

3.3 地盤基礎実験

本研究は、主として「実験的研究による地盤・基礎の地震破壊現象の解明」と「地震破壊現象の数値シミュレーション手法の開発」で構成される。

実験的研究では、平成14年度～平成16年度にE-ディフェンスの有効利用に向けての予備的研究として比較的小規模の三次元振動実験を行い、地盤基礎構造の3次元挙動を解明すると共に、その成果をE-ディフェンスでの大型実験を実施するための基礎資料とし実大実験の計画を作成する。さらに、平成17年～平成18年度はそれを基にE-ディフェンスで大型実験を実施し、耐震性向上をめざして、実大地盤・基礎の破壊現象を把握するためのデータを得る。

数値シミュレーションの開発は、平成14年～平成16年度の実験結果を既存のシミュレーション解析手法による解析結果との比較・検討を行い、地盤基礎構造の挙動をより詳細に考察すると共に、解析手法の妥当性と精度を検証し、手法の問題点・改良点を明らかにする。また、既存手法を高度化すると共に、三次元地盤破壊現象を解析できる手法を開発し、E-ディフェンスで大型実験に適用する。

なお、地盤基礎実験に関する研究業務を円滑に進めるため、防災科学技術研究所内に地盤基礎実験委員会を設置し、各研究項目の計画・実施・結果などについて審議・検討を行う。

地盤基礎実験委員会 委員名簿

委員長	時松 孝次	東京工業大学 大学院理工学研究科 建築学専攻 教授
委員	佐藤 正義	独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 副センター長
委員	毛利 栄征	独立行政法人 農業工学研究所 造構部 土質研究室 室長
委員	杉田 秀樹	独立行政法人 土木研究所 耐震研究グループ(振動) 上席研究員
委員	八幡夏恵子	鹿島建設(株) 技術研究所 主管研究員
委員	鬼丸 貞友	(株)竹中工務店 技術研究所 先端研究開発部 主任研究員
委員	真島 正人	大成建設(株) 技術センター 建築技術研究所 基礎構造研究室 室長
委員	渦岡 良介	東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻 助教授
委員	チュブリノフスキー ミシュコ	基礎地盤コンサルタンツ(株) ジオエンジニアリングセンター 主任研究員
委員	安田 進	社団法人 地盤工学会(東京電機大学 教授)
委員	東畑 郁生	東京大学 大学院理工学研究科 社会基盤工学専攻 教授
委員	田村 修次	京都大学 防災研究所 地震災害研究部門 助教授
委員	社本 康広	清水建設(株) 技術研究所 社会基盤技術グループ 主席研究員
委員	阿部 秋男	東京ソイルリサーチ(株) つくば試験所 特殊試験室 室長
事務局	井上 貴仁	独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 特別研究員

3.3.1 地盤 - 杭基礎 - 構造物の三次元非線形動的相互作用の実験

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 カ年の年次実施計画
- (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) 実験装置
 - 2) 実験条件
- (c) 業務の成果
 - 1) 地盤条件と作成状況
 - 2) 実験結果
- (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 地盤 - 杭基礎 - 構造物の三次元非線形動的相互作用の実験

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人 農業工学研究所	室長 特別研究員	毛利栄征 ARANGELOVSKI Goran	accord1@nkk.affrc.go.jp

(c) 業務の目的

地盤および構造物の地震時の安全性を解明するためには、地盤そのものの三次元的な挙動解明が不可欠であるとともに、地盤と構造物の動的な相互作用を実験的に明らかにすることは極めて重要である。

本業務は、二方向せん断土槽を用いた杭および地盤の三次元振動実験を実施して、多方向入力（水平面内での2方向振動、水平及び鉛直振動）が地盤及び杭の挙動に及ぼす影響を明らかにすること、地盤の剛性や杭の剛性が動的破壊挙動に及ぼす影響を解明するための詳細なデータを蓄積すること、及びEディフェンスでの実験計画に資する基礎資料を得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：

- a) 地盤に設置する杭を試作し、均一地盤での振動実験を実施する。
- b) 乾燥地盤と飽和地盤を対象として、水平1方向振動時における地盤と杭の挙動を明らかにする。
- c) 水平面内での2方向振動実験によって地盤の挙動を明らかにして、入力振動の多方向性の影響を検証する。

2) 平成15年度：

- a) 杭を支持するために比較的剛性の高い地盤（非液状化層）を土槽の底部に作成し、この上部に均一な緩い地盤が積層する2層系の地盤モデルを作成する。この2層系地盤に設置される杭を対象として、水平1方向振動時における地盤の液状化が杭の挙動に与える影響を明らかにする。
- b) 水平面内2方向振動が同時に作用する場合について、地盤の液状化の発生と杭の振動性状を明らかにする。
- c) 鉛直振動と水平2方向振動が同時に作用する場合について、地盤の液状化の発生と杭の振動性状を明らかにする。

3) 平成16年度：

- a) 地盤内部に非液状化層や剛性の異なる層を設けた振動実験を実施し、地盤と杭の

動的相互作用を明らかにする。

- b) 杭頭が地盤に根入れされているモデルを作成し、多方向振動実験によって杭頭部に作用する地盤反力が杭と地盤の相互作用に与える影響を明らかにする。
- c) さらに、入力振動については強軸方向の振動を1方向入力として設定し、NS方向やEW方向、水平2方向振動との相違について検証する。

(e) 平成16年度業務目的

平成16年度は、杭端部が支持地盤に根入れされている状況をモデル化した2層系の地盤を用いて杭と地盤の相互作用を明らかにする。すなわち、杭上部の構造物は固有周期の短いモデルとして、入力振動については強軸方向の1方向振動と2方向同時振動を行い、地盤の液状化の発生と杭の振動性状の違いを明らかにする。

杭頭が不飽和地盤に根入れされているモデルを新たに作成し、杭頭が周辺地盤から大きな反力を受ける状況下での、杭と地盤の動的相互作用を加速度応答や間隙水圧応答、杭のひずみ、杭に作用する土圧の応答などから明らかにし、解析結果と比較するための詳細な実験データを提供する。

(2) 平成16年度の成果

(a) 業務の要約

平成16年度は次の各項目を実施した。

- 1) 杭の支持地盤として砕石を用いた非液状化層を土槽底部に設置し、この上部には豊浦砂を用いた飽和地盤によって構成される地盤モデルをせん断土槽に作成した。また、杭の頭部が根入れされている杭モデルを作成し根入れ部分が不飽和状態となる状態で振動実験を実施した。
- 2) この2層系の地盤に杭(外径32mmのステンレス製として、杭間隔が直径の約10倍の2×2の4本杭モデル)を設置した地盤杭系モデルの三次元振動実験を実施し、杭基礎及び地盤の動的挙動に関する詳細データを得た。
- 3) 実験データの分析により、杭に発生する振動方向の曲げモーメントは杭頭部で最大となる非線形な分布を示すが、杭端部が支持地盤に埋設された状態になっているため2次のモードが卓越している。
- 4) 杭頭部が不飽和地盤に根入れされている場合は、杭頭に地盤反力が作用するため、杭に発生する曲げモーメントが小さく押さえられることが分かった。しかしながら、この不飽和地盤による影響は1方向入力振動の時に顕著であるが、2方向同時加振では大きな影響は小さい。

(b) 業務の実施方法

2) 実験装置

a) 振動台

振動台の外観を写真1に仕様を表1に示す。3次元6自由度の制御が可能で、入力波については振動台に所定の重量の疑似模型を設置しておき、予備加振によって波形補正を行

い実際の駆動入力波を作成した。

表 1 振動台の仕様

項目	仕様
テーブルサイズ	4 m x 6 m
駆動方式	電気油圧サーボ方式
加振方向	水平 2 軸 (X , Y) 垂直 1 軸 (Z)
最大搭載質量	50 トン
最大加速度	± 500Gal
最大速度	X & Y : ± 75 c m / s 、 Z : ± 50 c m / s
最大変位	X & Y : ± 15 c m 、 Z : ± 5 c m
回転角度	± 2 度
加振周波数	D C ~ 40 H z
測定システム	1 9 0 c h



