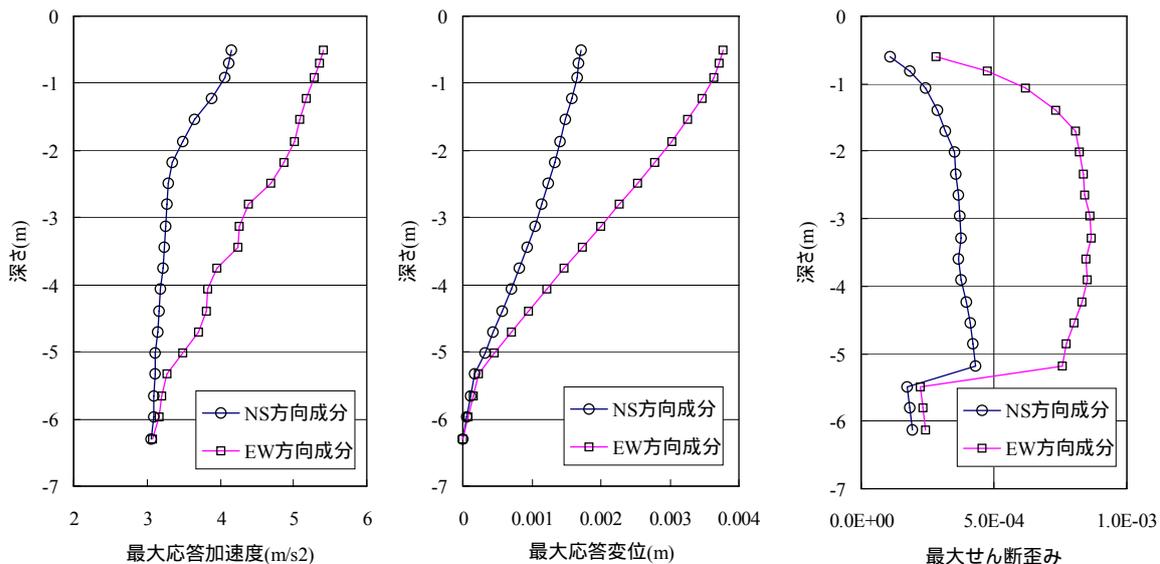


図 10 自由地盤の応答解析結果（原波の 1/2 レベル入力の場合）

b) 固有値解析結果

地震応答解析で用いる数値減衰を設定するために固有値解析を行った。表 1 に結果の一覧を示す。せん断リングの質量を考慮した場合としない場合、地盤の初期応力の設定の違い (K_0 値の違い) 及びフーチング底面と地表面との接続条件の違いの比較を行った。フーチング底面と地表面との接続条件の違いの概念図を図 11 に示す。このケーススタディの与える感度としては、フーチング底面と地表面との接続条件の違いが非常に大きかった。特にフーチングの根入れが無い今回のケースでは影響が大きかったと思われる。

レイリー減衰のパラメータ および の設定の固有値解析は、フーチング底面と地表面との接続を別個の節点とし、 $K_0=1.0$ 、せん断リングの質量は考慮しない場合とし、その結果、1次水平 3.25Hz、2次水平 8.25Hz となった。レイリー減衰のパラメータ および は 1次と2次の振動数で $h=0.02$ となるように設定した。表 1 の値よりも低振動数側となっているが、これは震動実験での相対密度が変更されたことと、杭と地盤との境界条件で鉛直方向変位をフリーにしたため(杭の鉛直方向を地盤変位と拘束すると1次は 4.9Hz となる) である。

表 1 固有値解析結果一覧（単位 Hz）

		せん断リングなし		せん断リング質量あり	
		$K_0=0.5$	$K_0=1.0$	$K_0=0.5$	$K_0=1.0$
構造物なし		9.61	10.43	9.3	-
フーチング底面 と地表面	同一節点	8.41	8.91	-	-
	別個の節点	5.24	5.50	-	-
上部構造物のみ		14.7			

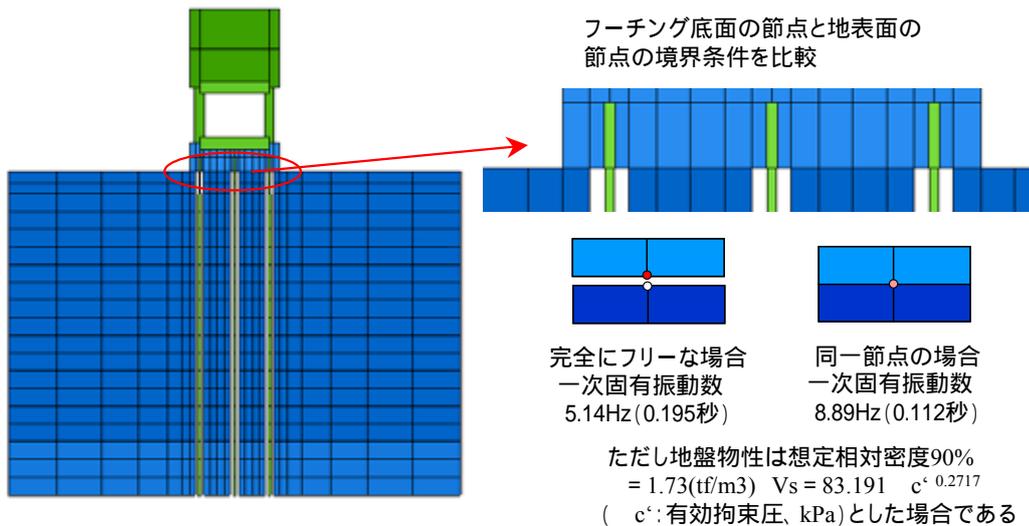


図 11 フーチング部分と地表面地盤要素の接続条件の検討

図 12 は三次元モデルを用いて線形解析を行った場合の上部構造物と地表面における加速度記録のフーリエスペクトルである。固有値解析結果の 1 次と 2 次とに対応したピークが認められる。試験体での微動や微小加振の結果と比較すれば、解析モデルの設定の妥当性が検討できる。

