

文章编号: 1007-2993(2023)03-0268-07

青岛某高低组合墙面加筋土挡墙工程应用实例

张吉庆¹ 孙涛² 邵常华¹

(1. 青岛瑞源工程集团有限公司, 山东青岛 266555; 2. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东青岛 266590)

【摘要】 介绍了青岛某高低组合墙面加筋土挡墙项目的工程概况、设计思路、施工方案和监测成果。该组合加筋土挡墙下部采用了混凝土劈裂面模块墙面, 上部采用了现浇混凝土面板+筋材返包土工袋墙面。监测数据表明, 下部劈裂模块向墙外侧变形越大, 土工格栅张拉越紧; 上部墙后荷载和土压力越大, 加筋土越密实, 返包土工格栅和钢筋锚杆承受的拉力越大; 墙后土体位移及挡墙变形较荷载施加具有一定的滞后, 上部土工袋与挡墙之间的空隙充分挤密后, 变形趋于稳定; 与常规挡土墙位移方向不同, 该组合墙面的挡土墙位移方向表现为向填土一侧移动。实践证明, 该组合墙面加筋土挡墙具有结构合理、施工方便且安全可靠的特点, 可为类似工程的设计提供参考。

【关键词】 加筋土挡墙; 组合墙面; 劈裂模块; 混凝土面板; 土工格栅

【中图分类号】 TU 476

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2023.03.003

High and Low Combination Wall Reinforced Earth Retaining Wall Engineering Application Example in Qingdao

Zhang Jiqing¹ Sun Tao² Shao Changhua¹

(1. Qingdao Ruiyuan Engineering Group Co., Ltd., Qingdao 266555, Shandong, China; 2. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China)

【Abstract】 The situation, design idea, construction scheme and monitoring results of a high and low combination wall reinforced earth retaining wall project in Qingdao were introduced. The concrete split surface module wall was used in the lower part of the composite reinforced earth retaining wall, and the cast-in-situ concrete panel with reinforced earth bag wall was used in the upper part. The monitoring data show that the larger the deformation of the lower splitting module towards the outer wall, the tighter the geogrid tension; the higher the load and earth pressure of the upper wall are, the denser the reinforced earth is, and the greater the tensile force of the backpacking geogrid and reinforced bolt is. The displacement of the soil and the deformation of the retaining wall have a certain lag with the loading time, and the deformation tends to be stable after the gap between the upper geobag and the retaining wall is fully crowded. The displacement direction of the retaining wall is different from that of the conventional retaining wall. The practice proves that the composite wall reinforced earth retaining wall has the characteristics of reasonable structure, convenient construction and safe and reliable, which can provide reference for the design of similar projects.

【Key words】 reinforced earth retaining wall; composite wall; split module; concrete panel; geogrid

0 引言

加筋土挡墙由挡墙、回填土和筋材三部分组成^[1], 具有良好抗震稳定性、节约土地、美观、经济等优点, 广泛应用于岩土工程领域^[2]。加筋土技术主要是将土体的抗压、抗剪强度与加筋材料的抗拉强度有机结合, 大幅提升加筋体整体强度和稳定性^[2]。近年来, 出现许多新的土工合成加筋材料、面板结构形式、联结方式和无面板加筋土挡墙类型^[3]。目前的加筋土

挡墙有单坡面包裹式挡墙、双坡面包裹式挡墙、面板式加筋土挡墙、模块式加筋土挡墙、格宾加筋土挡墙、吉奥挡墙、土工格室加筋土挡墙等^[4-10]。

不同于常规加筋土挡墙形式, 本文介绍了一种新型高低组合式墙面加筋土挡墙。通过该组合式墙面挡墙的实际工程应用和变形监测分析, 发现了该形式挡墙的空间布局优势和挡墙变形的特殊性。通过研究该挡土墙的适用性, 为该新型组合墙面挡墙在工

作者简介: 张吉庆, 男, 1989 年生, 汉族, 山东诸城人, 硕士, 高级工程师, 一级建造师, 主要从事基坑支护、地基处理、地灾治理设计与施工。E-mail: 314239923@qq.com

程中的推广应用提供参考。

1 工程概况

青岛某景观示范区湖体挡土墙工程位于青岛市黄岛区峨眉山路以东, 漓江西路以北。标高 9.55 m 以上为高挡墙, 长度约 116 m, 采用现浇混凝土面板+筋材反包土工袋加筋土挡墙系统。标高 9.55 m 以下

为低挡墙, 长度约 112 m, 采用坡率 1:0.10 的劈裂面模块面板加筋土挡墙系统。1-1 剖面、2-2 剖面 and 3-3 剖面单元挡墙标高 5.65 ~ 17.10 m, 为高低组合式墙面加筋土挡墙, 即本文研究对象。4-4 剖面、5-5 剖面、6-6 剖面 and 7-7 剖面单元挡墙标高 5.65 ~ 9.55 m, 为低挡墙。单元划分平面布置见图 1。

