

武汉市饱和粉、砂土的振动液化性分析研究

高金川, 孙 亮, 刘庆超

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:首先对影响武汉市粉土和砂土液化的地质属性和人为因素进行分析;再选择有代表性的工程地段进行液化判定与液化指数的计算;最后得到武汉市饱和粉、砂土的振动液化性的灾害程度及需要重点防治的地段范围,达到对武汉市饱和粉、砂土振动液化性量化分析研究的目的。对本地区的工程环境评价、建筑抗震设计、地基基础设计与施工有实际的参考意义。

关键词:武汉;振动液化;液化判别;液化等级;平均震陷量

中图分类号:TU44 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)06-0052-03

Research on Vibrating Liquefaction of Saturated Sandy-soil and Silty-soil in Wuhan/GAO Jin-chuan, SUN liang, LIU Qing-chao (China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: In this paper, analysis was made on geological properties and artificial factors of silt and sand liquefaction in Wuhan City, and then the typical engineering section was chosen to conduct the liquefaction estimation and liquefaction index calculation. Lastly, conclusions were made on the hazard level of vibration and liquefaction and the main extents that need treatment. These information can be taken as reference for the engineering environment evaluation, quakeproof design and foundation construct and design.

Key words: Wuhan City; vibrating liquefaction; liquefaction discrimination; liquefied classification; average seismic subsidence

0 引言

武汉市甲、乙类建筑密集,城市生命线工程规格高,尽管其抗震设防烈度为 6 度,地震影响及地震危险性的水平较低,但 2006 年 11 月九江地震时武汉市震感明显,对武汉市饱和粉、砂土的振动液化性研究与武汉市工程地质环境评价、建筑抗震设计、地基基础设计与施工意义重大。

武汉市地貌单元复杂,地下水埋藏浅,第四系地层以冲、洪积成因为主。其中广泛分布在一、二级阶地上的粉土、砂土埋藏较浅,厚度较大,且粘粒组含量以 1%~9% 居多。当受到地震和其他人为动荷载作用时,饱和的粉土和砂土中会产生超孔隙水压力,导致地基土体液化,减弱天然地基和桩基的承载力,危害工程建筑及设施的安全性。根据有关规范,对于甲类建筑和沉降敏感的乙类建筑在抗震设计时应按抗震设防烈度 7 度进行场地地基的液化判别,以保证建筑有足够的储备。

1 液化影响因素分析

武汉地区饱和粉土和砂土主要分布在长江一级、二级阶地以及汉江的一级阶地及高漫滩,液化程

度因顶层埋深、地下水位、粘粒成分含量、建筑物基础形状和尺寸等有所不同。

1.1 饱和粉土砂土的埋深(上覆土层厚度)

饱和粉土砂土的上覆土层主要为人工填土,粉质粘土及淤泥、淤泥质粘土。土层厚度随地貌单元变化较大。砂层和粉土层在三镇大致分布规律如下。

汉阳:上覆土层主要为杂填土、粉质粘土、淤泥及淤泥质粘土,厚度在汉江和长江域有较大变化,下覆的砂层埋深 2~4 m,厚度变化大,在 10~20 m,其中仅粉砂层厚度 2~5 m,中细砂层更厚。

汉口:上覆土层主要为杂填土、淤泥质粉质粘土、粉质粘土,粉质粘土与粉土夹层或粉土的透镜体。粉砂与粉土夹层,埋深 10~16 m,厚度 2~3.8 m;粉砂层埋深多在 14.4~18.2 m,厚度 3~4 m。

武昌:上覆土层主要为杂填土、淤泥、粘土、粉质粘土与粉土夹层,厚度大。下覆的砂层和粉土层埋深在 9~14 m,厚度大,以 3~5 m 多见。

按粉土和粉砂的埋深,均在地震液化深度范围以内。

1.2 地下水位埋深浅

收稿日期:2008-01-07

作者简介:高金川(1963-),女(汉族),陕西宝鸡人,中国地质大学(武汉)副教授、硕士生导师,工程地质专业,从事岩土工程勘察、城市地质灾害研究与治理、基础工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市鲁磨路, gjinc@126.com。

靠近江边地带地下水位埋藏浅,在 2 m 上下,远离地带在 3 ~ 4 m 居多。可见,粉土和砂土饱水的程度高。

1.3 粘粒成分含量低

据大量岩土工程勘察资料知,武汉市粉土中粘粒的含量在 1% ~ 13%,平均 4.7%,粉砂和细砂中粘粒的含量在 0.6% ~ 12%,平均亦小于 5%,均有利于液化产生。

