

Ⅱ-24 地盤・構造物連成系 2次元液状化解析を用いた杭基礎に関する検討

(株)CRC 総合研究所

馬渕 倉一

泉 和伸

澤田 繁樹

Souichi Mabuchi

Kazunobu Izumi

Shigeki Sawada

杭基礎を対象とした地盤・構造物の連成問題において、非線形動的解析における解析条件の違いが杭の地震応答にどのような影響を及ぼすかを定量的に明らかにするため、本検討では、地盤・構造物連成系 2次元液状化解析を実施した。解析条件の違いは、杭と地盤の間に剥離、滑動といった現象を表すために不連続性を考慮した検討及び杭の軸力が変動することにより、部材の曲げモーメントと曲率の関係が変化する相関関係に着目した検討解析を実施した。検討結果は、杭の変形に対しては、液状化に伴った地盤変形の影響が支配的なため、着目した解析条件の違いによる大きな差は無かった。しかしながら、杭の断面力及び地盤のせん断歪みにおいては、着目した解析条件の違いが応答結果に影響を与えていることがわかった。

キーワード: 液状化、不連続性、軸力変動

1. はじめに

時刻歴非線形解析は、地震時における構造物、地盤の挙動を把握するのに有効な手法である。そこで、以下に示す解析条件の違いが応答結果へ及ぼす影響を検討した。解析条件は、杭と地盤の間に剥離、滑動といった現象を表すために、2重節点を設け不連続性を考慮した条件(以下、ジョイントあり、なし)及び杭の軸力が変動することにより、部材の曲げモーメントと曲率の関係が変化する相関関係を考慮した条件(以下、軸力変動あり、なし)で検討した。

まず、液状化解析を行う上で、土の非線形性を考慮するためのパラメータの妥当性を判断するために、1次元モデルの解析を実施した。1次元モデルの解析は、神戸ポートアイランド鉛直アレー観測記録を用いて、シミュレーション解析を実施し、各深度での観測記録との比較を行った。また、比較検討するために液状化を考慮しない(全応力)解析も実施した。次に、1次元モデルの解析により決定した材料パラメータを用い、2次元平面歪みモデルを用いて、上部構造物は線形部材、杭は非線形部材として、表1に示す検討計算を行った。

表1 検討計算

検討ケース	杭と地盤間の 不連続性の検討	杭の非線形特性の 検討
ケース1	ジョイントあり	軸力変動なし
ケース2	ジョイントなし	軸力変動なし
ケース3	ジョイントあり	軸力変動あり
ケース4	ジョイントなし	軸力変動あり

2. 解析モデルと解析条件

(1)解析モデル

地盤物性値は、藤川らの研究¹⁾を元に表2に示すとおりとし、 V_s の値は同じ土層内でも深さ方向に変化する拘束圧依存性を考慮した。地盤は、2次元平面歪みモデルを用いた。ひずみ依存性は、応力-ひずみ関係を修正 Ramberg-Osgood モデル²⁾(修正 R-O モデル)を用い、液状化特性に関しては、おわんモデル³⁾を用いて、非排水条件のもとで解析を行った。解析モデルを図1に示す。

杭は、梁モデルを用いた非線形部材でモデル化した。

杭の非線形特性は、曲げモーメントと曲率の関係は修正武田モデルを用いて、軸力と曲げモーメントの相関を考慮した。また軸力変動なしのケースでは、死荷重時の軸力に対する曲げモーメントと曲率の関係を設定した。

