

土工袋基础减振隔震试验

刘斯宏¹, 王艳巧², 金远征¹

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:为减小突发性地震对建筑物的危害, 通常在建筑物基础中设减振隔震装置。提出土工袋基础减振隔震新方法, 进行土工袋水平剪切循环试验, 从水平刚度及等效阻尼比 2 个方面说明土工袋满足一般基础隔振体系需具有可变水平刚度的要求。在小型电动振动台上进行了土工袋和袋内填充物(天然河砂)的水平减振对比试验, 试验结果表明, 土工袋的减振效果优于天然河砂的减振效果, 且振动加速度越大, 减振效果越好。

关键词:土工袋; 基础隔震; 循环剪切试验; 振动台试验

中图分类号: TU472.3+4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2012)01-0087-04

Experimental study on vibration reduction and isolation of bases with soilbags/LIU Si-hong¹, WANG Yan-qiao², JIN Yuan-Zheng¹ (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: To minimize the seismic risk to structures, vibration reduction and isolation devices have been commonly employed in their bases. An economic and practical method for the vibration reduction and isolation of the bases is put forward by means of soilbags. Cyclic simple shear tests on the soilbags are carried out. The soilbags which satisfy the requirements of the general base isolation system with variable horizontal stiffness are illustrated from the two aspects of the horizontal stiffness and the equivalent damping ratio. Comparative tests on the horizontal vibration reduction of the soilbags and their fillings are performed by use of a small-scale shaking table, and the horizontal damping effects of the soilbags are validated.

Key words: soilbag; base isolation; cyclic simple shear test; shaking table test

在各种自然灾害中, 地震灾害可谓“群害之首”。过去的抗震方式是被动的, 主要通过想方设法让结构更结实从而使结构能“抗”得住地震。现在可以通过采用结构隔震和消能减振技术来隔绝或消耗地震能量, 即通过“减”震来保护房屋免遭大的损坏^[1-2]。然而, 目前国内外普遍采用的橡胶隔震支座、阻尼装置价格偏高, 难以在普通建筑尤其是城镇中低层房屋建筑基础中推广应用。近年来, 土工袋加固地基技术^[3-6]已开始应用于房屋地基、公路铁路路基、堤防、边坡加固及挡墙构筑等工程中。工程应用结果表明, 用土工袋加固地基不仅能提高地基的承载力, 而且具有良好的减振、消能效果。此外, 土工袋价格便宜, 施工简单, 不需特殊设备, 袋内填充物可以是各种各样的土(淤泥、砂石)或各种建筑废弃渣料, 可望成为一种经济实用的新型基础隔震材料。

本文在介绍土工袋基础减振隔震的原理的基础

上, 通过土工袋在不同竖向压力及剪应变下的水平剪切循环试验, 从土工袋水平刚度性能及等效阻尼比 2 个方面说明土工袋满足一般基础隔震体系的要求, 并进行了土工袋不同输入频率、不同振动加速度的振动台试验, 以验证土工袋的减振效果。

1 土工袋基础减振隔震原理

在建筑物与地基之间铺设一定厚度的土工袋垫层或土工袋桩不仅可以提高地基承载力, 而且具有良好的减振效果^[7-9]。按此原理设计出的土工袋组合体由土工袋墩形基础、土工袋条形基础、土工袋筏形基础和地坪构成(图 1), 即在建筑物柱的下方设置土工袋墩形基础, 在承重墙下方设置土工袋条形基础, 在建筑物整个基础面上设置土工袋筏形基础, 土工袋纵横交错逐层叠放, 土工袋之间的缝隙用场地开挖土填平, 每层土工袋用机械或人工夯实, 在筏

形基础的顶面浇筑混凝土或钢筋混凝土地坪。土工袋作为一种基础隔震材料,当地震发生时土工袋垫层能隔绝或消耗绝大部分地震能,工程结构只发生较轻微的运动和变形,垫层起到‘以柔克刚’的作用,从而保障建筑物的安全。