1.4 动荷载影响

除天然地震外,人类工程活动如沉桩、人工爆破、动力机器基础、地铁荷载等产生循环的动荷载易使饱和的粉土和砂土产生超孔隙水压力,而导致其液化。

近年来应用广泛的钢筋混凝土预制桩、沉管灌注桩、夯扩桩、钢管桩等桩型主要采用打入或压入的方式沉桩,在沉桩过程中对周围土体产生动荷载影响,引起桩周土体侧向挤出、向上隆起或沉陷,以至发生土体液化,影响桩的承载力和基础沉降变形量。

2 液化判别方法的选择

由于多年来武汉地区粉土和砂土的液化破坏比较微弱,液化评价多以规范方法的原位测试判别为主。判别主要遵循如下规范:《岩土工程勘察规范》(GB 50021 - 2001),《建筑抗震设计规范》(GB 50011 - 2001),《水工建筑物抗震设计规范》(DL 5073 - 2000)。

判别的方法主要有:

(1) 根据地下水位、粘粒含量、沉积年代、地貌单元等因素按经验定性初判;

(2) 根据原位测试数据进一步的量化判别,常用方法有波速测试(如 seed 法)的剪切波速法,标准贯入试验(SPT)标贯锤击数法,静力触探试验(CPT)比贯入阻力法;

(3) 数值模拟计算新方法的应用,如基于 BP 的神经网络液化分析法、可靠性液化分析法、模糊综合评判法等新方法在地震设防烈度高于 7 度的广大地区分析评价效果比较好,但在武汉市的振动液化分析评价中适用性较差,还在试分析之中。

3 液化危害程度判别

对于液化危害程度的正确评判关系到能否采取有效消除液化方法的选择。目前我国液化危害程度判别方法较多,但各有使用范围和局限性。适合武汉地区的量化计算的公式主要如下。

3.1 计算液化指数

液化指数根据勘探工作量逐孔进行计算,常用下式:

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_i}{N_{crit}}\right) d_i W_i$$

式中: I_{LE} ——液化指数; n ——判别深度内每个勘探孔标贯试验点总数; N_i ——标贯点实测锤击数; N_{crit} ——对应于标贯点的临界锤击数; d_i ——标贯点代表的土层厚度,m; W_i ——标贯点土层的层位影响权函数。

3.2 计算液化平均震陷量

根据对大量地震液化危害实例的分析研究和统计结果,地震液化的危害主要来自于饱和粉土和饱和粉砂、细砂、中砂液化后产生的不均匀震陷量。震陷量与土层的液化程度和上部建筑结构的荷载密切相关,其主要取决于液化土层的密度、基础的基底压力、基底宽度、液化土层底面和顶面的位置及地震震级等因素。所以震陷量比液化指数能更好的反映上部建筑结构荷载对液化危害的影响。

在有条件的地段可以进行实测震陷量,但对于液化分析评价可用以下经验公式估算平均震陷量:

$$S_E = (0.44/B) \xi S_0 (d_1^2 - d_2^2) (0.01p)^{0.6} [(1 - D_r)/0.5]^{1.5} \quad (\text{适用于砂土})$$

$$S_E = (0.44/B) \xi k S_0 (d_1^2 - d_2^2) (0.01p)^{0.6} \quad (\text{适用于粉土})$$

式中: S_E ——液化震陷量平均值; B ——基础宽度,m; S_0 ——经验系数; d_1 ——由地面算起的液化深度,m; d_2 ——由地面算起的上覆非液化土层深度,m; p ——宽度为 B 的基础底面地震作用效应标准组合的压力,kPa; D_r ——砂土相对密度,%; k ——与粉土承载力有关的经验系数; ξ ——修正系数。

以 K2 孔资料为例,取 $B = 0.44d_1$, $d_1 = 6.1$ m, $d_2 = 4.8$ m, $p = 150$ kPa, $D_r = 0.33$, $S_0 = 0.05$, $\xi = 0.4$, 经估算后松散细砂层的平均震陷量 $S_E = 11.3$ cm, 可见其液化危害应引起重视。

4 液化指数及液化等级统计

基于武汉港汉阳集装箱港区扩建二期岩土工程勘察资料,单孔饱和粉土和砂土液化分析结果见表 1, 汇总结果见表 2。

5 结论与建议

5.1 结论

根据统计和分析可以得出以下结论:

表1 K2 水域孔液化计算结果

土层名称	层底埋深/m	标贯位置/m	N_i	N_0	N_{cr}	判别	d_i	Z_i	W_i	I_{lei}	I_{LE}
①淤泥	2.40										
②粉质粘土	4.80										
③松散细砂	7.45	5.0	6	6	8.4	液化	1.20	5.40	9.60	3.29	
		7.0	5	6	9.6	液化	1.45	6.72	8.28	5.75	
④稍密细砂	9.45	9.0	13	6	10.8	不液化					9.04
		10.0	15	6	11.4	不液化					
⑤中密细砂	13.45	11.0	17	6	12.0	不液化					
		13.0	21	6	13.3	不液化					
⑥密实细砂	15.40	14.0	39	6	13.8	不液化					

