

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.06.055

膨胀土地区桩板式挡土墙计算方法研究

郑亮^{1,2}, 李传博³

(1.西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068; 2.陕西省林业调查规划院, 陕西 西安 710082; 3.商洛学院, 陕西 商洛 726000)

摘要: 膨胀土是一种高塑性黏土, 具有吸水膨胀、失水收缩、反复胀缩变形、浸水承载力衰减、干缩裂隙发育等特性, 性质极不稳定。以陕西安康某市政桩板式挡土墙工程为例, 对膨胀土地区桩板式挡土墙设计计算中涉及的膨胀土抗剪强度折减、水平膨胀力、剩余下滑力、桩板墙结构验算等问题进行计算研究, 形成了特有的桩板式挡土墙计算方法, 可为同类工程的设计与计算提供借鉴。

关键词: 膨胀土; 桩板式; 挡土墙; 抗滑桩

中图分类号: TU4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)06-0214-05

0 引言

膨胀土在我国分布范围较广, 云南、贵州、四川、广西、河北、河南、湖北、陕西、安徽和江苏等地, 均有不同范围的分布^[1]。天然状态下, 膨胀土强度较高, 压缩性低, 容易被认为是较好的地基。但是土中含有较多的蒙脱石、伊利石等黏土矿物, 亲水性强, 吸水后膨胀, 抗剪强度降低, 对桩板式挡土墙会产生很大的水平膨胀。另外, 土体抗剪强度降低, 也会增大桩板式挡土墙的水平土压力。虽然国家和部分省(区)制定了膨胀土地区建筑相关的技术规范, 但是由于行业特点和地区特点, 膨胀土地区桩板式挡土墙计算中仍然存在参数选取、计算模型的确定等一系列详细且系统的问题需要研究并完善。实际工程中, 膨胀土地区的挡墙倾斜、失稳的现象比较常见, 如何在设计阶段完善这类挡墙的计算方法是很有意义的。

1 大气影响深度

大气影响深度是指在自然气候影响下, 由降水、蒸发和温度等因素引起地基土胀缩变形的有效深度。大气影响深度与土的湿润系数 ψ_w 相关。土的湿润系数 ψ_w 按式(1)计算:

$$\psi_w = 1.152 - 0.726 \alpha - 0.001 07c \quad (1)$$

式中: α 为当地9月至次年2月的月份蒸发力之和与全年蒸发力的比值(月平均气温小于0℃的月份不统计在内); c 为全年中干燥度大于1.0且月平均

气温大于0℃月份的蒸发力与降水量差值的总和, mm。干燥度为蒸发力与降水量的比值。安康市月蒸发力和降水量见表1。

表1 安康市月蒸发力和降水量						单位:mm
月份	1	2	3	4	5	6
蒸发力	18.5	27	51	67.3	98.3	122.8
降水量	4.4	11.1	33.2	80.8	88.5	78.6
月份	7	8	9	10	11	12
蒸发力	132.6	131.9	67.2	43.9	20.6	16.3
降水量	120.7	118.7	133.7	70.2	32.8	7

安康市月均气温均大于0℃, 根据式(1)可求得安康地区土的湿润系数 $\psi_w=0.830$ 。大气影响深度与土的湿润系数 ψ_w 对应关系见表2。

表2 大气影响深度与土的湿润系数 ψ_w 对应关系	
土的湿润系数 ψ_w	大气影响深度 d_a/m
0.6	5
0.7	4
0.8	3.5
0.9	3

内插求得安康地区大气影响深度为3.35 m。

2 膨胀土抗剪强度折减

研究土体在气候显著影响带(大气影响深度范围)抗剪强度的变化规律对膨胀土地区桩板式挡土墙承受的土的侧压力大小非常重要。取场地膨胀土原状试样, 模拟气候因素(主要是水)作用下, 经过干缩湿胀循环后, 测得抗剪强度随含水量变化曲线如图1、图2所示。

