

地下连续墙泥浆槽稳定性分析的一种方法

季冲平 余绍锋

(上海铁道大学土木系)

摘 要 论述了地下连续墙泥浆槽在短槽挖掘时的稳定性问题,假定槽壁按截斜圆柱体发生整体滑动破坏,研究了干砂层中深槽壁稳定,粘土层中深槽壁稳定,并考虑了地下水头高度对槽壁稳定的影响,该理论公式基本上能解释地下连续墙泥浆槽在近导墙下部破坏的情况^[1]。

关键词 地下连续墙;泥浆槽;稳定性

分类号 TU 476.3

0 引 言

地下连续墙基槽采用泥浆护壁,新鲜泥浆比重比水大,对槽壁的水平静止压力相当于一种液体支撑,与地层土压力和水压力相互平衡,当这种平衡不满足时,会造成槽壁整体失稳破坏或者局部坍塌^[1]。槽壁整体稳定分析有按平面问题分析和按空间问题分析二种,按平面问题分析时假定平面楔形土体滑动,求槽壁泥浆压力与土压力平衡^[1];按空间问题分析时考虑槽深远大于槽长,槽壁发生拱效应,当坍塌体处于极限平衡状态时,作用在坍塌体上的水平土压力减少^[1]。最早是 Huder^[2]应用 Terzaghi 的土拱理论计算土压力,求泥浆压力与土压力平衡^[1]。以后有较多的论文假定了不同形状的刚塑性空间滑体求土压力与泥浆压力的平衡^[3]。工程实例表明槽壁滑坍的现象常常发生在槽口下 5~12 m 范围内^[3]。笔者假定滑动面为截斜圆柱面,目的在于更好地解释工程中槽壁坍塌的实际情况^[3]。

1 滑体形状假定

从理论上来说,只有当槽长比槽深趋向无穷大时,槽壁的土压力才等于按平面问题计算得到的土压力,地下连续墙泥浆槽往往都是槽长远小于深度,因而土体内必然形成卸荷土拱^[3]。经过现场实验,得到如图 1(a) 和 (b) 所示的滑体形状,图 1(a) 为剖面图,图 1(b) 为平面图^[3]。滑动面近似为半圆形,圆心位置稍离槽口,滑动面在槽深方向为抛物线形^[3]。

笔者认为滑体可以近似地用截斜圆柱体表示,滑动面可以近似地用截斜圆柱面表示,如图 2 所示^[3]。

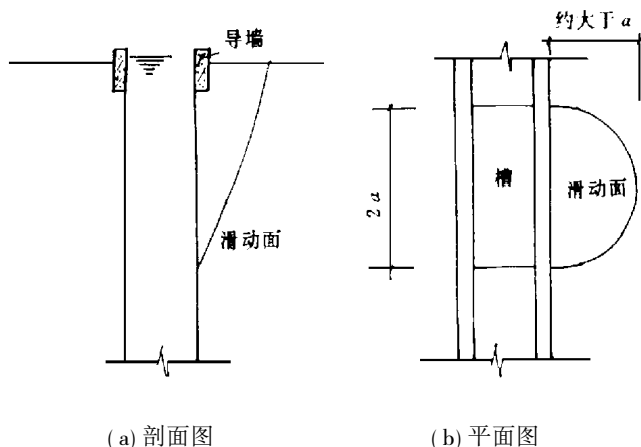


图 1 滑动形状(引自文献[1])

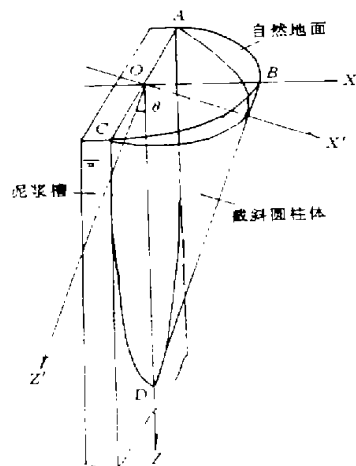


图 2 截斜圆柱体滑体形状假定

截斜圆柱面 ABC 曲线方程为

$$y^2/a^2 + (\cos^2 \theta/a^2)x^2 = 1, \quad (1)$$

ACD 曲线方程

$$y^2/a^2 + (\sin^2 \theta/a^2)z^2 = 1, \quad (2)$$

斜柱体体面方程

$$(x \cos \theta + z \sin \theta)^2 + y^2 = a^2. \quad (3)$$

式中: a 为槽长之半; θ 为垂直线与斜柱轴线交角^[3]

