

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.03.008

土工袋挡土墙小型振动台试验

刘斯宏¹,李玲君²,张雨灼¹,徐小东¹,薛向华³

(1.河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098; 2.江苏省交通规划设计院股份有限公司,江苏 南京 210014;
3.河南省水利勘测设计研究有限公司,河南 郑州 450016)

摘要:通过小型振动台试验,研究了以天然河沙为填料的土工袋挡土墙在水平向不同振动加速度下的位移、动土压力以及水平加速度的分布规律,并与水平加筋土挡土墙和传统的刚性挡土墙进行了对比分析。结果表明,输入加速度不超过 0.3g 时,土工袋挡土墙位移变形比刚性挡土墙略大,但是随着输入加速度继续增大,刚性挡土墙发生整体滑移,以致倾覆破坏,而土工袋挡土墙依然稳定,显示出良好的抗震性能。水平加筋土挡土墙的位移一直大于土工袋挡土墙与刚性挡土墙,峰值出现在 1/2 倍墙高处,且随着输入加速度的增大,挡土墙中上部外凸变形越来越显著;土工袋挡土墙的动土压力系数与墙体位移相对应,沿墙高呈非线性分布,中上部较大、下部较小;土工袋挡土墙的加速度放大倍数随着输入加速度和墙高的增大而增大,均小于水平加筋土挡土墙与刚性挡土墙。同时,针对土工袋挡土墙的破坏失稳模式,对顶部进行加筋处理,可以进一步提高土工袋挡土墙的抗震性能。

关键词:土工袋;挡土墙;水平位移;加筋土挡土墙;动土压力;加速度放大倍数

中图分类号:TU476.4 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2015)03-0236-08

Small-scale shaking table tests on retaining wall constructed with soilbags

LIU Sihong¹, LI Lingjun², ZHANG Yuzhuo¹, XU Xiaodong¹, XUE Xianghua³

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210014, China;
3. Henan Water & Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: The distribution patterns of horizontal displacements, dynamic earth pressures, and horizontal accelerations of retaining walls constructed with soilbags filled with natural river sand under different horizontal vibration accelerations were investigated through small-scale shaking table tests, and they were compared with those of retaining walls reinforced with horizontal woven geotextiles and traditional rigid retaining walls under the same horizontal vibration accelerations. The results show that, when the input acceleration is not more than 0.3g, the displacement of the retaining wall constructed with soilbags is slightly larger than that of the rigid retaining wall. With the increase of the input acceleration, slippage of the entire rigid retaining wall occurs, and then overturning failure occurs, while the retaining wall constructed with soilbags can still remain stable, showing a good seismic performance. The displacement of the retaining wall reinforced with horizontal woven geotextiles, with a maximum value at half of the wall height, is always larger than those of the retaining wall constructed with soilbags and the rigid retaining wall, and the convex deformation of the upper part of the retaining wall reinforced with horizontal woven geotextiles is more significant with the increase of the input acceleration. Dynamic earth pressure coefficients of retaining walls show a nonlinear distribution along the wall height, with larger values in the upper part of retaining walls and smaller values in the lower part. With the increase of the input acceleration and wall height, the horizontal acceleration amplification ratio of the retaining wall constructed with soilbags increases, and is slightly lower than those of the retaining wall reinforced with horizontal woven geotextiles and the rigid retaining wall. According to failure and instability modes of retaining walls constructed with soilbags, the seismic performance of

收稿日期:2014-09-03

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51379066);江苏高校优势学科建设工程资助项目(YS11001)

作者简介:刘斯宏(1964—),男,浙江江山人,教授,主要从事土石坝、粒状体力学、地基加固等研究。E-mail: sihongliu@hhu.edu.cn

retaining walls constructed with soilbags can be improved greatly through reinforcement of some soilbags at top layers with geotextiles.

Key words: soilbag; retaining wall; horizontal displacement; retaining wall reinforced with woven geotextiles; dynamic earth pressure; acceleration amplification ratio

挡土墙作为防止土体坍塌的永久或临时性建筑物,广泛应用于土木建筑、水利水电、铁道桥梁交通、防御工程、水土保持和矿山坑道工程等建设中。目前,常见的挡土墙主要有两类:(a)以混凝土或浆砌石为主要材料的重力式、悬臂式等传统刚性挡土墙。这类挡土墙形式简单、施工方便,但由于是刚性的,在受到地震荷载作用时,墙体既不能转动,也不能产生相对墙后土体的位移,较易破坏^[1-2]。(b)采用土工合成材料的加筋土挡土墙。该类挡土墙具有一定的柔性和变形适应能力,在一定范围内可承受较大的地基变形,其良好的抗震性能在近几年多次大型地震中得到了较好的验证^[3]。

近年来,许多学者致力于加筋土挡土墙的研究,尤其是对加筋土挡土墙抗震性能的研究:El-Eman等^[4-5]、Ling等^[6-7]、杨果林等^[8]、李海深等^[9]、王祥等^[10]开展了一系列加筋土挡土墙振动台和离心模型试验,实测了振动作用下加筋土挡土墙的动力响应;刘华北等^[11]、程火焰等^[12]使用有限元方法,建立了数值模拟模型,从理论方面分析研究筋材的长度、性质、布置形式以及回填土的密实度和挡土墙尺寸等对加筋土挡土墙动力响应特性的影响。目前,加筋土技术日趋成熟,在工程建设中的应用日益广泛。

