

図 19 間隙水圧の応答 (X & Y、強軸、3 方向)

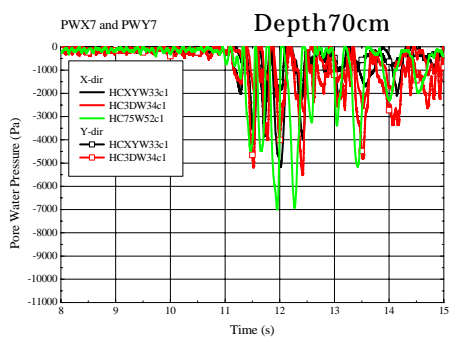
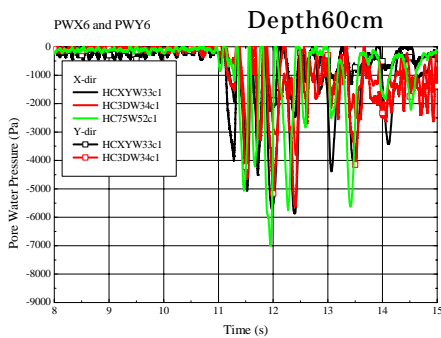
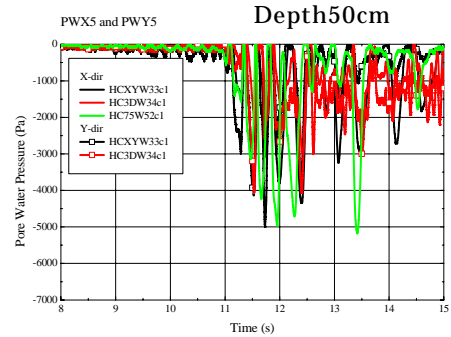
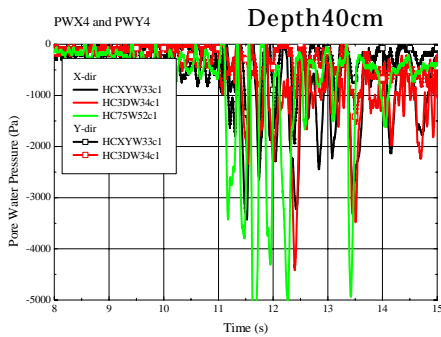


図 20 間隙水圧の応答 (X & Y、強軸、3 方向)

) 1 方向加振と 2 方向加振 (S モデル)

図 2 1 , 2 2 には、上部構造物が S モデルの場合の間隙水圧の応答を示す。地表面に近い部分では、NS 1 方向、EW 1 方向、XY 2 方向の入力に対する間隙水圧の応答に大きな違いは見あたらない。しかしながら、深い位置では NS 1 方向入力の場合には間隙水圧の発生が遅れており、M モデルの場合と同様の傾向が見られる。この間隙水圧の立ち上がりが遅れる現象は M モデルに比べて S モデルの場合の方が顕著である。

) 2 方向加振と 3 方向加振 (S モデル)

図 2 3 , 2 4 には、X Y 2 方向と 3 方向入力、強軸方向入力の場合の間隙水圧応答を示す。地表面から深部のどの位置の応答についても、入力振動の種類による間隙水圧応答に相違は見あらず、ほぼ同時に間隙水圧が発生している。

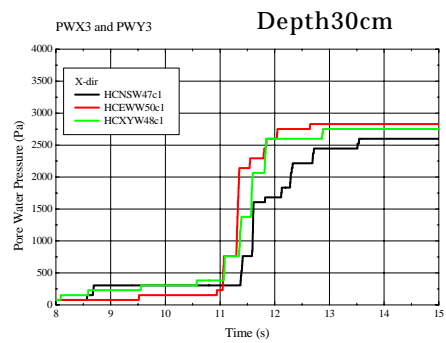
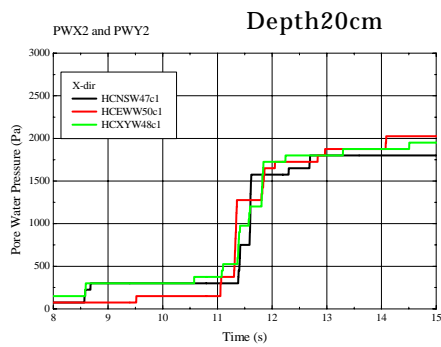
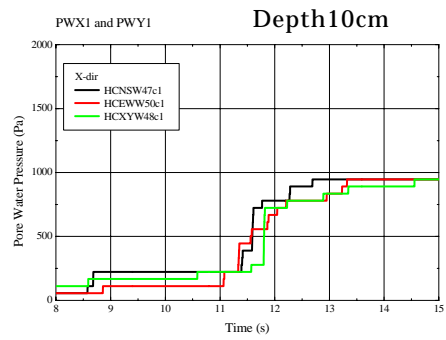
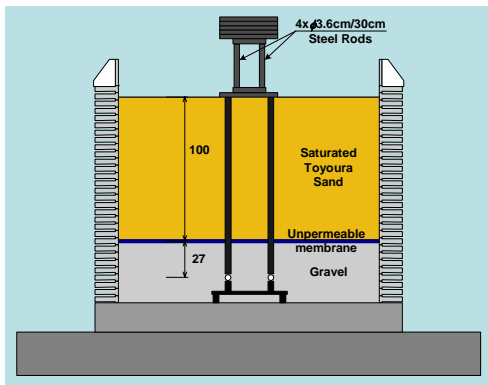


図 2 1 間隙水圧の応答 (NS,EW,X&Y)

