

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.01.053

渗流作用下仰斜式挡土墙的主动土压力分析

李海鹏

(长沙市市政工程有限责任公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 库伦理论(包括库伦理论的补充公式)均未考虑渗流作用,而渗流力本来就是一种体积力,对静力模型进行补充,考虑渗流力的影响,对于重力、荷载、滑面阻力(黏聚力、摩擦力)、挡墙反力、渗流力,这些力不同的排列组合会产生不同的静力模型。在多重静力组合中筛选,给出一种最简洁的便于分析的静力平衡模型。运用该静力平衡模型,可以分析渗流力的变化规律。选择2个工程实例,表明在当墙顶坡面坡度较小时(如 2°),渗流对挡墙的作用不明显;随着墙顶坡面坡度的增加(如 10°),渗流对挡墙的作用力影响显著增加。

关键词: 主动土压力; 渗流; 黏聚力; 库伦土压力; 挡土墙

中图分类号: U416.01

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)01-0216-03

0 引言

对于挡土墙受到墙后主动土压力的研究。库伦于1776年提出了基于土楔体的静力平衡理论。早期库伦数解法是基于无黏土提出的。对于黏性土,一般采用图解法,也有黏性土的数解法,无论图解法还是数解法均没有考虑渗流的影响^[1-5]。

实际工程中,边坡的垮塌很大程度上是在暴雨工况下发生的。由于挡墙一般都会设置泄水孔,在强降雨情况下,水的大量入渗不仅使边坡土体饱和度增加,而且会产生渗透力,加上饱和和工况下土体抗剪强度下降,很可能导致边坡和挡墙的整体失稳。因此研究暴雨渗流对边坡的稳定性具有实际指导意义。

1 主动土压力数解法

库伦理论的基本假设:(1)滑裂面为平面;(2)土楔体为刚性体,土楔体不发生变形;(3)土楔体正好处于极限平衡的状态^[1]。

以土楔体为分析对象,主动土压力、滑动面支撑力、滑动面摩擦力、坡顶荷载均为边界力。暴雨工况下,研究对象所受的总体渗透力可以看作是作用于每一个土颗粒上单位渗透力的累加,类似于重力的一种体积力。所以增加渗透力作为分析不影响库伦理论基本假设。

建立典型模型(如图1所示),设路堑挡墙铅垂高度为 H ,路堑挡墙墙身与水平面的夹角为 α ,破裂面与

水平面的夹角为 θ ,墙顶边坡与水平面的夹角为 β 。墙背与土体摩擦角为 δ ,土体的内摩擦角为 ψ ,黏聚力 c 。

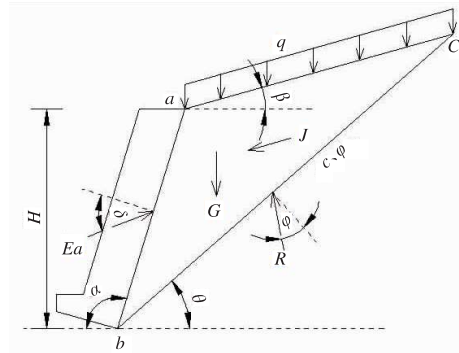


图1 挡土墙受力条件

三角形 abc 由正弦定理,令 $bc=l$:

$$\frac{l}{\sin(\alpha+\beta)} = \frac{H/\cos(\alpha-\pi/2)}{\sin(\theta-\beta)} \quad (1)$$

设 bc 上的高为 h ,则:

$$h = \frac{H}{\cos(\alpha-\pi/2)} \times \sin(\pi-\alpha-\theta) \quad (2)$$

1延米的重量为 G :

$$G = \frac{1}{2}lh\gamma \quad (3)$$

将(1)式、(2)式代入(3)式

$$G = \frac{1}{2}\gamma H^2 \times \frac{\sin(\alpha+\theta)\sin(\alpha+\beta)}{\sin^2\alpha \cdot \sin(\theta-\beta)} \quad (4)$$

如图2所示,当墙顶坡面既没有荷载,滑裂面也没有内聚力时,仅考虑重力时,土楔体受重力 G 、挡墙反力 E_{a1} 和滑裂面反力 R ,三力平衡,由三角形 dem 可知:

$$\frac{E_{a1}}{\sin(\theta-\varphi)} = \frac{G}{\sin(\pi-(\theta-\varphi)-(\alpha-\delta))} \quad (5)$$

将(4)式代入(5)式得,仅考虑重力下的挡墙反力 E_{a1} :

收稿日期: 2022-03-22

作者简介: 李海鹏(1988—),男,硕士,工程师,主要从事市政路桥设计工作。

$$E_{a1} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \times \frac{\sin(\alpha+\beta)\sin(\theta+\alpha)\sin(\theta-\varphi)}{\sin(\alpha-\delta+\theta-\varphi)\sin^2\alpha\sin(\theta-\beta)} \quad (6)$$