土工袋挡土墙作为一种新型的加筋土挡土墙结构,具有常规加筋土挡土墙的优势,即造价低、施工方便、地基适应性好,同时具有一定的柔性,在墙后土体压力作用下,墙体能够产生一定的变形,以有效减小墙后土体的压力,有利于挡土墙的稳定。然而土工袋挡土墙的应用尚属于起步尝试阶段,对其动力特性鲜有研究。一些学者^[13-24]对土工袋增强机理、工程特性等进行了研究,结果表明,土工袋利用袋子的张力提高袋内土体强度,对土体也是一种加筋,因此可以将土工袋直接应用于构筑挡土墙。目前,日本已有若干土工袋挡土墙的工程实例^[15],国内也有应用,如马石城课题组^[25-26]在湖南邵阳修建了一座5级袋装碎石重力式挡土墙(每级高4.5 m)。

本文通过小型振动台试验,研究土工袋挡土墙在水平向不同振动加速度下的位移、动土压力以及水平加速度的分布规律,与水平加筋土挡土墙和传统的刚性挡土墙进行对比分析。

1 试验概况

1.1 试验装置

试验在DY-600-5型电动式小型振动台上进行。振动台主要由信号发生器、功率放大器、激励电源、振动台体和测量与控制系统五部分组成,最大负载300 kg,驱动频率5~2 000 Hz,空载最大加速度490 m/s²,最大速度1 m/s,最大位移51 mm。采集系统选用东华测试DH5922系列的动态信号测试分析装置(16通道),系统不确定度≤0.3%,放大器频率响应范围0~100 kHz。

1.2 模型设计

试验采用的刚性模型箱内部尺寸为1.2 m×0.45 m×0.5 m(长×宽×高),由钢板、有机玻璃、角钢等焊接而成,底面用螺栓固定于振动台台面上,如图1所示。模型箱底面为5 mm厚的钢板,四面采用厚度为10 mm的钢化有机玻璃,以便观察挡土墙的破坏形式。模型箱底部铺设3 mm厚的聚氯乙烯泡沫板以防止波的反射干扰,并在泡沫板表面铺设一层砂纸以减小挡土墙与底板间的滑动;在与挡土墙相反的一端侧壁铺放10 mm厚的海绵垫,以减少边界条件对变形产生的影响;在模型箱长度方向两侧壁的内表面涂一层润滑硅脂,尔后覆盖一层塑料薄膜,可以减小模型箱两侧壁的摩擦影响。

土工袋挡土墙宽40 cm,高45 cm,由2种规格(20 cm×20 cm×4.5 cm和20 cm×10 cm×4.5 cm)的土工袋交错布置、垂直堆放而成(共10层)。土工编织袋原材料为聚丙烯(PP),其密度为70 g/m²,经、纬向拉力强度分别为11.6 kN/m与5.2 kN/m,经纬向伸长率小于25%。编织袋内土体与墙后填土均为某一天然河沙,其内摩擦角为35.4°,黏聚力为3.25 kPa,含水率(质量比)3.26%,最小干密度1.48 g/cm³,最大干密度1.82 g/cm³。

试验中采集的数据包括:挡土墙水平位移、动土压力、加速度,其量测仪器布置见图1(b)。具体为:

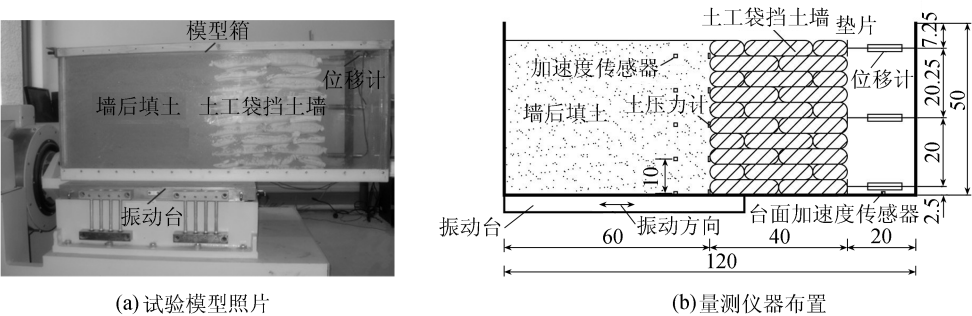


图1 振动台模型试验照片和量测仪器布置示意图(单位:cm)

Fig. 1 Photo of shaking table model test and sketch of measurement instrument layout (units: cm)

(a)沿挡土墙外侧高度方向布置3个拉线式位移计(精度为0.01 mm,最大量程25 mm)。(b)在土工袋挡土墙墙后沿高度布置5个应变式土压力计(直径为25 mm,高为8 mm,灵敏度2.0~1.0 mV/V,量程50 kPa),以测试水平土压力动态值。试验时用双面胶将土压力计竖直固定在土工袋的侧面,使得受力面保持竖直。(c)在墙后填土中沿高度布置5个DH201-100压阻式加速度传感器(电荷灵敏度为0.03~0.06 mV/ms²,安装谐振频率0~3 kHz,使用频率0~1.5 kHz,工作温度-20℃~80℃,质量约2 g,最大量程为1000 m/s²)。为减小测试误差,将加速度传感器用玻璃胶固定在一个方盒中,实现加速度传感器与周边土体协同运动。(d)在振动台台面固定1个加速度传感器以量测振动台输入加速度(振源加速度)。