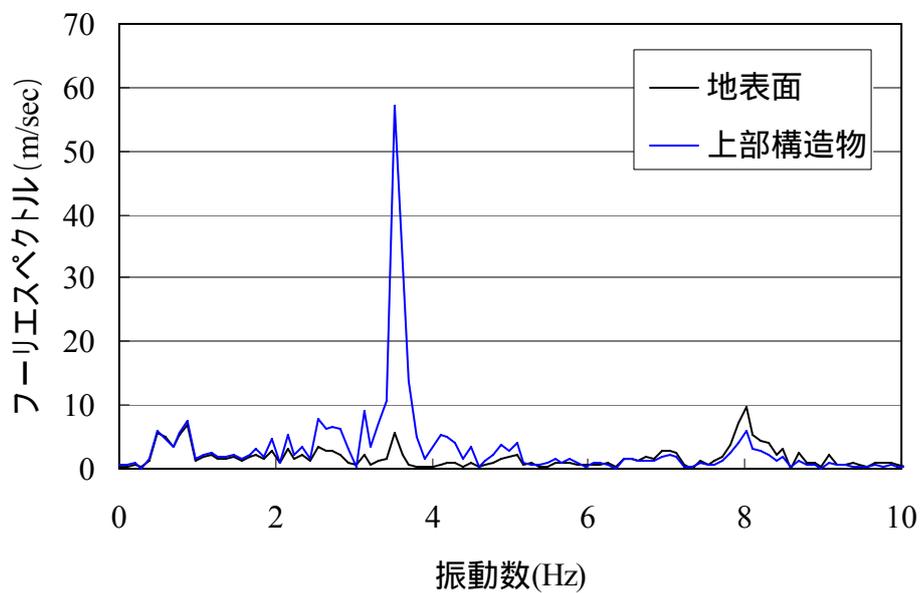


図 12 線形解析を行った場合のフーリエスペクトルの比較

5)地震応答解析

三次元FEMモデルの地震応答解析は入力地震動に1995年兵庫県南部地震の鷹取波を用いて、以下のケースを実施した。

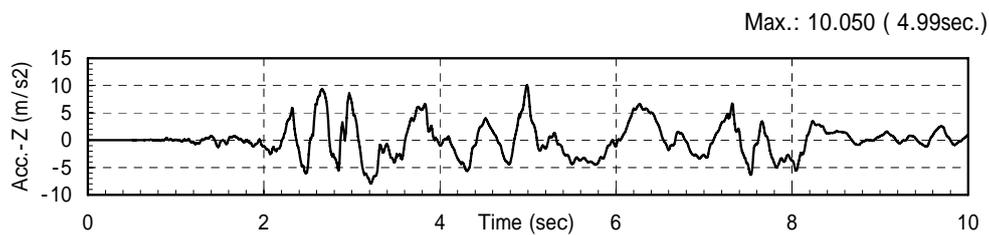
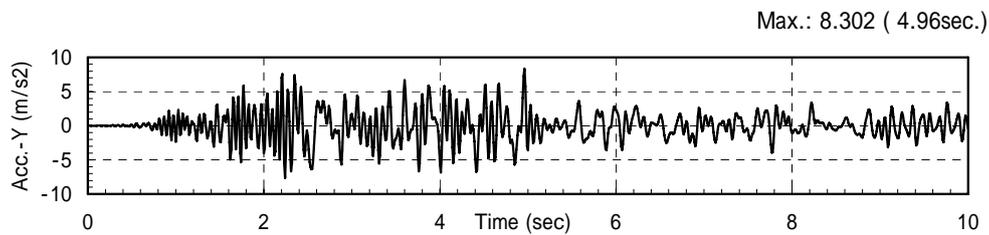
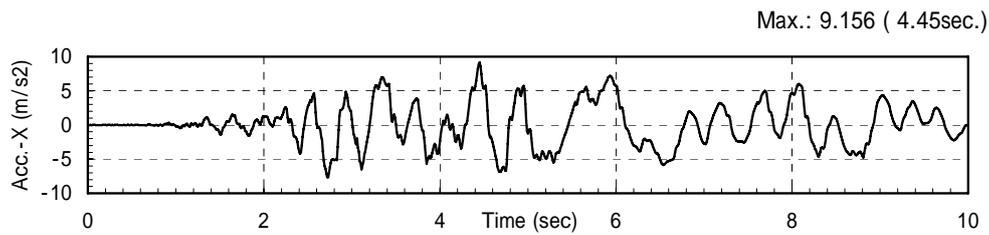
乾燥地盤	Dr80相当	基礎埋込み無し	鷹取波を1/20倍	水平二方向加振
乾燥地盤	Dr80相当	基礎埋込み無し	鷹取波原波	水平一方向加振
乾燥地盤	Dr80相当	基礎埋込み無し	鷹取波原波	水平二方向加振
乾燥地盤	Dr80相当	基礎埋込み無し	鷹取波原波	水平二方向+鉛直方向加振

なお応答解析結果は のケースを中心に示す。

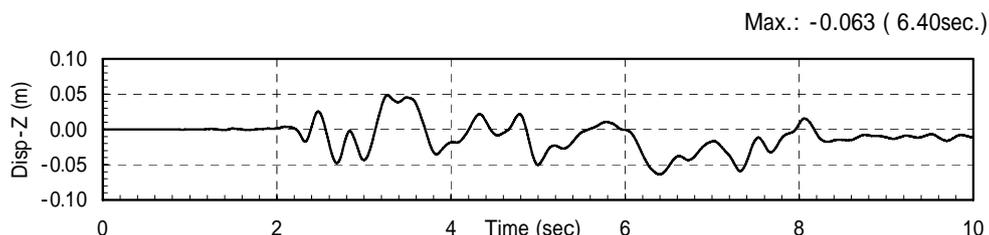
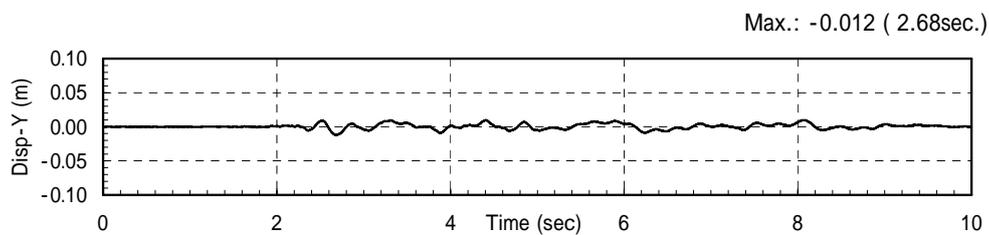
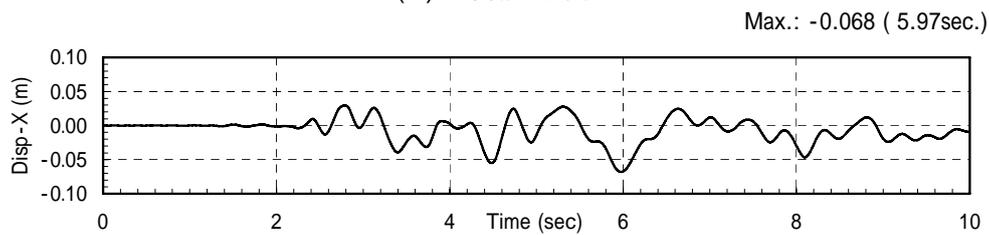
図13、図14にフーチング部および周辺地盤境界部(せん断リング)の応答加速度と応答変位の時刻歴を示す。加速度、変位ともややフーチングの方が大きめの応答を示している。フーチングの上下成分の応答が大きい、これは端部の杭の位置でのフーチング接続位置を出力したため、上部構造物から励起されるロッキングの影響が入っているためである。図15に最大応答加速度分布を、図16に最大応答変位分布を示す。周辺地盤の中間部と境界部とを比較すると水平変位や加速度には大きな違いが無い。杭~フーチング~ウェートの構造物の列の応答ではフーチングで約1G程度の加速度が発生し、ウェートの頂部では約2G程度(EW方向で18.6m/s²)の非常に大きな加速度が発生している。

図17は杭に発生する最大曲げモーメント分布である。中央杭と端部の杭についてNS+EW+UD入力、NS+EW入力、NS入力、EW入力の場合の最大値を重ね書きした。NS+EW+UD入力とNS+EW入力の最大値はほとんど同じ値であり、UD入力がモーメント分布に与える影響は小さい。また多方向入力の結果と一方向入力とを比較すると最大値分布は大きくは変わってはいない。杭の配置で比較するとNS方向では端部の杭と中央の杭とでほとんど差異はないが、EW方向では端部の杭の杭頭と支持層との境界の地中部で応答が大きくなっている。最大値分布は長期軸力を考慮した場合の終局限界曲げモーメントの値を超える値が杭頭から深さ5mまで発生している。杭のM- 関係は図7に示したバイリニア型で設定しているので終局限界モーメントで値が頭落ちするため、深さ方向に一定な最大値分布の傾向となっている。なおモーメントの降伏判定は梁要素の中央の値(積分点の平均値)とした。

時刻断面において杭の深さ方向の分布を抽出した結果を図18~図21に示す。深度分布の上にはフーチングでの加速度時刻歴を示し、時刻歴中にはモーメント値を抽出した時刻を の印で示した。図18は応答初期の分布でありGL-1m~-2m付近でモーメントが最大となっている。図19はEW方向、NS方向の加速度で最初に大きなピークが発生する時刻の分布である。杭頭部とGL-2m付近の位置でのモーメントが大きくなっている。図20は図19の加速度ピークの次のピークでの分布である。図21はさらに時間が進んだ時点での分布であるが、終局限界モーメントを超えると塑性ヒンジ状態になる場合にはこのような分布は発生しないと考えられる。杭のモーメントの傾向は、まず杭頭が完全固定ではないためGL-1m付近でモーメントが大きくなる。入力がさらに大きくなると杭頭で最大モーメントをとるようになり、杭頭でモーメントが大きくなる分、地中部でもそのモーメントに釣り合うモーメントが発生するが、その値が終局限界モーメントで頭落ちになっている。なおモーメントの降伏判定は梁要素の中央の値としているため、フーチング下端部では終局限界モーメントを超えている値が発生している。