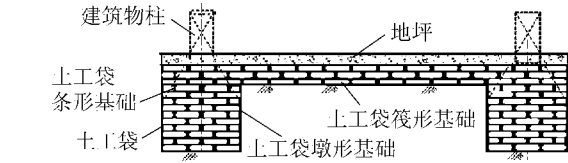


图 1 土工袋基础减振隔震示意图

2 土工袋循环剪切性能试验

为了达到明显的减振效果,土工袋组合体必须具有足够的等效阻尼比,即具有较强的消能能力,从而使上部结构的位移明显减小。此外,土工袋组合体还必须具有可变的水平刚度,即在强风或微小地震(荷载较小)时具有足够的初始水平刚度,使得上部结构水平位移极小,不影响正常使用;在中强地震(荷载较大)时,其水平刚度较小,上部结构水平滑动,刚性的抗震结构体系变为柔性的隔震结构体系,其自振周期大幅度延长,远大于上部结构的自振周期和场地特征周期,从而把地面震动有效隔开,明显降低上部结构的地震反应。对袋内充填物为天然河砂的土工袋进行了不同竖向压力及不同水平剪应变的反复荷载作用下的变形特性试验。

2.1 试验装置及工况

试验装置由压力控制系统、左右 2 个水平向张拉系统、反力架、竖向加载系统、量测系统及底部框架等组成。反力架通过螺栓与底部框架连接,左右 2 个张拉系统通过 4 根上下可调的螺杆固定于底部框架上。

采用聚丙烯(PP)为原材料的土工编织袋,袋内充填物为天然河砂,最大粒径为 5 mm,平均粒径为 0.4 mm。装入河砂后的土工袋尺寸为 40 cm×40 cm×8 cm。4 个土工袋竖直堆放在一起作为一个试样。试样置于反力架的底座上,在试样顶部设置一刚性加载板,通过油压千斤顶在其上分别施加 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa 和 300 kPa 的竖向压力。在某一竖向压力作用下,通过左右 2 个张拉系统以均匀的剪切速率进行水平向循环剪切,最大水平剪应变分别为 0.25%、0.5%、0.75% 和 1%。

2.2 试验结果

图 2 为竖向压力 $\sigma_v = 50$ kPa 及 100 kPa 作用下,最大水平剪应变 γ 分别为 0.5% 和 1% 时土工袋的应力-应变滞回曲线。由图 2 可见,在相同的竖向压

力作用下,最大水平剪切应变越大,滞回曲线越饱满,土工袋的等效阻尼比越大,消能效果越好;而在相同的最大水平剪应变情况下,施加的竖向压力越大,滞回曲线越不饱满,即滞回性能随着竖向压力的增大而降低。

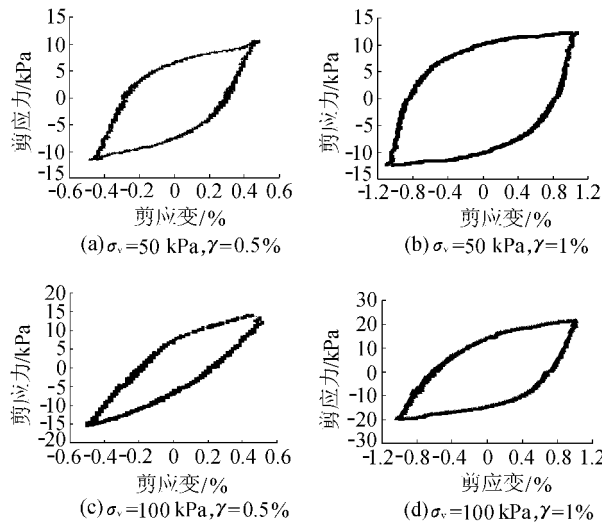


图 2 不同竖向压力及最大水平剪应变下土工袋应力-应变滞回曲线

根据应力-应变滞回曲线,可以用式(1)、式(2)分别计算得到剪切模量和等效阻尼比^[10]:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \tag{1}$$

$$h_{eq} = \frac{A_L}{\pi S_{\Delta abc}} \tag{2}$$

式中: τ , γ 分别为滞回圈中最大水平剪应力和剪应变; A_L 为滞回圈的面积; $S_{\Delta abc}$ 为 $\triangle abc$ 的面积。