1.3 装样过程

首先,在模型箱内构筑土工袋挡土墙(土工袋上下层交错排列,每铺设一层,用小型平板碾压实,保证压实度达95%以上,其对应的压实密度约为1.75 g/cm³);模型挡土墙完成后,采用与土工袋袋内填充材料相同的天然河沙进行墙后回填,分层填筑、分层压实。分层的高度与量测仪器(土压力计及加速度传感器)埋设高度一致,填土的压实密度为1.75 g/cm³。河沙填至挡土墙高度后,将位移计、土压力计和加速度传感器数据清零,以消除埋设过程的影响。

1.4 加载工况

地震时地面水平向运动加速度一般比竖直向大,而结构物通常抵抗竖向荷载的能力比抵抗侧向变形的能力强,因此,本文仅考虑水平向的振动作用。由于试验使用的小型电动振动台无法模拟实际的地震波,试验采用正弦波形,振动频率6 Hz,持时50 s,输入的峰值动加速度分别为0.1g、0.2g、0.3g和0.4g。

为了对比,同时进行相同条件下水平加筋土挡土墙与刚性挡土墙的振动台试验。水平加筋土挡土墙采用5块砌块式面板,设置5层拉筋,根据设计规范确定每层拉筋的长度,如图2所示。拉筋材料采用密度为160 g/m²的土工编织布,其经、纬向拉力强度分别为25.8 kN/m与16.2 kN/m,经纬向伸长率≤25%;刚性挡土墙的断面尺寸与土工袋挡土墙相同(长45 cm、宽40 cm、高45 cm),用同尺寸的木制箱内填天然河沙制作而成。

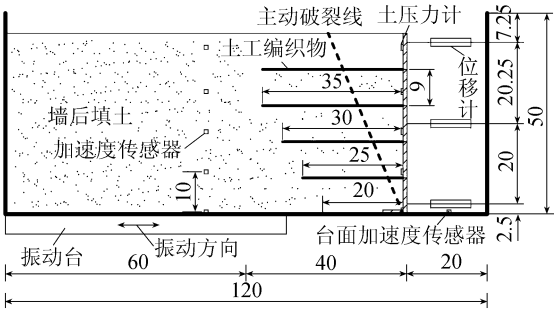


图2 水平加筋土挡土墙示意图(单位:cm)
Fig. 2 Sketch of retaining wall reinforced with horizontal woven geotextiles (units: cm)

2 试验结果分析

2.1 挡土墙水平位移

图3为不同输入加速度情况下3种挡土墙的水平位移沿墙高的分布。由图3可见,在水平振动下,刚性挡土墙和土工袋挡土墙的水平位移顶部大、底部小,类似于悬臂梁的水平晃动,而水平加筋土挡土墙水平位移总体上沿墙高呈非线性分布,在0.4~0.5倍墙高处最大。输入加速度小于0.2g时,3种挡土墙的水平位移均不超过1 mm,水平加筋土挡土墙略大;当输入加速度增大至0.3g时,3种挡土墙的水平位移开始增大,水平加筋土挡土墙中部位移达8.8 mm,比另外2种挡土墙大许多,而此时土工袋挡土墙的顶部位移仅为2.5 mm,刚性挡土墙的位移约为土工袋挡土墙的一半;当输入加速度达0.4g时,水平加筋土挡土墙中上部

外凸变形显著,中部水平位移最大,为 27 mm,顶部与底部变形也急剧增大至 24 mm。此时,刚性挡土墙出现整体滑移,墙顶发生较大的倾斜变形,顶部变形达 13 mm,中下部位移突增至 5 mm 左右,墙体接近丧失其功能;而土工袋挡土墙的底部位移不足 1 mm,位移变形主要集中于中上部,墙体顶部变形约 9 mm,仅为水平加筋土挡土墙的 1/3,顶部的土工袋开始滑落,但是并未出现整体倒塌破坏,仍然维持稳定。与另外 2 种挡土墙相比,土工袋挡土墙能够依靠土工袋的变形特性,有效减小侧向土压力,通过袋体间的摩擦和自重防止滑动和倾覆,大大增加了挡土墙的安全性,抗震效果更显著。