考虑到桩板式挡土墙持久状况下的最不利工况,

收稿日期: 2021-08-26

作者简介: 郑亮(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事道路、桥梁设计研究工作。

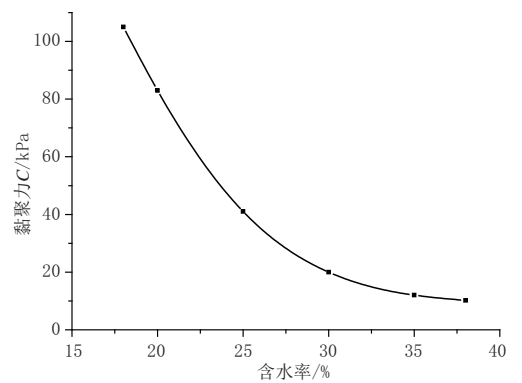


图1 黏聚力与含水率关系曲线

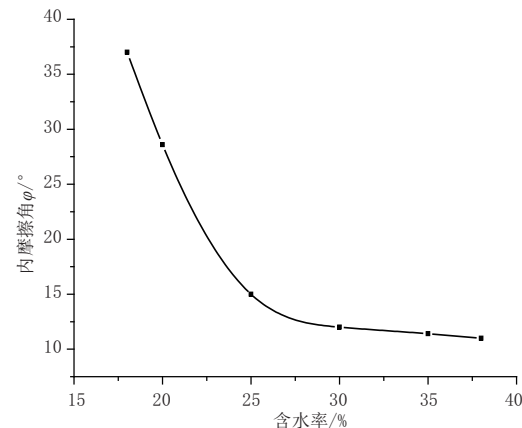


图2 内摩擦角与含水率关系曲线

并结合场地的排水情况,根据试验结果和安康地区相关研究经验^[1-4]对大气影响深度范围内膨胀土的黏聚力 c 和内摩擦角 φ 值分别以0.5、0.8的系数进行折减。

3 剩余下滑力计算

《膨胀土地区建筑技术规范》^[5]中要求高度大于3 m的挡土结构土压力计算时,应根据试验数据或当地经验确定土体膨胀后抗剪强度衰减的影响,并应计算水平膨胀力的作用。

桩板式挡土墙承受的水平力由大气影响深度范围内的膨胀力和考虑大气影响深度范围内膨胀土抗剪强度折减后土体沿滑动面的剩余下滑力组成。采用传递系数法对桩板墙后土体进行试算,确定最不利的滑动面如图3所示。各层土的参数如图3所示,其中土层1为大气影响范围,土体的抗剪强度进行了折减。

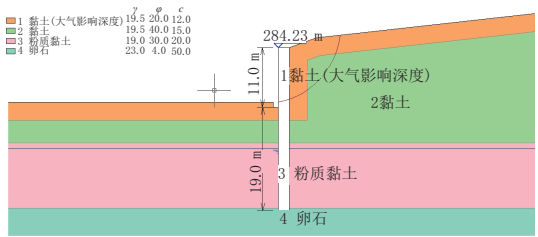


图3 桩板式挡土墙示意图

对滑动面上的土条逐条采用下列公式计算剩余下滑力,直至计算到抗滑桩位置。剩余下滑力计算示意图如图4所示。

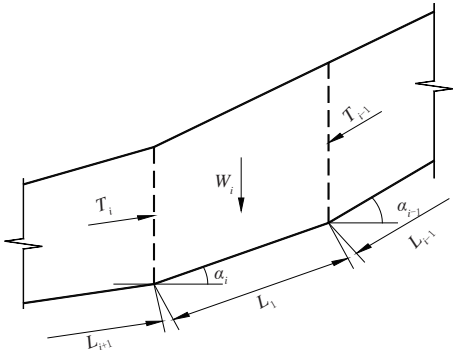


图4 剩余下滑力计算示意图

$$T_i = F_s W_i \sin \alpha_i + \Psi_i T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i \quad (2)$$

$$\Psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (3)$$

式中: T_i 、 T_{i-1} 为第 i 和第 $i-1$ 滑块剩余下滑力,kN/m; F_s 为稳定安全系数; W_i 为第 i 滑块的自重,kN/m; α_i 、 α_{i-1} 为第 i 和第 $i-1$ 滑块对应的倾角,°; Ψ_i 为传递系数; φ_i 为第 i 滑块滑面内摩擦角,°; c_i 为第 i 滑块滑面土的黏聚力,kN/m; L_i 第 i 滑块滑面长度,m。

本工程滑动面土体划分为20个土条水平宽度11.411 m,依次按照式(2)、式(3)进行计算,剩余下滑力计算结果见表3。

表3 剩余下滑力计算结果

序 号	始点 x /m	末点 x /m	剩余下滑力 /kN
1	11.317	11.411	-9.666
2	11.183	11.317	-8.457
3	10.947	11.183	-6.867
4	10.554	10.947	1.007
5	10.098	10.554	-4.473
6	9.501	10.098	7.680
7	9.081	9.501	19.407
8	8.327	9.081	48.398
9	7.762	8.327	73.307
10	7.713	7.762	75.774
11	7.004	7.713	109.118
12	7	7.004	107.507
13	6.291	7	141.273
14	5.35	6.291	178.576
15	4.595	5.35	220.926
16	3.676	4.595	264.195
17	2.474	3.676	304.561
18	2	2.474	308.871
19	1.241	2	325.494
20	0	1.241	326.692

