

杭基礎の非線形性を考慮した液状化地盤上にある橋台の地震時応答に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○柿永 恭佑 九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀
 五洋建設株式会社 正会員 宇野 州彦 関東学院大学 正会員 北原 武嗣

1. 目的

1964年新潟地震以降、地盤の液状化が地震災害と関連付けられて考えられるようになった。2011年東北地方太平洋沖地震でも液状化による構造物被害が確認されており、未だその対策は十分とはいえない。橋台においても液状化に起因して橋軸方向の移動による支承の変形・破損や背面地盤の沈下に伴った段差の発生などが報告されている。しかしその具体的なメカニズムの解明や定量的な指標の提示はなされていない。本研究では液状化地盤上にある橋台の杭の応答に関する基礎的な知見を得るために、地盤についてその層厚や深度を変化させた解析を行い、杭の変位応答およびモーメントとの相関を得ることを目的とした。

2. 解析内容

解析モデルは液状化層厚、液状化層深度(橋台底面からの深さ)を変化させた。case1model1における解析メッシュ図を

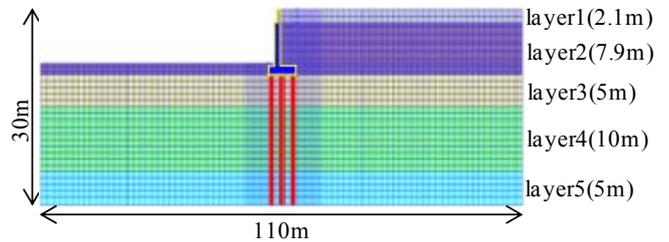


図-1 解析メッシュ図(case1model1)

表-1 検討ケース

model	case1							case2						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
液状化層厚(m)	5	6	7	8	9	10	11	5						
液状化層深度(m)	0							0	1	2	3	4	5	6

表-2 土層設定値(case1model1)

土層	D	N	ρ_t	σ_{ma}'	G_{ma}	ϕ_f	ϕ_p	液状化パラメータ				
	層厚	N値	密度	基準平均有効拘束圧	基準初期せん断剛性	せん断抵抗角	変相角	S1	W1	P1	P2	C1
	(m)	-	(t/m^3)	(kPa)	(kPa)	(°)	(°)	-	-	-	-	-
Layer1	2.1	5	1.8	14	42202	39	-	-	-	-	-	-
Layer2	7.9	10	1.8	80	67613	39	-	-	-	-	-	-
Layer3	5	2	2	151	22632	37	28	0.005	3.476	0.5	1.123	1.6
Layer4	10	10	2	206	67613	38	-	-	-	-	-	-
Layer5	5	20	2	261	108326	39	-	-	-	-	-	-

図-1に、検討ケースを表-1に、case1model1における各土層の設定値を表-2に示す。S1, W1, P1, P2, C1は液状化パラメータである。N値が2であるLayer3を液状化層とする。またcase2における液状化層深度はLayer3の層厚を一定にしたままLayer3を下方に移動させることで変化した。解析は有限要素法に基づく2次元有効応力解析プログラムFLIP¹⁾を用いて行った。要素の定義は、橋台とフーチング上の土を線形平面要素、杭をバイリニアモデルの非線形はり要素、土質を多重せん断メカニズムに基づいた有効応力モデル²⁾でモデル化した。杭はSKK400の杭径800mm、厚さ12mm、腐食代2mmのものを想定しており、その降伏応力度は235N/mm²、弾性領域でのヤング率は2.0×10⁵N/mm²、降伏後の剛性はその1/100の値を用いている。境界条件は側方と底面に粘性境界を与えている。入力波は東北地方太平洋沖地震におけるFKS001(福島県相馬市)の地表面観測波を工学的基盤へ引き戻した波を作成して用いた。入力波の加速度時刻歴を図-2に示す。最大加速度は593.86galである。

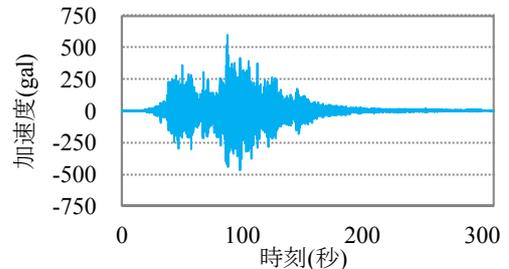


図-2 入力波加速度時刻歴

3. 解析結果

図-3にcase1における杭の最大変位図と最大曲げモーメント図を、図-4にcase2におけるそれぞれの結果を示す。なお図-3, 図-4ともに結果の代表としてmodel1,model4,model7の結果を示しており、網掛けで色の濃い

キーワード：液状化, 杭, 橋台, 有効応力解析

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 W2 1101 電話&FAX：092-802-3374

順番に model1, model4, model7 の液状化層位置を示している(図-4 では枠の点線が大きい順). 凡例は最大変位図と最大モーメント図とで共通しているため最大変位図のみに示している.

図-3 より液状化層が厚くなるほどに杭の変位が大きくなることを確認できた. また杭の変形は液状化層のやや下側の辺りで生じることが確認できた. これは液状化発生時に液状化層の受動土圧が減少することと液状化層と非液状化層の変位の違いにより, 杭が降伏し変形が生じやすくなったと考えられる. さらに曲げモーメント図を見ると, やはり液状化層とその下の非液状化層の境界付近でモーメントが大きくなっていることが確認できた. また, 液状化層中ではモーメントは減少するが杭頭部に近づくにつれてモーメントが再度上昇するが, これは橋台の移動の影響から生じるものであると考えられる.

