

文章编号:1001-7372(2015)03-0028-07

# 地震作用下土工格栅加筋土挡墙 水平变形的拟静力计算法

王丽艳<sup>1,2</sup>, 陈国兴<sup>2</sup>, 井合进<sup>3</sup>

(1. 江苏科技大学 土木工程与建筑学院, 江苏 镇江 212003; 2. 南京工业大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 210009; 3. 京都大学 防灾研究所, 京都 宇治 611-0011)

**摘要:**为了研究加筋土结构地震水平变形的理论计算方法, 将加筋土挡墙结构等效成水平向同性的竖直弹性梁, 根据瑞利-里兹法推导出静力作用下加筋土挡墙水平位移计算法, 在此基础上利用拟静力法推导出地震作用下加筋土挡墙的地震水平变形理论计算公式; 并采用工程案例和大型振动台模型试验的测试值验证理论计算方法的合理性。案例和试验模型的比较结果表明: 推导出的理论计算方法可以合理地计算出土工格栅加筋土挡墙的地震水平变形, 可为土工格栅加筋墙体工程的抗震安全设计提供理论依据。

**关键词:**道路工程; 土工格栅加筋土挡墙; 瑞利-里兹法; 拟静力法; 水平变形; 地震

**中图分类号:** U417.11      **文献标志码:** A

## Pseudo-static Method for Horizontal Deformation of Geo-grid Reinforced Soil Retaining Wall Under Earthquake

WANG Li-yan<sup>1,2</sup>, CHEN Guo-xing<sup>2</sup>, IAI S<sup>3</sup>

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, Jiangsu, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, Jiangsu, China; 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Uji 611-0011, Kyoto, Japan)

**Abstract:** In order to study the theoretical calculation method for horizontal deformation of reinforced soil structure, a geo-grid reinforced soil retaining wall was assumed as an isotropic vertical elastic beam and the calculation method for horizontal displacement of reinforced soil retaining wall was deduced by Rayleigh-Ritz method under static conditions. Then, based on the method, a pseudo-static calculation method for horizontal displacement of reinforced soil retaining wall was deduced under earthquake. Finally, a project case of a geo-grid reinforced soil retaining wall and a shaking table test model were used to verify the reasonability of the theoretical calculation method. The results show that the deduced calculation method can rationally calculate the seismic horizontal deformation of geo-grid reinforced soil retaining wall. Therefore, the deduced calculation method can provide a theoretical reference for seismic safe design of geo-grid reinforced soil retaining wall.

**Key words:** road engineering; geo-grid reinforced soil retaining wall; Rayleigh-Ritz method;

收稿日期: 2014-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51109099)

作者简介: 王丽艳(1980-), 女, 江苏盐城人, 江苏科技大学副教授, 工学博士, E-mail: wly\_yzu@163.com。

pseudo-static method; horizontal deformation; earthquake

## 0 引言

与重力式挡土结构相比,土工格栅加筋土挡墙是一种柔性挡土结构物,它在地震中会产生较大的变形。加筋土挡墙的水平变形必须要严格控制且变形应在允许的范围之内,一方面其变形大小不影响结构的正常使用,另一方面确保结构的整体不致失稳。加筋结构所具备的柔软性使其优异的抗震吸能能力在近年来几次大规模地震如汶川大地震、台湾集集大地震、日本神户大地震、洛杉矶大地震中获得验证以及肯定,并蔚为学术研究主流。有关此挡墙的动态设计与行为反应引起全球岩土工程学术研究界的广泛讨论<sup>[1]</sup>,如对汶川地震震区路基震害进行调查,发现强震作用下绝大多数未加筋路堤为浅表层边坡坍塌破坏,而土工格栅加筋路堤震害程度轻微得多<sup>[2]</sup>。由于筋土相互作用机理较复杂,材料特性各向异性,如何研究土工格栅加筋土挡墙的变形是加筋土结构理论研究的重要内容之一。