桩板式挡土墙每延米承受的剩余下滑力为326.692 kN,下滑力角度为13.816°,作用点位置为距桩顶5.03 m(1/2 滑块高度)。因此,剩余下滑力产

生的墙后土压力可等效为:作用在距桩顶 5.03 m 处的竖向力 $P_y = 78.02 \text{ kN}$ 和水平推力 $P_x = 317.24 \text{ kN}$ 。

4 抗滑桩有限元计算

4.1 计算模型

使用有限单元法在 Midas Civil 2020 软件中建立抗滑桩有限元模型。膨胀力和剩余下滑力施加在抗滑桩上,抗滑桩间距 4 m。每根抗滑桩通过挡土板承担 4 m 范围内的墙后土压力,抗滑桩嵌固段采用土弹簧模拟桩土耦合作用。有限元计算模型见图 5。

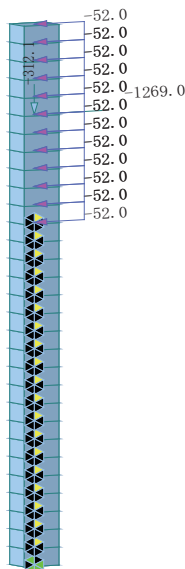


图 5 抗滑桩 Midas Civil 2020 有限元计算模型

4.2 土弹簧刚度计算

抗滑桩嵌固段桩土耦合刚度:

$$K_{\pm} = b_1 \cdot C = b_1 \cdot m \cdot h \quad (4)$$

式中: b_1 为桩的计算宽度,根据规范^[1]取值 2.5 m; C 为地基系数; h 为嵌入土层的深度根据单元节点位置逐个取值; m 为抗滑桩嵌固范围内地基土的水平抗力系数,根据地勘报告,抗滑桩嵌固段土层主要为硬塑的黏性土,依据规范^[7]取值 5 000 kN/m⁴。因此,抗滑桩嵌固段桩土耦合刚度 $K_{\pm} = 12\,500 \text{ kN/m}^3 \times h$ 。逐节点计算土体的水平约束刚度后,输入有限元计算模型,模拟嵌固段土弹簧的水平约束作用。

4.3 抗滑桩桩身承载能力极限状态验算

根据《公路路基设计规范》^[6]和《公路桥涵地基与基础设计规范》^[7]的规定,结构重要性系数取 1.0,永久荷载的分项系数为 1.35,抗滑桩桩身受弯构件设计。当无特殊要求时,可不进行变形、抗裂、挠度等项验算。因此,对桩身仅进行正截面抗弯和斜截面抗剪承载能力验算。

采用有限元软件 Midas Civil 计算后读取抗滑桩

弯矩和剪力计算结果,如图 6、图 7 所示。作用组合的效应设计值为:弯矩 $M_{\max} = 13\,979.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$,剪力 $Q_{\max} = 1\,841.0 \text{ kN}$ 。

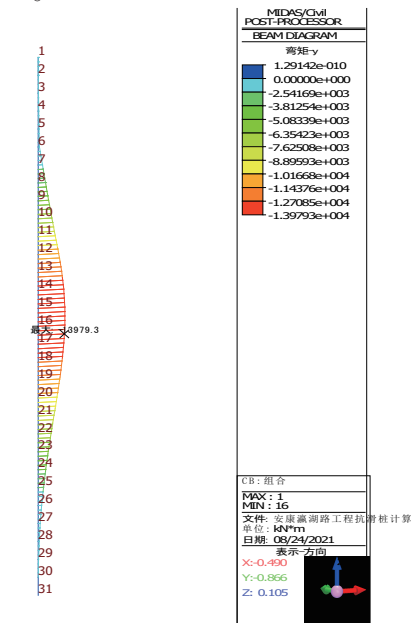


图 6 抗滑桩弯矩 M 图(单位:kN·m)

