

水泥土支护体稳定性设计的可靠度分析

况龙川

(同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

【摘要】 水泥土支护稳定性设计的可靠度分析模型, 通过搜集具有代表性的 22 例上海软土工程地质资料, 参数统计引入空间平均概念, 利用 JC 法进行了有关可靠度指标的计算与分析, 指出现行稳定性设计的总体可靠度指标水平为 2.50, 为今后分项系数的研究打下基础。

【关键词】 水泥土支护体 稳定性设计 极限状态方程 可靠度指标

【Abstract】 The model of reliability analysis on the stability design of cement-soil retaining structure is established. Based on 22 different and representative geotechnical data in Shanghai and the application of spatial average concept in the parameter statistics, JC-method is used to calculate and analyse the reliability index. The average index of current reliability is 2.50 approximately. The work will be helpful for the future research of partial factors.

【Key words】 cement-soil retaining structure stability design limiting state equation reliability index

0 前言

水泥土是原状土与水泥均匀拌和后形成的一种土的加固体, 国际上称这种加固法为 DMM 工法 (Deep Mixing Method), 我国《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91) 称之为深层搅拌法, 并启用了“水泥土”这一专用名词。近几年, 上海地区在开挖深度小于 7m 的基坑中较多采用了这种加固法, 通过连续搭接施工形成水泥土支护体, 在开挖基坑过程中发挥挡土止水功能。本文根据上海软土的实际工程性质, 对水泥土支护体建立了考虑土层实际划分的可靠度分析模型。对比当前定值设计的总安全系数法, 作者通过搜集具有代表性的 22 例上海软土工程地质资料, 参数统计采用空间平均概念, 对水泥土支护体的稳定性设计进行了可靠度分析。

1 可靠度分析模型

1.1 定值设计方法

水泥土支护体的稳定性设计包括抗整体滑动、抗水平滑动和抗倾覆三项内容。1997 年 9 月颁发实施的上海市标准《DBJ08-61-97 基坑工程设计规程》中对此给出了较明确的

说明(见图 1)。有关公式如下:

(1) 整体滑动

$$K_1 = \frac{\sum c_i l_i + \sum (q_i b_i + w_i) \cos \alpha_i \tan \varphi}{\sum (q_i b_i + w_i) \sin \alpha_i} \quad (1)$$

(2) 水平滑动

$$K_2 = \frac{F_p + f}{F_a} \quad (2)$$

(3) 倾覆

$$K_3 = \frac{F_p l_p + \frac{1}{2} WB}{F_a l_a} \quad (3)$$

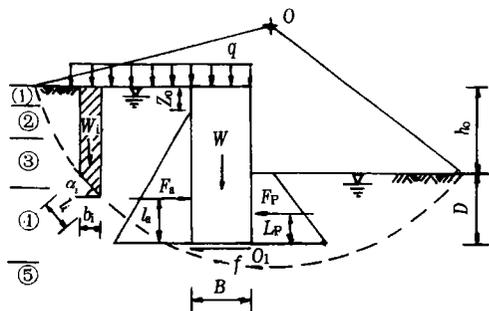


图 1 水泥土支护体稳定性设计简图

作者简介: 况龙川, 男, 1970 年生, 1995 年毕业于西安建筑科技大学, 获硕士学位, 现为同济大学地下建筑工程系博士研究生, 主要从事软土力学与工程、可靠度理论在岩土工程中的应用等方面的研究。

1.2 极限状态方程

由公式(1)~(3)可以分别建立整体滑动、水平滑动和倾覆三种失效模式的极限状态方程,它们是以水泥土支护体几何尺寸和重度、地面超载、土抗剪强度和重度以及地下水位等作为基本变量,若存在多层土时,土层划分亦是基本变量。若以 $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ 表示可能涉及到的全部变量,则极限状态方程为

$$Z_i = g_i(\vec{X}) = 0 \quad (i=1, 2, 3) \quad (4)$$

1.3 可靠度指标

工程结构领域的可靠度计算主要采用JC法,它适用于随机变量为任意分布下结构可靠度指标的求解,具有易于掌握、计算精度能满足工程实际需要的特点,在满足迭代精度条件下,可靠度指标定义为:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{\vec{X}^*} (\mu_{X_i} - X_i^*) \right)}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \Big|_{\vec{X}^*} \sigma_{X_i} \alpha_i \right)} \quad (5)$$

式中: μ_{X_i} 、 σ_{X_i} 和 α_i 分别为基本变量 X_i 的均值,标准差和敏感系数, \vec{X}^* 表示设计验算点坐标。

在基本变量 \vec{X} 均服从正态分布时,可靠度指标 β 与可靠度 P_r 或失效概率 P_f 具有直接对映关系,可以用来评价结构的可靠程度。

2 可靠度计算与分析

2.1 参数统计

根据上海软土地质划分实际特点,水泥土支护体全长范围(即 $h_0 + D$)仅涉及到土层①~④,笔者搜集了上海地区具有代表性的22例工程地质资料,包含了土层②~④的有关统计信息。公式(4)可能是各种因素(即基本变量)的函数,但在具体问题分析时,一些因素可能由于缺乏统计信息或与土抗剪强度指标 c 、 φ 相比变异性很小可以忽略,为简化分析,本文仅视土层①~② c 、 φ 作为基本变量,其余暂按确定性量考虑。