当墙顶坡面有荷载 q 时候, 方向与重力一样为铅垂向下。当滑裂面也没有内聚力, 仅考虑重力和荷载时, 土楔体受重力 G 、荷载 $ql\cos\beta$ 、挡墙反力 E_{a2} 和滑裂面反力 R , 四力平衡, 由三角形 dhk 可知:

$$\frac{fh}{\sin(\alpha-\delta+\beta-\pi/2)} = \frac{J}{\sin(\pi-(\alpha-\delta))} \quad (7)$$

$$\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{fh+ql\cos\beta+G}{G} \quad (8)$$

将(6)式、(7)式代入(8)式, 得到重力和荷载作用下的挡墙反力 E_{a2} :

$$E_{a2} = \left[G+ql\cos\beta - \frac{J\cos(\delta-\alpha-\beta)}{\sin(\alpha-\delta)} \right] \times \frac{\sin(\theta-\varphi)}{\sin(\theta-\varphi+\alpha-\delta)} \quad (9)$$

当考虑土体内部黏聚力 c 时, 内聚力提供的阻力平行于滑裂面, 由滑裂面与滑裂面反力 R 之间的角度关系, 由三角形 jkl 可知:

$$\frac{cl}{\sin(\pi-(\theta-\varphi)-(\alpha-\delta))} = \frac{E_{a3}}{\sin(\pi/2-\varphi)} \quad (10)$$

将(1)式代入(10)式, 得到黏聚力作用下, 挡墙反力的损失 E_{a3} :

$$E_{a3} = \frac{cH\cos\varphi\sin(\alpha+\beta)}{\sin(\theta-\varphi+\alpha-\delta)\sin\alpha\sin(\theta-\beta)} \quad (11)$$

根据渗流特性可知, 渗流方向与墙顶坡面方向相同, 由三角形 fgh 可知, 当考虑渗流力 J 时的挡墙反力增量 E_{a4} :

$$J = i \frac{G}{\gamma} \gamma_w \quad (12)$$

$$\frac{J}{\sin(\pi-(\alpha-\delta))} = \frac{E_{a4}}{\sin(\pi/2-\beta)} \quad (13)$$

$$E_{a4} = \frac{J \cdot \cos\beta}{\sin(\alpha-\delta)} \quad (14)$$

对图 2 的 gk 轴上的作用力求代数和, 即得到挡墙所受的总压力 E_a :

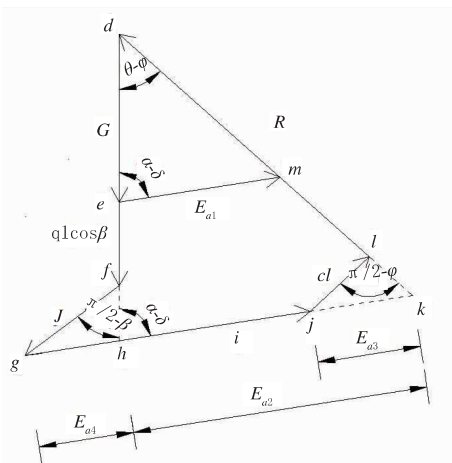


图 2 静力平衡模型

$$E_a = E_{a2} - E_{a3} + E_{a4} \quad (15)$$

为验算挡墙的尺寸是否满足规范要求的安全系数, 先要明确该设计的挡墙所受的主动土压力最大值。通过观察可以发现 E_a 是一个关于 θ 的函数, 即可通过求导 $\frac{dE_a}{d\theta} = 0$ 求得 E_a 的最大值(即滑动临界状态下的主动土压力)。工程上也可以通过 EXCEL 表格, 通过不同的 θ 值找到最大主动土压力 E_a 。

2 实际案例

(1) 工况 1, 如图 3 所示。某仰斜式路肩墙, 墙高 8 m, 墙背坡度 1 : 0.1。挡墙段处于圆曲线超高段, 超高横坡度为 4%(墙顶边坡角度 2°), 汽车荷载采用 10.5 kN/m。粉质黏土, 饱和重度取 20 kN/m³, 内聚力 15 kPa, 内摩擦角为 16° , 墙背与土体摩擦角为 8° 。

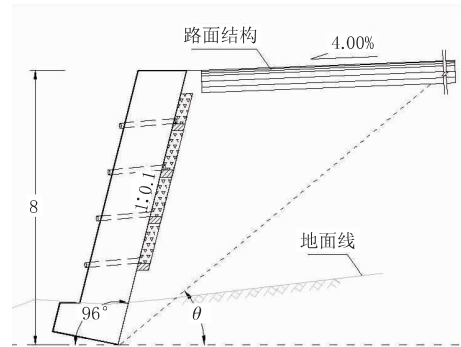


图 3 仰斜式路肩墙(单位:m)

计算结果如图 4 所示, 对挡墙的总压力 $E_a = 219.2$ kN, 对应的破裂角 θ 为 51° 。渗流力对挡墙的作用力 $E_{a4} = 5 \sim 25$ kN。不考虑渗流时, $\theta = 50^\circ$ 发生破裂, 作用力大小为 $E_{a2} - E_{a3} = 392.6 - 182.4 = 210.2$ kN。可见当考虑渗流力作用时, 极限状态下, 对挡墙的最大作用力增加 $219.2 - 210.2 = 9$ kN, 占未考虑渗流时最大土压力的 4.3%。

