

黄志东, 何萍, 杜鹏. 远震作用下软弱土层的震害影响[J]. 华南地震, 2014, 34(3): 65–68. [HUANG Zhidong, HE Ping, DU Peng. Affect of Earthquake Disaster of Soft Soil Under Teleseismic [J]. South china journal of seismology, 2014, 34(3): 65–68.]

远震作用下软弱土层的震害影响

黄志东, 何萍, 杜鹏

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 软弱土层在地震作用下, 容易发生水平永久变形和不均匀沉陷, 是发生震害的主要因素之一。特别是在远震作用下, 软弱土层地区的破坏烈度高于其他较坚硬岩土地区, 软弱土层上部的中高层建筑物和构筑物更易遭受破坏。通过回顾和分析 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级地震在汕头市的地震反应特征及震害影响, 指出应加强软弱土层地区的工程抗震设计, 提高防灾抗震能力。

关键词: 远震; 软弱土层; 震害; 台湾海峡

中图分类号: P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 03-0065-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.03.11

Affect of Earthquake Disaster of Soft Soil Under Teleseismic

HUANG Zhidong, HE Ping, DU Peng

(Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Under earthquake, the layer of soft soil is prone to cause permanent horizontal deformation and uneven subsidence, which is one of the main factors causing the earthquake disaster. Especially under teleseismic, the damage intensity of the layer of soft soil area is higher than that of other hard rock areas, and the medium high buildings and structures on the layer of soft soil are more vulnerable to suffer the damage. Through reviewing and analyzing the characteristics of seismic response and the influences of earthquake disaster in Shantou under the $M7.3$ earthquake on September 16th, 1994 in Taiwan Strait, the paper points out that the seismic design of the layer of soft soil region should be strengthened to improve the capacity of earthquake resistance and disaster prevention.

Key words: Teleseismic; Layer of soft soil; Earthquake disaster; Taiwan Strait

0 引言

历史震害表明, 软土场地上的建构筑物远比较坚硬地基土上的破坏程度严重得多。地面实测记录也表明, 与下伏基岩表面相比, 软土表面的

地面运动振幅要好几倍。为此, Kanyen.R.E.对不同岩土层不同的震源深度随震中距离变化的水平烈度作了深入研究, 表明岩土越“软”, 其水平烈度越高^[1]。

1985 年 9 月 19 日发生在墨西哥境内西太平洋

收稿日期: 2014-05-23

作者简介: 黄志东 (1969-), 男, 工程师, 主要从事地震应急、信息网络、科普宣传。

E-mail: 445867103@qq.com.

海底的 8.1 级大地震,震中烈度 XI 度,但极震区只有轻微的破坏,而距震中 400 km 外的墨西哥城出现了严重的震害,地面摇动强烈,部分地区烈度达到 9 度,地震引起许多建筑物基础产生非常大的沉陷和倾斜,建筑物的上部结构亦遭到破坏。其主要震害特点是低层房屋破坏较少,23 层以上的却未遭破坏^[2],城中心区 9~12 层建筑物有 13.5% 遭到严重损害^[3]。

墨西哥城地震灾害严重的主要原因是其地基特别软弱,高层建筑固有振动频率和地基振动特性与地震波周期谐和,产生共振,从而加大了地震烈度。这是远离极震区的城市遭到远震破坏的典型震例。

同样的震害情况在其他城市的地震中也有发生。如日本阪神地震中,中高层建筑中间楼层的破坏也十分突出^[4];唐山地震也表明,地表下低剪切波速的淤泥质夹层地区的震害较其它地区重^[5]。

在远震情况下,低烈度地区出现的高烈度破坏现象,并且震害主要集中在自振周期较长的中高层建筑和桥梁等工程结构物上,这是由于地震时建筑物构件的自振周期在振动中随着破裂和屈服过程增大并接近地震卓越周期,长时间的振动和累积损伤,加剧了结构的震动反应并引起房屋的共振。在强烈振动作用下,随着软弱土层的应

