

### 3.3.2 強非線形地盤－杭基礎構造物の三次元数値解析に基づいた杭応力の特性

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成16年度業務目的

##### (2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 解析内容
  - 2) 解析モデル概要
- (c) 業務の成果
- (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，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

##### (3) 平成14～16年度業務のまとめ

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

強非線形地盤－杭基礎構造物の三次元数値解析に基づいた杭応力の特性

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	E-mail
鹿島建設（株） 技術研究所 建築構造グループ	上席研究員	鈴木 康嗣	suzuki-y@kajima.com
都市防災・風環境グループ (14年度～16年度6月)	上席研究員 (鹿島建設 在籍時)	八幡 夏恵子	ktr-kaeko@kajima.com
建築構造グループ	主任研究員	宮田 章	miyata-akira@kajima.com
都市防災・風環境グループ	主任研究員	安達 直人	adachina@kajima.com
		桜庭 和子	sakuraba@kajima.com

### (c) 業務の目的

大地震時における液状化地盤・杭支持構造物の被害メカニズムを解明し、被害低減を実現するために実大震動台実験が計画されている。液状化地盤における杭支持構造物の三次元応答予測や模型実験結果のシミュレーション解析技術のレベルを向上させ、有効応力解析技術を汎用的な耐震評価ツールにすることは重要な課題である。

本業務は、実大震動台実験の基礎的研究として実施された中型振動台実験結果のシミュレーション解析を行い、実験結果との比較を通して三次元有効応力解析技術の妥当性・適用範囲等の知見を得ること、及び三次元有効応力解析コードの高度化を図ることを目的とする。

### (d) 3カ年の年次実施計画

#### 1) 平成14年度：

- ①豊浦標準砂の地盤物性評価
- ②三次元薄層要素法を用いた地盤・杭支持構造物の相互作用効果の評価
- ③三次元有効応力解析による簡易地盤モデルの応答特性評価
- ④三次元有効応力解析による実験モデルのシミュレーション解析
- ⑤報告書作成および論文作成

#### 2) 平成15年度：

- ①平成14年度に実施した入力の異なる実験結果に対するパラメータスタディ
- ②平成14年度に実施した水平1入力・水平2入力、短周期構造物実験のシミュレーション解析
- ③平成15年度に実施した水平2入力、やや長周期構造物実験のシミュレーション解析
- ④シミュレーションレベル向上のための地盤モデルの修正
- ⑤ポスト処理におけるアニメーション表示手法の整備
- ⑥報告書作成および論文作成

### 3) 平成16年度：

- ①平成15年度に実施した振動台実験のシミュレーション解析の向上
- ②平成16年度に実施した振動台実験のシミュレーション解析
- ③3入力下における杭応力の検討
- ④報告書作成および論文作成

#### (e) 平成16年度業務目的

- ①平成15年度、平成16年度に実施した振動台実験の解析用液状化地盤モデルを修正した解析モデルを作成し、1入力から多入力条件下のシミュレーション解析を行い、三次元有効応力解析法（DYNAFLOW<sup>1)・2)</sup>）の有効性を示す。
- ②本研究における実験およびそのシミュレーション解析は、今後実施される実大三次元震動台実験の準備研究として位置付けられていることから、実験と解析の両面から液状化地盤－杭－建物の動的特性に関する有効かつ実用的な知見および情報を得る。
- ③多入力条件下における有効応力解析と言う、既往研究がほとんどない解析結果に対して、新たな知見および情報を得る。
- ④報告書作成および成果を学会論文に投稿する。

## (2) 平成16年度の成果

### (a) 業務の要約

平成15年～16年度に農工研の三次元中型振動台により、液状化地盤－杭－建物に関するパラメトリックな振動台実験が行われた。本研究は、この振動台実験結果を用いて、三次元有効応力解析技術の妥当性および適用範囲等を把握し、解析コードの改良・高度化を目的として実施した。三次元有効応力解析は、鹿島建設（株）保有の解析コード（DYNAFLOW<sup>1)・2)</sup>）を用いて行った。解析は、構造物周期、埋込みの有無および入力条件をパラメータとした8実験に対して実施し、解析結果より杭基礎の動的特性を実証的に把握した。適用した本解析コードによる杭応力の解析結果は実験結果と良い対応を示し、有効性が大きい事を示した。多くの実験モデルに対して解析を実施したので、予定されている三次元実大震動台実験に対して有効な情報が得られた。特に三次元解析の既往研究例が殆どない杭の軸力変動に対する上下入力の影響を定量的に明らかにした。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 解析内容

液状化地盤－杭－建物の三次元中型振動台実験結果に対して、三次元有効応力法によるシミュレーション解析を行うフローを図1に示す。検討対象解析ケースを表1に、解析に用いた地盤および構造物・杭の物性値を表2および表3に示す。解析内容は以下のとおりである。

- ①液状化地盤－杭－建物に対する三次元有効応力シミュレーション解析を図1のフローに従って実施した。液状化地盤の物性については、平成15年度に実施したシミュレーション解析のレベルを向上させるために修正地盤モデルを作成し、その物性を用

いて解析を実施した。適用した解析コードはDYNAFLOW<sup>1),2)</sup>であり、採用した物性は表2、表3のとおりである。

②表1に示すように平成15年度の二層地盤のSタイプについて5つのケースの解析を実施し、パラメトリックなシミュレーション解析とした。又、Mタイプは、本解析コードと他コードとの対応関係を明らかにするため1ケースのみ実施した。二層地盤の下層は非液状化条件の線形地盤とした。平成16年度に実験を行った埋込み基礎モデルのSタイプについて2ケースの解析を実施した。埋込み基礎底面が地下水位位置であるため、表層は非液状化層とし、三層の地盤モデルを採用した。

③解析対象ケースは上記の全8ケースとし、解析コードの有効性を把握できるように、ケース毎に実験結果と解析結果を比較した。また、各解析ケースの相互比較により、入力条件の相違、埋込みの有無、および建物周期の相違の影響を把握した。解析に用いた地盤モデルには全て同じ物性を適用しているため、パラメータスタディの有効性が示された。

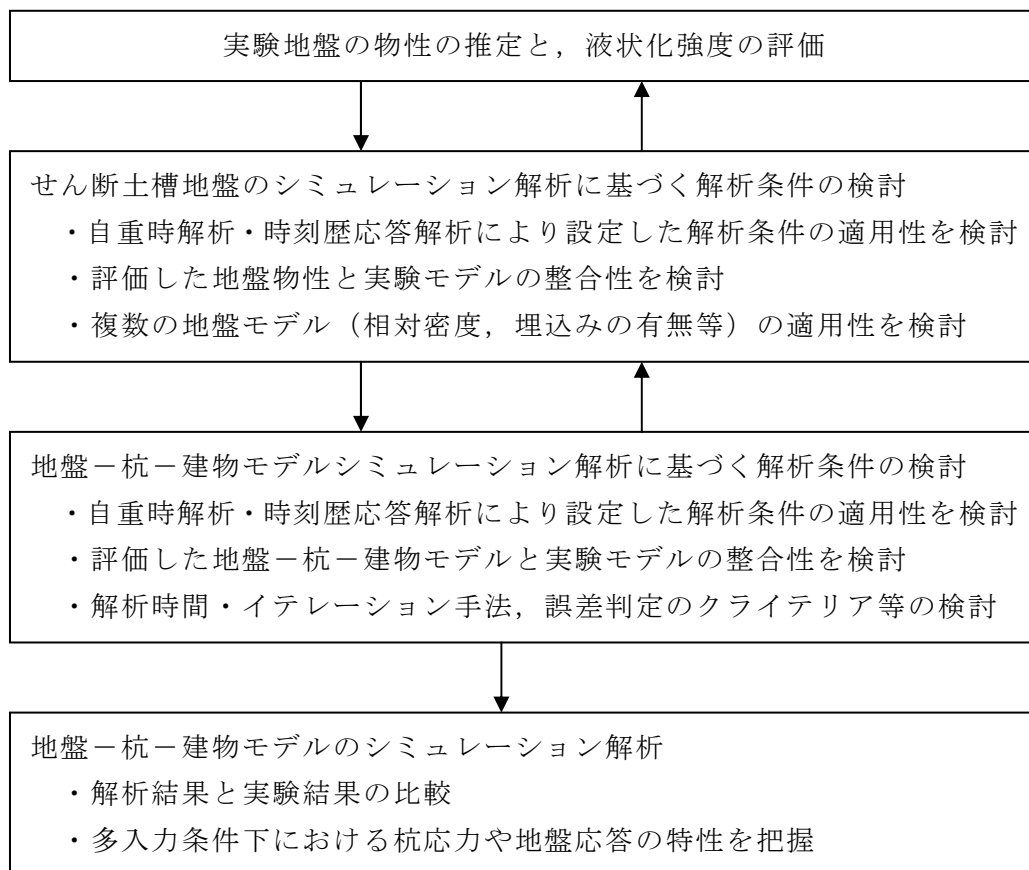


図1 振動台実験結果のシミュレーション解析フロー

表1 検討対象解析ケース

No.	実験年度	ケース名	地盤条件	埋込み有無	上部構造物	入力条件
47	H15	HCNSW47c1	二層地盤	無し	Sタイプ	NS
48		HCXYW48c1				NS_EW
50		HCEWW50c1				EW
49		HC3DW49c1				NS_EW_UD
51		HC75W51c1				75
33		HCXYW33c1			Mタイプ	NS_EW
42	H16	HCXYW42c1	三層地盤	有り(20cm)	Sタイプ	NS_EW
43		HC3DW43c1				NS_EW_UD

表2 解析に用いた地盤の物性値

相対密度	Dr (%)	50	80
土粒子密度	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.64	
間隙水密度	$\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.00	
間隙率	n	0.442	0.405
透水係数	k (m/s)	$1.65 \times 10^{-4}$	
土骨格せん断弾性係数 <sup>3)</sup>	$G_0$ (MPa)	29.04	37.09
土骨格ポアソン比	$\mu$	0.33	
間隙水体積弾性係数	Bw (MPa)	$2.222 \times 10^3$	
粘着力	c	0.0	
内部摩擦角 <sup>4)</sup>	$\phi$ (°)	36	40
ダイレイタンス角 <sup>5)</sup>	$\phi_d$ (°)	24	28→36 <sup>注)</sup>

