

锚碇沉井基础稳定性的规范算法与有限元方法的对比

苏静波¹, 楼淑君², 霍瑞丽³

- (1. 河海大学 交通学院, 江苏 南京 210098;
2. 杭州市水利设施监管中心, 浙江 杭州 310016;
3. 南京工业大学 土木工程学院, 江苏 南京 210009)

摘要:锚碇基础的稳定性在悬索桥建设中占有至关重要的地位。通过规范的相应公式计算了某锚碇沉井基础的抗滑、抗倾覆稳定性安全系数;通过 Midas/GTS 软件建立了锚碇沉井基础的三维非线性有限元计算模型,并基于有限元分析结果建立了相应的抗滑、抗倾覆稳定性安全系数的计算公式,对该锚碇沉井基础的抗滑、抗倾覆稳定性安全系数进行了计算。通过对比分析,指出了目前规范计算中存在的缺陷。

关键词:稳定性;沉井基础;悬索桥;有限元

中图分类号:U445.55

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2008)04-0004-04

锚碇基础可以用沉井、沉箱、地下连续墙等人工基础型式^[1-2],锚碇体的受力机制体现为作用在悬索桥的主缆上巨大的水平拉力通过索股与锚碇架分散传到锚块上,再由锚块、基础通过摩阻力传递到地基上。鉴于锚碇系统在悬索桥中的重要性,它的稳定问题也就显得十分重要。

《公路悬索桥设计规范》与《公路桥涵地基与基础设计规范》中以基础可能受到的所有外力作用作为考虑对象,均将沉井简化为作用在均质地基上,不考虑侧壁摩阻力的刚体^[3-5]。这种模型未考虑基础与周边土体的摩擦力以及前侧土的抗力等作用,仅将其作为安全储备,因此显得过于粗糙,也难以反映实际情况。本文结合工程实例,基于非线性有限元仿真分析成果,建立了考虑地基性质不均性以及侧壁摩阻力对抗滑移和抗倾覆贡献的稳定性计算公式,并将其与规范的计算进行了对比。

1 锚碇沉井基础概况

某长江公路大桥锚碇沉井基础选用矩形沉井,沉井平面尺寸为 67.9 m × 52.4 m。沉井底面标高 7 - 39.0 m,进入密实粉砂层,沉井顶面标高

为 7 + 2 m,沉井高 41 m,沉井平面布置成 20 个大井孔,沉井首节采用钢沉井,其余节均采用混凝土沉井,沉井基础结构剖面图如图 1 所示。沉井外井壁厚 2 m,内隔墙厚 1.4 m,沉井顶盖板厚 6.5 ~ 7.5 m。沉井封底混凝土厚 10 m。钢沉井采用 Q235 钢材,井壁内填充混凝土及封底混凝土采用 C30 水下混凝土,井盖采用 C40 钢筋混凝土。各土层物理力学性质指标如表 1 所示。

2 锚碇沉井基础稳定性的规范算法

2.1 荷载计算

沉井自重为各组成部分自重之和,锚碇沉井井体自重 $G = 102\ 579\ \text{t}$ 。另外,已知上部结构传递给沉井的恒载,其与沉井自重、锚碇自重及大缆拉力等汇总于表 2。

2.2 沉井基础整体验算

抗倾覆稳定系数 K_0 ,按下式计算:

$$K_0 = \frac{y}{e_0} = \frac{33.95}{11.34} = 2.99 > 1.5$$

其中, y 为基底截面重心轴至截面最大受压边缘的距离; e_0 为所有外力的合力 R 的竖向分力对基底重心轴的偏心距。

收稿日期:2008-07-21

基金项目:河海大学科技创新基金(2013-406096)