关于土工格栅加筋土挡墙变形的研究成果有:杨明等<sup>[3]</sup>以前人加筋土挡墙动力试验为依据,将 Newmark 滑块模型引入加筋土挡墙的抗震分析中,用极限分析上限法推导出加筋土挡墙屈服加速度的解析表达式,并利用可变误差多面体法进行求解;杨广庆等<sup>[4]</sup>将加筋土挡墙墙体等效成各向异性的弹性体,并视为  $L$  宽度的悬臂梁,当受到墙背水平土压力三角形荷载作用时,分别计算纯弯曲和纯剪切 2 种情况下的静力状态的水平位移;高江平等<sup>[5-6]</sup>通过对加筋土模型挡墙加载破坏现象的观察和破坏后裂缝的逐层剖析,提出了具有上覆荷载的加筋土结构应存在 2 组潜在的滑动破裂面,以及通过对网状及条带式加筋土挡墙大型模型试验墙面位移的测试分析,研究了超载作用下网状与条带式加筋土挡墙墙面位移的分布形式;雷胜友等<sup>[7-8]</sup>在离心机上进行双面加筋土高挡墙模型试验,得出对于填土的压实系数为 0.90 的情况,无论设置错台与否,模拟的挡墙的最大直立高度可达 62.5 m,以及为了合理计算加筋土挡墙的土压力,分析了加筋土挡墙施工过程中墙后填料的填筑和碾压次序与填料的压实度,通过建立墙面板内侧一定范围内填料变形体微单元的静力平衡方程,导出了墙面板土压力表达式;刘萌成等<sup>[9]</sup>为了给桥台后(台背)加筋回填的设计与施工提供参考,通过拔出破坏条件下加筋土单元力学分析,

研究了加筋回填的强度参数换算和简化模拟方法,同时,基于已有的台背回填沉降研究成果,研究了台背加筋回填的设计指标与标准以及设计算法与流程;吕鹏等<sup>[10]</sup>通过采用有限元数值方法,分析了不同工程因素对包裹式土工格栅加筋土挡墙面板处工后水平位移的影响;程亚男等<sup>[11]</sup>研究加筋土坡在地震惯性力影响下的稳定问题,采用拟动力的方法表示作用在土坡滑动体上的水平与竖直地震惯性力,通过公式推导,设置算例研究土坡坡角、土体内摩擦角、地震加速度系数等因素对加筋效果的影响;Ahmad 等<sup>[12]</sup>采用了考虑水平条分法的极限平衡分析方法推导了滨水区的加筋土挡墙同时受地震荷载和动水压力作用下的地震设计简单方法;Hattamleh 等<sup>[13]</sup>采用薄膜法的相似理论估计土工布加筋挡土墙的静力变形,加筋土工布的整个变形采用了 Bourdeau 方程,用有限差分法求解方程,并与日本的 PWRI 研究所做的足尺试验结果进行了对比。

由此可见,目前关于格栅加筋土墙体地震变形特性的研究文献甚少。鉴于此,本文主要针对对刚性面板的加筋土挡墙,在文献[4]建立模型思路的基础上,根据瑞利-里兹法推导出静力作用下加筋土挡墙水平位移的计算公式,并在此基础上,利用拟静力法推导出地震动力作用下加筋土挡墙的残余位移的计算公式,最后采用工程案例和振动台试验模型验算计算方法的合理性与可行性。

## 1 静力水平变形计算方法

### 1.1 弯曲悬臂梁水平变形计算

将加筋土挡墙墙体等效成水平向同性的弹性体,视为宽度为  $L$  的悬臂梁,墙背受水平三角形的土压力,受力示意图 1。由于土工格栅加筋土挡墙并不是完全悬臂梁,后面有土体相互作用,发生的变形可能是屈曲形式也可能是倾斜形式,也可能是这 2 种模式的综合;因此,在本文的模型推导中并未采用三角荷载分布下的纯悬臂梁的四次多项式,而是兼顾了屈曲变形形式如象拱冠梁的中心曲线,采用了三次多项式。根据瑞利-里兹法,挡墙变形形状是假设的,因此挠曲线也是近似的,通过假设多个函数,其中每一项都含有未知的常数,并采用寻优的方法求得各个常数的值,这样得到的挠曲方程是最接近工程实际的。