注) 平成15年度から変更

表3 解析に用いた構造物・杭の物性値

パラメータ		Sタイプ				Mタイプ			
		上部	基礎	柱	杭	上部	基礎	柱	杭
質量	(kg)	247.6	47.1	-	-	247.6	47.1	-	-
高さ	(m)	-	-	0.3	-	-	-	0.49	-
外径	(mm)			36	32			16	32
内径	(mm)			-	30			-	30
断面積	(m <sup>2</sup> )			1.02E-03	9.74E-05			2.01E-04	9.74E-05
断面二次モーメント	(m <sup>4</sup> )			8.24E-08	1.17E-08			3.22E-09	1.17E-08
ヤング率	(Pa)			2.06E+11	1.93E+11			2.06E+11	1.93E+11
ポアソン比				0.3					

## 2) 解析モデル概要

解析モデルの概要は以下のとおりである。

- ①解析対象とした実験ケースの地盤は、ほぼ相対密度 80%であったので、本年度の解析には相対密度 80%の定数を用いた。解析に用いた地盤物性は表 2 に示したとおりであり、既往資料<sup>3)~5)</sup>に基づいて設定した<sup>6)~10)</sup>。液状化地盤の特性を決める定数であるダイレイタンシーパラメータは、実験結果の過剰間隙水圧と加速度の時刻歴応答を最も忠実に再現する値とした。表 2 の定数を用いた応力比 0.25 の場合の非排水繰返し三軸試験のシミュレーション解析結果と、求めた 3 ケースの液状化強度(応力比; 0.25, 0.20, 0.15)を図 2 に示す。解析結果は実験結果<sup>11)</sup>と良く対応している。
- ②下層の碎石層の物性値としては乾燥密度; 1.896 (g/cm<sup>3</sup>) とせん断剛性; 52.2 (Mpa) (有効拘束圧; 14.9 (kPa))を用いた。なお、せん断剛性の評価は 3.3.3 項に詳しい。
- ③三層地盤モデルは、二層地盤モデルの上に層厚 20cm の表層部分を載せた。地盤モデルの概要を図 3 に示す。地下水位は表層下面の GL-20cm であることから、表層の地盤物性は一相系とし、液状化地盤の流体部分を除いた物性値を適用した。
- ④平成 15 年度に実験を行った建物 S タイプと M タイプの構造物・杭の詳細は 3.3.1 項に示されているが、解析に用いた定数は表 3 に示したとおりである。平成 16 年度に実験を行った埋込み基礎の形状は 3.3.1 項に示されているが、埋込み基礎部分(アクリル製、密度; 1.19 (g/cm<sup>3</sup>), ポアソン比; 0.33, せん断弾性係数; 1300 (MPa))をソリッド要素でモデル化し、質量は埋込み体積で除した値である 0.2g/cm<sup>3</sup>とした。平成 15 年度に実験を実施した埋込みのないケースの解析モデルを図 3 に示す。図 3 には、杭・建物及び地盤層序の概要を示した。地盤の層序は、埋込み無では二層地盤モデル、埋込みありでは三層地盤モデルである。埋込み無モデルの総節点数は 5894 であり、埋込み基礎モデルの総節点数は 6374 である。S タイプについて、基礎に対する建物の加速度フーリエスペクトル比を図 4 (a) に示す。実験結果と解析結果のピーク振動数はどちらも約 13Hz にあり一致している。
- ⑤地盤の側面の境界条件は周期境界とした。地盤と杭が接している節点の水平変位は同じとし、上下変位は同じ場合と自由の場合の 2 種類でモデル化した。埋込み基礎側面の節点では、水平は地盤と同じとし、上下は自由とした。基礎底面は地盤と節点を共有しないが、杭頭では地盤と節点を共有する。
- ⑥入力波は、1968 年十勝沖地震の八戸における観測波であり、NS 方向の入力振幅は約 200cm/s<sup>2</sup> である。解析では、各々のケースに対応した振動台の計測波形を入力した。強軸方向の波形は、NS, EW の観測波のオービットから求められた強軸方向 (75°) の波であり、同じく振動台の計測波形を入力した。モデルは 1/5 の縮小モデルであり、時間軸を 1/√5 倍した。NS (X) と EW (Y) の入力波の加速度フーリエスペクトルを図 4 (b) に示す。EW 方向では低振動数成分の振幅が NS 方向より大きい。

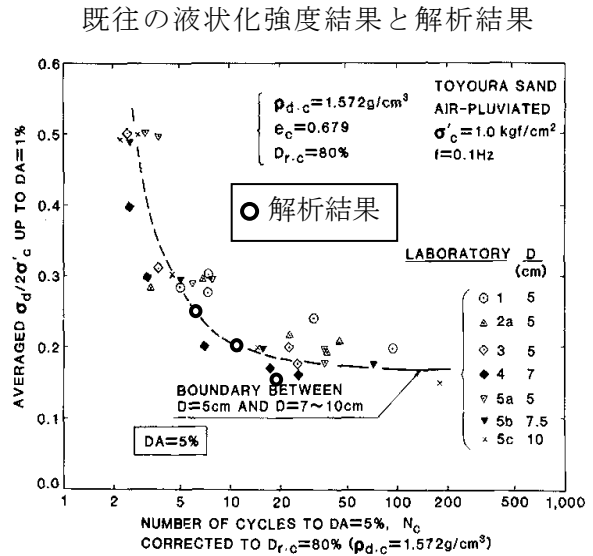
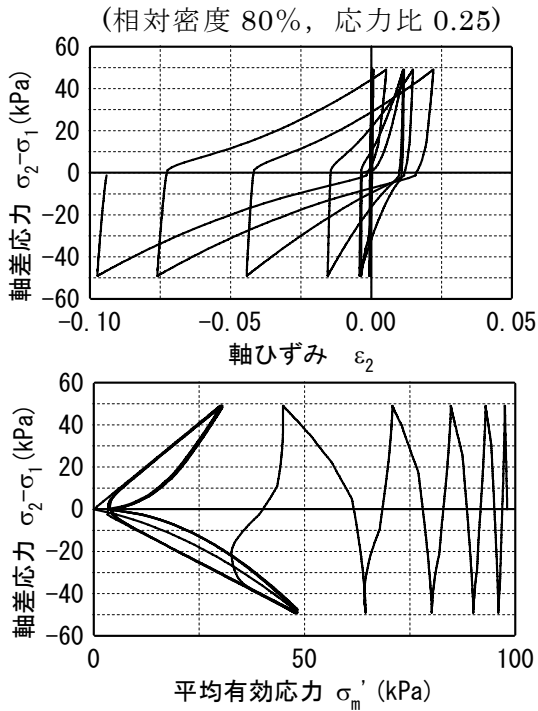


図2 非排水繰返し三軸試験のシミュレーション解析結果と液状化強度

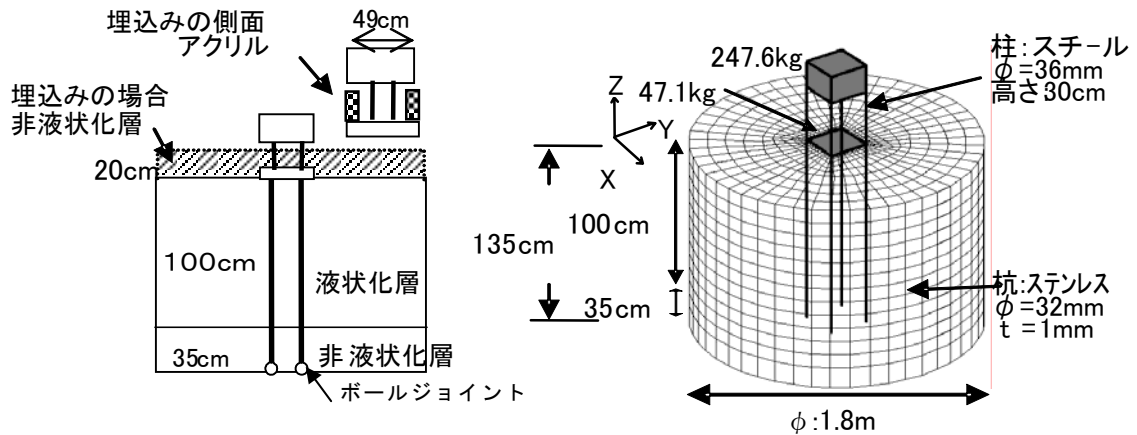
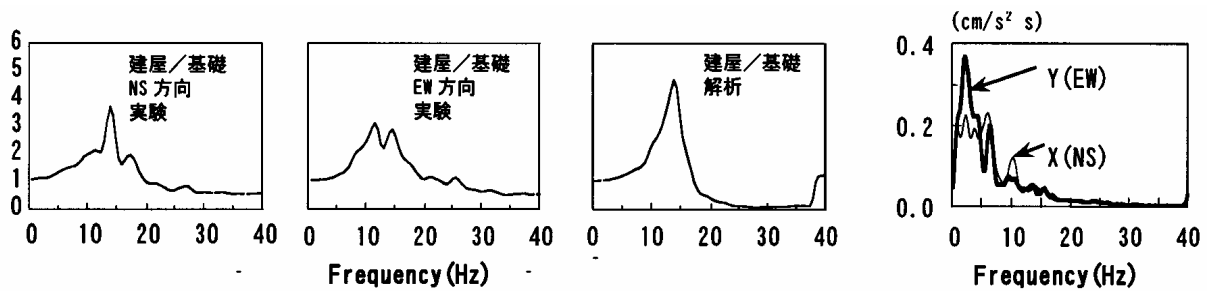


図3 地盤構成と解析モデルの概要



(a) 加速度フーリエスペクトル比 (建屋/基礎)

