

I - B368

地盤の非線形性と有効応力を考慮した橋脚-杭基礎-地盤系の地震応答解析

鹿島 土木設計本部 正会員 盛岡義郎 正会員 砂坂善雄
 鹿島 小堀研究室 宮本裕司 酒向裕司

1. はじめに

地盤に液状化が生じると、液状化により地盤の剛性が低下し、液状化層と非液状化層の境界で地盤変位が急激に増大する。このため、液状化地盤では、杭上端付近だけではなく、液状化層と非液状化層の境界付近で大きな応力が生じることが指摘されている。兵庫県南部地震の杭基礎の被害も、地盤の液状化が主たる原因と考えられている¹⁾。本論文では、杭で支持された橋脚を対象として、地震応答解析を行い、非線形・液状化地盤における地震時杭応力の基本的性状について考察した結果を報告する。

2. 解析条件

本論文では、図-1に示す杭で支持された橋脚について解析を行った。地盤モデルは、ポートアイランドの地盤調査結果²⁾をもとに設定した。解析に用いた地盤物性値を表-1に示す³⁾。橋脚は、打ち込み鋼管杭(直径700mm, 厚さ12mm, 杭長32.4m)12本で支持されている。杭の支持層はGL-33mの洪積砂礫層とし、杭頭部はフーチングに剛接合とした。入力地震動はポートアイランドのNS方向観測記録波(GL-83.4m)とし、最大加速度を679gal(原波)及び300galとした場合について検討した。また、解析では地盤の液状化を考慮した有効応力解析と過剰間隙水圧の上昇を考慮しない全応力解析を行い、それらの結果を比較検討した。

3. 解析手法

橋脚-杭基礎-地盤系の地震応答解析モデルを図-2に示す。杭基礎の質点系モデルは、群杭を1本の多質点曲げせん断棒にモデル化し、各質点に杭と地盤の相互作用ばねを取り付けたモデルである。地震応答解析は、自由地盤の解析を1次元有効応力解析法DESRA⁴⁾を用いて行い、得られた自由地盤の各質点深さでの変位応答波形と過剰間隙水圧波形を相互作用ばねを介して入力することにより地震応答解析を行う。相互作用ばねは、群杭効果を考慮し3次元薄層要素法によりばね定数を評価し、杭と地盤との相対変位により生じる非線形性と、液状化層では更に過剰間隙水圧の発生による有効応力の低下による非線形性を考慮している⁵⁾。ただし、本解析では上部構造物と杭の剛性は線形とした。また基礎の根入れは2.0mと浅いことから、基礎の根入れ効果は考慮しない。

4. 解析結果

(1) 自由地盤の有効応力解析結果

図-3に有効応力解析による過剰間隙水圧の最大値分布を初期有効上載圧とともに示す。最大加速度679gal入力の場合では、GL-19m以浅で間隙水圧の上昇が著しく、GL-13m以浅の範囲でほぼ液状化している。最大加速度300gal入力の場合では、GL-5m以浅の範囲でほぼ液状化している。図-4に有効応力解析によって得られた、杭下端位置を基準とした地盤の最大相対変位を示す。最大加速度679gal入力では、地盤の変位応答は間隙水圧の上昇が著しいGL-19m以浅の埋土層で大きく増幅し、杭頭付近で約24cmの変位が出ており、最大加速度300gal入力に比較して、液状化の影響が大きく現れている。

(2) 橋脚-杭基礎-地盤系の地震応答解析結果

図-5に最大加速度679gal入力の場合の全応力解析及び有効応力解析による杭頭付近(GL-2.5m位置)での水平方向相互作用ばねのヒステリシスを示す。有効応力解析では過剰間隙水圧の上昇による非線形性が大きく現れている。図-6に全応力解析及び有効応力解析による杭の最大曲げモーメントの比較を示す。どちらの入力レベルにおいても、杭頭部で大きな曲げモーメントが発生しており、特に最大加速度679gal入力では、全塑性モーメント136tf・mを越える曲げモーメントとなっている。図-7に有効応力解析結果について、地震による杭の曲げモーメント(total)と上部構造物の質量を無視して求めた地盤震動のみによる曲げモーメント(kinematic)を比較して示す。杭頭部の曲げモーメントには、橋脚及び上部工の慣性力による影響と地盤震動による影響が大きく現れていることが分かる。また、GL-19mで地盤震動による大きな曲げモーメントが発生しているが、これは、GL-19m以浅で液状化が起こっており、ここを境として地盤の変形が大きくなるとともに、上部層と下部層の相互作用ばねの剛性比が大きくなると考えられる³⁾。

キーワード 地震応答解析, 非線形性, 液状化地盤, 有効応力解析, 杭応力

〒107 東京都港区赤坂6-5-30 TEL 03-5561-2193 FAX 03-5561-2152

5. まとめ

地震時における地盤の液状化を考慮した、杭基礎構造物の杭応力の基本的性状を把握することができた。今後、実構造物を対象とした実際の被害との関係等を検討し、本手法の適用性を確認していく予定である。

（参考文献）1)地盤工学会：阪神・淡路大震災調査報告書(解説編)，1996.3. 2)関西地震観測研究協議会：関西地震観測研究協議会による報告. 3)宮本裕司ほか：非線形，液状化地盤における杭基礎の地震時応答性状に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第471号，pp.41～50，1995.5. 4)Finn W.D.L.ほか：An Effective Stress Model for Liquefaction, Jour. of the Geotechnical Eng. Division, ASCE, Vol.103, No.GT6, pp.517～533, 1977. 5)宮本裕司ほか：1995年兵庫県南部地震の観測記録を用いた液状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，日本建築学会論文報告集，第493号，pp.23～30，1997.3.