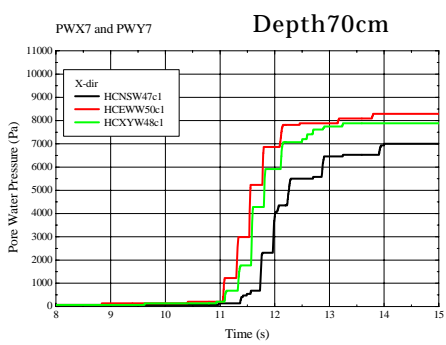
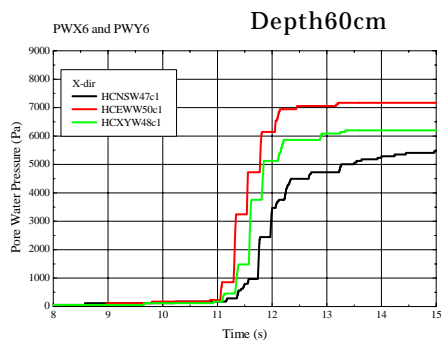
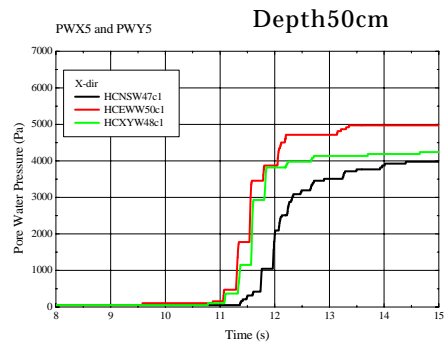
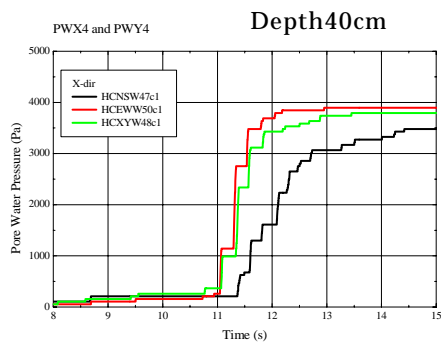


図 2 2 間隙水圧の応答 (NS,EW,X&Y)

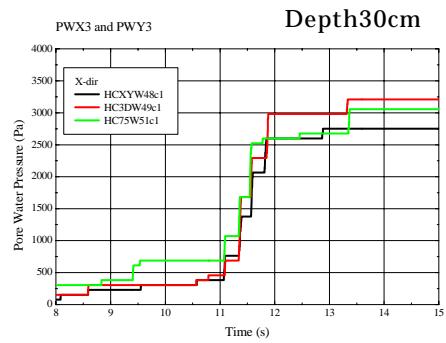
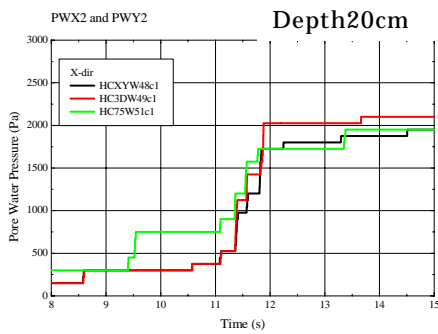
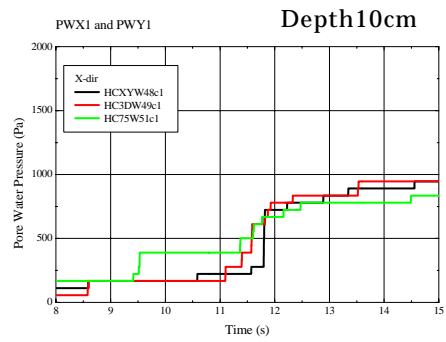
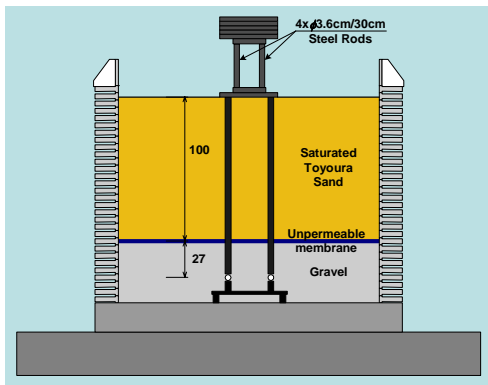


図 2 3 間隙水圧の応答 (X&Y、強軸、3方向)

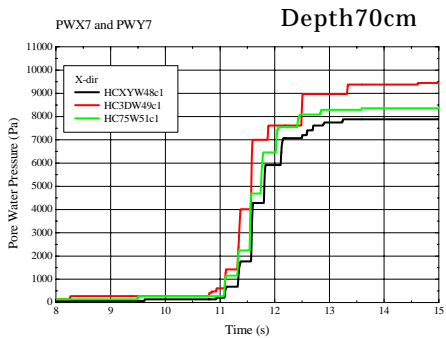
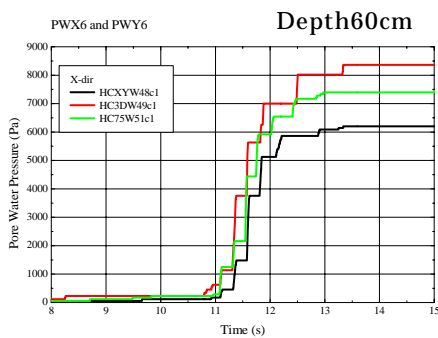
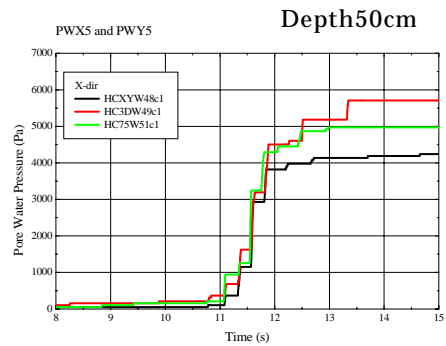
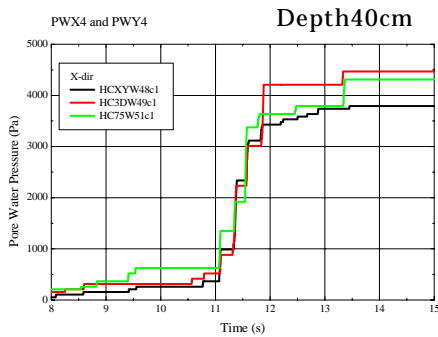