(b) 入力加速度

フーリエスペクトル

図4 加速度フーリエスペクトル (比) の比較

(c) 業務の成果

表 1 に示した S タイプのシミュレーション解析結果を以下に示す。

①地表から深度 20cm, 40cm, 80cm, 100cm における地盤モデルの過剰間隙水圧波形について実験結果と解析結果を比較して図 5 に示す。図中のモデル番号は表 1 の実験ケースのモデル番号に対応している。埋込み基礎モデル (No. 42, 43) の地表は他より 20cm 高いが、本稿では No. 42, 43 の地表は他のモデルと同じ位置、すなわち、表層の下面位置とした。

a) 実験では過剰間隙水圧上昇過程においてサイクリックモビリティが顕著である。解析ではその効果がやや小さいが、サイクリックモビリティの影響は再現されており、実験の傾向を概ね表現している。

b) 2 入力 (No. 48), 3 入力 (No. 49) 実験における過剰間隙水圧上昇カーブは、1 入力 (No. 47) より勾配が急である。解析でもこの傾向は再現されている。1 入力の No. 50 (NS) は No. 47 (EW) より勾配が急であり、2 入力、3 入力との差は小さい。

c) 3 入力 (No. 49, 43) の実験結果には、上下入力の影響が加わって他ケースと顕著な差が存在しているが、解析でもこの現象が再現されている。上下入力の影響を除けば、振幅は 2 入力 (No. 48, 42) と同等となる傾向も、実験と解析で一致している。

d) 埋込み基礎モデル (No. 42, 43) の実深度は埋込み無モデル (No. 47~51) より深いので、上昇する過剰間隙水圧の最大振幅が大きくなるが、この傾向も実験と解析で一致している。

e) 強軸入力 (No. 51) と EW 入力 (No. 50) の実験結果はかなり似ている。しかし、解析では EW 入力 (No. 50) の上昇傾向は実験結果と似ているが、強軸入力 (No. 51) ではやや異なっている。また、強軸入力 (No. 51) の解析結果の振幅が実験結果に比べて小さく、差が認められる。

② 2 入力の埋込み無モデル (No. 48) と埋込み基礎モデル (No. 42) の深度 10cm, 20cm, 40cm, 60cm における地盤の加速度波形を、実験結果と解析結果で比較して図 6 に示す。

a) 埋込み無モデル (No. 48) の実験結果は、液状化後に波形が長周期化すると共に、サイクリックモビリティが非常に顕著である。解析結果は、実験に対応したサイクリックモビリティの傾向を再現できている。

b) 埋込み基礎モデル (No. 42) の実験結果にもサイクリックモビリティが顕著に生じているが、解析ではサイクリックモビリティが小さく、再現できていない。

③ 振動台に対する杭頭の相対変位を、実験結果と解析結果で比較して図 7 に示す。No. 47, 50, 51 は対応する 1 方向の相対変位を、2 入力及び 3 入力の No. 48, 49, 42, 43 は NS と EW 成分を示した。埋込みの有無に関わらず、解析結果は実験結果をほぼ再現できている。EW 方向の変位は NS 方向の変位より大きく、その傾向は実験と解析で対応している。No. 48, 49 の NS 方向の振幅は 1 入力の No. 47 より大きく、EW 方向の振幅は 1 入力の No. 50 より大きい。この傾向も実験と解析で対応している。なお、基礎の相対変位に関しては、入力の相違の影響は小さい。埋込み基礎モデルの No. 42 と No. 43 の波形は似ており、3 入力と 2 入力の相違の影響は小さい。

④ 建物と基礎の加速度波形を、実験結果と解析結果で比較して図 8 に示す。

a) 基礎と建物の波形は似ており、振幅の増幅は殆どない。図 4 の加速度フーリエス



ペクトル比においても増幅は小さいので、増幅特性に関しては一致している。従って、建物の共振の影響は殆ど無い。

b) 3 入力 of UD 成分では、入力と応答が非常に良く一致している。

c) 入力条件に拘わらず、解析結果は実験結果を良く再現できたと判断される。

⑤杭の曲げモーメント分布を図 9 (NS 方向), 図 10 (EW 方向) に示す。図 9, 図 10 には振動台に対する杭頭の相対変形を併記し、曲げモーメント分布を図示したピーク位置を明示した。NS 成分では入力の大きい時刻と後半(図示した範囲内の後半)で大きな応答を示し、EW 成分では入力の大きい時刻近傍の応答が大きく後半の振幅は小さい。この点を考えてピーク時刻を選択した。

a) 曲げモーメント分布は層境界位置と杭頭位置で振幅が大きくなる。

b) 選択したピーク時刻の曲げモーメント分布には入力、埋込みの相違で大きな差は見られない。例えば、図 9 の①時刻は No. 47, 48, 49, 42, 43 について示したが、傾向は似ている。また、後半の時刻の④の場合も図示した No. 47, 48, 42, 43 の傾向は同じである。

c) 図 10 についても入力条件と埋込みの相違によって顕著な差は認められない。

d) 以上の考察内容は、実験結果と解析結果で同様であり、解析結果は実験結果を再現できている。

⑥埋込み無しモデル、3 入力 (No. 49) の深度 10cm, 20cm, 40cm, 80cm における杭の曲げモーメントの時刻歴波形を図 11 に示す。NS 成分の実験結果と解析結果は、振幅・位相共に良く対応している。EW 成分では大きいピークの特徴は良い一致を示すが、実験で得られた長周期の波形が解析では 2 つに分離しており、傾向が一致していない。解析は EW 成分の実験波形との一致度にやや問題はあがあるが、振幅・位相特性を概ね再現できている。

⑦軸力変動の影響把握は三次元入力の重要課題の 1 つである。杭頭近傍で求めた軸力の時刻歴波形を埋込み無しモデル (No. 48, 49) と、埋込み基礎モデル (No. 42, 43) について図 12 に示す。No. 48 は 2 入力, No. 49 は 3 入力なので、その比較により上下入力の影響が把握できる。No. 42, 43 の比較も同じである。

a) 実験結果には常時の建物の自重 (800N/pile) が無視されているので、実験結果と解析結果ではこの点が異なる。杭の軸力は P1 杭と P4 杭, 及び P2 杭と P3 杭の振幅が対応し、逆位相である。また、P2, P3 杭の振幅は P1, P4 杭より大きい。2 入力と 3 入力の埋込み無しモデル (No. 48, 49) の振幅の相違は 10% 程度である。

b) 埋込み基礎の密度は非常に小さくなるので、No. 42 と No. 43 の相違も小さい。

c) 解析結果の振幅は実験結果と対応するが、波形の再現性にはやや問題が残った。

⑧埋込み基礎モデル (No. 43) の鉛直ひずみと水圧のコンターを、モデル断面について図 13 に示す。埋込み基礎の下ではひずみが大きい事が分かる。水圧のコンターは水平に分布しているが、中間層の液状化層で水圧は発生し、非液状化層の下層と表層の水圧は 0 である。

次に、3.3.3 項に示されている別コードのシミュレーション解析結果との比較のために実施した M タイプのシミュレーション解析結果を示す。解析コードの適用性に関する基礎資料を作成する事が目的であり、地盤物性は S タイプと同じとし、2 入力のケース (No. 33) を解析した。

- ①基礎に対する建物，および入力に対する基礎の加速度フーリエスペクトル比を図 1 4 に示す。建物/基礎のピーク振動数は 5Hz 付近にあり，解析と実験は一致している。ピーク振動数における応答倍率は 3～4 倍程度であり増幅効果は小さい。また基礎/入力では 5Hz 付近に谷があり共振振動数の節が生じている。以上の結果より，実験結果と解析結果は良く対応しており，解析の構造物モデルは実験モデルを再現している。
- ②主要な時刻歴波形の実験結果と解析結果を図 1 5 に示す。解析結果は実験結果を良く再現できている。
- ③曲げモーメント分布の実験結果と解析結果を図 1 6 に示す。図 1 6 には，図 1 5 のピーク時刻① (NS) と② (EW) の分布と最大値分布を示している。実験結果は P1 と P4 (図 1 2 参照) を併記した。ピーク時刻において解析結果は実験結果を良く再現できている。最大値分布でも解析は実験と概ね対応している。層境界付近で解析結果の振幅がやや大きい。実験では，液状化層から下層へ間隙水が部分的に透過していると考えられるが，解析モデルでは全く透過しないとしていることが原因と判断される。
- ④以上の考察より，本解析は M タイプに対しても有効であると判断される。

