

文章编号: 0451-0712(2016)09-0101-07

中图分类号: U417.1

文献标识码: A

双级台阶式土工格栅加筋土 公路挡墙结构优化设计

高峰^{1,2}, 刘滨³

(1. 山西大同大学煤炭工程学院 大同市 037003; 2. 武汉理工大学土木工程与建筑学院 武汉市 430070;

3. 中国科学院武汉岩土研究所 武汉市 430071)

摘要: 以山西某段公路的双级台阶式土工格栅加筋土挡墙工程为实例,在第一级挡土墙加筋竖向间距、拉筋长度等设计参数理论计算的基础上,提出6种不同设计方案,运用可视化岩土工程计算软件 Visual Slope 6.0 对上、下级加筋土挡墙的最小整体稳定系数、基底滑移稳定安全系数、倾覆稳定安全系数、地基承载力安全系数和拉筋受力等进行了分析和研究,并最终确定了上、下级挡墙加筋间距分别为 0.6 m、0.3 m 时不等长布筋的最优设计方案。监测结果表明,该加筋土挡墙背侧向土压力一般介于静止土压力与主动土压力之间,墙内垂直土压力的实测值与理论计算值存在一定差别,且大于理论值的 0.5~1.0 倍。算例表明通过优化设计使加筋土挡墙的设计更为合理可靠,有助于达到安全节省的设计目标,为类似挡墙的设计提供了指导和借鉴。

关键词: 加筋土挡墙; 土工格栅; 公路; 优化设计

加筋土是在土中埋设抗拉强度较高的材料,利用土与加筋材料之间的摩擦作用限制土变形,以提高土体抗剪强度而形成的一种复合体。加筋土挡墙是由填料、填料中一定数量拉筋以及墙面板组成的一个相互协调、相对稳定的整体复合结构^[1]。20世纪50年代,土力学奠基者 K Terzaghi,用滤层布作为柔性土工织物结合水泥灌浆,封闭岩石坝肩与钢板桩间隙,建成了加拿大 Mission 坝^[2]。自1965年,法国工程师 Henri Vidal 基于一系列试验研究提出加筋土设计理论,并建成了第一座 Prageres 加筋土公路挡土墙以来,以其对地基变形的良好适应性,具有占地少、柔性强、抗震性能好、建筑高度几乎不受限制、工期短及节约投资等优点,适用于场地狭窄地区,引起世界各国重视。利用天然材料加筋和改善土体性质历史悠久,但有易于腐蚀、耐久性差的致命缺点;塑料、合成纤维和合成橡胶等土工合成材料的发展,使得现代加筋土技术成为土木工程中的一次技术革命^[3]。我国从1975年引进加筋土技术以来,已在云南、甘肃、山西、湖北、重庆等全国十几

个省、市、自治区累计完成上千座加筋土工程,取得了良好效果。目前,我国最高的加筋土挡墙在陕西故邑,高达 35.5 m;最长的是重庆沿长江的滨江公路驳岸墙,总长达 5 km。现今,我国在高速公路和一般公路支挡结构上,也越来越倚重于加筋土结构^[4]。台阶式加筋土挡墙由于具有墙体应力分布均匀、变形容容易控制以及方便绿化、美化周围环境等优点,更是得到设计、施工及使用单位等各方广泛青睐^[5]。

加筋挡墙设计计算应保证各部分具有足够的强度、耐久性和加筋体的整体稳定性,一般应包括:外部稳定分析(其中包括整体水平滑移分析、整体转动分析和承载力分析)和内部稳定分析(其中包括土工织物拉出分析、土工织物过载分析、沿土工织物水平滑移分析、土工织物和砌块连接强度分析以及砌块翻落分析),以及沉降分析。目前,世界上只有 Visual Slope 能方便、快速地做所有这些分析。Visual Slope 系列是由美国 Visual Slope 公司研究开发的新一代岩土工程专用计算软件,其简单易行类似于 AutoCAD 作图来建立分析剖面图、设置材料参数的

基金项目:国家自然科学基金面上项目,项目编号 51474205;山西省软科学研究计划项目,项目编号 2014041068-4;大同市基础研究计划项目,项目编号 201369

收稿日期:2015-12-30

方法,大大地减少了数据输入错误和数据输入时间,倍受用户青睐,目前用户遍布世界 30 多个国家。尤其是 Visual Slope 6.0 加入了很多符合中国设计规范的计算方法,用户可通过设置选择适合当地的规范进行设计;能自动将上层墙体的荷载传至下层墙并逐层分析,特别适用于多级加筋挡土墙设计^[6]。

