

(c) 業務の成果

1) 地盤条件と作成状況

空中落下によって作成した地盤とボイリングによって作成した飽和地盤の密度などの状態は表6の通りである。密度は予定以上に高くなっている。地盤の相対密度は、投入した砂の重量と土槽の体積から求めた密度を元に算出したものである。

表6 模型地盤作製結果

	乾燥地盤				飽和地盤 1		飽和地盤 2			
	HCNS05	HCXY05	HCNS05a	HCXY05a	HCNS05aw1	HCXY05aw1	HCNSR501	HCNSR502	HCXYR501	HCXZR501
入力波の時間圧縮率	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/ (5)	1/ (5)	1/ (5)
地盤材料重量	117.7	118.2	120.1	120.0	121.3	123.3	124.2	126.1	127.9	120.3
高さ H(cm)	141.8	141.35	139.4	139.5	138.225	136.2	135.35	133.425	131.625	139.225
体積 V(cm ³)	3447870.0	3436444.3	3386933.1	3389472.1	3357099.4	3305683.8	3284102.0	3235225.5	3189522.8	3382489.7
乾燥密度 ?d (g/cm ³)	1.511	1.516	1.538	1.537	1.564	1.588	1.599	1.623	1.646	1.611
間隙比 e	0.749	0.743	0.718	0.719	0.690	0.664	0.653	0.629	0.606	0.640
飽和密度 ?sat (g/cm ³)	1.94	1.94	1.96	1.96	1.97	1.99	1.99	2.01	2.02	2.00
相対密度 Dr(%)	61	63	70	69	77	84	87	94	100	91
地表上水位 z (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.8	3.7	5.6	7.4	-0.2

図7, 8に振動実験直前に計測した模型地盤のせん断弾性波速度を示す。測定方法は地表面からのスタッングを地盤内の深さ30cmと127cmのところに設置した加速度計で感知することで、2つのセンサー間の伝播速度を求めた。4カ所で計測したが、緩い状態でのせん断弾性波速度は120から140m/secに、密な地盤では170~198m/secにバラツキが見られた。

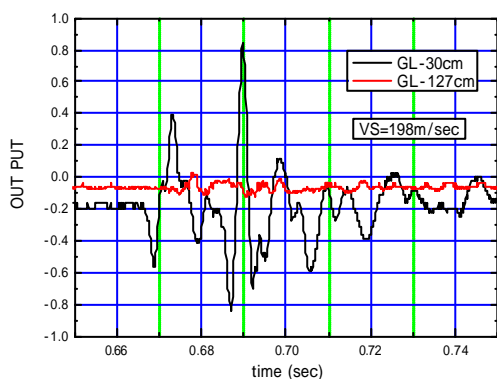


図7 せん断波速度 Vs
(Dr=91%、飽和地盤,HCXZR501)

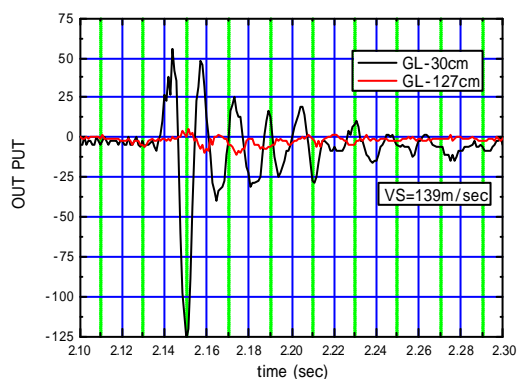


図8 せん断波速度 Vs
(Dr=70%、乾燥地盤,HCNS05a)

2) 実験結果

a) 杭の剛性

図9に杭単体の曲げ試験の結果を示す。杭内部に接着しているひずみゲージの出力値と解析結果はほぼ満足のいく整合性を得ているので、ひずみゲージは正確に接着されていると判断できる。他の杭についても同様に確認を行った。この結果から得られる杭の弾性係数と曲げ剛性は以下のとおりである。

