

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.020

土工格栅在板桩码头工程中的应用

张福贵 朱庆华

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司,江苏 扬州 225009)

摘要:基于土工原理,提出了一种计算土工格栅复合土体强度指标的分析方法.针对板桩码头工程,在板桩墙后采用以土工格栅为筋材的复合土体进行回填,按照该计算方法确定复合土体的强度,并据此对板桩码头结构进行受力分析.结果表明:在板桩墙后的回填土体中加入土工格栅可以提高复合土体的强度,减小回填土体对板桩墙的主动土压力作用,从而优化板桩码头结构,降低工程造价.实际工程应用表明,在板桩码头板桩墙后采用土工格栅加筋回填土,对减少墙后土压力具有良好的效果.

关键词:土工格栅;板桩码头;复合土体;加筋强度
中图分类号:U656.112 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2009)06-0712-04

土工格栅是用高分子聚合物通过挤压、成板、冲孔,经纵向或纵、横向拉伸而形成单向或双向拉伸的土工材料.目前,土工格栅以其高强度、低延伸率的特点,作为加筋或加固材料被广泛应用于各类软土地基的处理.土工格栅作为加筋或加固材料不但能有效降低软土地基的竖向位移和水平位移,且对提高加筋后复合土体强度指标和减少墙后复合土体主动土压力具有良好的效果,尤其是双向拉伸土工格栅在纵向和横向上都具有很大的拉伸强度,在土体中能提供一个更为有效的力承担和扩散的理想连锁系统,能够全方位提高土体强度指标,是理想的提高复合土体强度指标和减少复合土体主动土压力的土工合成材料.根据土工格栅作为筋材具有提高其加筋复合土体强度指标和减少复合土体主动土压力的特性,将土工格栅应用于板桩码头墙后回填土中,可以提高板桩墙后复合土体的强度指标,减少墙后主动土压力,进而优化板桩码头结构尺寸,节省工程投资.本文针对板桩码头结构,结合工程实例,提出了一种用于确定土工格栅复合土体强度指标的分析方法.

1 土工格栅复合土体强度的计算方法

根据土力学中的郎肯土压力理论^[1],墙后回填土体受拉区的最大深度和墙后回填土体的主动土压力强度计算公式为

$$Z_0 = \frac{2c}{\rho g \sqrt{K_a}} - \frac{q}{\rho g}$$
(1)

$$p_a = \rho g H K_a + q K_a$$
(2)

式中: Z_0 ——土体受拉区的最大深度,m; c ——回填复合土体黏聚力,kPa; ρ ——土体密度,t/m³; q ——土体表面上的均布荷载,kPa; p_a ——土体的主动土压力强度,kPa; H ——土体的总厚度,m; K_a ——郎肯主动土压力系数, $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$.

土工格栅作为筋材应用于回填土体中,形成加筋复合土体.根据 SL/T225—98《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》^[2]和 GB 50290—98《土工合成材料应用技术规范》^[3]中有关加筋土挡墙的计算原理,加筋土体的水平拉应力 σ_t 计算公式为

$$\sigma_t = T/S_v$$
(3)

式中: T ——筋材拉伸强度,kN/m; S_v ——筋材间的垂直间距,m.

收稿日期:2009-04-23
作者简介:张福贵(1965—),男,江苏扬州人,高级工程师,主要从事水利工程设计工作.

在板桩码头墙后采用土工格栅加筋土回填的主要作用是减小墙后主动土压力对板桩墙的作用,按照郎肯土压力理论,假定加筋后复合土体对码头前沿板桩墙不产生主动土压力作用,则复合土体的计算受拉区最大深度与加筋土体的总厚度相等^[4],即 $Z_0 = H$ 。按照筋材内部稳定性的要求,筋材能提供的加筋土体水平拉应力与土体底部的主动土压力强度相等,即 $\sigma_t = p_a$ 。根据土工原理^[5],土工格栅作为筋材对加筋后复合土体的强度指标的影响表现为(a)对土体的黏聚力具有显著的提高作用(b)对土体的内摩擦角影响较小,其影响可忽略不计^[6-7]。在计算分析中把加筋土体简化为一个复合土体,由式(1)和式(2)可得

$$\frac{T}{S_V} = p_a = 2c\sqrt{K_a}$$

(4)

由式(4)可得加筋复合土体黏聚力的计算公式:

$$c = \frac{T}{2S_V\sqrt{K_a}}$$

(5)

