

可液化地基上建筑物不均匀震陷机制的 振动台试验研究

孟上九^{1,2}, 刘汉龙¹, 袁晓铭³, 刘添华²

(1. 河海大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 黑龙江工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050;
3. 中国地震局 工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 设计实现了液化土-结构相互作用的振动台试验, 试验包括地震波输入大型振动台试验和正弦波输入小型振动台试验。试验中建筑物模型和地基土均匀布置, 输入单方向水平加速度时程, 得到了建筑物对称基底动应力、孔压及建筑物对称顶点的不均匀震陷。研究表明:(1) 模型对称基底的竖向动应力易呈反对称形式分布;(2) 模型基底竖向动压应力对孔压增长有较大贡献;(3) 输入波形不对称的地震波能够导致模型对称基底孔压分布不均及建筑物不均匀震陷;(4) 输入正弦波, 模型对称基底动应力及孔压差别不明显, 模型将发生均匀震陷。

关键词: 土力学; 可液化地基; 不均匀震陷; 机制研究; 振动台试验

中图分类号: TU 447

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)11-1978-08

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MECHANISM OF EARTHQUAKE-INDUCED DIFFERENTIAL SETTLEMENT OF BUILDING ON LIQUESCENT SUBSOIL BY SHAKING TABLE

MENG Shang-jiu^{1,2}, LIU Han-long¹, YUAN Xiao-ming³, LIU Tian-hua²

(1. *Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China;*

2. Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China;

3. Institute of Engineering Mechanics, China Seismological Bureau, Harbin 150080, China)

Abstract: The shaking table test of soil-structure interaction (SSI) is introduced. It includes the earthquake-wave-input large table tests and sine-wave-input small table tests. The structure and the subsoil are uniformly distributed; and one direction horizontal seismic waves are input. The dynamic stresses and pore pressures at symmetrical places under the structure and the differential settlement at symmetrical vertexes of the structure are achieved. Results show that: (1) the vertical dynamic stress histories are easily taken with the antisymmetrical distribution in the two sides of the symmetrical foundation; (2) the vertical dynamic pressing stresses in the two sides of the symmetrical foundation are very important for increase of pore-pressure; (3) the asymmetry of the seismic waves bring unbalanced distribution and differential settlement; and (4) when inputting sine-wave, the contrasts of dynamic stresses and pore pressures at symmetrical places under the structure are not obvious; and the uniform settlement will happen.

Key words: soil mechanics; liquescent subsoil; earthquake-induced differential settlement; mechanism study; shaking table test

收稿日期: 2004-02-03; **修回日期:** 2004-03-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59978049); 地震学联合基金资助项目(104137)

作者简介: 孟上九(1971-), 男, 博士, 1994年毕业于辽宁工程技术大学煤田地质专业, 现为河海大学岩土工程研究所站博士后、副研究员, 主要从事土动力学及岩土工程方面的研究工作。E-mail: iemmsj@163.com.

1 引言

自 1964 年新泻地震以来,液化问题逐渐受到关注,在液化场地现场调查^[1]、液化机制^[2]、液化危险性分析^[3]、孔隙水压力增长模型^[4]以及有效应力分析方法^[5]等研究领域取得了大量研究成果。近年来,随着以满足工程结构使用功能为目的的性态抗震设计概念的提出,液化危害性方面的研究越来越受到重视,即人们关注的重点从是否发生液化到液化究竟带来多大影响方面转化,因为并非所有的液化都带来震害^[6]。在此领域内的代表性研究工作包括液化大变形研究和液化后的本构关系研究等^[7,8]。

震陷是指在地震作用下土层和建筑物发生的附加沉降,是典型的地基大变形震害。在可液化地基及软土地基上均有发生。震陷有均匀和不均匀之分,不均匀震陷对建筑物的威胁更大。在新泻地震当中,有 2 400 多幢建筑物由于发生液化不均匀震陷而遭受巨大损失。目前,对于软土地基的建筑物震陷及不均匀震陷有一些研究^[9],但针对液化不均匀震陷机制的研究还欠成熟。一般而言,液化土层的横向分布不均匀或建筑物荷重分配不均衡可能导致不均匀震陷发生,但仅据此难以解释均匀场地上荷重均衡的建筑物仍大量发生不均匀震陷的现象。文[10]分析了唐山地震中一些钻井架的液化震害,发现液化不均匀震陷有一定的优势方向,认为是不对称惯性力导致了不均匀震陷的发生。而在水平运动占主导的地震中,不对称惯性力是由于水平地震动波形的不对称引起的,所以推测波形不对称的地震动可能导致建筑物发生液化不均匀震陷。本文希望通过试验进一步确认这一点,因为对该问题的了解有助于提高抗震设计的可靠性和针对性,也有助于分析方法的确立与完善。