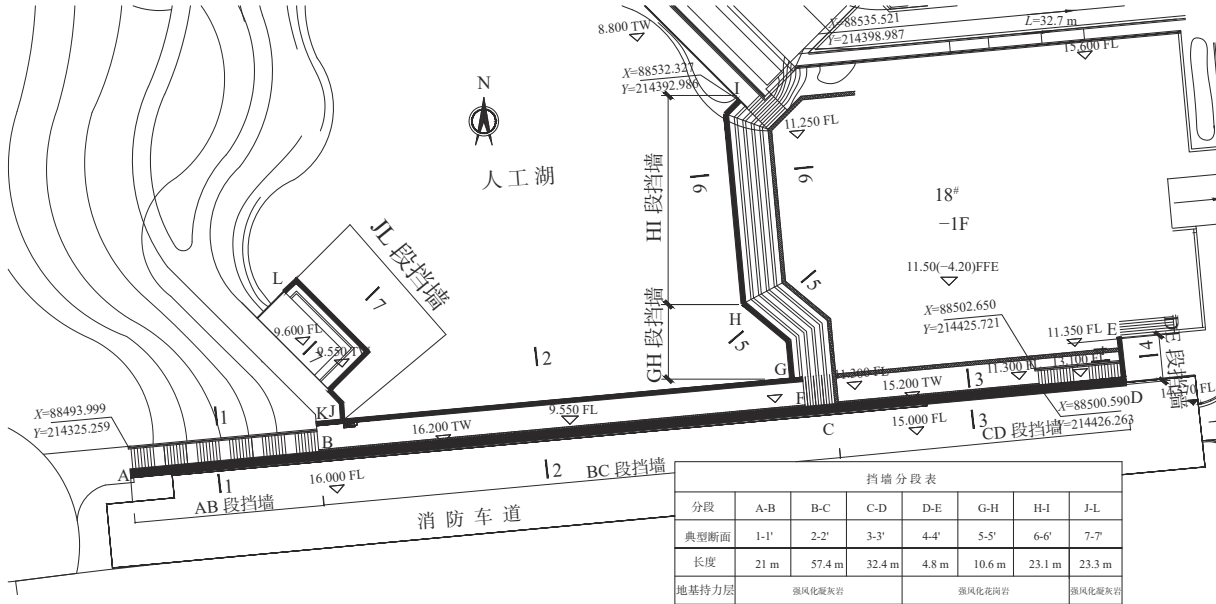


图 1 单元划分平面布置图

1.1 工程地质及水文地质条件

根据地表调查和钻探揭露, 场地地层主要有第四系全新统沼泽沉积、冲洪积相及燕山晚期侵入岩层。岩土特征自上而下分述如下:

第(1)层淤泥质粉质黏土(Q₄^h): 灰褐色—黄褐色, 流塑, 饱和, 稍有臭味, 韧性较差、干强度一般, 局部混中粗砂颗粒, 可见植物腐殖质等。

第(2)层粗砾砂(Q₄^{al+pl}): 灰褐色—黄褐色, 饱和, 松散, 级配较差, 磨圆度较差, 主要成分为长石、石英, 含有黏性土约 10% ~ 35%。

第(3)层强风化凝灰岩(K_{qs}): 灰紫色—褐紫色, 凝灰结构, 块状构造。晶屑玻屑含量 10% ~ 50%, 晶屑以石英、长石及少量暗色矿物组成。岩石坚硬程度等级为极软岩, 岩体完整程度为破碎, 岩体基本质量等级为 V 级。

场区地貌类型为剥蚀残丘地貌, 局部沼泽沉积地貌, 地形起伏较大, 挡墙位于水坑里, 水坑大致呈圆形, 直径约 60 m, 现状水面标高约为 9.76 m。地势起伏较大, 西北高, 东南低。水坑为地表水, 由降水补给形成, 水深受降水影响大。场地中的粗砾砂、强风化基岩为主要透土层。水坑拟改造为景观湖, 后期景观

湖水位标高约为 8.55 m, 低挡墙建成后大部分位于水面以下。

1.2 环境条件

本挡墙为临湖挡墙工程, 临湖东、西和南三侧的低挡墙顶部后期为亲水平台道路, 东侧低挡墙往东约 17 m 为园区 18#楼。高挡墙顶部为园区消防道路, 墙顶距离南侧用地红线约 10 m, 红线外为后期市政道路。为避免后期和用地红线外市政道路施工的相互影响, 在靠近用地红线处(即 1-3 剖面单元)采用高低组合式墙面加筋土挡墙, 形成加筋土体自稳定体结构。

