

单独柱基设计中考虑地板水平约束作用

韩佩谦

(化工部连云港碱厂)

一、概 述

地震灾害有两个普遍现象：地基、基础均未破坏(地基液化等特殊情况除外)，柱下部弯曲破坏点在地面处。前一现象说明地基基础与柱相比有更大安全储备，后一现象表明柱下部最大弯矩不是在柱底而是在地面处。经分析可认为：柱与基础构成一杠杆，驱动力是作用于柱的水平力和弯矩，约束力是地基各反力，而地板则是其支点如图1。按此原理设计地基基础有如下效果：①消除了地基基础过大安全储备，缩小了基础，降低了造价；②正确地反应了柱下部的内力状态；③消除了基础越深抗震能力越小的矛盾。

地板通常最后施工，在此之前建筑物自重和风载已作用于地基，但因无地板，杠杆尚未形成，故仍应按TJ7-74计算，地板完成后则应按杠杆原理计算。下面以拥有混凝土地板的单独柱基为例，寻求各种情况下地基强度的计算方法(见图2)。

根据地基基础实际状况提出如下假定：①地板约束反力和地基水平反力为均布，地基垂直反力为直线分布；②地基反力除图示者外其余忽略；③基础和柱子地下部分为一刚体。

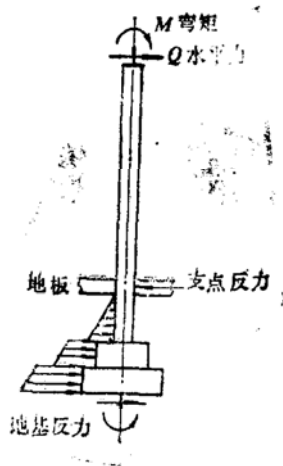


图1

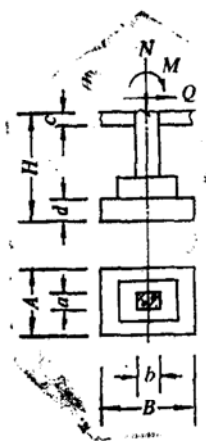


图2

二、中柱地基小偏心受压

地板施工前由建筑物自重形成的中心垂直荷载对地基的作用不受地板影响，故将其纳入

地板完成后的计算中, 而自重引起的弯矩 M_1 则应按TJ7-74计算如图3。地板施工后的计算如图4, 这里引入等效柱高 $H_Q = \frac{M - M_1}{Q} = \frac{M_2}{Q}$ 将 Q 移到 H_Q 顶, 以 QH_Q 取代 M_2 , 并将 Q 改为 $[Q]$ 。

1. 确定各反力

按TJ7-74 $P_{max} \leq 1.2R$ 的要求, 令 $P_{max} = 1.2R$ 可得

$$P_{M_2} = 1.2R - P_N - P_{M_1} = 1.2R - \frac{N+G}{AB} - \frac{M_1}{W} \quad (1)$$

式中 P_{M_2} 为 M_2 引起的地基反力; R 为修正后的地基容许承载力; G 为基础及基础上土重; W 为基底抵抗矩。

在 M_2 作用下基础如图5转动, 位移 nf 、 me 引起反力 p_{M_2} 、 p_H 。转动微小时容易证明

$$\frac{me}{nf} = \frac{2}{B} \left(H - \frac{C}{2} \right)。工程中地基荷载一般不超过临塑荷载此时可取 $\frac{me}{nf} = \frac{P_H}{P_{M_2}}$ 。由以$$

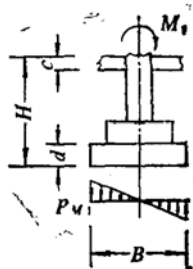


图3

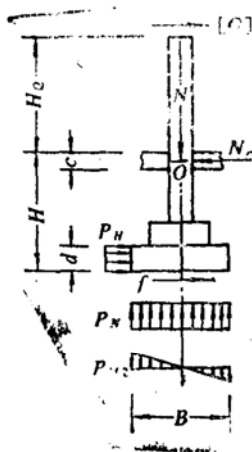


图4

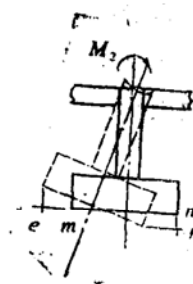


图5

上两式可得

$$P_H = \frac{2}{B} P_{M_2} \left(H - \frac{c}{2} \right) \quad (2)$$

当基底位于土层界面时尚应乘以 $m_E = \frac{E_{si}}{E_{si+1}}$, E_{si} 、 E_{si+1} 分别为上下土层的压缩模量。如土层界面位于基础前侧的 d 范围内则 E_{si} 取加权平均值。