$$E=1.932E+08 \text{ (kN/m}^2\text{)}、EI=2.085E+10 \text{ (kNm}^2\text{)}$$

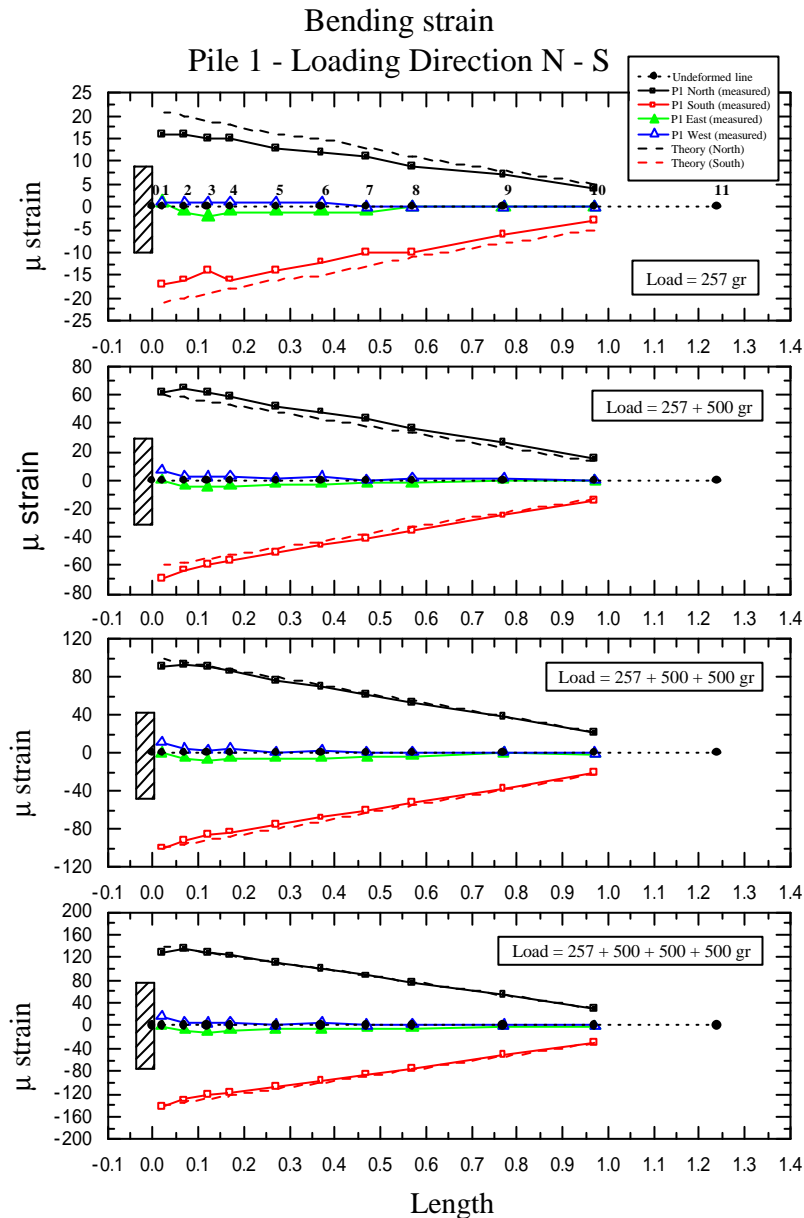


図9 杭単体の曲げ試験結果 (PileNo.1)

b) 杭基礎と構造物の加速度応答

杭の加速度は図 10 に示すように、20 秒以前の地盤が液状化していない状態での構造物の応答（ASX1：上部構造物、ASX2：下部構造物（杭頭連結梁））は入力振動に比較して増幅しているが、22 秒当たりでの液状化の発生直後には応答が急減しており、地盤の影響が顕著に反映された挙動を示している。

また、杭上部の構造物の変位を図 11 に示すが、振動台の変位履歴に対応した挙動をしていることがわかるが、20 秒過ぎの大きな振動台の変位発生時に上部構造物が大きく変位したように記録されているが、変位計の取り付け部分の変形も見込まれるので、再度実験して確認することとする。30 秒当たりで見られる液状化後の構造物の変位振幅は高々1mm 程度で、小さな応答に終わっていることがわかる。

図 12,13 は、多方向入力時（XY 二方向と XZ 二方向）の杭基礎の加速度と構造物の変位応答である。いずれの場合にも入力加速度が 50gal 以下の初期の振動時（20 秒以前）に杭の上部構造物と下部構造物で計測される加速度は、同程度の応答を示しており構造物の剛性が大きいことを反映したものとなっている。図 12 に示す X Y 方向の二方向同時入力の場合には、液状化後の 25 秒当たりでの変位振幅は 40mm 程度で、水平一方向加振に比べて大きな応答を示している。また、液状化直後に発生している大きな変位も、下部構造物で 48mm、上部構造物で 25mm に達しており、地盤の液状化に伴って杭と地盤が特異な相互作用を示した結果が現れている。

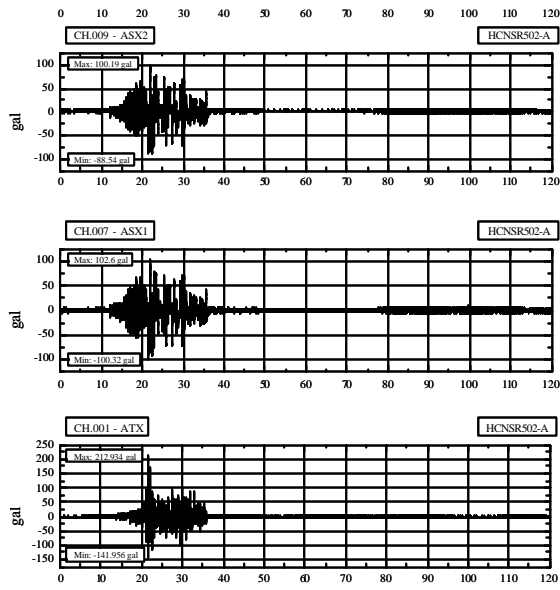


図 10 杭の加速度履歴(HCNSR502)

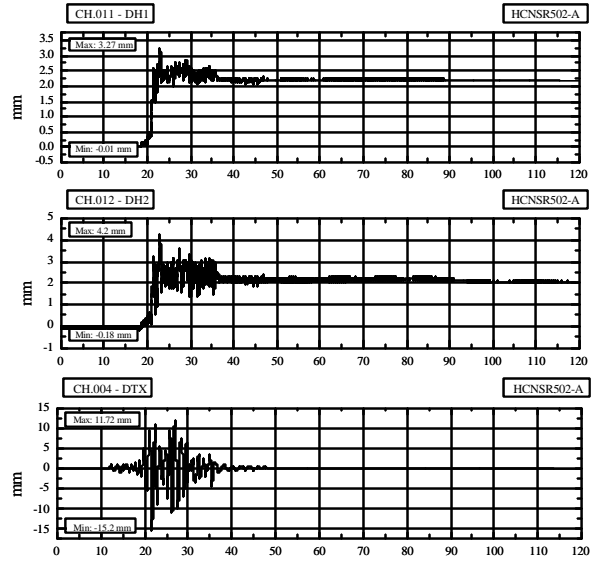


図 11 構造物の変位履歴(HCNSR502)