2 挡墙设计

可用于加筋土挡墙的设计分析方法可分为极限平衡法、极限状态法和数值分析法^[11-20]。目前常用的是规范中的极限平衡法, 包括挡墙外部稳定性验算、挡墙内部稳定性验算、加筋材料与墙面板的链接强度验算、确定墙后排水和墙顶防水措施^[21]。

以 2-2 典型剖面为例(见图 2), 标高 9.55 m 以下的临湖加筋挡墙采用混凝土劈裂面模块做墙面(见图 3)。在模块面板内侧竖向每隔 420 mm 铺设一层土体加筋筋材, 筋材与模块通过专用连接卡件连接,

以保证足够的连接强度以及加筋系统的整体性。采用透水性好、的填料回填,劈裂面砌块后侧分层反包 250 g/m² 的无纺土工布反滤层。

标高 9.55 m 以上的加筋挡墙采用现浇混凝土面板+筋材反包加筋土体系统(见图 4)。加筋挡墙面板

为立模现浇 C30 钢筋混凝土,面板厚度 250 mm。筋材反包加筋土体系统的包裹体采用透水土工袋装填粗粒土码砌。竖向每隔 400 mm 铺设一层加筋筋材,分层填土碾压。加筋筋材之间采用高密度聚乙烯(HDPE)连接棒连接成为整体。

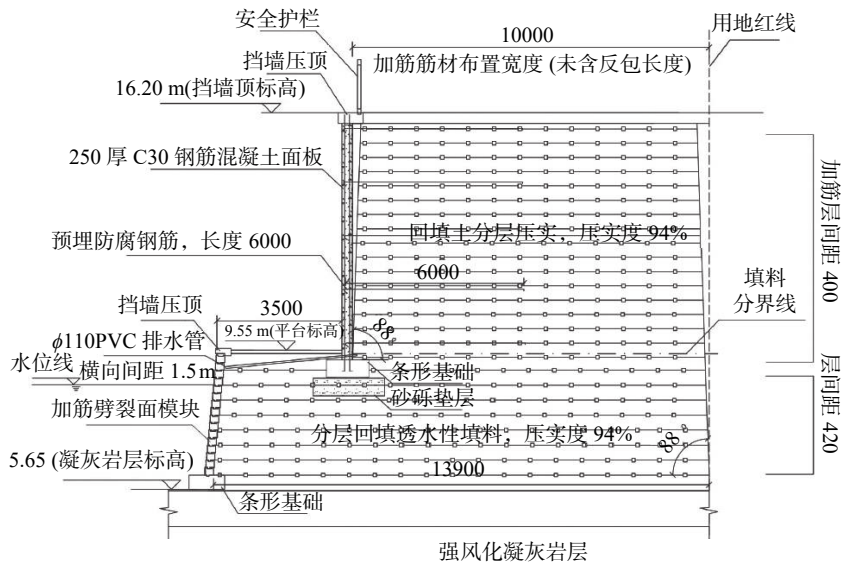


图 2 挡土墙典型剖面(单位:mm)

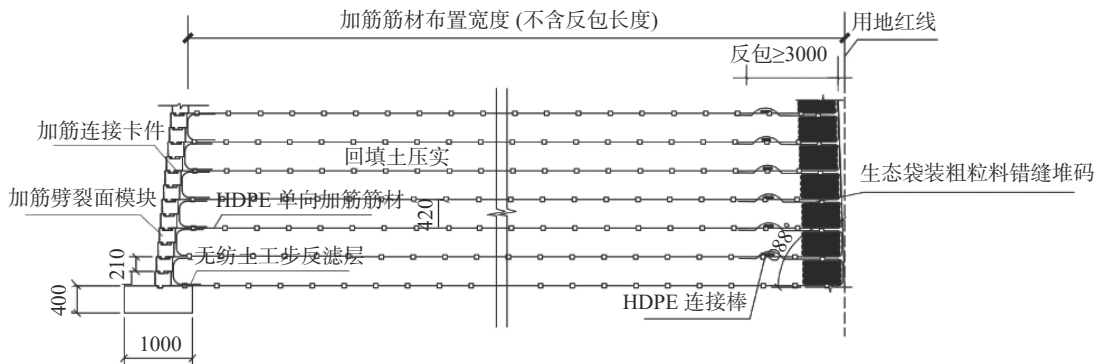


图 3 低挡墙墙面及后端处理大样图(单位:mm)

