

2次元有効応力解析における地盤の要素奥行き幅が杭基礎建物の地震応答に与える影響

中央大学研究開発機構 正会員 ○荒木 一弘
中央大学研究開発機構 正会員 石井 武司
中央大学理工学部 正会員 齋藤 邦夫

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では、沿岸部や埋立て地盤において液状化とそれに伴う側方流動が広範囲に発生し、多くの杭基礎が被害を受けた。それ以降、杭基礎建物の地震時応答を精度よく予測する設計、解析手法の確立が望まれている。地盤-杭系は3次元的な挙動を示す。それを2次元に置き換えて解析を行う場合には、モデル化において3次元性を取り入れるための工夫が必要となる。たとえば、地盤の奥行き幅を基礎の1スパン分やフーチング奥行き幅とするなどがそれである。地盤の奥行き幅Dは、FEMの計算の中で剛性マトリクスをD倍する。これによって、杭に対する地盤の相対的な剛性が考慮され、3次元性が付加される。

本論文では、兵庫県南部地震のポートアイランドにおける鉛直アレーの観測記録を入力地震動として、杭基礎を対象とした2次元有効応力解析を行い、地盤の奥行き幅が杭基礎の地震応答に与える影響を把握する。

2. 解析方法

図1に、ポートアイランドの鉛直アレー地震観測地点の地盤調査結果¹⁾を示す。GL-18mまでの埋土が液状化層である。入力地震動は図-2に示すGL-83mで観測された水平NS成分を用いる。対象とした杭は、宮本らの解析²⁾で用いられた仮想杭支持建物(2×3スパン)の場所打ちコンクリート杭(φ1.4m, L=37.0m, 杭間6m, 4×3本)である。杭の支持層はGL-37mの洪積砂礫層とした。解析対象は長辺方向とする。

解析プログラムはMisko, Ishihara³⁾によって提唱されているStress-Density Model (S-Dモデル)を組み込んだ有効応力解析プログラム「DIANA-J2」を用いる。

解析モデルを図3に示す。GL-83mまでをモデル化する。地盤については8節点4角形要素とした。埋土は液状化挙動を再現できるS-Dモデルとした。解析に用いたS-Dモデルパラメータを表1に示す⁴⁾。その他の層は線形モデルとした。線形モデルのせん断剛性は、一次元等価線形解析を事前に行い、収束したG/G₀により初期剛性から低減させた。初期剛性G₀はVs, γから推定した。等価線形解析に用いた動的変形特性は、実地盤を用いた試験結果を参考とした⁵⁾。ただし、最下層のDg層についてはその上のDc層と同じ物性としている。

杭は線形の梁要素でモデル化した。杭部の詳細を図4に示す。杭はGL-8.0m(本解析では7.5m)の上部と下部で鉄筋比を変えている。杭の曲げ剛性EIはM-φ関係で鉄筋の引張降伏モーメントMyにおける割線剛性を用いることとする。杭は地盤に水平方向のみ従属、杭下端のみ鉛直方向も地盤に従属させた。杭頭は無質量剛性無限大の基礎に剛接合とした。

杭及び基礎の減衰は1%とした。

深度 (GL m)	記号	土 質	平均 N値	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)
-3	B	GL	5.2	170	17
	B	埋土(まき土)	6.5	210	20
-18		●-16			
-28	Ac	沖積粘性土 (Ma13)	3.5	180	17
-37	Ag	●-32 沖積砂礫層	13.5	245	20
-49	Ds	洪積砂礫層	36.5	305	20
-61	Ds	洪積砂礫層	61.9	350	20
-82	Dc	洪積粘性土 (Ma12)	11.7	303	18
	Dg	●-83 洪積砂礫層	61.9	320	20

● : 地震計

図1 地震観測位置の地盤調査結果

キーワード 液状化 杭基礎 地震応答解析

連絡先 〒112-8511 東京都文京区春日1-13-27 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1711 E-mail : k-araki@tamacc.chuo-u.ac.jp