2 工程实例

2.1 工程概况

江苏蓝海重工板桩码头位于南通市平潮镇工业园区长江天生港水道中段的北岸,码头总长度为240 m。码头前沿泥面高程为-6.00 m(国家85高程系),码头面高程为5.50 m。设计高水位2.92 m,设计低水位-0.43 m。码头面荷载标准值为20 kPa。码头结构形式为单锚板桩结构,其断面及各土层物理力学指标如图1所示。

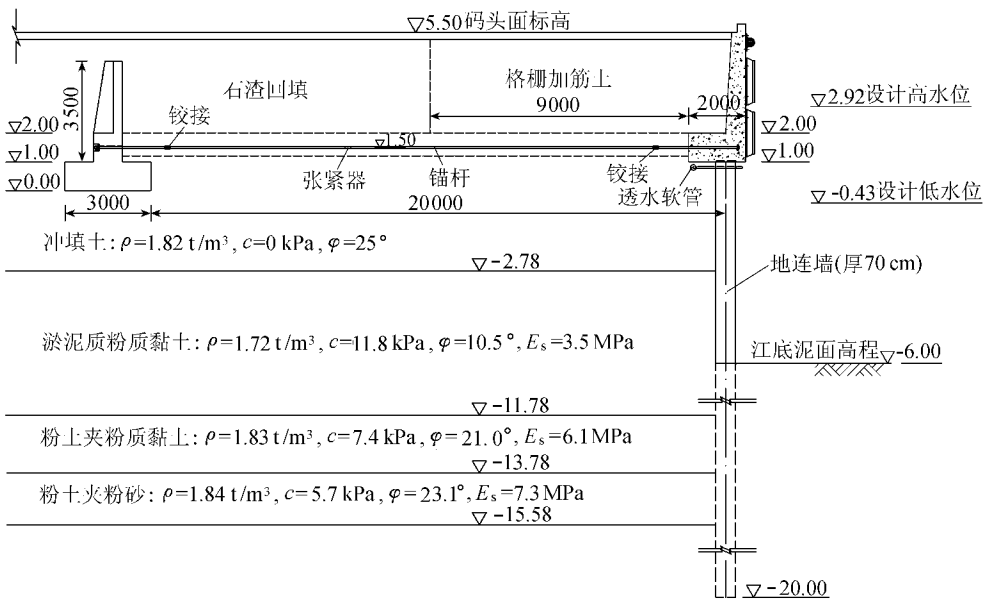


图1 码头结构断面及各土层物理力学指标(高程单位:m;尺寸单位:mm)

Fig. 1 Section of wharf structure and physical and mechanical indices of soils (elevation units : m ; dimension units : mm)

2.2 土工格栅的设计

码头前沿板桩墙后在高程0.00 m以上为回填土,其物理力学指标与冲填土相同。在高程2.00 m以上设计为土工格栅回填土,回填土体压实后的相对密度不小于0.75。已知 $H = 3.50\text{ m}$, $q = 20\text{ kPa}$,为控制加筋土体不产生主动土压力,则 $Z_0 \geq H$,由公式(1)可得 $c = \left(Z_0 + \frac{q}{\rho g} \right) \frac{\rho g \sqrt{K_a}}{2} \geq \left(H + \frac{q}{\rho g} \right) \frac{\rho g \sqrt{K_a}}{2}$,可计算得 $c \geq 26.66\text{ kPa}$,由公式(4)可计算得 $P_a \geq 33.97\text{ kPa}$ 。筋材选用TGSG40—40双向拉伸塑料土工格栅,其性能参数如下:纵/横向拉伸强度大于或等于40 kN/m,纵向标称伸长率小于或等于15%,横向标称伸长率小于或等于13%,纵/横2%伸长率时的拉伸强度大于或等于14 kN/m,纵/横5%伸长率时的拉伸强度大于或等于28 kN/m。

为协调码头位移和筋材拉伸长度^[8-9],在设计中土工格栅的拉伸强度取其2%伸长率时的拉伸强度,即 $T = 14\text{ kN/m}$,筋材间的垂直间距 $S_V = \frac{T}{p_a} \leq \frac{14\text{ kN/m}}{33.97\text{ kPa}} = 0.41\text{ m}$ 。工程设计筋材间的垂直间距取为0.30 m,满足设计假定要求,亦满足SL/T225—98《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》对筋材内部稳定性的要求。按公

式(5)计算,工程中土工格栅加筋复合土体的黏聚力 $c = \frac{T}{2S_v \sqrt{K_a}} = \frac{14 \text{ kN/m}}{2 \times 0.3 \text{ m} \times \tan(45^\circ - 25^\circ/2)} = 36.6 \text{ kPa}$.