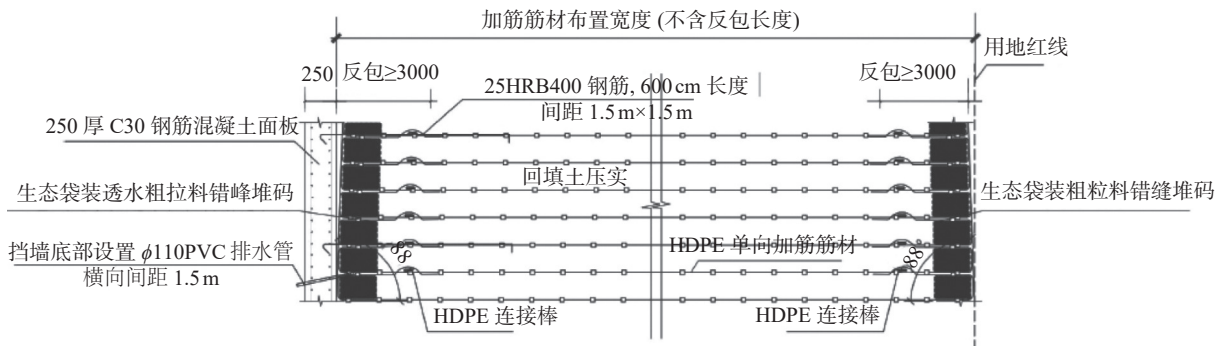


图 4 高挡墙墙面及后端处理大样图(单位:mm)

现浇混凝土面板与筋材反包加筋土体系统通过在加筋体填筑过程中预埋的钢筋相连。预埋钢筋埋入加筋体锚固长度 6.0 m, 并采用除锈、刷沥青船底

漆和沥青玻纤布缠裹二层进行防腐蚀处理。其水平和竖向间距 1.5 m, 钢筋前端露出包裹体外, 与整体面板的钢筋网焊接成一体。加筋挡墙墙背后土工袋

内装透水性好的粗粒料作为坡面滤水层, 墙体底部每横向间距 1.5 m 设置 $\phi 110$ mm PVC 排水管, 把加筋坡体内的水导排到挡墙外侧的景观湖中。

2-2 剖面挡土墙安全等级为一级, 其余区域挡土墙安全等级为二级, 设计正常使用年限为 50 年。根据《土工合成材料应用技术规范》(GB 50290—2014), 外部稳定性验算应将整个加筋土体视为刚体, 采用一般重力式挡墙的方法验算墙体的抗水平滑动稳定性、抗深层滑动稳定性和地基承载力。加筋土体可不做抗倾覆校核, 但墙底面上作用合力的着力点应在底面中三分段之内。墙背土压力应按朗肯土压力理论确定。

外部稳定性验算中, 采用一般重力式挡墙的方法验算墙体的抗水平滑动稳定性。计算过程如下:

$$\frac{E_{pk} + (G + q - u_m B) \tan \varphi + cB}{E_{ak}} \geq K_{s1} \quad (1)$$

式中: $E_{pk}=0$; 无地下水, $u_m=0$; $c=0$ kPa; $B=10$ m; $\gamma=18$ kN/m³; $\varphi=28^\circ$; $q=30$ kPa;

$$H=16.0-9.55=6.45 \text{ m};$$

$$G=BH\gamma=6.45 \times 10 \times 18=1161 \text{ kN/m};$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (2)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 28^\circ/2) = 0.361;$$

$$E_{ak} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a + qHK_a \quad (3)$$

$E_{ak} = 0.5 \times 18 \times 6.45^2 \times 0.361 + 30 \times 6.45 \times 0.361 = 205$ kN/m;

$$\frac{(1161 + 30) \times \tan 28^\circ}{205} = 3.09 \geq 1.2, \text{ 满足要求。}$$

内部稳定性验算应包括筋材强度验算和抗拔稳定性验算。

(1) 筋材强度验算

每层筋材均应进行强度验算。第 i 层单位墙长筋材承受的水平拉力 T_i 应按式(4)计算。

$$T_i = [(\delta_{vi} + \Sigma \Delta \delta_{vi}) K_i + \Delta \delta_{hi}] s_{vi} / A_r \quad (4)$$

对于柔性筋材, 土压力系数 K_i 应按式(5)计算

$$K_i = K_a \quad (5)$$

筋材抗拉强度 T_a 应满足下式要求:

$$T_a / T_i \geq 1.0 \quad (6)$$

$$T_a = T / R_F \quad (7)$$

式中: T 为筋材极限抗拉强度; R_F 为筋材综合折减系数。

考虑到最下层筋材拉力 T_i 最大, 最容易受拉破坏, 取最下层筋材进行抗拉强度验算。具体验算过程如下。

土工格栅为柔性筋材:

$$K_i = K_a = \tan^2(45^\circ - 28^\circ/2) = 0.361$$

土工格栅满铺 $A_r = 1$; 筋材竖向间距 $s_{vi} = 0.4$ m; $\Sigma \Delta \delta_{vi} = 30$ kPa; $\Delta \delta_{hi} = 0$;

$$T_i = [(6.45 \times 18 + 30) \times 0.361 + 0] \times 0.4 / 1 = 21.1 \text{ kPa};$$