图 3 为不同最大水平剪应变情况下土工袋等效阻尼比随竖向压力的变化。由图 3 可见,在相同的最大水平剪应变下,竖向压力越大,土工袋的等效阻尼比越小,但随着竖向压力的逐渐增大,这种减小趋势逐渐趋于缓慢,表明随着竖向压力的增大,土工袋的消能减振效果有所减小。图 4 为不同的竖向压力情况下土工袋等效阻尼比随最大水平剪应变的变化。由图 4 可见,在相同的竖向压力作用下,随着最大水平剪应变的增加,土工袋的等效阻尼比近似线性增大,说明水平方向剪切变形越大,土工袋的减振

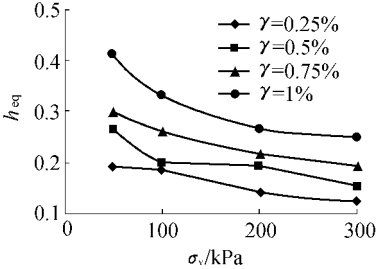


图 3 土工袋等效阻尼比随竖向压力的变化

效果越好。

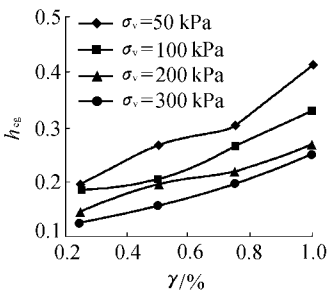


图4 土工袋等效阻尼比随最大水平剪应变的变化

图5为对应于不同循环最大水平剪应变时土工袋的水平刚度随上部竖向压力的变化。可见,在相同的最大水平剪应变情况下,上部竖向压力越大,土工袋的水平刚度越大,说明在上部竖向压力较小时土工袋的减振效果较好,在相同的竖向压力作用下,剪切变形较小时土工袋水平刚度较大,剪切变形较大时水平刚度较小,即土工袋具有可变的水平刚度,满足一般隔震支座需具有可变水平刚度的要求。

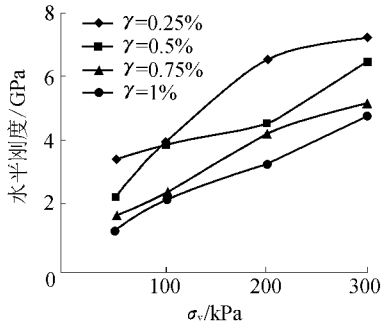


图5 土工袋水平刚度随竖向压力的变化

由以上试验结果可知,土工袋在各种不同竖向压力及水平剪应变情况下等效阻尼比均在0.1~0.4之间,非常接近于橡胶隔震材料的等效阻尼比($h_{eq}=0.1\sim0.3$)远大于混凝土结构与钢结构的等效阻尼比(混凝土结构与钢结构的 h_{eq} 分别为0.05和0.02),表明用土工袋加固地基可以起到与橡胶隔震材料相似的减振效果,且土工袋具有可变的水平刚度。

3 土工袋减振效果振动台试验

3.1 试验条件

为验证土工袋的减振效果,进行了袋内充填物为天然河砂的土工袋与天然河砂的振动台试验。振动台为DY-600-5型电动式,由信号发生器、功率放大器、激励电源、振动台体以及测量与控制系统5部分组成。

土工袋或天然河砂试样放置在一个 $0.7\text{ m}\times0.7\text{ m}\times0.4\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)的钢制模型箱内,并用螺栓固定于振动台台面上。为了减小模型箱侧壁对水平振动的约束,在模型箱四侧壁设置了10 mm厚的海绵垫,

同时在模型箱底部铺设了3 mm厚的聚氯乙烯泡沫板以防止波的反射干扰,并在泡沫板表面设置了1层砂纸,以减小土工袋与底板间的滑动。土工袋或天然河砂试样放入模型箱后,在其顶部加1个质量为50 kg的混凝土块以模拟实际建筑物的荷载。

图6为土工袋与天然河砂振动台试验的布置。试样分4层进行铺设,对于土工袋试样,每层放置4个,模型箱四周及土工袋之间的空隙均用天然河砂充填;天然河砂试样每层厚7 cm,每层进行击实整平。在振动台台面侧壁及顶部质量块上各布置1只加速度传感器。根据电动振动台的工作范围,对土工袋及天然河砂试样分别进行了不同输入频率(10 Hz、20 Hz、40 Hz、80 Hz和200 Hz)、不同振动加速度大小(0.2 g、0.4 g、0.5 g、0.6 g、0.8 g、1.0 g、1.5 g、2.0 g、2.5 g、3.0 g)的振动台试验。