図 2 4 間隙水圧の応答 (X&Y、強軸、3方向)

c) 根入れの影響と効果について

杭の頭部が地震時に周辺地盤から反力を受ける場合を想定して、図25に示すように杭頭20cmが地盤に根入れされている場合のモデルを用いて振動実験を実施した。

図26, 27に、杭に発生する曲げモーメントの時刻歴応答を示している。上部構造物はSモデルとしてNS1方向加振における根入れのある場合とない場合の比較である。

根入れのあるケース41では、地盤の深さ40cmと60cm位置での曲げモーメント履歴を見ると、液状化前の段階で根入れの無いケース47に比べて約3倍の大きなモーメントが発生している。また、水のみを満たしたケース61と根入れのないモデルの応答は比較的良く一致している。さらに、根入れのあるモデルについても完全液状化前の状況では、他のモデルと同位相で応答しているが、液状化直前には逆位相に転じており根入れ部分の影響が大きく現れた瞬間であると言える。このような大きなモーメントが発生した原因は、根入れ部分に位置する不飽和地盤が液状化に要する間、地盤反力が杭頭部分に作用したことが影響していると思われる。

図28, 29は、XY2方向加振の場合の曲げモーメント応答を示している。上部構造物はSモデルである。NS方向とEW方向の曲げモーメントを示しているが、EW方向のモーメントが1.4秒でピーク値に達しているがNS方向はこのとき小さな値となっている。その後、1.7秒あたりでNS方向の曲げモーメントがピーク値に至っている。このことは、EW成分の主揺動がNS成分に先行して生じるため、これに反応して杭の変形も進むことが原因であるが、同時に地盤の液状化もこのEW成分の先行的な振動の影響を受けてNS1方向加振の場合と比べて早く完全液状化に到達する。この液状化が比較的早い段階で発生することが地盤振動の杭への伝達を低減し、杭の曲げモーメントの減少につながっているものと思われる。

根入れのあるケース42も他と同じような挙動を示し、NS1方向加振の時のような大きなモーメントは発生していない。このことは、XY2方向入力の場合には地盤が液状化しやすいので地表面から深部までほぼ同時に液状化に至っており、根入れ部分の影響が小さく杭の挙動として反映されなかったものと考えられる。

同様に図30, 31は、強軸方向加振の場合の曲げモーメント応答を示している。1方向加振であるが、NS1方向加振の場合に見られた液状化直前の大きな曲げモーメントの発生は見られず、XY2方向加振に近い挙動である。