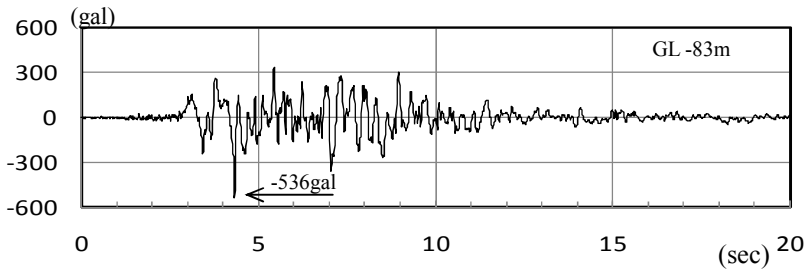


図 2 入力地震動 (22° 方向修正済み)

表 1 埋土の S-D パラメータ

弾性	$A=199$	$n=0.80$	$\nu=0.10$
応力-塑性ひずみ関係	$(\tau/p')_{\max}$	$G_{N,\max}$	$G_{N,\min}$
	$a_1=0.745$	$a_2=332$	$a_3=180$
	$b_1=0.10$	$b_2=60$	$b_3=10$
State Index Is 関係	<u>UR-line</u>	<u>Steady state line</u>	
	$e_0=0.430$	$e_s=0.464-0.051\log p'$	
応力-ダイレイタンスー関係	$\mu_0=0.18$	$M=0.75$	$S_c=0.012$

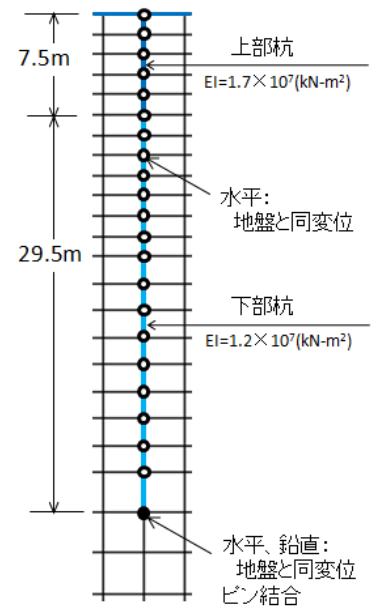


図 4 杭部詳細

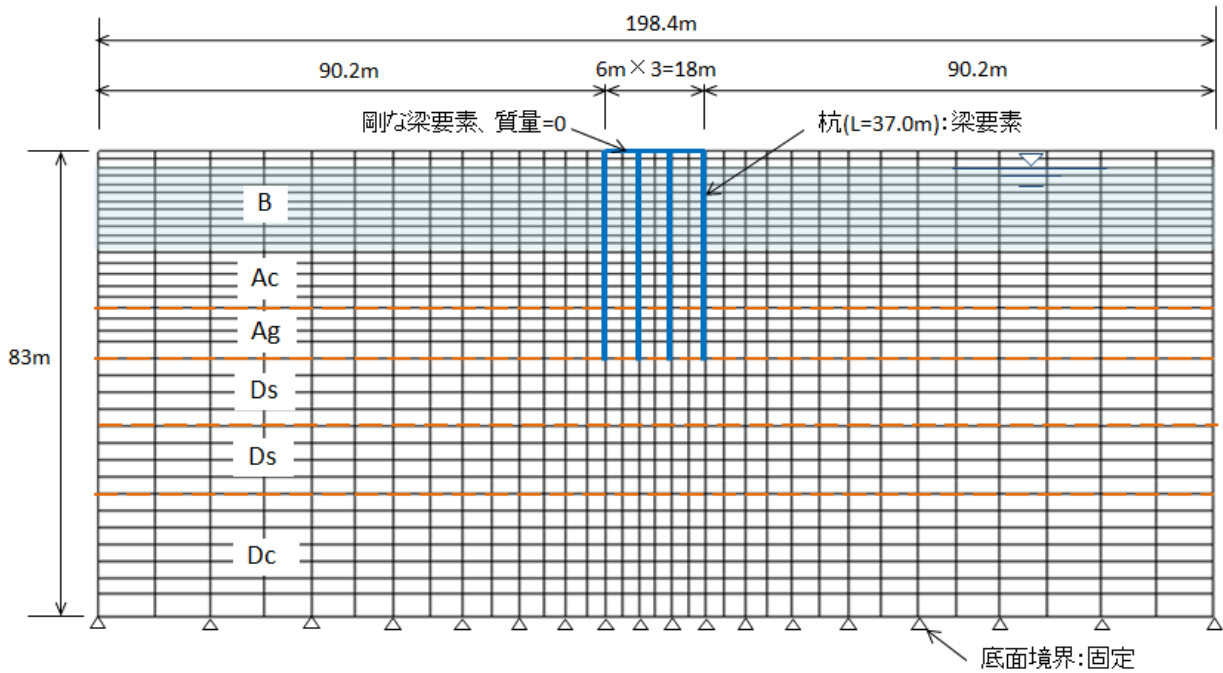


図 3 解析モデル

境界条件は底面を固定，側方は左右の境界上の節点の水平および鉛直変位が等しくなる条件とした．解析の時間間隔は 0.001 秒とし，地震継続時間は 20 秒とした．解析は地盤の奥行き幅 D を杭の奥行きピッチである 6m から 3m, 2m, 1m, 0.5m と変えたケースについて行った．

