

浅基础地基的稳定验算

刘晓蓉 张兆洪

陈 东

(煤炭部郑州设计研究院, 450007) (中国河南国际经济技术合作公司, 郑州, 450004)

摘 要 利用力学方法, 推导出浅基础圆弧滑动面稳定计算公式, 根据公式利用数值分析法编制出地基稳定计算程序, 计算结果表明该程序计算速度快, 计算精度较高。

关键词 整体滑动; 最危险滑动面; 最小安全系数

中图分类号 TU441

概述

地基稳定计算过去多用于边坡土体稳定的验算, 一般教科书中多有论述^[1]。对建筑物由于外来作用和自身重量所产生的土体的整体滑动提及不多。一般在满足强度要求的条件下, 建筑物很少发生由于地基失稳产生的破坏。但是对于一些基础之下有较厚的软弱土层, 且结构较高、承受较大水平荷载的建筑, 如水塔、烟囱、筒仓及高层建筑应进行地基稳定性验算。

软弱土体某一点在上部建筑荷载作用下到达该点的抗剪强度时, 土即沿剪应力作用方向产生相对滑动, 如果荷载继续增加, 则滑动面越来越大, 最后会使地基发生整体滑动, 造成建筑物失稳。由于地基稳定计算公式推导繁琐, 而且根据公式不易求出解析值, 过去多用简化的图解法求得近似解^[1], 工作量大, 精度低。近年来随着计算机技术的普及, 利用计算机进行建筑物地基整体稳定计算方便可行。

1 地基整体稳定性计算

实测表明地基整体滑动的滑动面与土质有关。砂土类土质由于土颗粒之间没有内聚力, 滑动面形状近似为平面, 根据静力平衡原理, 如果抗滑力大于滑动力则结构不会发生失稳; 具有特殊结构的粘性土, 如黄土或类黄土, 或土质变化较大的土层, 滑动面的形状为不规则折线。

均质的粘性类土以及潮湿土或粉砂, 滑动面近似为圆弧形, 通常把这类土的滑动面假定为圆弧形。

地基稳定性可用圆弧滑动面法进行验算^[2]。稳定安全系数为最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩和滑动力矩的比值, 其值应符合下式要求:

收稿日期: 1997-11-06

第一作者 女 1957年7月生 学士学位 工程师

$$K=\frac{M_R}{M_S}\geqslant 1.2$$

K —稳定安全系数

M_R —抗滑力矩

M_S —滑动力矩

公式简单,只需用圆弧滑动面法计算出 M_R 和 M_S 即可求出 K 值,但文献[2]并未给出抗滑力矩和滑动力矩的具体计算公式,设计人员在实际使用时有一定的难度,即便推导出计算公式,但因圆弧面法实质是一种验算方法,不能一次确定出 K 的最小值,需要反复计算比较,这也是一般工程设计人员很少进行地基稳定计算的原因之一。稳定计算主要解决几个问题,推导稳定安全系数 K 的表达式及求出 K_{\min} 。

2 圆弧滑动面法计算浅基础的地基整体滑动

圆弧滑动面具体计算方法很多,最常用的是圆弧条分法。

条分法分析土体稳定时假定:①土是均质且各向同性;②滑动土体是一个刚体;③不考虑土条之间相互作用力;④按平面问题考虑。

已知条形基础宽度 B ,基础高度 H ,基底距地面高度 H_2 ,单位长度基顶作用力 N 、 V 、 M 。

不考虑地震和地下水渗流的影响。

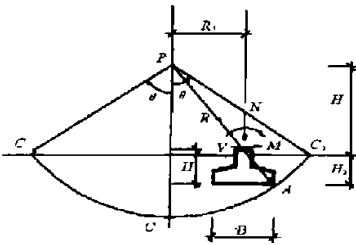


图 1 地基圆弧滑动面

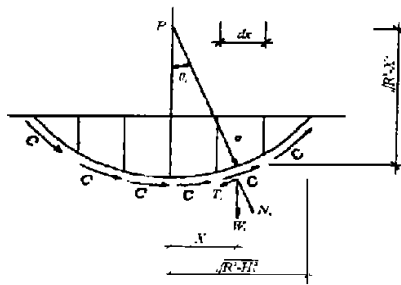


图 2 土体条分法划分

以距基础中心线水平距离 R_1 、距地面垂直距离 H_1 的 P 点为圆心,以 P 点到基础边 A 点之距为半径画 $C_1-C_2-C_3$ 组成的面即为滑动面(图 1)。

2.1 条分法

用条分法将滑动面以上土体分为单位宽度的土条,任一土条上所受力为:

- ①土条重力 W_i 在滑动面处的法向反力 N_i 所产生的摩擦力;
- ②土条重力 W_i 在滑动面处的切向分力 T_i 。

2.2 滑动面上诸力对滑动中心所产生的力矩

(1)沿滑面弧长 S 作用的土的粘聚力 c 产生的抗滑力矩

$$S = 2R\theta = 2R \arcsin \left[\frac{\sqrt{R^2 - H_1^2}}{R} \right]$$

抗滑力矩简单

$$c \cdot R \cdot S = 2 \cdot c \cdot R^2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{R^2 - H_1^2}}{R} \right)$$

(2)滑动面土体重量的法向分力 N_i 产生的抗滑力矩

忽略基础自身增加的重量,用条分法划分土体为若干等宽竖向土条,每一土条重量为 W_i ,土体容重 R_d (图 2)。

以往计算 N_i 时,一般将土体划分为十条等宽土条计算,过于粗糙,现用定积分方法推出 N_i 的计算公式。

$$W_i = R_d(\sqrt{R^2 - X^2} - H_1) dx$$

$$\cos \theta_i = \frac{\sqrt{R^2 - X^2}}{R}$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i = R_d(\sqrt{R^2 - X^2} - H_1) dx \frac{\sqrt{R^2 - X^2}}{R} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum N_i &= \frac{2R_d}{R} \int_0^{\sqrt{R^2 - H_1^2}} ((\sqrt{R^2 - X^2})^2 - H_1 \sqrt{R^2 - X^2}) dx \\ &= R_d \left(\frac{4}{3} R \sqrt{R^2 - H_1^2} - \frac{H_1^2}{3R} \sqrt{R^2 - H_1^2} - H_1 R \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - H_1^2}}{R} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$\sum N_i$ 对土体的摩擦力产生的抗滑力矩:

$$\begin{aligned} \sum N_i \cdot \tan \varphi \cdot R &= R_d \tan \varphi \left(\frac{4R^2}{3} \sqrt{R^2 - H_1^2} - \frac{H_1^2}{3} \sqrt{R^2 - H_1^2} \right. \\ &\quad \left. - H_1 R^2 \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - H_1^2}}{R} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$\tan \varphi$ 为土内摩擦角。

(3)土体重量的切向分力 T_i 产生的滑动力矩

由于两侧土体的切向分力相等方向相反,故不考虑土体重量 W_i 切向分力 W_i 的影响。

(4)基础上作用诸力对滑动中心产生的滑动力矩

$$M + N \cdot R_1 - V(H_1 + H_2 - H)$$

2.3 稳定安全系数 K

安全系数 $K = \frac{\text{抗滑力矩}}{\text{滑动力矩}}$

$$\begin{aligned} K &= \frac{R_d \tan \varphi \left(\frac{4R^2}{3} \sqrt{R^2 - H_1^2} - \frac{H_1^2}{3} \sqrt{R^2 - H_1^2} - H_1 R^2 \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - H_1^2}}{R} \right)}{M + NR_1 - V(H_1 + H_2 - H)} \\ &\quad + \frac{2cR^2 \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - H_1^2}}{R}}{M + NR_1 - V(H_1 + H_2 - H)} \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)适用条形浅基础,矩形基础是空间问题,虽然有一些相应的分析方法,但计算较复杂,实际经验也较少。采用式(4)计算矩形基础时,忽略基础长度方向侧面土的摩擦力,仍作为平面问题计算,其结果偏于安全。此时 $K = K \cdot L$, L 是基础长度, N 、 V 、 M 是整个基顶的外力。

基础埋深增大时,不能忽视基础侧边作用的土侧压力,基础荷载的作用位置由半无限体的表面逐渐移向半无限体内部,滑动面不是圆弧线而是对数螺旋线,式(4)不适用。

3 最小稳定安全系数 K_{\min}

采用(4)计算时,已知常数项 c 、 φ 、 R_d 、 B 、 H 、 H_2 、 M 、 N 、 V ,所以 K 值是 R 、 H_1 的函数,即 $K_{\min}=f(R, H_1)$ 。对 $f(R, H_1)$ 求一阶导数,可求出 K_{\min} 。基于计算公式比较复杂,用数学方法中的解极值方法不易求出,过去一般用试算法或作图法手工计算求值,工作量较大。采用计算机技术能快速计算出最小安全系数 K_{\min} ,可用优选法中的直接优选法,计算出若干函数值,对函数值进行比较,求出其中最小值。最危险滑动面周围存在一个区域,这个区域称为危险区域,首先确定危险区域的大小,区域的水平变量为 R_1 ,垂直变量为 H_1 ,在设定区域内对自变量空间进行均匀的高密度的扫描,计算出最小安全系数,同时求出危险滑动面圆心的位置,当空间划分很细、搜索次数趋于无穷大时,求得的最小安全系数接近真实的极值,但增加计算时间,从实际工程设计角度考虑,过高的设计安全系数的精度没有必要,只要搜索范围及空间划分适当即可。根据式(4),采用随机搜索的方法编制一段程序,利用该程序计算 K_{\min} 和手工计算相比具有速度快、误差小、容易掌握的特点,精度可以满足设计的要求。

