

改进的库尔曼图解法及其在土压力计算中的应用

Ameliorated Culmann's graphical construction and its application in earth pressure calculation

王奎华, 阙仁波

(浙江大学 土木工程学系岩土工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 对库尔曼图解法进行了改进, 通过巧妙的作图, 结合几何和物理两方面的关系导出了库仑主动土压力公式的另外一种表达形式, 并由此得出了一种新的土压力图解法。和原库尔曼图解法相比, 改进的方法计算量大大减少, 作图更加方便, 所得结果更加精确。算例表明, 该方法所得的结果和库仑主动土压力理论公式所得到的结果吻合得非常好。

关键词: 土压力; 改进的库尔曼图解法; 库仑土压力理论

中图分类号: TU 432

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)02-0167-03

作者简介: 王奎华(1965-), 男, 1997 年获浙江大学岩土工程专业博士学位, 1999 年 6 月从浙江大学仪器仪表博士后流动站出站, 现为浙江大学岩土工程研究所副研究员, 硕士生导师。主要从事桩的振动理论研究、土木工程测试技术开发、研究生及本科生土力学等课程教学工作, 已在国内外土木、力学等相关学科各主要学术刊物及国际会议上发表论文约 40 篇。

WANG Kui-hua, QUE Ren-bo

(Civil Engineering Department, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Culmann's graphical construction is ameliorated. By artfully constructing lines and considering geometrical aspect combined with physical aspect, a new form of formula for active earth pressure is derived, and then a new graphical construction is developed. Compared with Culmann's graphical construction, the ameliorated approach needs fewer calculations and is more convenient, but the result obtained is preciser. The example shows that the result of it is in good agreement with that of Coulomb's earth pressure theoretical formula.

Key words: earth pressure; Culmann's graphical construction; Coulomb's earth pressure theory

0 前言^①

土压力是支挡构筑物如挡土墙的主要外荷载, 在设计这类构筑物时, 首先要确定土压力的性质、大小、方向和作用点, 也就是要解决土压力的计算问题, 因此土压力计算理论就成了土力学的一个重要组成部分。有关土压力的计算方法的研究也一直是岩土工程学科关注的焦点之一^[1~8], 归结起来, 土压力的计算方法主要有库仑土压力理论、朗肯土压力理论以及基于这些理论的多种图解法。在这些图解法中, 基于库仑土压力理论的库尔曼图解法以其概念明确, 并可用于地面不规则和填土面有地面荷载的情况等优点而受计算者的青睐。然而, 在该方法中, 对于每一次假定的滑动土体, 都要先计算出土体自重, 再在所谓自然剖面(线)上按一定的比例尺作线段表示该滑动土体自重, 这样不仅计算量大, 每次按比例量取线段也较麻烦, 而且如果比例尺选择不当则结果精度难以保证, 因此, 该方法仍需作进一步改进。基于这样一种思想, 本文对库尔曼图解法提出了一种改进方法, 并探讨了它在土压力计算中的应用。

1 基本原理

1.1 作图步骤与计算原理

由于一般支挡构筑物的计算均属于平面问题, 故

本文中沿墙的长度方向取单位长度(1 m)进行分析, 并只讨论主动土压力的情况, 因为被动土压力的情况与主动土压力的类似, 差别只是在于前者的被动土压力偏角和未滑动土体对滑动土体反力的合力偏角分别在墙背面法线和破坏面法线的上侧而已。下面先介绍一下改进库尔曼图解法的基本步骤及计算原理。

(1) 与库尔曼图解法一样(见图 1(a)), 首先取 BD 与水平面成 φ 角, 称为自然坡面。过 B 点作直线 BV 与 BD 的夹角为 $\psi = 90^\circ - \alpha - \delta$, BV 称为基线, 其中 φ , α 和 δ 分别为填土的内摩擦角、墙背与垂直面的夹角、填土与墙背接触面之间的摩擦角(又称外摩擦角)。

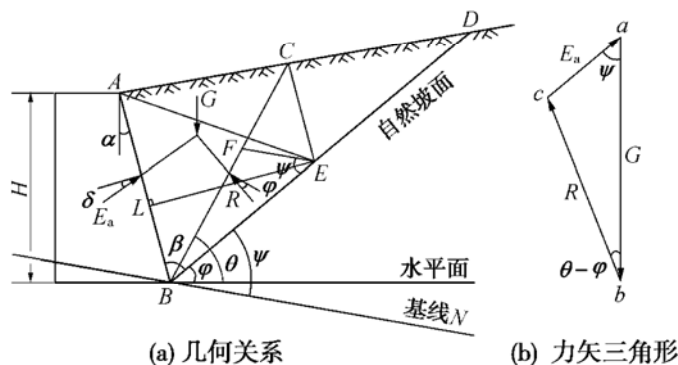


图 1 改进的库尔曼图解法求主动土压力的原理

Fig. 1 The basic principle

不能太高), 可按下述方法近似处理: 按荷载总量相等的原则把非均布荷载换算成 AD 面上的均布荷载, 再按上述方法及步骤处理。

2 算例及分析

图4所示为某挡土墙, 高度 $H = 6.0$ m, 墙背倾角 $\alpha = 10^\circ$, 墙后填土面倾角 $\alpha' = 10^\circ$, 墙背与填土摩擦角 $\delta = 20^\circ$, 墙后填土为中砂, 内摩擦角 $\varphi = 40^\circ$, 容重 $\gamma = 18.5$ kN/m³, 用本文提出的改进图解法求主动土压力。