3. 解析結果

図 4 は液状化層の真ん中地点である GL-10m における自由地盤部と杭基礎近傍の過剰間隙水圧比の時刻歴を示したものである．すべてのケースにおいて 4 秒あたりから水圧が上昇を始め，6 秒付近で液状化に至っている．これからは過剰間隙水圧比に及ぼす地盤の奥行き幅の影響はないといえる．しかし，これは入力地震動が 4 秒付近でスパイク状の大きなピーク値を示すために，その 1 波のみですべてのケースで液状化したものとも考えられる．したがって，この結果のみからは過剰間隙水圧比が地盤の奥行き幅に依存しないということは明言できない．

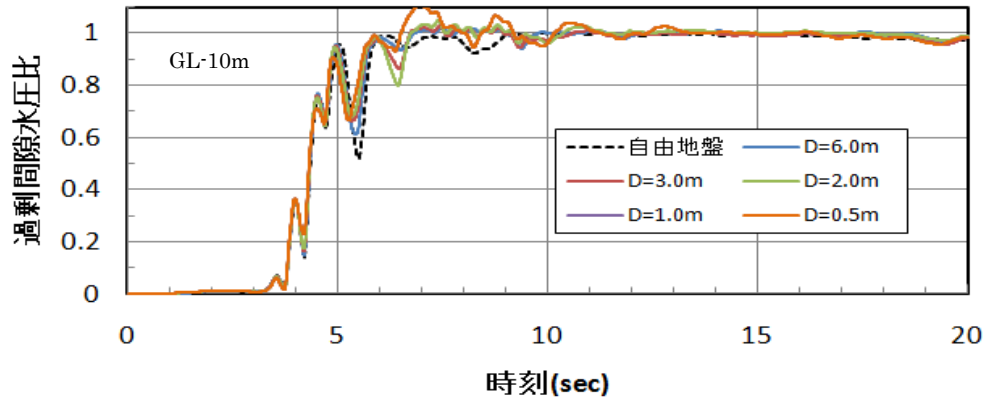


図 5 過剰間隙水圧比の時刻歴

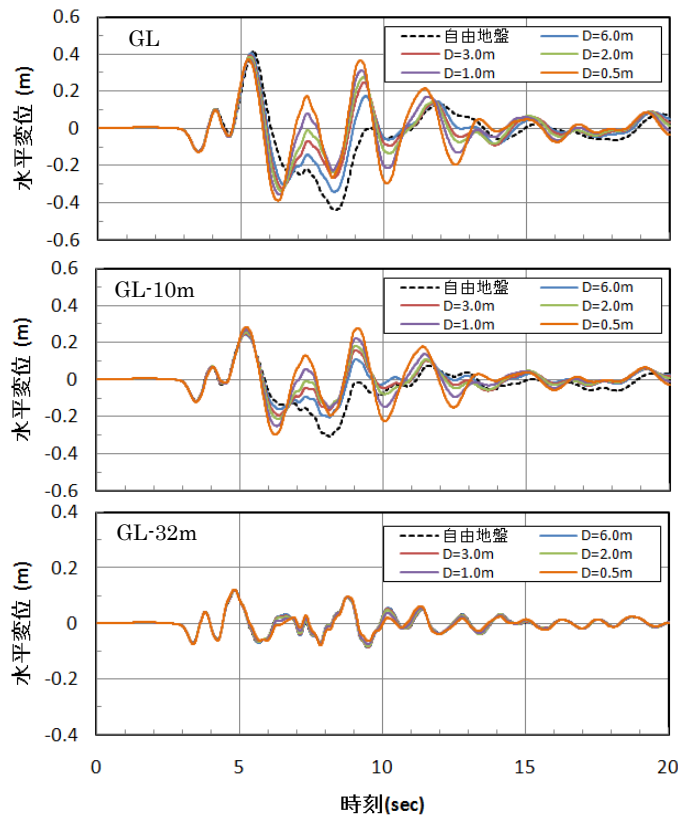


図 6 水平変位の時刻歴

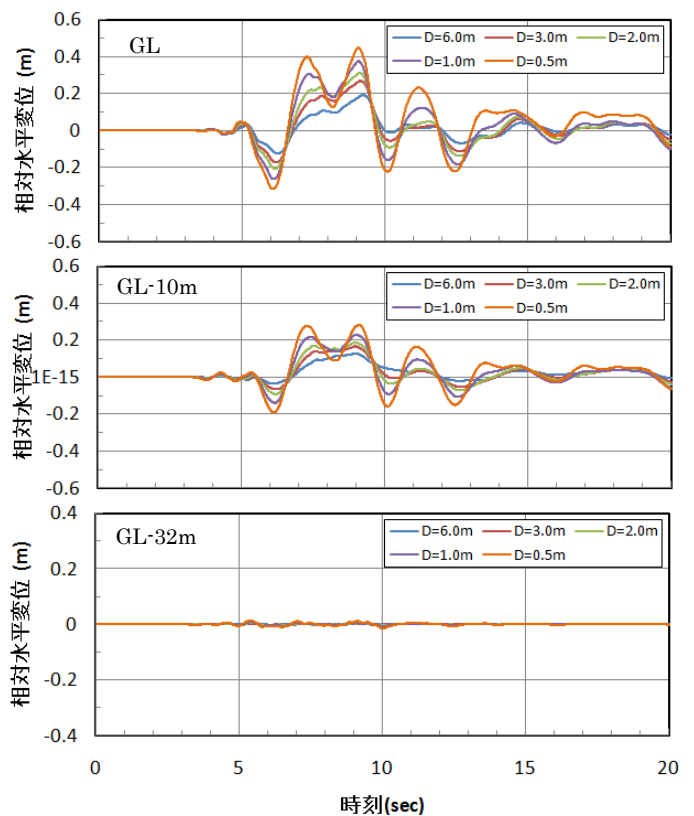


図 7 同深度の自由地盤に対する杭の相対変位の時刻歴