当然,如在现场实测强震记录和建筑物基底动力反应,再与不均匀震陷进行对比分析是最有说服力的,但这方面资料的获取难度非常之大,不得不借助试验进行研究。本文分别利用地震波输入的大型振动台和正弦波输入的小型振动台开展试验研究,希望通过试验确认前述假定,揭示可液化地基上建筑物不均匀震陷的发生机制。

2 试验设计

2.1 试验设备与激振要求

由于模型尺度比较大,且仅为获得定性认识,不作相似率方面考虑,所以振动台便成为试验设备的首选。为兼顾试验指标和经济性,利用地震波输入的大型振动台试验(后简称“大台试验”)了解输入地震波波形对液化不均匀震陷的影响,同时利用正弦波输入的小型振动台试验(后简称“小台试验”)试验作为对比,从另一侧面考察输入波形的影响。

(1) 大台台面尺寸为 5 m×5 m,载重量 25 t,液压伺服激振,3 向 6 自由度,最大输出加速度 1 g,最大位移±8 cm,频率范围 0~20 Hz,可输出地震波;

(2) 小台平面尺寸为 90 cm×70 cm,载重量 200 kg,电磁激振,单向输出,最大输出加速度 1 g,最大位移±5 cm,频率范围 0~10 Hz。波形包括正弦波、三角波和矩形波。

无论大台试验还是小台试验,预设的和实际记录到的台面加速度之间会有一点差异,所以在对试验结果进行分析时以实际记录到的台面加速度为准。

大台试验中选择不对称地震波做输入波,小台试验以正弦波做输入波。大台试验通过自由场预试验确定达到液化所需的合适的激振幅值和时间,最终确定:输出阪神地震波时,持时为 40 s,输出迁安地震波时,持时为 20 s,输出幅值均在 0.4 g 左右,这样基本能保证总激振时间不是很长又可以获取从不液化到完全液化的全过程。

小台选择不大于 0.5 g 的正弦波做试验用波,激振频率以 3Hz 为主,直到完全液化时停止。

2.2 地基与建筑物模型

两种试验采用砂箱盛土模拟地基,大台试验砂箱尺寸为 160 cm×90 cm×120 cm,小台试验砂箱尺寸为 51 cm×34 cm×32 cm。试验中为了获得最大的“平面尺寸比”,以减少砂箱边界反射的影响,使砂箱长边与激振方向平行。地基土为灰白色粉细砂,其最大、最小干密度分别为 1.78 g/cm³和 1.54 g/cm³,其筛分曲线见图 1 所示。砂样经筛选、晾干后,用

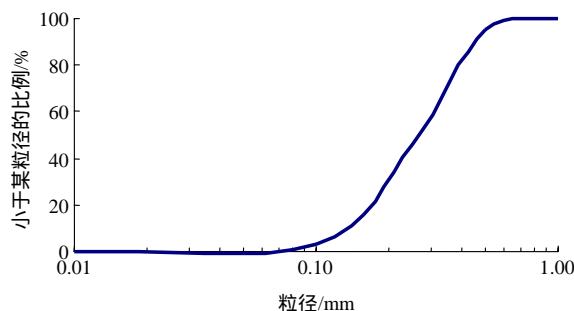


图 1 地基土级配曲线

Fig.1 Grade curve of the subsoil

水沉法进行地基成型，为保证地基土的横向均匀性，大台试验一次成型厚度小于 20 cm，最终厚度 80 cm；小台试验一次成型厚度小于 5 cm，最终厚度 25 cm。成型到指定位置时布置相应的传感器。

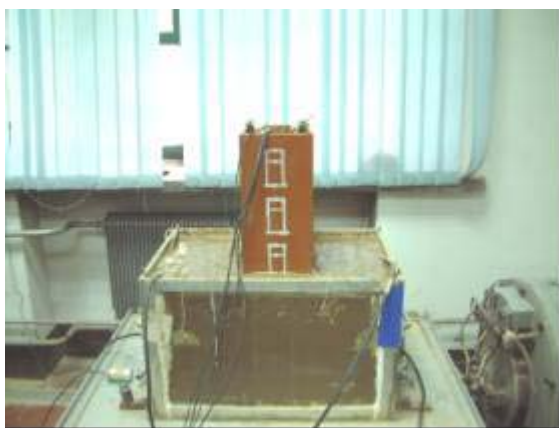
由于水沉法成型的限制，不可能制成相对密度很高或很低的地基模型，所以在试验中将相对密度控制在 50% 左右，这样成型比较容易而且也有一定代表性。

大台试验中以荷重对称分布的三、四层钢架作为建筑物模型，每层钢架尺寸为 30 cm×30 cm×40 cm，重为 14 kg，埋入土中 20 cm 以模拟埋置基础；小台试验中以两块几乎等同的槽钢对焊在一起模拟建筑物，其尺寸为 20 cm×15 cm×40 cm，重量为 18 kg，埋入 5 cm 以模拟基础。

