

某桥墩钢筋笼及脚手架倒塌事故计算分析

岳渠德,赵金环,陈建强
(青岛理工大学,山东 青岛 266033)

[摘要] 就某桥墩施工时钢筋笼及脚手架倒塌事故,进行了结构在风荷载作用下的稳定性计算分析,找出事故原因。

[关键词] 建筑安全;倒塌;钢筋笼;结构稳定性;风荷载计算

[中图分类号] TU311.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2005)03-0070-03

Analysis and Calculation of Steel Bar Cage and Scaffolding Collapse Accident of a Pier Project

YUE Qu-de, ZHAO Jin-huan, CHEN Jian-qiang

(Qingdao Science and Technology University, Qingdao, Shandong 266033, China)

Abstract: According to a steel bar cage and scaffolding collapse and serious accident happened in construction of a pier, authors make the stability calculation analysis of the structure under wind loading, and find out reasons of this accident.

Key words: building safety; collapse; steel bar cage; structural stability; calculation of wind loading

青岛市疏港专用公路同三线某桥墩钢筋笼及脚手架突然倾倒,造成3人死亡,4人重伤的重大伤亡事故。根据当地专业气象台提供的气象资料分析,事故现场因地势造成狭管效应,现场阵风风力可达6~9级。下面对该事故的原因进行计算分析。

该墩柱尺寸为1.4m×5.65m,钢筋共有14种类型,立筋为 $\phi 28$,共108根,长度分别为18.159m和17.759m(含埋入承台的1.2m),立筋间距12.5cm。离承台2m高度内箍筋间距10cm,以上部分间距为15cm。立筋锚固在承台混凝土中,钢筋笼构造如图1所示。

脚手架围绕钢筋笼四周搭设,立杆纵距0.9m,步距1.3m。脚手架与钢筋笼间距离0.6m。脚手架支腿直接支撑在混凝土承台的木垫板上,没有拉缆风绳,脚手架与钢筋笼之间只用19根 $\phi 7$ mm的钢丝连接,墩柱南侧钢筋笼与脚手架有8处连接。

1 脚手架风荷载

计算

在房屋建筑工程中,脚手架一般固定在主体结构(如砌体)上,不考虑脉动风压的影响,故规范^[1]中采用的脚手架标准风压公式为 $w_k = 0.7\mu_s\mu_zw_0$,此时连接墙体必须采用可承受拉力和压力的构件。在本例中连接钢筋笼的是钢丝,且未设顶撑,只能承受拉力,不能承受压力;主体结构不是刚性的砌体而是柔性的钢筋笼,不能承受水平力;在水平方向钢丝布置极不均匀且间距过大,因此应考虑 μ_z 的影响。在本例中考虑风压的实际取值,不再乘以0.7的折减系数,故取脚手架的标准风压为 $w_k = \mu_s\mu_zw_0$ 。

1.1 参数选取

(1) 基本风压值 w_0 根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2001,该地区10年一遇的基本风压值 w_0 为 0.45kN/m^2 ,规范规定的最小值是 0.3kN/m^2 。参考事故发生时的气象情况,为判别事故是否因风力过大所致,取最低的基本风压值 0.3kN/m^2 。

(2) 风压高度变化系数 μ_z 事发现场临近海岸(属于A类),同时又是市区,但建筑群并不密集且房屋不高。综合考虑各种因素,风压高度变化系数按C类

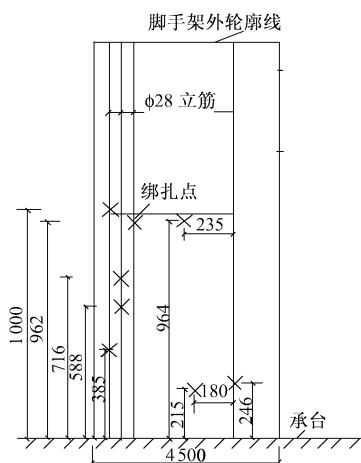


图1 墩柱钢筋笼构造示意

[收稿日期] 2004-04-22; [修订日期] 2004-12-22

[作者简介] 岳渠德(1958—),男,河南安阳人,青岛理工大学琴岛学院院长,教授,山东省青岛市抚顺路11号 266033,电话:(0532) 5071262

有“密集建筑群的市区”取较低值 $\mu_z = 0.78$ 。

(3) 风荷载体型系数 μ_s 查阅有关风荷载的相关资料^[4,5],该脚手架的风荷载体型系数按规范^[2]桁架采取,即 $\mu_s = \mu_{sw}$,计算得 $\mu_{sw} = 0.26$ 。

(4) 风振系数 ζ 脚手架用 $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 钢管搭设,考虑脚手架和钢筋笼间的相对运动趋势,求脚手架的自振周期。计算振动频率 $f = 67.76\text{Hz}$,自振周期 $T = 2 / f = 0.09\text{s}$ 。根据规范^[2]计算得 $\zeta = 1.844$ 。