2 槽壁整体稳定性分析

2.1 干砂层中的深槽

对于注满泥浆的干砂层深槽的稳定分析, 认为泥浆与砂层间被不透水膜隔开, 如图 3 所示^[3]由力的平衡可得

$$P_f = (W + q_f) \cot(\theta + \varphi), \quad (4)$$

滑动体重量

$$W = (1/6) \pi r^3 (\cos \theta \sin \theta)^{-1}, \quad (5)$$

地面荷载

$$q_f = (1/2) q \pi r^2 (\cos \theta)^{-1}, \quad (6)$$

泥浆侧压力

$$P_f = (2/3) \theta a^3 (\sin^2 \theta)^{-1}, \quad (7)$$

将式(5), (6), (7)代入式(4), 得

$$\theta = [(\pi/4) \tan \theta + (3/4) \pi a^{-1} \tan \theta \sin \theta \cot(\theta + \varphi)]^{1/3} \quad (8)$$

式中: r 为砂土容重, kN/m^3 ; φ 为砂土摩擦角, 度; a 为槽长的一半, m ; θ 为泥浆容重, kN/m^3 ; q 为地面均布荷载, kN/m^2 ^[3]

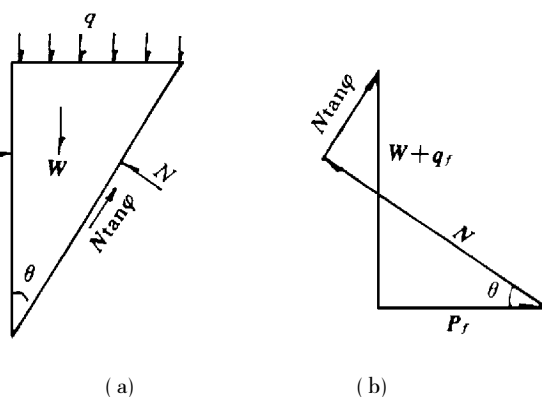


图 3 砂土中深槽壁力的平衡

根据式(8)求泥浆容重的最大值对应的 θ 角,确定滑裂体的形状^[13]若地下水位与地面高度相同,内摩擦角与有效应力相对应,砂土容重与浮容重相对应,则式(4)为

$$P_f = (W + q_f) \cot(\theta + \Phi'), \quad (9)$$

滑体重量

$$W = (1/6) \pi a^3 r' (\sin \theta^{-1} (\cos \theta^{-1}), \quad (10)$$

泥浆侧压力扣除地下水侧压力,可得

$$P_f = (2/3) (\theta - r_w) a^3 (\sin^2 \theta^{-1}, \quad (11)$$

将式(10)、(11)代入式(9),可得

$$\theta = \left(\frac{\pi}{4} \tan \theta + \frac{3}{4} \pi a^{-1} \tan \theta \sin \theta \cot(\theta + \Phi') + r_w \right) \quad (12)$$

式中: r_w 为水容重;

Φ' 为土体有效内摩擦角;

r' 为土体浮容重;

q 为地面超载^[13]

2.2 粘土层中深槽

假定粘土层中深槽注满泥浆如图4所示,分析粘土层中槽壁滑动土体受力情况,由 W 方向和 P_f 方向的力平衡可得

$$N \tan \Phi \sin \theta - c S \sin \theta + N \cos \theta = P_f \quad (13a)$$

(a) (b)

图4 软粘土深槽力的平衡

$$N \tan \Phi \cos \theta + c S \cos \theta + N \sin \theta = W + q_f \quad (13b)$$

解式(13a)、(13b),得

$$P_f = \cot(\theta + \Phi) (W + q_f - c S \cos \theta - c S \sin \theta) \quad (14)$$