大、小台试验模型如图 2(a)，(b) 所示。



(a) 大台试验



(b) 小台试验

图 2 试验现场图

Fig.2 In-situ test

相同，只不过在大台试验中由于地基及模型尺寸较大，所以布置的传感器数量较多。

大、小台试验中所用传感器的主要技术指标分别见表 1，2，布置方式见图 3。

表 1 大台试验传感器种类及指标

Table 1 Classes and indexes of sensors in large table test

器种类	编号	量程	灵敏度	位置	方向
加速度	LA1	± 2 g	2.03 V/g	台面	水平
	LA2	± 1 g	8.403 m/(s ² · V ⁻¹)	土层中部	水平
	LA3	± 2 g	2.03 V/g	土层表面	水平
土压力	LS1	-	33.88 kPa/V	南侧基底	竖向
	LS2	-	29.07 kPa/V	北侧基底	竖向
孔压	LP1	50 kPa	16.300 kPa/V	南侧基底	-
	LP2	50 kPa	16.496 kPa/V	北侧基底	-
	LP3	50 kPa	16.226 kPa/V	土层中部	-
位移	LD1	± 10 cm	0.499 V/cm	南侧顶点	竖向
	LD2	± 10 cm	0.503 V/cm	北侧顶点	竖向

表 2 小台试验传感器种类及指标

Table 2 Classes and indexes of sensors in small table test

种类	编号	量程	灵敏度	位置	方向
加速度	SA1	± 1 g	7.194 m/(s ² · V ⁻¹)	台面	水平
土压力	SS1	-	33.88 kPa/V	南侧基底	竖向
	SS2	-	34.27 kPa/V	北侧基底	竖向
孔压	SP1	50 kPa	16.055 kPa/V	南侧基底	-
	SP2	50 kPa	16.496 kPa/V	北侧基底	-
	SP3	50 kPa	16.300 kPa/V	土层中部	-
位移	SD1	± 10 cm	0.486 V/cm	南侧顶点	竖向
	SD2	± 10 cm	0.500 V/cm	北侧顶点	竖向

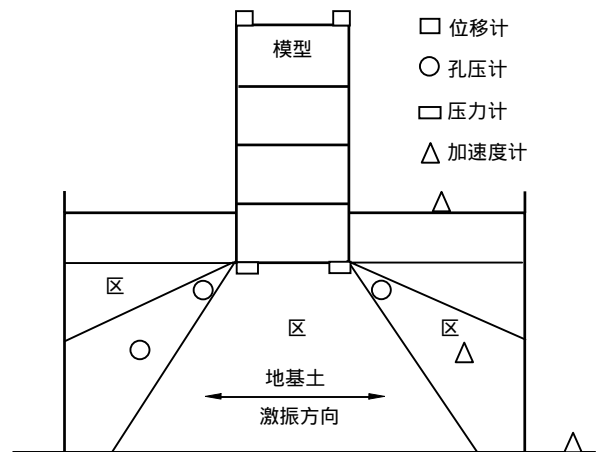


图 3 传感器布置示意图

Fig.3 Schematic diagram of sensors distribution

2.3 传感器布置

两种试验中用到的传感器种类及布置方式大体

2.3.1 加速度传感器的布置

试验中在振动台面、地基土中以及土层表面均布置了水平加速度传感器。台面加速度传感器用来确定最终输入波形，土中、土表的加速度传感器用于观察在液化各个阶段水平加速度幅值沿深度的变化规律。

2.3.2 孔压传感器布置

试验目的在于了解输入波形与建筑物不均匀震陷之间的关系，而基底孔压及土压力是分析这两者间关系的桥梁。一些学者曾对地基液化过程中的孔压分布规律进行了研究。证明地基中的孔压具有分区的特点，如图 3 所示的 I ， II ， III 区。其中位于基础外侧边缘的 I 分区(与水平线夹角为 $30^\circ \sim 60^\circ$)是最容易液化的， II 分区孔压比在其次，而位于基础正下方的 III 分区反倒是孔压比最低的区域，最不容易液化。本次试验中孔压计的布置参照了这些已有的结论，将 2 个孔压计对称地布置在建筑物模型基底两侧，孔压计的探头向外伸出基础边缘一段距离，即布设在基底两侧的 I 分区范围内，便于跟踪这两个最危险区域内的孔压。另外，在地基土层中部也布有孔压计，以掌握土层液化的全过程，并比较自由场孔压与基底孔压的差异。