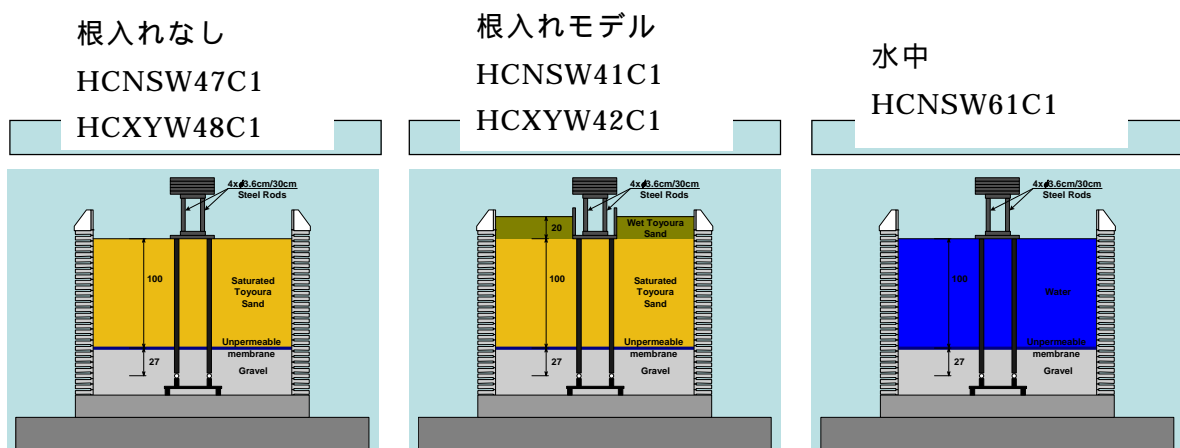


図25 根入れ部分の影響に関する比較モデル

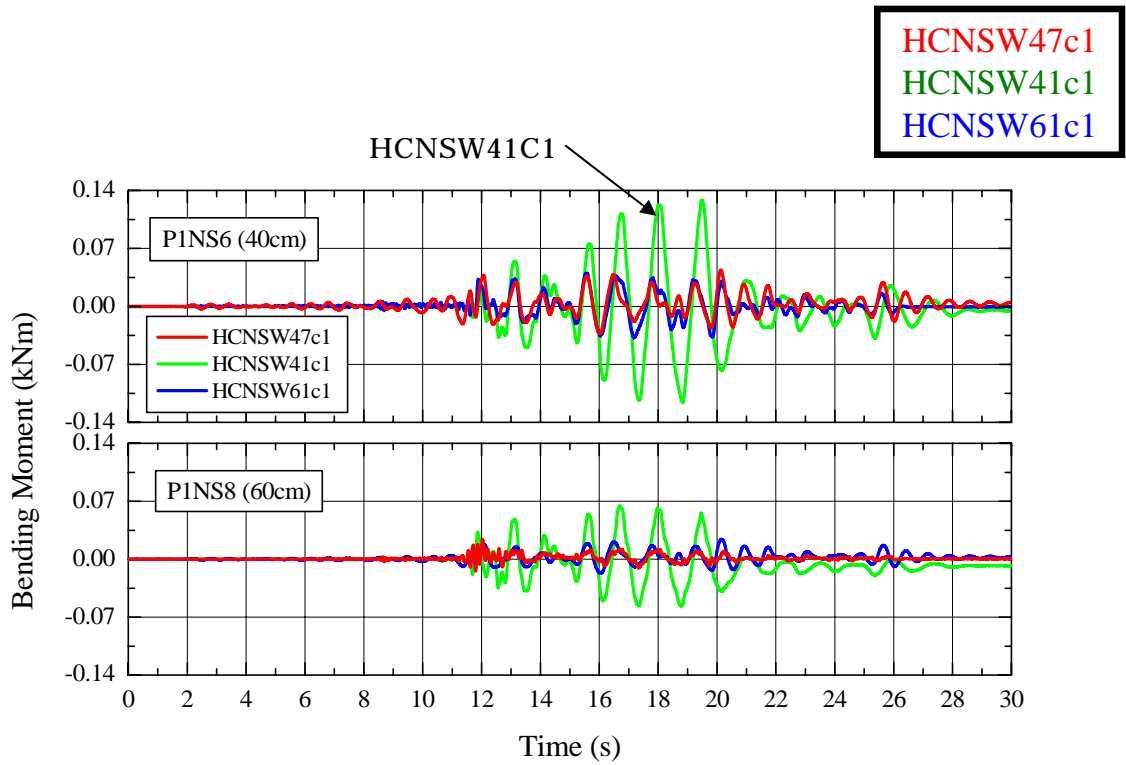


図 2 6 曲げモーメントの応答(Sモデル、NS1方向入力)

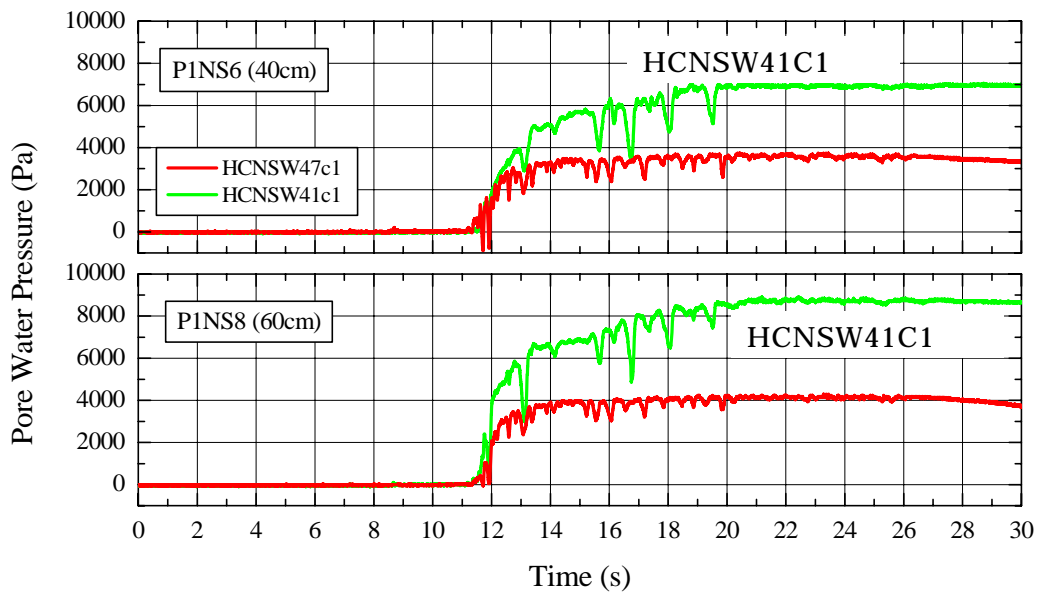


図 2 7 間隙水圧の応答(Sモデル、NS1方向入力)