1 多级台阶式加筋土挡墙设计理论

加筋土挡墙设计,根据计算原理的不同有两种方法^[3-4]:一是基于摩擦原理,把加筋土看成是由土与拉筋两种不同性质的材料组成,二者通过界面相互影响、相互作用,即设计时把拉筋、土分开计算;二是基于摩尔-库仑理论,把加筋土看成是各向异性的复合材料,即土与拉筋间的相互作用看作是内力,仅对复合材料性质产生影响,不直接出现在应力应变的计算中。第一种方法相对简便,在工程实践中应用广泛。

加筋土挡墙太高易产生较大墙身变形,一般单级墙高在 10 m 以下;对于超过 10 m 的高挡墙,采用分级形式,以较好调整墙面的水平变形、减少墙面板对地基的应力,适应不同的地形条件。第一级墙设计方法可采用单级挡土墙模式。第二级墙的设计,则将上级墙作为超载进行挡土墙的抗滑移、抗倾覆、基底应力及合力偏心距、沿地基的深层滑动稳定等外部稳定性验算;而内部稳定性计算则受两级挡墙间平台宽度 D 的影响,在加筋体内产生不同应力变形,宜采用不同的设计方法。

1.1 第一级挡墙设计方法

第一级加筋土挡墙进行理论计算时,采用如下的基本假设:

(1)墙面板承受填料产生的主动土压力。

(2)加筋土挡墙背部分为滑动区和稳定区,其分界面即为土体的破裂面;靠近面板滑动区内的无效拉筋长度 L_f 采用 $0.3H$ 折线法确定,计算简图如图 1 所示。

(3)稳定区内有效长度 L_a 的拉筋与填料产生摩阻力抵抗拉拔,不考虑拉筋 L_f 产生的摩阻力。

(4)拉筋与填料之间的摩擦系数在全长范围内都相同。

第 i 层拉筋对应的墙面板所受侧压力 E_{xi} 为:

$$E_{xi} = K_i(\gamma Z_i + q_i)S_x S_y \quad (1)$$

式中: Z_i 为拉筋到墙顶的距离; K_i 为 Z_i 深度处土压力系数, $Z_i \leq 6.0$ m 时取静止土压力系数 $K_0 =$

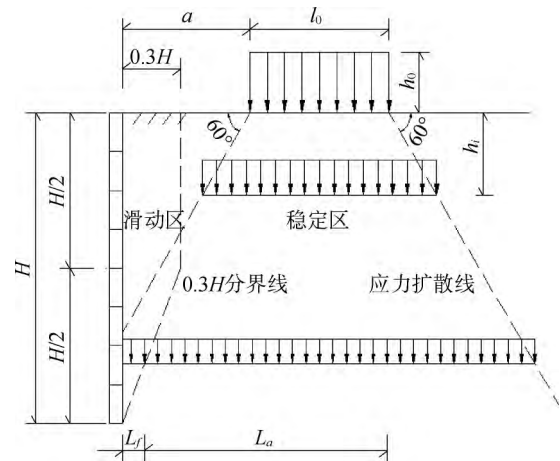


图 1 0.3H 折线法计算简图

$1 - \sin\phi, Z_i > 6.0$ m 时取主动土压力系数 $K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$; γ 为填料重度; S_x, S_y 分别为筋带横向和竖向间距; q_i 为墙顶面上荷载产生的水平土压力强度。

拉筋无效长度 L_f 计算公式为:

$$L_{fi} = \begin{cases} 0.3H & Z_i \leq H/2 \\ 0.6(H - Z_i) & Z_i > H/2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: H 为全墙高。

拉筋有效长度 L_a ,根据填料及荷载引起的竖向土压力 p_{vi} ,在该层拉筋上产生的有效摩擦阻力,即拉筋拉拔力 S_{fi} ,应与相应拉筋设计拉力 T_i (取 $K_f E_{xi}$)平衡而求得,即:

$$L_{ai} = \frac{T_i}{2fa p_{vi}} = \frac{K_f E_{xi}}{2fa p_{vi}} \quad (3)$$

式中: K_f 为加筋土挡墙抗拔安全系数; a 为拉筋宽度; f 为填料与拉筋之间的摩擦系数。

单根拉筋抗拔系数 $K_{si} = S_{fi}/E_{xi}$,全墙的抗拔稳定系数 $K_s = \sum S_{fi} / \sum E_{xi}$ 。

1.2 第二级挡墙设计方法

上级挡土墙作为外荷载作用在下级挡土墙顶面时,由于 D 的不同,下级挡土墙内的应力分布、对墙面板的影响及拉筋强度等产生较大变化。

当 $D < D_1 = H_2 \tan(45^\circ - \phi/2)$ 即第一级墙面板基础位于主动区内时,上级墙荷载引起的下级墙体中附加垂直应力 σ_{v2} 计算简图,如图 2 所示。

$$\sigma_{v2} = \frac{\gamma H_1}{A_2 Z_2} [(Z_1 + Z_2 - Z_i)x + (Z_i - Z_1)A_2] \quad (4)$$

式中: Z_1 为下级墙内填土自然稳定深度, $Z_1 = D \tan\phi$; Z_2 为下级墙内填土主动破裂深度, $Z_2 = D \tan(45^\circ + \phi/2) - Z_1$; x 为墙内一点到墙面板的水

平距离; $A_1 = (Z_1 - Z_i) \tan(90^\circ - \varphi)$ 、 $A_2 = (Z_1 + Z_2 - Z_i) \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 。

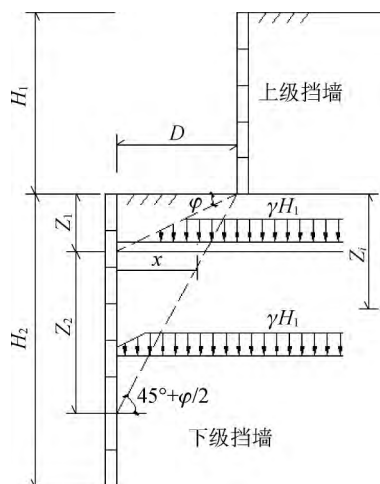


图2 上级墙荷载引起下级墙体附加垂直应力

上级挡墙荷载引起的下级挡墙墙背水平土压力

σ_{hi} 为:

$$\sigma_{hi} = K_i \gamma h_i + K_a \sigma_{v2i} \quad (5)$$

式中: h_i 为下级墙顶距该级墙第 i 层面板中心高度。

2 加筋土挡墙设计实例

2.1 工程概况

山西吕梁某二级公路路基宽 26 m,路面宽 22.5 m,中央分隔带宽 2.0 m,设计荷载为汽车—15,挂车—80。根据《公路路基设计规范》(JTJ D30—2015)^[6] 各类挡土墙适用条件的规定,由工程地质勘察资料,挡土墙不受浸水影响,墙全长 120 m,沉降缝置留距离 30 m,墙高为 15.0 m。拟采用双级台阶式土工格栅加筋土挡墙方案,其中上级墙高 6.0 m,下级墙高 9.0 m,墙后填料为砂黏土;钢筋混凝土墙面板强度等级为 C25;筋带采用点焊式格栅。经室内土质试验,填土物理力学参数如下:容重为 18.5 kN/m³;黏聚力为 5.0 kPa;内摩擦角为 27°。土工格栅为由横肋和纵肋交织而成的带有开孔的加筋材料,与平面型加筋材料——土工织物样式上有很大不同。实验室提供的土工格栅与填料间的摩擦系数 $f=0.40$ 。考虑到室内直剪试验与现场拉拔试验的差别^[8],为使加筋土工程具有一定安全储备,计算时取 $f=0.35$ 。墙面板采用尺寸为 0.3 m×1.0 m×0.5 m (高度×长度×厚度) C25 钢筋混凝土矩形板。C25 混凝土墙面板下基础尺寸为:高度 0.4 m;宽度 0.5 m。

2.2 力学计算模型

多级加筋土挡墙结构整体失稳事故时有发生,因此,基于加筋土体随地基一起滑动破坏状态的加筋土挡墙整体稳定性分析显得极为重要。设计时充分发挥 Visual Slope 6.0 软件在建模、分析方面的可视化、快速性和准确性等优点,分析多种不同加筋方案条件下挡墙的整体稳定性、加筋受力等参数,得到可能的危险滑动面和滑动区域,以便制定最优的双级台阶式土工格栅加筋土挡墙设计方案。建立的典型力学计算模型,如图 3 所示。