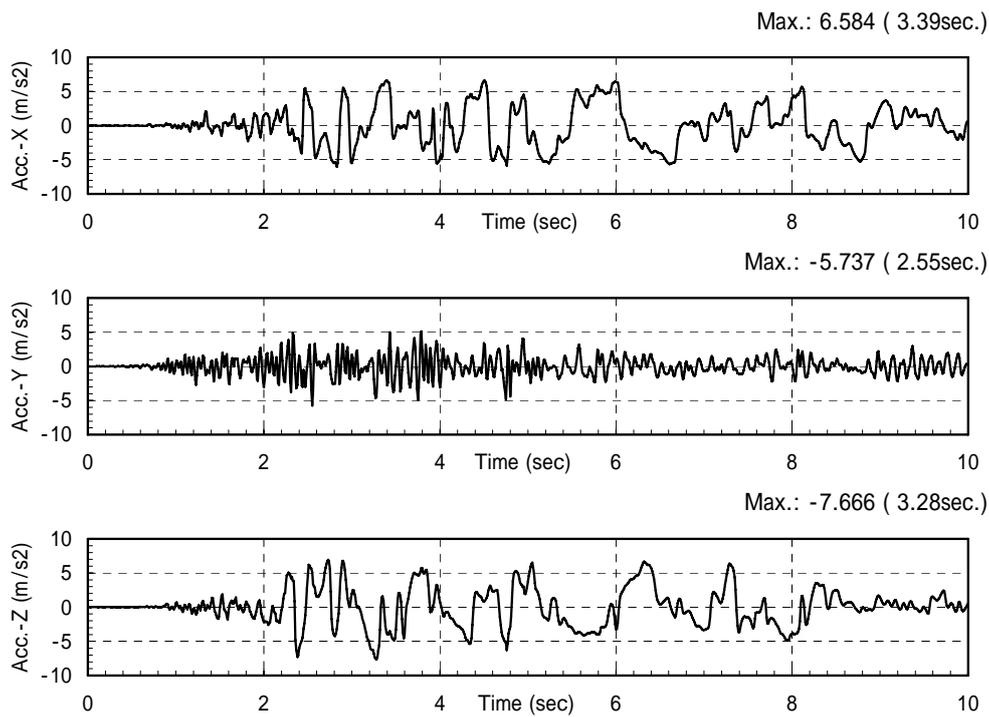


(1) 応答加速度

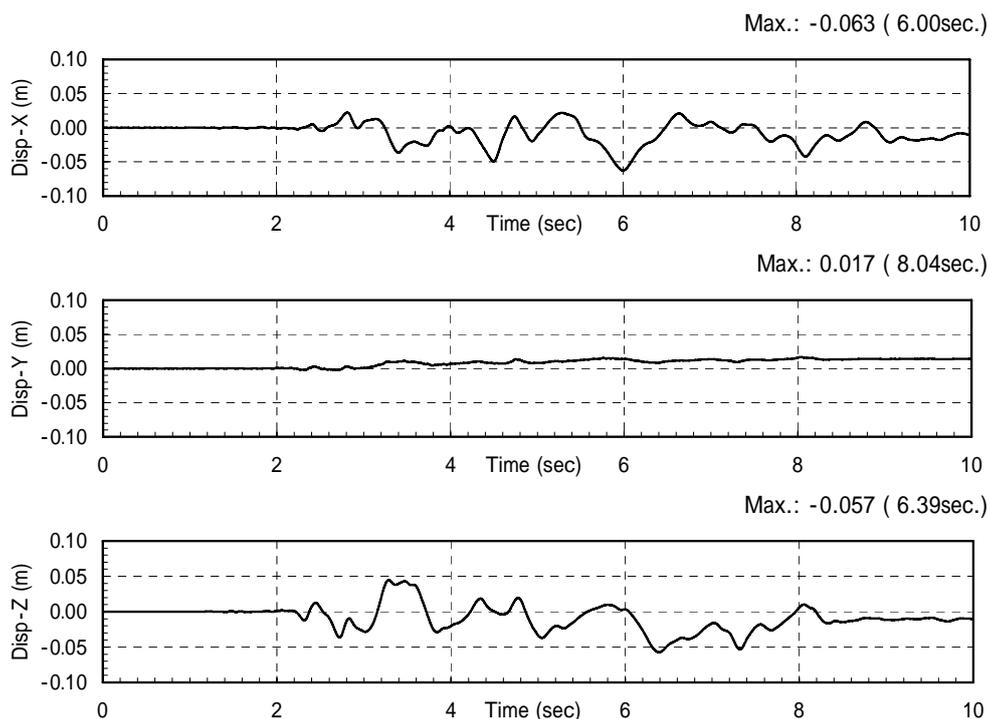


(2) 応答変位

図 13 フーチングの応答の時刻歴波形 (X : NS 成分、Y : UD 成分、Z : EW 成分)

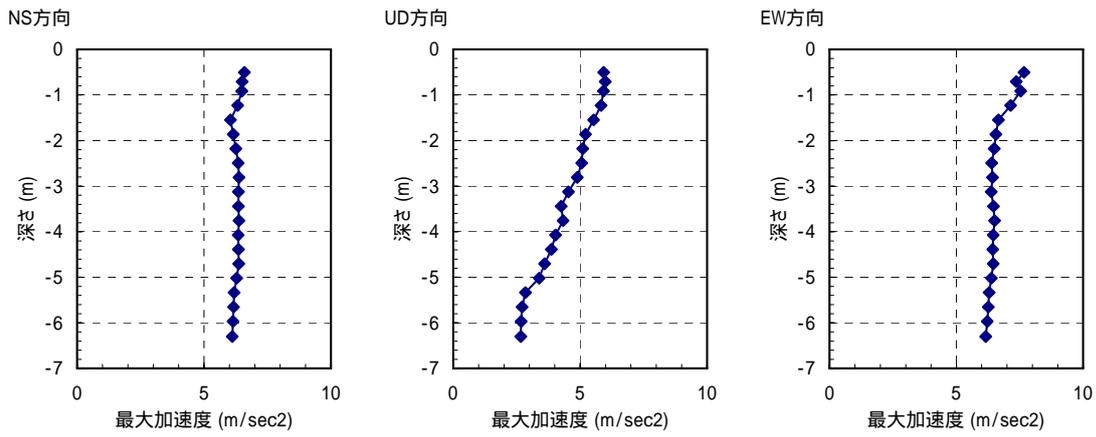


(1) 加速度

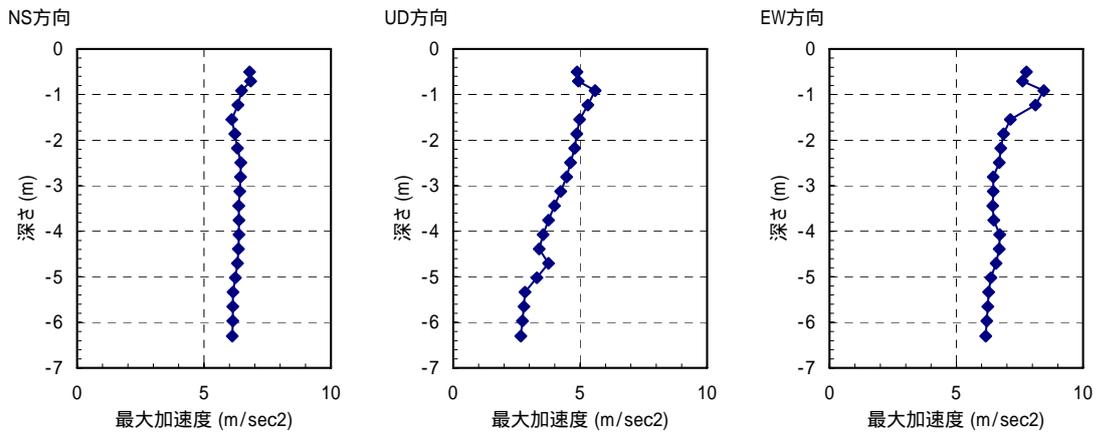


(2) 応答変位

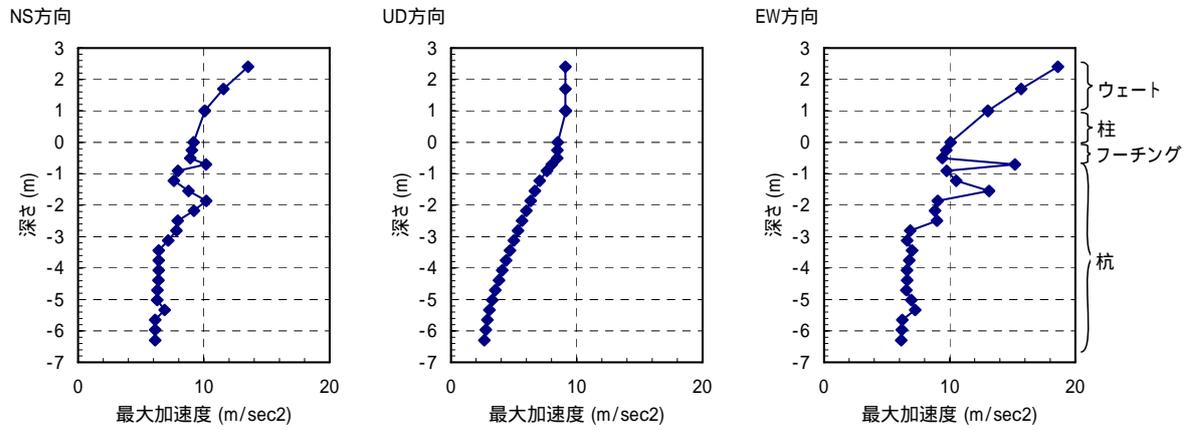
図 14 周辺地盤境界部の時刻歴波形 (X : NS 成分、 Y : UD 成分、 Z : EW 成分)