式中: S 为滑裂面表面积, m^2 ^[13]

$$S = 2a^2 (\sin \theta^{-1} (\cos \theta^{-1} \quad (15)$$

将 P_f, W, q, S 的值代入式(14),可得

$$\begin{aligned} \theta = \cot(\theta + \Phi) \left(\frac{\pi}{4} \tan \theta + \frac{3\pi}{4a} \tan \theta \sin \theta \right. \\ \left. - \frac{3c}{a} \sin \theta - \frac{3c}{a} \tan \theta \sin \theta \right) \quad (16) \end{aligned}$$

式中: c 为土体内聚力; Φ 为土体内摩擦角; r 为土体容重^[13]

当地层中地下水位与地面相距 h_w 时,地下水位以下的土体重量应按浮容重计算,地下

水位以上的土体按自然容重计算,泥浆压力应扣除地下水压力^[13]如图5为有地下水时的计算简图^[13]求得滑动土体重量和有效泥浆侧压力 P_f 如下

$$W = W_1 + W_2, \quad (17)$$

其中

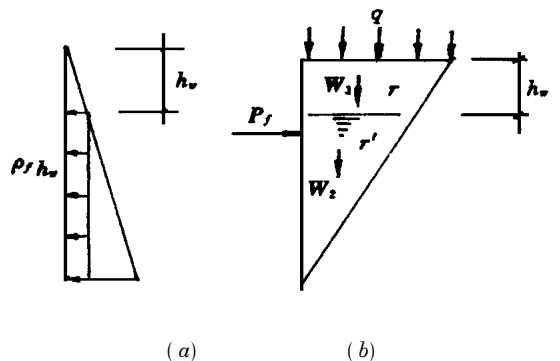
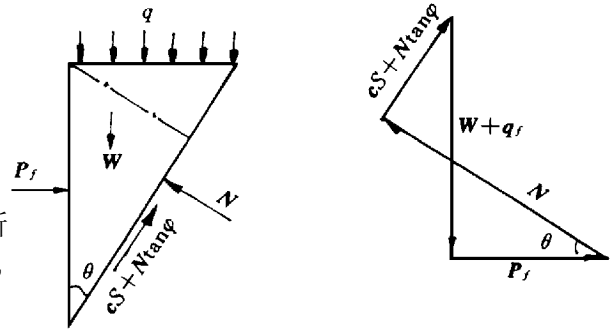


图5 有地下水时软粘土中深槽力的平衡

$$W_1 = \frac{\pi r^2 h_w}{2 \cos \theta} - \frac{a^2 r h_w}{4 \cos \theta} \left\{ \sin 2 \sin^{-1} \frac{h_w \sin \theta}{a} + 2 \sin^{-1} \frac{h_w \sin \theta}{a} \right\},$$

$$W_2 = \frac{r a^2 ((a/\sin \theta) - h_w)}{6 \cos \theta} \left\{ \pi - \sin 2 \sin^{-1} \frac{h_w \sin \theta}{a} - 2 \sin^{-1} \frac{h_w \sin \theta}{a} \right\} \quad (13)$$

式中: r 为土体天然容重; r' 为土体浮容重⁽¹³⁾

$$P_r = (2/3) \rho a^3 (\sin^2 \theta^{-1} - (2/3) r_w (\sin^2 \theta^{-1} (a^2 - h_w^2 \sin^2 \theta)^{3/2}) \quad (18)$$

由式(17)、(18)可得

$$\theta = [\cot(\theta + \varphi) (W + q_f - c S \cos \theta - c S \sin \theta) / A + (r_w / a^3) (a^2 - h_w^2 \sin^2 \theta)^{3/2}] \quad (19)$$

其中 $A = (2/3) a^3 (\sin^2 \theta^{-1})$

W, q_f, S 分别由式(15)、(17)、(18)求得, 将不同的 θ 角代入(19)式, 通过试算求得 $\theta_{\max}$ 对应的 θ 角确定可能的滑动面⁽¹³⁾ 在槽长、土的内摩擦角 φ 和内聚力 c 不变情况下, 假定不同的地下水位高度, $h_w - \theta$ 曲线如图 6 所示, 曲线表明地下水位埋深较大时对槽壁的局部稳定性有利, 因此, 工程施工中应将水位降至较深位置才有明显的效果⁽¹³⁾