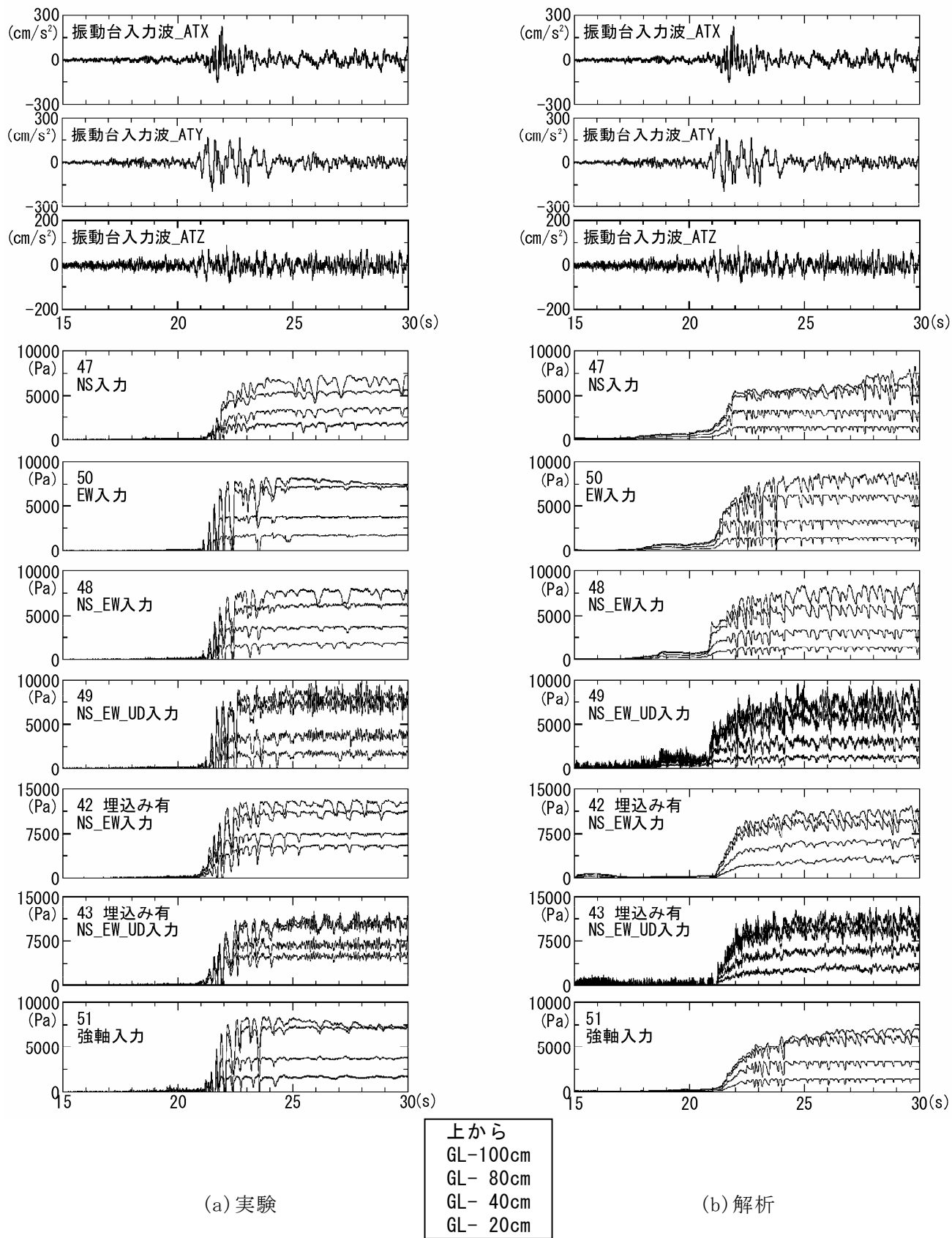
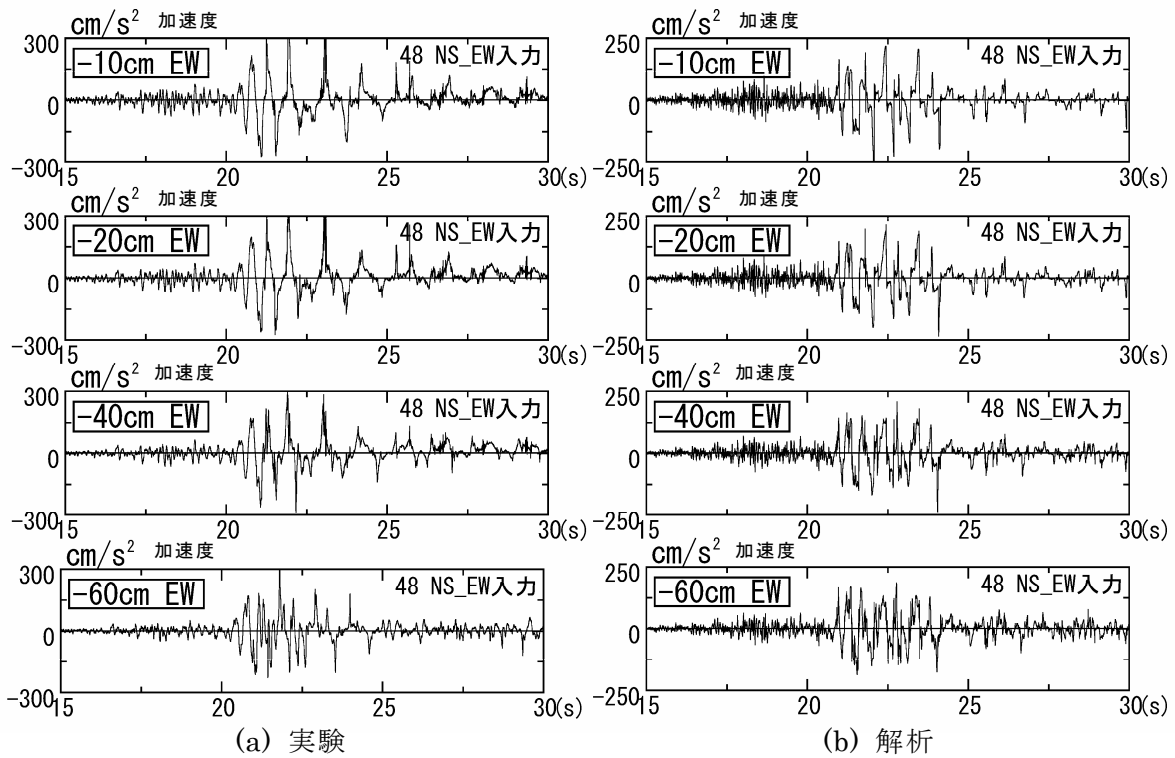
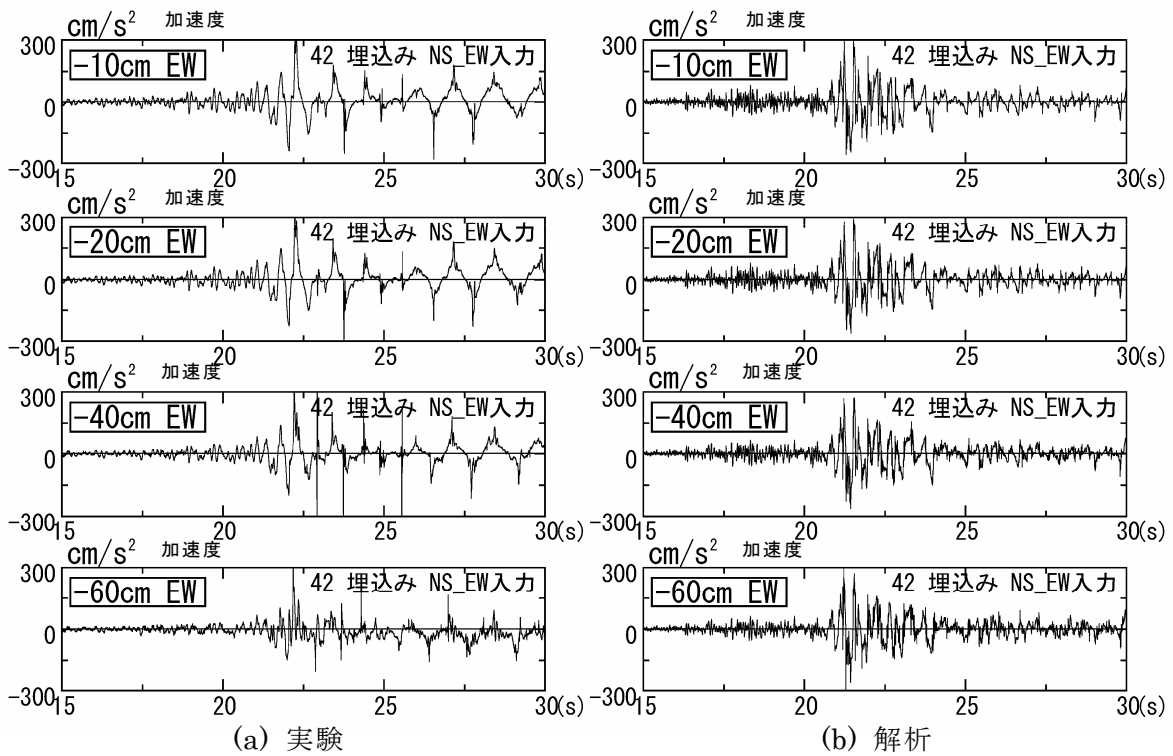