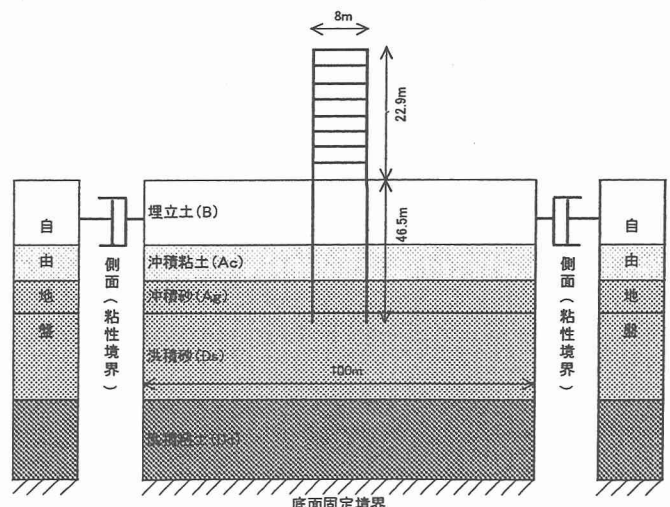


図1 解析モデル

建屋は、図1に示すように梁モデルを用いた線形部材でモデル化した。

(2)入力地震波

入力地震動は、神戸ポートアイランドのGL-83mで観測されたNS、EW成分を強軸、弱軸に変換した波形の内⁴⁾、強軸成分を基盤面に入力した。

(3)計算条件

解析手法は、非線形直接積分法を用い、数値積分法はNewmark β 法を用いて行った。積分時間間隔は、0.002 秒とし、減衰はレーリー減衰で与えた。境界条件は、底面は固定境界、側面は粘性境界とした。用いた解析コードは構造物の非線形性と地盤の有効応力解析が可能であるDINAS(CRC 総合研究所)で行った。

表2 地盤の物性値

深度 GL(m)	地層区分		静止土圧係数 K0	P波速度 Vp (m/s)	S波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γt (kN/m³)	
-3.0	 埋立土	B1	砂礫	0.5	260	140	18.52
-7.5		B1	砂礫	0.5	330	170	21.27
-15.0		B2	砂礫	0.5	780	200	21.17
-18.0		B3	礫混じり砂	0.5	1480	220	21.56
-28.0	沖積粘土	Ac	粘土	0.5	1180	180	15.68
-32.0	沖積砂	Ag	砂	0.7	1330	245	17.64
-37.0				0.7	1330	305	17.64
-50.0	洪積砂	Ds	礫混じり砂	0.7	1530	305	18.13
-61.0	洪積粘土	Dc		0.7	1610	350	18.13
-83.0			0.7	1610	303	17.64	

● 地震計

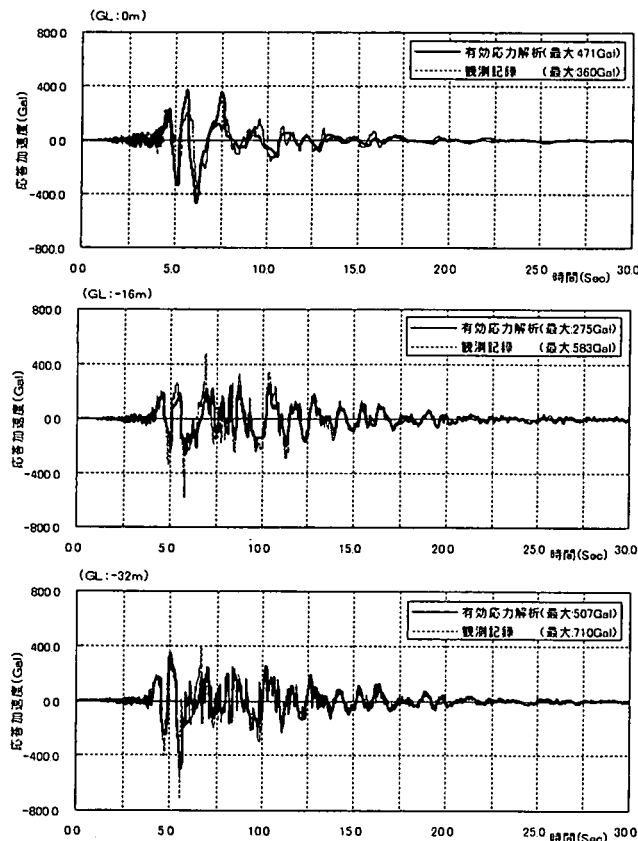


図2 有効応力解析と観測記録の加速度時刻歴波形図

3.1 次元シミュレーション解析結果

図3に深度(GL0m、GL-16m、GL-32m、GL83m)における観測記録と1次元全応力解析の加速度時刻歴波形図を示す。全応力解析では、GL-32mでは波形形状はほぼ再現できているが、GL0m、GL-16mでは観測記録に見られる液状化による長周期化及び振幅の低下が表せないことがわかる。