写真 1 振動台の外観

b) せん断土槽

せん断土槽は、写真 2 , に示すように内径 1.8m , 高さ 1.5m の円筒形のせん断土槽 (30 段のプレートによって構成) である。土槽内面には防水用のゴムシート (厚さ 1mm) が設置され底面部には注水装置がある。これを利用して地盤のボイリングなどが可能である。プレートはアルミハニカム構造を採用して剛性を確保するとともに、軽量化を進めている。1 枚の重量は約 17kg で、内部に設置される地盤重量に対して 1/15 になっている。



写真2 せん断土槽の外観

2) 実験条件

入力振動については、平成14、15年度に引き続き3成分が揃っている十勝沖地震波（1968年）を用いた。水平1方向と水平面内2方向振動の影響や鉛直振動が加わった時の影響についても検討することとする。さらに、水平1方向の振動については、十勝沖地震のNSおよびEW成分から求まる強軸方向の地震動を求め、これを新たな入力振動とした。

a) 地盤作成

地盤モデルは杭を支持する下部の非液状化層と上部の液状化層からなる。底部の地盤は砕石（最大粒子径10mm）を乾燥密度 ρ_d (g/cm^3) 1.89 に締固めて作成した。層厚は35cmである。ただし、平成15年度は飽和地盤としたが今年度はゴムシートを砕石上部に設置して、乾燥状態の支持地盤とした。

上部の飽和地盤は、初期地盤を土槽内の水中に砂を落下堆積させて1次地盤を作成し、さらに、土槽下部からの注水と上部からの圧力水の注水によって地盤全体をボイリング状態にして、完全に流動状態とした後に自然沈降させる。最後に、目標密度にあわせて、振動台による加振によって密度の改善を図る。

-) 土槽の底板に設けた注水装置によって地盤に上昇流を発生させる。
-) 同時に地盤地表面からも圧力水を地盤内部まで注入し、地盤の流動化を促進する。
-) 地表面上部に貯まった水は、水中ポンプによって土槽底板からの注水装置に送られ循環する。
-) 土槽内の地盤が完全に流動化することを確認して、注水を完了する。
-) 地盤表面に排水機能を持った載荷板をセットして、振動を加えて地盤表層部分の圧縮を促進する。

2 回目以降の実験の地盤は、同様にボイリングによって地盤の再生を行うこととする。碎石層と上部液状化層との間には遮水シートを設置し、その上部にボイリング用のパイプを設置している。このパイプを用いて上部飽和地盤の再生を行い、地盤全体が水中に浮遊した状態を確認して、自然堆積した地盤を初期地盤とした。地盤の密度は以下のように振動台の予備加振を繰り返して調整した。

-) 初期地盤の地表面に排水機能を持った載荷板を設置する。
-) 水平 1 方向の加振を行う。5Hz～20Hz までの振動を均一に含むランダムな振動を与える。地盤の高さを計測し地盤密度を確認する。(1 回目)
-) 水平 1 方向の加振を行う。5Hz～20Hz までの振動を均一に含むランダムな振動を与える。地盤の高さを計測し地盤密度を確認する。(2 回目)
-) 鉛直方向の加振を行う。5Hz～20Hz までの振動を均一に含むランダムな振動を与える。地盤の高さを計測し地盤密度を確認する。

b) 杭基礎モデル

2 本×2 本の杭基礎とする(図 1 参照)。それぞれの杭頭部は梁(平板)で固定して一体化する。杭は表 2 に示す直径 32mm、肉厚 1.0mm のステンレス管で、杭間隔は直径の約 10 倍とする。No.1 と No.4 杭の内面には軸方向にひずみゲージを接着した。ひずみゲージの間隔は図 1 に示すように杭頭に近い部分は 5cm 間隔として 1 断面に 4 点で計測して X, Y 方向の曲げひずみを算出できるようにした。杭の端部はボールジョイントを設けて碎石層下部の土槽底板に固定している。

上部構造のモデルを図 4 に示す。杭の上端部を連結している梁部分は 47.1kg(37.4+9.7kg)で、上部の構造物は 247.6kg である(支柱を含まない)。支柱は直径 36mm の丸鋼である。

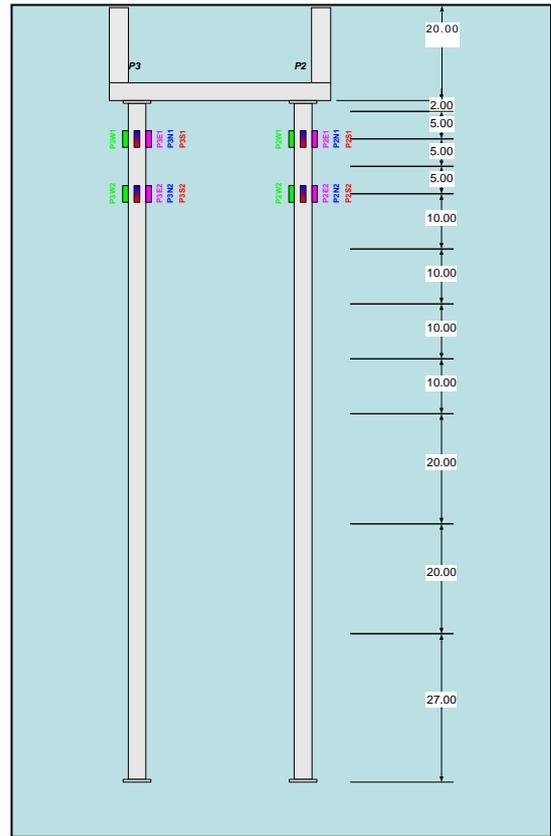
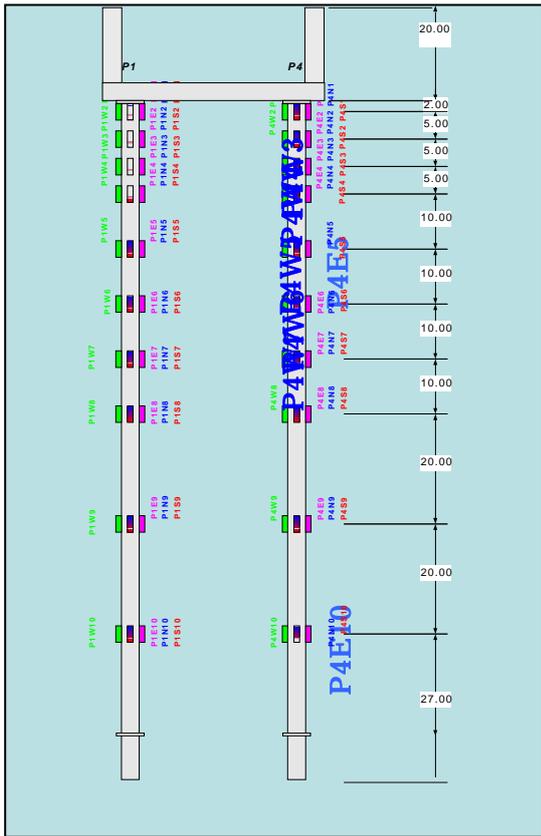