(1) 周辺地盤境界部



(2) 周辺地盤中間部



(3) 杭 - 上部構造

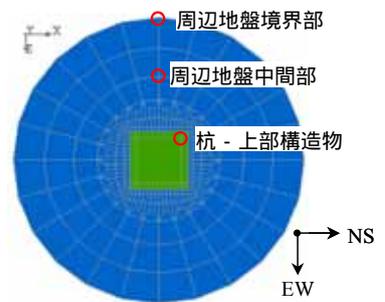
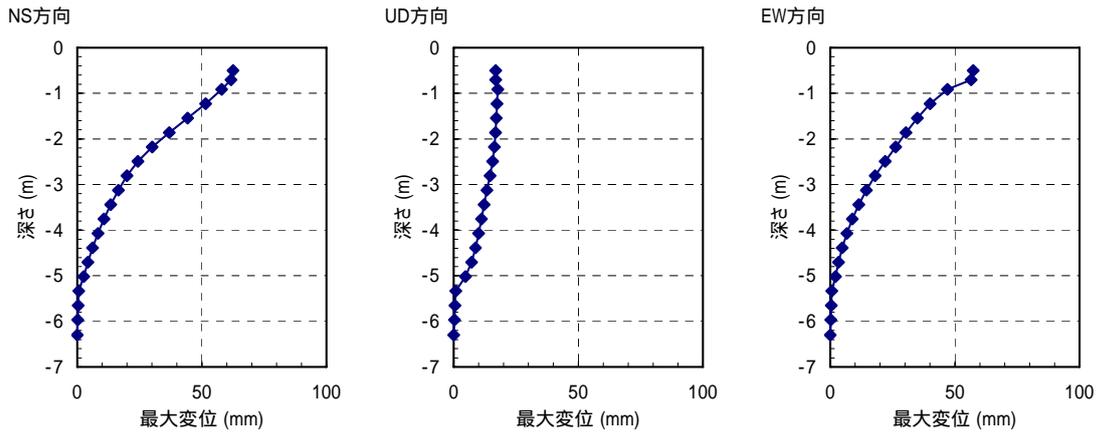
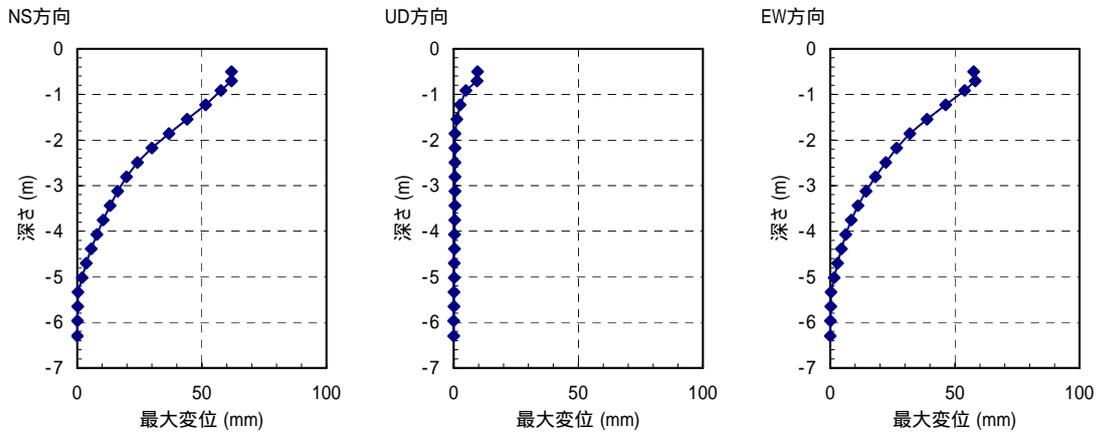


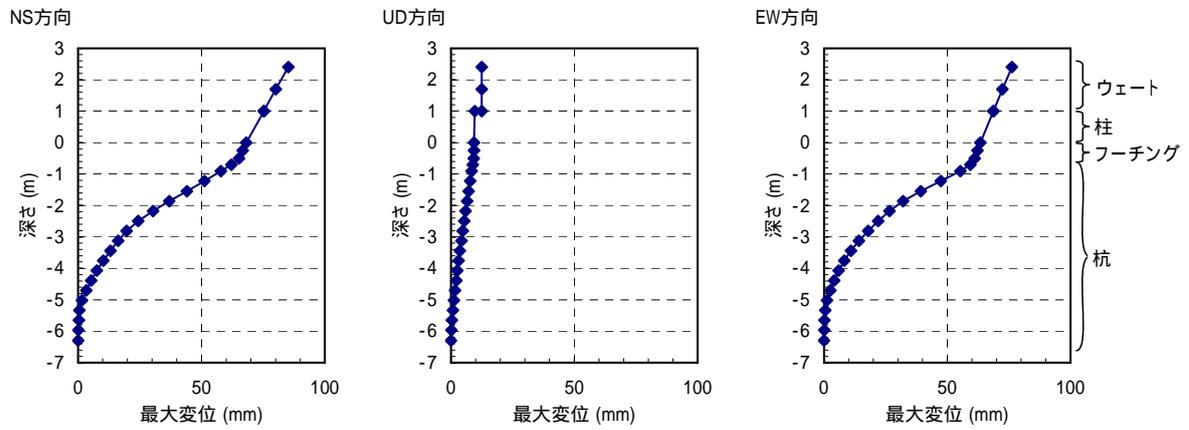
図 15 最大応答加速度の深度分布の比較



(1) 周辺地盤境界部



(2) 周辺地盤中央部



(3) 杭 - 上部構造物

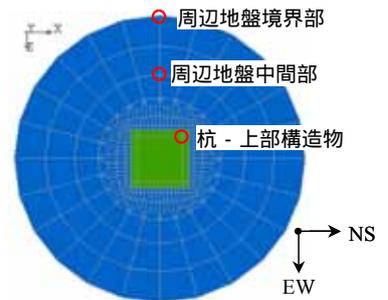
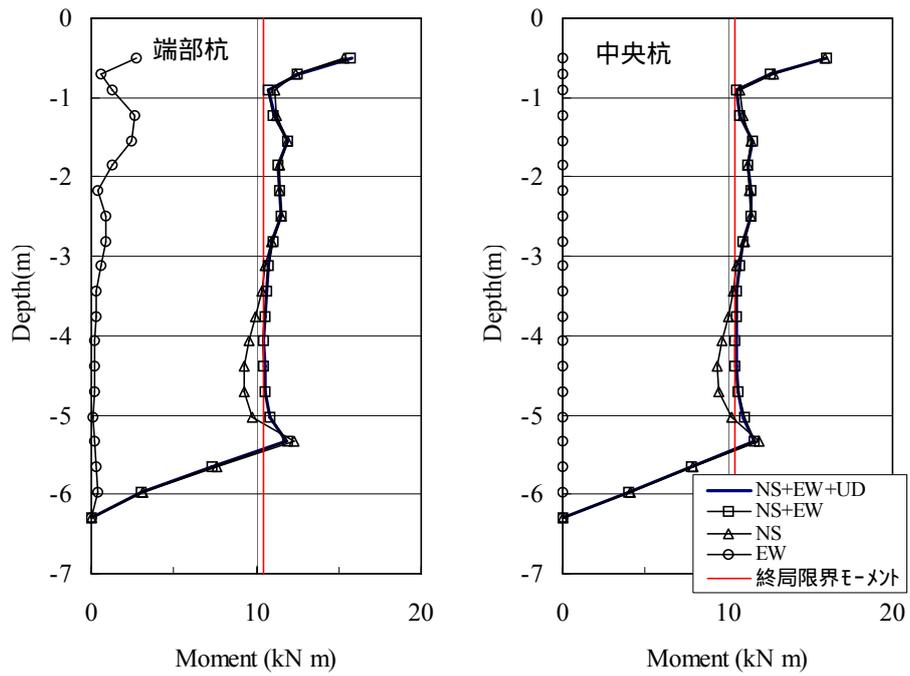
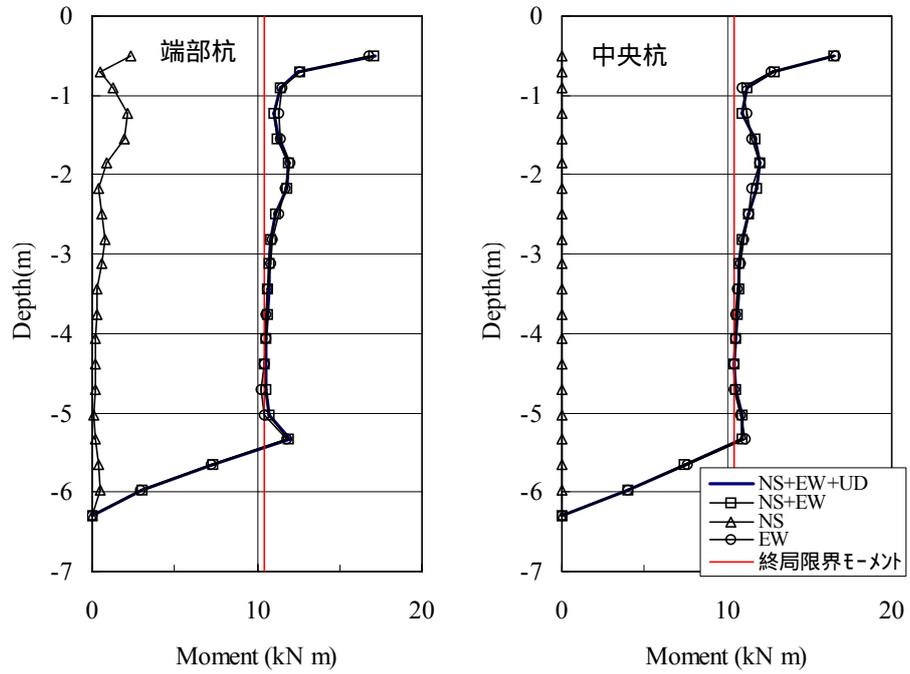