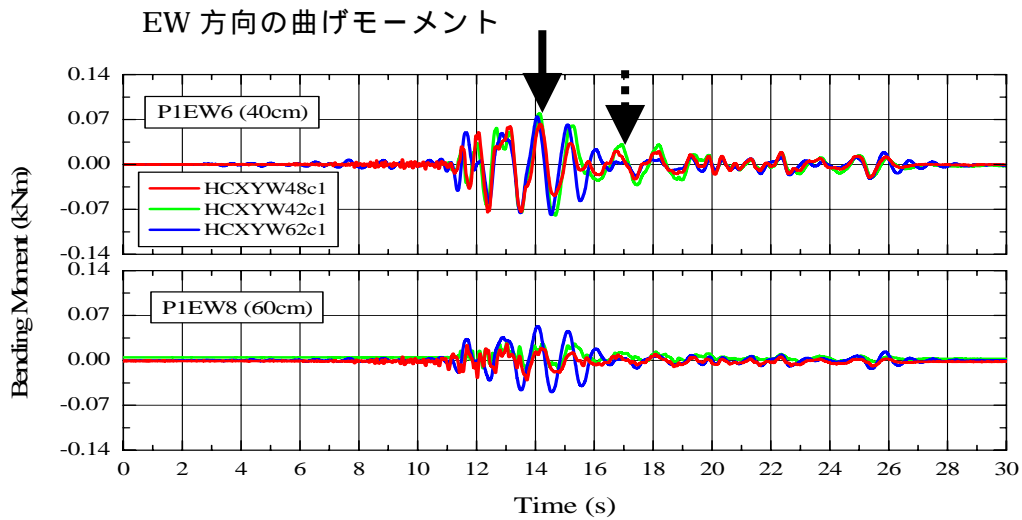
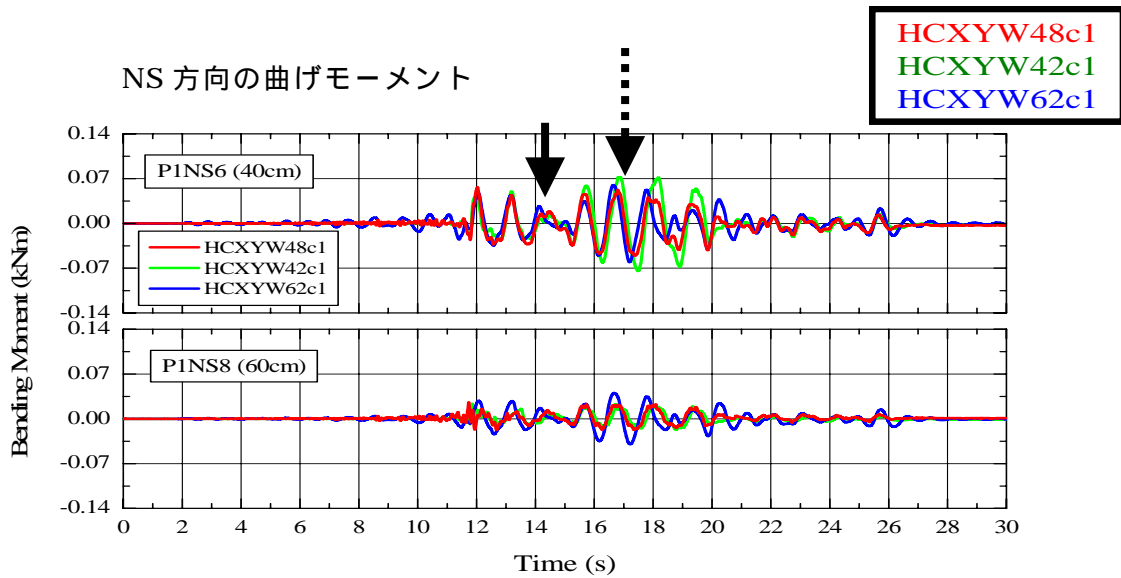


図 2 8 曲げモーメントの応答 (S モデル、X&Y 2 方向入力)

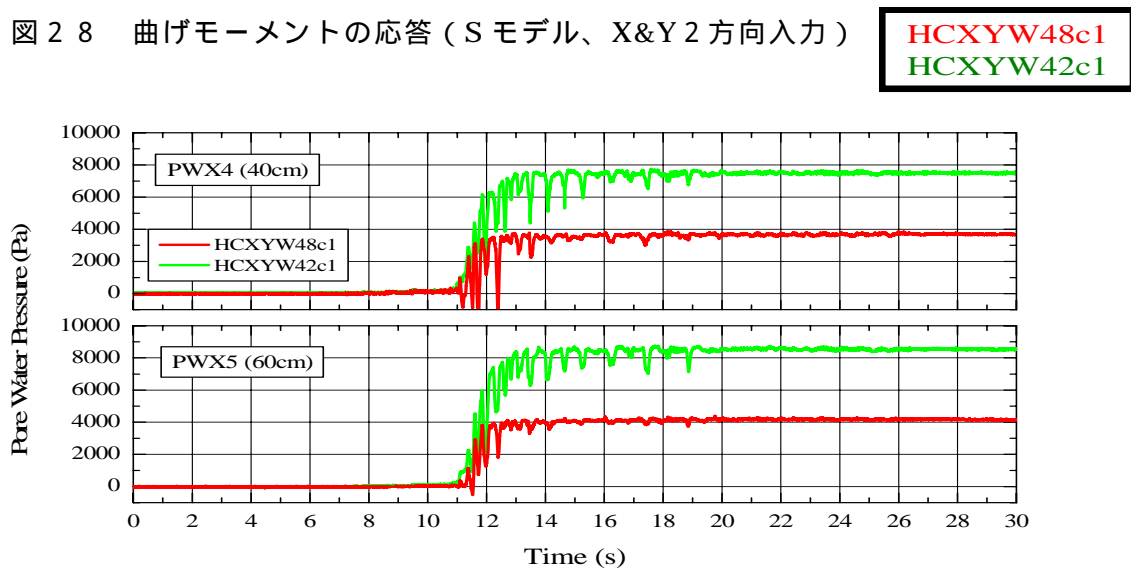


図 2 9 間隙水圧 (S モデル、X&Y 2 方向入力)