变加大,阻尼比增加变缓,而使地面振动加剧,振动持续时间加长,造成放大地震波使地基失效,最终导致房屋破坏或倒塌,加重震害。

环太平洋国家地区多位于板块的俯冲带上,地震多发,尤其是美国西海岸和日本国地震频发,由于软弱土层变形和沉陷产生了大量震害,而国内有关的震例报道不多。1994 年 9 月 16 日发生的台湾海峡 7.3 级地震,离震中距 200 km 的汕头国际大酒店的强震加速度仪记录到了该次地震,并且汕头市区的部分建筑物受到了局部破坏,回顾和分析其地震反应特征和震害影响情况,对研究远震软弱土层的震害具有一定的意义。

1 软弱土层特征

软弱土层是由一组含水量大、空隙比大、灵敏度高的软弱土形成。表 1^[6]明确定义了软弱土的构成及其性状和土层剪切波速范围。地震发生时软弱土上的建筑物抗剪强度显著下降,导致建筑物上部结构产生裂缝、整体倾斜,严重的造成结构破坏。建筑物倾斜导致荷载偏心将改变荷载分布,严重的可导致地基失稳破坏。在强烈地震作用下,软弱土容易发生触变,尤同砂土液化,甚至同“饱和砂土液化”^[7]。

表 1 土的类型划分和剪切波速范围

Table 1 Type of soil and velocity range of shear wave

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围/(m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石,密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_{ak} > 150$ kPa 的粘性土和粉土,坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_{ak} \leq 150$ kPa 的粘性土和粉土, $f_{ak} > 130$ kPa 的填土,可塑黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土,松散的砂,新近沉积的粘性土和粉土, $f_{ak} \leq 130$ kPa 的填土,流塑黄土	$v_s \leq 150$

注: f_{ak} 为由静载荷试验等方法得到的地基承载力特征值

2 汕头市的岩土特征

根据汕头地震小区划和建设工程地震安全性评价工程地质钻孔资料,汕头市地貌以河口三角洲冲积平原为主,主要分布于市中心城区,地层自上而下是全新世滨海沉积相地层-浅海相的粘土和淤泥质土以及更新世海陆交互的淤泥质土。淤泥、淤泥质土等软弱土层,一般存在 2~3 层,单层厚 3~30 m,总厚度一般 $\geq 10 \sim 30$ m。特别是出露地表或近地表的一层厚 10~30 m 的淤泥层,

其含水量高,一般在 80%;压缩性强,压缩系数大于 2 MPa^{-1} ;剪切波速一般只有 110 m/s,属典型的软弱土层。软弱土层在地震作用下产生水平永久变形和不均匀沉陷致使建筑物的上部发生整体倾斜^[8]。

从地震小区划和工程地震钻孔中采集原状土样,在保持原状土样的围压条件下进行室内动力三轴实验,确定土的本构关系。根据土动力学实验结果,汕头市各类典型土的动剪切模量比 G/G_{\max} 、阻尼比 λ 与动剪应变 γ 的关系见表 2。表 2 给出的

动剪切模量比、阻尼比随动剪应变变化的参考值,有助于对汕头地区软弱土层动力特征的认识。

3 台湾海峡地震对汕头市的影响

在1994年9月16日发生的台湾海峡7.3级地震中,离震中距200 km的汕头国际大酒店地下室的强震加速度仪记录到地震,其最大水平地面加速度为40.98 gal,最大垂直加速度为14.17 gal。地震加速度时程曲线接近正弦波(图1),地震卓越周期约1.5 Hz(图2)。地震动的这些特征,反映了软弱土层的远震作用效应。

台湾海峡7.3级地震对汕头市的影响烈度为Ⅵ度。通常,在地震烈度为Ⅵ度时,建筑物的震害会出现轻微的墙边与框架分离、墙体产生X型裂缝、墙体平面外闪。但该次地震,却有建筑物整体倾斜。如有两座20 cm间距的6层框架结构和7层砖混结构的建筑,地震时房屋侧向倾斜,互相挤压在一起;另有两座以沉降缝相连的均为8层的框架结构房屋,地震后楼顶明显撕开30 cm,右座建筑向左后方倾斜。据分析,发生建筑物整体倾斜的震害,是由于软弱土层的影响而致。可见,在远震作用下软弱土层会激发长周期的振动,对中高层建筑物十分不利。