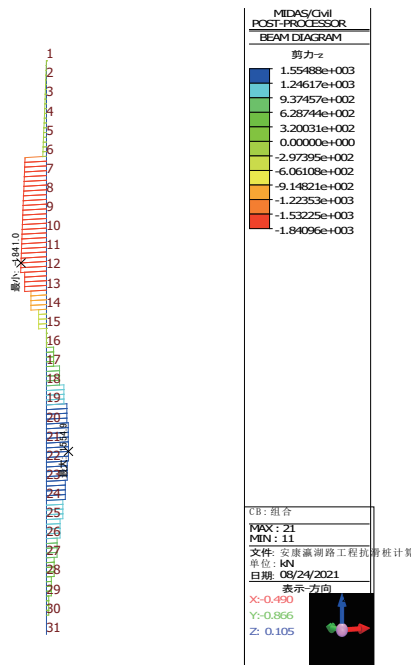


图 7 抗滑桩剪力 Q 图(单位:kN)

抗滑桩采用 C30 混凝土,抗拉强度设计值 f_{td} 取 1.39 MPa,立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 取 30 MPa;截面尺寸为宽 b 为 1 500 mm、高 h_0 为 2 000 mm;主筋采用 HRB400 钢筋,受拉缘配置 36 根直径 32 mm 钢筋,受压区配置 12 根 32 mm 钢筋。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[8]对抗滑桩进行正截面抗弯和斜截面抗剪承载能力验算,结果见表 4。

由表 4 的计算结果可知,抗滑桩正截面抗弯承载能力和斜截面抗剪承载能力均满足规范^[8]要求。

表 4 抗滑桩桩身承载力验算	
正截面抗弯承载力验算	
结构重要性系数 γ_0	1.0
作用组合效应弯矩设计值 M_d	13 979.3 kN·m
抗弯承载力设计值 M_u	16 934.16 kN·m
验算结果	13 979.3 kN·m $\leq$ 16 934.16 kN·m 即: $\gamma_0 S \leq R$, 满足规范要求
斜截面抗剪承载力验算	
结构重要性系数 γ_0	1.0
作用组合效应剪力设计值 V_d	1 841 kN
$0.15 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}} b h_0$	8 380.155 kN
$0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0$	2 085 kN
	1 841 kN $\leq$ 8 380.155 kN 即: $\gamma_0 V_d \leq 0.51 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}} b h_0$,
验算结果	满足规范要求 1 841 kN $\leq$ 2 085 kN 即: $\gamma_0 V_d \leq 0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h_0$, 满足规范要求

4.4 抗滑桩嵌入土层深度验算

《建筑边坡工程技术规范》^[9]规定,抗滑桩嵌入土层时,滑动面以下或桩嵌入稳定土层内深度的 1/3 处的横向压应力不应大于地基横向承载力特征值 f_H 。经过有限元计算,抗滑桩嵌入土层的水平反力计算结果如图 8 所示。

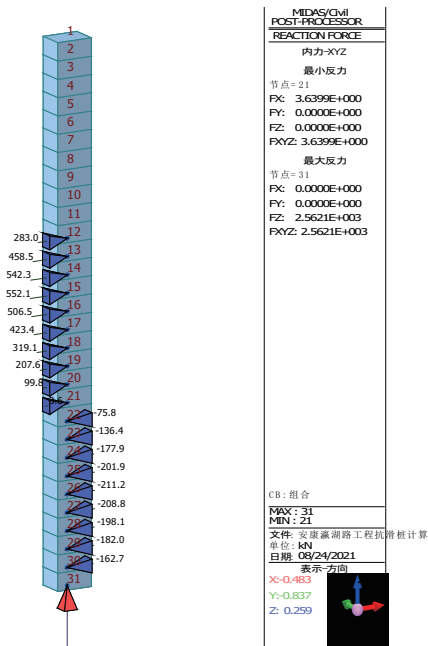


图 8 抗滑桩嵌固段水平反力(单位:kN)

读取抗滑桩嵌固段水平反力结果,滑动面以下土层深度为滑动面以下桩长 1/3 处的横向压应力为: 319.1 kN $\div$ 1.5 m=212.733 kPa。其中,1.5 m 为抗滑桩的宽度。

本工程设桩处沿滑动方向地面坡度 $i=7.78^\circ$,小于 8° 。根据《建筑边坡工程技术规范》,按照式(5)计

算地基横向承载力特征值 f_H 。

$$f_H = 4\gamma_2 \gamma \frac{\tan \varphi_0}{\cos \varphi_0} - \gamma_1 h_1 \frac{1 - \sin \varphi_0}{1 + \sin \varphi_0} \tag{5}$$