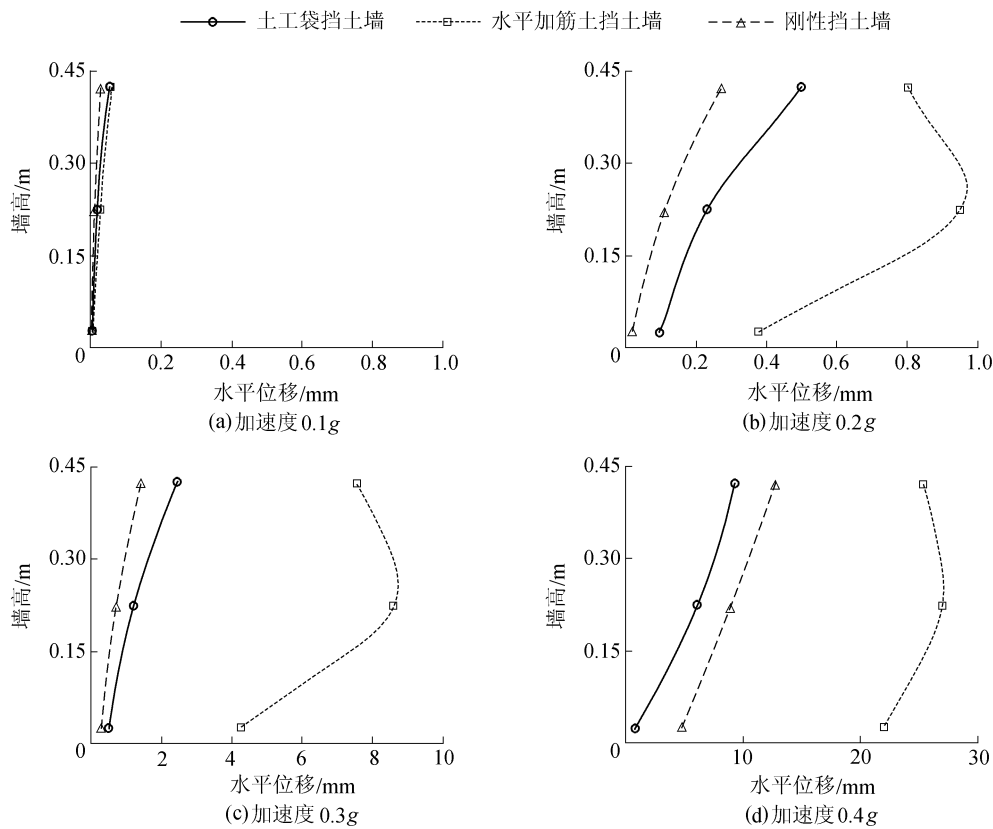


图 3 不同输入加速度下挡土墙外侧水平位移沿墙高的分布

Fig. 3 Distribution of horizontal displacements of retaining walls along wall height under different input accelerations

2.2 动土压力系数

挡土墙在地震力作用下发生背离墙后填土方向的位移,此时挡土墙所受土压力将减小。试验开始前先将土压力计测量值进行归零处理,则试验中测得的土压力值为振动引起的土压力值的增量,称作动土压力。动土压力值与挡土墙的变形及测点在挡土墙内的埋深有关,为了更好地说明动土压力沿墙高的变化,定义动土压力值与该测点静土压力的比值为动土压力系数。

图 4 为不同输入加速度情况下 3 种挡土墙的动土压力系数沿墙高的分布,其墙后土体动土压力系数分布及其变化与墙体位移相对应,沿墙高呈非线性分布。挡土墙上部由于位移较大,动土压力系数相应较大,挡土墙下部位移较小,动土压力系数增长较慢。当输入加速度不大于 0.2g 时,水平加筋土挡土墙的位移比土工袋挡土墙和刚性挡土墙略大,其动土压力系数也相应较大,但三者的差距不明显;当输入加速度增大至 0.3g 时,由于挡土墙的位移开始增大,动土压力系数也随之增大;当输入加速度达 0.4g 时,水平加筋土挡土墙的中上部外凸变形最显著,水平位移几乎是另外 2 种挡土墙的 3 倍,其动土压力系数相应最大,中上部达 0.9、底部达 0.35。此时刚性挡土墙的动土压力系数超过了土工袋挡土墙,刚性挡土墙底部、顶部动土压力系数分别达到 0.23 与 0.8,而土工袋挡土墙底部、顶部动土压力系数分别为 0.14 与 0.65,这是因为刚性挡土墙出现了整体滑移,其位移超过了土工袋挡土墙,而土工袋挡土墙的位移模式仍为底部小、顶部大,没有出现整体破坏的趋势。