材料极限抗拉强度 $T = 130$ kN/m; 筋材综合强度折减系数 R_F 取 3.0;

$$T_a = 130 / 3 = 43.33 \text{ kPa};$$

$$T_a / T_i = 43.33 / 21.1 = 2.05 \geq 1.0, \text{ 满足要求。}$$

(2) 筋材抗拔稳定性验算

第 i 层筋材的抗拔力 T_{pi} 应根据填土破裂面以外筋材的有效长度 L_e 与周围土体产生的摩擦力按式(8)计算

$$T_{pi} = 2\delta_{vi} B L_{ei} f \quad (8)$$

筋材抗拔稳定性安全系数应按式(9)确定

$$F_s = T_{pi} / T_i \quad (9)$$

安全系数不应小于 1.5。当不能满足时, 应加长筋材或增加筋材用量, 重新进行验算。

第 i 层筋材总长度 L_i 应按式(10)计算

$$L_i = L_{oi} + L_{ei} + L_{wi} \quad (10)$$

抗拔验算: 最上层筋材, 锚固段 L_{ei} , 竖直压力 δ_{vi} 最小, 最容易受拔破坏。筋材满堂铺时 $B=1$; 摩擦系数 f 取 0.25; 最上一层

$$L_{ei} = 10 - (6.45 - 0.4) / \tan(45^\circ + 28^\circ/2) = 6.36 \text{ m};$$

$$T_{pi} = 2 \times (0.4 \times 18 + 30) \times 1 \times 6.36 \times 0.25 = 118.3 \text{ kPa};$$

$$T_i = [(0.4 \times 18 + 30) \times 0.361 + 0] \times 0.4 / 1 = 5.37 \text{ kPa};$$

$$F_s = 118.3 / 5.37 = 22.03 > 1.5, \text{ 满足要求。}$$

综上所述, 外部稳定性验算中, 墙体的抗水平滑动稳定性满足要求, 内部稳定性验算中筋材强度验算和抗拔稳定性验算满足要求, 其他验算不再列述。

该高低组合式挡墙形式, 优化了挡墙空间布局, 满足了规划景观要求。下部低挡墙的墙后填土为行人道路和亲水平台, 荷载不大, 对挡墙基础地基承载力和挡墙变形要求相对不严, 采用混凝土劈裂面模块墙面, 施工便捷, 降低了成本。低挡墙大部分位于景观湖中, 透水性好且美化了环境。上部高挡墙后填土作为消防道路的一部分, 荷载相对较大, 对基础地基承载力和挡墙变形要求严格, 采用钢筋混凝土面板墙, 提高了加筋土挡墙强度、刚度和稳定性。垂直挡墙形式, 节约了土地。

3 挡墙施工

3.1 下部挡墙施工要点

模块采用厂家预制, 模块尺寸为 400 mm × 220

mm×210 mm,在条形基础上按正确的施工线及高程浆砌底层模块。挡墙砌块垒砌方法为“反垒法”。第一皮干垒挡墙应使用异型基础块与基础用水泥砂浆砌筑。挡墙砌块垒砌按设计图纸要求配合格栅使用,格栅锁件放入挡墙砌块凹槽,上层砌块的下凸榫垒砌入下层砌块凹槽,使格栅锁件嵌入上下砌块的锁槽内。填土并压实至底模块层顶面后,安装、张拉第一层土工格栅,再做下一道模块层。

按设计要求裁剪格栅。裁剪时其中一格栅端沿格栅横向必须保留一整排格栅纵向肋条。将准备好的格栅端放置于模块的凹槽内并用连接件套住格栅横档,保证模块连接件盖住每一格栅网孔。

格栅张拉采用张拉梁张拉首先向后拉格栅,使格栅连接件立起、紧贴模块的后槽面上。再用张拉梁钩住格栅的自由端,施加足够的张拉力以绷紧格栅确保格栅与地面紧贴,不得有松弛或者皱褶。拉紧后在格栅末端用木楔或“U”型钢钉固定。在保持张拉格栅的同时,在格栅上填铺一层填土,以保证在释放张拉力以后格栅不会回缩。

3.2 上部挡墙施工要点

根据图纸要求进行预埋件安装,钢筋混凝土挡墙在绑扎挡土墙钢筋过程中进行预埋件固定与安装,采用直径 25 mm 三级钢预留锚固段,间距 1.5 m×1.5 m,预埋钢筋做除锈、刷沥青船底漆和沥青玻纤布裹两