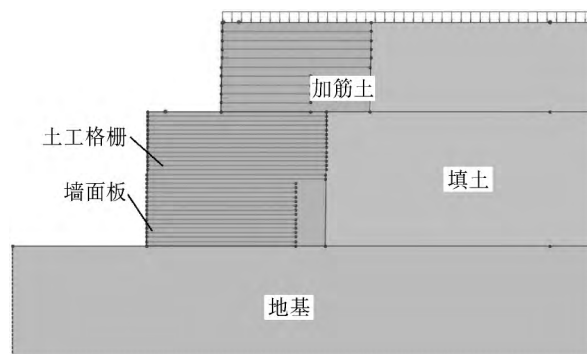


图3 力学计算简图

计算时采用极限平衡方法中 Bishop 法进行土体稳定性分析。为模拟出不加土工格栅时,该挡墙结构的整体稳定情况,同时又保证其墙面板不致在整个挡墙受力前首先破坏,分别在一级、二级挡墙后布设 1 m、2 m 长土工格栅。计算得到加筋前挡墙危险滑动面,如图 4 所示。

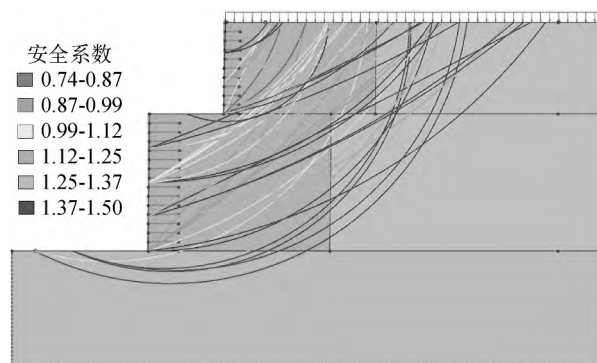


图4 加筋前危险滑动面示意

由图 4 可以看出,基于极限平衡法得到的挡土墙最小整体稳定安全系数 $FS_{min} = 0.74 < 1.0$,处于不稳定状态,最危险滑动面位于一级、二级挡墙交接平台处;其他危险滑动面起始于整个墙高范围内,滑动面圆弧半径变化较大。根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)^[9] 的规定,重要工程的挡墙

稳定安全系数宜取 1.30~1.50。显然,该不加筋挡墙整体稳定性不满足这一要求,存在多处局部滑塌和整体坍塌的可能。

由表 1 未加筋挡墙的前 6 个最危险滑动破坏面的计算结果可知:不加筋时,挡土墙整体稳定安全系数介于 0.74~0.94 之间,均小于 1.0。其中,当 $FS = 0.88$ 时,水平滑动力高达 1 180 kN/m。由此可见,该双级台阶式挡土墙极不稳定,存在极大威胁,必须进行合理支挡。

表 1 未加筋挡墙危险滑动破坏面

| 滑动面 | 圆心位置/m | | 半径/m | 水平滑动力 kN·m ⁻¹ | 整体稳定安全系数 FS |
|-----|--------|-------|-------|-----------------------------|-------------|
| | X 坐标 | Y 坐标 | | | |
| 1 | 27.18 | 28.24 | 12.11 | 205 | 0.74 |
| 2 | 31.36 | 27.72 | 9.45 | 276 | 0.85 |
| 3 | 9.40 | 45.48 | 41.03 | 1 180 | 0.88 |
| 4 | 17.76 | 29.66 | 23.16 | 849 | 0.89 |
| 5 | 28.32 | 29.75 | 11.03 | 101 | 0.94 |
| 6 | 29.32 | 29.74 | 10.44 | 111 | 0.94 |

表 2 拉筋长度及抗拔稳定计算结果

| 层数 <i>i</i> | 拉筋深度 h_i /m | 无效长度 L_{fi} /m | 拉筋设计拉力 T_i /kN | 有效长度 L_{ai} /m | 拉筋长度 L_i /m | 实际有效长度 L'_{ai} /m | 拉筋拉拔力 S_{fi} /kN | 拉筋抗拔系数 K_{si} |
|----------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 0.3 | 1.80 | 7.52 | 7.52 | 9.32 | 2.18 | 8.20 | 2.18 |
| 2 | 0.9 | 1.80 | 12.25 | 7.52 | 9.32 | 2.18 | 13.36 | 2.18 |
| 3 | 1.5 | 1.80 | 17.00 | 7.52 | 9.32 | 2.18 | 18.54 | 2.18 |
| 4 | 2.1 | 1.80 | 21.78 | 7.52 | 9.32 | 2.18 | 23.75 | 2.18 |
| 5 | 2.7 | 1.80 | 26.59 | 7.52 | 9.32 | 2.18 | 28.99 | 2.18 |
| 6 | 3.3 | 1.62 | 17.63 | 4.22 | 5.84 | 2.07 | 18.29 | 2.07 |
| 7 | 3.9 | 1.26 | 19.97 | 4.14 | 5.40 | 2.29 | 22.85 | 2.29 |
| 8 | 4.5 | 0.90 | 22.32 | 4.08 | 4.98 | 2.50 | 27.87 | 2.50 |
| 9 | 5.1 | 0.54 | 24.68 | 4.04 | 4.58 | 2.70 | 33.37 | 2.70 |
| 10 | 5.7 | 0.18 | 27.05 | 4.00 | 4.18 | 2.91 | 39.35 | 2.91 |