me 是发生在原状土中, nf 是发生在已被建筑物自重和风载压缩了的土中。根据苏联的经验^[1]在图6中对应于相同的压力增量 $\Delta\sigma_1$ 再压缩曲线孔隙比变化量 bc 为压缩曲线孔隙比变化量 ac' 的 $\frac{1}{5}$ 。反之, 当孔隙比变化量相等时, 即 $ac' = bc$, 则有 $\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2} = \frac{1}{5}$ 。因地基压缩变形与孔隙比变化成正比, 故当 $me = nf$ 时他们对应的地基反力亦有同样的比例关系。因此,

根据 $\frac{me}{nf} = \frac{P_H}{P_{M2}}$ 求得的 P_H 则应按此关系调正, 在进一步研究之前建议暂取调正系数 0.2,

这样式(2)将有下面的形式:

$$P_H = 0.4m_E - \frac{P_{M2}}{B} \left(H - \frac{c}{2} \right) \quad (3)$$

地基对基底的容许摩擦力为

$$f = \frac{\mu}{1.3} (N + G) \quad (4)$$

式中 μ 为地基对基础底的摩擦系数, 由试验或按 TJ7-74 表 28 选取。

2. 按地基容许承载力的计算公式

在图 4 中对 O 取矩可得

$$[Q] = \frac{1}{H_Q + \frac{c}{2}} \left[AdP_H \left(H - \frac{c+d}{2} \right) + f \left(H - \frac{c}{2} \right) + \frac{1}{6} AB^2 P_{M2} \right] \quad (5)$$

式中 $[Q]$ 为对应于选定的基础尺寸和已知 N 、 M 且基底最大垂直反力达到 $1.2R$ 时, 基础在地面标高处所能承受的水平力。设计时要求 $Q \leq [Q]$ 。

3. 地板约束力

在图 4 中取 $\sum X = 0$, 并以 Q 代替 $[Q]$ 可得

$$N_c = Q + AdP_H + f \quad (6)$$

然后按有关规范验算地板与柱子之间局部抗压强度。

4. 地板抗滑验算

N_c 经地板传给地基时可能滑动, 当滑动可能发生于地板与地基之间时, 要求

$$KN_c \leq (c' + 0.7n \tan \phi') F + \sum T_i \quad (7)$$

当滑动可能发生在邻近地板的土层中时, 要求

$$KN_c \leq (c + 0.7n \tan \phi) F + \sum T_i \quad (8)$$

以上两式中: K 为安全系数, 取 1.6; c' 为地板与地基之间的粘结力, 取 $c' = 2/3 c^{1/2}$; ϕ' 为地板与地基之间的摩擦角, 可参照 TJ7-74 第 73 条; F 为传递 N_c 的地板面积; n 为地板地基单位面积的垂直荷载, 考虑到该荷载主要为活载, 且实际上活载常常达不到设计值故乘一折减系数 0.7; T_i 为在 F 范围内设备基础、墙基等传力构件所传递的水平力, 该力由其基底摩擦力构成; c 为地板地基土的内聚力; ϕ 为地板地基土的内摩擦角。

c 和 ϕ 由勘探报告给出, 或按建筑设计手册—挡土墙—的表 6—4 确定^[8]。因 $c' < c$, $\phi' < \phi$, 故仅按式(7)验算即可, 但以下两种情况例外:

①当混凝地板直接浇在地基上时, 因两者胶结在一起故滑动仅能在地基土中发生, 这时需按(8)式验算。

②当地板下铺有压实的碎石层时, 其上部石子与混凝土胶结, 下部石子压入土中, 这时滑动可能在碎石层中或地基土中发生, 两者均需按式(8)验算。

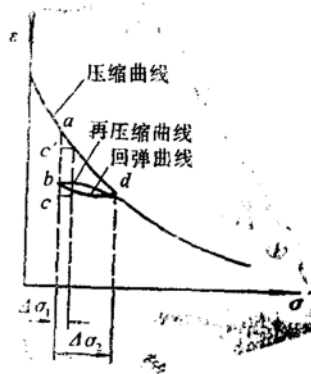


图 6

从图3、4可以看出当 $P_N \geq 0.6R$ 时基底无拉力区, 为小偏心, 否则为大偏心。

三、中柱地基大偏心受压

与小偏心受压相同令 $P_{\max} = 1.2R$, 由计算图3+图7取 $\Sigma y = 0$ 可得

$$3K = \frac{2(N+G)}{1.2AR} \quad (9)$$

检验 $3K$ 是否满足规范要求, 然后按小偏心同样的方法求出 H_Q 、 P_{M2} 、 P_H 和 f , 再由图7对0取矩得

$$[Q] = \frac{1}{H_Q + \frac{c}{2}} \left[AdP_H \left(H - \frac{c+d}{2} \right) + f \left(H - \frac{c}{2} \right) + \frac{1}{6} AB^2 P_{M2} - \frac{1}{12} P_t (B^2 + 3KB - 18K^2) \right] \quad (10)$$

式中 P_t 为拉力区最大拉力, $P_t = P_{M1} + P_{M2} - P_N$, 要求 $Q \leq [Q]$ 。

四、地板对边柱的约束问题

1. 问题分析

当柱子传来的水平力指向室内时, N_c 使地板受压, 计算与中柱相同。当其指向室外时使地板受拉受剪的同时使散水直接或间接受压。因种种原因散水对柱子的约束远不及地板, 故忽略, 而地板与柱的粘结力即成了主要约束力。

2. 计算公式

根据上述分析, 除柱与地板的相互作用外其余验算均与中柱相同。参照迭合梁的试验研究^[4]地板与柱子的粘结抗剪强度按下式计算:

$$\tau_{kh} = m(\alpha_1 R_1 + 0.9\mu_k R_g) \quad (11)$$

m 系考虑地板与柱子的粘结不完全与迭合梁相同而取的折减系数, 建议暂取0.7~0.9。公式其余内容详见原文^[4]。

粘结抗拉强度忽略, 仅考虑拉结筋的作用。这样地板对边柱的约束需满足

$$KN_c \leq A_j \tau_{kh} + 0.9A_L R_g \quad (12)$$

式中: K 为安全系数取2.2, A_j 为剪切粘结面; A_L 为受拉结合面的拉结筋面积; R_g 为拉结筋强度。

如式(12)不能满足, 可按图8局部加厚地板或增加拉结筋。

五、几个应注意的问题

1. 框架和排架分析时柱下端的计算图式

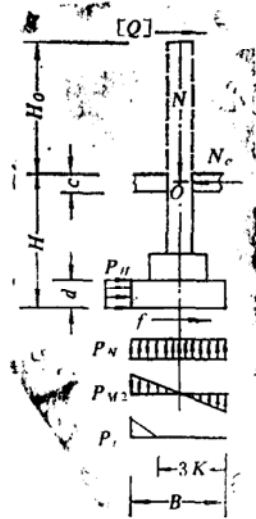


图7

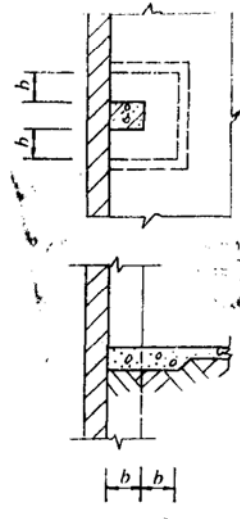


图8

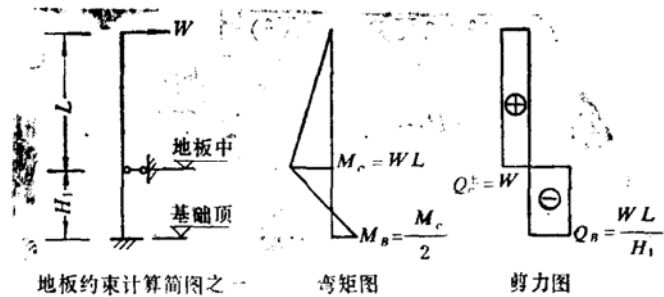


图9

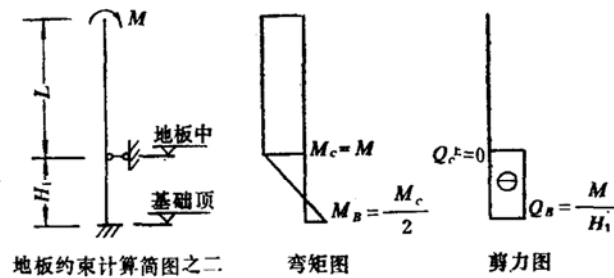


图10

考虑地板约束作用时有计算简图、弯矩图和剪力图,如图9,10。

不考虑地板约束时可得计算简图、弯矩图和剪力图如图11,12。比较图9与图11,比较图10与图12可发现他们的弯矩图和剪力图的地上部分完全相同。再看图9和图10如果把 H_1 段视为基础的一部分使柱子缩短为 L 段,并把 C 点改为固定端,那么容易看出在此情况下得到的弯矩图和剪力图仍与原图的地上部分相同。根据上述对比分析可得如下结论:在考虑地板约束时分析框架或排架只要将固定端改在地板处即可,至于地板以下的柱段可视为基础的一部分和基础一起考虑。