図5 過剰間隙水圧波形の実験結果と解析結果の比較

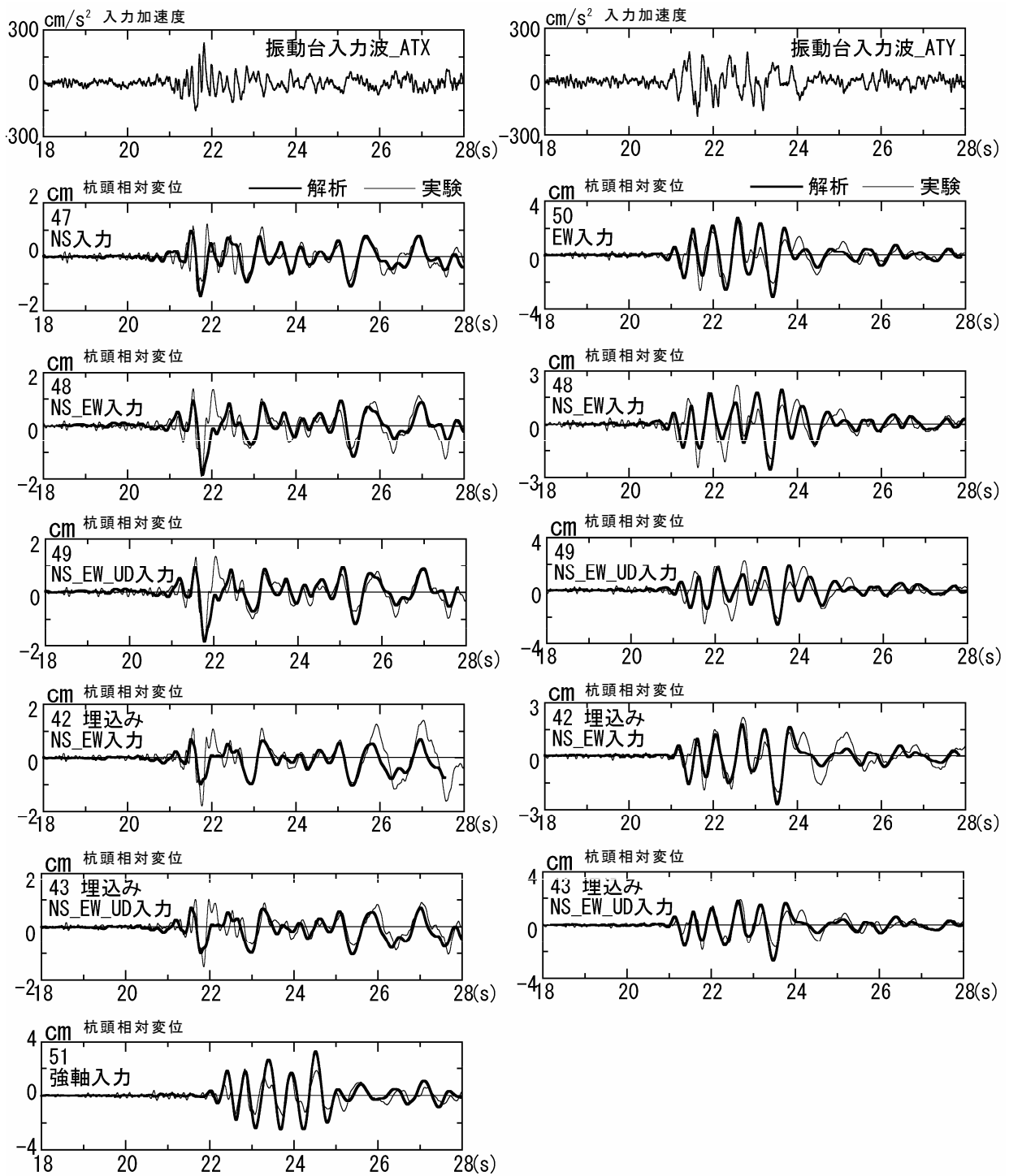


No. 48 埋込み無し NS\_EW 入力



No. 42 埋込み有り NS\_EW 入力

図 6 加速度波形の実験結果と解析結果の比較



(a) NS 方向

(b) EW 方向

図 7 杭頭の相対変位波形の実験結果と解析結果の比較

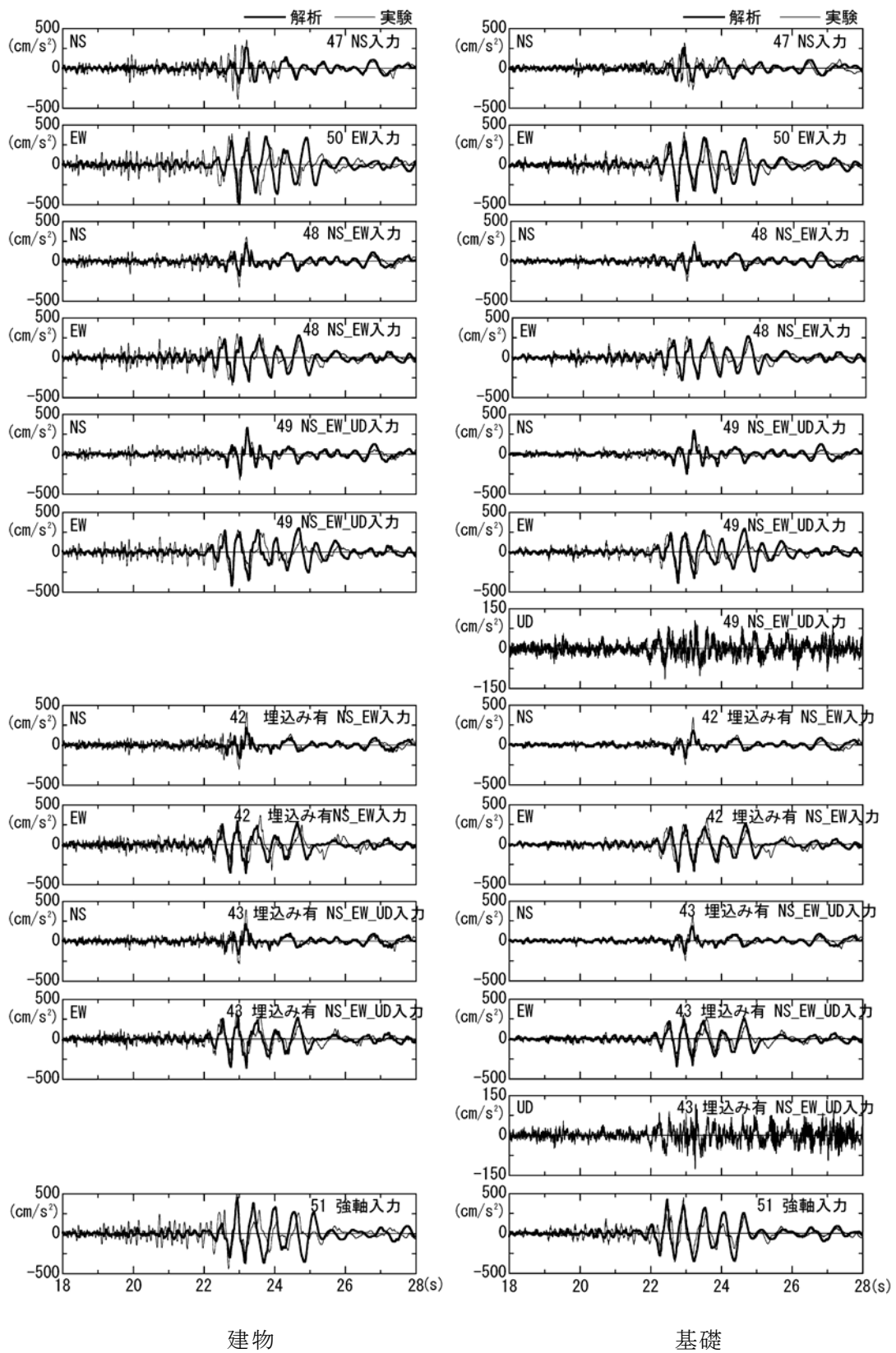


図8 基礎と建物の加速度波形の実験結果と解析結果の比較

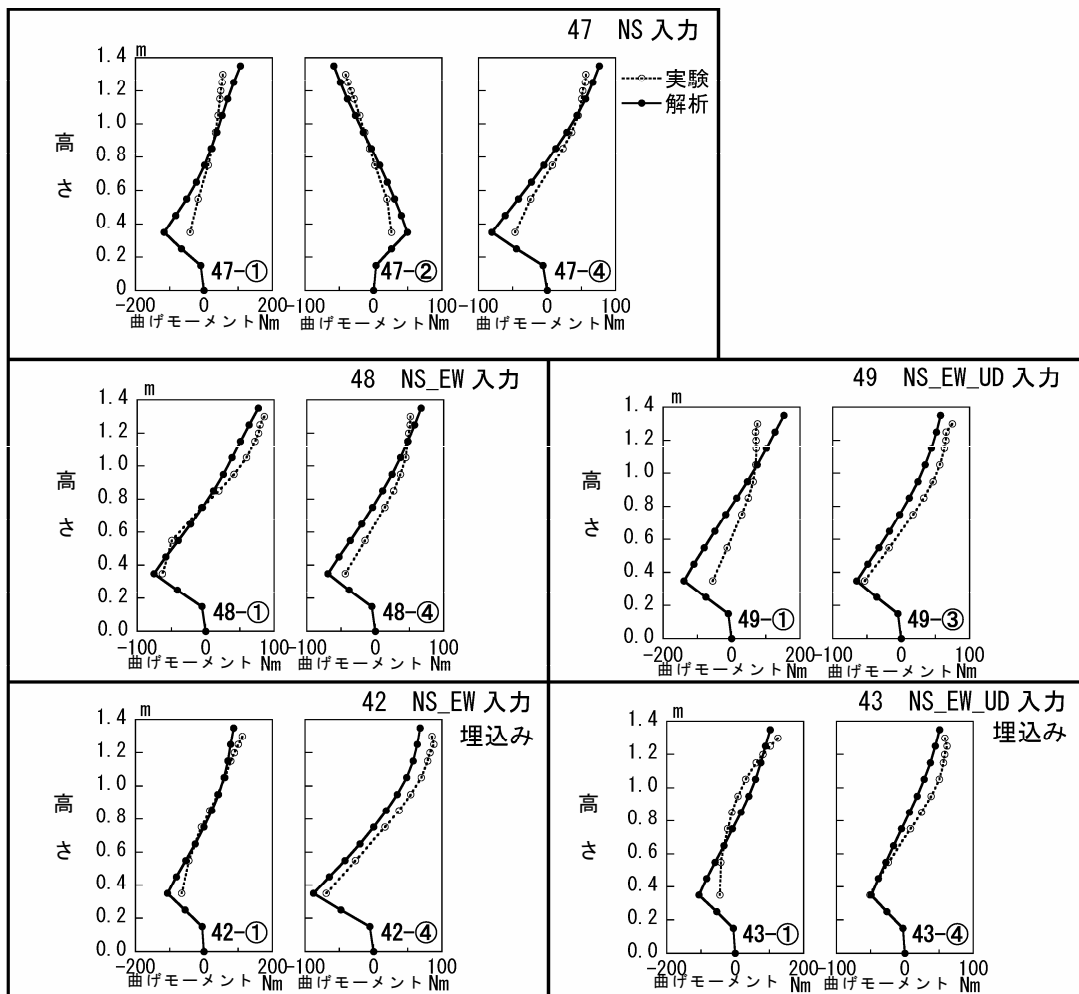
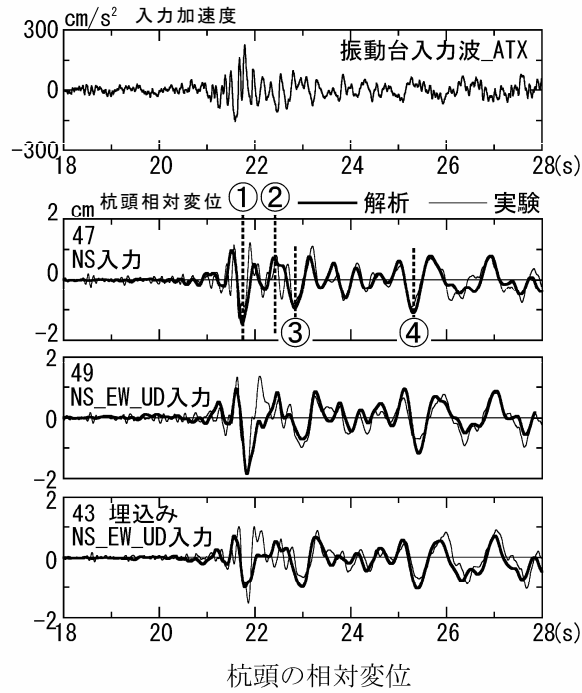


図9 杭の曲げモーメント分布の実験結果と解析結果の比較 (NS方向)