図 16 最大応答変位の深度分布の比較

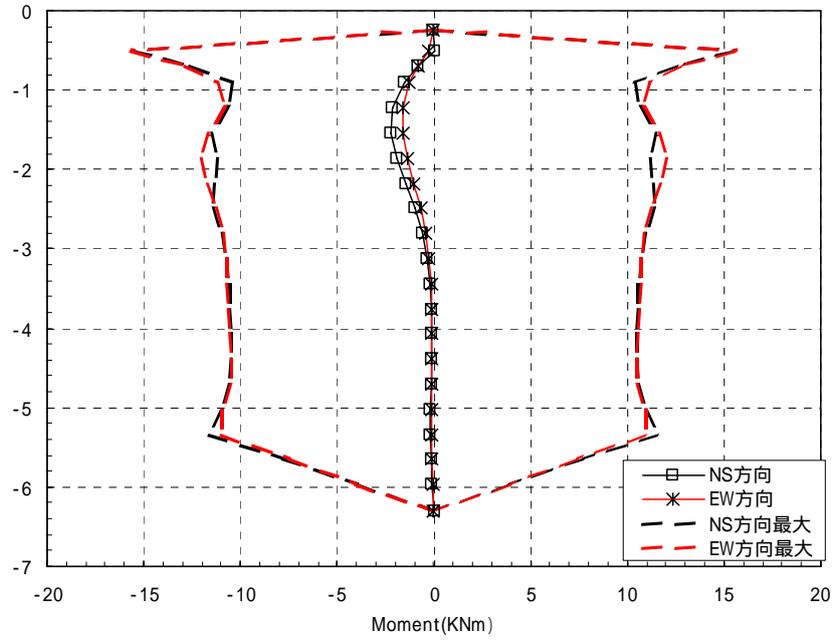
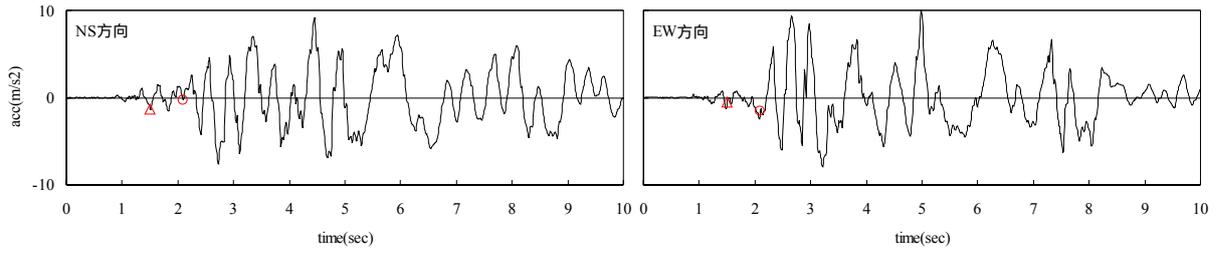


(1) NS 方向

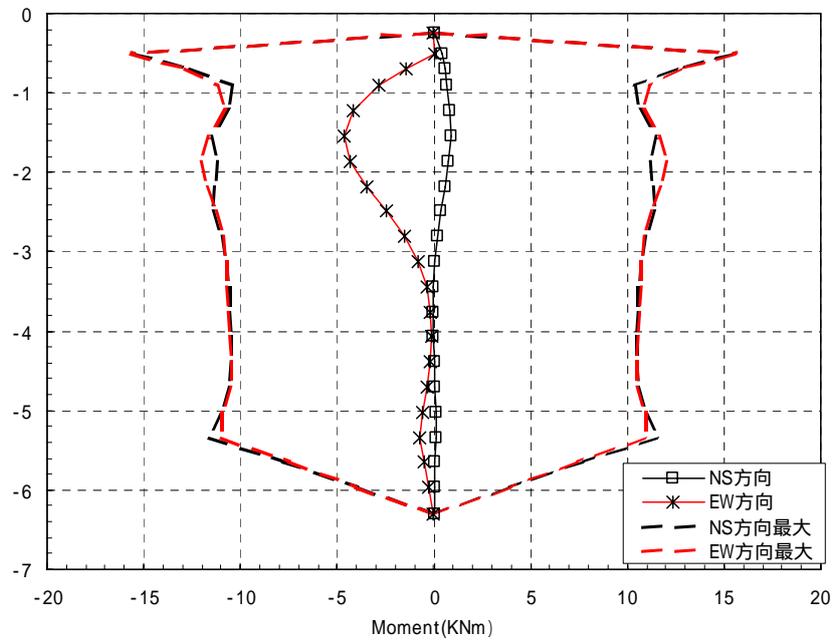


(2) EW 方向

図 17 最大曲げモーメント分布の比較 (多方向入力の比較)

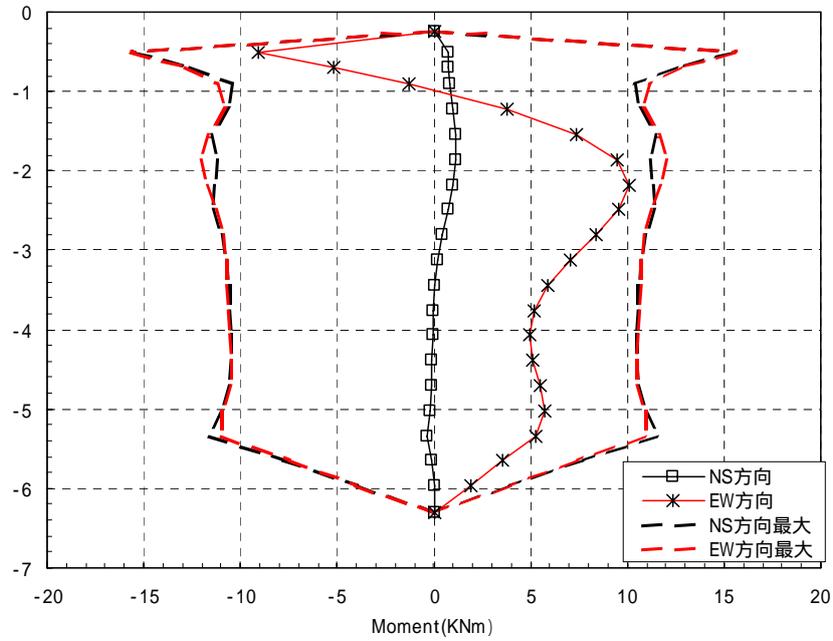
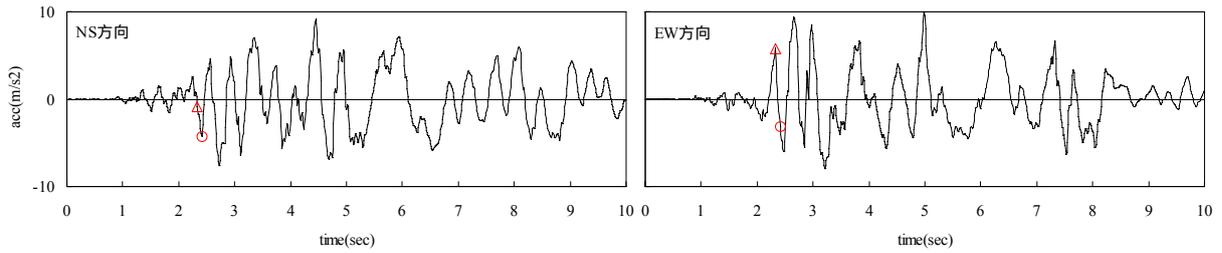