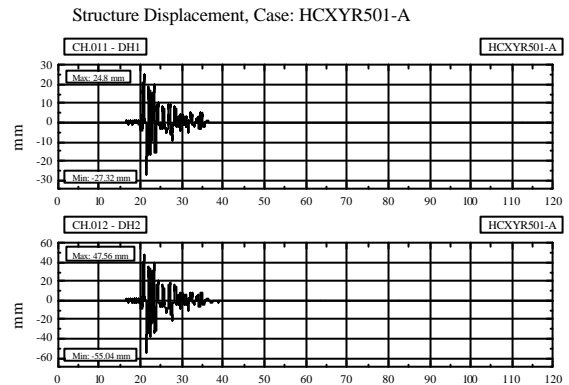
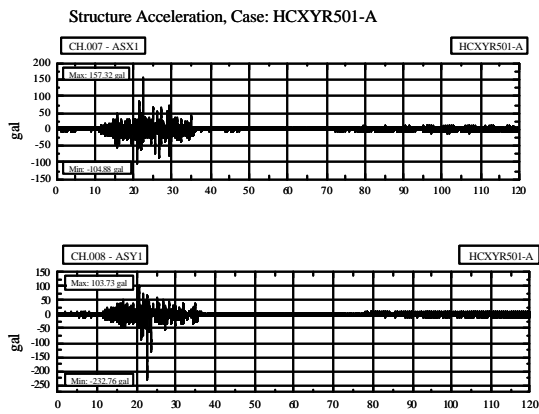


図 12 杭基礎の加速度と変位履歴 (HCXYR501) X 方向と Y 方向応答

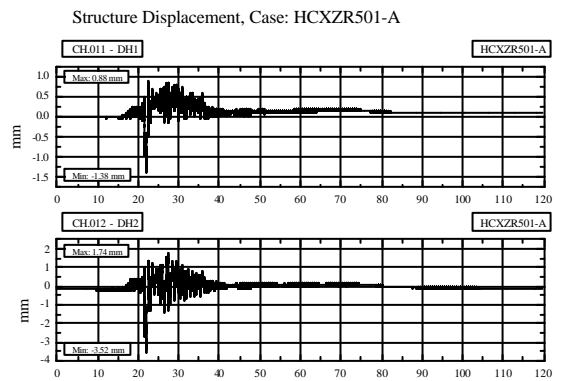
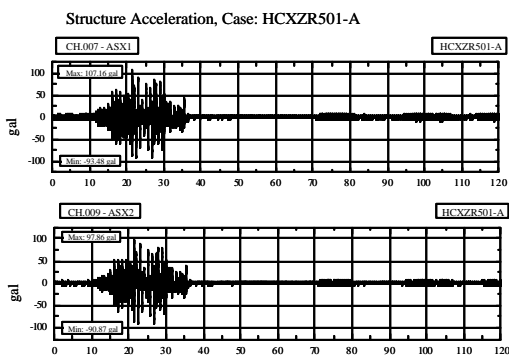


図 13 杭基礎の加速度と変位履歴 (HCXZR501) X 方向と Z 方向応答

c) 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14～図16に示す。地表面から深部に向かって液状化が進んでいることがわかる。また、振動が停止してからは、深部から上方へと過剰間隙水圧が消散していく挙動が確認できる。鉛直振動を入力した場合の方が若干間隙水圧の消散が早いようにも見えるが、地盤の初期密度の違いもあるので、詳細な検討が必要である。水平面内二方向振動との違いは見いだせない。

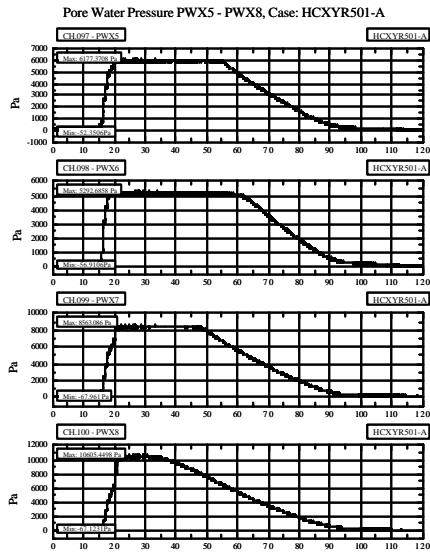


図14 地盤内の過剰間隙水圧 (HCXYR501)

深さ60cm

深さ127cm

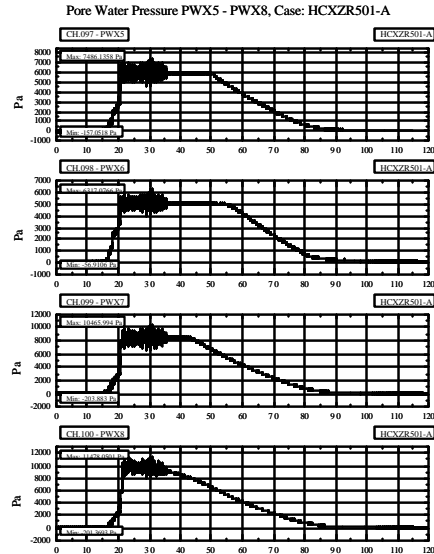


図15 地盤内の過剰間隙水圧 (HCZR501)