假设梁中心轴的挠度曲线  $s_b(z)$  为

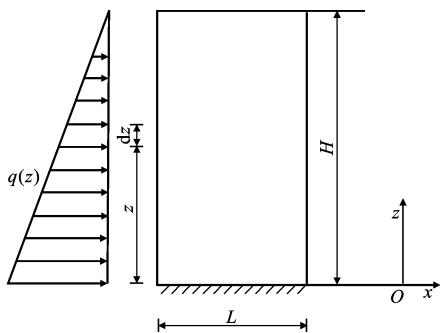


图1 加筋土挡墙受力

Fig. 1 Force Acting on Reinforced Soil Retaining Wall

$$s_b(z) = a_1 + a_2 z + a_3 z^2 + a_4 z^3 \quad (1)$$

式中:  $a_1, a_2, a_3, a_4$  分别为挠度曲线系数, 该曲线需满足  $s_b|_{z=0} = 0, \frac{ds_b}{dz}|_{z=0} = 0$  的固定端边界条件, 所以可得  $a_1 = 0, a_2 = 0$ , 故挠度曲线为

$$s_b(z) = a_3 z^2 + a_4 z^3 \quad (2)$$

考虑墙后三角形分布荷载  $q(z)$  作用, 即每个单位长度上的作用荷载为  $q(z)$ , 加筋挡墙背所受的单元荷载为  $q(z)dz$ 。

如果梁在  $z$  方向上有挠曲位移  $s_b(z)$ , 那么墙背土压力作用在单元上的功为  $q(z)s_b(z)dz/2$ , 则外力  $q(z)$  在挡墙上所做的总功  $W$  为

$$W = \frac{1}{2} \int_0^H q(z)s_b(z)Adz \quad (3)$$

由于加筋土挡墙弯曲所引起的总应变能  $U$  为

$$U = \frac{1}{2} \int_0^H EI_y \left( \frac{d^2 s_b}{dz^2} \right) dz \quad (4)$$

式中:  $E$  为加筋土挡墙的弹性模量;  $I_y$  为加筋土挡墙断面的惯性矩, 其值为  $I_y = L^3/12$ 。

将式(2)的两边对  $z$  求导可得

$$\frac{d^2 s_b}{dz^2} = 2a_3 + 6a_4 z \quad (5)$$

将式(5)代入式(4)有

$$U = \frac{EI_y}{2} \int_0^H (2a_3 + 6a_4 z)^2 dz \quad (6)$$

将式(2)代入式(3)有

$$W = \frac{1}{2} \int_0^H q(z)(a_3 z^2 + a_4 z^3)Ldz \quad (7)$$

本文近似认为加筋墙体是向外发生侧向变形, 土体处于主动状态, 由于土侧压力系数跟墙体向外变形多少有关, 是个变化的系数, 本文提出的计算方法中将极限平衡状态的主动土压力系数  $k_a$  和静止土压力系数  $k_0$  进行平均来计算, 将此系数定义为  $k_e$ 。因此,  $q(z) = k_e \gamma z$ ,  $A = L \times 1$ ,  $\gamma$  为墙后土体重度, 故式(7)可改写为

$$W = \frac{1}{2} \int_0^H k_e \gamma z (a_3 z^2 + a_4 z^3) L dz \quad (8)$$

根据最小势能原理来确定参数  $a_3$  和  $a_4$ , 令

$$\Pi = U - W = \frac{EI_y}{2} \int_0^H (2a_3 + 6a_4 z) dz - \frac{1}{2} \int_0^H k_e \gamma z (a_3 z^2 + a_4 z^3) L dz \quad (9)$$

应用最小势能原理有  $\delta \Pi = 0$ , 即

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_3} \delta a_3 + \frac{\partial \Pi}{\partial a_4} \delta a_4 = 0 \quad (10)$$

可得

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_3} = \frac{EI_y}{2} \int_0^H 2(2a_3 + 6a_4 z) \times 2 dz - \frac{k_e \gamma L}{2} \int_0^H z^3 dz = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_4} = \frac{EI_y}{2} \int_0^H 2(2a_3 + 6a_4 z) \times 6z dz - \frac{k_e \gamma L}{2} \int_0^H z^4 dz = 0 \quad (12)$$