(1) 1.5 秒時 (印)

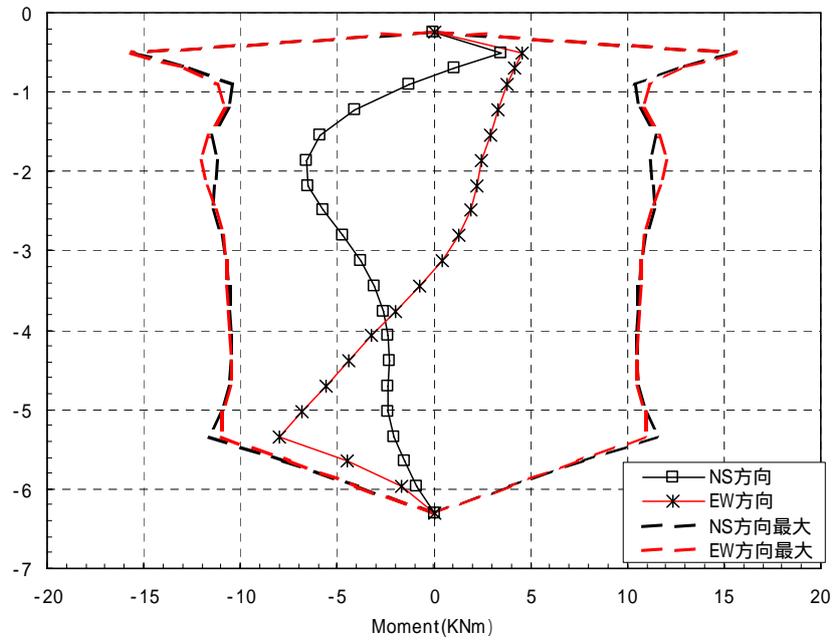


(2) 2.1 秒 (印)

図 18 曲げモーメントの時刻断面における深度分布 (NS+EW+UD 入力)

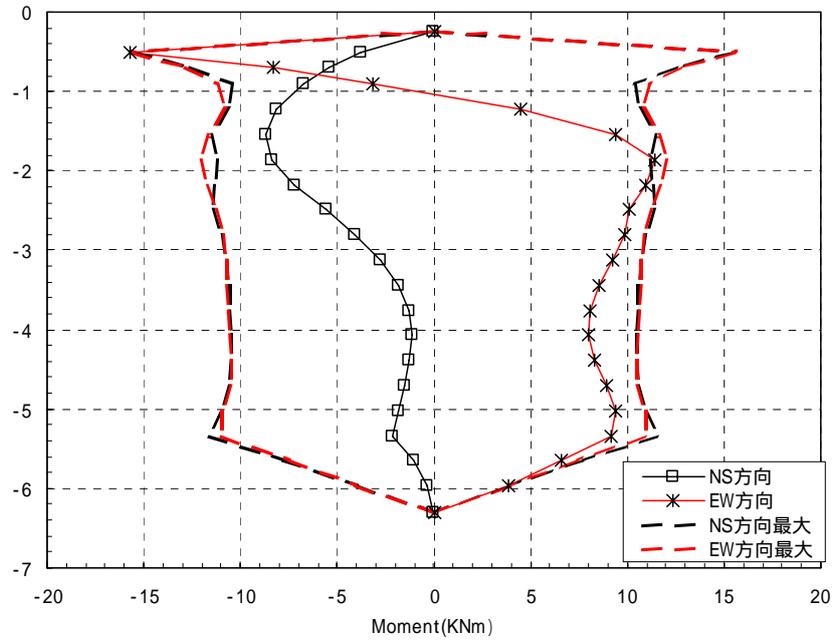
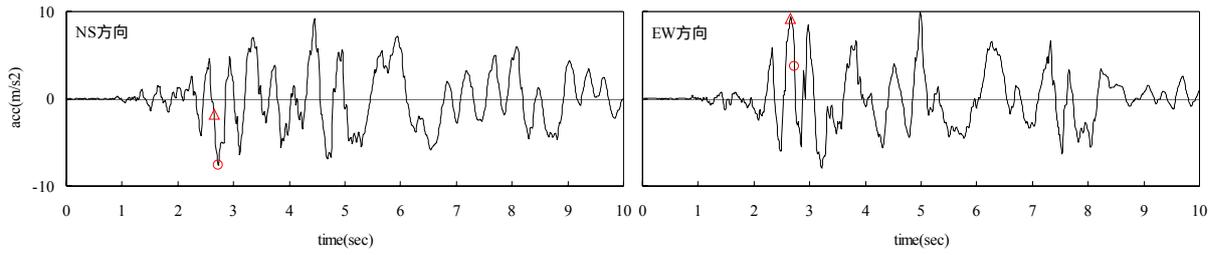


(1) 2.33 秒時 ()

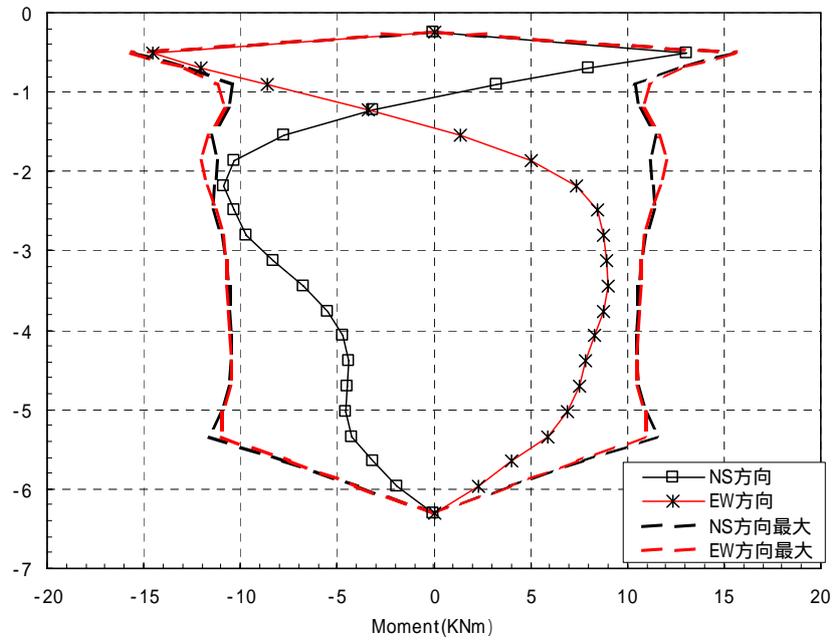


(2) 2.41 秒時 ()

図 19 曲げモーメントの時刻断面における深度分布 (NS+EW+UD 入力)

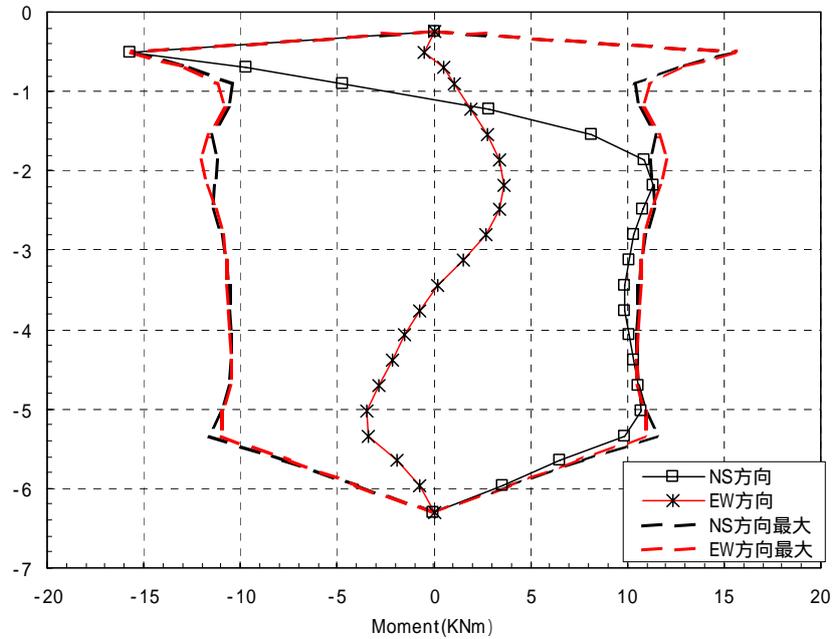
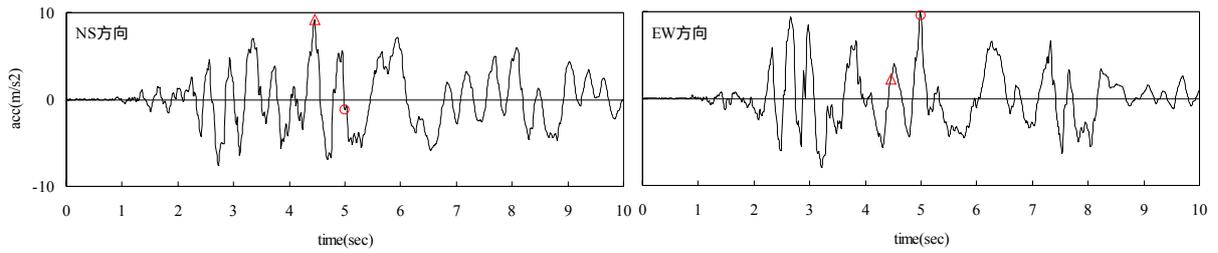