关于 c_i 、 φ_i ($i=2, 3, 4$) 的统计,首先用矩

法计算 c_i 、 φ_i “点”统计量,然后采用一维(沿深度方向)随机场理论,可以算得 c_i 、 φ_i “空间平均”的统计量,若以向量 \vec{X} 表示所涉及到的全部 c_i 、 φ_i ,则有

$$\mu_{vX_i} = \mu_{X_i} \quad (6)$$

$$\sigma_{vX_i}^2 = \sigma_{X_i}^2 \Gamma(h_i) \quad (7)$$

式中: μ_{X_i} 、 $\sigma_{X_i}^2$ 、 μ_{vX_i} 、 $\sigma_{vX_i}^2$ 分别为基本变量 X_i 的点均值、方差和空间均值、方差; $\Gamma(h_i)$ 为基本变量 X_i 的方差折减系数。当统计范围 h_i 很大时,存在下列近似关系式

$$\Gamma(h_i) = \frac{(\delta_0)_i}{h_i} = \frac{1}{(n_0)_i} \quad (8)$$

式中: $(\delta_0)_i$ 、 $(n_0)_i$ 分别为参数 X_i 的相关距离和目标总体空间范围(这里指土层厚度)内相互独立数据的最大数目,若在满足独立取样条件下取样不足时,即取样数 $(n)_i < (n_0)_i$, 有

$$\Gamma(h_i) = \frac{1}{(n)_i} \quad (8a)$$

2.2 计算前提

(1)水泥土支护体重度在开挖面以上取 18.5 kN/m^3 , 开挖面以下取 8.5 kN/m^3 ;

(2)土层①为杂填土, c 、 φ 和 γ 分别取为 0 kPa 、 20° 和 19 kN/m^3 ;

(3)土压力计算满足文献[2]中的有关规定;

(4)假定 c_i 、 φ_i ($i=2, 3, 4$) 均服从正态分布且相互独立。

2.3 计算与分析

利用公式(4)、(5),对22例资料进行稳定性设计的可靠度指标核算,经整理、统计得到了对应于不同的安全系数前提下可靠度指标的总体水平(见图2)。

(1)稳定性设计的安全系数与可靠度指标之间具有近似的直线关系,其中抗整体滑动验算模式的可靠度指标随安全系数提高有显著增大,其次是抗倾覆验算模式;

(2)抗整体滑动、抗水平滑动、抗倾覆三

(下转第18页)

(2)拱顶边缘桩的竖向拉应力

由于 $W_g = I_{x-x'} / (f - y + t/2) = 3.18M^3$

$M_{max} = 278.568kN \cdot m \quad \sigma_L = M_{max} / W_g =$

87.6kPa 处于允许范围内。

(3)拱脚加固体应力验算

前端边缘: $\sigma_1 = M_{max} / W_1 = 141.4kPa < [\sigma] = 500kPa$

后端边缘: $\sigma_2 = M_{max} / W_2 = 75.3kPa \approx [\sigma_L] = 75kPa$

其他验算内容略。

考虑到拱顶边缘桩和拱脚加固体后端边缘桩所受拉应力皆接近允许值,为安全起见,该工程在拱脚桩体中插入竹筋来提高组合拱截面的抗弯能力。

6 结语

(1)连拱式水泥土支护结构受力性能好,充分利用了其抗压强度较高的特点,是一种

经济合理的支护结构。

(2)连拱式水泥土支护结构是一种组合空间结构,其抗弯刚度和惯性矩皆大于格栅状和壁状水泥土挡墙,因而受力可靠,变位小。根据该工程施工开挖过程中和开挖后的监测结果,大部分位移均在 10mm 以内,效果很理想。

(3)组合拱结构参数的选择取决于水泥土的强度及其施工质量。

参 考 文 献

- 1 龚晓南. 第四届地基基础学术讨论会. 杭州:浙江大学出版社,1995
- 2 苏翼林. 材料力学(上册). 北京:高等教育出版社,1986
- 3 黄生根等. 地基处理及基坑支护工程. 武汉:中国地质大学出版社,1997

收稿日期:1998-03-16

(上接第 8 页)

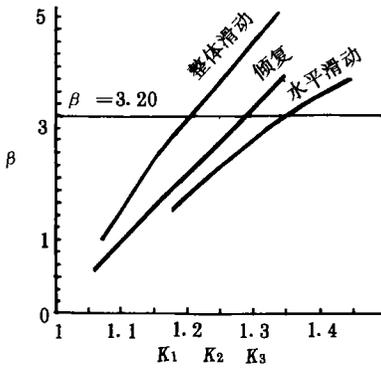


图 2 安全系数与可靠度指标的关系
种模式的安全系数按经验取值分别为 1.15、1.25 和 1.15 左右时,它们实际具备的总体可靠度指标分别为 2.55、2.50 和 1.80,反映了当前稳定性设计的总体可靠度指标水平;

(3)若以目标可靠度指标取 3.20 为衡量标准,按照公式(1)~(3)进行计算,则安全系数需要分别近似满足;

$K_1 = 1.20, K_2 = 1.35, K_3 = 1.30$

4 结束语

在水泥土支护体的截面设计中,通常的

步骤是利用公式(1)确定插入深度 D ,再利用公式(2)确定宽度 B 并验算插入深度;公式(3)一般仅作为最后的校核,它与宽度 B 取值有很大关系,计算结果表明,在 $Bh_0 \geq 0.75$ 时,对应抗倾覆验算的可靠度指标均能达到或超过 3.20。整体滑动和水平滑动模式的安全系数经验取值不同,但都具备了相似的概率保证:总体可靠度指标在 2.50 水平上,对应的失效概率约为 0.62%。这对确定上海软土地区水泥土支护结构设计的目标可靠度指标取值有重要参考价值,是实现分项系数设计方法的前提。

参 考 文 献

- 1 高大钊. 土力学可靠性原理. 北京:中国建筑工业出版社,1989
- 2 E. H. Vanmarcke Probabilistic modelling of soil profiles. (ASCE) Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1997, 103(GT11):1227~1246

收稿日期:1998-03-31