利用程序计算多个实际工程后发现,结构的最危险滑动中心 R_1 、 H_1 随着基础宽度 B 的增大而增加,其中 H_1 增加速度比 R_1 快; c 值降低将导致 K 值大幅减小,这验证了基础下卧软弱土层可能导致发生地基整体失稳的理论。

如果 K_{\min} 不满足要求,首先应考虑减轻上部荷载;其次可增加基础宽度 B ,两种方法都能有效地增大最小稳定安全系数 K_{\min} 。

4 算例

柱下独立基础(图3)根据地基承载力确定出基底尺寸,由于地基为较软弱的轻亚粘土($c=0.003\text{N}/\text{mm}^2$),故进行地基整体失稳验算。

基本参数如下:土内聚力 $c=3\text{kN}/\text{m}^2$,土内摩擦角 $\varphi=21^\circ$,土加权容重 $R_d=19\text{kN}/\text{m}^3$,基底宽度 $B=3.5\text{m}$,基础高度 $H=0.7\text{m}$,基础埋深 $H_2=1.0\text{m}$,基顶弯矩 $M=20\text{kN}\cdot\text{m}$,基顶剪力 $V=8\text{kN}$,基顶轴力 $N=1200\text{kN}$,基础长度 $L=3.5\text{m}$ 。

计算结果:

最小稳定安全系数 $K_{\min}=0.9574689$;

滑动中心距基础中心水平距离 $R_1=1.75\text{m}$;

滑动中心距地面垂直距离 $H_1=0.665\text{m}$;

整体稳定计算不能满足要求,应加大基础尺寸。

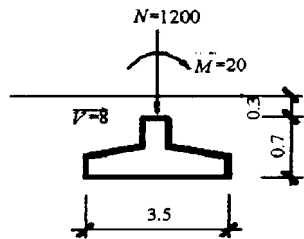


图3 基础简图

参考文献

- 1 天津大学,西安冶金建筑学院,哈尔滨建筑工程学院,重庆建筑工程学院合编.地基与基础.北京:中国建筑工业出版社,1980
- 2 建设部.建筑地基基础设计规范(GBJ 7—89).北京:中国建筑工业出版社,1990

Stability Calculation of the Shallow Foundation

Liu Xiaorong Zhang Zhaozhong

(Zhengzhou Design and Research Institute of Coal Industry, 450007)

Cheng Dong

(China Henan International Economic—Technical Cooperation Corporation, 450004)

Abstract In this paper, by means of mechanics method, formula of stability calculation of the shallow foundation on radial sliding plane are deduced, and based on the formula we make the program using numerical analysis method. Results show that the program has the advantages of fast calculation and high precision.

Keywords whole slide; most dangerous sliding plane; minimum safety coefficient

(上接 67 页)

- 3.2 铁路配件在使用中承受较大的压力、冲击和震动,无论选用可锻铸铁,还是球墨铸铁都必须确保产品质量达到设计要求;
- 3.3 铁素体基体的球墨铸铁性能优于可锻铸铁,在铁路配件领域中,其应用呈发展趋势;
- 3.4 单一冲天炉熔炼,严格控制炉料和熔炼工艺,进行多次孕育处理,可以生产出优质的铁路配件。

参考文献

- 1 陆文华.铸铁及熔炼.北京:机械工业出版社,1981.4,89~90
- 2 铸铁手册.北京:机械工业出版社,1993.3,271~272

The Production of Railway Castings of As—cast Nodular Iron

Guo Zhengting

Zhou Wenyu

(Zhengzhou University of Technology)(Zhengzhou Institute of Light Industry)

Abstract In this paper the mechanical properties of two types of cast iron are compared and the producing process of the railway castings of as—cast nodular iron are described. Besides, we analysed the effects of spheridizing, inoculation on the mechanical properties of railway castings.

Keywords as—cast nodular iron; railway castings; spheridizing treatment; inoculation treatment