层处理,预留钢筋伸出模板 20 cm,后期采用套筒连接到 6 m 长度。每隔 40 cm 预埋一层加筋网连接件,以便铺设加筋格栅时能衔接完好,保证施工质量。

在挡墙纵向,挡墙面处的相临格栅相互对接,格栅层间距为 400 mm。格栅安装施工见图 5。



图 5 铺设单向土工格栅

格栅应分段张拉,分段张拉格栅的长度以 5~6 m 为宜,同时格栅的纵向销钉数量布置为间距 2~3 m 二个,二个销钉间距现场实地调整。

4 挡墙监测

现场监测点布置见图 6。

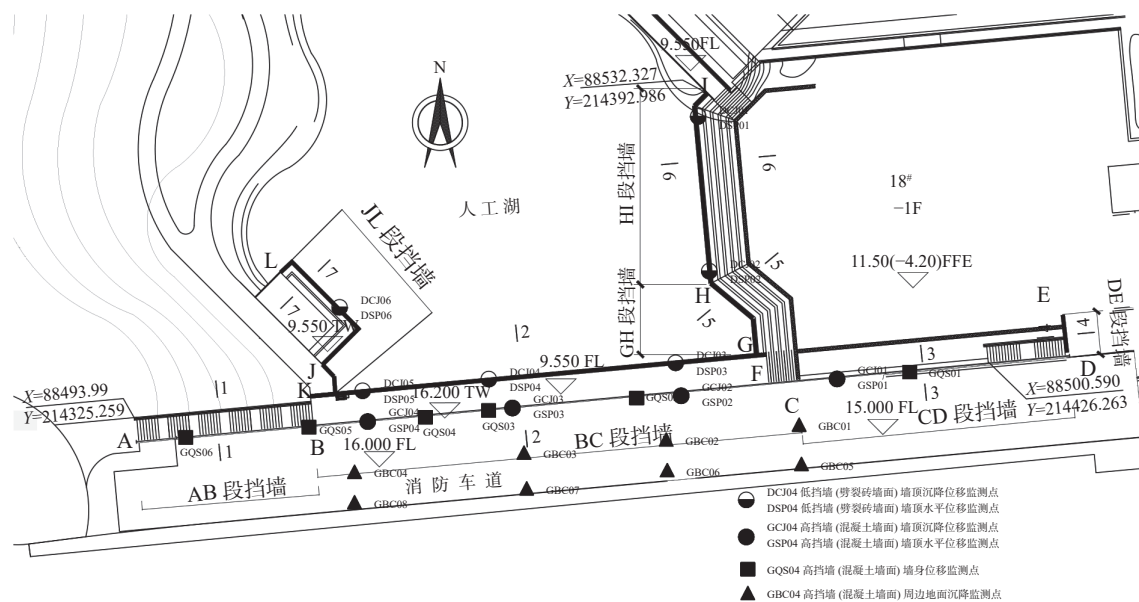


图 6 监测点平面布置图

(1) 挡墙墙顶沉降监测

挡墙墙顶沉降和周边地面沉降采用天宝 DiNi 精密电子水准仪及配套的条码钢水准尺。标称精度:±0.3 mm/km。本项目共布设 10 个挡墙顶部沉降

监测点,其中低挡墙 6 个,高挡墙 4 个。布设 8 个周边道路地面沉降观测点。

2020 年 12 月 25 日高挡土墙浇筑完成,2021 年 1 月 15 日填土完成。2021 年 1 月 21 日开始第 1 次

进行挡土墙顶部位移监测, 截止到 2021 年 11 月 14 日, 进行了 24 次观测(见图 7)。2021 年 3 月 7 日, 挡墙后道路出现明显裂缝(见图 8), 其中监测点 DCJ03 第 4 次观测的沉降量最大值为-3.9 mm。经分析, 裂缝出现的前 2 天降雨, 雨水浸入到填土中, 加剧了地面的沉降。

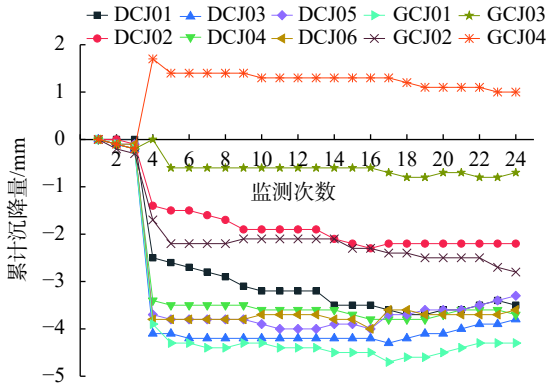


图 7 挡墙顶部沉降累计变化量

10 个监测点中, GCJ01 的累计沉降量最大, 为-4.3 mm。不同于其他监测点, GCJ04 未发生沉降, 反而隆起, 隆起最大位移为 1.7 mm。挡土墙填土厚度为自西往东逐渐加厚, 西侧基岩埋深浅(见图 9), 挡土墙基础为钢筋混凝土条形基础, 东侧下沉, 导致西侧挑起所致。