図 1 杭基礎の形状とセンサーの設置位置

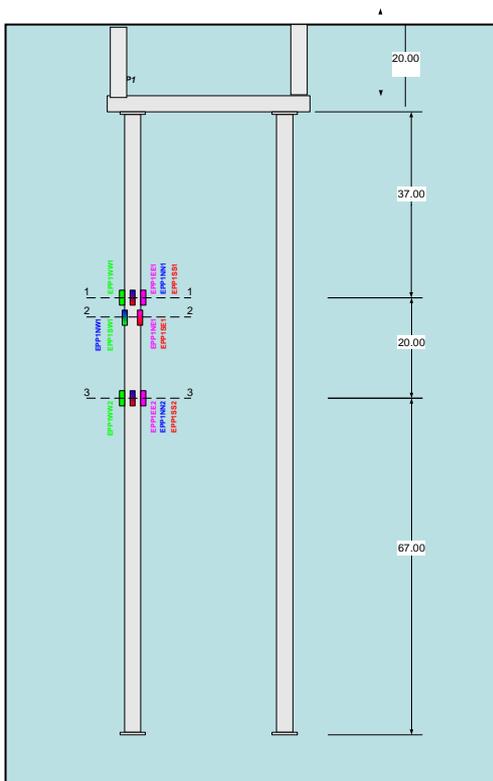


図 2 土圧計の設置位置

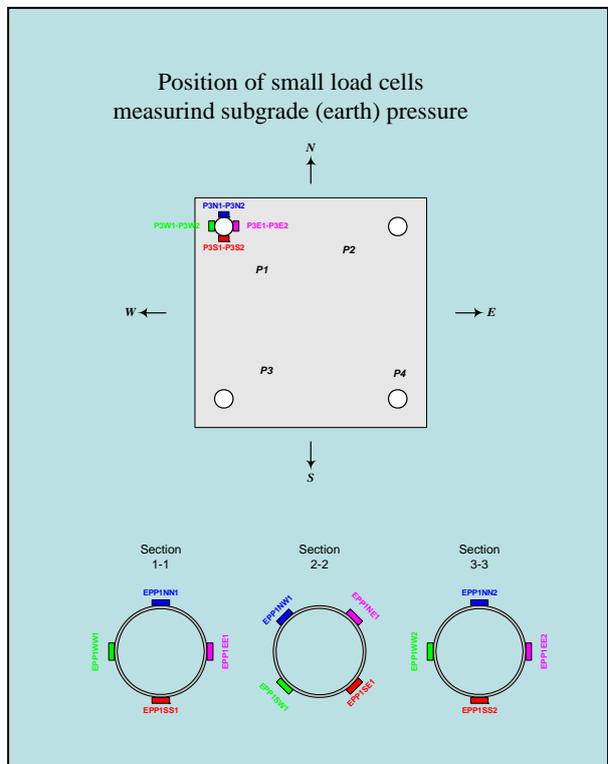


図 3 土圧計の設置位置 (断面内)

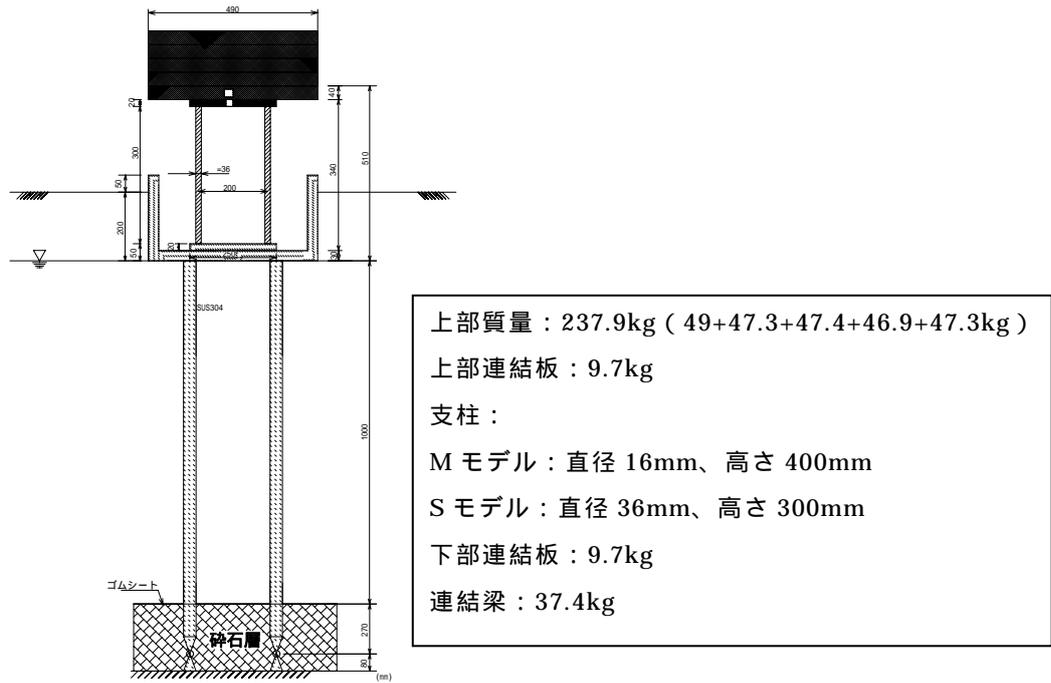


図4 杭と構造物、地盤の構成

表2 杭の条件

	杭本数	杭肉厚	杭材料	その他
杭モデル	2 × 2本	1.0mm	SUS304	外形32mm

c) 計測器と計測位置

表 3 に示す計測器を図 5 (a), (b), (c) に示すように配置した。

表 3 計測器

計器名称	測定位置	測定 ch 数
加速度計	構造物	1 4
	杭	6
	地盤内	2 4
	土槽フレーム	1 6
	振動台	3
変位計	構造物	2
	土槽フレーム	1 4
	地表面	3
間隙水圧計	地盤内	1 6
ヒズミゲージ	杭	4 0
ロードセル	杭底部	4

）地盤内加速度計と間隙水圧計の設置方法

地盤内のセンサーは、杭と平行に地盤内部に挿入したジオグリッドの帯に固定した。このジオグリッドの帯は土槽底板に一端を固定しており、地表面上部から一定のテンションを与えることによって、方向性を維持できるようにしている。ただし、加速度計については、あらかじめ幅 3 cm のアルミ板をジオグリッドに取り付けておきこれをベースとしてセンサーを固定した。

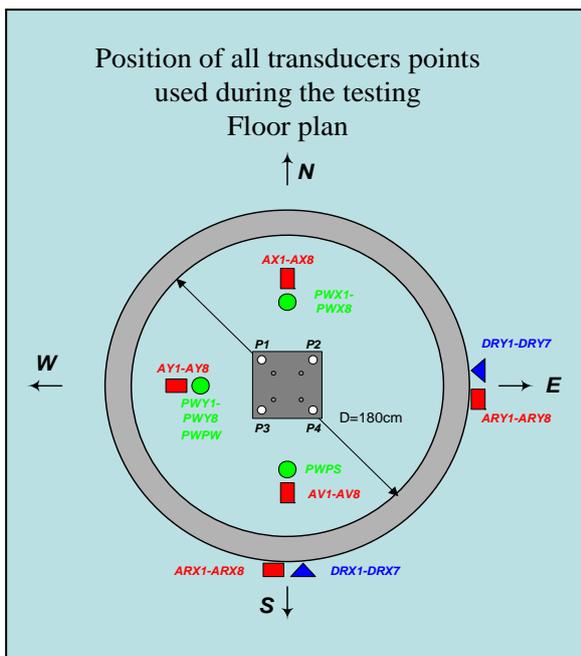


図 5a せん断土槽と杭のレイアウト

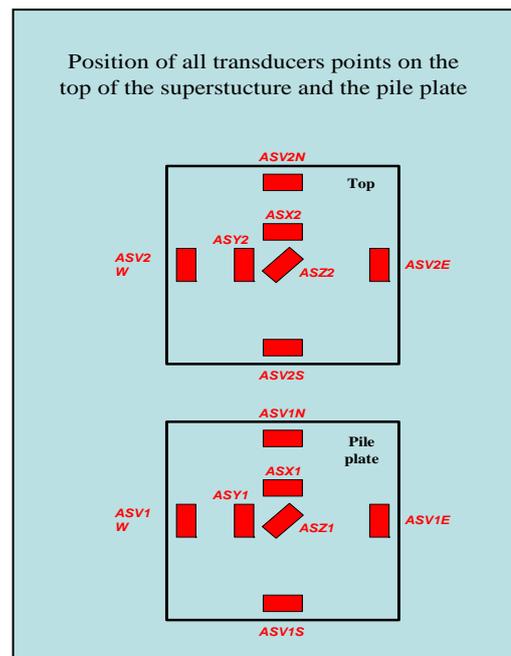
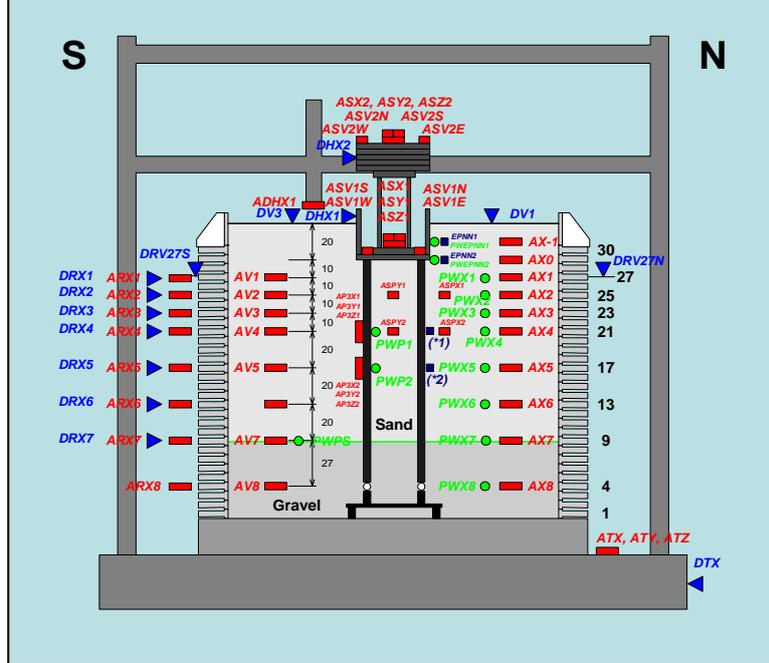