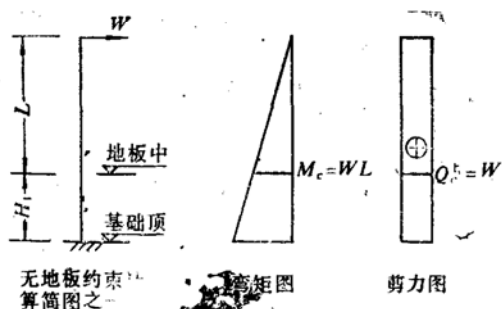


图11

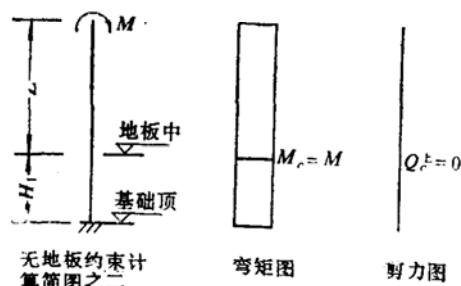


图12

2. 地板以下一段柱子的弯矩小于地板处, 但剪力即较大, 必要时可参照有关资料^[6]验算其抗剪强度。

3. 柱子箍筋加密的范围应该是地面以上 $1/6L$ 。

4. 为保证柱子向地板传力的可靠性, 要求基础回填土认真夯实; 地板混凝土尽量降低水灰比, 提高密实度, 加强养护; 地板横向缩缝设在柱距中央; 对边柱尚应参照迭合梁拉结筋面积的要求, 其面积不小于结合面的0.15%, 并按施工缝处理结合面。

5. 为使 p_H 得到保障, 基础混凝土尽可能原槽浇灌, 如系支模浇灌则应认真夯实, 否则不予考虑。

6. 为提高地板的抗滑能力, 地板地基应认真碾压密实, 地板下亦不可铺设对抗滑不利的垫层。

7. 适用范围: 对混凝土地板和有混凝土垫层的地板均适用, 其它地板酌情处理。对框架和排架的单独柱基均适用, 原则上也适合于偏心受压条基, 其它基础则应专题研究。

六、算 例

某厂房边柱基础如图13。设计烈度为8度。下柱截面尺寸为 $40 \times 60\text{cm}$, 250#混凝土。地板混凝土为250#, 外包墙。

1. 选 $H = 1.25\text{m}$ $c = 0.18\text{m}$ $d = 0.3\text{m}$
 $A = B = 1.3\text{m}$ 。

$$H_Q = \frac{M_2}{Q} = \frac{12.46}{1.79} = 6.96\text{m}$$

$$R = \phi[R] = 1.23 \times 18 = 22.14\text{t/m}^2$$

$$P_N = \frac{M + G}{AB} = \frac{32.05 + 1.3^2 \times 1.25 \times 2}{1.3^2}$$

$$= \frac{36.28}{1.3^2} = 21.46\text{t/m}^2$$

$$0.6R = 0.6 \times 22.14 = 13.28\text{t/m}^2 < 21.46\text{t/m}^2 \quad \text{小偏心}$$

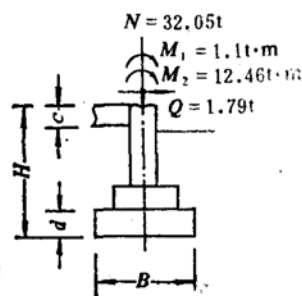


图13

$$P_{M1} = \frac{6M_1}{AB^2} = \frac{-6 \times 1.1}{1.3^3} = -3.00 \text{ t/m}^2$$

$$P_{M2} = 1.2R - p_N - p_{M1} = 1.2 \times 22.14 - 21.46 + 3 = 8.11 \text{ t/m}^2$$