对式(11)进行积分可得

$$2a_3 + 3a_4 H = \frac{3k_e \gamma H^3}{4EL^2} \quad (13)$$

对式(12)进行积分可得

$$a_3 + 2a_4 H = \frac{k_e \gamma H^3}{5EL^2} \quad (14)$$

联立式(13), (14)可得

$$a_3 = \frac{9k_e \gamma H^3}{10EL^2} \quad (15)$$

$$a_4 = -\frac{7k_e \gamma H^2}{20EL^2} \quad (16)$$

将  $a_3, a_4$  代入式(2)可得变形曲线为

$$s_b(z) = \frac{k_e \gamma H^2}{10EL^2} (9Hz^2 - \frac{7}{2}z^3) \quad (17)$$

## 1.2 纯剪悬臂梁的水平变形计算

参考文献[4]中研究成果, 将加筋土挡墙等效成水平向同性弹性体, 如图2所示。

挡墙变形是由于弯曲和纯剪同时作用而产生的变形, 在纯剪作用下加筋土挡墙的水平变形  $s_s$  为

$$s_s = \frac{k_e \gamma}{6GL} (H^3 - z^3) \quad (18)$$

因此, 加筋土挡墙在墙后填土的侧向压力作用下, 由纯弯和纯剪共同作用所引起的墙体变形为

$$s = s_b + s_s = \frac{k_e \gamma H^2}{10EL^2} (9Hz^2 - \frac{7}{2}z^3) + \frac{k_e \gamma}{6GL} (H^3 - z^3) \quad (19)$$

其中加筋土挡墙的弹性模量  $E$  为

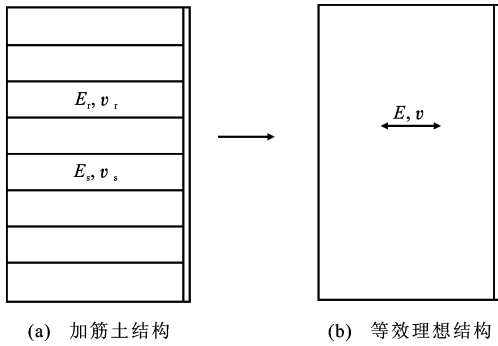


图2 加筋土挡墙结构水平向理想系统

Fig. 2 Idealized Isotropic Horizontal System of Reinforced Soil Retaining Wall Structure

$$E = \left[ \frac{(1-t)E_s}{1-\nu_s^2} + \frac{tE_r}{1-\nu_r^2} \right] (1-\nu^2) \quad (20)$$

泊松比  $\nu$  为

$$\nu = \left[ \frac{t\nu_r E_r}{1-\nu_r^2} + \frac{(1-t)\nu_s E_s}{1-\nu_s^2} \right] / \left[ \frac{(1-t)E_s}{1-\nu_s^2} + \frac{tE_r}{1-\nu_r^2} \right] \quad (21)$$

式中:  $t$  为土工格栅厚度比, 其值为  $t = \sum m/H$ ;  $E_r$  为土工格栅的弹性模量;  $\nu_r$  为土工格栅的泊松比;  $E_s$  为填土的弹性模量;  $G$  为等效弹性体的剪切模量;  $\nu_s$  为填土的泊松比;  $m$  为土工格栅的厚度。

## 2 地震水平变形计算方法

由于瑞利-里兹法同样适用于求解动力作用下结构的变形, 所以本文根据拟静力法<sup>[14]</sup>, 对加筋挡墙在地震力作用下的变形作一些初步的研究。当考虑到地震力的作用时, 墙后的总土压力则包括静土压力和动土压力增量这 2 个部分。如果将重力和水平地震力  $F$  的合力与重心的夹角  $i$  称为地偏角, 则地偏角  $i = \arctan(k_H)$ , 其中水平地震系数  $k_H = \alpha_H/g$ ,  $\alpha_H$  为水平加速度峰值,  $g$  为重力加速度, 如图 3 所示 ( $P_1$  为墙体对墙后土体的作用力,  $R_1$  为破坏土体的反作用力)。

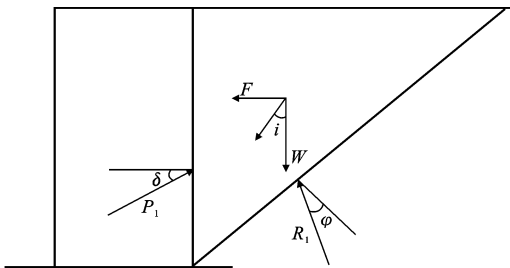


图3 加筋土挡墙地震作用时主动土压力

Fig. 3 Seismic Active Earth Pressure Acting on Reinforced Soil Retaining Wall

加筋土挡墙地震动主动土压力的强度  $P_{E,a}$  应为

$$P_{E,a} = \gamma z K_{E,a} = q(z) K_{E,a} \quad (22)$$

$$K_{E,a} = \cos^2(\varphi - i) / \left\{ \cos(i) \cos(\delta + i) \left[ 1 \pm \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - i)}{\cos(\delta + i)}} \right]^2 \right\} \quad (23)$$