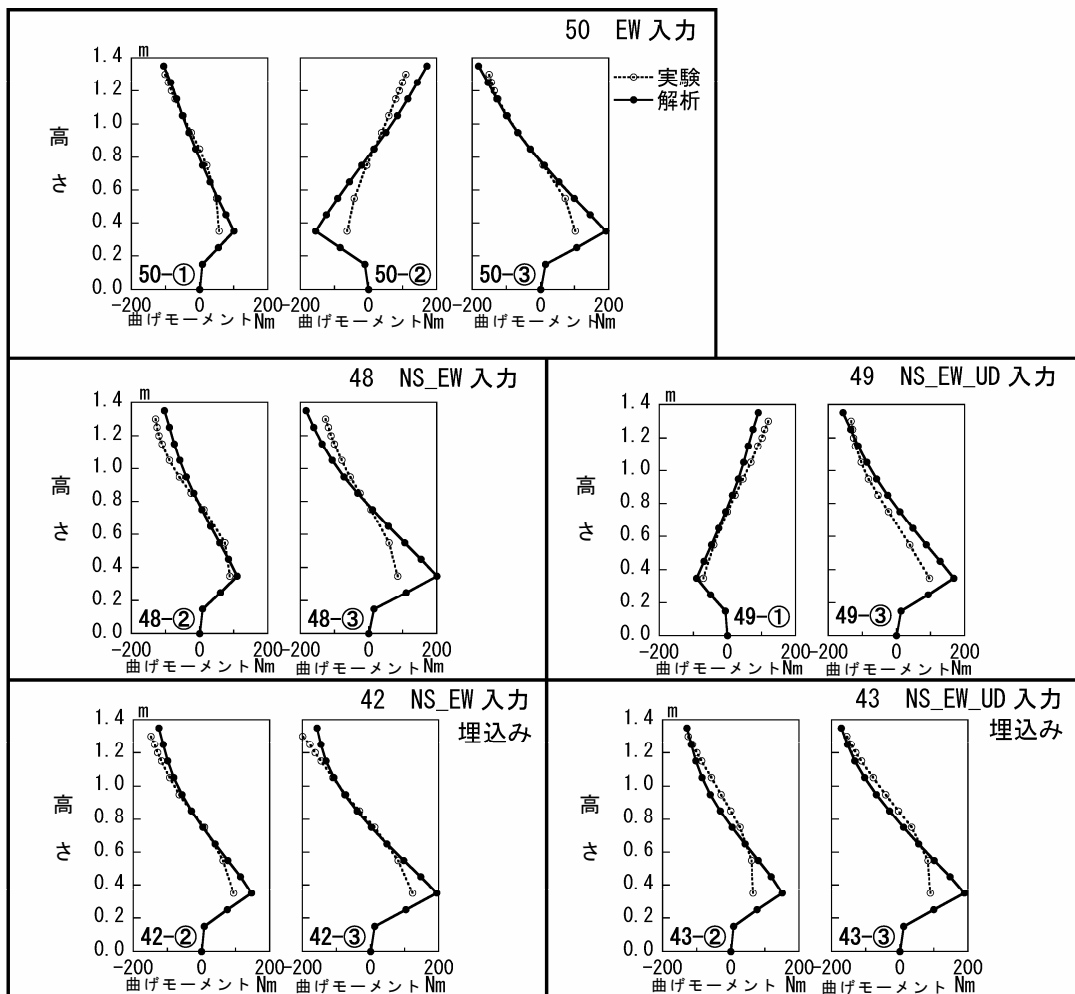
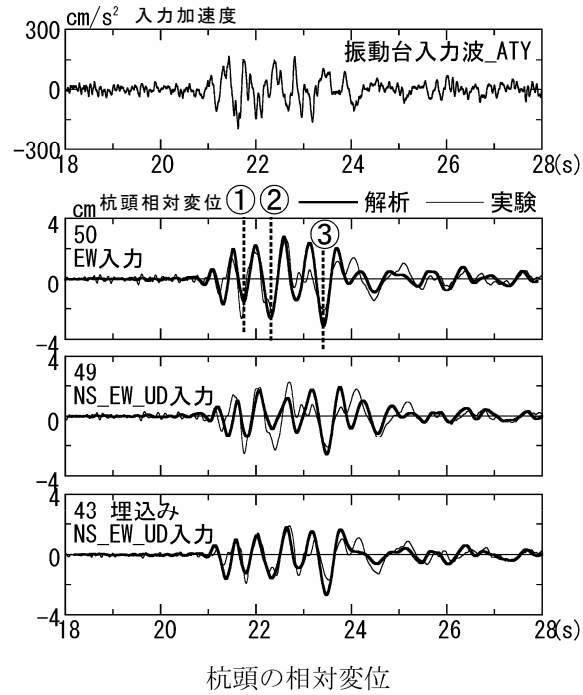
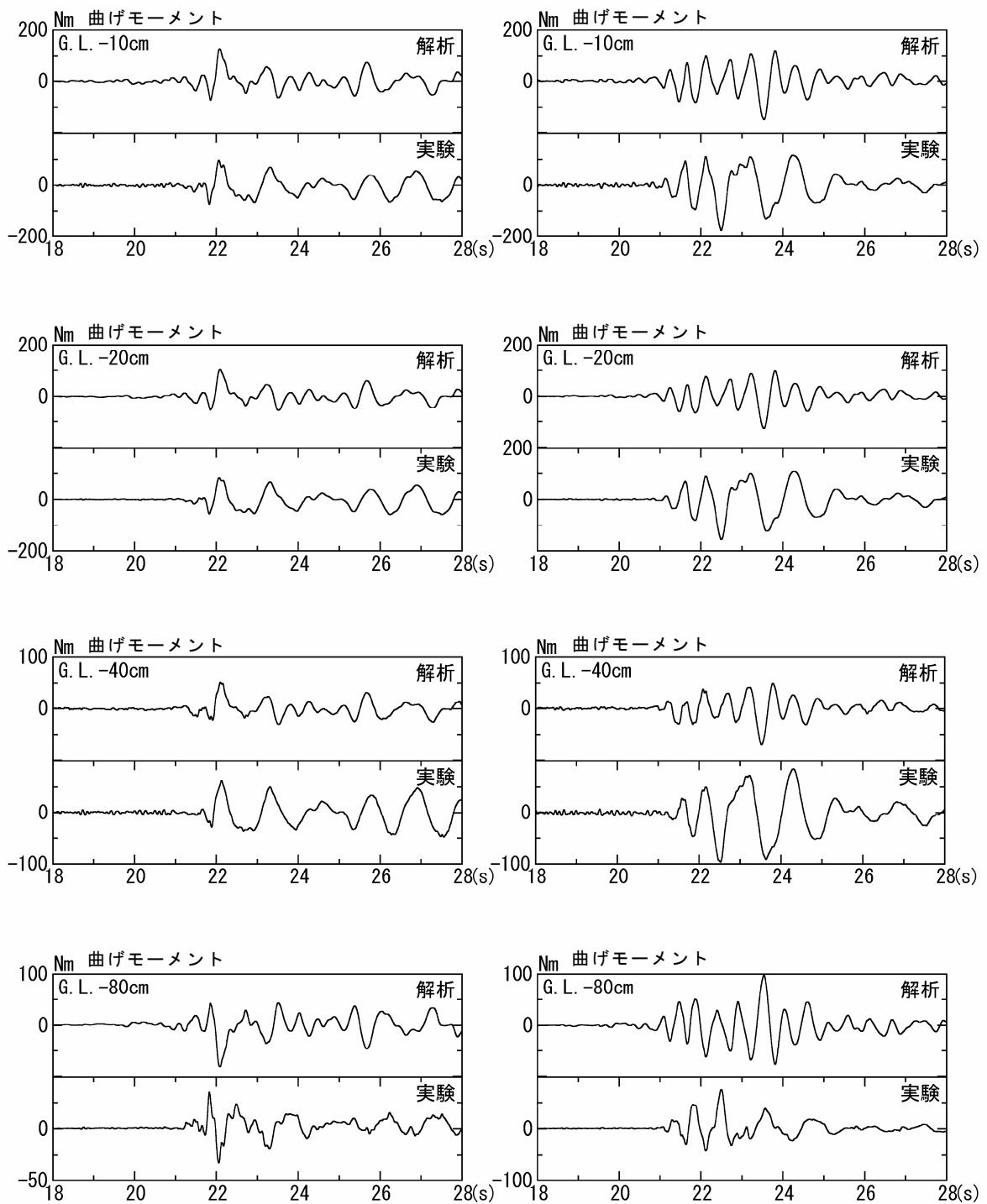


図 10 杭の曲げモーメント分布の実験結果と解析結果の比較 (EW 方向)

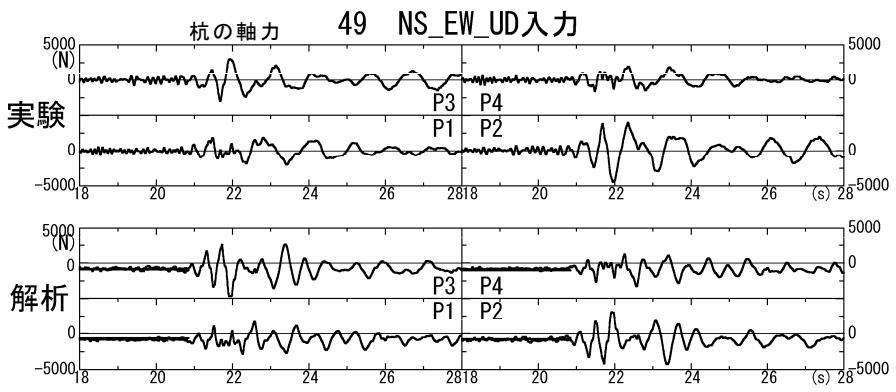
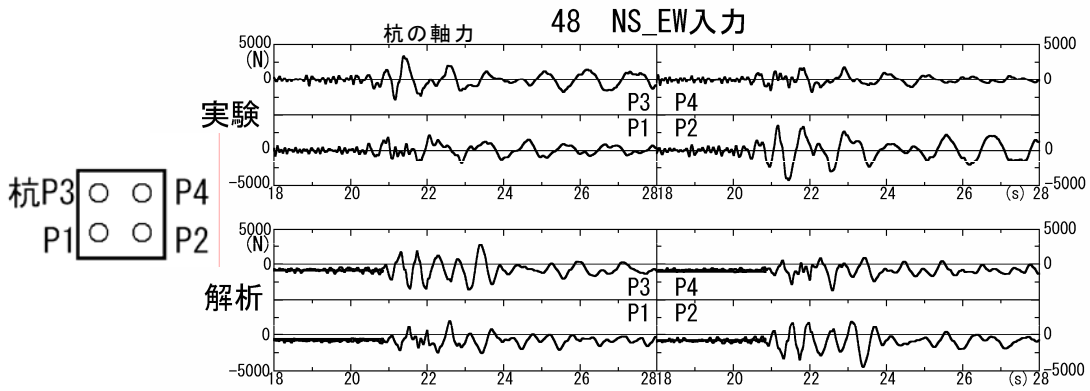