図 5b 加速度計の設置位置

Position of all transducers points
used during the testing
N - S Direction



Position of all transducers points
used during the testing
E - W Direction

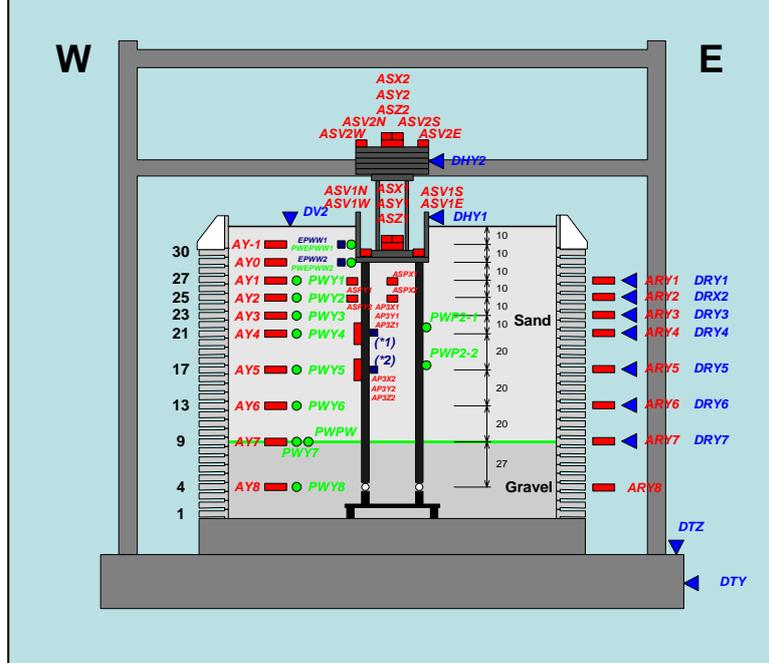


図 5c センサーの設置位置

d) 入力波

地震動のデジタル記録が3成分そろっている地震動の中から、代表的な十勝沖地震(1968年)の記録波形を用いることとして、時間軸を模型に応じて $1/\sqrt{5}$ (1/2.236) に圧縮する。相似則については、模型とプロトタイプについて物理現象に関連する主要値が等しいとして求めている。ここで、プロトタイプは防災科学技術研究所が実施している杭地盤系の大型振動実験のモデルで、長さに関するスケールファクターは $\lambda_l=1/5$ である。すなわち、同一の重力場の実験であるので、対象とするプロトタイプと模型については、せん断剛性や減衰定数のひずみ依存性、せん断波速度、密度などはほぼ同一の値として、入力加速度の相似率を $\lambda_a=1$ としている。また、 $\lambda_t = \lambda_l / \lambda_a^2$ であるから時間に関するスケールファクター λ_t は λ_l となる。時間軸を圧縮した十勝沖地震の3成分は図6に示すとおりである。

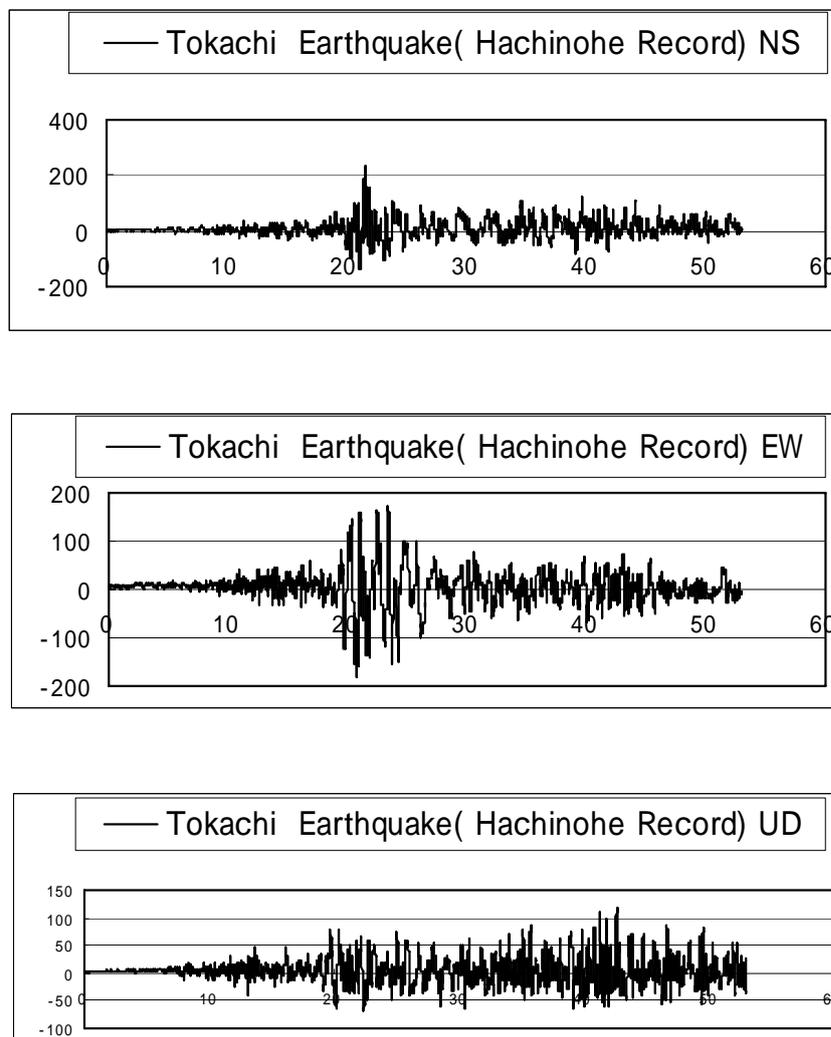


図6 十勝地震波(1968)

さらに、平成16年度は水平面内における2方向振動の強軸方向に投影した成分についても入力条件として加えて、1方向加振と2方向加振の影響について検討する。図7に十勝沖地震波のNS成分とEW成分の加速度と速度のオービットを示す。速度オービットのピークを結んだ方向を強軸方向として、NS方向から75度傾いた方向の振動成分を強軸