深さ60cm

深さ127cm

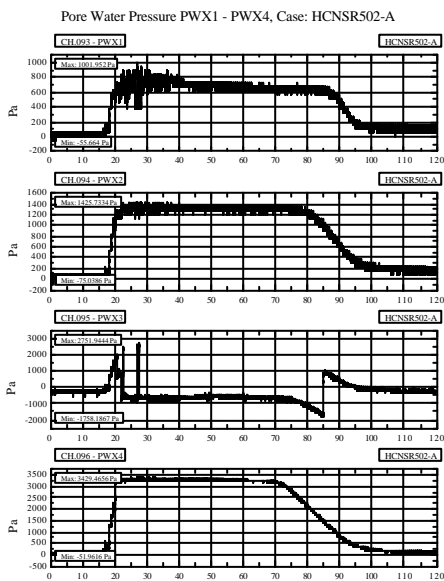
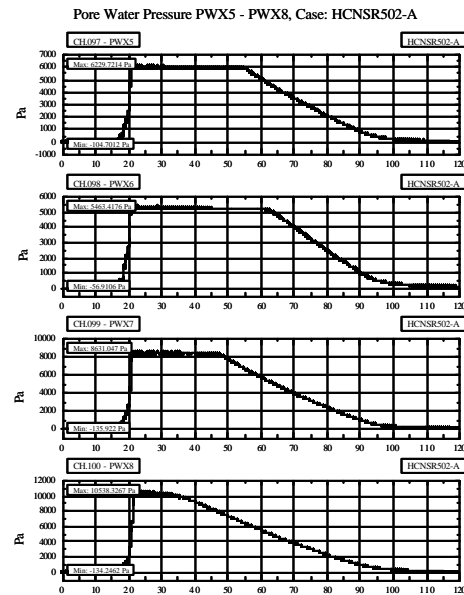


図16 地盤内の過剰間隙水圧 (HCNSR502)

深さ10cm

深さ40cm



深さ60cm

深さ127cm

d) 地盤内部の加速度応答

地盤内の深さ方向に設置した加速時計の応答を図17～図19に示す。最大入力振動250galに対して深部127cmの位置では同様の応答が見られるが、上部地盤（浅いほど）ほど周波数の高い応答は少なく、特に、液状化後は低周波応答が優勢となる傾向が見られ、応答が鈍くなっていることがわかる。この傾向は、多方向加振も同様であった。