由表 2 可见,每条拉筋的有效长度沿深度方向在 1/2 墙高范围内基本不变,而加筋无效长度整体上沿深度方向从上向下逐渐减少;拉筋最大设计拉力为 26~27 kN,出现在挡墙底部和中间部位,均小于拉筋抗拔力,满足拉筋的抗拉要求;单根拉筋抗拔系数均大于 2.0,满足分板抗拔稳定安全要求。经计算,全墙抗拔稳定系数 $K_s = 2.39 > 2.0$,表明全墙抗拔稳定性也满足要求。

2.4 第二级挡墙加筋长度理论计算

2.3 第一级挡墙加筋长度理论计算

行车荷载为汽车-15 时,换算土柱高 $h_0 = 0.54$ m;以挂车-80 作为验算荷载时,换算土柱高 $h_0 = 0.62$ m。

根据相关研究成果^[10-12],加筋土体位移大体呈现由上而下逐渐降低的趋势,布置筋带时应遵循“上部筋带长于下部筋带,中间筋带长于两侧筋带”的原则。同时,规范要求墙高大于 3.0 m 时,拉筋最小长度宜大于 0.8 倍墙高,且不小于 5 m;当采用不等长拉筋时,同等长度拉筋的墙段高度,应大于 3.0 m;相邻不等长拉筋的长度差不宜小于 1.0 m。

加筋长度理论计算时,采用从上到下排列 10 层、每层土工格栅按均匀方式布筋, $S_x = 0.6$ m。考虑到滑动区的存在,纵筋不宜过宽,计算时取 $a = 0.1$ m。拉筋所受拉力及其长度计算结果,如表 2 所示。同时,按照规范^[7]要求拉筋最小长度应大于 $0.8H$,即 4.8 m。故选用的拉筋实际长度第 1~5 层为 10 m,第 6~10 层为 6 m。

第二级墙高 $H_2 = 9.0$ m;为调整墙面水平位移,减少面板对地基的压力和方便施工,在两级挡墙间设置平台,其宽度值 D 为 4.5 m。此时, $D_1 = H_2 \tan(45^\circ - \varphi/2) = 5.5$ m,显然 $D < D_1$,可以采用式(4)和式(5)计算加筋理论长度。若采用从上到下排列、均匀方式布筋 15 层,即 $S_x = 0.6$ m,经计算,选用的第二级挡墙加筋长度为 12 m。可见,也满足拉筋最小长度应大于 $0.8H$,即 7.2 m 的规范^[7]要求。

3 双级台阶式挡墙结构优化设计

为了进行进一步优化设计,以上述理论计算结果为基础,分别对第一级和第二级挡土墙进行不同土工格栅加筋长度及筋带层间距下的稳定性及内力

计算。不同加筋方案条件下,双级台阶式土工格栅挡土墙的最小整体稳定系数 FS_{min} 、基底滑移稳定安全系数 K_c 、倾覆稳定安全系数 K_0 和加筋土挡墙抗拔安全系数 K_f 计算结果,如表3所示。