方向振動とした。合成した波形を図 8 に示す。

Tokachi Eq. 1968, Hachinohe record XY direction, 0 - 30 sec

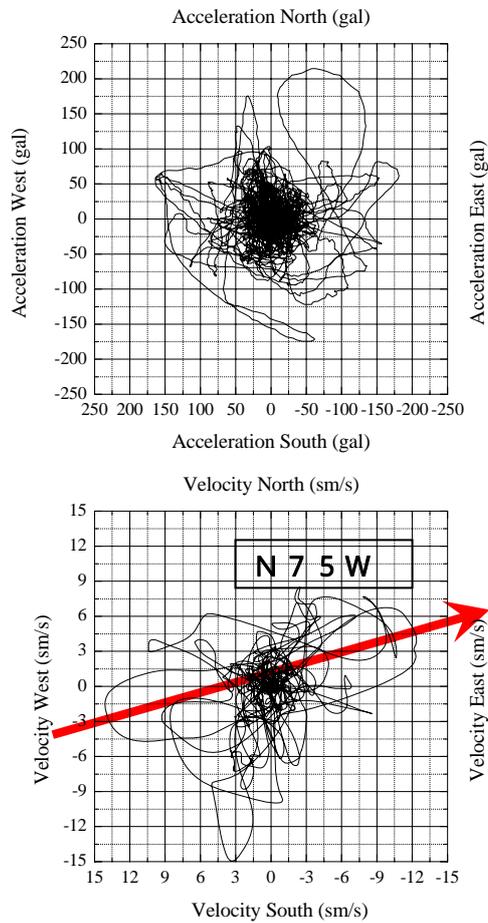


図 7 速度オービットと強軸方向の定義

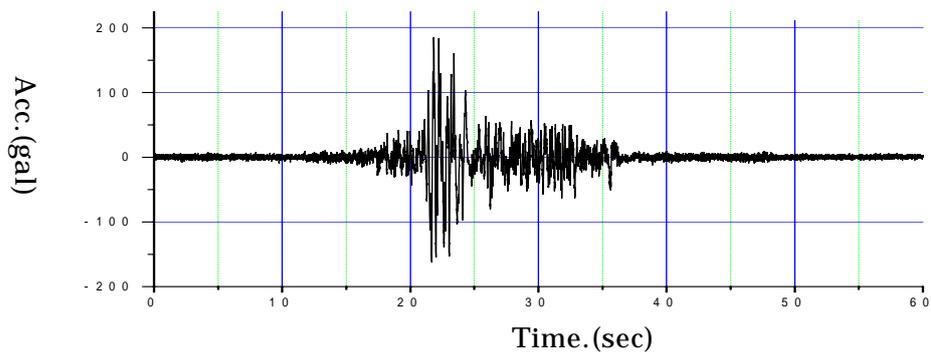


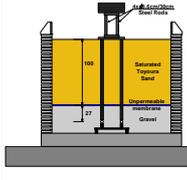
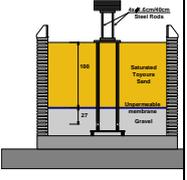
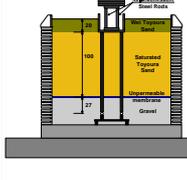
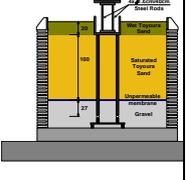
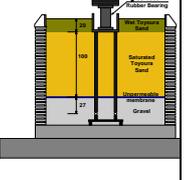
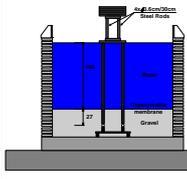
図 8 強軸方向の振動成分

e) 実験ケース

表 3 に平成 16 年度に実施した実験条件を示す。なお、以下の実験結果では、データファイル名を用いて表現している。相対密度はそれぞれの実験の地盤の全体重量と体積から

計算した平均的な値を表記している。

表3 実験ケースと条件 (平成16年度、S6)

	Shaking Direction	Superstructure model S	Dr (%)	Superstructure model M	Dr (%)	Superstructure model L	Dr (%)
Soil Level 0							
	NS	HCNSW47	80	HCNSW32	68	/	
	XY	HCXYW48c	80	HCXYW33	73	/	
	EW	HCEWW50	85	HCEWW35	77	/	
	3D	HC3DW49c	83	HC3DW34	70	/	
	75	HC75W51c	88	HC75W52c	88	/	
Soil Level +20cm							
	NS	HCNSW41	70	HCNSW53	84	HCNSW54	81
	XY	HCXYW42c	76	HCXYW55	79	/	
	EW	HCEWW45	81	/	/	/	
	3D	HC3DW43c	80	/	/	/	
	75	HC75W44c	82	HC75W56c	82	/	
No sand, only bottom gravel layer							
	NS	HCNSW61c1	/	/	/	/	
	XY	HCXYW62c1	/	/	/	/	
	75	HC75W63c1	/	/	/	/	

杭上部の構造物の重量と支柱の剛性によって、構造物の固有周期を変更している。今年度は、MモデルとSモデルを用いて杭上部構造とした。それぞれの固有周期は計算上、図9のように設定しており、Mモデルの場合には地盤の液状化過程で構造物の固有周期と地盤の周期が一致する瞬間がある。Sモデルについては、地盤よりも短周期に位置するので地盤と共振するような状況はない。

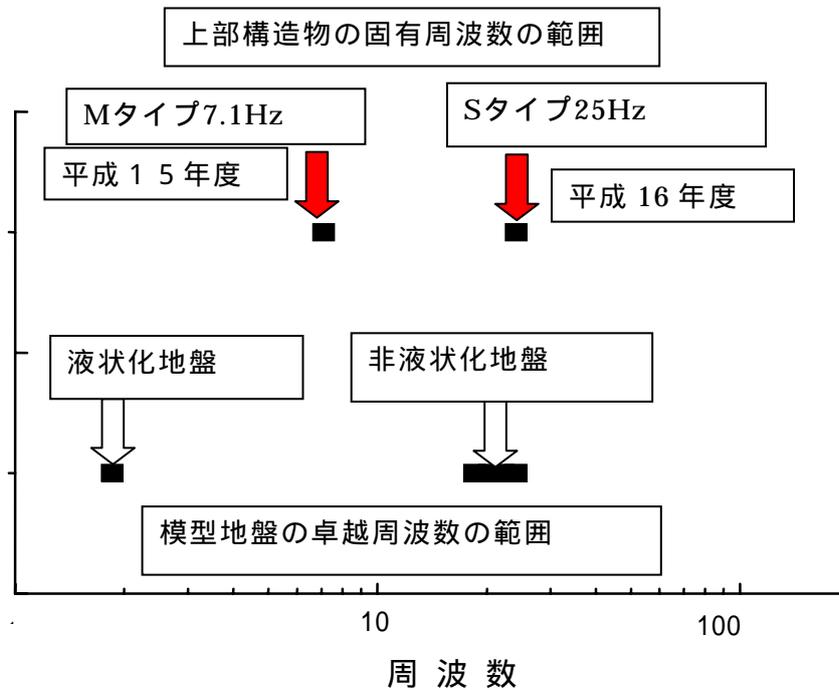


図9 上部構造と地盤の固有周波数の関係

(c) 業務の成果

1) 地盤条件と作成状況

平成16年度の実験ケース(表3のケース40番台)では80%程度の締固度を目標としていたが、若干の相違が出ている。ボイリングによって作成された地盤は、地表面から深さ20cmまでの層がなり緩い状態で低い加速度レベルでも液状化しやすく、地盤の内部とは異なった状態にある。このため、ボイリング後の沈降した地盤表面に重りを載せて、振動を負荷することによって地表面近くの密度改善を図るようにした。

2) 実験結果

a) 杭の剛性

杭単体の曲げ試験によって、杭の曲げ剛性を確認するとともに杭内部に接着しているひずみゲージの出力値と解析値を比較して、ひずみと杭の変形(曲げ撓み量)に整合性のとれていることを確認した。杭の弾性係数と曲げ剛性は平成14、15年度と同じく以下のとおりである。

表4 杭と地盤の諸元

	高さ (m)	外径 (m)	内径 (m)	断面積 (m ²)	断面二次 モーメント (m ⁴)	E (kN/m ²)	
杭	1.35	0.032	0.03	9.7389E-05	1.1711E-08	1.9320E+08	0.3
柱(Mモデル)	0.4	0.016	0	2.0106E-04	3.2170E-09	2.0580E+08	0.3
柱(Sモデル)	0.3	0.036	0	1.0179E-03	8.2448E-08	2.0580E+08	0.3

b) 地盤内の過剰間隙水圧応答

地盤内に深さ方向に設置した間隙水圧計の応答を図10に示す。前年度の実験結果では、過剰間隙水圧は地表面に近い部分ほど早く上昇し始め、深部に向かって液状化が進んでいることが分かった。また、消散過程では、深部から上方へと過剰間隙水圧が抜けていく挙動が確認できる。さらに、水平面内2方向(XY)の振動の場合には、液状化の継続時間は1方向に比べて長く、また間隙水圧の消散にも時間を要することが明らかとなっている。