为确定土工格栅加筋复合土体的长度,将土工格栅加筋复合土体视为加筋土挡墙,进行墙体外部稳定性分析^[10-11].根据SL/T225—98《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》对加筋土挡墙的规定,经计算,工程中土工格栅加筋复合土体的长度不得小于7.5 m,设计土工格栅加筋土体的长度取9.0 m.

2.3 结构内力分析

工程码头为单锚板桩结构,挡土高度为11.50 m,锚杆安装高程为1.50 m(根据施工期长江潮位确定),板桩墙厚70 cm.根据码头前沿设计低水位-0.43 m和设计高水位2.92 m的不同水位工况,板桩墙后的地下水位高出板桩墙前长江水位0.50 m.板桩结构内力分析采用竖向弹性地基梁法,其余结构受力分析均按照JTJ292—98《板桩码头设计与施工规范》^[12]的相关规定进行.码头板桩墙后的回填土按照土工格栅加筋土的复核土体强度指标和普通回填土的强度指标,进行对比分析.具体计算成果见表1.

表1 码头结构分析主要成果

Table 1 Analytic results of wharf structure										
工 况		板桩计算 底高程/m	锚杆拉力 标准值/ (kN·m ⁻¹)	板桩最大 正弯矩/ (kN·m ⁻¹)	最大正弯 矩作用 高程/m	板桩最大 负弯矩/ (kN·m ⁻¹)	最大负弯 矩作用 高程/m	锚锭板 埋深/m	锚锭板 到板桩墙 最小间距/m	码头水平 位移/mm
设计低水位 (-0.43 m)	土工格栅 加筋土回填	-18.60	385.18	866.26	-14.24	-992.31	-4.41	5.50	19.68	39.73 (32.01)
	普通土回填	-18.50	458.79	829.85	-14.20	-953.00	-4.51	6.20	23.21	47.99 (37.90)
设计高水位 (-2.92 m)	土工格栅 加筋土回填	-17.10	279.66	550.79	-13.27	-629.61	-4.09	5.50	19.68	39.73 (32.01)
	普通土回填	-16.95	349.23	517.44	-13.22	-591.53	-4.24	6.20	23.21	47.99 (37.90)

注:表中板桩弯矩的折减系数为0.8,码头水平位移中括号内数值为不计码头面荷载时的位移.

工程中锚杆采用钢拉杆,按照表1中锚杆拉力标准值,当码头板桩墙后采用土工格栅加筋土回填时,选用钢拉杆的主要参数如下:钢材牌号Q345,直径65 mm,间距1.5 m,安全工作荷载630 kN;在码头板桩墙后采用普通土回填的情况下,选用钢拉杆的主要参数为:钢材牌号Q345,直径70 mm,间距为1.5 m,安全工作荷载730 kN.

根据表1中的计算成果,经分析可知,在码头板桩墙后采用土工格栅加筋土回填,对码头结构的内力影响如下:(a)锚杆最大拉力标准值减少16.04%,(b)码头最大水平位移减少17.24%,(c)板桩最大弯矩相接近,最大负弯矩增加3.96%,(d)板桩计算底高程相差不大,同时可以减小锚锭板前被动土压力区域,降低锚锭板的埋置深度,缩短锚锭板至板桩墙之间的距离,减少锚杆长度.

2.4 现场实测结果

为检验比较土工格栅回填土在板桩码头工程中的应用效果,在工程码头西侧端部选用一个长度为20 m的结构段,板桩墙后为普通回填土,按普通回填土强度指标进行码头结构设计,其余部位板桩墙后均为土工格栅回填土,按土工格栅回填土复合土体强度指标进行结构设计.

为测定码头水平位移,在码头每个结构段的板桩墙顶部设置2个位移观测点,共设观测点38个.根据监测数据,板桩墙后采用土工格栅回填土的码头水平位移在18.0~31.0 mm之间,其平均值为24.6 mm;板桩墙后采用普通回填土的码头水平位移为32.5 mm.同时在钢拉杆上安装应变片,通过应力-应变关系确定锚杆拉力.根据监测数据,采用土工格栅回填土的码头锚杆拉力在239.95~284.03 kN之间,其平均值为395.77 kN;采用普通回填土的码头锚杆拉力为462.00 kN.

