

结构工程师

IEGOU GONGCHENGSHI

同济大学 主编
华东建筑设计院

1994·2
总第29期



同济大学出版社

目 录

结 构 工程师

• 设计方法研究 •

- 混凝土对称配筋双向偏心受压构件的直接设计法
.....熊本松(1)
- 预应力混凝土池的设计.....申云生译(9)
- 设置加劲环肋的带悬臂圆板的设计探讨...张震陆(14)

• 设计规范 •

- 柱下承台受冲切承载力计算.....周克荣 李子新(18)

• 结构试验 •

- 钢筋混凝土冷却塔环板基础的试验与研究
.....颜德姮 范卫峰 殷晓霞(23)

• 现场观测 •

- 基础打桩对周围影响的实测与分析
.....程才渊 朱伯龙(30)

• 抗震与抗风 •

- 旧房抗震新体系.....施卫星 王 群(35)

• 工程介绍 •

- 水口闽江大桥下承式桁架刚构经济分析...袁 方(40)

2

1994

(总第廿九期)

封面

深圳天安大厦

(沪)新登字第204号

编委会

主 任 沈祖炎

副主任 江欢成

编 委 朱伯龙 范立础 项海帆
颜德姮 高晖鸣 陈宗樑
方义弼 唐德璋 苏信伟
钦关淦 黄 芝 孙良宏
李大伟 吴汉庭

编 辑 同济大学、华东建筑设计院
《结构工程师》编辑部

主 编 沈祖炎

副 主 编 颜德姮 方义弼 唐德璋

责任编辑 司徒妙龄 周克荣

出 版 同济大学出版社
(上海四平路1239号)

印 刷 上虞科技外文印刷厂
发 行 新华书店上海发行所



混凝土对称配筋双向偏心受压构件的直接设计法

设计方法研究

熊本松

(同济大学)

提 要

本文提供了用于双向偏压构件直接设计的计算公式、方法及步骤,还给出了用于直接设计的计算表格。文中还对用于双向偏压构件计算的计算机程序进行了介绍。

是必要的。

一、前 言

在多层及高层结构设计中,双向偏压构件是常见的构件之一。《混凝土结构设计规范(GBJ10-89)》(以下简称规范)给出其强度计算式如下

$$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_{ux}} + \frac{1}{N_{uy}} - \frac{1}{N_{ou}}} \quad (1)$$

根据规范第4.1.22条的规定及有关说明,指出了强度计算的途径。但事实上按此途径只能进行强度复核。

规范的附录五提供了一强度计算的近似方法,按给出的计算公式及有关图表曲线可以进行截面设计,由作用在双向偏压柱上的轴向力 N ,两个方向的弯矩 M_x 及 M_y 值,直接计算出截面所需的钢筋面积。

但是,按照此方法计算双向偏压构件,计算过程并不十分直接简便。如果应用附录五的图表曲线,由于此图表的取值比较粗略,容易引起较大的偏差。笔者在计算实例中发现,按此图表计算,有时截面的承载力是偏于不安全的,特别是在大、小偏心的界限值附近,有时会出现不容易忽视的偏差。因此,寻求一种更直接简便和准确的计算方法

二、直接设计法的计算公式

1. 计算方法简述

图1所示为一矩形截面对称配筋双向偏压构件的钢筋布置。按文献[2],将两边腹部的钢筋面积根据其应力分布状况折算到两

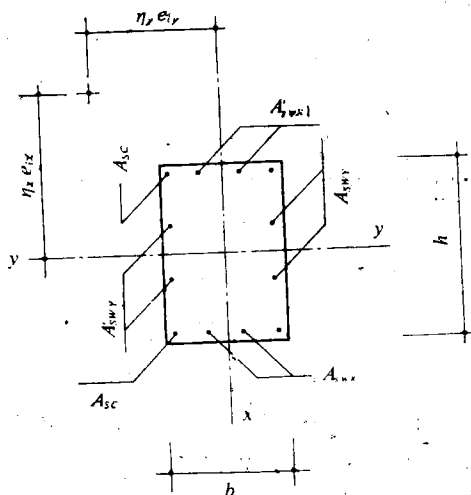


图 1

对边,折算公式如下:

X方向

$$A'_{scx} = A_{scx} = 2A_{sc} + A_{sux} + 2\xi_x A_{suy} \quad (2)$$

Y方向

$$A'_{sey} = A_{sey} = 2A_{so} + A_{swy} + 2\xi_y A_{sux} \quad (3)$$

式中

A_{sex}, A_{sey} ——折算到 x, y 方向两对边的钢筋折算面积(图2);

A_{sux}, A_{swy} —— x, y 方向对应边的腹部钢筋面积;

A_{so} ——角点钢筋的面积;

ξ_x, ξ_y ——对应的折算系数, 计算式见规范附录五。

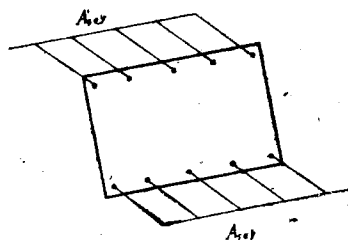
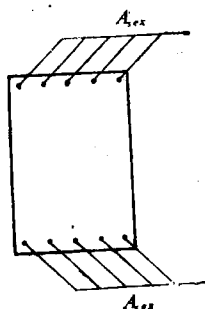


图 2

则有

$$\frac{1}{N_{ex}} = \frac{1}{N_{ux}} - \frac{C_x}{N_{oux}} \quad (6)$$

$$\frac{1}{N_{ey}} = \frac{1}{N_{uy}} - \frac{C_y}{N_{ouy}} \quad (7)$$

N_{ex}, N_{ey} 为折算成单向受压时对应的折算承载力。式中的 C_x, C_y 值的计算, 文献 [2] 给出了如下的计算式

$$\begin{cases} C_x = \frac{\eta_y e_{iy}/b}{\eta_x e_{ix}/h + \eta_y e_{iy}/b} \\ C_y = \frac{\eta_x e_{ix}/h}{\eta_x e_{ix}/h + \eta_y e_{iy}/b} \end{cases} \quad (8)$$

式(6)、(7)中的 N_{ux}, N_{uy} 分别为单向偏压时 x, y 方向的承载力; N_{oux}, N_{ouy} 则为 x, y 方向的轴压承载力。此时, 截面的配筋取折算钢筋面积 A_{sex}, A_{sey} 。

令

$$N_{ex} = \frac{N}{\psi_0} \quad (9)$$

$$N_{ey} = \frac{N}{1 - \psi_0} \quad (10)$$

范附录五。

对式(1)进行如下的变换

$$\frac{1}{N} \geq \frac{1}{N_u} = \frac{1}{N_{ux}} - \frac{C_x}{N_{oux}} + \frac{1}{N_{uy}} - \frac{C_y}{N_{ouy}} \quad (4)$$

$$\text{设} \quad \frac{1}{N_u} = \frac{1}{N_{ex}} + \frac{1}{N_{ey}} \quad (5)$$

ψ_0 的取值见规范附录五。

计算方法可以归纳为: 先由式(9)、(10)计算得到 N_{ex}, N_{ey} , 代入式(6)、(7)中, 然后, 按有关的单向偏压及轴压的计算式, 代进式(6)、(7)中的 $N_{ux}, N_{oux}, N_{uy}, N_{ouy}$, 解出 A'_{sex}, A'_{sey} 。接着, 在确定了角点钢筋面积 A_{so} 后, 就可以由式(2)、(3)解出 A_{sux}, A_{swy} , 可以看出, 上述方法的关键在于如何得到 A'_{sex} 及 A'_{sey} , 只要有了 A'_{sex} 及 A'_{sey} , 其余的问题均不难解决。

2. A'_{sex}, A'_{sey} 计算公式的推导

单向偏压的截面承载力计算可以分成大偏心和小偏心两种。在对称配筋情况下, 计算公式如下:

(1) 大偏心、 x 方向

$$N_{ux} = f_{cm} b h_0 \xi_x \quad (11)$$

$$N_{ux} e_x = f_{cm} b h_0^2 (\xi_x - 0.5 \xi_x^2) + f'_y A'_{yex} \times (h_0 - a) \quad (12)$$

将式(6)写成如下形式:

$$N_{ex} = \frac{N_{ux} N_{oux}}{N_{oux} - C_x N_{ex}} \quad (13)$$

式中的 N_{oux} 为轴压时截面的承载力,即

$$N_{oux} = f_c b h + 2 f_y' A_{s'x} \quad (14)$$

将式(11)、(14)代入式(13),整理后得

$$\xi_x = \frac{N_{ex}(f_c b h + 2 f_y' A_{s'x})}{f_{cm} b h_0 (f_c b h + 2 f_y' A_{s'x} + C_x N_{ex})} \quad (15)$$

再将式(11)、(15)代入式(12),经过变换,可以得到一三次方程式

$$Ax^3 + Bx^2 + Cx + D = 0 \quad (16)$$

式中
$$x = \frac{f_y' A_{s'x}}{f_{cm} b h_0}$$

在截面尺寸 b, h, b_0, h_0 , 材料强度 $f_c, f_{cm}, f_y, \eta_x e_{ix}$ 值及 N_{ex} 确定的条件下,系数 A, B, C, D 可以按下式计算:

$$\begin{cases} A = -8R_2 \\ B = 4S^2 + 8R_1S - 8R_2(T + C_xS) \\ C = 4T(S^2 - R_2C_x^2S) + 4R_2S(2T + C_xS) - 2R_2(T^2 + C_x^2S^2) \\ D = T^2S^2 + 2R_2TS(T + C_xS) \end{cases}$$

式中
$$R_1 = \frac{e_x}{h_0} - 1$$

$$R_2 = 1 - \frac{a'}{h_0}$$

$$T = \frac{f_c b h}{f_{cm} b h_0}$$

$$S = \frac{N_{ex}}{f_{cm} b h_0}$$

可以看出, R_1, R_2, T, S 均为常数,因而 A, B, C, D 也都是常数项,由式(16)解出 x ,然后再计算 $A_{s'x}$

$$A_{s'x} = x \frac{f_{cm}}{f_y} b h_0$$

(2) 小偏心、 x 方向

$$N_{ux} = f_{cm} b h_0 \xi_x + f_y' A_{s'x} - \sigma_{sx} A_{s'x} \quad (18)$$

$$N_{ux} e_x = f_{cm} b h_0^2 (\xi_x - 0.5 \xi_x^2) + f_y' A_{s'x} \times (h_0 - a') \quad (19)$$

式中
$$\sigma_{sx} = \frac{0.8 - \xi_x}{0.8 - \xi_b} f_y$$

将式(14)、(18)代入式(13),可以得到

$$\xi_x = \frac{ST + (2S + r_1 C_x S + T r_1)x + 2 r_1 x^2}{C_x S + T + (r_2 C_x S + T r_2 + 2)x + 2 r_2 x^2} \quad (20)$$