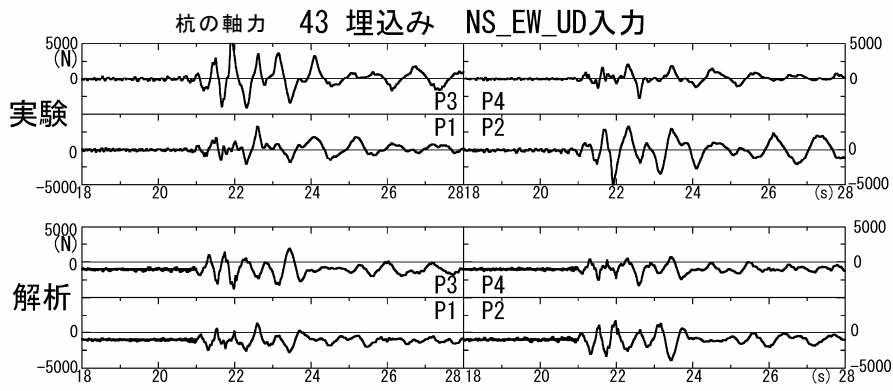
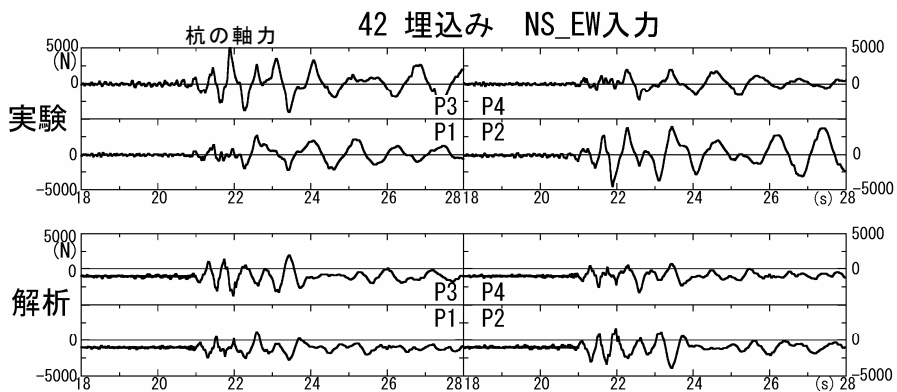
(a) NS 方向

(b) EW 方向

図 11 杭の曲げモーメント波形の実験結果と解析結果の比較  
(No. 49 埋込み無し NS\_EW\_UD 入力)



(a) 埋込み無し (No.48, No. 49)



(b) 埋込み有り (No. 42, No.43)

図 1 2 杭の軸力波形の実験結果と解析結果の比較

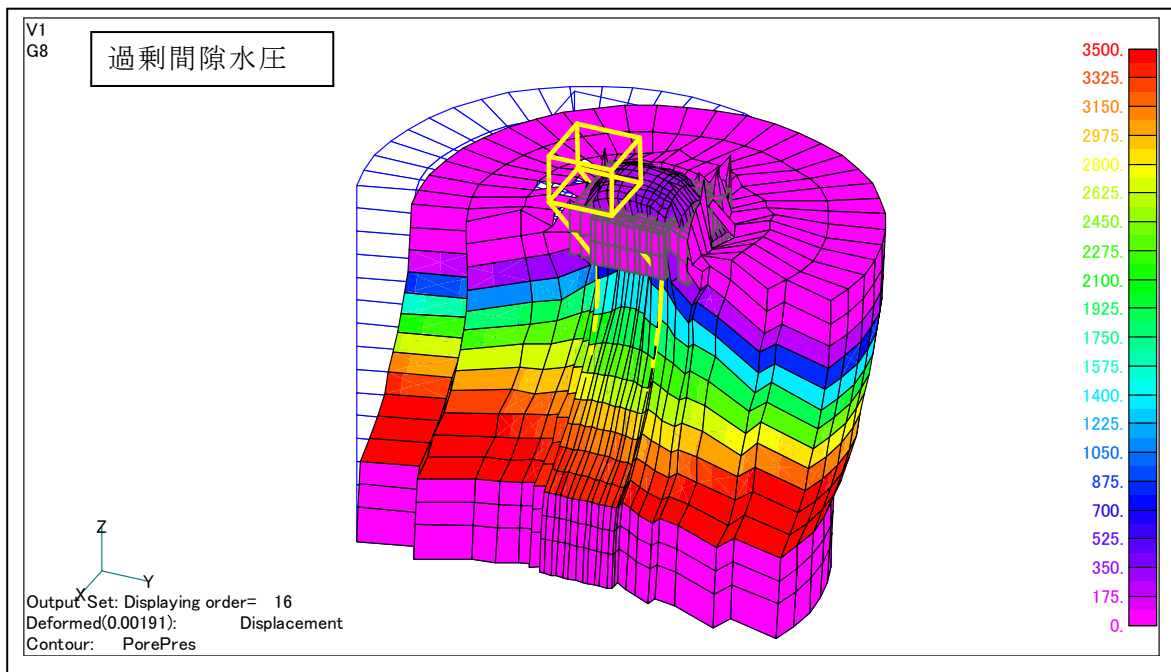
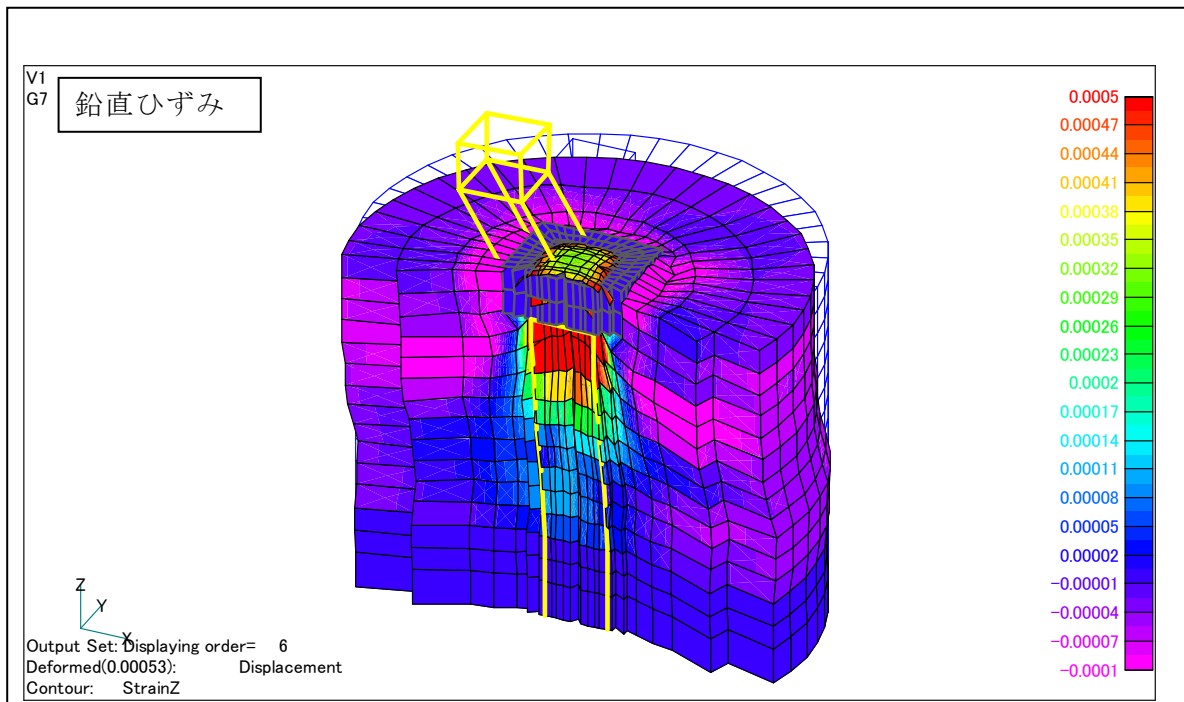


図 1 3 解析における鉛直ひずみと間隙水圧のコンター  
(No. 43 埋込み有り NS\_EW\_UD 入力)

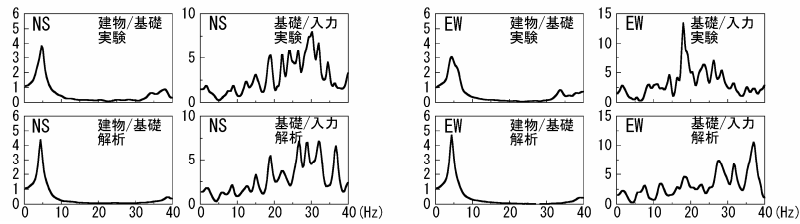
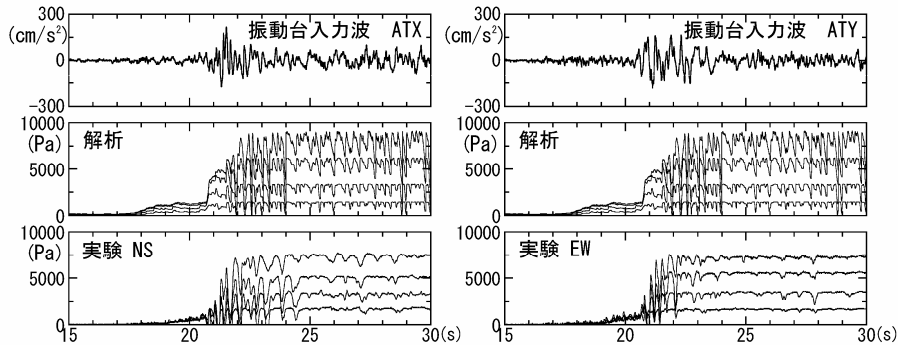
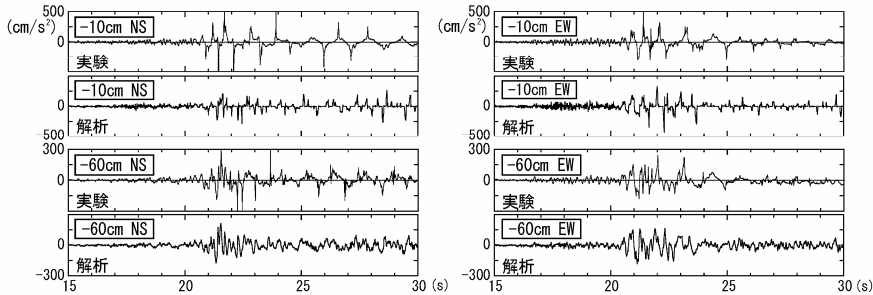