2.3 加速度放大倍数

图5为不同输入加速度情况下的加速度放大倍数,即各高程测点振动加速度最大值相对于输入加速度

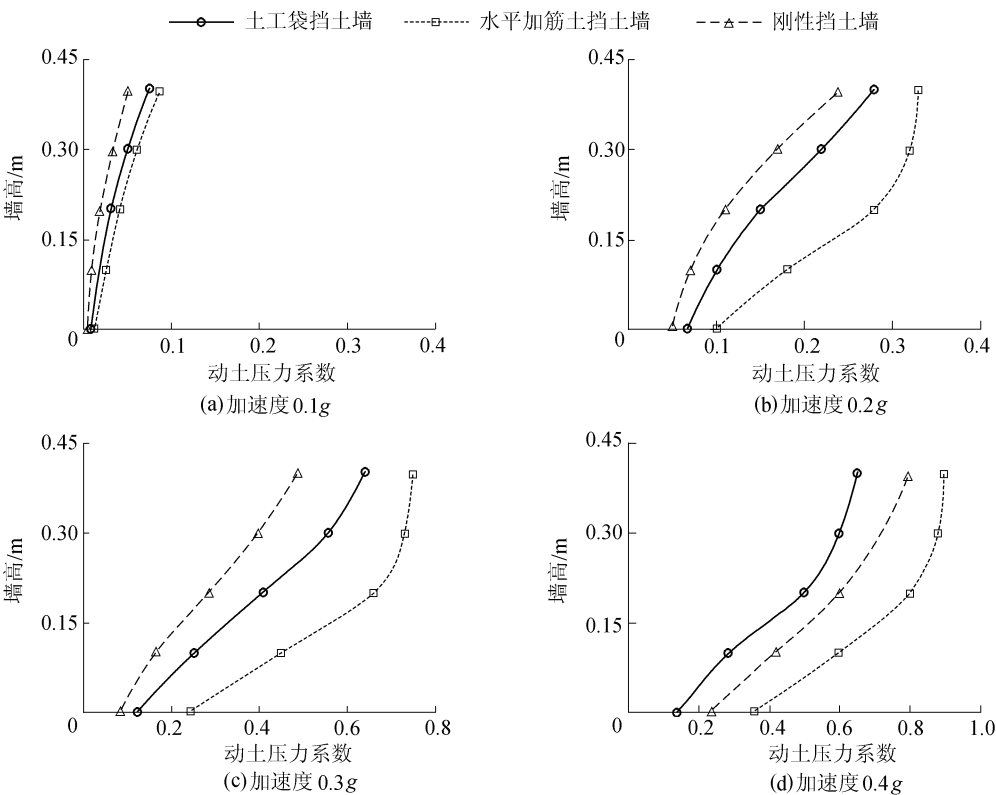


图4 不同输入加速度下动土压力系数沿墙高的分布

Fig. 4 Distribution of dynamic earth pressure coefficients along wall height under different input accelerations

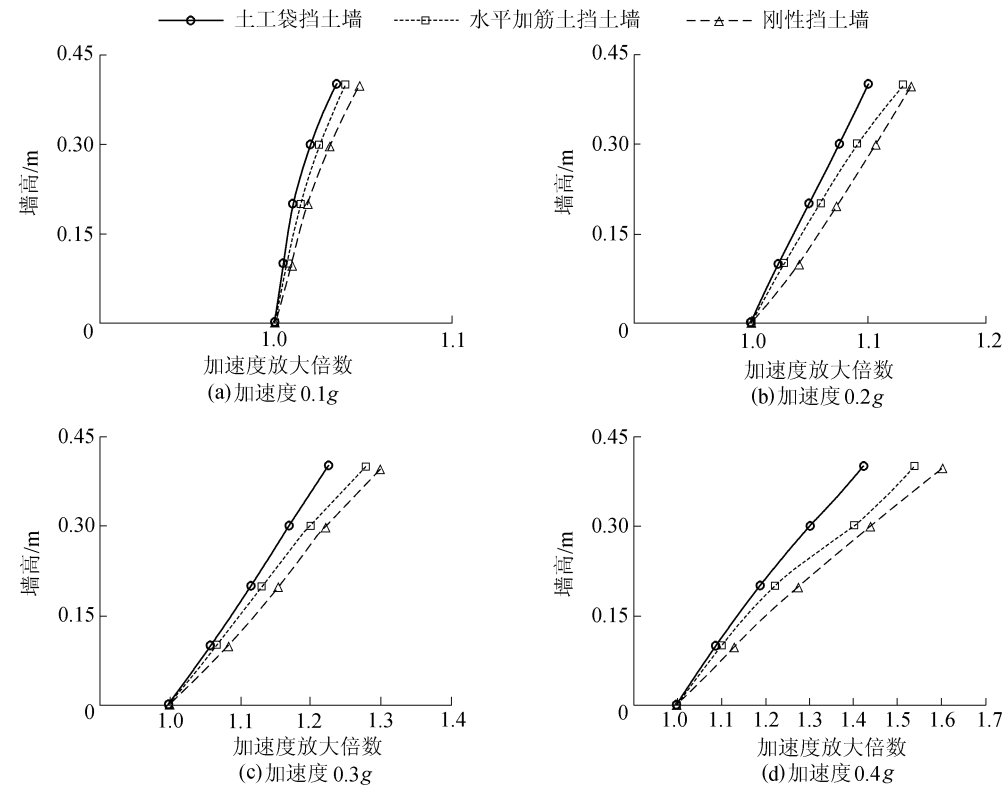


图5 不同输入加速度下加速度放大倍数沿墙高的分布

Fig. 5 Distribution of acceleration amplification ratios along wall height under different input accelerations

的比值。由图5可知:(a)加速度放大倍数均随着墙高和输入加速度的增大而增大;(b)3种挡土墙对输入加速度有不同程度的放大效应,刚性挡土墙的加速度放大倍数更大。输入加速度不大于0.2g时,3种挡土

墙加速度放大倍数均较小,差距不明显;当输入加速度增大至 $0.3g$ 时,3种挡土墙的加速度放大倍数差距开始明显,以刚性挡土墙最大,水平加筋土挡土墙和土工袋挡土墙顶部加速度放大倍数分别增大至 1.28 和 1.20 ;当输入加速度达 $0.4g$ 时,刚性挡土墙的加速度放大倍数顶部达 1.6 ,而土工袋挡土墙顶部为 1.4 ,其原因为刚性挡土墙不具备变形协调能力,加速度沿墙高近似线性放大,而柔性挡土墙可以通过自身的变形使加速度放大过程有所衰减。