现场监测资料表明,实测码头水平位移和锚杆拉力均略小于计算值,在码头板桩墙后采用土工格栅加筋土回填时,实测码头水平位移减少了24.31%,锚杆拉力减小了14.33%,计算结果与实际监测结果基本吻合.按照本工程的结构设计,在码头板桩墙后采用土工格栅回填土,每延米节省了工程投资约6%.工程投入使用近1年,运行可靠,未发生任何异常情况.

3 结 语

通过工程实例表明,用本文介绍的分析方法来确定土工格栅复合土体强度指标,在板桩码头工程的设计

中是合理可行的,结果准确可靠,且满足板桩码头工程设计的要求。在板桩码头结构设计中,先根据板桩墙后加筋土体的高度,分析选用土工格栅的规格、竖向铺设间距、铺设范围,然后计算出土工格栅加筋复合土体的强度指标,并以此进行单锚板桩结构的受力分析,确定结构尺寸,优化整个结构设计。

随着科技的进步,土工格栅生产工艺已渐成熟,其材料易老化的特性有了进一步的改善,生产成本也急剧降低。土工格栅以其良好的提高复合土体强度的性能,在工程中将会得到更为广泛的应用。

参考文献:

- [1] 钱家欢.土力学[M].南京:河海大学出版社,1995:139-146.
- [2] SL/T225—98 水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S].
- [3] GB50290—98 土工合成材料应用技术规范[S].
- [4] 陈峰,费忠,邓群.加筋土工布对减少土压力的研究和实践[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(增刊):29-33.(CHEN Feng, FEI Zhong, DENG Qun. Study and practice of reinforced geotextile to reduce soil pressure[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2003, 31(S) 29-33.(in Chinese))
- [5] 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,1996:259-300.
- [6] 胡建东.加筋土挡墙设计及其在水电工程中的应用[J].水利水电科技进展,2000,20(5):60-63.(HU Jian-dong. Reinforced earth retaining wall-design and application to hydroelectric project[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2000, 20(5) 60-63.(in Chinese))
- [7] 卢尧夫,王立忠.深水中土工模袋砂土围堰的设计与施工[J].浙江水利水电专科学校学报,2002,14(3):26-37.(LU Yao-fu, WANG Li-zhong. Design and construction of the geomembrane bag with sand soil cofferdam in deep water[J]. Journal of Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, 2002, 14(3) 26-37.(in Chinese))
- [8] 乐茂华,高长胜,赵维炳,等.加荷方式与填料密度对筋带摩擦特性的影响[J].水利水电科技进展,2008,28(4):52-54.(LUE Mao-hua, GAO Chang-sheng, ZHAO Wei-bing, et al. Influence of pullout test method and fill material density on friction between reinforcement strip and fill material[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(4) 52-54.(in Chinese))
- [9] 常倩倩,束一鸣,黄松,等.加筋间距对加筋挡土墙工作性态的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2007,35(5):557-562.(CHANG Qian-qian, SHU Yi-ming, HUANG Song. Effect of bar spacing on performance of reinforced soil retaining walls[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(5) 557-562.(in Chinese))
- [10] 顾长存,杨庆刚,张铮.土工格栅加筋软土路堤的数值分析[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(6):677-681.(GU Chang-cun, YANG Qing-gang, ZHANG Zheng. Numerical analysis of embankment on soft clay foundation reinforced by geogrid[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(6) 677-681.(in Chinese))
- [11] 周春儿,何光春,龙丽吉.台阶式土工格栅加筋土挡墙结构优化设计[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(5):713-717.(ZHOU Chun-er, HE Guang-chun, LONG Li-ji. Optimization design of stepped geogrid-reinforced soil retaining wall[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(5) 713-717.(in Chinese))
- [12] JTJ292—98 板桩码头设计与施工规范[S].

Application of geogrid in sheet pile wharfs

ZHANG Fu-gui, ZHU Qing-hua

(Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract: Based on geotechnical principles, a method for determining the strength indices of compound soils with geogrid is put forward. A sheet pile wharf filled with compound soils, with the geogrid acting as reinforcement material behind the sheet pile wall, was analyzed. The proposed method was employed to determine the strength indices of the compound soils, and the stresses acting on the sheet pile wharf structure were analyzed. The results show that the strength of the compound soils behind the sheet pile wall can be improved by adding geogrid, which can also reduce the active soil pressure of the backfill soils on the sheet pile wall so as to optimize the sheet pile wharf structure and to reduce the construction cost. Engineering cases indicate the efficacy of reducing the soil pressure behind the sheet pile wall by using of the geogrid to reinforce the backfill soils.

Key words: geogrid; sheet pile wharf; compound soil; reinforcement strength