图 8 道路地面裂缝



图 9 贴近挡墙一侧加筋土

(2) 墙后道路地面沉降

挡墙后填土经压实, 墙后道路施工完成后进行了 8 个点的道路沉降观测。因监测点设置在道路上, 后续道路收尾施工损坏多个监测点, 仅剩 2 个监测点保存完整, 道路平均沉降 9.5 mm。道路沉降观测点自 2021 年 7 月 17 日开始观测, 2021 年 11 月 14 日观测结束。由图 10 可知, 后期道路沉降趋于稳定。

(3) 挡墙墙顶水平位移

挡墙墙顶水平位移采用徕卡电子全站仪, 标称精度: 角度±0.5", 距离±0.6 mm+1 ppm.D。共布设 13 个挡墙墙顶水平位移监测点(前期 10 个, 跟挡墙墙顶沉降监测点共用, 后期补 3 个)。监测点 GSP01 在

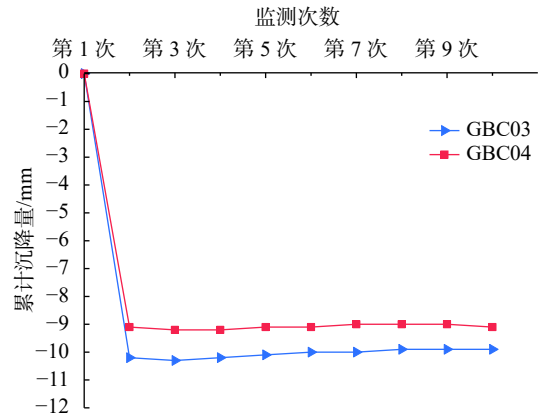


图 10 道路地面沉降量

第 7 次监测时发现被破坏, 监测点 GSP02 在第 9 次监测时发现被破坏, 破坏后的数据不列入统计分析范围(见图 11)。

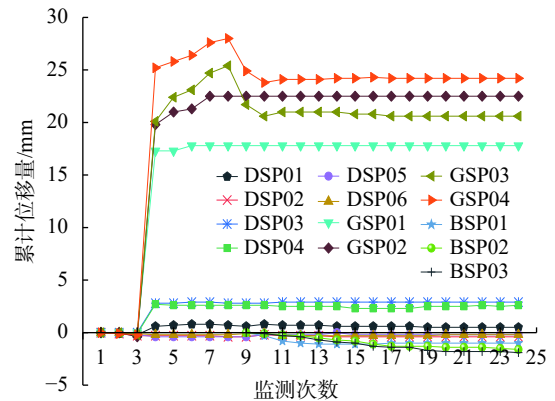


图 11 挡墙墙顶累计水平位移

不同于常规挡土墙倾向临空一侧, 此项目挡墙倾向于填土一侧, 高挡墙平均累计水平位移+22.5 mm, 其中高挡墙监测点 GSP04 最大累计水平位移+28 mm, 低挡墙平均累计水平位移+2.5 mm。经分析, 贴近高挡墙一侧为土工格栅返包土工袋, 且中间留有预变形空隙, 约 20~30 cm。填土道路压实后, 土体向两侧挤压, 导致土工格栅绷紧。土工格栅提供拉力防止土体侧向水平压力直接传递到混凝土面板墙上。而混凝土面板墙预留出的钢筋锚杆受到垂直土压力后, 钢筋锚杆被拉紧, 导致混凝土面板墙向填土一侧移动。

(4) 挡墙墙身位移监测

挡墙墙身位移监测仪器采用 GR-DDWYXXB 系列多点位移计, 标称精度: ±0.01 mm。共布设 6 个挡墙墙身位移监测点, 每个监测点埋设 2 个测点。

墙身平均累计位移为-0.2 mm, 其中监测点 GQS01-2 最大墙身累计位移-0.35 mm。2021 年 7 月 2 日, 墙身位移计因施工保护不善, 全部损坏, 后期的数据不在统计之内(见图 12)。