式中:  $K_{E,a}$  为地震动土压力系数;  $i$  为地偏角;  $\delta$  为墙背摩擦角;  $\varphi$  为填土内摩擦角。

将式(22)代入式(7)中有

$$W = \frac{1}{2} \int_0^H K_{E,a} \gamma z (a_3 z^2 + a_4 z^3) L dz \quad (24)$$

将式(24)代入式(9), 根据最小能量法可以推导出地震作用下加筋土挡墙的水平位移公式为

$$s = \frac{K_{E,a} \gamma H^2}{10EL^2} (9Hz^2 - \frac{7}{2}z^3) + \frac{K_{E,a} \gamma}{6GL} (H^3 - z^3) \quad (25)$$

## 3 工程案例验证

静力作用下加筋土挡墙的水平变形公式通过以下工程实例测试值进行验证。算例为加拿大某海岸加筋土挡墙<sup>[5]</sup>, 长 99 m, 高 5.3 m, 筋材采用 SR 型 HDPE 土工格栅, 自墙底至上垂直间距逐渐增大, 长期设计强度  $21.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ , 面板高为 1.5~2.0 m, 宽 3.0 m 的预制混凝土面板; 墙体及墙后填料为碎石土, 有效内摩擦角  $\varphi' = 30^\circ$ , 重度  $\gamma = 21 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 。该墙自 1985 年 8 月施工, 竣工后观测了不同时期的墙面及墙后土体的水平位移及土工格栅的拉应变。计算时取  $E_r = 100 \text{ MPa}$ ,  $\nu_r = 0.15$ ,  $E_s = 56 \text{ MPa}$ ,  $\nu_s = 0.25$ , 计算得  $E = 56.2 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.25$ 。关于土工格栅参数, 本文将格栅厚按常规 2 mm 计算, 格栅间距 20 cm, 加筋长度取为 0.7 倍的墙高。

图 4 为静力作用下土工格栅加筋土挡墙的墙体变形的静力理论计算值与实测值的对比。由图 4 可见: 理论计算值比实测值大, 但是沿着墙体的分布规律是一致的, 数值量级上也是比较接近的, 墙顶最大变形计算值为 12.5 mm, 变形比只有 0.24% (变形

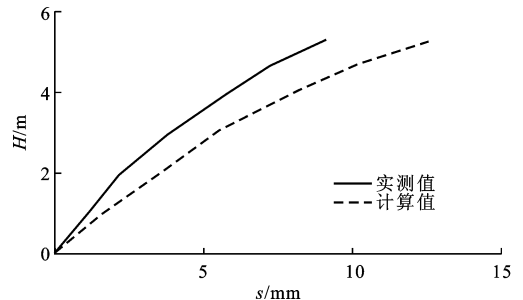


图4 加筋土挡墙水平位移实测结果与计算值比较

Fig. 4 Comparison Between Test Results and Calculation Values of Horizontal Displacement of Reinforced Soil Retaining Wall