式中
$$r_1 = \frac{\xi_b}{0.8 - \xi_b}, r_2 = \frac{1}{0.8 - \xi_b}$$
, 其余同前。

将式(18)、(20)代入式(19),整理后得到的是一个五次方程式

$$A_1 x^5 + B_1 x^4 + C_1 x^3 + D_1 x^2 + E_1 x + F_1 = 0 \quad (21)$$

式中的 $A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1$ 按下式计算

$$\begin{aligned} A_1 &= 4 \alpha_3 r_1 r_2 - 4 \beta_2 r_2^2 \\ B_1 &= 4(r_1^2 + \beta_3 r_1 r_2 - \alpha_2 \beta_2 r_2) + \alpha_3 \\ &\quad \times (2 \alpha_1 r_2 + 2 r_1 \alpha_2) \\ C_1 &= 4(\alpha_1 r_1 - \beta_1 \beta_2 r_2) + 2 \beta_3(\alpha_1 r_2 + r_1 \alpha_2) + \alpha_3(2 r_2 ST + \alpha_1 \alpha_2 + 2 \beta_1 r_1) - \beta_2 \alpha_2^2 \\ D_1 &= \alpha_1^2 + 4 ST r_1 + \beta_3(2 r_2 ST + \alpha_1 \alpha_2 + 2 \beta_1 r_1) + \alpha_3(\alpha_2 ST + \alpha_1 \beta_1) - 2 \alpha_2 \beta_1 \beta_2 \\ E_1 &= ST(2 \alpha_1 + \beta_1 \alpha_3) + \beta_3(\alpha_2 ST + \alpha_1 \beta_1) - \beta_1^2 \beta_2 \\ F_1 &= S^2 T^2 + ST \beta_1 \beta_3 \end{aligned} \quad (22)$$

式中
$$\alpha_1 = 2S + r_1 C_x S + T r_1$$

$$\alpha_2 = r_2(C_x S + T) + 2$$

$$\alpha_3 = \frac{2 e_x r_2}{h_0}$$

$$\beta_1 = C_x S + T$$

$$\beta_2 = \frac{2(r_1 e_x + h_0 - a)}{h_0}$$

$$\beta_3 = \frac{2(e_x - h_0)}{h_0}$$

因而 $A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1$ 也均为常数项。由方程式(21)可以解出 x ,进而求得 $A_{s'x}$ 值。

通常情况下,按上式计算的结果即为正确值,只有当解得的 $A_{s'x}$ 代入式(20)求出 ξ_x

后,出现 $\frac{0.8 - \xi_x}{0.8 - \xi_b} < -1.0$ 时,应取其值等

于-1.0。此时，可以按下式计算 x

$$x^2 + 2 \left(0.25 C_x S - 0.55 \frac{e_x}{h_0 - a} + 0.5 \right) \times x + \left(0.25 C_x S - 0.55 \frac{e_x}{h_0 - a} + 0.25 \right) = 0 \quad (23)$$

然后再计算 A'_{sx} 值。

对于 y 方向的计算公式，即计算 A'_{sy} 的公式，完全可以参照上述的方法推导，得到的表达式也完全类似，只须将前述式中的 $h, h_0, e_x, \eta_x e_{ix}, C_x$ 等分别和 $b, b_0, e_y, \eta_y e_{iy}, C_y$ 相互代换。这样，得到的结果即为

$$x = \frac{f_y}{f_{cm}} \frac{A'_{sy}}{hb_0}, \text{ 则 } A'_{sx} = x \frac{f_{cm}}{f_y} \times hb_0$$

三、计算方法及计算步骤

1. 截面设计

通常，在设计某一构件时，构件的计算长度，截面尺寸，材料强度等数据均已预先确定，即 $l_0, b, h, b_0, h_0, f_c, f_{cm}, f_y, f'_y$ 均已知。同时，外力 N, M_x, M_y 也已由内力分析得到。因此，双向偏压构件可按下列步骤来计算：

(1) 计算 e_x, e_y

按单向偏压的计算公式，先计算得到 $\eta_x, \eta_y, e_{ix}, e_{iy}$ ，然后计算 e_x, e_y ：

$$e_x = \eta_x e_{ix} + \frac{h}{2} - a, \quad e_y = \eta_y e_{iy} + \frac{b}{2} - a$$