液状化地盤の間隙水圧の応答は、地盤振動の影響を受けてある振幅を持って振動しながら水圧上昇し、限界の過剰間隙水圧に達する。特に、鉛直振動が付加された場合(XYZ方向)には、動水圧の影響が顕著になり振動成分が大きく現れ、限界の過剰間隙水圧以上の値が発生する場合がある。このような、過剰間隙水圧の応答を水圧が減少する部分と上昇する部分に分離してその特徴を見ることにする。すなわち、オリジナルな間隙水圧の応答は、図11に示すように分離することができる。また、振動成分のみを取り出したものを、地盤のせん断ひずみ応答と重ねて図12に示した。図11から地盤は

12.5秒当たりで液状化に達しているが、地盤のせん断ひずみと間隙水圧の振動成分を比較すると、12.5秒以前、すなわち完全液状化前の段階ではせん断ひずみの増加に伴って水圧減少を示し、逆にせん断ひずみが解放される応答の部分では水圧が増加する挙動をしていることがわかる。すなわち、振動成分の状況によっては、地盤の液状化の速度を大きく左右する可能性があることが伺える。

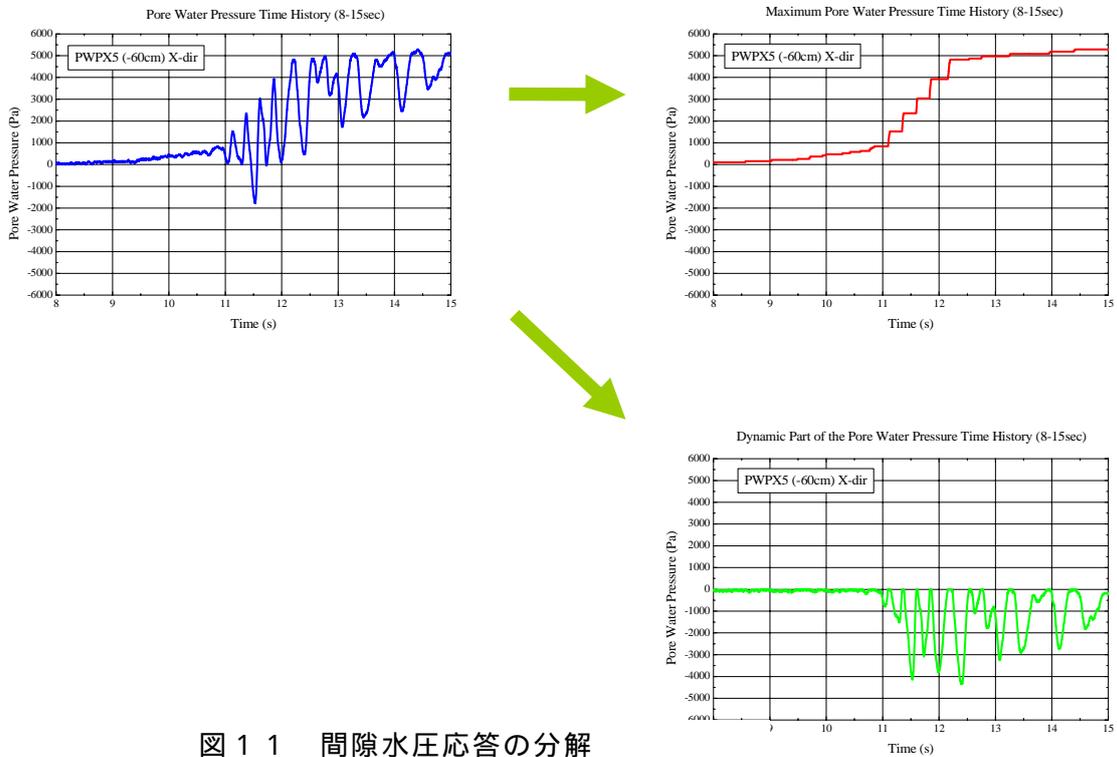


図 1 1 間隙水圧応答の分解

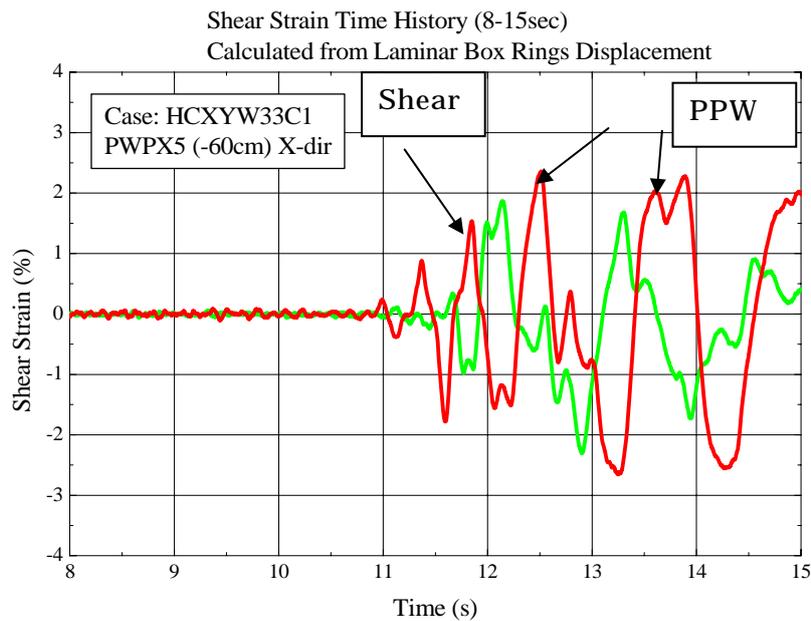


図 1 2 過剰間隙水圧応答の振動成分と地盤のせん断ひずみ

NS1方向;