$$P_H = 0.4m_E \frac{p_{M2}}{B} \left(H - \frac{c}{2} \right) = 0.4 \times 1 \frac{8.11}{1.3} \left(1.25 - \frac{0.18}{2} \right) = 2.89 \text{ t/m}^2$$

$$f = \frac{\mu}{1.3} (N + G) = \frac{0.3}{1.3} \times 36.28 = 8.37 \text{ t}$$

$$[Q] = \frac{1}{H_Q + \frac{c}{2}} \left[AdP_H \left(H - \frac{c+d}{2} \right) + f \left(H - \frac{c}{2} \right) + \frac{1}{6} AB^2 p_{M2} \right]$$

$$= \frac{1}{6.96 + \frac{0.18}{2}} \left[1.3 \times 0.3 \times 2.89 \left(1.25 - \frac{0.18 + 0.3}{2} \right) \right.$$

$$\left. + 8.37 \left(1.25 - \frac{0.18}{2} + \frac{1}{6} \right) \times 1.3^3 \times 8.11 \right] = 1.96 \text{ t} > 1.79 \text{ t} \quad \text{基础尺寸合适}$$

2. 验算地板与柱子粘结强度

拉结筋: 侧面 $6\phi 6$, 端面 $4\phi 6$.

$$\tau_{kh} = m(\alpha_l R_l + 0.9\mu R_g) = 0.8(1.06 \times 13 + 0.9 \times 0.0016 \times 2400) = 13.79 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_j \tau_{kh} + 0.9 A_l R_g = 2 \times 60 \times 18 \times 13.79 + 0.9 \times 1.13 \times 2400 = 32227 \text{ kg}$$

$$KN_c = K(Q + Adp_H + f) = 1.76(1.79 + 1.3 \times 0.3 \times 2.89 + 8.37)$$

$$= 1.76 \times 11.29 = 19.87 \text{ t} < 32.23 \text{ t} \quad \text{安全}$$

3. 地板抗滑验算

$F = 6 \times 6 = 36 \text{ m}^2$, $n = 1.43 \text{ t/m}^2$, 在 F 范围内有2台设备, 基础尺寸 $4 \times 1.2 \times 0.6 \text{ m}$, 基底标高 -0.6 m , 包括基础2台, 总重 30 t .

$$(c + 0.7n \tan \phi)F + \sum T_i = (0.7 + 0.7 \times 1.43 \tan 21^\circ)(36 - 4 \times 1.2 \times 2)$$

$$+ 0.3 \times 30 = 37.62 \text{ t} > KN_c = 1.6 \times 11.29 = 18.06 \text{ t} \quad \text{安全}$$

4. 按资料^[6]验算柱子入土部分抗剪强度

$$Q_{kh} + Q_N = 32.34 \text{ t}$$

$$KQ_c = 1.55 \times 9.5 = 14.73 \text{ t} < 32.34 \text{ t} \quad \text{安全}$$

5. 按TJ7-74求得基底 $1.5 \times 1.9 \text{ m}$ 体积 1.74 m^3 。本方法所得基础体积 0.97 m^3 。扣除拉结筋等增加费用, 尚可节约35%。

参 考 文 献

- [1] B.A.弗洛林,土力学原理,徐志英译,中国建筑工业出版社,1973,第二卷,第7页。
- [2] W.C.亨廷顿,土压力和挡土墙,人民交通出版社,1973年,第28页。
- [3] 建筑结构设计手册—挡土墙。中国建筑工业出版社,1973年,第67页。
- [4] 装配整体梁板研究专题科研组,装配整体梁板设计方法的试验研究,建筑结构学报,1982年第6期。
- [5] 抗剪强度专题研究组,钢筋混凝土偏心受压和偏心受拉构件的抗剪强度,建筑技术通讯—建筑结构,1982年,第3期。

《四川水力发电》征订启事

《四川水力发电》是四川省水力发电工程学会主办的综合性学术刊物。本刊辟有:能构政策,水能规划与动能经济,工程地质与岩石力学,水电站建筑物,机电与金属结源,施工、运行与备理,地方电力建设,系统工程应用,国内外新技术动态等栏目。欢迎订阅、欢迎投稿。

本刊自办发行,每逢3、6、9、12月份出版,每期80面,定价0.80元,全年四期,2.20元。平寄免收邮费,若挂号,每本加收0.12元。本刊1982~1985年四年合订本亦在征订,每本6.40元,挂号邮费1.00元,订阅者请直接与《四川水力发电》编辑部联系正地址:四川成都青羊官水电部成都勘院。

《四川水力发电》编辑部