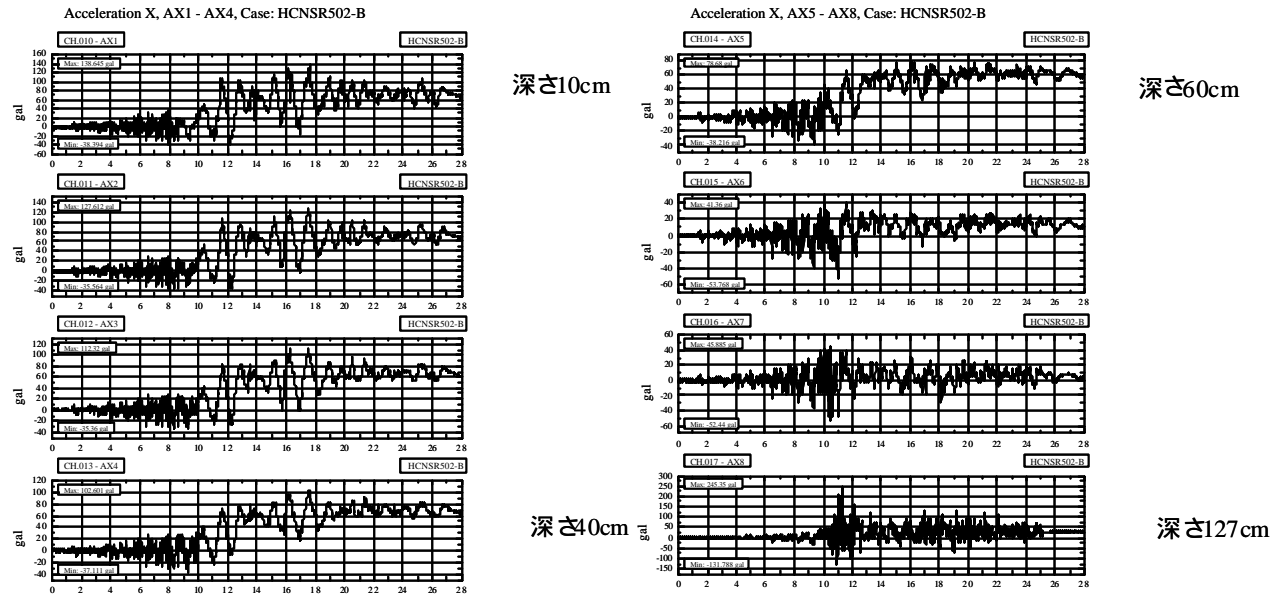


図17 地盤内部の加速度応答（HCNSR502）

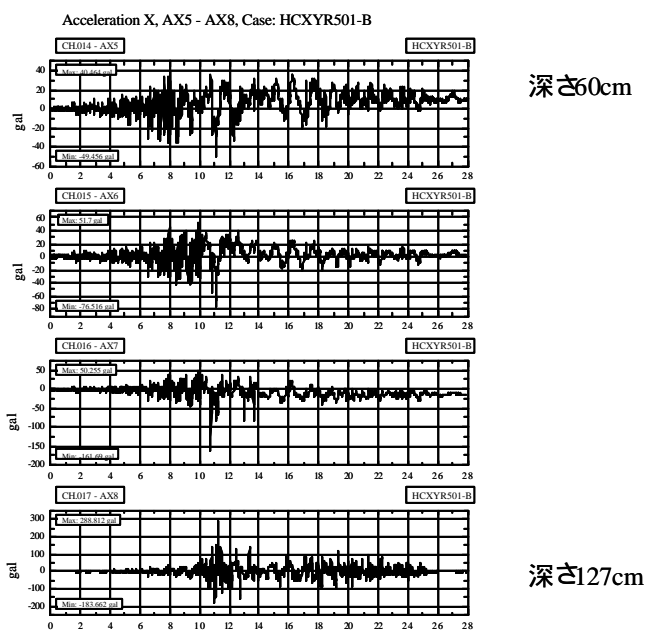


図18 地盤内部の加速図18 地盤内部の加速度応答

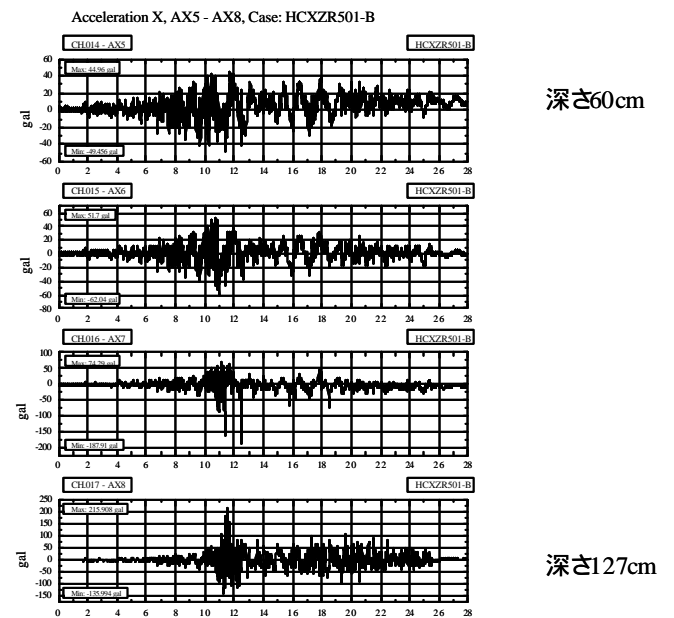


図19 地盤内部の加速度応答（HCZR501）

e) 杭に作用する土圧と変位

杭の深さ方向の各点で計測したひずみから2階微分して得られる土圧と杭変位の関係を図20に示す。杭の下端部に近いところでは、わずかな土圧に対して変位が発生しているが、非線形性は強くない。杭上部に近いほど土圧も若干大きくなりふくらみのある非線形なループが出てきている。飽和地盤については過剰間隙水圧が30%以下のデータのみを用いているが飽和地盤では、初期の線形的な閉じたループから急激にふくらみを持ったループへと移行している。また、図21に示すようにXY方向の同時入力の方が一方向に比べて大きなループを描いている。