表3 双级台阶式挡土墙不同加筋方案的计算结果

| 方案 | 一级挡土墙 | | FS_{min} | K_c | K_0 | K_f | 二级挡土墙 | | FS_{min} | K_c | K_0 | K_f |
|----|---------|---------|------------|-------|-------|-------|---------|---------|------------|-------|-------|-------|
| | L_i/m | S_x/m | | | | | L_i/m | S_x/m | | | | |
| 1 | 8 | 0.3 | 4.98 | 2.48 | 7.83 | 3.71 | 14 | 0.6 | 1.63 | 1.33 | 2.98 | 1.94 |
| 2 | 10/6 | 0.6 | 2.53 | 1.86 | 4.40 | 2.18 | 14 | 0.6 | 1.36 | 1.23 | 2.84 | 1.69 |
| 3 | 8 | 0.3 | 2.82 | 2.48 | 7.83 | 3.71 | 12 | 0.3 | 1.49 | 1.46 | 2.77 | 1.56 |
| 4 | 10/6 | 0.6 | 3.45 | 1.86 | 4.40 | 2.18 | 12 | 0.3 | 1.51 | 1.38 | 2.62 | 2.16 |
| 5 | 8 | 0.3 | 5.21 | 2.48 | 7.83 | 3.71 | 14/12 | 0.3 | 1.65 | 1.54 | 2.55 | 2.58 |
| 6 | 10/6 | 0.6 | 2.91 | 1.86 | 4.40 | 2.18 | 14/12 | 0.3 | 1.50 | 1.94 | 2.25 | 2.75 |

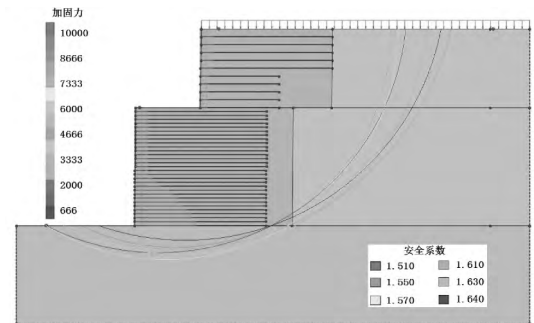
根据《公路加筋土工程设计规范》(JTJ 015-91)^[13],参考既有工程经验^[14-15],有关安全系数规定如下: $FS_{min} \geq 1.30$; $K_c \geq 1.30$; $K_0 \geq 1.50$; $K_f \geq 2.0$ 。由计算结果可以看出,不论采用哪种加筋方案,加筋后都能增大填土摩擦性能,增强潜在滑动面抗滑阻力;方案1~3的加筋土挡墙抗拔安全系数均小于2.0,不满足规定要求;方案4的第二级挡土墙基底滑移稳定安全系数 $K_c = 1.38$,略大于允许值 $[K_c] = 1.30$,安全性不足(图5);方案5和方案6均能满足上述安全系数要求,但就节省材料来看,方案6的经济性能更优(图5)。

土工格栅作为加筋材料时,拉筋平均抗拔安全系数 K_{si} 如图6所示。

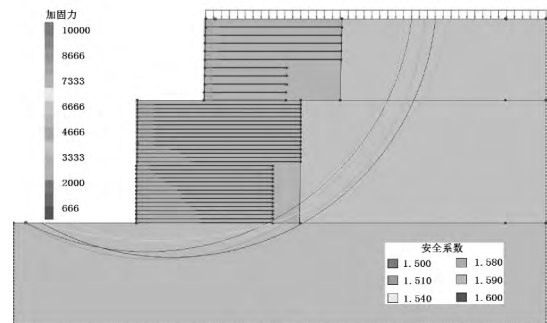
由图6可以看出,方案1、4的拉筋平均抗拔安全系数 K_{si} 在挡墙上半部分低于规范要求的最低限值 $[K_{si}]_{min} = 1.2$,拉筋存在滑动可能;方案2、3的拉筋平均抗拔安全系数分别在挡墙中上部和中部极为接近 $[K_{si}]_{min}$,即拉筋抗拔性能偏向于不安全;方案5和方案6均能满足抗拔安全系数要求,并且还有很大一部分处在2.0以上,即在抗拔安全方面更为可靠。

4 加筋土挡墙监测与分析

为了掌握双级台阶式土工格栅加筋土挡墙实际受力状态,进一步揭示其工作机理,指导今后类似挡墙的设计和施工,对该加筋土挡墙墙背侧向土压力和墙内垂直土压力等进行测试。



(a) 方案4



(b) 方案6

图5 挡墙危险滑动面及加筋受力图

4.1 墙背侧向土压力特征

在施工过程中,墙背面板后侧共埋设14个ZX-506A钢弦式土压力盒。随着上部填土的逐步增加,压力盒逐渐承受侧向土压力。施工完成后观测断面侧向土压力沿墙高分布的测试结果,如图7所示。