与加筋墙高之比),说明理论计算方法偏于保守。因此本文推导出的理论计算方法可以较好地计算出加筋土挡墙的静力水平位移,可为加筋墙体的工程结构静力设计提供理论依据。

4 振动台模型试验验证

4.1 试验模型

采用自行研究的大型振动台试验模型和测试结果,模型试验背景以及相似准则和相似比的确定详见参考文献[15]。试验是在自主研制的 3.5 m(纵向)×2.0 m(横向)×1.7 m(竖向)的 15 层叠层剪切型模型土箱上进行,时间相似比为 0.5,模型所用的加筋墙体尺寸 70 cm(高)×5 cm(宽),地下水位位于地表面 5 cm 之下。加筋墙体模型的材料主要由低强度的混凝土和一级钢筋组成,混凝土是以较小粒径的砾石作为粗骨料,以较小粒径的砂砾作为细骨料,通过调整配合比,满足弹性模量的要求,基础底部为 50 cm 厚的粘性土以减少填土水的渗透。模型墙体重量为 19 kN·m<sup>-3</sup>。土工格栅材料采用宜兴华泰土工材料有限公司生产的低强度土工格栅,型号为 TGDG60,2%延伸率时拉力为 15 kN·m<sup>-1</sup>,水平布置,上下间距为 15 cm,加筋长度为 70 cm,与加筋墙体等高。回填砂土采用南京细砂,试验中采用水沉法制备,相对密实度控制为 55%,内摩擦角为 20.6°,模型里的孔隙水采用与原型孔隙水一致的粘滞系数,平均粒径 D<sub>50</sub> 为 0.15 mm,渗透系数为 5.5×10<sup>-5</sup> m·s<sup>-1</sup>。加筋区后的回填砂土长为 80 cm,回填范围足以观测模型共振的大变形。因此,回填砂土的变形以及墙体与回填土间的相互作用能同时详细地得到测试。总共采用了 83 个信号采集通道。

4.2 测试装置与工况

所采用的振动台模型试验装置和仪器埋设详见文献[15]。

采用 3 个日本进口的高精度激光位移计(DH1, DH3 和 DH5)测试墙体侧向变形动力响应。土工格栅的表面粘贴了 40 个应变计,每层正反面粘贴,每面贴 4 个用于测试格栅的动应变特性。

根据试验目的,本文采用汶川地震的松潘波测试结果验证残余变形的拟静力算法。松潘波(SP)原始峰值加速度为 0.041g,断层距为 122 km,属于远场地震动,地震波形如图 5 所示。加筋墙体在 SP 波加速度幅值为 0.2g 时的侧向变形测试结果如图 6 所示。

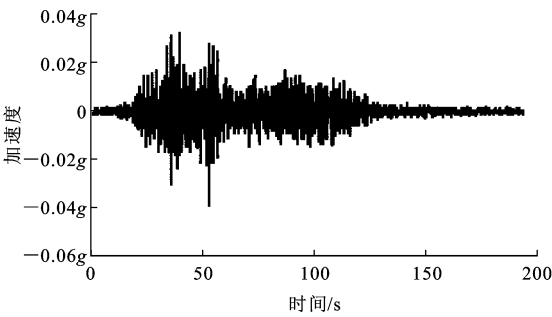
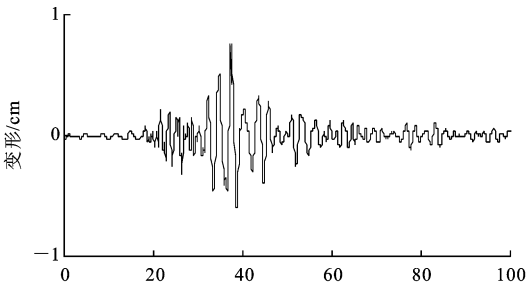
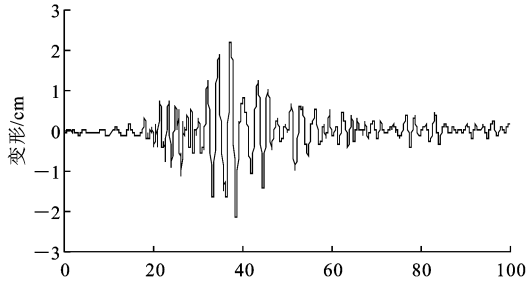


图 5 松潘波加速度记录

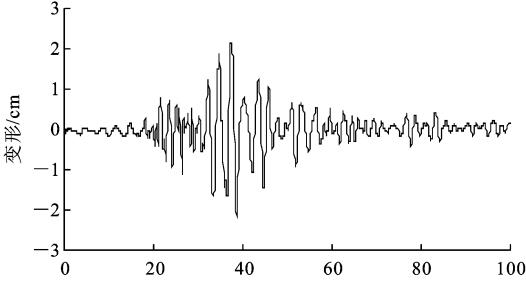
Fig. 5 Songpan Acceleration Recording



(a) DH1测试结果



(b) DH3测试结果



(c) DH5测试结果

图 6 SP-0.2g 工况下加筋墙体不同部位侧向变形测试结果

Fig. 6 Test Values of Lateral Deformation of Reinforced Soil Retaining Wall Under SP-0.2g