図2に深度(GL0m、GL-16m、GL-32m)における観測記録と1次元有効応力解析の加速度時刻歴波形図を示す。有効応力解析では、GL0mでは液状化した地盤に見られる加速度波形の長周期化及び振幅の低下が観測記録をよく再現できている。GL-16m、GL-32mでは最大振幅が解析結果で少し小さいが、波形形状はほぼ再現できた。最大振幅が異なるのは、実際には改良層及び周辺地盤の影響による拘束効果により、B層下層が実地盤では完全に液状化していなかった可能性が考えられる。

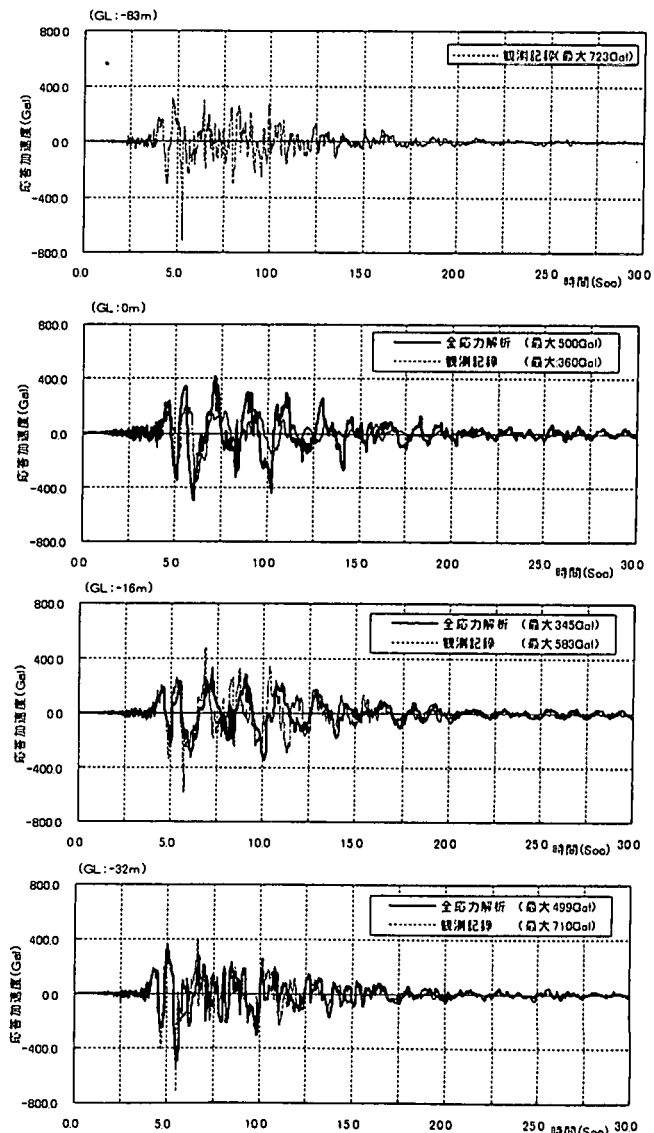


図3 全応力解析と観測記録の加速度時刻歴波形図

4.2 次元液状化解析結果

図4に2次元液状化解析による杭の変位及び地盤のせん断ひずみ、図5に杭の断面力の最大分布図を示す。

杭の変位については、液状化に伴った地盤変形の影響が支配的なため、着目した解析条件の違いによる大きな差はなかった。

杭の軸力については、軸力変動の条件の違いによる大きな差はないが、ジョイントありのケース(ケース1、3)の方がジョイントなしのケース(ケース2、4)より大きい。これは、ジョイントありのケースの方が地盤変位による杭の拘束効果が小さくなったため大きくなったと考えられる。