从图7侧向土压力测试结果可以看出,上级挡墙上部土压力与主动土压力接近;而上级和下级挡

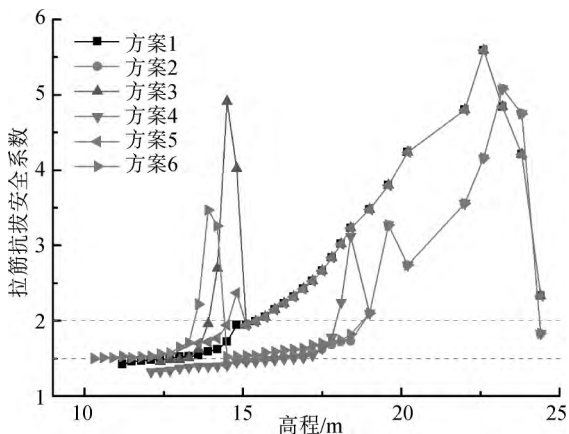


图 6 拉筋抗拔安全系数

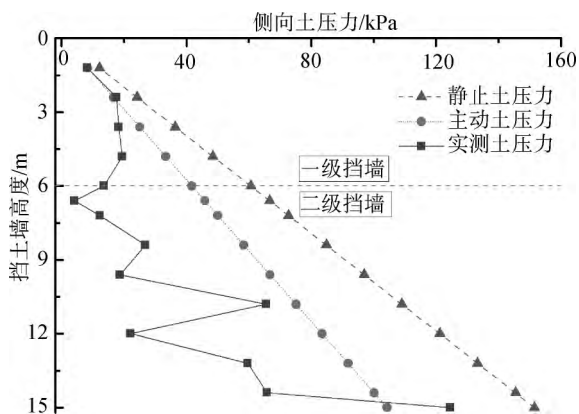


图 7 侧向土压力沿墙高分布曲线

墙的中上部因填土受拉筋约束,侧向膨胀减少,从而传递给墙背的土压力大为削弱,使得实测土压力比主动土压力小得多;在下级挡墙底层面板背面,侧向土压力随填土高度的增加而增大,且受力较大,介于主动土压力与静止土压力之间;在上、下级挡墙交界附近的面板实测土压力仅有 4.2 kPa,接近于 0 kPa,这与面板之间的相对自由活动有关,即墙面板受力后向外位移,使得土压力释放,充分体现了加筋土挡墙面板为柔性结构的特点。总之,土工格栅作为拉筋形成的土筋复合体,整体上提高了土体的抗剪性能,从而沿墙高度不同程度上降低了墙后填土的侧向土压力。

4.2 垂直土压力特征

以距离第一级加筋土挡土墙 8.0 m 处为中心线布设内部土体垂直土压力测点,沿观测断面横断面方向分左、右各 3 m 两列布置,感应膜向上埋设于已填筑碾压好的填土中。竣工后各层土压力实测结果,见表 4。

比较表 4 中数据可以发现,各测点垂直土压力实测值均大于按填土高度计算的理论值,比理论值

表 4 垂直土压力实测值

| 埋深 m | 实测值/kPa | | γh 值 kPa | 实测值/ γh 值 / % | |
|---------|---------|-------|---------------------|-----------------------|-------|
| | 左 | 右 | | 左 | 右 |
| 1.2 | 33.6 | 45.3 | 22.2 | 151.4 | 204.1 |
| 3.6 | 96.4 | 116.3 | 66.6 | 144.7 | 174.6 |
| 5.4 | 135.6 | 152.9 | 99.9 | 135.7 | 153.1 |
| 6.6 | 186.9 | 194.6 | 122.1 | 153.1 | 159.4 |
| 9.0 | 186.8 | 244.8 | 166.5 | 112.2 | 147.0 |
| 10.2 | 246.5 | 259.6 | 188.7 | 130.6 | 137.6 |
| 12.6 | 293.6 | 319.7 | 233.1 | 126.0 | 137.2 |
| 13.8 | 325.8 | 341.2 | 255.3 | 127.6 | 133.6 |
| 15.0 | 348.9 | 361.4 | 277.5 | 125.7 | 130.2 |

大 25%~104%;实测填土垂直土压力随上部填土高度增加近似呈线性增加,不同测点增长速率不同;同一层即同一埋深处的土压力,右侧压力值一般高于左侧压力值,这与文献[16]的结论基本一致。