(1) 2.65 秒時 ()

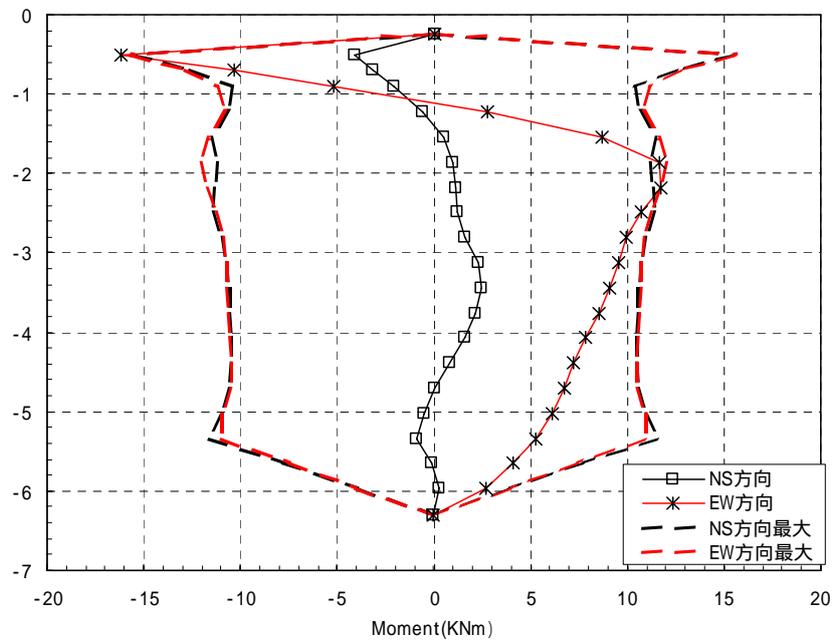


(2) 2.73 秒時 ()

図 20 曲げモーメントの時刻断面における深度分布 (NS+EW+UD 入力)



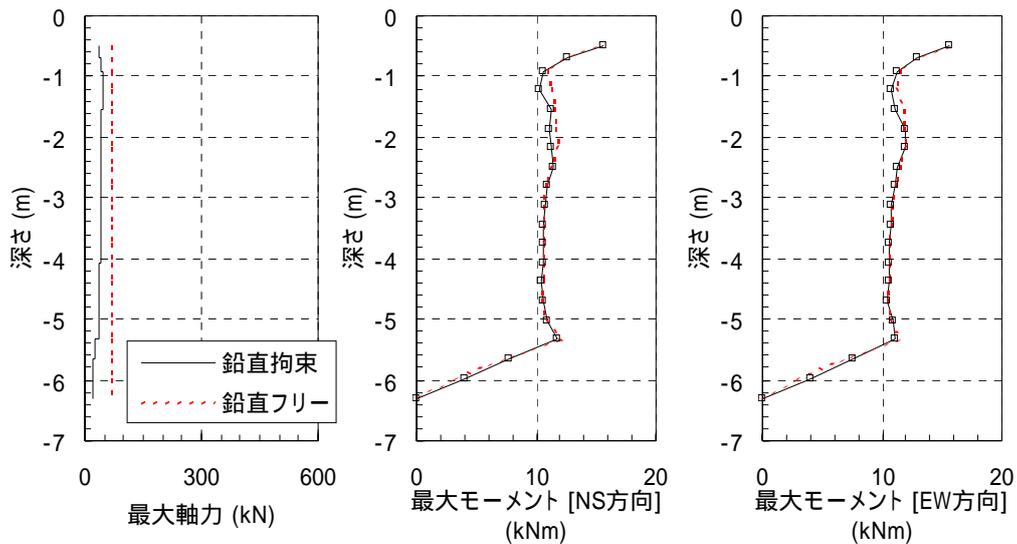
(1) 4.45 秒時 ()



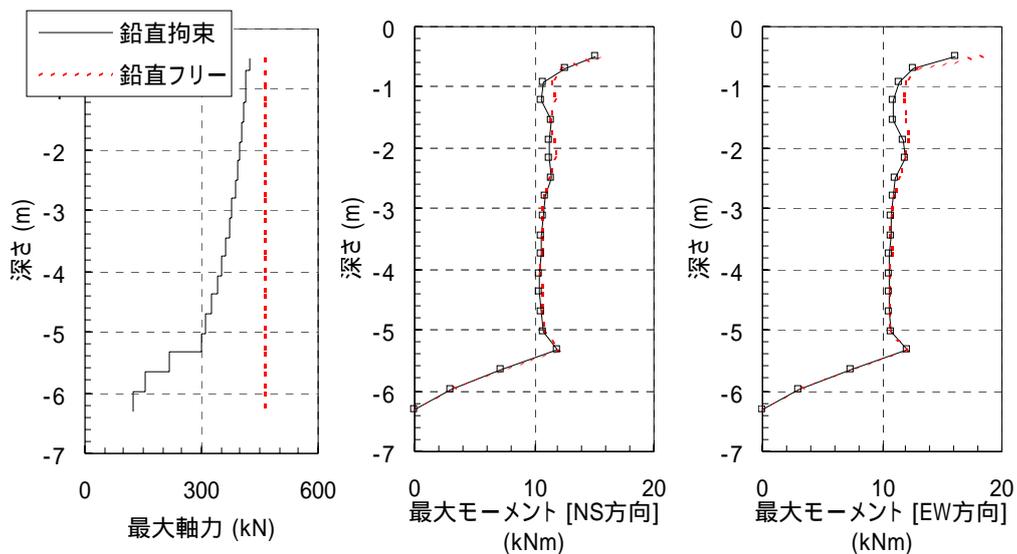
(2) 5.0 秒時 ()

図 21 曲げモーメントの時刻断面における深度分布 (NS+EW+UD 入力)

杭に発生するモーメントの発生傾向を図 18～図 21 で検討したが、杭のモーメント分布に与える境界条件などの影響を検討した結果を以降に示す。図 22 は図 2 で示した杭周辺地盤と杭の境界条件のうち、鉛直変位をフリー（杭周辺地盤と杭の変位を水平方向のみ等変位拘束した場合）にした場合との比較である。鉛直をフリーにした場合には周面摩擦が効かない状態であるため杭軸力がほぼ一定値となる。モーメント分布は中央杭はほとんど変わらず、端部杭で鉛直をフリーにした場合が杭頭付近でやや大きくなる。これは地表付近の地盤抵抗に違いが生じるためであるが、深い部分では拘束圧により地盤抵抗の違いが小さく、鉛直方向の境界条件の影響はほとんどない。杭と杭周辺地盤の境界条件はメッシュ形状にも拠るが、鉛直をフリーにした場合の方が安全側の検討が出来ると考えられる。



(1)中央杭



(2)端部杭

図 22 杭周地盤要素の節点と杭節点の境界条件の違いによる断面力の比較

また地盤の非線形特性が与える影響を比較する為に、地盤を等価線形物性（等価線形物性は図 9 の自由地盤モデルの応答解析結果より設定）として解いた場合の最大モーメントとの比較を図 23 に示す。等価線形物性の場合には杭頭と GL-1.5m 付近、及び支持地盤付近の層境界で極大をとる傾向を示しており、逐次非線形解析の結果とは大きく異なっている。これは地盤の、特に杭周辺地盤の非線形特性が杭の地中部の応答に与える影響が大きいことを示していると考えられる。