式中: γ_1 、 γ_2 分别为滑动面以上和以下土体的重度,取 19.5 kN/m³ 和 19 kN/m³; h_1 为滑动面至地面的距离,取 11 m; γ 为滑动面至计算点的距离,取 6.33 m; φ_0 为滑动面以下土体的等效内摩擦角,按式(6)计算。

$$\varphi_0 = \arctan \left(\tan \varphi + \frac{c}{\gamma_2 y} \right) \tag{6}$$

式中: c 取 30 kPa, φ 取 20° , $\varphi_0 = 31.52^\circ$,求得地基横向承载力特征值 $f_H = 278.99$ kPa,大于滑动面以下土层深度为滑动面以下桩长 1/3 处的横向压应力 212.733 kPa,满足《建筑边坡工程技术规范》^[9]的要求。因此,抗滑桩嵌入土层深度满足要求。

4.5 抗滑桩嵌固段顶端地面处水平位移验算

经过有限元计算,抗滑桩水平位移计算结果如图 9 所示。

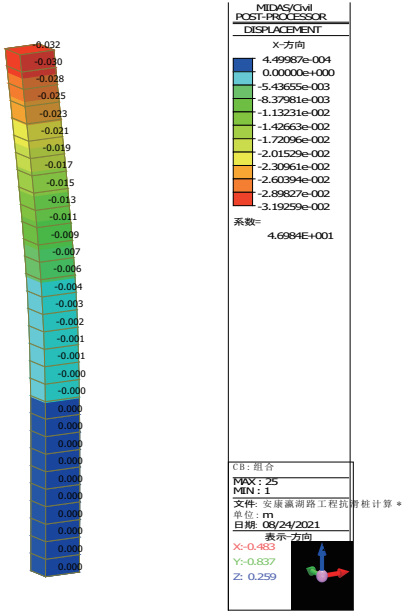


图 9 抗滑桩水平位移(单位:m)

《建筑边坡工程技术规范》^[9]规定,桩基嵌固段顶端地面处的水平位移不宜大于 10 mm。根据图 9 可知,桩基嵌固段顶端地面处的水平位移为 9 mm,小于规范限值。因此,抗滑桩嵌固段顶端地面处水平位移满足要求。

5 结 语

本文针对膨胀土地区桩板式挡土墙的计算方法进行了研究,结合膨胀土的特性,并综合相关规范中关于桩板式挡土墙的计算要求,形成了针对膨胀土地区的特有的桩板式挡土墙计算方法,并得到以下结论:

(1)应对大气影响深度范围内膨胀土的抗剪强度进行折减,并计入水平膨胀力。相对于非膨胀土地区,这些因素对墙体产生的水平推力很大,不能忽略。

(2)膨胀土的特性地区差异较大,应优先取场地膨胀土原状试样,模拟气候因素作用下,经过干缩湿胀循环后膨胀土的抗剪强度变化规律和原状土的水平膨胀力大小。没有试验条件时,应结合膨胀土地区研究经验选取合适的计算参数。

(3)抗滑桩的桩底约束形式采用自由、铰接、固定对计算结果影响非常大,应考虑桩-土耦合效应,更精确地进行计算。

(4)抗滑桩桩身结构应进行正截面抗弯和斜截面抗剪承载能力验算。当无特殊要求时,可不进行变形、抗裂、挠度等项验算。本文仅对桩身进行了验算,挡土板也应进行验算,限于篇幅略去。

(5)桩板式挡土墙整体的稳定性和整体刚度,规范^[9]是按照抗滑桩嵌入土层深度和嵌固段顶端地面

处水平位移两个指标控制的,对膨胀土地区也完全适用。由于膨胀土地区挡墙承受的水平推力更大,因此抗滑桩嵌入土层的深度也相对变大,所需抗滑桩的截面抗弯刚度也更大。

参考文献:

- [1] 廖世文.安康膨胀土若干特性研究[C].中国地质学会工程地质专业委员会.全国首届工程地质学术会议论文选集.北京:科学出版社,1983.
- [2] 王文生,谢永利,梁军林.膨胀土路堑边坡的破坏型式和稳定性[J].长安大学学报(自然科学版),2005,25(1):20-24.
- [3] 廖世文.膨胀土与铁路工程[M].北京:中国铁道出版社,1984.
- [4] 赵文秀.安康膨胀土抗剪强度特性的研究[J].铁道标准设计,1987(4):16,32-35.
- [5] GB 50112—2013,膨胀土地区建筑技术规范[S].
- [6] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].
- [7] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [8] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [9] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com