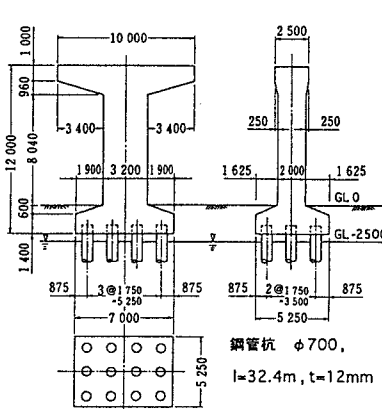


図-1 解析対象橋脚

表-1 解析用地盤物性値

地盤区分	N値	γ_i (tf/m ³)	V_{50} (m/s)	τ_{max} (tf/m ²)	k_v (cm/s)
GL(m)					
-2.5	5~7	1.90	79	0.3	3.5E-03
Fg					
-19.0			~169	~7.4	
Ac	4	1.60	180	18.9	3.0E-06
-27.0					
Ag	14	1.80	245	23.5	1.5E-02
-33.0				~25.0	
Da	37	1.85	306	40.2	1.5E-02
-50.0				~45.5	
Dc	52	1.80	350	37.5	1.5E-02
-61.0				~39.1	
Dc	12	1.70	303	35.7	3.0E-06
-79.0					
Dg	68	1.90	320	50.7	1.5E-02
-83.4				~53.0	

Parameters Of DESRA
 GL-0m~GL-19m: C1=1, C2=0.4, C3=0.161,
 C4=0.5~0.32, m=0.43, n=0.62, k2=0.012~0.046
 GL-27m~GL-33m: C1=1, C2=0.4, C3=0.161,
 C4=0.32, m=0.43, n=0.62, k2=0.046

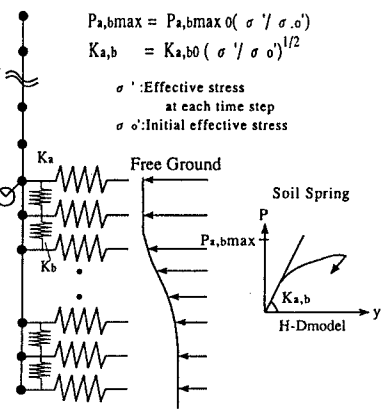


図-2 解析モデル

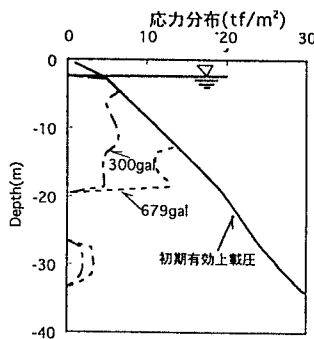


図-3 過剰間隙水圧分布

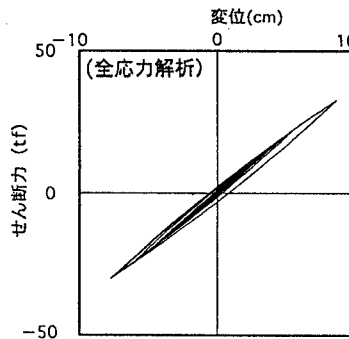


図-5 水平方向相互作用地盤ばねの比較 (GL-2.5m)

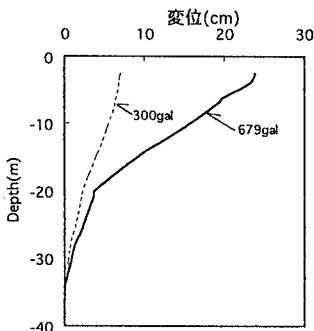


図-4 地盤の最大相対変位

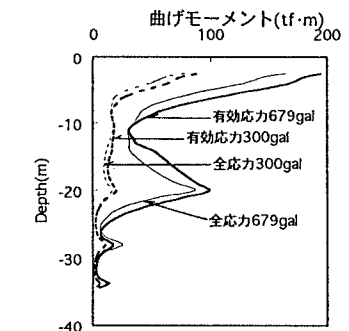


図-6 杭応力の比較

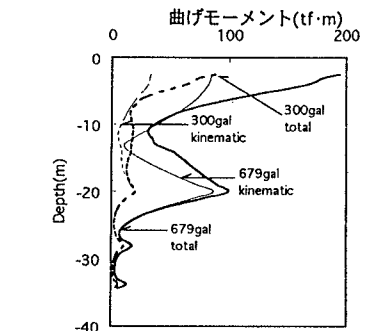


図-7 地震時杭応力と地盤震動のみによる杭応力の比較