表2 汕头市典型土的动力参数
Table 2 Dynamic parameters of typical soil in Shantou city

土名称	参数	Γ							
		5×10^{-6}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
淤泥质粘土	G/G_{\max}	0.865	0.790	0.600	0.470	0.165	0.090	0.015	0.010
	λ	0.030	0.035	0.055	0.077	0.137	0.165	0.220	0.235
粘土	G/G_{\max}	0.980	0.960	0.825	0.710	0.330	0.200	0.050	0.025
	λ	0.012	0.015	0.037	0.056	0.130	0.165	0.235	0.254
亚粘土 (风化土)	G/G_{\max}	0.980	0.970	0.840	0.730	0.400	0.250	0.070	0.030
	λ	0.012	0.015	0.037	0.056	0.112	0.137	0.170	0.180
粘土	G/G_{\max}	0.920	0.880	0.700	0.575	0.260	0.178	0.058	0.018
	λ	0.015	0.022	0.050	0.065	0.104	0.125	0.145	0.130

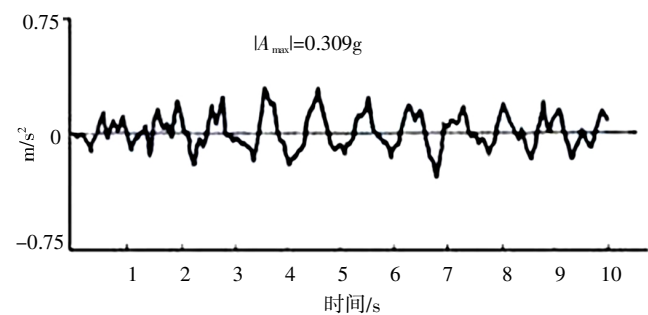


图1 台湾海峡地震加速度时程
Fig.1 Acceleration time history of Taiwan Strait earthquake

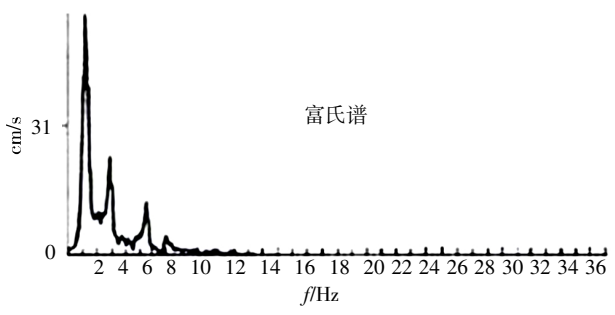


图2 台湾海峡地震富氏谱
Fig.2 Fourier spectrum curve of Taiwan Strait earthquake

4 土层地震反应分析

土层地震反应分析主要解决三个问题:
(1) 将输入地震波分解为一系列简谐波, 设 $u_j(j \cdot \Delta t)$, $j=0, 1, 2, \dots, N-1$ 为等间距数字化输入加速度, 由富氏变换得到:

$$u(t)=\frac{2}{N} \sum a_j e^{i \omega_j t} \tag{1}$$

式(1)中, $i=\sqrt{-1}$; $\omega_j=(2\pi/n\Delta t)$; j 为简谐波的圆频率; Δt 为时间间隔; a_j 复数形式的富氏谱。

(2) 确定传递函数。所谓传递函数就是结构体系相对于单位输入的输出量。由于输入地震已分解为不同频率、振幅和相角的一系列谐波, 故传递函数是相对于不同频率的单位谐波的反应。

(3) 考虑土的非线性。汕头市基本烈度为Ⅷ度, 设计基本地震加速度值为0.20 g^[6]。因此, 在土层地震反应计算时, 用1994年9月16日台湾海峡7.3级地震时在汕头国际大酒店的强震记录的最大加速度放大到0.2 g的时程, 计算汕头市区37个钻孔的土层地震反应。图3为两个典型钻孔的

剪应变和剪应力沿深度的变化,图3a为淤泥层较薄且埋藏较深;图3b为淤泥层较厚且埋藏较浅的结果。

结果表明,淤泥层比其他土层的最大剪应变至少大一个数量级;淤泥层的最大剪应变与其层厚关系不大,即淤泥层厚从数米至30 m,最大剪应变相近,这是因为汕头市距离地震震中较远,衰减较大,淤泥层蠕动减小,以致其厚度影响已不大;淤泥层的埋藏条件对其最大剪应变影响大,即顶面接近地表的比埋藏较深的淤泥层的最大剪应变明显增大。