図-4 より液状化層が深い位置にあるほど杭の変位が小さくなることを確認できた. これは液状化層が免震装置のような役割を果たし, 地震動による橋台の移動量への影響が弱まったためだと考えられる. しかし変形は case1 に比べて小さいものの, どのモデルにおいても液状化層と非液状化層の境界でモーメントが大きくなり杭の変形が卓越する場所(降伏箇所)となる, 液状化層中でモーメントが小さくなることは case2 でも確認できた. 図-5 に case1model1 における残留変形図を示す. 太枠で囲われている部分が橋台を表わしている. 橋台は前面側に移動しそれに伴い杭が変形していることが確認できる.

4. 結論

液状化層のある地盤では液状化層と非液状化層の境界付近で杭の曲げモーメントが大きくなり, 杭が変形することがわかった. そのため液状化が発生する恐れがある地盤では液状化層の位置を把握し, その上下の非液状化層との境界付近の杭の強度を上げることが必要だと考えられる. 液状化層が厚いときには橋台や杭への影響も大きくなるのでより注意が必要となる. 液状化層が深い位置にあるときは橋台の移動は少なくなるものの, 杭の曲げモーメントは浅い位置にあるときと同様に層の境界付近で降伏することが確認できるので液状化発生により見た目の橋台への影響が少ない場合でも杭に損傷が生じる可能性があり, 杭の強度の確保が必要である.

参考文献

1) Susumu IAI, Yasuo MATSUNAGA and Tomohiro KAMEOKA: ANALYSIS OF UNDRAINED CYCLIC BEHAVIOR OF SAND UNDER ANISOTROPIC CONSOLIDATION, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.16-20, 1992.
 2) Towhata, I. and Ishihara, K.: Modelling Soil Behavior under Principal Stress Axes Rotation, Proc. of 5th International Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Nagoya, Vol.1, pp. 523-530, 1985.

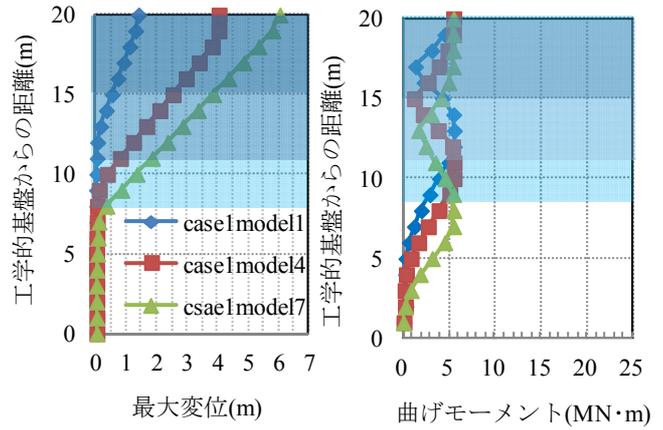


図-3 最大変位図・最大曲げモーメント図(case1)

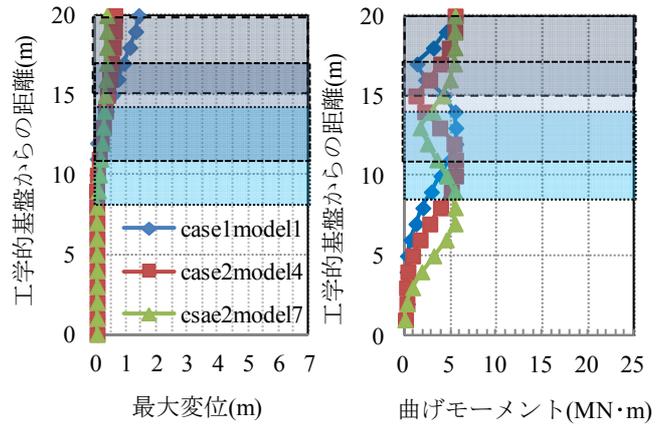


図-4 最大変位図・最大曲げモーメント図(case2)

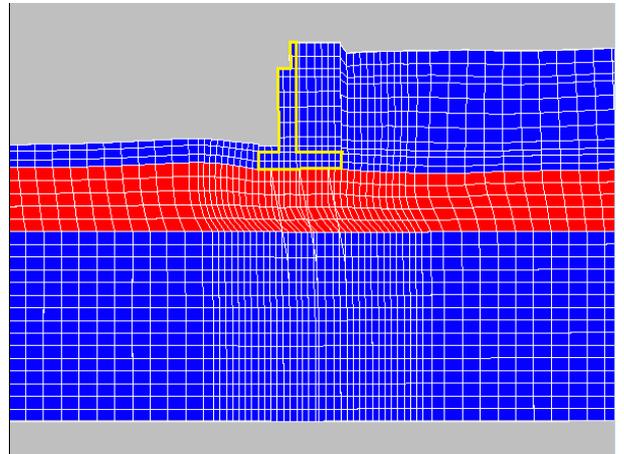


図-5 残留変形図(case1model1)