5 结语

(1)数值模拟结果表明,采用不同加筋土挡墙方案时,土体摩擦性能、潜在滑动面抗滑阻力均有所增强,尤其是整体稳定性大幅度提高;同时,通过 Visual Slope 6.0 数值模拟分析可以优化加筋方案,在保证挡墙结构安全的基础上,既能充分发挥拉筋潜力,又可以节省一定数量的拉筋,以降低造价。

(2)由于加筋土挡墙作用机理的复杂性,双级台阶式挡墙背侧向土压力和墙内垂直土压力的理论计算结果与实际监测数据存在一定差别。总的来说,侧向土压力随填土高度的增加而增大,一般介于主动土压力与静止土压力之间;垂直土压力实测值随上部填土高度增加近似呈线性增加,不同测点增长速率不同,且大于理论值的 0.5~1.0 倍,在同一层内远离挡墙一侧土体压力也高于靠近挡墙一侧土体压力值。

(3)工程实践表明,只有加筋体填料达到足够压实度后,与拉筋产生的摩阻力才能保证结构的稳定。因此,施工过程中,在机械碾压前应做碾压试验,确定填料厚度、碾压遍数;碾压时,机械运行方向应与拉筋铺设方向垂直,控制加筋土填料最佳含水量,分层均匀摊铺、分层压实。

参考文献:

[1] 雷胜友. 现代加筋土理论与技术[M]. 武汉:人民交通出版社,2006.

- [2] 崔可锐,毛由田,等. 岩土工程师实用手册[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [3] 徐光黎,刘丰收,唐辉明. 现代加筋土技术理论与工程应用[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [4] 赵其华,彭社琴. 岩土支挡与锚固工程[M]. 成都:四川大学出版社,2008.
- [5] 周世良,何光春,汪承志,等. 台阶式加筋土挡墙模型试验研究[J]. 岩土工程学报,2007,29(1):152-156.
- [6] Golden Soil and Rock Tech Co; Ltd. Visual Slope User's Manual Version 6.0[R]. 2015.
- [7] 中华人民共和国交通运输部. JTG D30-2015 公路路基设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [8] 徐超,邢皓枫. 土工合成材料[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [9] 中华人民共和国建设部. GB 50021-2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [10] 陈国庆,黄润秋,石豫川,等. 基于动态和整体强度折减法的边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2014,33(2):243-256.
- [11] 王宁,万保华,杜学领. 加筋土挡墙在露天矿排土场的应用研究[J]. 地下空间与工程学报,2014,10(6):1408-1414.
- [12] 杨广庆,周亦涛,周乔勇,等. 土工格栅加筋土挡墙试验研究[J]. 岩土力学,2009,30(1):206-210.
- [13] 中华人民共和国交通部. JTJ 015-91 公路加筋土工程设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [14] 朱宏伟,姚令侃,张旭海. 两种加筋土挡墙动力特性比较及抗震设计建议[J]. 岩土工程学报,2012,34(11):2072-2080.
- [15] El-Emam M M, Bathurst R J. Experimental design instrumentation and interpretation of reinforced soil wall response using a shaking table[J]. International Journal of Physical Modeling in Geotechnics, 2004,4(4):13-32.
- [16] 王祥,周顺华,顾湘生,等. 路堤式加筋土挡墙的试验研究[J]. 岩土工程学报,2005,38(10):119-128.

Structure Optimization of Double-stepped Geogrid Reinforced Earth Retaining Wall in Highway

GAO Feng^{1,2}, LIU Bin³

(1. School of Coal Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037003, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

3. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: This study has been conducted based on the double-stepped geogrid reinforced earth retaining wall in a certain highway in Shanxi. On the basis of the theoretical calculation about the design parameters such as reinforced vertical spacing and reinforcement length in the first retaining wall, six different design schemes are put forward. And then using the visual geotechnical engineering calculation software Visual Slope 6.0, the minimum overall stability factor, base slip stability safety coefficient, overturning stability safety factor and reinforcement force are analyzed and researched. The optimal design scheme is worked out whose up and down retaining wall have 0.6m and 0.3m vertical spacing and unlikeness reinforcement length. The in-situ results show that the lateral earth pressure value locate between earth pressure at rest and active earth pressure, and there exist some difference in vertical soil pressure measured values from the theoretical value in this retaining wall and the former is bigger by 0.5~1.0 times than the later. It is proved through the calculation example that the optimization method is more reasonable and reliable, and is helpful to reach goal of the economical and safety design. So it can act as a guidance and reference for the similar reinforced earth retaining wall.

Key words: reinforced earth retaining wall; geogrid; highway; optimization