(2) 由式(8)计算 C_x, C_y 值；

(3) 由式(9)、(10)计算 N_{ex}, N_{ey} ；

(4) 由式(16)或式(21)，按大小偏心的区分解方程得 x 值，然后就可得到 A'_{sx}, A'_{sy} 值。

计算时，先按式(16)计算，由式(17)求出各系数项，解得 A'_{sx} 或 A'_{sy} 后，再由式(15)计算 ξ_x 或 ξ_y 。

当有 $\xi_x \leq \xi_b$ (或 $\xi_y \leq \xi_b$)时，计算完毕。

若有 $\xi_x > \xi_b$ (或 $\xi_y > \xi_b$)，则应按式(21)重

新计算 x 值，此时，方程的各系数项按式(22)计算。

(5) 确定 A_{swx}, A_{swy}

此时，应先确定角点钢筋的面积 A_{sc} ，然后再按式(2)、(3)计算 A_{swx}, A_{swy} 。

2. 截面复核

截面复核时，由于截面的配筋已经确定，问题就变得简单些。计算 C_x, C_y, e_x, e_y 的步骤同截面设计部分。然后：

(1) 先由式(11)、(12)计算 ξ_x (或 ξ_y)值，判别大、小偏心；

(2) 若大偏心，则可就上述 ξ_x (或 ξ_y)，代入式(11)计算得 N_{ux} (或 N_{uy})；

(3) 若小偏心，则应由式(18)、(19)联立计算 ξ_x, N_{ux} ；

(4) 由式(14)计算 N_{oux} (或 N_{ouy})；

(5) 由式(4)计算 N_u 。当然，应有 $N_u \geq N$ 。

四、计算表格的编制

由上面的推导过程可以看出，直接计算法必须解式(16)或式(21)的高次方程，因此，在第“三”节中列出的计算步骤，若用手算则非常麻烦。可以说，直接用手算来解决双向偏压的设计问题是不现实的。

如果对上述的有关参数作适当的简化，例如，取 $h = 1.08h_0$ (即取 $a = 0.03h_0$)，则问题将变得更简单些。

由于一般有 $f_{cm} \approx 1.1f_c$ ，因而 $f_{cm}bh_0 \approx f_cbh$ ，则前述的 R_2, T 等参数均变成常数，

而 $\frac{e_x}{h_0} = \frac{\eta_x e_{ix}}{h_0} + 0.46$ 。取定 $\xi_b = 0.544$ (Ⅱ级钢)，则 r_1, r_2 也变成常数。再取定 $C_x = C_y = 0.5^{[2]}$ 。可以看出，方程式(16)、(21)的所有

系数项及常数项均可用 $\frac{N_{ex}}{f_{cm}bh_0}$ (或 $\frac{N_{ey}}{f_{cm}bh_0}$)和

$\frac{\eta_x e_{ix}}{h_0}$ (或 $\frac{\eta_y e_{iy}}{h_0}$)这两个参数来确定。换句话说，截面的配筋量只与上述两个参数有关，因

此, 制表时可将这两个参数作为输入值, 而解高次方程, 则可以借助计算机完成。取不同的参数, 就可以解得相应的 $\frac{f_y}{f_{cm}}\rho$ 值, 列成表格。应用时, 只要计算得上述的两个参数, 就可在表格中查到相应的 $\frac{f_y}{f_{cm}}\rho$ 值, 应用将是非常简便的。表 1 正是采用这一方法编制的。若将上述的两个参数适当调整, 还可以编成其他更为便利的表格, 此处不再一叙及。

由表 1 得到 $\frac{f_y}{f_{cm}}\rho$ 值后, 当然可以方便地计算得 A'_{sez} 及 A'_{sey} , 表 1 的具体应用方法详见后文的计算例题。