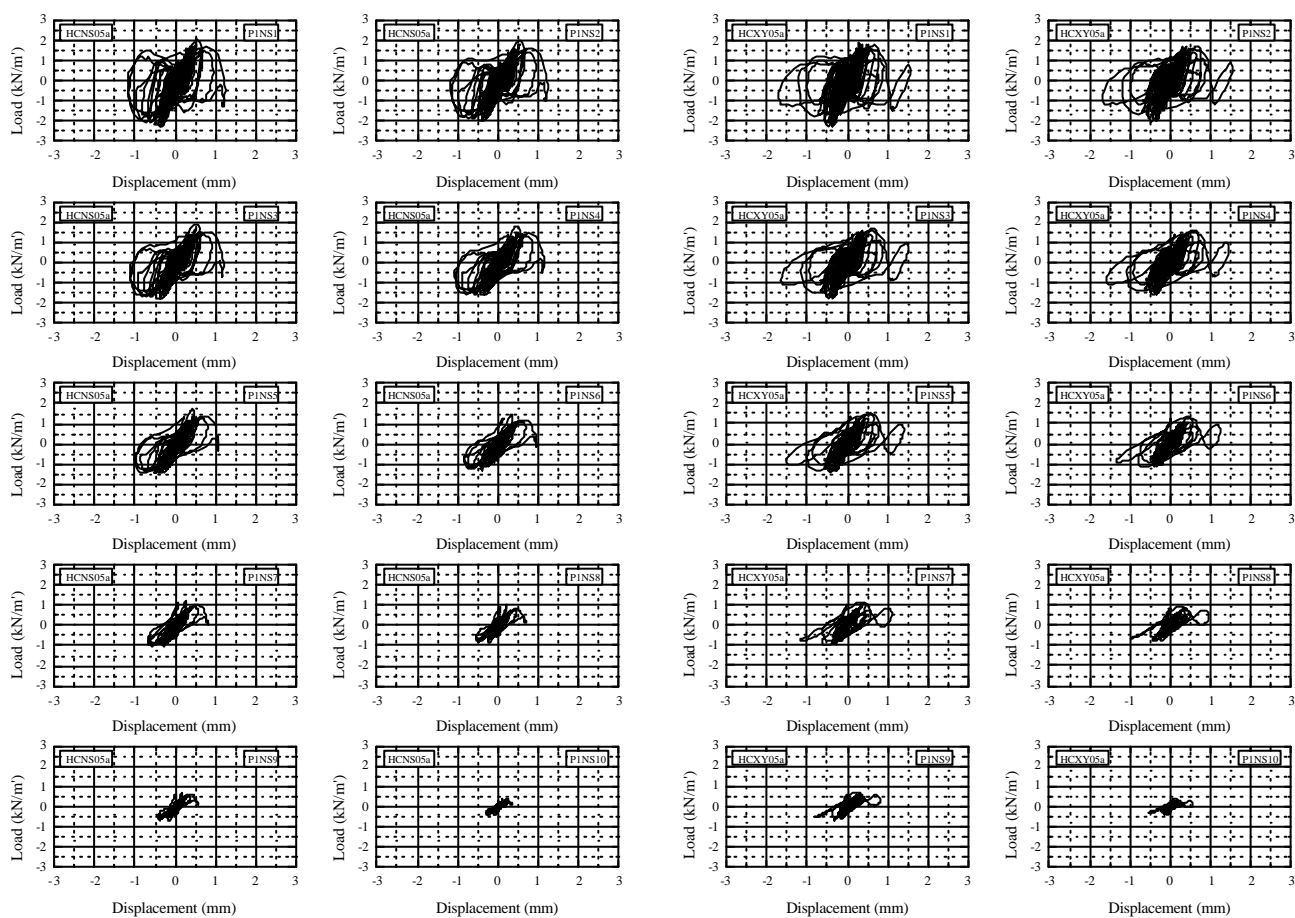


図20 杭に作用する土圧と変位の関係(乾燥地盤: HCNS05a、HCXY501)

f) せん断土槽のプレートの変位応答と杭の変位応答の比較

せん断土槽のプレートの変位応答と杭の変位応答の比較を図22に示す。杭の変位は曲げひずみを積分して求めたものである。DRX1の最上部に位置するプレートは最も大きく変位しており、4段目の20cm下がった位置のプレートは70%程度の応答に減衰している。計算された杭の変位応答は、プレートの応答と全く同じであることが分かる。

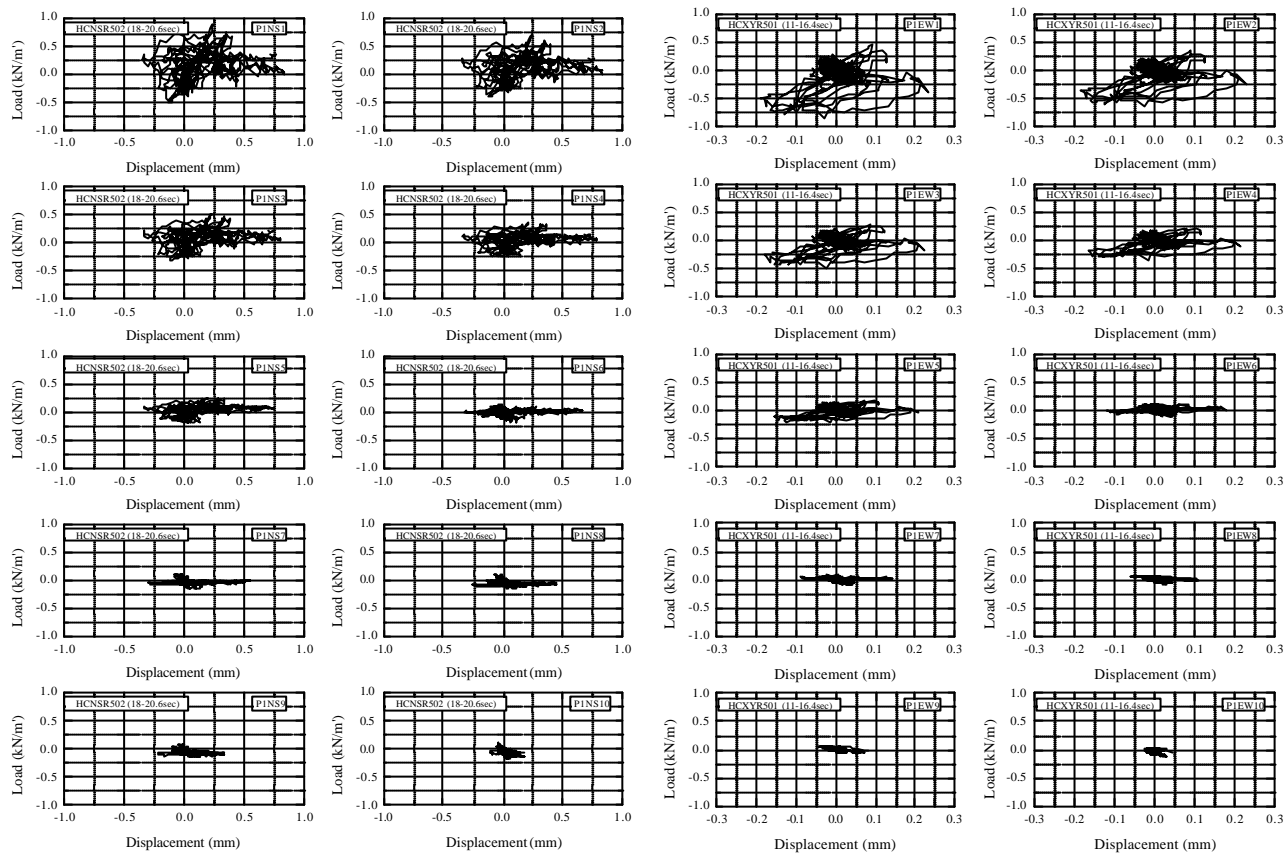


図 21 杭に作用する土圧と変位の関係(飽和地盤 : HCNSR502,HCXYR501)