4.3 结果验证

拟静力法的水平地震系数是采用地震加速度波的幅值计算的,因此,采用拟静力法验证动力试验模型变形时,应以加筋墙体测试结果的变形幅值进行对比研究。图 7 为加筋墙体试验模型分别在 SP-0.2g, SP-0.3g 和 SP-0.5g 的地震力作用下的大型

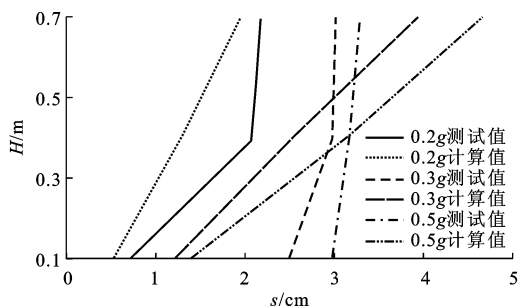


图7 振动台模型的地震水平位移实测结果与计算结果比较

Fig. 7 Comparison Between Test Values and Calculation

Values of Seismic Horizontal Displacement with

Shaking Table Model

振动台试验测试值与动力计算值。

从图7中可以看出:地震作用下模型变形测试值与计算值沿墙高分布规律不太一致,模型试验的加筋墙体的变形测试值是类似屈曲外鼓的变形模式,变形理论计算值是倾斜变形。2种变形模式的差别源于推导的理论计算法是将整个加筋体作为一个具有刚度的刚性体,固定在地基上的竖直梁,而实际模型是薄面板加格栅加筋土,是个柔性的加筋结构,因此地震中发生了屈曲变形模式。单从测试值比较来看,当地震强度较高,幅值较大时,加筋墙体变形几乎是向外平移滑动。

从测试和计算值来看,加筋墙体的墙顶变形最大,是抗震设计的参考部位。地震强度较低时,理论计算值与实测值相近,地震强度较高时,理论计算值比实测值大。譬如0.5g地震作用下,墙顶最大计算变形比达到了6%,超出了5%安全允许范围,而试验测试值变形比为4.7%,在5%安全允许范围之内,说明理论计算方法偏于安全。结果显示本文推导出的拟静力理论计算法可以较好地计算出刚性面板的加筋土挡墙墙顶的地震变形,可为抗震安全设计提供理论依据。

## 5 结语

(1)根据瑞利-里兹法推导出静力作用下土工格栅加筋土挡墙水平位移的计算公式,在静力作用下的水平位移计算公式基础上,利用拟静力法推导出地震作用下格栅加筋土挡墙残余变形理论计算法。

(2)通过采用工程案例和振动台模型试验验证理论计算方法的可靠性,得出静力作用下土工格栅加筋土挡墙的墙体变形的理论计算值分布规律与实测值一致,数值量级上接近,计算值高于实测值。

(3)因加筋体整体刚度的假定,动力计算出的倾

斜式变形模式与模型试验测试有些差别,但墙顶是变形设计控制部位,地震强度较低时,残余变形理论计算值与实测值相近,地震强度较高时,理论计算值高于实测值。

(4)静力和动力算例验证结果表明了推导出的拟静力理论计算法可以合理地计算出土工格栅加筋土挡墙的地震残余变形,可为加筋结构工程的抗震安全设计提供理论依据。

(5)本文所采用的拟静力法中把格栅加筋墙体看成为刚体是欠妥的,并认为格栅加筋墙体只向外运动,地震过程中有往复变形,所以假设模型不太全面,另外还需考虑时间效应,这些是将来需进一步研究的工作。