図 6 に代表的な深度における杭変位の時刻歴を示す。図中には同深度における自由地盤の変位も併記している。GL と液状化層の GL-10m では、いずれのケースも液状化に至る 6 秒前までは自由地盤と同じ変位をしていることが分かる。これには杭の剛性もかかわってくると考えられるが、奥行き幅による差は小さいといえる。6 秒後は奥行き幅による応答の差が出てくる。奥行き幅が大きいほど、すなわち相対的に地盤の影響が大きいほど自由地盤部に近い挙動を示し、奥行きが小さいほど自由地盤との差が大きくなる。D=0.5m のケースでは杭が 2 秒程度の周期で振動を繰り返しており、液体中にある杭のような振る舞いを見せる。沖積砂礫層の GL-32m では自由地盤と杭の変位の差がいずれのケースでも小さくなく、奥行き幅の影響も少ない。

図 7 は図 6 を自由地盤に対する杭の変位に変えて表したものである。変位が液状化の影響を大きく受ける GL と GL-10m では奥行き幅が小さいほど相対変位は大きくなることが分かる。

図 8 は最大曲げモーメントの深度分布を示したものである。図中の点線は鉄筋の降伏モーメントを示している。いずれの奥行き幅も杭頭で最大の応力を示している。上部構造の慣性力のない、地盤の変形のみによるモ