XY 2 方向

XYZ 3 方向

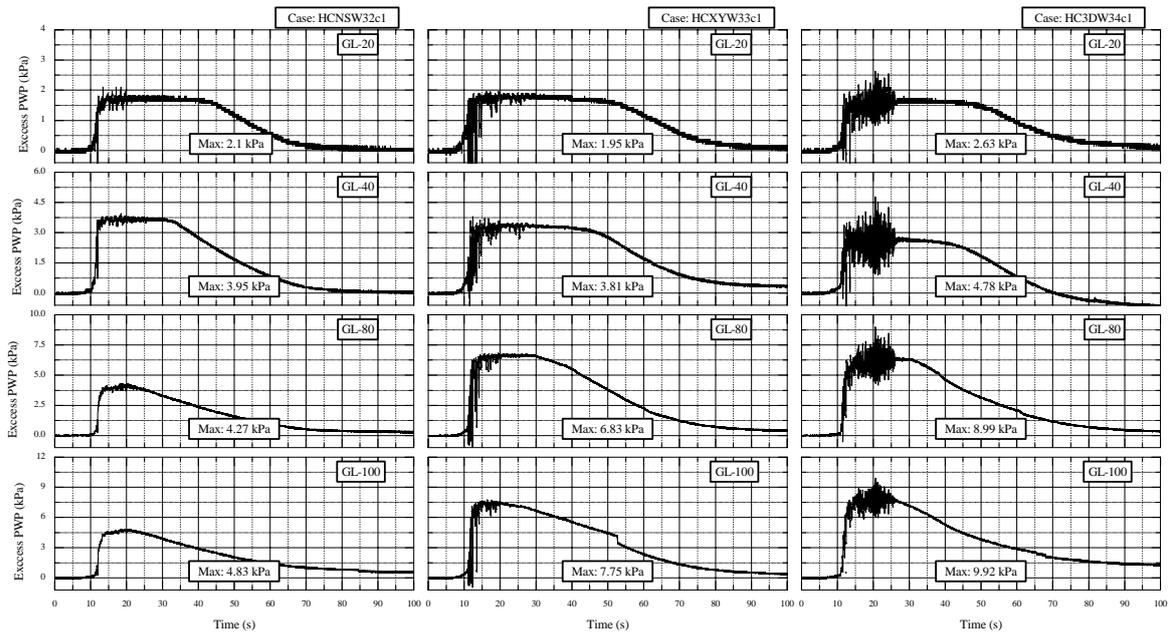


図 10 三次元振動と過剰間隙水圧の応答

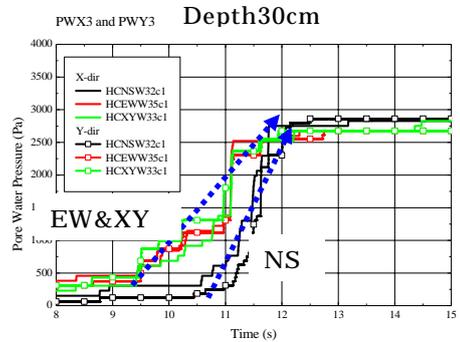
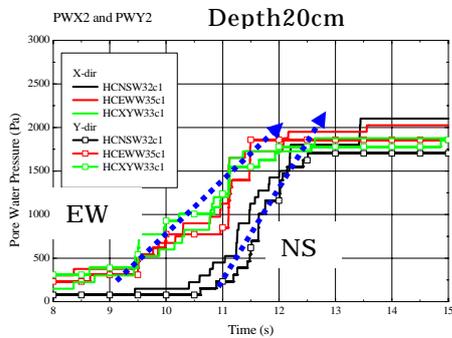
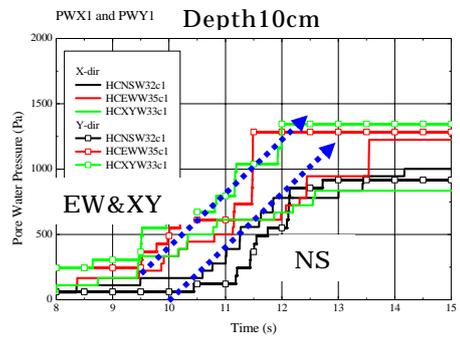
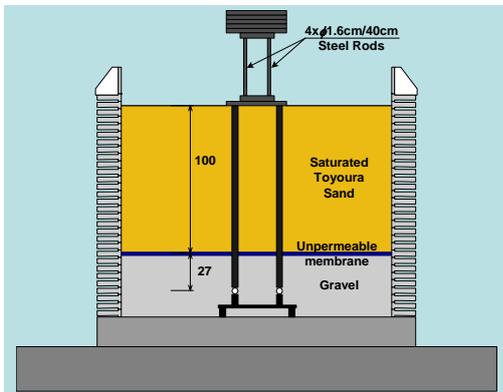


図 13 間隙水圧の応答 (NS、EW、X & Y)

) 1方向加振と2方向加振の影響 (Mモデル)

地盤内部の過剰間隙水圧の上昇成分のみを取り出したものを図13, 14に示す。NS1方向入力の場合には他の入力振動の場合に比べて間隙水圧の発生が遅れる。EWとXY方向入力の場合には、間隙水圧の発生するタイミングは同じで、深いほど間隙水圧上昇勾配は急である。このことは、EW方向の入力波の影響が大きく現れた結果であると思われる。さらに、いずれの入力振動においても、深いほど間隙水圧の上昇勾配は急である。

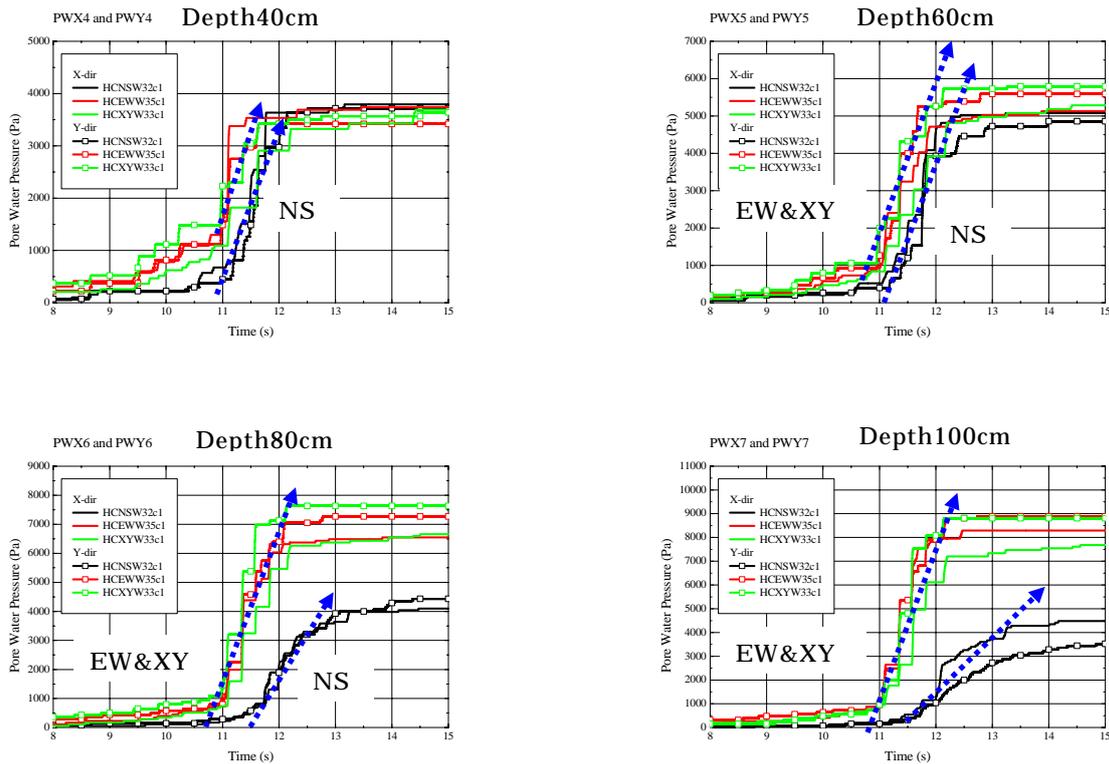


図14 間隙水圧の応答 (NS, EW, X & Y)

図15, 16には地盤内の各深さでの間隙水圧の減少部分だけを分離した応答を示している。

EW&XY方向入力の場合はNS1方向に比べて、間隙水圧が減少する回数、低下量ともに多い。すなわち、NS1方向入力の場合は、他の入力パターンに比べて連続的に間隙水圧が上昇していることを意味している。このことは、EWとXY2方向加振の場合には間隙水圧が減少する応答が多いために、地盤の有効応力が一次的に回復することによって、完全液状化に至るまでに時間を要する。すなわち間隙水圧の上昇が遅れることを意味しており、完全液状化に至るまでの過程で地盤は複雑に強度回復を伴いながら地盤反力が杭に作用していることを表している。

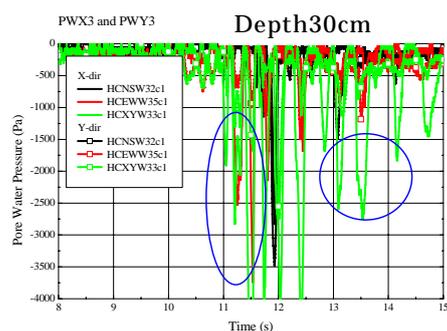
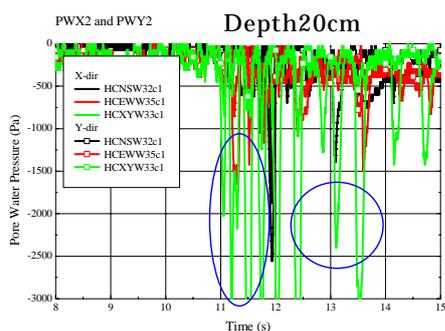
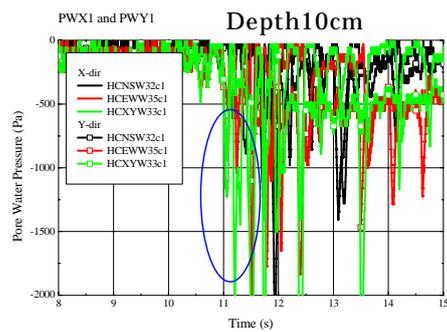
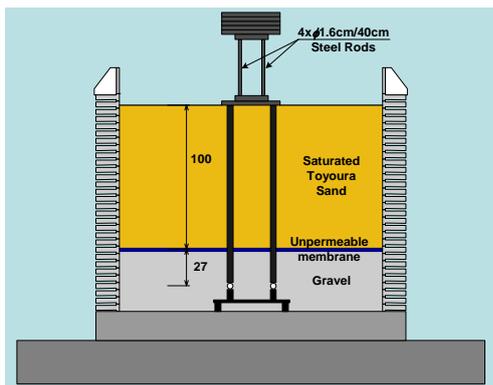