孔压计在布设之前先饱水 24 h 左右，使其完全排掉内部空气，减少测量误差。由于孔压计的探头专门为测量液体压力而设计，导液孔比较大，为防止粉细砂进入引起堵塞，试验中在导液孔内部衬以海绵，这样既能保证孔压的传递又能有效防止砂粒的进入。

2.3.3 土压力计的布置

将一对土压力传感器粘贴于建筑物模型对称基底。希望获取基础与地基土之间的接触动压力，并与布置在同侧的孔压相比较，以了解土-结接触压力、地基土中孔压及建筑物震陷三者间的联系。

2.3.4 位移计的布置

位移计对称地布设在建筑物顶点上，且只测量竖向的位移时程(即震陷)。动态掌握随地基中孔压的发生、发展直至液化时，震陷是如何发展变化的。特别关注在输入波形不同的条件下，震陷与基底压力以及孔压有间关系怎样，从而为揭示不均匀震陷的发生机制提供佐证。

3 试验数据分析

3.1 大台试验数据分析

大台试验中，为尽量获得多工况下的共性规律以及充分利用台面面积，除考虑以不同地震记录(迁安波和阪神波)做输入外，还在台面上布置了两个相同尺寸的砂箱，地基土在土性、成型方式及厚度上完全相同，建筑模型分别是三层和四层钢架(见图 2(a))。这样，一次输入相当于完成了 2 次平行试验。本文只对以迁安地震波做输入的三层钢架模型的试验数据进行分析，其他的试验现象和结论与此类似，不做赘述。

3.1.1 加速度反应分析

图 4 绘出了对应 LA1, LA2, LA3 的水平加速度时程。LA1 的峰值在 0.3 g 左右，波形不对称，正半轴(试验中对应北向)加速度脉冲相对较大、较多。LA2 和 LA3 的读数都较 LA1 有一定幅度的放大。在第 5 s 左右土层达到完全液化之前，位于土表的 LA3 放大效应明显，而进入液化状态后却有明显衰减，说明土层在液化后吸收了部分量。

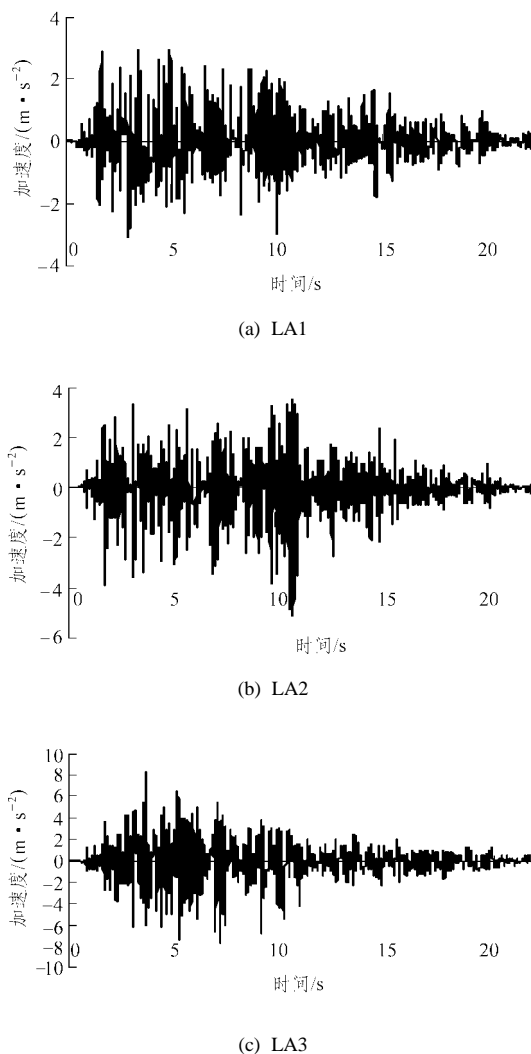


图 4 水平加速度时程

Fig.4 Time-dependent process of the horizontal acceleration

3.1.2 孔压分析

布置在建筑物模型南、北两侧基底的两个孔压计记录的时程曲线绘制在图 5(a)中。埋在土层中间的孔压计所测量的时程曲线绘制在图 5(b)中。可看出建筑物模型基底孔压时程与自由场孔压时程有很大区别，自由场由于排水不畅，孔压累计上升直至最大，而后趋于稳定，在大幅值地震动作用过后，随着排水孔压还有下降趋势。而基底孔压增长规律却完全不是这样，由于可以在建筑物模型与地基土之间接触部位形成排水通路，所以孔压没有达到侧向固结压力水平便开始排水，孔压时程曲线也没有自由场孔压的“平台”阶段，其数值也比自由场的小。