2.4 试验结果分析

试验结果表明:对于相同断面面积的挡土墙,在不同输入加速度情况下,土工袋挡土墙的抗震性能优于刚性挡土墙。但是,实际工程中刚性挡土墙的断面不可能很大,为此,将刚性挡土墙断面缩小为土工袋挡土墙的一半,即尺寸为 $45\text{ cm}\times 20\text{ cm}\times 45\text{ cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),简称为小刚性挡土墙,进行相同条件下的振动台试验。试验中,当输入加速度为 $0.3g$ 时,小刚性挡土墙的墙体已经发生了明显的大幅度滑移,整体倾覆倒塌,其墙体水平位移如图6所示,而此时土工袋挡土墙与刚性挡土墙的位移变形不足 1 mm ,表明小刚性挡土墙的抗震性能远远不如土工袋挡土墙。

因此,土工袋挡土墙作为柔性结构,当遭遇强烈地震时,具有良好的变形能力和消耗地震能量的能力,即使发生破坏,主要是顶部土工袋的剥落,不会像刚性挡土墙出现整体倒塌的现象,仍然能维持整体稳定,具有较好的抗震性能。

3 土工袋挡土墙结构的改进

试验过程中发现,在水平振动作用下土工袋挡土墙顶部土工袋易剥落。为了提高顶部土工袋的整体稳定性,考虑对挡土墙顶部进行加筋处理,用土工编织布反包顶部3层土工袋,如图7所示。土工编织布的密度为 160 g/m^2 ,经、纬向拉力强度分别为 25.8 kN/m 与 16.2 kN/m ,经纬向伸长率 $\leq 25\%$ 。

对顶部加筋后的土工袋挡土墙同样进行不同输入加速度情况下的振动试验。图8比较了输入加速度为 $0.3g$ 及 $0.4g$ 情况下,顶部加筋与未加筋的土工袋挡土墙水平

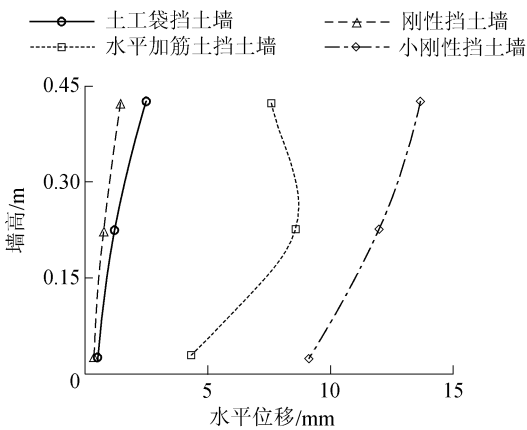


图6 4种挡土墙水平位移沿墙高的分布

Fig. 6 Distribution of horizontal displacements of four retaining walls along wall height

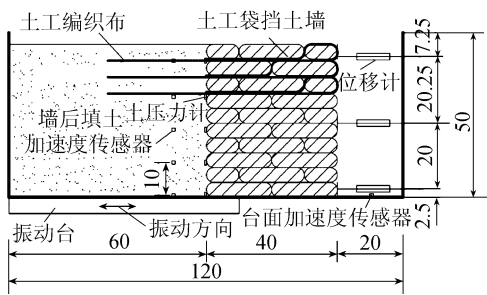


图7 顶部加筋的土工袋挡土墙示意图(单位:cm)

Fig. 7 Sketch of retaining wall constructed with soilbags reinforced with geotextiles on top of wall (units:cm)

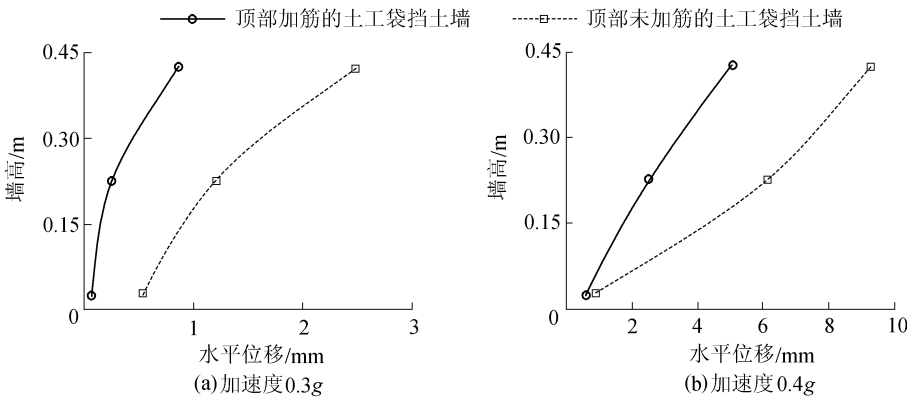


图8 顶部土工袋反包处理与未处理挡土墙水平位移沿墙高的分布比较

Fig. 8 Comparison of horizontal displacement distributions along wall height between retaining wall constructed with soilbags with and without reinforcement on top of wall