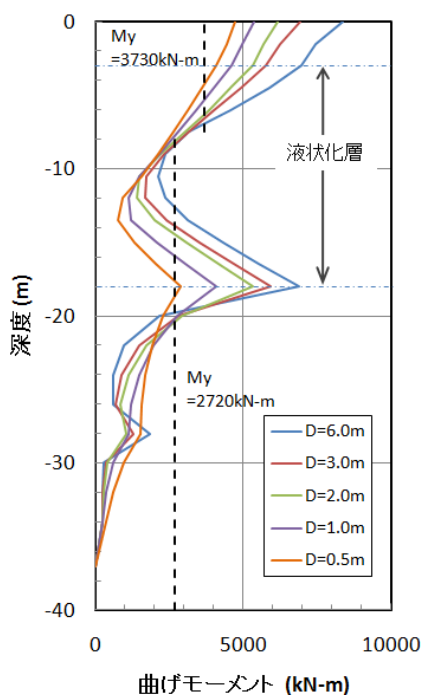


図8 最大曲げモーメントの分布図

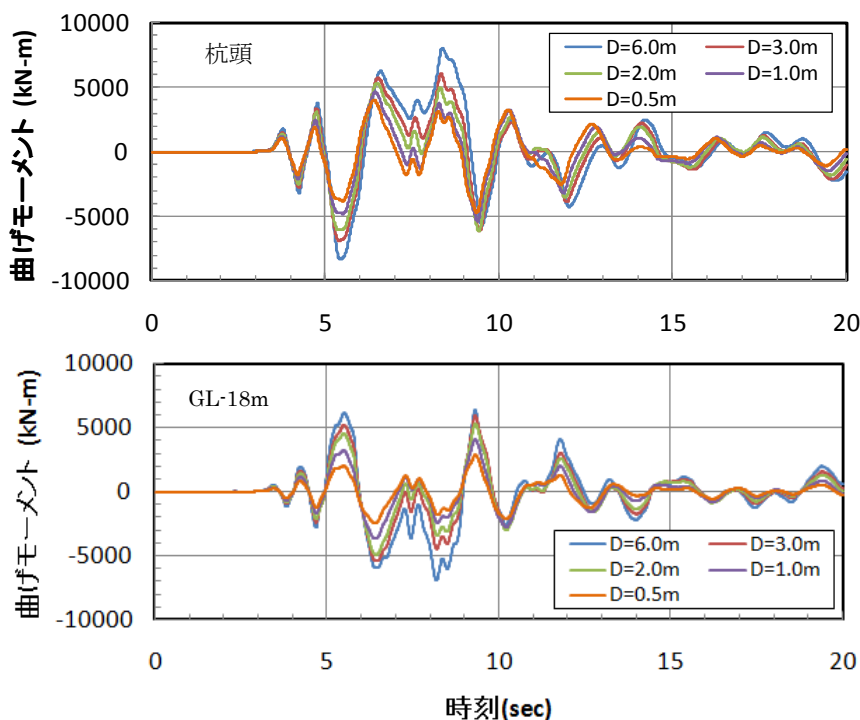


図9 曲げモーメントの時刻歴

デルにおいても、杭頭で最大応力になるのは興味深い。また、液化化層下端でも大きな杭応力が発生することが分かる。これは、液化化によって埋土層の剛性が大きく低減し、層境において大きな変形が生じたことに起因するものである。奥行き幅についてみると、奥行き幅が小さくなるにつれて杭の応力が低下している。これは奥行き幅が大きいほど杭に対する地盤の割合が大きくなり杭が変形を受けやすくなるからである。また、奥行き幅が小さいほど曲げモーメントの極小となる位置が深くなっている。

図9は杭頭と液化化層下端 GL-18m における曲げモーメントの時刻歴を示したものである。両図より杭頭と GL-18m の曲げモーメントは逆位相となっていることがわかる。杭頭と GL-18m とも最初の大きなピークは5.5秒付近である。10秒以降は応力は小さくなる。これは変位が小さくなる時刻に対応している。

4. まとめ

仮定の杭基礎構造物(慣性力なし)を対象に、地盤の奥行き幅をパラメータとした地震応答解析を実施した。その結果、地盤の奥行き幅を大きくしていくと、①液化化層における杭と地盤の相対変位は小さくなる、②曲げモーメントは大きくなることが分かった。

参考文献

- 1) たとえば吉田望：1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析，土と基礎，43-10(453)，1995年10月，pp.49-54.
- 2) 宮本裕司：1995年兵庫県南部地震の観測記録を用いた液化化地盤における杭基礎構造物の応答に関する解析的検討，日本建築学会構造系論文集，第493号，1997年3月，pp.23-30.
- 3) Misko Cubrinovski and Kenji Ishihara：Modeling of sand behaviour based on state concept, soils and foundations, vol.38, No.3, 115-127, 1998.
- 4) Misko Cubrinovski, Kenji Ishihara and Kenrou Furukawazono：Analysis of two case histories on liquefaction of reclaimed deposits.
- 5) 藤川智，福武毅芳，上田稔，熊崎幾太郎：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講演論文集，1999年7月，pp.321-324.