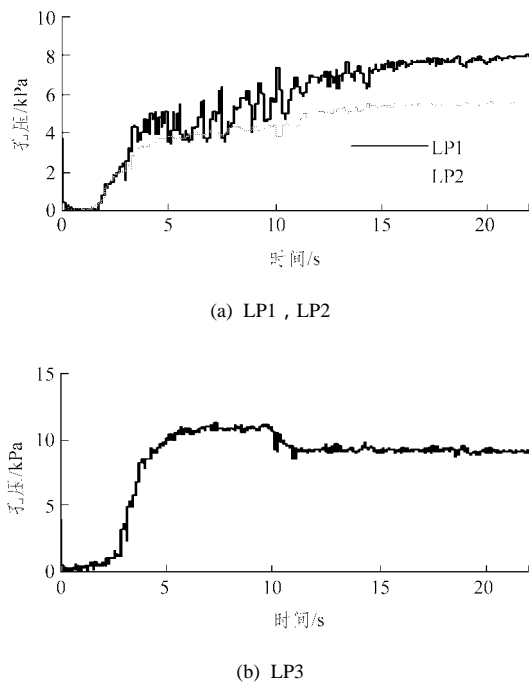


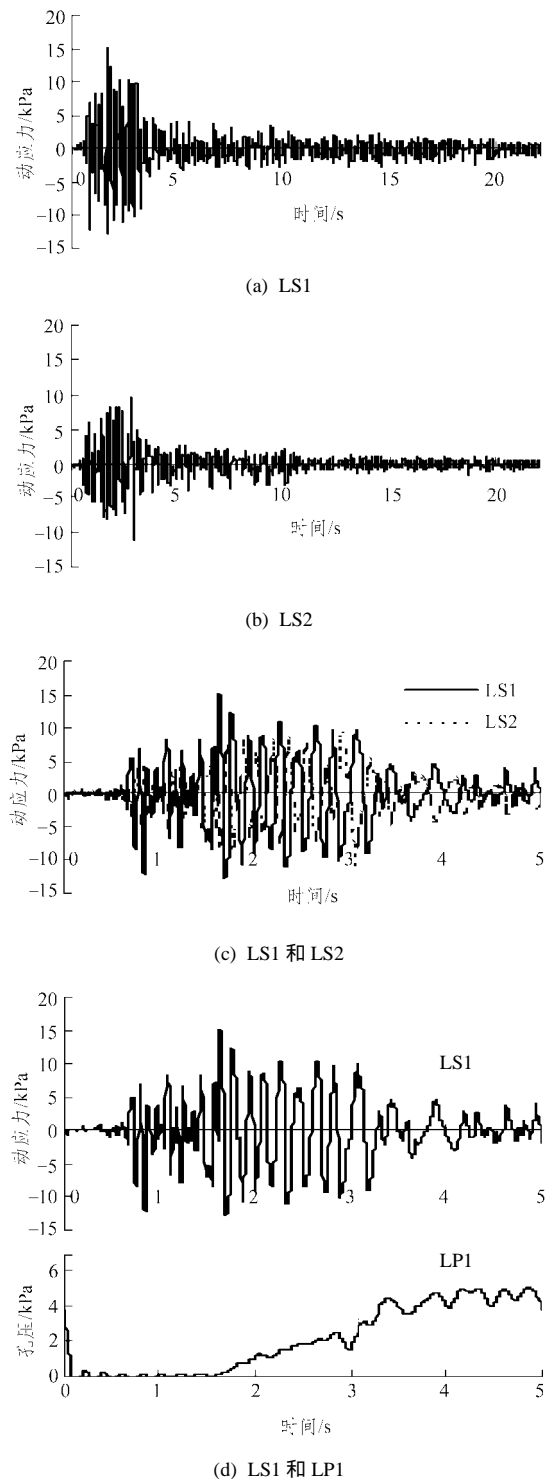
图 5 基底及自由场孔压

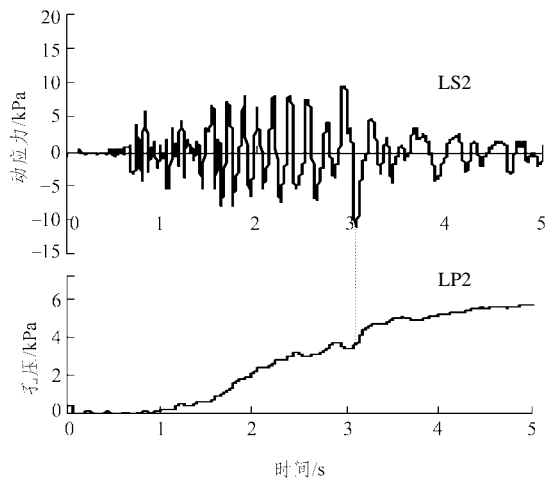
Fig.5 Pore pressure of subsoil and free field