位移沿墙高的分布。由图8可以看出,顶部加筋后,土工袋挡土墙的顶部水平位移减小了40%左右。当输入加速度为 $0.3g$ 时,其顶部水平位移不足1 mm,而顶部未加筋的土工袋挡土墙的顶部位移达2.5 mm;当输入加速度为 $0.4g$ 时,未加筋的土工袋挡土墙墙顶处水平位移高达10 mm左右,并出现局部倒塌,而加筋的土工袋挡土墙墙顶水平位移只有5 mm,仍维持稳定。与位移变形相对应,不同输入加速度情况下,顶部土工袋经过反包处理后,土工袋挡土墙动土压力系数与加速度放大倍数也明显减小,且其减小的幅度随着输入加速度的增大而增大。因此,使用土工编织布对挡土墙顶部土工袋进行反包处理,土工袋挡土墙的抗震性能得到明显的提高。

4 结 语

采用小型电动振动台进行不同输入加速度情况下土工袋挡土墙模型的振动试验,从墙体水平位移、动土压力系数以及加速度放大倍数3个方面研究了土工袋挡土墙的抗震性能,并与水平加筋土挡土墙及刚性挡土墙进行对比。试验结果表明:

a. 当输入加速度不大于 $0.3g$ 时,水平加筋土挡土墙的位移大于土工袋挡土墙和刚性挡土墙,峰值出现在 $1/2$ 墙高处,而土工袋挡土墙的水平位移略大于刚性挡土墙;当输入加速度达到 $0.4g$ 时,水平加筋土挡土墙中部面板出现明显的外凸变形,顶部与底部位移急剧增大,此时刚性挡土墙发生大幅度的整体滑移,墙顶发生较大的倾斜变形,其水平位移超过了土工袋挡土墙,此时土工袋挡土墙顶部土工袋虽有剥落,但并未出现整体倒塌,仍然能维持稳定。

b. 动土压力系数分布及其变化与墙体位移相对应,沿墙高呈非线性分布,挡土墙上部较大,下部较小。

c. 挡土墙的加速度放大倍数随输入加速度和墙高的增大而增大,以刚性挡土墙的加速度放大倍数最大,水平加筋土挡土墙次之,土工袋挡土墙最小。因此,土工袋挡土墙作为柔性结构,其抗震性能优于水平加筋土挡土墙和传统的刚性挡土墙。

d. 采用土工合成材料对土工袋挡土墙顶部土工袋进行反包处理,能够解决土工袋挡土墙在振动过程中顶部土工袋易剥落的问题,可明显提高土工袋挡土墙的抗震性能。

需要指出的是,本文进行的是小模型试验,输入的振动仅为正弦波,并未考虑实际的地震波形,因此试验反映的仅为一些定性规律。土工袋挡土墙的动力响应是一个十分复杂的问题,其动力响应特征和变化规律还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] 张建经,韩鹏飞. 重力式挡墙基于位移的抗震设计方法研究;大型振动台模型试验研究[J]. 岩土工程学报,2012,34(3):416-423. (ZHANG Jianjing, HAN Pengfei. Displacement-based aseismic design method for gravity retaining walls-Large scale shaking table tests[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2012,34(3):416-423. (in Chinese))
- [2] 朱宏伟,姚令侃,蒋良淮. 考虑变形影响的重力式挡墙地震土压力分布[J]. 岩土工程学报,2013,35(6):1035-1044. (ZHU Hongwei, YAO Lingkan, JIANG Liangwei. Distribution of seismic earth pressure on gravity retaining walls considering influence of deformation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2013,35(6):1035-1044. (in Chinese))
- [3] TATSUOTA F, TATEYAMA M, KOSEKI J. Behavior of geogrid-reinforced soil retaining walls during the Great Habbishin-Awaji Earthquake [C]//Proceedings of 1st International Symposium on Geotechnical Earthquake Engineering. Tokyo: A A Balkema Publishers,1995:55-60.
- [4] EL-EMAN M M, BATHURST R J. Experimental design, instrumentation and interpretation of reinforced soil wall response using a shaking table [J]. International Journal of Physical Modelling in Geotechnics,2004,4(4):13-32.
- [5] EL-EMAN M M, BATHURST R J. Influence of reinforcement parameters on the seismic response of reduced-scale reinforced soil retaining walls [J]. Geotextiles and Geomembranes,2007,25(1):33-49.
- [6] LING H I, LIU H, MOHRI Y. Parametric studies on the behavior of reinforced soil retaining walls under earthquake loading [J]. Journal of Engineering Mechanics, ASCE,2005,131(10):1056-1065.
- [7] LING H I, MOHRI Y, LESHCHINSKY D, et al. Large-scale shaking table tests on modular-block reinforced-soil retaining walls [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE,2005,131(4):465-476.
- [8] 杨果林,李海深,王永和. 加筋土挡墙动力特性模型试验与动力分析[J]. 土木工程学报,2003,36(6):105-110. (YANG Guolin, LI Haishen, WANG Yonghe. Model test on reinforced earth retaining wall under cyclic loading [J]. China Civil Engineering Journal,2003,36(6):105-110. (in Chinese))