入力が小さい場合（入力地震動を 1/20 倍）の結果を図 24 に示す。入力が小さい場合は図 18 の場合の分布に近くなるため、GL-1m 付近で最大となる傾向がある。

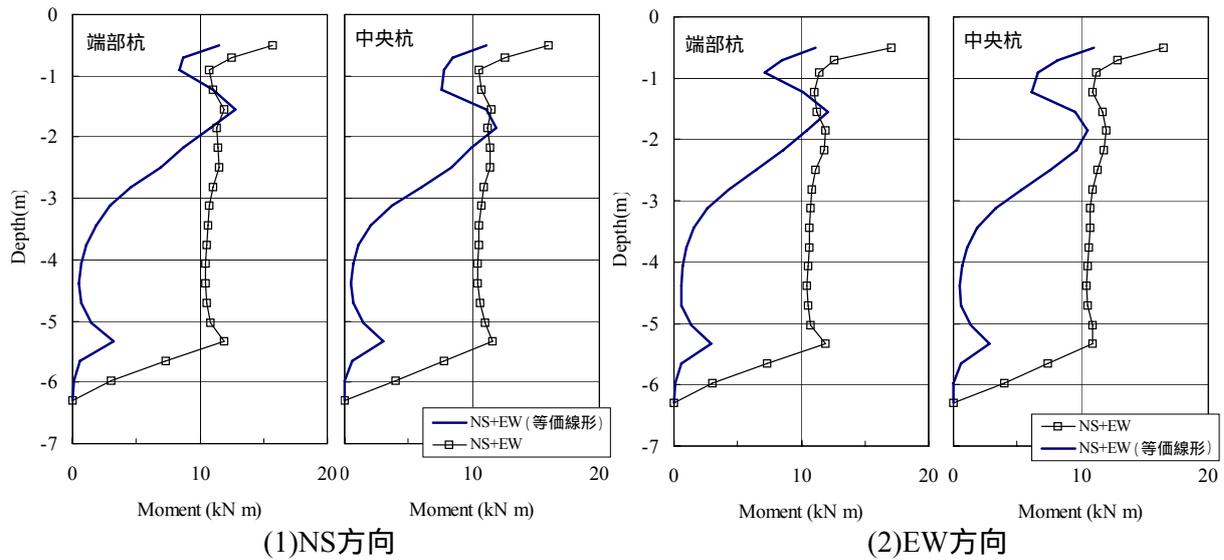


図 23 最大曲げモーメントの応答比較（地盤に等価線形物性を用いた場合）

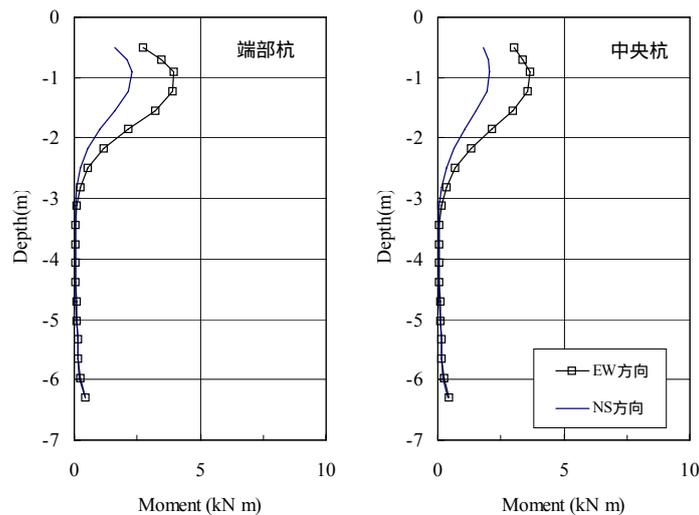


図 24 入力地震動を 1/20 倍したときの最大曲げモーメント分布

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 17 年度の研究を通して得られた結論および課題を以下に示す。

- 1) E - ディフェンスで実施される乾燥地盤を用いたせん断土槽中の杭の震動実験での入力地震動レベルを検討するために、フーチング部の埋め込みの無いモデルを用いた場合の応答解析を実施した。その結果、実験で想定している入力地震動を用いた場合にはまず杭頭～深さ 1.5m 付近で終局限界モーメントを超える大きな応答が発生すると予測された。またさらに応答が進むと深さ 5m 付近まで終局限界モーメントに近い値が発生すると予測された。
- 2) 杭に発生するモーメント分布の傾向は、入力がやや小さい場合には杭頭よりも 0.5m 程度下がった深さで大きくなり、入力が大きくなると杭頭部および杭頭よりも 1m 程度下がった深さで大きくなることを示した。入力が小さい場合の応答は杭頭固定度のモデル化によると考えられるので、入力が小さい場合の応答結果の分析などによりモデル化の妥当性の検証が有効であると考えられる。
- 3) 杭に発生するモーメント分布をバイリニア型の M - 特性をもつ材料とし、バイリニア型の第二勾配を初期勾配の 1/100 倍と設定した。杭のモーメントの降伏判定を梁要素の中央の値で行ったため、フーチング下部で終局限界モーメントを超えた応答となっているため、全体的に過大な応答となった。また、実験結果との比較によりバイリニア型によるモデル化の妥当性の検証が必要である。
- 4) 地盤を等価線形物性で評価した場合と逐次非線形解析で行った場合との比較を行った。杭に発生する最大モーメントのレベルを推定するためには等価線形物性による評価もオーダー的な評価は可能であるが、全体的に等価線形物性による解析での応答は小さかった。これは杭周辺の地盤の非線形特性が重要であることを示しており、実験結果との検証が地盤のモデル化にとって有効である。
- 5) 今回の解析では上下方向成分の入力が杭の応答に与える影響が非常に小さい結果になった。地盤中の上下方向の振動増幅特性などとも合わせて実験結果との整合性を検討すれば、上下方向の応答評価手法の構築に有効であると考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 塩見忠彦, 吉澤睦博, 鬼丸貞友, 津國正一: 地盤と構造物の非線形挙動を考慮した構造解析システムの開発, 竹中技術研究報告 No.54, 1998
- 2) 福武毅芳: 土の多方向繰返しせん断特性を考慮した地盤・構造物系の三次元液状化解析に関する研究, 名古屋工業大学博士論文, 1997
- 3) Ishihara, K., Yoshida, N. and Tsujino, S: Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading, Fifth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics Nagoya, pp373-380, 1985

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

特になし

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

特になし

(3) 平成 18 年度業務計画案

E - ディフェンスで実施される実大スケールの地盤 - 杭基礎 - 構造物の震動台実験のシミュレーションを行い、以下の知見を得た。

平成 17 年度：

- ・平成 17 年度に実施される乾燥地盤 - 杭基礎 - 構造物の震動台実験のうち、基礎の埋め込みの無いケースのシミュレーションの準備解析として固有値解析を行い振動特性を把握した。その結果、基礎の埋め込みの無い場合には基礎部分と地表面との境界条件の設定により一次固有振動数が大きく違うことを示した。
- ・平成 17 年度に実施される乾燥地盤 - 杭基礎 - 構造物の震動台実験のうち、基礎の埋め込みの無いケースのシミュレーションを行った。その結果、実験で用いる入力地震動（1995 年兵庫県南部地震・鷹取波）をそのまま入力した場合には、まず応答の初期に杭頭部～地中部 1.5m 付近までに終局限界曲げモーメントを超えるモーメントが発生することを予測した。
- ・震動台実験のシミュレーションでは水平一方向入力、水平二方向入力、水平二方向 + 上下方向入力の違いが杭の応答に与える影響を検討した。その結果、上下方向入力の与える影響は比較的小さいことを示した。

引き続き 18 年度は以下の作業を行う。

平成 18 年度：

解析対象のモデル化

E - ディフェンスで実施する実大スケールの地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験のうち、湿潤砂を用いた震動台実験の予測解析を行うための三次元 FEM によるモデルを作成する。準備解析を行った後、必要に応じてモデルの修正を行う。

地盤のモデル化

地盤 - 杭基礎 - 構造物モデルの震動台実験の予測解析を行う際に重要となる地盤の構成モデルの設定を行う。必要に応じて構成モデルの改良を行う。

解析実施と結果の整理

動的有効応力解析の定式化に基づく三次元 FEM 解析を竹中工務店所有の計算機により行う。解析結果を整理するとともに、解析結果と震動台実験結果の分析から、「数値震動台」の一部となる地盤の 3 次元数値シミュレーション手法の開発・高度化で課題となる地盤の構成モデルの設定について、主に湿潤砂の液状化時の挙動に着目した知見の抽出を行う。