

挡土墙位移的土压力及稳定性计算方法

苏海刚¹ 徐敏¹ 徐一新¹ 缪殷君²

1. 江阴市江堤闸站管理中心, 中国·江苏 江阴 214400

2. 江阴市河湖治理和水资源管理中心, 中国·江苏 江阴 214400

摘要: 本方法可计算挡土墙在正常工作状态及发生位移时土压力及墙体稳定性的影响以及边坡中剪切带随挡土墙位移的演化规律, 较为准确的评估挡土墙的工作状态, 理论严谨, 公式简单实用, 方便工程实际应用, 具有很好的推广应用价值。

关键词: 挡土墙; 土压力; 稳定性; 计算方法

Calculation Methods of Earth Pressure and Stability for the Displacement of Retaining Walls

Haigang Su¹ Min Xu¹ Yixin Xu¹ Yinjun Miu²

1. Jiangyin River Embankment Sluice Station Management Center, Jiangyin, Jiangsu, 214400, China

2. Jiangyin River and Lake Governance and Water Resources Management Center, Jiangyin, Jiangsu, 214400, China

Abstract: This method can calculate the influence of soil pressure and wall stability on the normal working state and displacement of retaining walls, as well as the evolution law of shear bands in slopes with the displacement of retaining walls. It can accurately evaluate the working state of retaining walls, with rigorous theory and simple and practical formulas, which is convenient for practical engineering applications and has good promotion and application value.

Keywords: retaining wall; earth pressure; stability; computing method

0 前言

挡土墙是一种常见的边坡支挡结构, 广泛应用于放坡受限或抗滑力不足等重要工程场景, 如路堑、路堤等。分析挡土墙的受力状态, 不仅可以完善其结构设计, 而且可对其稳定性进行判断, 这对于保证道路路基稳定和人民生命财产安全至关重要。作用于挡土墙上的土压力通常采用经典土压力理论进行计算, 而经典土压力理论都是建立在挡土墙后土体达到极限状态的基础上, 这在最大程度上保证工程安全性没有问题。

但在实际工程中, 挡土墙正常工作状态下可能会发生位移, 不足以使墙后土体达到极限状态。因此, 采用经典土压力理论计算挡土墙正常工作状态下的土压力不适用。挡土墙稳定性计算要基于挡土墙上的土压力, 现有关于挡土墙稳定性的计算同样也是墙后土体达到了极限状态下的结果, 无法计算挡土墙正常工作状态下的稳定性, 也无法较为准确的评估挡土墙的工作状态。因此, 亟待提出一种简单实用的考虑挡土墙位移的土压力及其稳定性计算方法。

1 计算方法

考虑挡土墙位移的土压力及稳定性计算方法, 包括以下步骤:

S1: 确定挡土墙剖面参数和墙后土体物理力学参数。

S2: 假设边坡土体的内摩擦角发挥值与挡土墙位移呈线性关系, 得到挡土墙位移时的土体内摩擦角发挥值。

S3: 根据极限分析理论, 得到极限状态下墙后土体中的对数螺旋线滑裂面。

S4: 假设挡土墙位移过程中, 对数螺旋线滑裂面的旋转中心不变, 得到非极限状态下的对数螺旋线潜在滑裂面。

S5: 假设墙 - 土间外摩擦角、土体黏聚力与土体内摩擦角同步发挥, 根据挡土墙不同位移时的潜在滑裂面和挡土墙不同位移时的墙 - 土间外摩擦角发挥值、土体黏聚力发挥值, 由水平条分法得到挡土墙不同位移时的土压力 F 。

S6: 由挡土墙不同位移时的土压力计算得到挡土墙稳定性随位移的变化关系。

2 附图说明

挡土墙几何参数及土体物理力学参数示意图见图 1, 挡土墙在不同位移时墙后土体潜在破裂面示意图见图 2, 挡土墙在不同位移时的土压力分布示意图见图 3, 挡土墙稳定性随挡土墙位移的变化关系示意图见图 4。

3 具体实施方式

如图 1 所示, 一种考虑挡土墙位移的土压力及稳定性计算方法, 包括以下步骤:

步骤一: 首先确定挡土墙剖面参数和墙后土体物理力学参数, 其中挡土墙剖面参数包括挡土墙高度 H 、顶边长 $d1$ 和底边长 $d2$, 挡土墙的密度 ρ' 和挡土墙底部的墙 - 土摩擦系数 μ ; 墙后土体物理力学参数包括土体密度 ρ 、内摩擦角和黏聚力 c 以及墙 - 土间外摩擦角 δ 。