定义泥浆槽稳定安全系数

$$k_s = \rho_c / \rho, (k_s > 1) \quad (20)$$

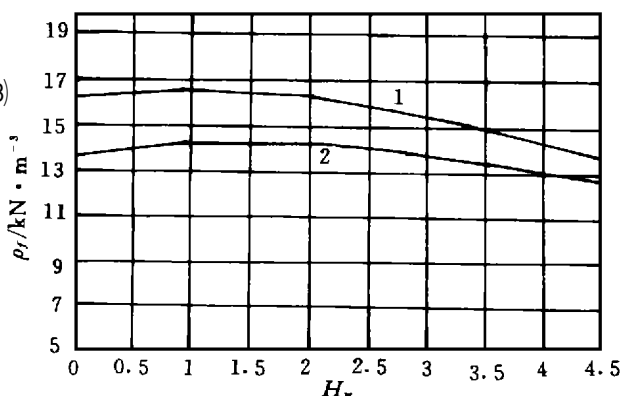
式中: ρ 为实际工程中使用的泥浆容重, kN/m^3 ; ρ_c 为计算得到的泥浆容重, kN/m^3 ¹⁹.

下面给出一个工程实例, 说明本文方法的计算结果与实际工程情况是相符的⁽¹³⁾

工程实例 槽段长 6.1 m, 槽深 35 m, 地下水位位于地面下 3 m, 土的内聚力 $c = 7 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$; 当泥浆密度 $\rho = 10.8 \text{ kN}/\text{m}^3$ 且泥浆液面低于地下水位下 0.1 m 时, 产生整体坍塌, 本文方法的计算结果滑坍深度约为 7.8 m, 与实际情况滑坍深度 7 m 基本一致⁽¹³⁾ 例题引自文献[1]⁽¹³⁾

3 结束语

本文分析泥浆槽整体稳定性方法是将土体的滑动看作刚体沿滑面做滑移运动来研究⁽¹³⁾ 实际上土体中的初始应力会产生重分布, 出现二次应力状态, 由于泥浆的侧压力小于土体侧压力, 土体会产生变形, 形成应力集中, 土体破坏首先从应力最集中的部位开始, 然后按剪应力大小程度及破坏点的应力释放结果, 逐步扩展, 最终形成破裂面⁽¹³⁾ 地下墙基槽的稳定性依赖于泥浆容重, 本文的方法考虑了泥浆与槽壁土体的相互作用, 该计算方法可解释实际工程中一定深度范围内的土体坍落, 而不是整个深槽失稳的情况⁽¹³⁾



1: $c = 10 \text{ kPa}$, $\varphi = 20^\circ$, $a = 3 \text{ m}$, $g = 20 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$;
2: $c = 10 \text{ kPa}$, $\varphi = 20^\circ$, $a = 3 \text{ m}$, $g = 10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ (13)

图 6 二组 c, φ 值情况下 $\theta - \rho$ 曲线图

参 考 文 献

- 1 黄泽恩. 地下连续墙泥浆槽的稳定性分析. 地下工程, 1986, 20, 10~17
- 2 Huder J¹⁹ Stability of Bentonite Slurry Trenches with some Experiences in Swiss Practice, Proc of 5th Eur Conf Soil Mech Found Eng Madrid, 1972, 1, 70~80

The Stability of Slurry French Diphragm Wall

Ji Chongping Yu Shaofeng

(Civil Engineering Department, Shanghai Tiedao University)

Abstract It can be seen from the practice that the failure of slurry trench diaphragm wall occurred often at the guide wall. Based on the assumption that the failure of diaphragm wall is of the pattern of general sliding with cylindrical surface. The analytical results can be used to interpret the actual failure slurry trench diaphragm wall.

Key words underground wall; slurry trench; stability

(上接第12页)

Plastic Energy Dissipation of Secondary Structure
and Shock Absorption Analysis of Primary Structure

Xu Haiyan Qin Ming

Ni Chunfu

(Civil Engineering Department)

(Construction Office)

Abstract The response of secondary structure on the top greater than that of primary one in earthquake will consume some energy of the primary structure. This will cut down the vibration of primary system. In this paper, the energy dissipation of secondary system on plastic has been analysed and its effect of shock absorption on primary structure has been discussed.

Key words secondary structure; plastic energy dissipation