3.1.3 土压力分析

在图 6(a), (b)中绘出了对应 LS1, LS2 的动土压力时程。从中可看出，在地基土液化后，建筑物与地基土之间的接触动压力也骤然降低，尽管地震动仍在继续。图 6(c)中绘出了两者的局部放大对比图。对称基底的竖向动应力时程是呈反对称形式分布的，即当建筑物一侧基底出现动压应力(正半轴)时，另一侧的基底则出现几乎等值反向的拉应力(负半轴)，当进入液化状态以后此现象就消失了。重要的是，建筑物基底的竖向动应力时程波形是受输入的水平加速度波形控制的，如果输入的地震波形不

对称，那么建筑物对称基底的竖向动压应力的幅值便会有差别，若将建筑物基底动应力时程与对应位置的孔压时程绘在一起时(图 6(d), (e))会发现，孔压的增长与动压应力的作用密切相关，而拉应力还会造成孔压一定幅值的下降。图中用虚线将压、拉应力脉冲与孔压时程连起来以便观察上述现象。正因为 LS1 中动压应力的幅值较大，作用次数较多，所以孔压的幅值也大些，对应这一侧的地基土就有可能先液化。





(e) LS2 和 LP2

图 6 对称基底竖向动应力相互关系及与孔压的联系
Fig.6 Relation between vertical dynamic stress under symmetrical foundation and pore-pressure

3.1.4 不均匀震陷分析

图 7 绘出的是对应 LD1 和 LD2 的震陷曲线。

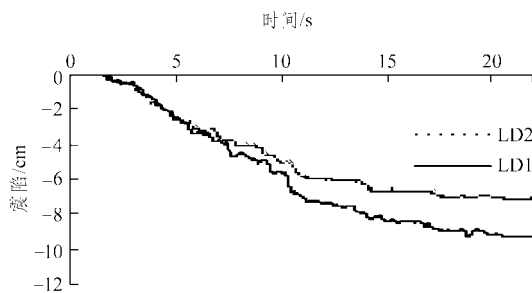


图 7 模型对称顶点的震陷曲线

Fig.7 Curves of earthquake-induced settlement at symmetrical vertexes of model

两者终值之差即为不均匀震陷。如果将建筑物模型基底动应力、基底孔压和震陷结合在一起分析，发现对应建筑物模型南侧，上述三者的数值相对北侧都是比较大的。因为输入的地震波波形具有不对称性和不规则性，使建筑物产生不平衡摇摆，不平衡摇摆会在建筑物对称基底产生不对等的竖向压应力，进而使对称基底的孔压水平有很大差异并最终导致建筑物向孔压水平较高的南侧倾斜。

值得关注的是，另外一个砂箱中的四层刚架模型也是倒向南侧的，即两个建筑物模型在同样的输入下倾斜方向一致。

通过综合比较输入地震波、基底动应力、基底孔压以及建筑物的不均匀震陷可以得到一个初步的结论：水平输入的不对称地震波很可能对建筑物的

不均匀震陷产生重要影响，如果地基土分布均匀，建筑物荷载分配均衡，输入地震波的不对称性可能对不均匀震陷起控制作用。

3.2 小台试验数据分析

为进一步确认输入波形对液化不均匀震陷的影响，本文又设计了正弦波输入对比试验，以了解在输入对称、规则波条件下模型的震陷规律。利用电磁激振的、较为经济的小型振动台来完成此试验。试验也进行了多次，现象类似，现仅对典型试验数据做分析。

3.2.1 输入及基底动应力分析

图 8 显示的是在小台台面实测的正弦波，其幅值约为 0.3 g，图 9 绘出了建筑物模型对称基底的动应力时程即 SS1 和 SS2 的记录，从局部放大的图中也可观察到两者间的反对称关系。与台大试验相似，激振持续到土层进入到液化状态时，建筑物与地基土之间的接触压力随之减小。

3.2.2 孔压分析

对应土层中部 SP3 的孔压曲线绘在图 10 当中，对称基底孔压计 SP1 和 SP2 的局部放大时程曲线绘在图 11 中。两者动态孔压间有着较明显的反对称关系。与台大试验不同的是，对称基底的孔压增长水平是大体相当的，没有明显差异，也就是说，在正弦波作用下，基底的液化或软化程度是较为同步的，基本上没有先后。这也预示着建筑物可能并不倾向任一方向，可能发生均匀震陷。