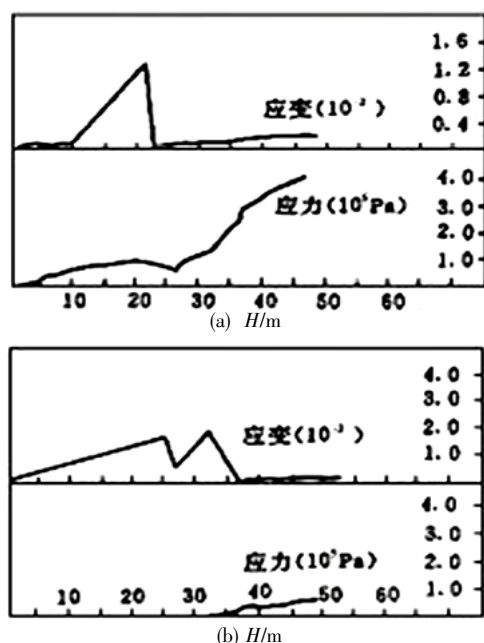


图3 两个典型钻孔的分析结果

Fig.3 Analyzed result of two model bores

5 结语

历史震害表明,在地震作用下,软弱土层容易发生水平永久变形和不均匀沉降,是发生震害的主要因素之一。特别是在远震情况下,由于长周期的作用,软弱土层地区的破坏烈度高于其他较坚硬岩土地区,软弱土层上部的中高层建筑物和构筑物更易遭受破坏。在远震作用下软弱土层的震害影响主要表现为三点:

(1) 软弱土层的自振周期长,振幅大,震动持续时间长,其上部的建筑物震害较严重。

(2) 软弱土层在震动的情况下容易产生不稳定状态和不均匀沉降,甚至会发生液化、滑动、开裂等严重现象。

(3) 软弱土层对建筑物有增长周期、改变震

型和增大阻尼的作用,在软弱土层上建造高层建筑,其地震反应比在硬土上大。

可见,在软弱土层等抗震不利地段建房,必须采取相应的抗震技术做好基础,加固地基。首先应做好抗震防灾规划,对城市用地进行适宜性评价,提出建筑抗震防灾要求和措施。在设计和施工中,对液化场地,应根据液化程度和上部结构的设防类别,采取全部消除、部分消除、增加上部结构处理和可不采取措施等四种方式^[6];对地震时可能造成不均匀沉降、震陷的场地,应采取夯实、换土、采用桩、筏和箱基等措施。特别是软弱土层上建造超高层建筑和重要工程,还必须在建设项目可行性研究阶段对场地进行地震安全性评价,针对软弱土层场地设计地震动参数的影响提出科学的设防要求,降低地震对建设工程的震害影响。

参考文献:

- [1] Kayen.R.E. Accelerogram energy approach for prediction of earthquake induced ground liquefaction[D]. Berkeley:University of California, 1993
- [2] 刘大海, 扬翠如, 钟锡根. 高层建筑抗震设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [3] Mendoza M.J. and Auvinet G. The Mexico Earthquake of September 19,1985 Behavior of Building Foundation in Mexico City[J]. Earthquake spectra, 1998(4): 835-853.
- [4] 笠原庆一. 防灾工程学中的地震学[M]. 北京: 地震出版社, 1992
- [5] 袁平, 邵力新, 谢锐斌, 等. 软弱地基处理方法的抗震研究[C]/中国土木工程学会土力学及基础工程学会地基处理学术委员会第四届地基处理学术讨论会论文集. 北京: 中国土木工程学会土力学及基础工程学会地基处理学术委员会, 1995.
- [6] 中华人民共和国建设部. GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [7] 顾臣著. 土石坝地震工程[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989.
- [8] 常宝琦, 谢建清, 聂树明. 台湾海峡地震及汕头市震害初步分析[C]/岩土力学与工程的新进展——广东省岩土力学与工程学会成立十周年学术讨论会论文集. 广州: 华南理工大学出版社, 1996.