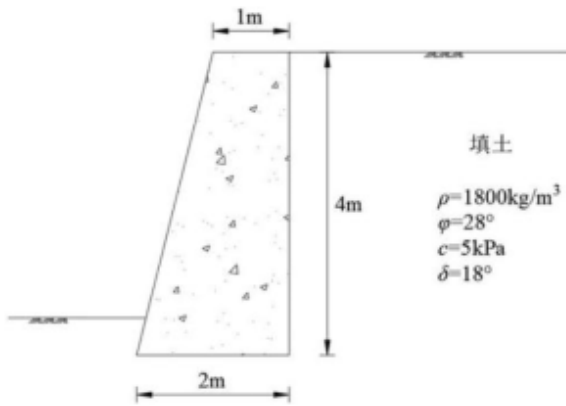


图 1 挡土墙几何参数及土体物理力学参数示意图

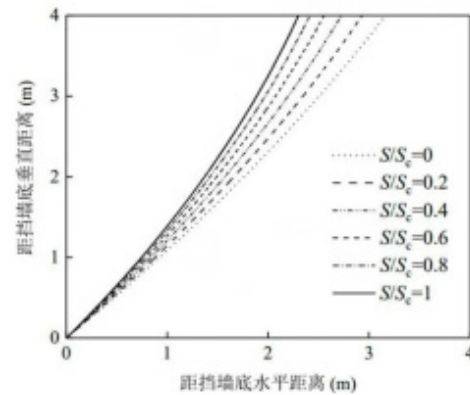


图 2 挡土墙在不同位移时墙后土体潜在破裂面示意图

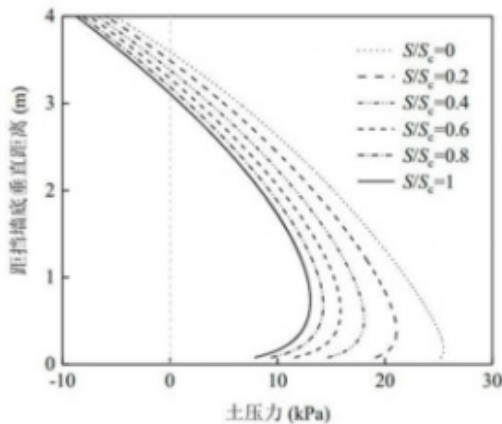


图 3 挡土墙在不同位移时的土压力分布示意图

步骤二：假设边坡土体的内摩擦角发挥值与挡土墙位移呈线性关系，根据下面计算式得到挡土墙位移时的土体内摩擦角发挥值：

$$\varphi_m = \varphi_0 + \frac{4\arctan(S/S_c)}{\pi}(\varphi - \varphi_0)$$

式中： φ_m 为土体的内摩擦角发挥值， φ_0 为静止状态时土体的内摩擦角发挥值， S 为挡土墙的位移， S_c 为极限状态下的挡土墙位移。

优选的， φ_0 可取为 0.64φ 。

步骤三：根据极限分析理论，极限状态下墙后土体中的滑裂面采用对数螺线型式，假设极限状态下的土压力作用点位于挡土墙的下 1/3 墙高处，可得到极限状态下的对数螺线滑裂面表达式为：

$$r = r_0 e^{(\theta - \theta_0)\tan\varphi} = r_0 e^{[(\theta_c - \theta_0) + (\theta - \theta_c)]\tan\varphi} = r_c e^{(\theta - \theta_c)\tan\varphi}$$

式中： r_0 为对数螺线起点对应的极径， r_c 为对数螺线终点对应的极径， θ_0 为对数螺线起点对应的极角， θ_c 为对数螺线终点对应的极角。

步骤四：因极限分析方法仅适用于墙后土体处于极限状态，而非极限状态不适用，故首先采用极限分析方法确定极限状态下的对数螺线滑面。在此基础上，假设挡墙位移过程中对数螺线的旋转中心不变，则非极限状态的潜在滑面