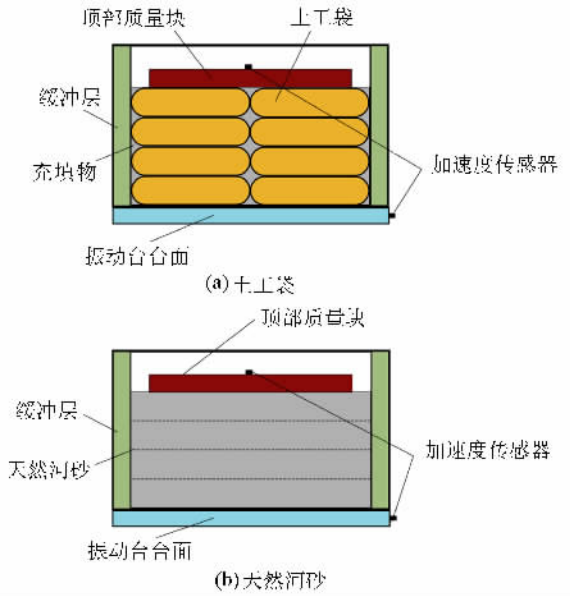


图6 土工袋与天然河砂振动台试验布置

3.2 试验结果

图7为振动台输入频率 f 分别为10 Hz、20 Hz、40 Hz、80 Hz和200 Hz时土工袋试样及天然河砂试样上部质量块响应加速度 $a_{\text{响应}}$ 与振动台台面输入加速度 $a_{\text{输入}}$ 的关系曲线。图中斜率 $k=1$ 的虚直线表示上部质量块响应加速度与振动台台面输入加速度相等。试验点位于虚直线下方表示水平向振动加速度衰减,位于虚直线上方则表示加速度放大。由图7可以看出:各种不同大小的振动台台面输入加速度下,土工袋试样的上部质量块响应加速度明显比天然河砂试样的小,即土工袋的减振效果明显优于天然河砂的减振效果,而且,振动台台面振动频率在10~80 Hz范围内时,天然河砂试样只有当台面振动加速度大于1 g时才有减振效果,而对于土工袋试样,当振动台台面振动频率为10 Hz时,台面振动加速

度大于 $0.7g$ 时开始有减振效果,当台面振动频率提高至 80Hz 时,开始有减振效果的台面振动加速度减小到 $0.2g$ 。当振动台台面振动频率为 200Hz 时,各种不同大小的振动台台面输入加速度经土工袋和天然河砂作用后上部质量块的响应加速度均有较大程度的衰减,即在高频情况下土工袋和天然河砂均有较好的水平减振效果。