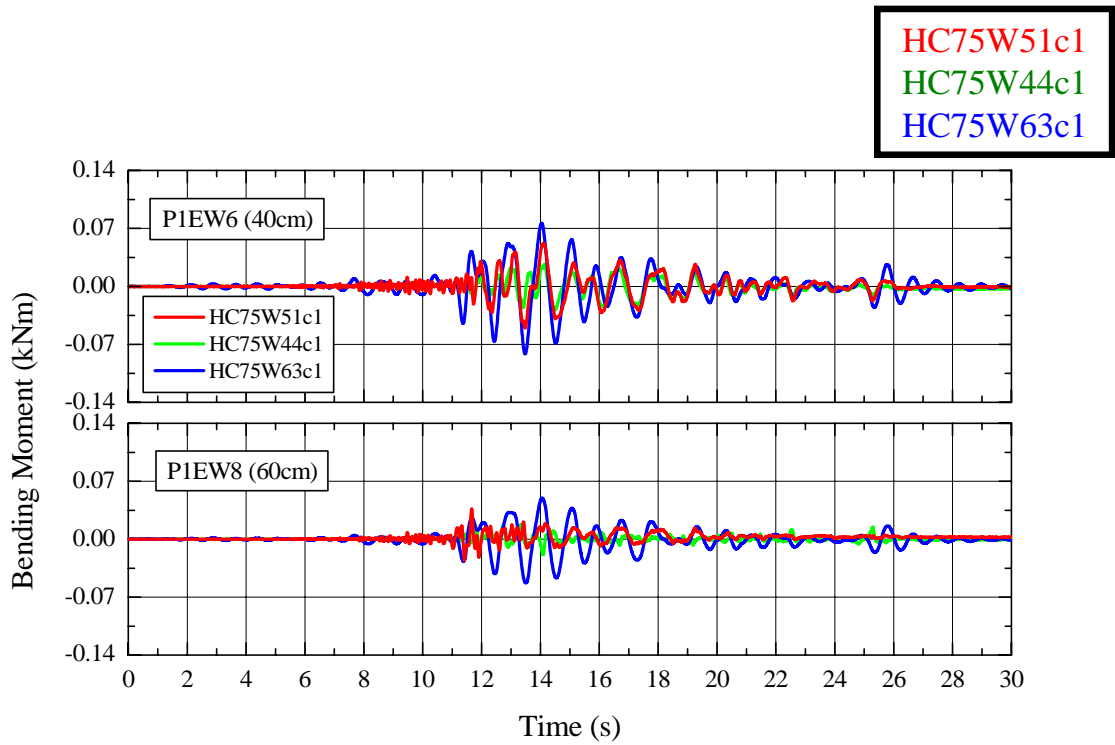


図 3 0 曲げモーメントの応答 (Sモデル、強軸方向入力)

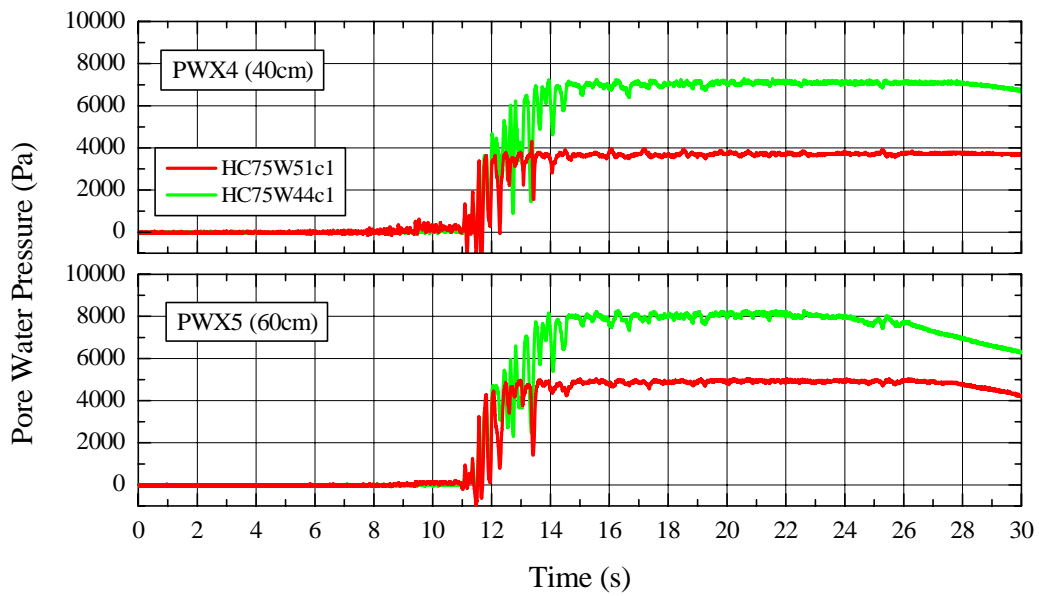


図 3 1 間隙水圧 (Sモデル、強軸方向入力)

d) 杭に作用する土圧

図 3 2 , 3 3 には M モデルの杭の両側に作用する土圧の差の応答を示している。入力振動は強軸方向である。杭の両側に作用する土圧計の値の差を取って間隙水圧成分をキャンセルしているので、加力側と背面側の偏差的な土圧成分の履歴を示している。その挙動は杭に生じている曲げモーメントの応答と良く対応しており、液状化前後でその位相関係がずれることなく安定した応答を示している。