表2 液化计算统计结果

孔号	类型	地下水位	液化概况	液化指数	液化等级
K1	水域孔	0	有较多液化层	9.73	中等
K2	水域孔	0	有液化层	9.04	中等
K3	水域孔	0	有较多液化层	12.21	中等
K4	陆域孔	2.0	有较多液化层	8.45	中等
K5	水域孔	0	有液化层	1.87	轻微
K6	水域孔	0	有液化层	4.75	轻微
K7	水域孔	0	有液化层	3.73	轻微
K8	陆域孔	4.0	无液化层		
K9	水域孔	0	有液化层	7.33	中等
K10	水域孔	0	有液化层	1.81	轻微
K11	陆域孔	2.9	无液化层		
K13	陆域孔	2.8	有液化层	0.26	轻微
K14	陆域孔	3.3	有液化层	1.91	轻微
K15	陆域孔	5.0	有液化层	3.21	轻微

(1) 武汉市饱和粉土和砂土的液化等级指数在3~13居多,液化平均震陷量估算在15 cm以内,液化等级中等以下,液化危害程度可以认为轻微到中等。

(2) 武汉市液化粉土和砂土主要分布在长江和汉江的低阶地及交汇带位置,以武昌蒋家墩、任家路、鲇鱼套,汉口宗家台、青年路、后湖,汉阳腰路堤等地段液化危害程度相对较高,应重点评判,并给予相应整治。

(3) 武汉市液化判别可以按标贯锤击数、剪切波速、地下水位埋深、上覆土层厚度等情况,初步判别,并能满足一般工程要求。武汉市 $N_0 = 6$, 当 $N < 7$, 埋深 < 5 m 的粉土层和埋深 < 15 m 的粉细砂层均可能会发生液化,应进一步进行液化危害评价。

5.2 建议

(1) 埋深 > 10 m 的砂土呈中密~密实状,对于深大桩基础建筑工程,可以不考虑液化的影响;

(2) 对于多层和生命线工程应评价液化危害的程度,尤其对于埋深 < 6 m 的粉土层和粉细砂层;

(3) 采用深大沉桩基础时,应考虑沉桩方式对于桩周土层的液化影响问题;

(4) 对液化土层的整治以局部挤密、换填、桩基为主。

参考文献:

- [1] 刘宏,张卓元,邓荣贵. 饱和砂土液化过程探讨[J]. 成都理工大学学报,2001,(1).
- [2] 王卫. 饱和砂土地震液化及治理措施[J]. 西北水利发电,2006,(1).
- [3] 高金川,杜广印. 岩土工程勘察与评价[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2003.
- [4] GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].

“十一五”国家重点图书出版规划项目《桩基工程手册》出版

本刊讯 我国新闻出版总署“十一五”国家重点图书出版规划项目、大型综合性的《桩基工程手册》最近由人民交通出版社出版。该书由史佩栋主编,顾晓鲁主审,高大钊、桂业琨、刘祖德、赵锡宏、曲乐等任副主编。我国南北各地(含香港、台湾地区)的30余位专家学者参加了撰稿审稿。

该手册系统而详尽地介绍了我国和国外桩基础学科在理论、岩土勘察、设计计算、施工技术、工艺设备、试验检测、事故处理等方面的最新进展和创新成果。全书分8篇46章:导论(3章);桩的工作性状(6章);桩基设计与计算(11章);桩基施工技术(11章);桩的特殊应用及特种桩型的设计与应用(6章);桩的测试技术(5章);桩基事故处理(2章);港台地区的桩基工程技术(2章)。

我国桩基学科的先驱者、中国工程院资深院士周镜先生,国家住

房和城乡建设部总工程师王铁宏博士为该题词。中科院孙钧院士为该书作序。

该手册对我国住房和城乡建设部最近发布,即将于2008年10月1日起实施的《建筑桩基技术规范(JGJ 94-2008)》及其他现行标准规范的相关内容在其有关篇章中均作了相应的阐述介绍。

该手册可供建筑、市政、公路、铁路、桥梁、港口、地铁、水利、水电、地勘等部门从事桩基勘察、设计、施工、监理、质监、试验、检测等工作的科技人员和有关高校师生、科研院所工作人员等日常参考应用,也是对注册结构工程师、岩土工程师、建造师和监理工程师进行继续教育或培训的一本良好教材。

该手册为A4开本,精装,共1220余页,240余万字。定价每册人民币165元。(丁源萍 供稿)