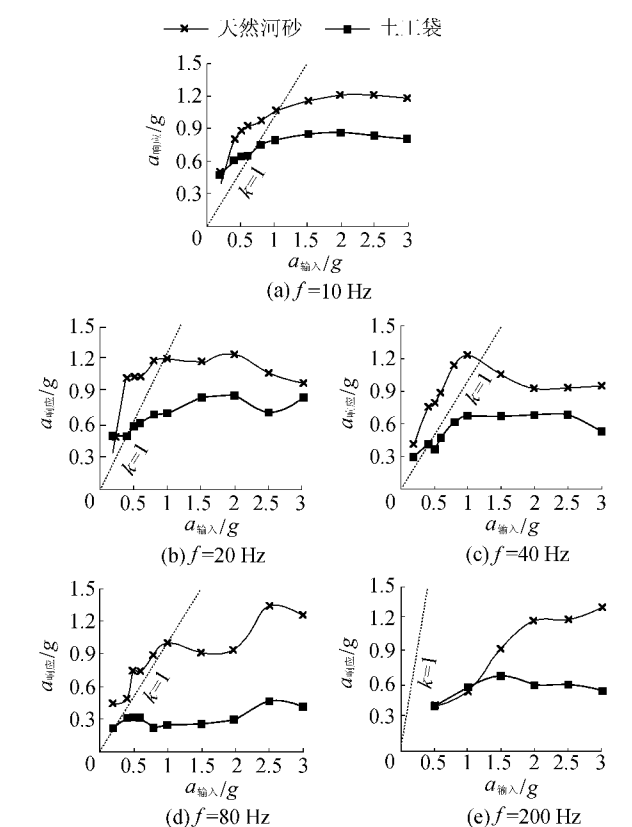


图7 上部质量块响应加速度与振动台台面输入加速度的关系曲线

4 结 论

- 土工袋具有与橡胶隔震材料相当的等效阻尼比,其值随着最大水平剪应变的增加而逐渐增大,随着上部竖向压力的增加而逐渐减小。
- 土工袋具有可变的水平刚度,变形较小时水平刚度较大,变形较大时水平刚度较小,满足一般隔震支座对水平刚度的要求。
- 土工袋的减振效果优于天然河砂的减振效果,且输入振动加速度越大,减振效果越好。

参考文献:

[1] 沈聚敏,周锡元,高小旺,等.抗震工程学[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.

[2] 周福霖.工程结构减振控制[M].北京:地震出版社,1997.

[3] MATSUOKA H, LIU Si-hong. A new earth reinforcement method using soilbag[M]. Balkema:Taylor & Francis, 2006:

55-61.

[4] 刘斯宏,汪易森.土工袋加固地基原理及其工程应用[J].岩土工程技术,2007,21(5):221-225.

[5] CHEN R H, CHIU Y H. Model tests of geocell retaining structures[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2008, 26(1): 56-70.

[6] 刘斯宏,松冈元.土工袋加固地基新技术[J].岩土力学,2007,28(8):1665-1670.

[7] MATSUOKA H, LIU Si-hong, HASEBE T, et al. Deformation-strength properties and design methods of soilbag assembly[J]. Doboku Gakkai Ronbunshu, 2004, 67:169-181.

[8] MATSUOKA H, MURAMATSU D, LIU Si-hong, et al. Reduction of environment ground vibration by soilbags[J]. Doboku Gakkai Ronbunshu, 2004, 67:235-245.

[9] 刘斯宏,汪易森.土工袋技术及其应用前景[J].水利学报,2007,38(增刊1):644-648.

[10] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].北京:中国水利水电出版社,1996.

(收稿日期:2011-11-03 编辑:骆超)

(上接第68页)

参考文献:

[1] 左东启.水力发电与环境生态[J].水利水电科技进展,2005,25(2):1-7.

[2] 黄海田,闵毅梅.将低碳经济理念引入水利行业的探讨[J].水利水电科技进展,2011,31(3):43-46.

[3] 钟平安,唐林,张梦然.水电站长期发电优化调度方案风险分析研究[J].水力发电学报,2011,30(1):39-43.

[4] 牛丽霞,管仪庆,葛捍东,等.生态环境需水量对芹山水电站发电效益的影响[J].水资源保护,2011,27(2):29-33.

[5] 张军良,马光文,陆涛.流域梯级水电站节能调度效益评价指标体系研究[J].华东电力,2009,37(5):812-815.

[6] 张安标.飞来峡水电站考核电量及增加发电量的措施[J].水力发电,2007,33(1):80-82.

[7] 刘招,黄强,燕爱玲,等.公伯峡水电站节水增发考核方法研究[J].西安理工大学学报,2006,22(4):399-402.

[8] 周雅亚,黄益芬.关于水电站水库经济调度考核计算办法的探讨[J].水力发电,1981,7(11):43-47.

[9] 吴东平.水电站运行参数和考核指标的改进建议[J].水力发电,2001,27(2):46-47.

[10] 曹广晶,蔡治国.水电站经济运行考核评估理论方法及其改进的初步研究[J].中国三峡建设,2008(11):16-23.

[11] 彭丽霞,于国良.应用水能利用提高率对水电厂进行考核管理的分析[J].黑龙江电力,2005,27(3):220-222.

[12] 赵永生,赵遵廉.水电厂水能利用提高率考核问题探讨[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(1):40-43.

[13] 白小勇,冉本银,李广辉.黄河上游梯级水电站群节水增发考核[J].水电自动化与大坝监测,2007,31(1):25-28.

(收稿日期:2011-06-22 编辑:骆超)