図 15 間隙水圧の応答 (NS、EW、X & Y)

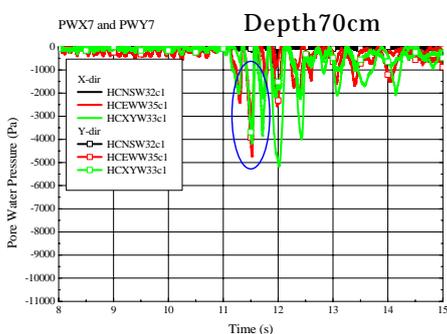
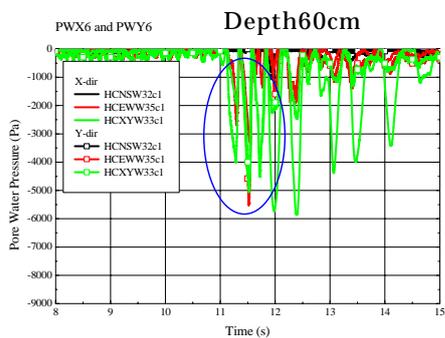
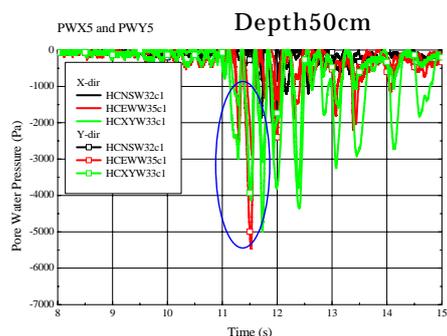
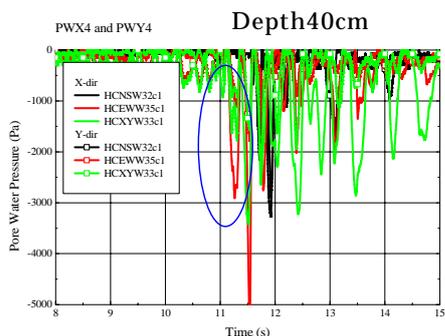


図 16 間隙水圧の応答 (NS、EW、X & Y)

) 2方向加振と3方向加振(Mモデル)

図17, 18にXY2方向と3方向入力、強軸方向入力の場合の間隙水圧の上昇成分を示す。地表面に近い位置(深さ30cmまで)では、XY2方向入力に比べて強軸方向と3方向入力の場合は間隙水圧の発生が少し遅れて立ち上がる傾向が見られる。このことは、強軸方向の1方向入力に比べてXY2方向入力が必要なエネルギーを持っているために間隙水圧の上昇が早く起こりやすいことと、3方向入力の場合は鉛直振動の影響によって過剰間隙水圧が地表面に抜けやすく、過剰間隙水圧の上昇が遅れることを表している。このような間隙水圧の発生に差が生じる現象は、地盤の深い位置でもわずかに認められるが、地表面の差異に較べて小さい。

図19, 20には地盤内の各深さでの間隙水圧の減少部分だけを分離した応答を示している。間隙水圧の減少量や回数を厳密に評価するには至っていないが、大まかな傾向として3つの入力振動に大きな相違は見あたらないと判断できる。特に完全液状化に至る12.5秒以前はそれぞれの応答が入り乱れており、間隙水圧の減少度合いに先の図15, 16に示すようなNS1方向とXY2方向入力の様な顕著な傾向は見あたらない。

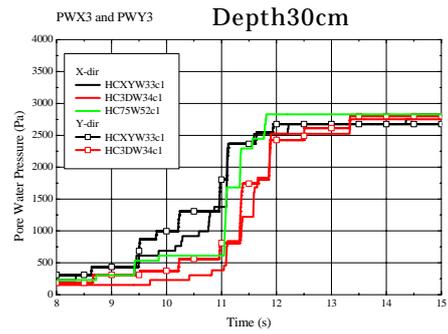
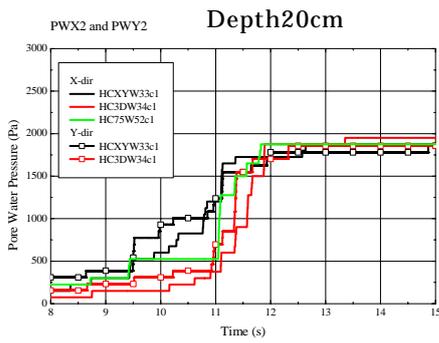
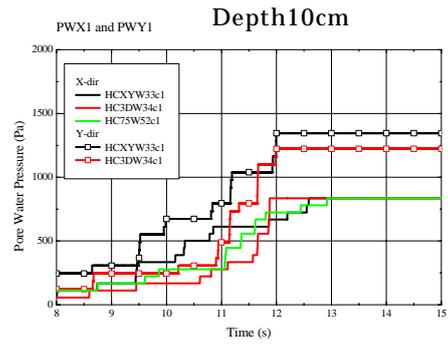
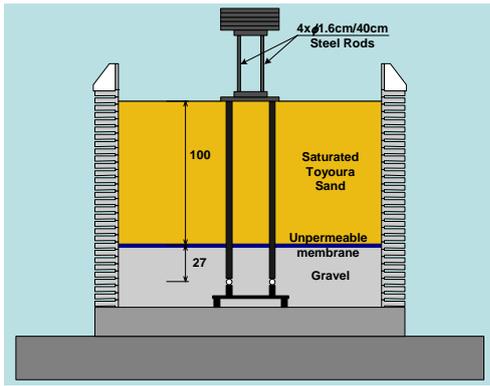


図 1 7 間隙水圧の応答 (X & Y、強軸、3 方向)

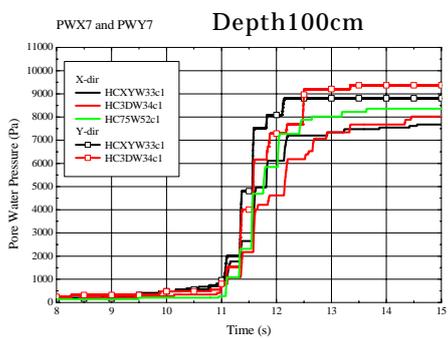
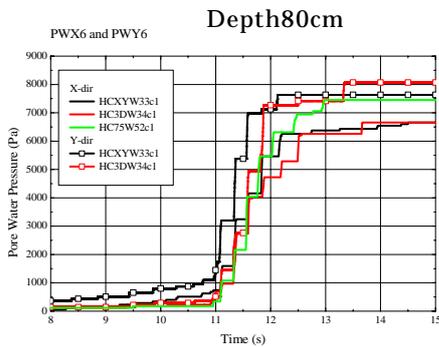
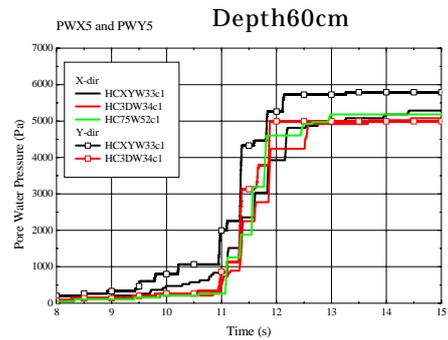
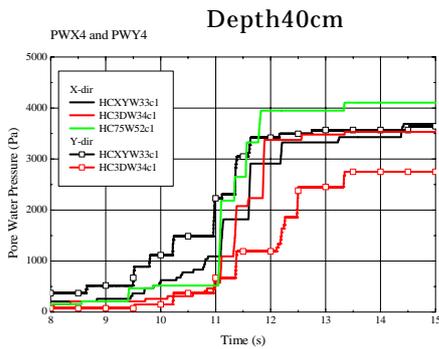


図 1 8 間隙水圧の応答 (X & Y、強軸、3 方向)