杭の曲げモーメント及びせん断力については、軸力変動の条件の違いでは、軸力変動ありのケースの方が軸力変動なしのケースより大きい。

ケース3>ケース1、ケース4>ケース2となった。これは図6に示すように軸力変動によって降伏耐力が大きくなったためである。ジョイントの条件の違いでは、軸力変動ありのケースに着目した場合はジョイントありのケースの方がジョイントなしのケースより大きい。ケース3>ケース4となった。また、軸力変動なしのケースに着目した場合はジョイントなしのケースの方がジョイントありのケースより大きい。ケース2>ケース1となった。これは、軸力変動ありのケースに着目した場合は、ジョイントありのケースの方が、地盤変位による杭の拘束効果が小さくなったことにより軸力が大きくなり、降伏耐力が大きくなったためである。軸力変動なしのケースに着目した場合は、ジョイントなしのケースの方が地盤と杭が一体で変形することによる地盤変位の影響で大きくなったと考えられる。

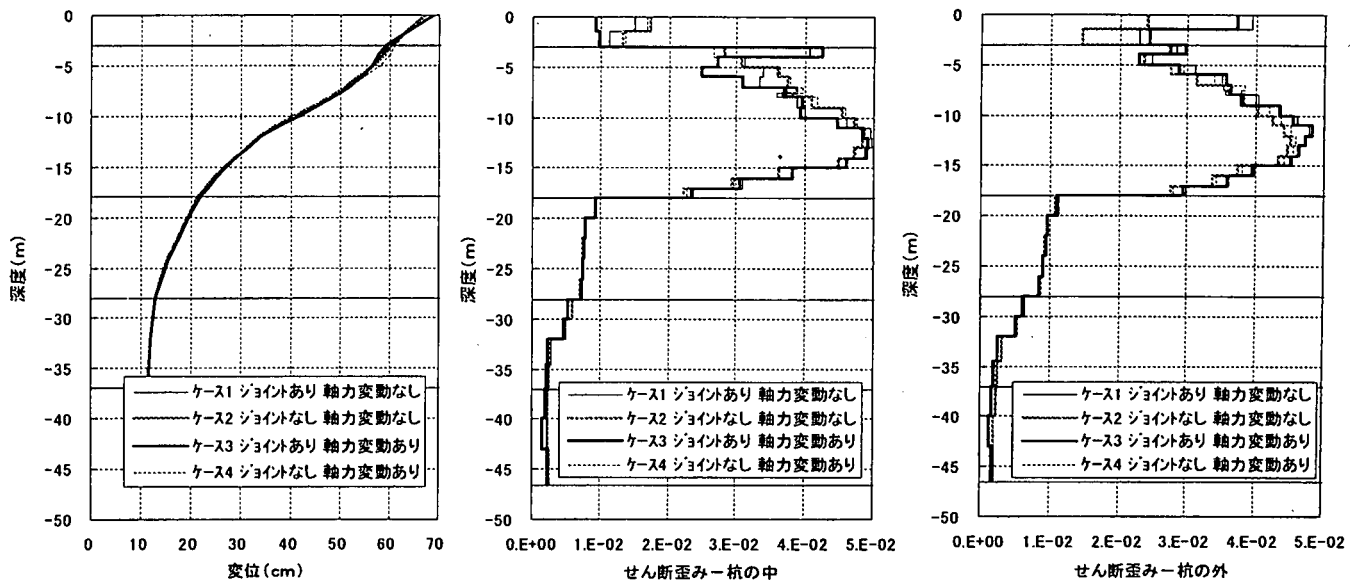


図4 解析条件の違いによる杭の最大変位及び杭周辺地盤の最大せん断ひずみ分布図

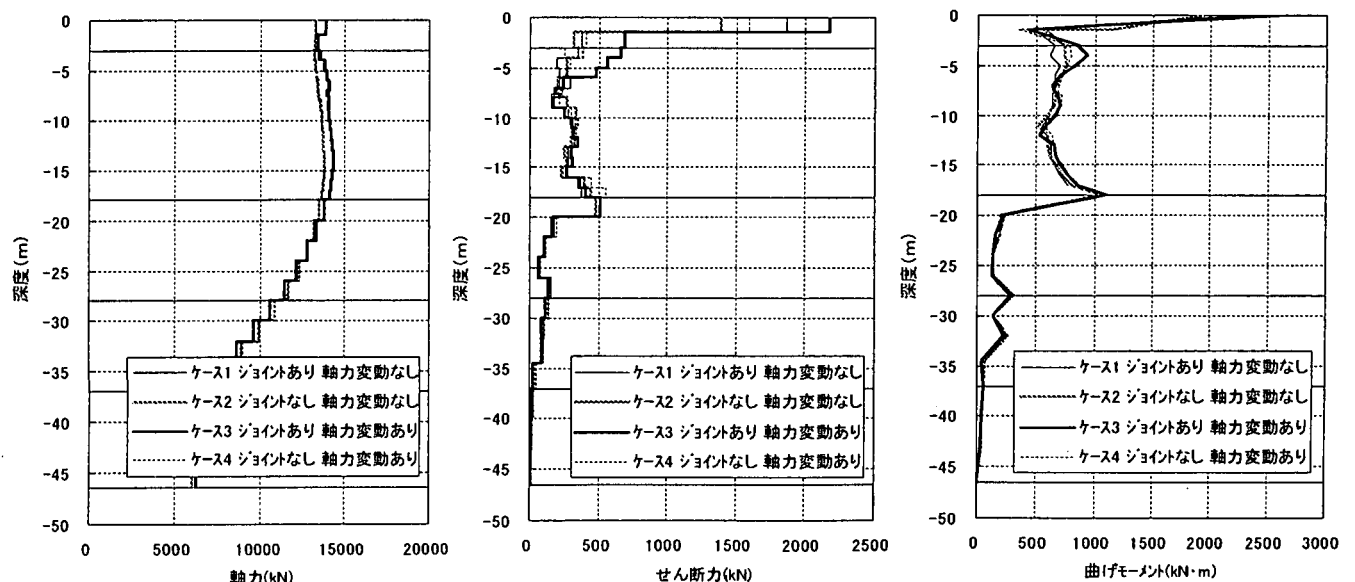


図5 解析条件の違いによる杭の最大断面力分布図

杭周辺地盤のせん断ひずみは、軸力変動の条件の違いによる大きな差はない。ジョイントの条件の違いでは、杭の外側では B 層下層では大きな差はないが、上層ではジョイントありのケース(ケース 1、3)の方がジョイントなしのケース(ケース 2、4)より大きい。これはジョイントありのケースの方が杭による地盤変形の拘束効果が小さくなったためと考えられる。また杭の内側ではジョイントなしのケース(ケース 2、4)の方がジョイントありのケース(ケース 1、3)より大きい。これはジョイントなしのケースの方が地盤と杭が一体で変形することによる杭による地盤変位の影響で大きくなったと考えられる。ただし、地盤が杭及び上部構造物で囲まれているため杭の外側よりは差が小さくなった。