e) 杭のモーメント

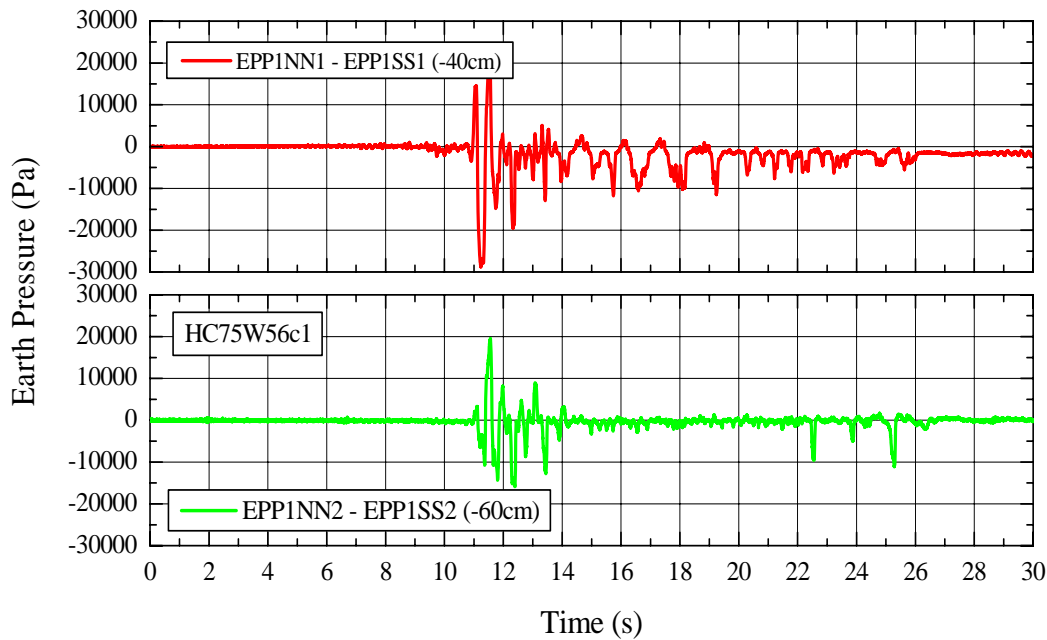


図 3 2 杭に作用する土圧 (M モデル、強軸方向入力)

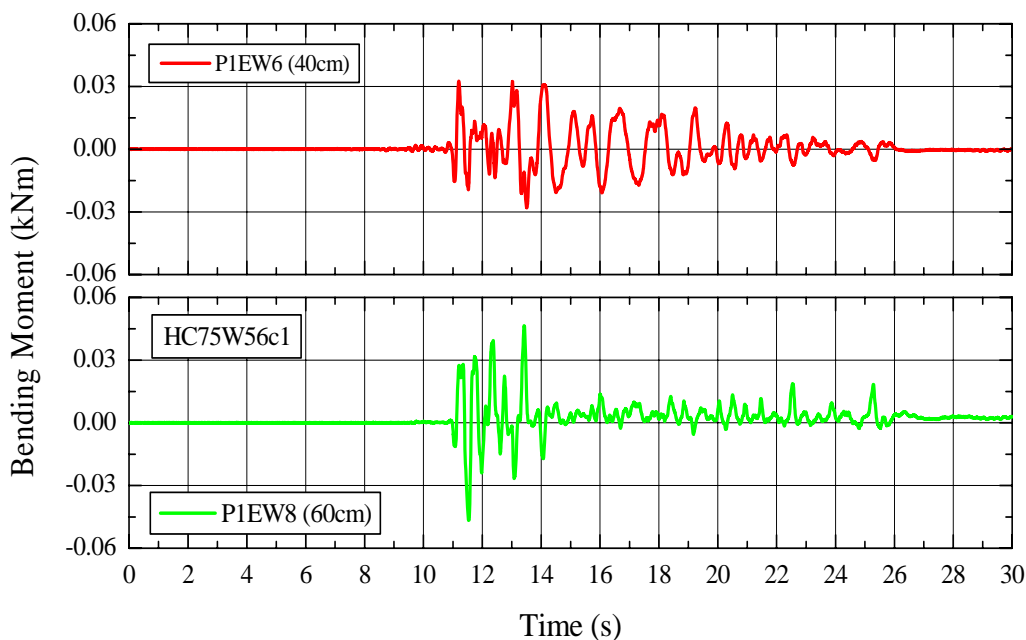


図 3 3 杭に作用する曲げモーメント (M モデル、強軸方向入力)

杭に発生している曲げモーメントの分布を表5, 6, 7に示す。杭端部を剛性の高い地盤で支持されている飽和地盤での杭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、分布形状から杭端部から35cm付近の位置に地盤の剛性差があることがわかる。また、曲げモーメントの最大値は、1方向加振よりも2方向加振(XY方向)の方が大きく、EW1方向とXY2方向の最大曲げモーメントの比較では、約20%の増加がある。すなわち、EWとXY2方向加振では杭頭部の変位量が大きくなっていることが分かる。

強軸方向加振ではMモデルがSモデルに比べて若干大きくなっているがその差は3%以内であるので、ほぼ同程度と考えられる。また、根入れの影響については、XY2方向加振において顕著に表れている。

表5 曲げモーメントの分布 (EW 方向加振)

	Sモデル	Mモデル
ケース番号	HCEWW50c1	HCEWW35c1
最大値(KNm)	0.164	0.145
根入れのない場合		
ケース番号	HC75W51c1	
最大値(KNm)	0.160	
根入れあり		