作者简介:苏静波(1979-),男,河南邓州人,博士,讲师,主要研究方向为数值计算新方法、结构静动态分析及稳定性。
万方数据

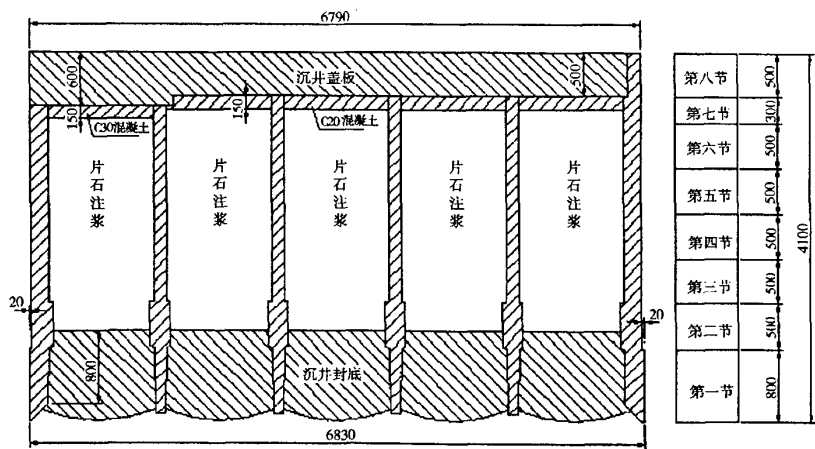


图 1 沉井基础结构剖面图

Fig. 1 Structure sectional drawing of caisson foundation

表 1 土层物理力学性质指标

Table 1 Physical properties of soil

土层名称	层厚/m	重度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$	内摩擦角/ $(^\circ)$	摩阻力/kPa	容许承载力/kPa
淤泥质亚粘土	4.35	17.7	8.0	10	80
亚砂土、粉砂	9.1	19.4	28.5	15	80
粉砂	11	18.8	33.1	17	120
粉细砂	11.7	19.2	35.0	20	160
粉细砂	25.5	19.1	36	24	200
中砂	5	21.2	37.7	25	450

表 2 各力汇总表(表中弯矩方向使锚碇产生向后倾时为负)

Table 2 Collects of the loads (the minus sign represents the bending moments retrovert the anchor)

力的名称	力值/kN	对沉井底面形心轴的力臂/m	弯矩/ $\text{kN} \cdot \text{m}$
锚碇自重	$5.939\ 1 \times 10^5$	17.42	$-1.034\ 646 \times 10^7$
井盖板自重	3.17×10^5	0	0
井体自重	$1.025\ 79 \times 10^6$	0	0
封底混凝土自重	$4.666\ 3 \times 10^5$	0	0
片石注浆及井孔内水的自重	$1.633\ 18 \times 10^6$	0	0
2根主缆拉力(恒载) 竖直方向	-2.136×10^5	30.89	6.598×10^6
2根主缆拉力(活载+温度) 竖直方向	-3.134×10^4	30.89	9.709×10^5
竖直方向力合计	3.51×10^6		-2.778×10^6
2根主缆拉力(恒载) 水平方向	3.05×10^5	40.23	1.227×10^7
2根主缆拉力(活载+温度) 水平方向	4.476×10^4	40.23	1.8×10^6
水平方向力合计	3.498×10^5		1.407×10^6
弯矩合计			-1.371×10^6

抗滑稳定系数 K_a 按下式计算:

$$K_a = \frac{\mu \cdot \sum P_i}{\sum T_i} = \frac{0.4 \times 3.51 \times 10^6}{3.498 \times 10^5} = 4.01 > 1.3$$