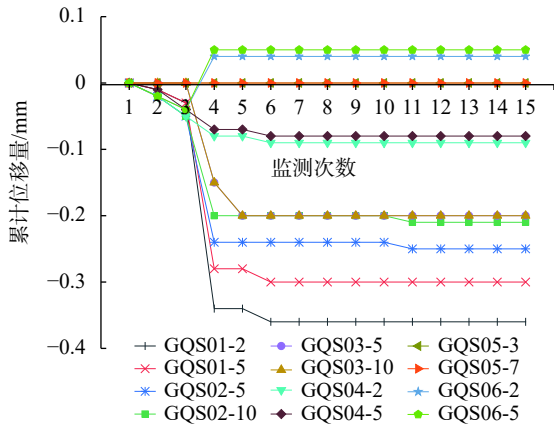


图 12 墙身位移累计变化量

由图中可知,墙身底部位移几乎变化不大,由此可知挡土墙的抗滑移稳定性可以满足工程需要。

(5)现场巡视

现场巡视主要以目测为主,辅以锤、钎、量尺、放大镜等工器具以及摄影、摄像等设备进行。经现场巡视,未发现明显错位位移,完工现场见图 13。

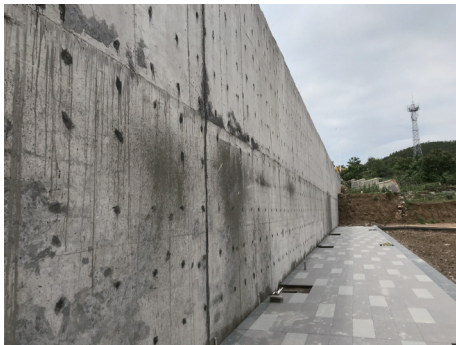


图 13 项目完工效果图

5 结论

(1)高低组合式挡墙,下部劈裂面模块往外侧变形越大,土工格栅张拉越紧。上部墙后荷载和土压力越大,加筋土越密实,返包土工格栅和钢筋锚杆提供向墙后的拉力越大,限制了土体的侧向变形,挡墙形式受力合理。

(2)通过监测数据发现,墙后土体位移及挡墙变形较荷载施加具有一定的滞后。当上部土工袋填土与挡墙之间的空隙充分挤密后,变形趋于稳定。

(3)与常规挡土墙倾斜方向不同,该形式的挡土墙位移方向表现为向填土一侧移动。最大墙顶沉降量 -4.3 mm ,最大水平位移 $+28\text{ mm}$,墙身底部几乎无变化。

(4)在工程应用中,利用高挡墙后填土作为消防道路的一部分,节约土地。低挡墙的混凝土劈裂面模块墙面透水性高,施工便捷,价格便宜且美化环境。高低组合式挡墙具有一定的适用性,建议在景观绿化、

市政道路等工程中推广应用。

参考文献

- [1] 李思汉. 模块式加筋土挡墙动力反应试验研究及数值分析[D]. 廊坊: 防灾科技学院, 2018.
- [2] 王俊杰. 土工格栅反包型加筋土结构抗震性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [3] 陈华. 土工格栅加筋土挡墙力学特性试验研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2009.
- [4] 刘泽. 生态型加筋土挡墙动静力学特性试验研究与数值分析[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [5] 黄小元. 返包土工袋式加筋土结构性能研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [6] 杨广庆, 吕鹏, 庞巍, 等. 返包式土工格栅加筋土高挡墙现场试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(2): 517-522.
- [7] 杨广庆, 周亦涛, 熊保林, 等. 刚性基础上双级土工格栅加筋土挡墙性状研究[J]. 水利学报, 2012, 43(12): 1500-1506.
- [8] 叶观宝, 张振, 邢皓枫, 等. 面板对路堤式加筋土挡墙力学特性的影响[J]. 岩土力学, 2012, 33(3): 881-886.
- [9] 杨圣春. 包裹式加筋土挡墙关键参数研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [10] 周健, 谢鑫波, 姜炯, 等. 包裹式加筋土挡墙的变形特性及影响因素研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(1): 148-154.
- [11] 张蕾. 加筋土挡墙现场试验与数值模拟[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [12] 观祖保. 新老道路拼接中土工格栅加筋土的协同作用研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- [13] 徐健楠. 柔性加筋挡墙及护坡设计方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [14] 黄燕燕, 黄庆为. 三维排水柔性土工格室生态袋边坡施工技术[J]. 广东土木与建筑, 2014, (2): 52-55.
- [15] 贾敏才, 黄文军, 叶建忠, 等. 超高无面板式土工格栅加筋路堤现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(12): 2220-2225.
- [16] 申超. 高速公路柔性生态加筋土挡墙现场监测与设计方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [17] 王贺, 杨广庆, 熊保林, 等. 模块面板式加筋土挡墙结构行为试验研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(2): 487-498.
- [18] 朱宏伟, 姚令侃, 陈晓龙, 等. 土工格栅反包土工袋加筋土挡墙的地震响应分析及设计建议[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(2): 319-326.
- [19] 陈榕. 土工格栅加筋特性及其加筋结构计算方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [20] 陈华. 塑料土工格栅加筋土挡墙动力有限元分析[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2002.
- [21] GB/T 50290—2014 土工合成材料应用技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.