有了前述的一系列计算公式, 编制计算程序已无任何困难, 此处只需说明一点, 本文解方程程序采用的是搜索法与两分法联合应用, 以提高效率。

图 3 为程序的粗框图。

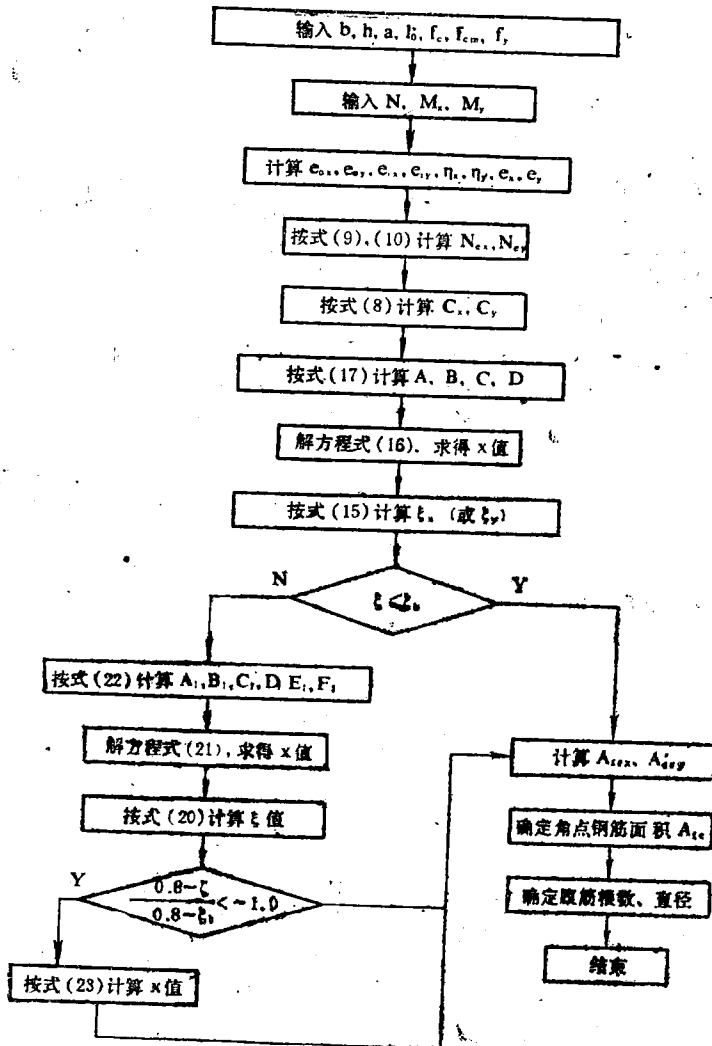


图 3

双向偏压构件 $\frac{f_y}{f_{cm}}$ ρ 值表 (钢筋 II 级)