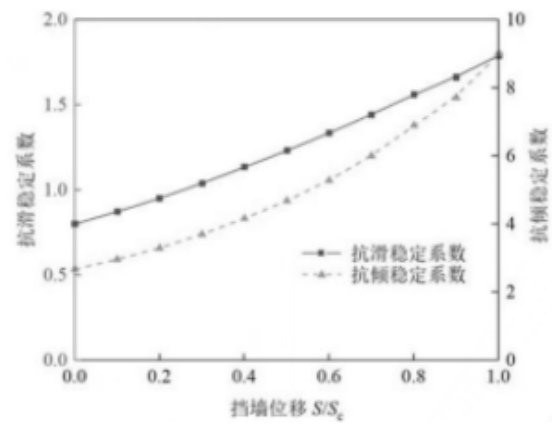


图 4 挡土墙稳定性随挡土墙位移的变化关系示意图

可通过求解墙后土体抗剪强度参数的发挥值确定。

假设挡土墙位移过程中，对数螺线滑裂面的旋转中心不变，得到非极限状态下的对数螺线潜在滑裂面表达式为：

$$r = r_c e^{(\theta - \theta_c)\tan\varphi_m}$$

步骤五：设墙 - 土间外摩擦角、土体黏聚力与土体内摩擦角同步发挥，挡土墙不同位移时的墙 - 土间外摩擦角发挥值、土体黏聚力发挥值的表达式为：

$$\frac{\delta_m}{\delta} = \frac{c_m}{c} = \frac{\varphi_m}{\varphi}$$

式中： δ_m 为墙 - 土间外摩擦角发挥值， c_m 为土体黏聚力发挥值。

根据步骤四求得的挡土墙不同位移时的潜在滑裂面和挡土墙不同位移时的墙 - 土间外摩擦角发挥值、土体黏聚力发挥值，由水平条分法可得不同挡土墙位移时的土压力 F 。

步骤六：根据挡土墙的密度 ρ' 计算挡土墙重力 G ；将土压力 F 在水平和竖直方向的进行矢量分解，分别得到土压力 F 在水平和竖直方向的分力 F_x 和 F_z ；确定挡土墙重力作用点与墙趾之间的水平距离 x_0 ，以及土压力 F 作用点与墙趾之间的水平和竖直距离分别为 x_f 和 z_f 。

根据下式分别得到挡土墙抗滑稳定系数 K_s 以及抗倾覆稳定系数 K_t ：

$$K_s = \frac{\mu(G + F_z)}{F_x}$$

$$K_t = \frac{Gx_0 + F_zx_f}{F_xz_f}$$

式中: K_s 、 K_t 分别为挡土墙的抗滑和抗倾覆稳定系数。

优选的,所述墙后土体为黏性土,假设土体表面水平且无上覆荷载。

如图 1 所示,某挡土墙高度 $H=4\text{m}$,顶边长 $d_1=1\text{m}$,底边长 $d_2=2\text{m}$,挡土墙的密度 $\rho'=2200\text{kg/m}^3$,挡土墙底部的墙-土摩擦系数 $\mu=0.3$,墙后土体密度 $\rho=1800\text{kg/m}^3$,土体内摩擦角土体黏聚力 $c=5\text{kPa}$,墙-土间外摩擦角 $\delta=18^\circ$ 。将数据带入上述计算步骤内,可得到图 3~4 的计算结果。

如图 2 所示,假设极限状态时的土压力作用点为距墙底 $1/3$ 墙高处,该假设符合经典土压力分布,并允许与现有土压力计算方法进行直接比较。由极限分析理论可以得到极限状态时的滑裂面,在此基础上,得到挡土墙在不同位移时墙后土体中的潜在滑裂面。

如图 3 所示,假设墙-土间外摩擦角、土体黏聚力与土体内摩擦角同步发挥,由水平条分法,得到不同挡土墙位移时作用于挡土墙上的土压力 F 。

如图 4 所示,由挡土墙不同位移时的土压力 F 分布,得到挡土墙稳定性随位移的变化关系。从图中可以看出,抗滑稳定性系数和抗倾稳定系数随挡土墙的位移的增大而增大。从设计角度来看,展示墙体从静止状态移动到主动极限

状态期间的倾覆和滑动稳定性安全系数具有重要意义。这两种安全系数通常随着墙体从静止状态位移到主动极限状态而增加。主动极限状态下,倾覆稳定系数较大且与墙体移动呈非线性关系,滑动稳定系数随着墙体位移近似线性增加。挡墙位移 $S=0$ 时滑动稳定系数小于 1,此时挡墙不稳定,将向远离挡墙的方向产生位移,随着挡墙位移的增大,挡墙上的土压力逐渐减小,挡墙趋于稳定,当墙后土体达到极限状态时,挡墙滑动稳定系数为 1.94。

4 有益效果

计算挡土墙在正常工作状态及发生位移时土压力及墙体稳定性的影响以及边坡中剪切带随挡土墙位移的演化规律,更加准确的计算挡土墙不同位移时的土压力及墙后土体中的潜在破裂面,较为准确的评估挡土墙的工作状态,理论严谨,公式简单实用,方便工程实际应用,具有很好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 孙本杰.改进的刚性挡土墙主动土压力计算方法[D].合肥:安徽建筑大学,2016.
- [2] 闫晗.拱形挡土墙的结构分析与数值模拟[D].信阳:信阳师范学院,2022.
- [3] 凌玲.低承载力地基条件下轻型挡土墙结构体系的应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.
- [4] 陈页开.挡土墙上土压力的试验研究与数值分析[D].杭州:浙江大学,2001.