- [9] 李海深,杨果林,邹银生. 加筋土挡土墙动力特性分析[J]. 中国公路学报,2004,17(2):28-32. (LI Haishen, YANG Guolin, ZOU Yinsheng. Analysis of dynamic character of reinforced earth retaining wall[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(2): 28-32. (in Chinese))
- [10] 王祥,周顺华,顾湘生,等. 路堤式加筋土挡墙的试验研究[J]. 土木工程学报,2005,38(10):119-128. (WANG Xiang, ZHOU Shunhua, GU Xiangsheng, et al. An experimental study on the reinforced retaining wall for embankment[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(10): 119-128. (in Chinese))
- [11] 刘华北. 水平与竖向地震作用下土工格栅加筋土挡墙动力分析[J]. 岩土工程学报,2006,28(5):594-599. (LIU Huabei. Analysis on seismic behavior of geogrid-reinforced retaining wall subjected to horizontal and vertical excitations[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(5): 594-599. (in Chinese))
- [12] 程火焰,周亦唐,钟国强. 加筋土挡土墙地震动力特性研究[J]. 公路交通科技,2004,21(9):16-20. (CHENG Huoyan, ZHOU Yitang, ZHONG Guoqiang. Study on the seismic properties of the reinforced soil retaining wall[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(9): 16-20. (in Chinese))
- [13] MATSUOKA H, LIU Sihong. A new earth reinforcement method using soilbags [M]. London: Taylor & Francis Group, 2006.
- [14] 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. (LIU Sihong, MATSUOKA H. A new earth reinforcement method by soilbags [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(8): 1665-1670. (in Chinese))
- [15] 刘斯宏,汪易森. 土工袋技术及其应用前景[J]. 水利学报,2007(增刊1):644-648. (LIU Sihong, WANG Yisen. Reinforcement mechanism of soilbags and its applications [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007 (Supl): 644-648. (in Chinese))
- [16] 刘斯宏,白福青,汪易森. 膨胀土土工袋浸水变形及强度特性试验研究[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(6):54-58. (LIU Sihong, BAI Fuqing, WANG Yisen. Experimental study on wetting induced deformation and strength characteristics of soilbag filled with expansive soil [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(6): 54-58. (in Chinese))
- [17] 刘斯宏,汪易森. 岩土新技术在南水北调工程中的应用研究[J]. 水利水电技术,2009,40(8):61-66. (LIU Sihong, WANG Yisen. Application of new geotechnologies to South-to-North Water Diversion Project [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(8): 61-66. (in Chinese))
- [18] 王艳巧,刘斯宏,林圣德,等. 土工袋减振效果振动台试验研究[J]. 水电能源科学,2011,29(9):100-102. (WANG Yanqiao, LIU Sihong, LIN Shengde, et al. Vibrating platform test study of vibration reduction effect of soilbag [J]. Water Resources and Power, 2011, 29(9): 100-102. (in Chinese))
- [19] 刘斯宏,王柳江,李卓. 土工袋加固软土地基现场荷载试验的数值模拟[J]. 水利水电科技进展,2012,32(1):78-82. (LIU Sihong, WANG Liujiang, LI Zhuo. Numerical simulation of in-situ loading tests on a soilbag-reinforced soft foundation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(1): 78-82. (in Chinese))
- [20] 刘斯宏,王艳巧,金远征. 土工袋基础减隔震试验[J]. 水利水电科技进展,2012,32(1):87-90. (LIU Sihong, WANG Yanqiao, JIN Yuanzheng. Experimental study on vibration reduction and isolation of bases with soilbag [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(1): 87-90. (in Chinese))
- [21] 高军军,刘斯宏,王柳江. 竖向荷载作用下土工袋的有限元数值模拟[J]. 河海大学学报:自然科学版,2014,42(6):524-528. (GAO Junjun, LIU Sihong, WANG Liujiang. Numerical simulation of a soilbag under vertical loads by FEM [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2014, 42(6): 524-528. (in Chinese))
- [22] 刘斯宏,蒋亚清. 围垦筑堤新材料与新工艺研发与应用[J]. 水利经济,2012,30(3):35-39. (LIU Sihong, JIANG Yaqing. Development and application of new materials and construction technology for reclamation embankments [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3): 35-39. (in Chinese))
- [23] 王珊,刘斯宏. 土工袋处理膨胀土渠坡的压坡效果[J]. 水利水电科技进展,2012,32(增刊1):26-28. (WANG Shan, LIU Sihong. Analysis of expansive soil slope dealt with soilbags [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(Sup1): 26-28. (in Chinese))
- [24] 薛向华,刘斯宏,张奕泽. 土工袋柔性挡土墙土压力试验[J]. 水利水电科技进展,2012,32(增刊1):29-30. (XUE Xianghua, LIU Sihong, ZHANG Yize. Model test on a retaining wall constructed with soilbags [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(Sup1): 29-30. (in Chinese))
- [25] 马石城,张勋武,李锋. 袋装水泥土材料的力学性能试验研究[J]. 湘潭大学自然科学学报,2007,29(3):97-102. (MA Shicheng, ZHANG Xunwu, LI Feng. Experimental study of mechanical properties of sacked cemented-soil [J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 2007, 29(3): 97-102. (in Chinese))
- [26] 孙见松. 一种袋装碎石重力式挡土墙的设计理论与应用研究[D]. 长沙:湘潭大学,2011.