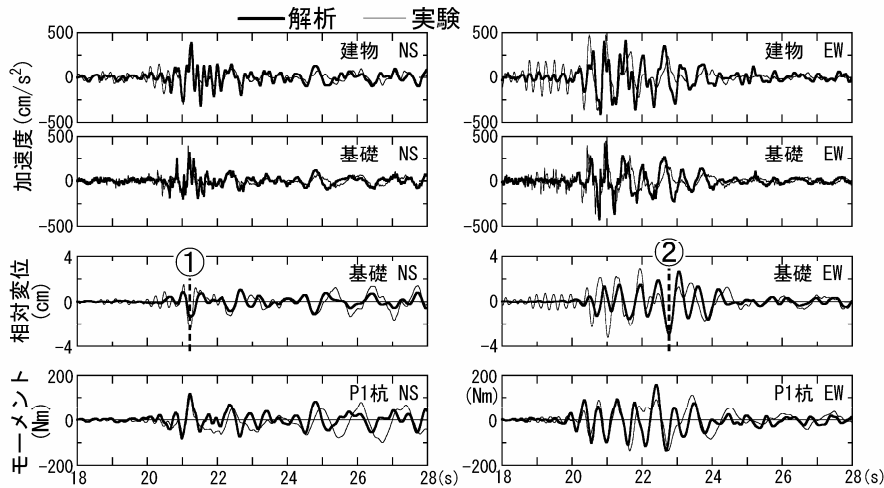
図 1 4 加速度フーリエスペクトル比 (Mタイプ, No.33)



(a) 過剰間隙水圧波形



(b) 地盤の加速度波形



(c) 構造物の時刻歴波形

図 1 5 時刻歴波形 (Mタイプ, No.33)

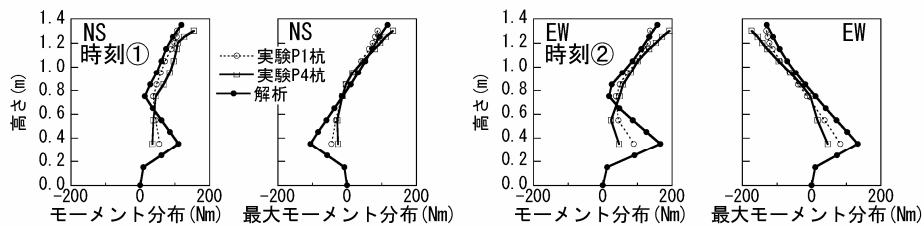


図 1 6 最大曲げモーメント分布と曲げモーメント分布 (Mタイプ, No.33)

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 15 年～16 年度に農工研の三次元中型振動台により、液状化地盤－杭－建物に関するパラメトリックな振動台実験が行われ、この振動台実験結果を用いて三次元有効応力解析技術の妥当性および適用範囲等の把握、及び解析コードの改良・高度化を目的として解析的な検討を実施した。解析は、構造物周期、埋込みの有無および入力条件をパラメータとした 8 実験に対して実施し、解析結果より杭基礎の動的特性を実証的に把握した。適用した本解析コードによる杭応力の解析結果は実験結果と良い対応を示し、有効性が大きい事を示した。多くの実験モデルに対して解析を実施したので、予定されている三次元実大震動台実験に対して有効な情報が得られた。特に三次元解析の既往研究例が殆どない杭の軸力変動に対する上下入力の影響を定量的に明らかにした。今後、大震災時における構造物の耐震評価ツールとして、三次元有効応力解析技術を更に高度化し、かつ汎用的とすることが重要な課題である。

(e) 引用文献

- 1) Prevost, J.H. : DYNFLOW, A nonlinear transient finite element analysis program, Princeton University, 1999
- 2) 宮田, 八幡, 大保, Prevost : 有効応力解析に用いる Multi-yield 弾塑性モデルの高度化, 第 35 回地盤工学研究発表会, pp.519-520, 2001 年 6 月
- 3) 加藤, 龍岡, プラダン : 豊浦標準砂の繰返し非排水三軸試験に及ぼす長期圧密と過圧密の影響, 砂質土および砂地盤の変形・破壊強度の評価－室内試験法及び試験結果の解釈と適用－に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.155-162, 昭和 59 年 12 月
- 4) 建設省土木研究所 : 大型せん断試験装置を用いた標準砂とロック材料の動的変形特性試験, 土木研究所資料, 第 2132 号, 昭和 59 年 6 月
- 5) 安田 : 液状化の調査から対策工まで, 鹿島出版会, p.131, 昭和 63 年
- 6) 文部科学省研究開発局, 独立行政法人 防災科学技術研究所 : 大都市大震災軽減化特別プロジェクト II 震動台活用による構造物の耐震向上研究 平成 14 年度 成果報告書, 地盤基礎実験, 3.3.2 強非線形地盤－杭基礎構造物の三次元数値解析に基づいた杭応力の特性, pp.219-233, 平成 15 年 5 月
- 7) 文部科学省研究開発局, 独立行政法人 防災科学技術研究所 : 大都市大震災軽減化特別プロジェクト II 震動台活用による構造物の耐震向上研究 平成 15 年度 成果報告書, 地盤基礎実験, 3.3.2 強非線形地盤－杭基礎構造物の三次元数値解析に基づいた杭応力の特性, pp.260-274, 平成 16 年 5 月
- 8) 八幡, 宮田, 毛利, 鬼丸 : せん断土槽を用いた液状化実験の地盤モデルの 3 次元解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.411-412, 2003 年 9 月
- 9) 八幡, 宮田, 毛利, 桜庭 : 振動台実験による液状化地盤・杭モデルの 3 次元解析, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp.519-520, 2004 年 7 月
- 10) 八幡, 宮田, 毛利, 鬼丸 : せん断土槽を用いた振動台実験の水平 2 入力時における杭応力の 3 次元有効応力解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.431-432,

2004年8月

- 11) 飽和豊浦砂の繰返し非排水三軸試験における変形特性に及ぼす諸要因に関する共同研究報告, 砂質土および砂地盤の変形・破壊強度の評価－室内試験法及び試験結果の解釈と適用－に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.7-22, 昭和 59.12

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
八幡夏恵子 宮田 章 毛利 栄征 桜庭 和子	液状化地盤・杭の多入力振動台実験 に対する3次元有効応力シミュレ ーション解析	日本建築学会大会学術講 演梗概集(近畿)	平成17年9月 (予定)

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 14～16 年度業務のまとめ

平成 14 年度～平成 16 年度における実施計画とその成果を下表にまとめて示す。

表 4 平成 14 年度～16 年度の実実施計画とその成果

	実施計画	成果
平成 14 年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>①豊浦標準砂の地盤物性評価</li> <li>②三次元薄層要素法を用いた地盤・杭支持構造物の相互作用効果の評価</li> <li>③三次元有効応力解析による簡易地盤モデルの応答特性評価</li> <li>④三次元有効応力解析による実験モデルのシミュレーション解析</li> <li>⑤報告書作成および論文作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①実験に用いた豊浦標準砂（相対密度50%，80%）の解析に用いる物性値を既往文献に基づいて評価し、液状化強度を求めた。得られた液状化強度は既往研究の液状化強度と一致した。</li> <li>②三次元薄層要素法による地盤・杭支持構造物の線形解析から、微小入力時の実験結果を予測した。</li> <li>③実験地盤を簡易な土柱にモデル化した三次元有効応力解析を行い、実験地盤の応答特性を評価する上で有効であることを確認した。</li> <li>④円筒形せん断土槽を用いた実験地盤を三次元FEMにより忠実にモデル化した三次元有効応力解析を行い、実験土槽地盤を解析可能であることを確認した。また、土柱モデルと実験土槽地盤モデルの対応関係を検討し、三次元解析の有効性を確認した。</li> <li>⑤平成14年度に実施した検討内容および解析結果を報告書にまとめた。また、解析により得られた知見を2003年日本建築学会大会に論文投稿した。</li> </ul>
平成 15 年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>①平成14年度に実施した入力の異なる実験結果に対するパラメータスタディ</li> <li>②平成14年度に実施した水平1入力・水平2入力，短周期構造物実験のシミュレーション解析</li> <li>③平成15年度に実施した水平2入力，やや長周期構造物実験のシミュレーション解析</li> <li>④シミュレーションレベル向上のための地盤モデルの修正</li> <li>⑤ポスト処理におけるアニメーション表示手法の整備</li> <li>⑥報告書作成および論文作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①入力加速度レベルが100cm/s<sup>2</sup>と250cm/s<sup>2</sup>のシミュレーション解析を行い、入力レベルによる応答の相違を再現可能であることを確認した。</li> <li>②液状化地盤・杭・短周期構造物をモデル化した三次元有効応力解析を行い、液状化地盤-杭-短周期構造物連成系としての特性を概ね表現可能であることを確認した。</li> <li>③液状化地盤・杭・やや長周期構造物をモデル化した三次元有効応力解析を中レベル入力に対して行い、地盤モデルを再検討する必要があることを示した。</li> <li>④解析モデルのメッシュ分割数による影響を検討するため、8000要素と4500要素による三次元有効応力解析を行い、少ない要素数でも実験結果を表現可能であることを確認した。また、地盤のダイレイタンシー特性を修正し、実験から得られた水圧上昇過程をより良く表現できることを確認するとともに、入力条件が異なる場合でも表現可能であることを確認した。</li> <li>⑤大容量モデルのプレ・ポスト処理の迅速化を図るために、任意の断面の結果を即座にアニメーション化できるように表示方法を整備した。</li> <li>⑥平成15年度に実施した検討内容および解析結果を報告書にまとめた。また、解析により得られた知見を2004年地盤工学研究発表会に論文投稿した。</li> </ul>
平成 16 年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>①平成15年度に実施した振動台実験のシミュレーション解析の向上</li> <li>②平成16年度に実施した振動台実験のシミュレーション解析</li> <li>③3入力下における杭応力の検討</li> <li>④報告書作成および論文作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①平成15年度に実施した振動台実験（埋込み無しモデル）の短周期モデルに対し、4つの入力条件；1入力（NS，EW，75°），2入力（NS+EW），3入力（NS+EW+UP）；でシミュレーション解析を行い、実験結果を再現可能であることを示した。また、やや長周期モデルに対する解析を行い、解析コードのクロスチェックの基礎資料を作成した。</li> <li>②平成16年度に実施した振動台実験（埋込み有りモデル）の短周期モデルに対し、2つの入力条件；2入力（NS+EW），3入力（NS+EW+UP）；でシミュレーション解析を行い、実験結果を再現可能であることを示した。</li> <li>③平成15年度，平成16年度実験モデルに対する3入力による解析結果を分析し，UP入力に杭に及ぼす影響を把握した。</li> <li>④平成16年度に実施した検討内容および解析結果を報告書にまとめた。また、解析により得られた知見を2005年日本建築学会大会に論文投稿（予定）した。</li> </ul>