## 参考文献:

## References:

- [1] 王弘佑,蔡光荣,林金炳,等.地震衍生护坡挡土构造物破坏行为分析和对策研究[C]//洪勇善,陈荣河,李宗颖.地震衍生之边坡破坏行为之研究及应用研讨会论文集.台北:国科会工程科技推展中心,2002:1-15.  
WANG Hong-you, CAI Guang-rong, LIN Jin-bing, et al. Study on Seismic Failure Behaviors and Countermeasures of Derived Slopes of Retaining Soil Structures[C]//HONG Yong-shan, CHEN Rong-he, LI Zong-ying. Proceedings of Behavior and Countermeasures of Prevention and Control of Damage of Slope Seismic Derived Seminar. Taipei: Engineering and Technology Promotion Center, National Science Council, 2002:1-15.
- [2] 王建,姚令侃,陈强.汶川地震路堤成灾模式及土工格栅加筋变形控制研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增1):3387-3394.  
WANG Jian, YAO Ling-kan, CHEN Qiang. Research on Failure Mode of Road Embankment in Wenchuan Great Earthquake and Deformation Control of Geogrid Reinforcement[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(S1): 3387-3394.
- [3] 杨明,吴德伦,言志信.加筋土挡墙抗震分析中的屈服加速度[J].岩石力学与工程学报,2002,21(5):728-731.  
YANG Ming, WU De-lun, YAN Zhi-xin. Yield Acceleration of Reinforced Earth Retaining Walls in Earthquake Analysis[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(5): 728-731.
- [4] 杨广庆,周敏娟,张保俭.加筋土挡土墙水平位移研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(7):1248-1252.

- YANG Guang-qing, ZHOU Min-juan, ZHANG Bao-jian. Study on the Horizontal Deformation of Reinforced Retaining Walls of Soils[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(7): 1248-1252.
- [5] 高江平, 俞茂宏, 胡长顺, 等. 加筋土挡墙滑动破裂面的大型模型试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(6): 6-9.
- GAO Jiang-ping, YU Mao-hong, HU Chang-shun, et al. Large Model Experiment on Sliding Rupture of Reinforced Earth Retaining Wall [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(6): 6-9.
- [6] 高江平, 石兆旭, 俞茂宏. 网状与条带式加筋土挡墙墙面位移的测试[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(2): 42-45.
- GAO Jiang-ping, SHI Zhao-xu, YU Mao-hong. Testing of Surface's Displacement About Netted and Striped Reinforced Wall[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(2): 42-45.
- [7] 雷胜友. 双面加筋土高挡墙的离心模型试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3): 417-423.
- LEI Sheng-you. Centrifugal Modelling of High Double-face Reinforced Earth Retaining Wall[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(3): 417-423.
- [8] 雷胜友, 惠会清. 加筋土挡墙土压力计算方法[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(2): 47-50.
- LEI Sheng-you, HUI Hui-qing. Earth Pressure Computation Method of Reinforced Earth Retaining Wall [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(2): 47-50.
- [9] 刘萌成, 赵旭航, 葛折圣. 桥台后加筋回填设计计算方法[J]. 中国公路学报, 2014, 27(2): 17-26.
- LIU Meng-cheng, ZHAO Xu-hang, GE Zhe-sheng. Design and Computational Method for Bridge Approach Reinforced Backfills [J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(2): 17-26.
- [10] 程亚男, 孙树林. 加筋土坡地震稳定性的拟动力分析[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2014, 33(2): 102-105.
- CHENG Ya-nan, SUN Shu-lin. Pseudo-dynamic Approach of Seismic Stability Analysis of Reinforced Soil Slope[J]. Journal of Xihua University: Natural Science, 2014, 33(2): 102-105.
- [11] 吕鹏, 杨广庆, 庞巍, 等. 包裹式土工格栅加筋土挡墙水平位移研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(增): 973-976.
- LU Peng, YANG Guang-qing, PANG Wei, et al. Study on Horizontal Displacement of Packaged Geogrid Reinforced Soil Retaining Wall[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(S): 973-976.
- [12] AHMAD S M, CHOUDHURY D. Pseudo-dynamic Approach of Seismic Design for Waterfront Reinforced Soil-wall[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2008, 26(4): 291-301.
- [13] AL HATTAMLEH O, MUHUNTHAN B. Numerical Procedures for Deformation Calculations in the Reinforced Soil Walls[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2006, 24(1): 52-57.
- [14] ISO 23469—2005, Bases for Design of Structures-seismic Actions for Designing Geotechnical Works[S].
- [15] 王丽艳, 陈国兴, 高鹏, 等. 可液化土中格栅加筋土挡墙地震变形特性大型振动台试验[J]. 中国公路学报, 2014, 27(9): 25-31.
- WANG Li-yan, CHEN Guo-xing, GAO Peng, et al. Large-scale Shaking Table Tests on Seismic Deformation of Geo-grid Reinforced Soil Retaining Walls in Liquefiable Soils[J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(9): 25-31.