表6 曲げモーメントの分布 (XY 2 方向加振)

	S モデル	M モデル
ケース番号	HCXYW48c1	HCXYW33c1
最大値(KNm)	0.165	0.193
根入れのない場合		
ケース番号	HCXYW42c1	HCXYW55c1
最大値(KNm)	0.198	0.156
根入れあり		

表7 曲げモーメントの分布 (強軸方向加振)

	S モデル	M モデル
ケース番号	HC75W51c1	HC75W52c1
最大値(KNm)	0.148	0.152
根入れのない場合		
ケース番号	HC75W44c1	HC75W56c1
最大値(KNm)	0.11	0.145
根入れあり		

(d) 結論ならびに今後の課題

せん断土槽を用いた振動実験によって飽和地盤での杭と地盤の挙動が入力振動の多方向性に大きな影響を受けることが明らかとなった。

杭の支持地盤として砕石を用いた2層系のモデルの場合、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。

杭周辺の地盤の過剰間隙水圧は、水平1方向振動の場合よりも多方向振動の場合の方が、短時間に液状化が発生し継続時間も長くなる。鉛直振動が作用した場合には過剰間隙水圧の消散は短時間に終了する。すなわち、地盤の挙動は入力地震動の多方向性の影響を強く受けることが明らかとなった。しかしながら、これらの入力地震動の差異による液状化到達時間の差は、1秒足らずであるために杭の挙動の差として捉えることができていない。ただし、地表面近くに不飽和地盤があり周辺地盤の液状化到達時間に大きな影響を及ぼすようなモデル、すなわち杭頭部が地盤に根入れされているような場合は、地盤の液状化が遅れるために杭頭部の地盤反力が残り杭に大きな曲げモーメントが発生しているなどの特徴的な根入れの効果が見られた。しかしながら、多方向入力振動の場合は根入れ部分の地盤の液状化も速やかに進行しており、地盤深部と大きく遅れずに液状化するため杭には大きな曲げモーメントが発生していない。液状化後の杭の挙動は、完全な液体の中での振動と同じで、入力振動の影響は小さい。

一連の杭と地盤の相互作用に関する実験において、入力地震動の多方向性の影響が地盤の液状化に大きな影響を持っていることが明らかとなったが、地盤の深さ方向の液状化の進展やこれに伴う剛性低下の影響を杭の挙動として捉えることは、小さなモデルでは困難な状況にある。特に、液状化抵抗力の異なる地盤が積層している場合や地表面地盤の改良を行っている場合などについては、比較的大規模なモデルによって入力振動の影響見極める必要がある。さらに、実験に使用する地震動については、3方向の同時加振が理想的であり、1方向加振の場合には実際には起こりえない現象を捉えることにもなりかねないので注意が必要である。すなわち、各成分の主揺動の継続時間やピーク加速度の発生時刻のずれなどを確認して、地盤の液状化の発生や剛性低下との関連から適切な成分での1方向加振、あるいは、2方向加振などを選定することが必要である。強軸方向の地震波の採用は、合理的な選択であると思われる。

(e) 引用文献

なし

(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
Arangelovski Goran Mohri Yoshiyuki	Shaking Table Tests on Influence of Superstructure on Behaviour of Pile Group	第 39 回地盤工学 研究発表会	2004 年 7 月

(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

(a) 業務計画

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) 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、入力地震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と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した。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 2 方向振動実験を実施し、地盤と杭の動的相互作用を明らかにする。また、杭頭部が地盤に根入れされているモデルの挙動を確認する。

b) 2 方向震動実験に加えて、入力地震動の強軸方向の波による 1 方向震動実験を実施する。

(b) 成果

- a) 地盤が全断面均一なモデルの場合には、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しており、乾燥地盤の場合は2次のモードが卓越し、飽和地盤では1次モードが卓越する。
- b) 水平2方向同時加振の場合、杭に発生するひずみの最大値は杭全域に亘ってほぼ同時に発生することが確認された。杭に発生するひずみから計算した杭の変位応答はせん断土槽のラミナープレートの動きと同じであった。また、杭に作用する土圧と杭の変位の関係は、線形なヒステリシスから次第に非線形性を示しふくらみを持ったループを描くこと、飽和地盤ではサイクリックモビリティに似た挙動を示す。
- c) 杭の支持地盤として碎石を用いた2層系のモデルの場合、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。
- d) 杭周辺の地盤の過剰間隙水圧は、水平1方向振動の場合よりも多方向振動の場合の方が、短時間に液状化が発生し継続時間も長くなる。鉛直振動が作用した場合には過剰間隙水圧の消散は短時間に終了する。すなわち、地盤の挙動は入力地震動の多方向性の影響を強く受けることが明らかとなった。しかしながら、これらの入力地震動の差異による液状化到達時間の差は、1秒足らずであるために、杭の挙動の差として捉えることができていない。
- e) 杭周辺地盤の応力 ひずみ関係は、地盤深部ほど剛性が高く維持されており液状化発生時にはサイクリックモビリティに似た挙動を示すことが確認できた。
- f) 水平1方向震動の場合には、根入れ部の地盤の液状化が遅れるために、杭に発生する最大ひずみの発生も遅れ、根入れの効果が見られた。しかしながら、多方向入力の場合は根入れ部分の液状化も速やかに進行しており、地盤深部と同様の応答を示している。
- g) 液状化後の杭の挙動は、完全な液体の中での振動と同じで、入力振動の影響は小さい。