5. まとめ

今回の検討モデルでは、杭の断面力はジョイントの有無より、軸力と曲げモーメントの相関関係である軸力変動の方が影響を与えることがわかった。杭頭における最大曲げモーメントで、軸力変動ありのケースの方が 2 割程度大きくなった。また、液状化層のせん断ひずみについては液状化に伴った地盤変形の影響が支配的なため、大きな差はないが、地表面付近ではジョイントの条件の違いにより、その

差が 3 割程度あった。本検討では、地盤が完全に液状化してしまったため、ジョイントの有無でそれ程大きな差はないが、完全に液状化しない地盤では、ジョイントの有無により地盤のせん断ひずみ及び杭の変形に影響を与えることが予想され今後の検討課題である。

参考文献

1)藤川ら(1999):神戸ポートアイランド鉛直アレー記録の二次元シミュレーション解析、第 25 回地震工学研究発表会、pp.321-324
2)Fukutake,K.,Ohtsuki,A.,Sato,M.andShamoto,Y.:Analysis of saturated dense sand-structure system and comparison with results from shaking table test,EESD(Earthquake Engineering & Structural Dynamics),Vol.19,No.7, pp.977-992, 1990
3)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
4)川瀬(1998):7.3 章地盤の非線形応答、阪神淡路大震災調査報告共通編-2、1編地震・地震動、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、pp.291-301