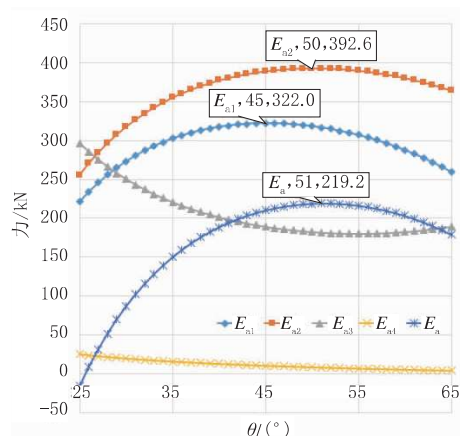


图 4 分析结果

(2) 工况 2, 如图 5 所示。某路堑墙, 墙高 8 m, 墙背坡度 1 : 0.25。墙顶边坡角度 10° 。考虑到落石等活荷载,

坡面荷载取 9 kPa。粉质黏土,饱和重度取 20 kN/m³,内聚力 15 kPa,内摩擦角为 16°,墙背与土体摩擦角为 8°,渗流方向与坡面平行。

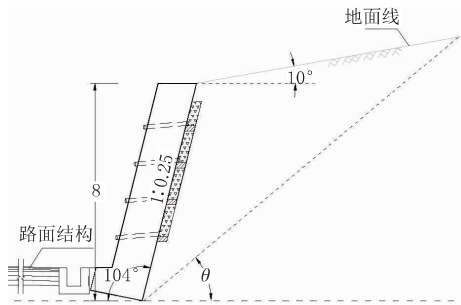


图5 仰斜式路堑墙(单位:m)

计算结果如图 6 所示,对挡墙的总压力 $E_a=234.9$ kN,对应的破裂角 θ 为 43°。渗流力对挡墙的作用力 $E_{a4}=5\sim 245$ kN。不考虑渗流时, $\theta=40^\circ$ 发生破裂,作用力大小为 $E_{a2}-E_{a3}=417-251.1=165.9$ kN。可见当考虑渗流力作用时,极限状态下,对挡墙的最大作用力增加 $234.9-165.9=69$ kN,占未考虑渗流时最大土压力的 41.6%。

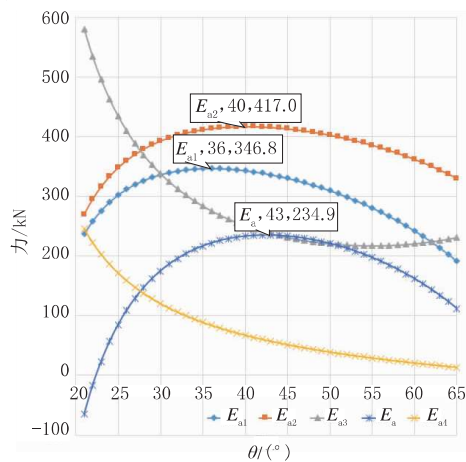


图6 分析结果

3 结 论

基于库伦土压力理论,补充并建立了在渗流作用下的静力平衡模型,结合工程实例分析,得到下列结论:

(1)基于库伦理论,补充了渗流力的影响。通过多个静力平衡的不同组合顺序,选择了一种最简洁的静力平衡模型(如图 2 所示),通过求 gk 轴上的矢量和,即可得到总压力 E_a 。并明确了仅重力作用下的土压力 E_{a1} 、重力作用及荷载作用下的土压力 E_{a2} 、滑裂面上黏聚力导致的土压力损失 E_{a3} 、渗流作用下的土压力 E_{a4} 的计算公式,便于工程上选择需要的分项进行独立分析。

(2)当墙顶坡面坡度较小时(如 2°),渗流对挡墙的作用不明显。随着墙顶坡面坡度的增加(如 10°),渗流对挡墙的作用力影响显著增加。建议对于坡顶较陡的挡墙,重点考虑渗流的影响。

(3)推广到路堑边坡,大部分土质边坡的放坡面坡率为 1:1~1:1.5,即 33°~45°,可知在这种角度的工况下,渗流作用是不能忽视的。同样也解释了暴雨工况下路堑边坡水毁的内在原因。

参考文献:

- [1] 李广信.土力学[M].北京:清华大学出版社,2013.
- [2] 顾慰慈.挡土墙土压力计算手册[M].北京:中国建材工业出版社,2005.
- [3] 周应英,任美龙.刚性挡土墙主动土压力的试验研究[J].岩土工程学报,1990,12(2):19-26.
- [4] 赵恒惠.挡土墙后黏性填土的土压力计算[J].岩土工程学报,1983,5(1):134-146.
- [5] 杨位洸.地基及基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.

《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