3.2.3 不均匀震陷分析

实测的 SD1 和 SD2 的震陷时程曲线几乎没有分开(见图 12)，也就是说，建筑物模型几乎没有发生不均匀震陷。

仍将输入波波特点、建筑物模型基底动应力、基底孔压和震陷结合在一起分析，因为输入的地震波波形是正弦波，没有台大试验中地震波的不对称

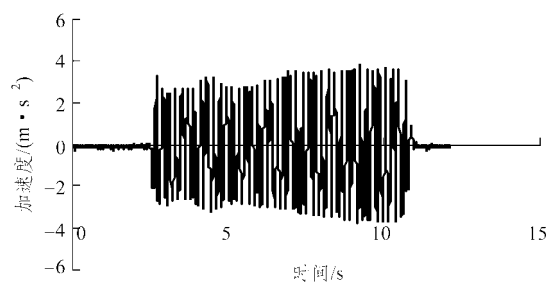
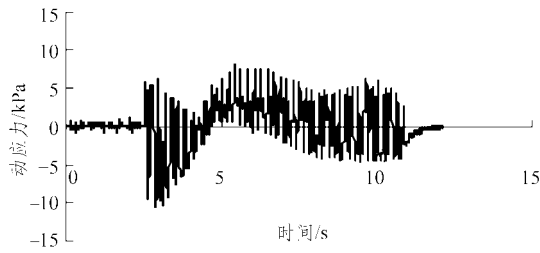
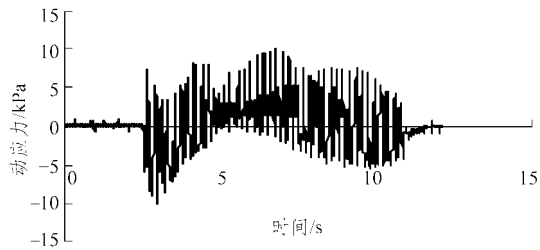


图 8 对比试验中的台面记录

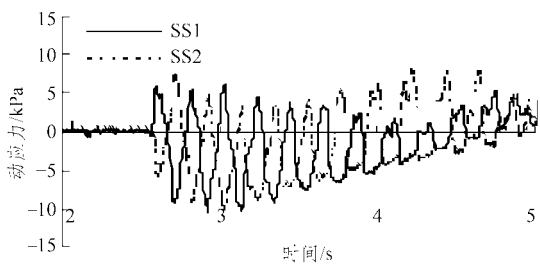
Fig.8 Records on the table in contradistinctive test



(a) SS1



(b) SS2



(a) SS1 和 SS2

图9 模型对称基底竖向动应力

Fig.9 Vertical dynamic stresses under symmetrical foundation of model

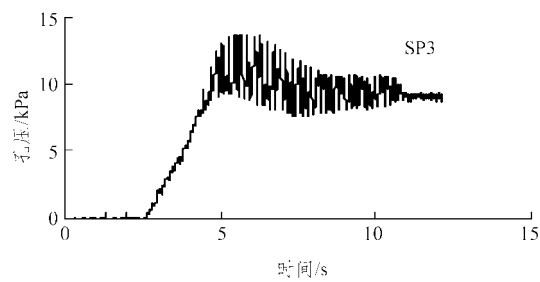


图10 地基土孔压曲线

Fig.10 Pore pressure curve of subsoil

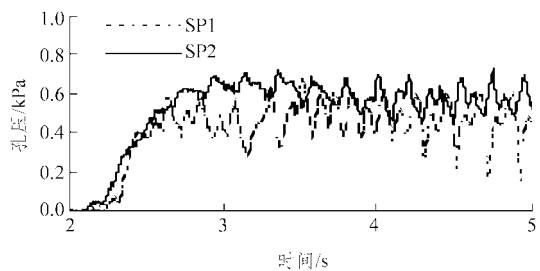


图11 对称基底孔压对比

Fig.11 Contrast of pore pressures under symmetrical foundation

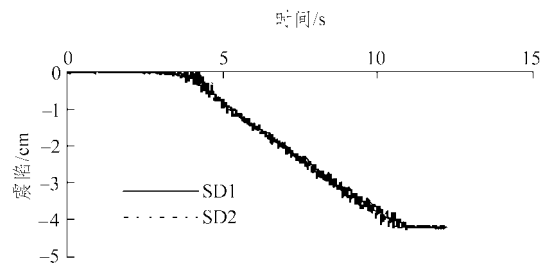


图12 震陷曲线

Fig.12 Curves of earthquake-induced settlement

性和不规则性，建筑物始终均衡摇摆，这种均衡摇摆会在建筑物对称基底产生几乎相等的竖向动压应力，从而使对称基底的孔压水平几乎没有差异并最终导致均匀震陷的发生。

通过对比试验可以从另一面印证前面提到的结论：在地基土分布均匀，建筑物荷载分配均衡的前提下，输入的地震动波形可能对不均匀震陷起控制作用。

4 结 语

通过建筑物与可液化地基相互作用的振动台试验，得到如下结论：

- (1) 当地震动以水平方向输入到土-结构体系当中时，建筑物对称基底的竖向动应力呈近似反对称形式；
- (2) 基底竖向动压应力对孔压增长起决定作用；
- (3) 建筑物对称基底的孔压水平有差异，会导致建筑物向孔压领先的方向倾斜；
- (4) 输入地震动波形对基底动压力形式、地基孔压水平乃至建筑物的倾斜方向有重要影响。当可液化地基水平均匀分布，建筑物荷载比较均衡时，输入正、负不对称的地震波可能导致不均匀震陷发生，而输入正弦波则建筑物可能发生均匀震陷。