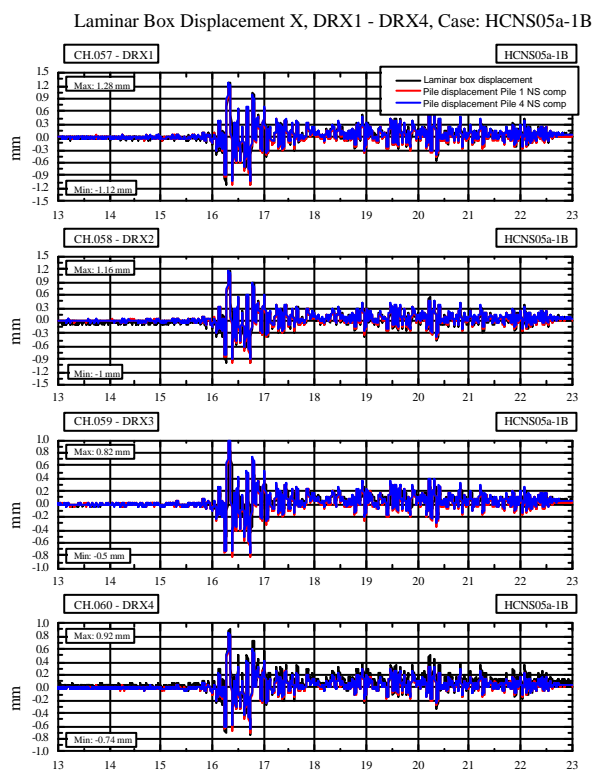


図 22 杭とせん断土槽の変位応答の比較

g) 杭のモーメントと作用土圧分布

杭に発生している曲げモーメントとモーメントを2階微分して得られた土圧分布、および杭の変形の分布を図23～図27に示す。これらの乾燥地盤での曲げモーメントの分布は2次のモードが卓越しており、杭頭部から30cmの位置に節があることがわかる。これに対して飽和地盤では1次のモードの曲げモーメント分布となっている。また、曲げモーメントから求まる杭の変位は乾燥地盤では1mm程度であるが、飽和地盤では20mmを超える変位が発生している。一方向入力に比べて多方向の入力振動を受けた場合の方が20～30% 杭は大きく変形している。

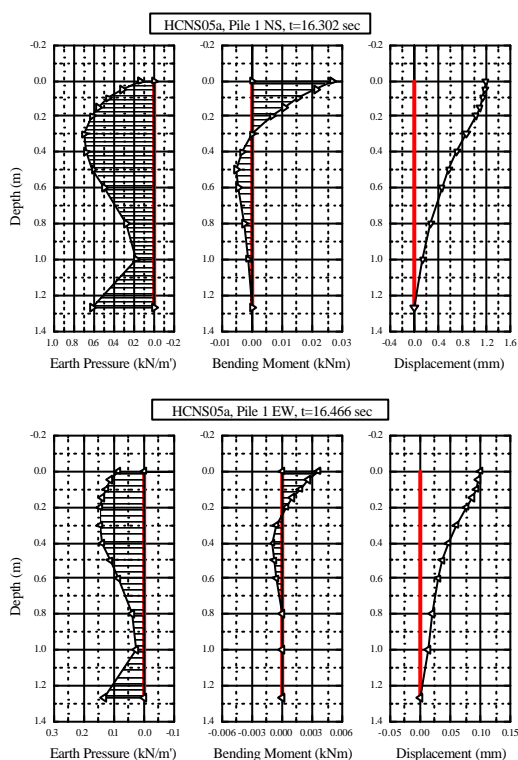


図23 杭に作用する土圧と変位
(HCNS05a)

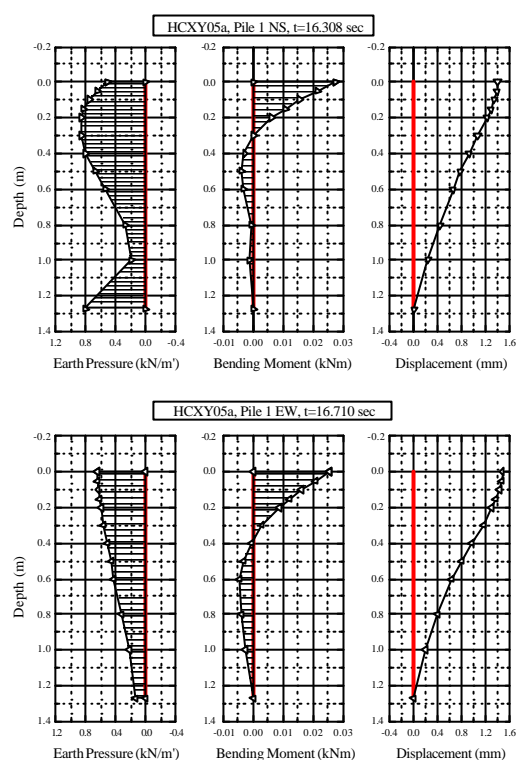


図24 杭に作用する土圧と変位
(HCXY05a)