其中, $\sum P_i$ 为竖向力总和; $\sum T_i$ 为平力总和; μ 为
础底面与地基之间的摩擦系数,这里取 0.4。

通过上述计算可得,锚碇沉井基础的抗倾覆

稳定和抗滑稳定符合规范要求。

3 锚碇沉井基础稳定性的有限元分析

3.1 计算模型

本文采用有限元软件 Midas/GTS, 对该锚碇沉井体系建立了三维有限元“地层-结构模型”。土体假定为 Duncan-Chang 非线性弹性模型。

(1) 计算域范围竖向坑底以下深度再向下取基坑深度的 2 倍, 坑外水平方向分别向基坑外伸再取对应基坑长边或短边长度的 2 倍。

(2) 沉井结构、井孔内回填土和土体及基岩全部采用三维六面体 8 结点等参元。

(3) 沉井壁与土体之间设接触单元模拟二者之间的相互作用。

(4) 边界约束为: 三维计算域 4 个侧面及底面边界均采用法向连杆约束。

(5) 模型整体经离散后单元总数为 43 164, 结点总数为 46 030。基本模拟了基坑结构特征, 土体构造及接触情况。三维整体计算网格见图 2 所示, 其中上锚体结构网格见图 3 所示。

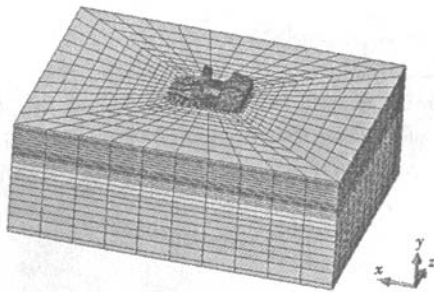


图 2 三维整体计算网格图

Fig. 2 Three-dimension entire computation mesh

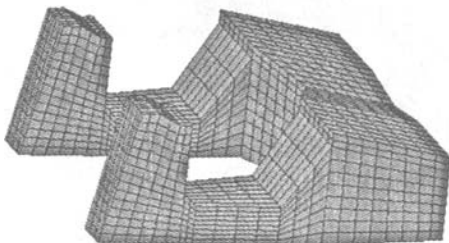


图 3 上锚体网格图

Fig. 3 Mesh of upper anchorage

3.2 锚碇沉井基础的稳定性计算

锚碇沉井基础抗滑稳定性计算时, 应保证锚碇沉井基础底面的抗滑动安全系数。锚碇基础的

万方数据

滑动抵抗力通常由以下几部分组成: 基础底面和地基的粘结力、基础底面和地基间的滑动摩擦力、基础前墙岩体或土体抗力等。锚碇基础的滑动力通常由以下几部分组成: 基础底面和底面岩土体之间的指向滑动方向的剪切力、基础侧面和侧面岩土体之间的指向滑动方向的剪切力、基础后墙岩、土体产生的土压力。抗滑稳定安全系数 F_s 的表达式如下:

$$F_s = \frac{\text{抗滑力}}{\text{滑动力}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{e1}} (f\sigma_{ni} + c_i) A_i + \sum_{i=1}^{n_{e2}} (f\sigma_{ni} + c_i) A_i + \sum_{i=1}^{n_{e3}} \sigma_{ni} A_i}{\sum_{i=1}^{n_{e1}} \tau_{ni} A_i + \sum_{i=1}^{n_{e2}} \tau_{ni} A_i + \sum_{i=1}^{n_{e4}} \sigma_{ni} A_i} \quad (1)$$

式中: F_s 为抗滑稳定安全系数, f, c 分别为岩土体参数, σ_{ni}, τ_{ni} 分别为基础与周围土体交界面上土体的正应力和剪应力, A_i 为每个单元交界面面积, $n_{e1}, n_{e2}, n_{e3}, n_{e4}$ 分别表示锚碇基础底面、侧面以及基础前、后墙土体单元数。