所以在进行饱和砂土地上建筑物的抗震设计时，不但应考虑地震波的幅值和持时，对其波形特点(特别是大脉冲)也要予以关注，以加强抗震设计的针对性和可靠度。

参考文献(References)：

[1] 高玉峰,刘汉龙,朱 伟. 地震液化引起的地面大位移研究进展[J]. 岩土力学, 2000, 21(3) : 294-298.(Gao Yufeng, Liu Hanlong, Zhu

- Wei. Advances in large ground displacement induced by seismic liquefaction[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2000, 21(3): 294–298. (in Chinese))
- [2] 刘颖, 谢君斐. 砂土震动液化[M]. 北京: 地震出版社, 1984. (Liu Ying, Xie Junfei. *Shaking Liquefaction of Sand*[M]. Beijing: Earthquake Press, 1984. (in Chinese))
- [3] 陈国兴. 液化判别的可靠性及液化危险性分析[硕士学位论文][D]. 哈尔滨: 国家地震局工程力学研究所, 1988. (Chen Guoxing. *Reliability of estimating liquefaction and risk evaluation of liquefaction*[M. S. Thesis][D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, National Seismological Bureau, 1988. (in Chinese))
- [4] Seed H B, Martin P P, Lysmer J. Pore-water pressure changes during soil liquefaction[J]. *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, 1976, 102(9): 323–346.
- [5] Seed H B, Idriss I M, Lee K L. Dynamic analysis of the slide in the lower San Fernando dam during the earthquake of February 9, 1971[J]. *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, 1975, 101(9): 889–911.
- [6] 石兆吉, 张荣祥, 孙锐. 液化土层隔震和地基失效共同作用下多层砖房震害分析[J]. *自然灾害学报*, 1995, 4(1): 55–63. (Shi Zhaoji, Zhang Rongxiang, Sun Rui. *Seismic analysis of the multistory masonry building under interaction of the soil liquefaction* and seismic-isolation and the foundation failure[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1995, 4(1): 55–63. (in Chinese))
- [7] Meneses J, Ishihara K, Towhata I. Effects of superimposing cyclic shear stress on the undrained behavior of saturated sand under monotonic loading[J]. *Soils and Foundations*, 1998, 38(4): 115–127.
- [8] 刘汉龙, 周云东, 高玉峰. 砂土地震液化后大变形特性试验研究[J]. *岩土工程学报*, 2002, 24(2): 142–146. (Liu Hanlong, Zhou Yundong, Gao Yufeng. *Study on the behavior of large ground displacement of sand due to seismic liquefaction*[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, 24(2): 142–146. (in Chinese))
- [9] 石兆吉, 郁寿松, 翁鹿年. 塘沽新港地区震陷计算分析[J]. *土木工程学报*, 1988, 35(4): 24–33. (Shi Zhaoji, Yu Shousong, Weng Lunian. *Analysis for earthquake-induced settlement at Tanggu New Port area*[J]. *China Civil Engineering Journal*, 1988, 35(4): 24–33. (in Chinese))
- [10] 孟上九, 袁晓铭, 孙锐. 建筑物不均匀震陷机制的振动台实验研究[J]. *岩土工程学报*, 2002, 24(6): 747–751. (Meng Shangjiu, Yuan Xiaoming, Sun Rui. *Study on mechanism of earthquake-induced differential settlement of building by shaking table test*[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, 24(6): 747–751. (in Chinese))

欢迎申请湖北省环境岩土工程重点实验室开放课题

根据湖北省重点实验室管理办法, 中国科学院武汉岩土力学研究所湖北省环境岩土工程重点实验室面向国内外开放。该实验室主要从事岩土工程基础研究和应用基础研究, 现第三期开放课题的申请已开始, 截止日期为 2005 年 6 月 30 日。在实验室发布的开放课题指南范围内, 欢迎国内外具有博士学位或高级技术职称的科研工作者申请研究课题。申请者可按如下地址来信、来电索取课题申请书或从本所网址下载(www.whrsm.ac.cn)。

通信地址: 湖北省武汉市小洪山湖北省环境岩土工程重点实验室(中国科学院武汉岩土力学研究所)

邮 编: 430071

联系人: 喻小生 李海波

电 话: 027–87197970; 027–87198485

传 真: 027–87197970; 027–87197386

E-mail: xsyu@whrsm.ac.cn; hbli@whrsm.ac.cn