1.2 脚手架的风荷载

脚手架宽约为 $D = 9\text{m}$;脚手架的标准风压 $w_k = \zeta \mu_s \mu_z w_0 = 0.112\text{kN/m}^2$;均布风荷载 $Q_k = 0.112 \times 9 = 1.008\text{kN/m}$;总的风荷载 $Q_k = q_L = 1.008 \times 17 = 17.136\text{kN}$ 。

2 钢筋笼风荷载及其位移计算

2.1 钢筋的标准风压值 w_k 及相应参数的确定

基本风压值 w_0 取 0.3kN/m^2 ,风压高度变化系数 $\mu_z = 0.78$ 。单根钢筋受风荷载作用时,查规范^[2]得 $\mu_s = 1.2$ 。

单根钢筋属于高柔杆件,由风振引起的结构振动比较明显,而且随结构自振周期的增长,风振也随着增强,因此需考虑风振的影响,对此构件取 3 个振型来考虑。

钢筋自重为 78.5kN/m^3 ,直径为 28mm ,平均线质量 $\bar{m} = 4.93\text{kg/m}$,弹性模量 $E = 2.1 \times 10^8\text{kN/m}^2$,抗弯刚度 $EI = E d^4/64 = 6.34\text{kN} \cdot \text{m}^2$ 。

由结构动力学^[3]方法可求得钢筋的自振频率:

第一振型频率 $f_1 = 3.52 \times \sqrt{EI/(\bar{m}L^4)} = 0.437$,周期 $T_1 = 2 / f_1 = 14.378\text{s}$;

第二振型频率 $f_2 = 22.02 \times \sqrt{EI/(\bar{m}L^4)} = 2.732$,周期 $T_2 = 2 / f_2 = 2.300\text{s}$;

第三振型频率 $f_3 = 61.70 \times \sqrt{EI/(\bar{m}L^4)} = 7.656$,周期 $T_3 = 2 / f_3 = 0.821\text{s}$ 。

经计算可知这 3 个振型的频率并不密集,仅需考虑第一振型即可。根据规范^[2]计算得 $\zeta = 4.731$,则钢筋的标准风压 $w_k = \zeta \mu_s \mu_z w_0 = 1.328\text{kN/m}^2$ 。

2.2 钢筋笼的风荷载及其位移计算

由于箍筋与钢筋间是绑扎而非焊接,整个钢筋笼没有形成整体。在支座处考虑移轴求得抗弯刚度 $EI = 4.788 \times 10^6\text{kN} \cdot \text{m}^2$;在 10m 以上未绑扎箍筋,取 108 根钢筋的 EI 之和为 $EI_0 = 684.03\text{kN} \cdot \text{m}^2$,在支座到 10m 高度之间近似按线性变化。 $EI(x) = EI - E(I - I_0)(x/10)(0 \leq x \leq 10)$ 。

(1) 钢筋笼的风荷载计算

由于钢筋笼由 108 根 $\phi 28$ 钢筋构成,故钢筋笼所受均布风荷载为: $q_1 = 108 w_k d = 108 \times 1.328 \times 0.028 =$

4.016kN/m 。

经计算得箍筋所受到的总的风载为 $Q = 2.526\text{kN}$,则箍筋在风荷载作用下对钢筋笼所产生的均布荷载为: $q_2 = q/44 = 0.057\text{kN/m}$ (迎风面立筋数量为 44)。

(2) 钢筋笼在风荷载作用下的位移

计算简图如图 2 所示,用图乘法求顶点的最大位移 V ,图中 $L = 17\text{m}$, $a = 10\text{m}$ 。

荷载 q_1, q_2 及单位荷载 ($p = 1$) 作用下弯矩表达式如下:

$$\begin{aligned}
 M_b(x) &= 1/2 \cdot q_1(L-x)^2 \quad (0 \leq x \leq L) \\
 M_c(x) &= 1/2 \cdot q_2(a-x)^2 \quad (0 \leq x \leq a) \\
 M_c(x) &= 0 \quad (a < x \leq L) \\
 \bar{M} &= p(L-x) = L-x \quad (0 \leq x \leq L) \\
 V &= \int_0^L \frac{\bar{M}M_b}{EI(x)} dx + \int_0^a \frac{\bar{M}M_c}{EI(x)} dx \\
 &= \int_0^L \frac{(L-x) \frac{1}{2} q_1(1-x)^2}{EI(x)} dx + \\
 &\quad \int_0^a \frac{(L-x) \frac{1}{2} q_2(a-x)^2}{EI(x)} dx \\
 &= \int_0^a \frac{q_1(L-x)^3}{2EI(x)} dx + \int_a^L \frac{q_1(L-x)^3}{2EI_0} dx + \\
 &\quad \int_0^a \frac{(L-x) q_2(a-x)^2}{2EI(x)} dx = 1.774\text{m},
 \end{aligned}$$