锚碇基础抗倾覆稳定性计算时, 对于基坑地基为土体或风化岩的情况, 应保证在最不利的荷载作用下, 基础基底截面偏心距落在截面核心内; 当地基为强度较高的新鲜岩石时, 应保证相对于基础前趾点抗倾覆力矩大于最不利的荷载作用下的倾覆力矩。本文以锚碇基础底面和前墙为转动轴, 抗倾覆力矩包括锚碇基础自重及基础前墙与土体交界面上的支承力产生的力矩, 倾覆力矩是外力(索股拉力以及散索鞍墩顶部所承受的分布压力)产生的力矩和基础后墙与土体交界面上的被动土压力产生的力矩。抗倾覆稳定安全系数 F_m 的表达式如下:

$$F_m = \frac{\text{抗倾覆力矩}}{\text{倾覆力矩}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} G_i d_i + \sum_{i=1}^{n_{e5}} \sigma_{ni} A_i d_i}{\sum_{i=1}^{n_f} P_i d_i + \sum_{i=1}^{n_{e6}} \sigma_{ni} A_i d_i} \quad (2)$$

式中: F_m 为抗倾覆稳定安全系数, G_i 为基础及锚体单元的重力, σ_{ni} 为基础与周围土体交界面上土体的正应力, A_i 为每个单元交界面面积, P_i 为因大缆拉力引起的后锚块和散索鞍所受拉力或压力, d_i 为各外力与转动轴的距离, n_e 为基础及锚体单元数, n_{e5}, n_{e6} 分别为与前墙、后墙相接触的土体单元数, n_f 为后锚块所受索股拉力和散索鞍顶部所受分布压力的单元总数。

由公式(1)可得, 锚碇沉井基础抗滑稳定性

系数为4.86;由公式(2)可得,锚碇沉井基础抗倾覆稳定性系数为3.80。

4 结论

规范所得抗滑稳定安全系数为4.01,抗倾覆稳定安全系数为2.99。有限元方法所得抗滑稳定安全系数为4.86,抗倾覆稳定安全系数为

3.80。规范计算所得的安全系数均小于运用有限元方法计算所得的安全系数。这是由于规范是经验总结,但是对于具体的工程,由于实际情况千差万别,导致规范计算的结果都是偏于安全的。另外,现行沉井基础规范均是针对浅埋基础,缺少深埋基础的具体规定,而是套用浅埋基础的规范,这也导致了与有限元计算结果的差别。

参考文献:

- [1] 钱冬生,陈仁福.大跨悬索桥的设计与施工[M].重庆:西南交通大学出版社,1999.
- [2] 张杰,钱冬生.大跨悬索桥塔和锚碇的合理设计[J].桥梁建设,2000(4):20-22.
- [3] 史佩栋.深基础工程特殊技术问题[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 周申一,张立荣,杨仁杰,等.沉井沉箱施工技术[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [5] 段良策,殷奇.沉井设计与施工[M].上海:同济大学出版社,2006.

Contrasting Criterion Method and Finite Element Method in Stability Analysis of Anchor Caisson Foundation

SU Jing-bo¹, LOU Shu-jun², HUO Rui-li³

1. College of Traffic, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China;
2. Hangzhou water conservancy facilities Supervising centre, Zhejiang Hangzhou 310016, China;
3. College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Jiangsu Nanjing 210009, China

Abstract: The stability of anchor foundation in suspension bridge is very important. By the formula of criterion, the safety factors of the stability against sliding and overturning are computed for one anchor caisson foundation. Based on the soft Midas/GTS, the three - dimension finite element model of the anchor caisson foundation is founded. The corresponding formula of the stability against sliding and overturning are deduced by the results of FEM and the safety factors are computed. By comparing and analyzing, the drawbacks of criterion are indicated.

Keywords: stability; caisson foundation; suspension bridge; FEM

(责任编辑:沈建新;校对:范大和)

(上接第3页)

Analytical Methods for Melamine

WANG Wei

(School of Chemical and Biological Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: In this paper, analytical methods for melamine were reviewed, the detection mechanisms and procedures were elucidated. My purpose is to describe the error source of protein determination in milk products, and the reason why melamine coexisted in it. Analytical methods could be developed for melamine but the problem of food safety could not be solved with chemistry methods.

Keywords: milk products; melamine; food safety

(责任编辑:沈建新;校对:范大和)