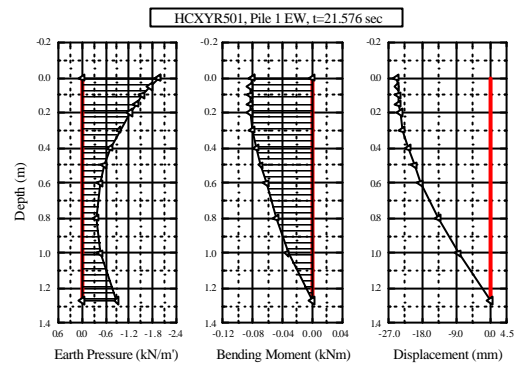
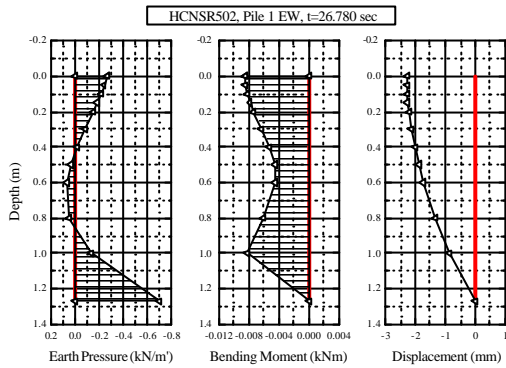
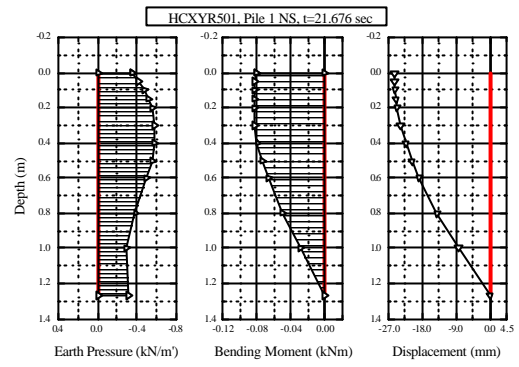
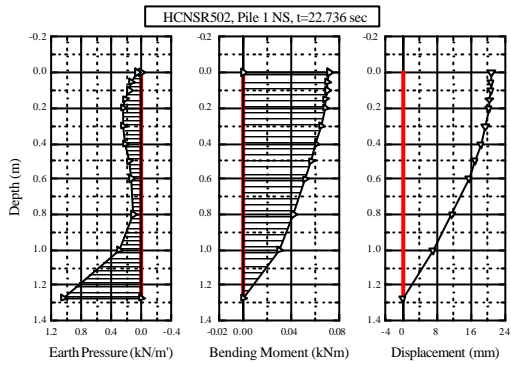


図 25 杭に作用する土圧と変位
(HCNSR502)

図 26 杭に作用する土圧と変位
(HCXYR501)

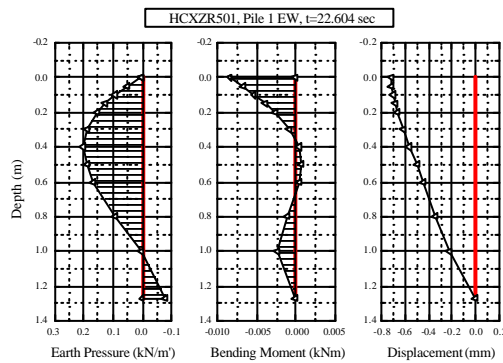
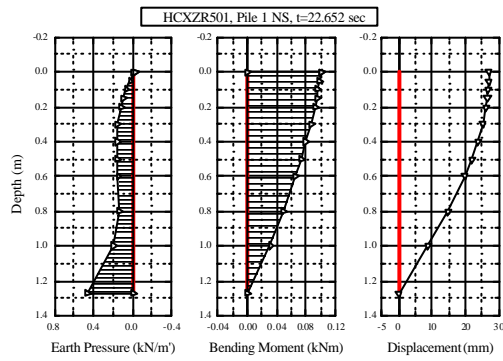


図 27 杭に作用する土圧と変位
(HCXZR501)

(d) 結論ならびに今後の課題

せん断土槽を用いた杭の振動実験によって計測される杭のひずみやせん断土槽のプレート動きから、杭と地盤の相互作用を精度よく観測できることが明らかとなった。すなわち、杭に発生しているひずみから計算される杭の変位応答とプレートの変位応答は完全に一致しており、実験用いたせん断土槽の基本性能を確認することができた。また、乾燥地盤と飽和地盤での杭の曲げモーメント分布の相違が顕著であることが確認できるとともに、多方向入力の影響も明確にとらえられていることがわかった。今後は上部構造物の特性を変えて、地盤と杭基礎の固有周期に着目した地盤と杭 - 構造物の相互作用について検討することとする。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
なし			

(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

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成15年度業務計画案

(a) 業務計画

平成15年度は、杭上部に設けた構造物の影響を検討するために、上部構造物と地盤の固有周期を変えて、杭と地盤の動的相互作用を明らかにする。

平成14年度と同様に水平一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とともに、鉛直振動と水平振動が同時に作用する場合についても、地盤の液状化の発生と杭の振動性状を明らかにする。単純な杭のモデル（単杭モデル）を用いて実施することとして、地盤内に設置した杭と地盤の動的相互作用を、周辺地盤の加速度応答や間隙水圧応答、杭のひずみの応答などを明らかにし、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。

(b) 実施方法

せん断土槽内に模型杭を設置した地盤を作成し、三次元振動台によって振動実験を実施する。模型地盤は均一な飽和地盤を作成し、地盤の加速度応答や杭に発生するひずみなどから地盤と杭基礎の動的相互作用を明らかにする。杭のモデルは2×2本の杭として、杭間隔を杭直径の10倍にとって単杭の挙動が卓越する条件を設定する。入力振動については、水平一方向、水平面内二方向、および鉛直方向の振動を組み合わせることで模型地盤に作用させることとして、地盤の応答、地盤杭系の応答の違いを把握する。また、上部の構造物は支柱の剛性を調整して固有周期を調整して、構造物の固有周期が地盤の固有周期よりも長い場合と短い場合の2種類のケースについて実験を行う。

(c) 目標とする成果

入力振動の多方向性が地盤に与える影響を液状化の前後で明らかにする。また、上部構造物の固有周期の差が杭と地盤の挙動に与える影響を明らかにする。