首先按比例尺 1: 200 及坡角画出挡土墙剖面图, 取单位墙长, 按步骤(5)所述方法把 AD 面分为 10 等份并由上述方法作图, 最后量得真正破坏面对应的 $E_r F_r$ 的长度为 1.10 cm (实际表示 2.20 m)。

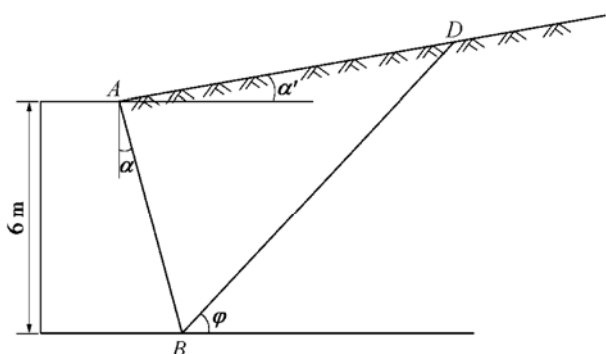


图4 挡土墙示意图

Fig. 4 The profile of retaining wall

比例系数 $k = \frac{1}{2} \gamma H \frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos \alpha} = 48.80$ kN/m², 单位墙长土压力 $E_a = k \cdot \overline{E_r F_r} = 107.36$ kN/m, 而由理论公式 $E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$ (K_a 为库仑主动土压力系数) 计算得 $E_a = 102.04$ kN/m, 误差仅为 5.21%, 滑动面与水平面夹角 $\theta = 64^\circ$ 。若把 AD 面分为 15 等份和 20 等份, 则分别量得 $\overline{E_r F_r}$ 为 1.09 cm 和 1.08 cm, E_a 分别为 106.38 kN/m 和 105.41 kN/m, 误差分别为 4.25% 和 3.30%。由此可见, 只要 AD 面上点的分布选择恰当, 选取很少几个滑动面就能达到很高的精度, 随着选择滑动面的增多, 精度将进一步提高, 显示了该方法的优越性。

3 结 语

(1) 库尔曼图解法是确定土压力较好的一种图解

法, 但它必须先把每一个任选的滑动土体自重计算出来, 再按某一比例尺量取线段表示滑动土体自重, 这样计算量大、绘图麻烦且精度低, 本文对其提出了一种改进方法, 通过巧妙的作图, 结合几何和物理两方面的关系导出了库仑主动土压力公式的另外一种表达形式, 并由此得出了一种新的土压力图解法。和原库尔曼图解法相比, 改进的方法无需计算滑动土体的自重和逐一按比例尺量取线段表示滑动土体自重, 计算量大大减少, 作图更加方便, 所得结果更精确。

(2) 算例表明, 在填土料为中砂、墙后填土面为倾斜平面且无外加荷载条件下 (此时可直接采用库仑土压力理论公式计算土压力以便与作图法结果比较), 采用该方法所得结果与采用理论公式计算结果非常吻合。只要 AD 面上点的分布选择恰当, 选取很少几个滑动面就能达到很高的精度, 随着选择滑动面的增多, 精度将进一步提高, 显示了该方法的优越性。

(3) 该方法还可用于填土面有荷载的情况, 虽然带有一定的近似性, 但一般情况下可以满足工程需要。

(4) 该方法只适用于填土坡面形状简单的情况, 对于折线形填土坡面具有局限性。

参考文献:

- [1] 华南理工大学, 东南大学, 浙江大学, 湖南大学编. 地基及基础 (第3版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [2] Tien Hsing Wu, Soil Mechanics [M]. Boston: Allyn and Bacon, 1977. 276- 293.
- [3] 杨广庆, 蔡英. 支挡结构土压力问题综述 [J]. 路基工程, 1997, 22(4): 6- 9.
- [4] Nirmala Gnanapragasam. Active earth pressure in cohesive soil with an inclined ground surface [J]. Can Geotech J, 2000, 37: 171 - 177.
- [5] Wang Y Z. Distribution of earth pressure on a retaining wall [J]. Geotechnique, 2000, 50(1): 83- 88.
- [6] Zhu Dayong, Qian Qihu. Determination of passive earth pressure coefficients by the method of triangular slices [J]. Can Geotech J, 2000, 37: 485- 491.
- [7] Chen Zuyu, Li Songmei. Evaluation of active earth pressure by the generalized method of slices [J]. Can Geotech J, 1998, 35: 591 - 599.
- [8] 朱大勇, 周早生. 土体主动滑动场及主动土压力的计算 [J]. 计算力学学报, 2000, 17(1): 98- 104.