该位移已远远超出钢筋笼与脚手架间 0.6m 的距离。

(3) 脚手架位移计算

经计算,脚手架总重 $G = 81.27\text{kN}$,钢与木板间摩擦系数 $\mu = 0.20$,则摩擦力 $f = \mu G = 16.254\text{kN}$ 。

脚手架受到的总的风荷载 $Q_k = 17.136\text{kN}$, $f < Q$,有部分风荷载 $P = Q - f = 0.882\text{kN}$ 传至钢筋笼,从图 1 可知,荷载 P 由绑扎在 108 根钢筋上的 8 处钢丝均分承担,则 $p = 0.882/8 = 0.11\text{kN}$,使钢筋笼顶部产生的位移为 V_{\max} 。

$$\begin{aligned}
 V_{\max} &= \frac{pa^2(3L-a)}{6EI_{\text{总}}} \\
 &= \frac{p}{6E \cdot (108I)} a^2(2L-a) = 0.47\text{m}
 \end{aligned}$$

3 整体抗倾覆验算

3.1 脚手架在自身荷载作用下整体抗倾覆验算

规范^[2]规定永久荷载的分项系数对结构的倾覆验算应取 0.9,风荷载的组合值为 0.6,脚手架绕 A 点的

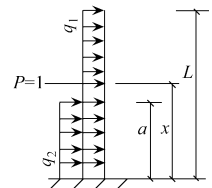


图 2 荷载计算简图

抗倾覆验算,计算简图如图3所示。

$$M_{\text{倾}} = 0.6 \times 1.4 Q_k L / 2 - 0.9 G L / 2 = -42.22 \text{ kN} \cdot \text{m} < 0$$

稳定,说明脚手架基本可以抗倾覆。

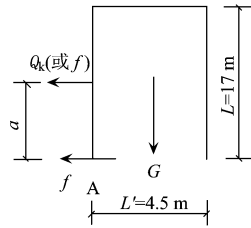


图3 抗倾覆验算图

3.2 导链拉力计算及分析

施工时若钢筋笼出现歪扭现象,需用导链拉正,故有人怀疑是导链拉倒了钢筋笼。如果是这样,导链拉力最大应等于脚手架与木垫板间的最大静摩擦力(略大于滑动摩擦力)。用 f 带入计算,考虑作用于最不利位置,即 f 作用于10m处。

$$M_{\text{倾}} = f a - G L / 2 = -20.32 \text{ kN} \cdot \text{m} < 0$$

稳定,显而易见,事故不可能是导链拉力所致。

4 钢筋笼及脚手架倾倒原因初步分析

通过对墩柱钢筋笼、脚手架风荷载计算分析可知,由于阵风过大,首先使钢筋笼顶部产生较大的位移,冲击脚手架顶部横杆,使脚手架在风荷载和钢筋笼顶部冲击的共同作用下失稳倾斜,之后反压、冲击钢筋笼上部,直至在钢筋笼、脚手架的风荷载及自重的共同作用下,产生较大的倾覆力矩,导致钢筋笼和脚手架失稳倾

倒。因此,阵风较大是导致事故发生的直接原因。

施工现场脚手架架设时,脚手架高度在10~15m时,应设置缆风绳。该现场脚手架的高度大于18m,但未设缆风绳,当阵风较大,脚手架与钢筋笼发生晃动时,没有固定的设施,是造成事故的重要原因。

从对上面实例的计算和分析可以看出,在没有牢固的固定措施时,对高柔度构件的微小扰动都会产生严重后果。施工时脚手架与主体间的连墙件必须可承受拉力和压力。如果采用拉筋,必须配用顶撑。脚手架还应设剪刀撑和横向斜撑,以增大其刚度进而加强其整体稳定性。规范^[1]规定在有六级及六级以上大风时,应停止脚手架施工。在没有牢固支撑的情况下,必须设置缆风绳,并且《公路工程施工安全技术规程》JTJ076-95第8.4.10条规定:“脚手架高度在10~15m时,应设置1组(4~6根)缆风绳,每增高10m应再加设1组。”必要时要进行结构抗风稳定性计算。

参考文献:

- [1] JG130-2001,建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].
- [2] GB50009-2001,建筑结构荷载规范[S].
- [3] [美]R. W. 克拉夫 J. 彭津. 结构动力学[M]. 王光远译. 北京:科学出版社,1981.
- [4] 张相庭. 结构风压和风振计算[M]. 上海:同济大学出版社,1985. 31-38.
- [5] 陈英俊,于希哲. 风荷载计算[M]. 北京:中国铁道出版社,1998.