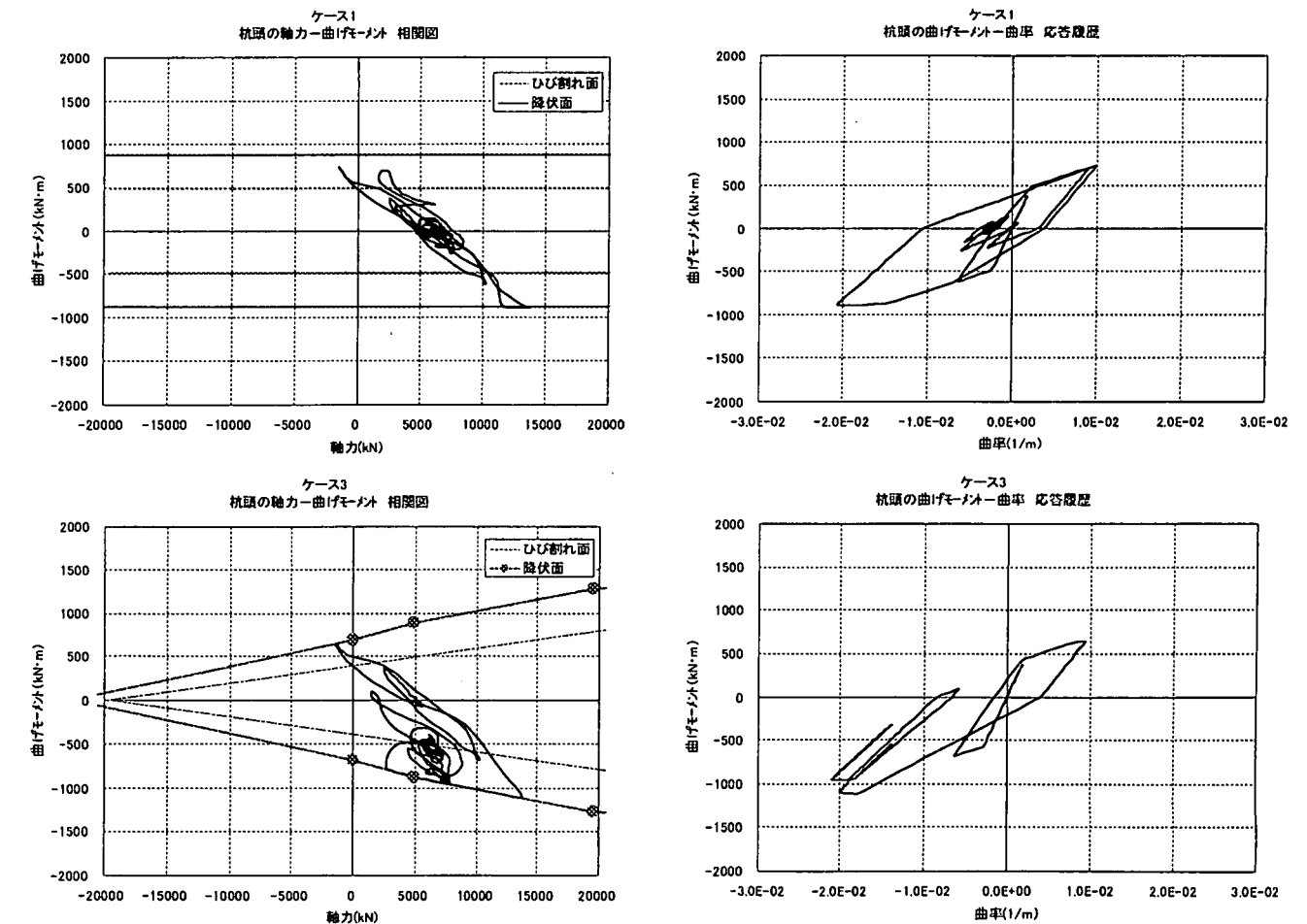


図 6 解析条件の違いによる杭頭の軸力と曲げモーメントの相関関係および曲げモーメントと曲率の関係