表 1

$\frac{N_e}{f_{cm} b h_0}$	.05	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40
.05	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.10	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
.15	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.007	.039
.20	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.019	.051	.088	.127
.25	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.019	.048	.083	.123	.167	.212
.30	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.012	.034	.065	.103	.147	.194	.244	.296
.35	.000	.000	.000	.000	.000	.005	.022	.043	.074	.113	.159	.210	.264	.320	.378
.40	.000	.000	.000	.000	.010	.027	.049	.075	.114	.162	.215	.273	.333	.395	.459
.45	.000	.000	.000	.012	.029	.050	.077	.107	.156	.211	.271	.335	.402	.470	.539
.50	.000	.001	.010	.026	.047	.074	.105	.141	.198	.260	.327	.398	.470	.544	.619
.55	.002	.006	.020	.041	.067	.097	.133	.176	.240	.310	.383	.460	.538	.618	.699
.60	.004	.011	.030	.055	.086	.121	.162	.212	.283	.359	.439	.522	.606	.691	.778
.65	.007	.016	.040	.070	.105	.145	.191	.248	.326	.408	.495	.583	.673	.765	.857
.70	.010	.022	.050	.085	.125	.170	.220	.285	.369	.458	.550	.645	.740	.837	.935
.75	.012	.027	.060	.100	.144	.194	.250	.321	.412	.507	.606	.706	.808	.910	1.013
.80	.015	.032	.070	.114	.164	.219	.280	.358	.455	.557	.661	.767	.874	.983	1.092
.85	.018	.037	.080	.129	.184	.244	.310	.395	.499	.606	.716	.828	.941	1.055	1.169
.90	.020	.042	.091	.144	.204	.269	.340	.433	.542	.656	.772	.889	1.008	1.127	1.247
.95	.023	.048	.101	.159	.224	.294	.370	.470	.586	.705	.827	.950	1.074	1.199	1.325
1.00	.026	.053	.111	.175	.244	.319	.401	.507	.629	.755	.882	1.011	1.141	1.271	1.402
1.05	.028	.058	.121	.190	.264	.345	.432	.545	.673	.804	.937	1.072	1.207	1.343	1.480
1.10	.031	.063	.131	.205	.284	.370	.462	.583	.717	.853	.992	1.132	1.273	1.415	1.557
1.15	.034	.068	.142	.220	.305	.396	.493	.620	.760	.903	1.047	1.193	1.340	1.487	1.634
1.20	.036	.074	.152	.236	.325	.421	.524	.658	.804	.952	1.102	1.254	1.406	1.558	1.712
1.25	.039	.079	.162	.251	.346	.447	.555	.696	.847	1.001	1.157	1.314	1.472	1.630	1.789
1.30	.042	.084	.173	.266	.366	.473	.587	.733	.891	1.051	1.212	1.375	1.538	1.702	1.866
1.35	.044	.089	.183	.282	.387	.499	.618	.771	.935	1.100	1.267	1.435	1.604	1.773	1.943
1.40	.047	.095	.193	.297	.407	.524	.649	.809	.978	1.149	1.322	1.495	1.670	1.845	2.020
1.45	.050	.100	.204	.313	.428	.550	.681	.847	1.022	1.198	1.377	1.556	1.736	1.916	2.097
1.50	.052	.105	.214	.328	.449	.577	.712	.885	1.065	1.248	1.432	1.616	1.801	1.987	2.173
1.55	.055	.110	.224	.344	.470	.603	.744	.923	1.109	1.297	1.486	1.676	1.867	2.059	2.250
1.60	.058	.116	.235	.359	.490	.629	.775	.961	1.153	1.346	1.541	1.737	1.933	2.130	2.327
1.65	.060	.121	.245	.375	.511	.655	.807	.999	1.196	1.395	1.596	1.797	1.999	2.201	2.404
1.70	.063	.126	.256	.390	.532	.681	.838	1.037	1.240	1.445	1.651	1.857	2.065	2.272	2.480
1.75	.066	.132	.266	.406	.553	.707	.870	1.075	1.283	1.494	1.705	1.918	2.130	2.344	2.557
1.80	.068	.137	.277	.422	.574	.734	.902	1.113	1.327	1.543	1.760	1.978	2.196	2.415	2.634
1.85	.071	.143	.287	.437	.595	.760	.934	1.151	1.371	1.592	1.815	2.038	2.262	2.486	2.710
1.90	.074	.147	.297	.453	.616	.787	.966	1.189	1.414	1.641	1.869	2.098	2.327	2.557	2.787
1.95	.078	.153	.308	.469	.637	.813	.998	1.227	1.458	1.690	1.924	2.158	2.393	2.628	2.864
2.00	.079	.158	.318	.485	.658	.839	1.030	1.265	1.501	1.739	1.979	2.218	2.459	2.699	2.940

注: 求 $\frac{f_y}{f_{cm}} \rho$ 时, 用 $\frac{N_e}{f_{cm} b h_0}$ 及 $\frac{\eta e_0}{h_0}$ 查表; 求 $\frac{f_y}{f_{cm}} \rho$ 时, 用 $\frac{N_e}{f_{cm} h b_0}$ 及 $\frac{\eta e_0}{b_0}$ 查表

文献[2]指出,当角筋的面积适当选大些时,总用钢量将较节省。因此,本程序在选择角点钢筋时,总是把角筋的直径选得大于或等于腹筋的直径。

程序采用与“规范”符号相同的标识符输入及输出,因而一目了然。

除主程序段外,本程序采用了四个子程序段:

SUB.GAEXY——计算 A_{sx} 、 A_{sy} ;

SUB.DNAG——配筋,即计算腹筋的根数、直径;

SUB.GAT——计算 η_x 、 η_y 、 e_{ix} 、 e_{iy} ;

SUB.JFC——解方程。

若想将此程序改造成子程序,只需将主程序段的输入及输出变量写成哑元形式,其余均不必变动。

另外,程序中输出的 $(A_{sy})d_v$ 、 s_v ,是按构造要求确定的箍筋的直径及间距,没有考虑抗剪及抗震要求。

六、计算实例

例1 对称配筋双向偏压柱, $b \times h = 400 \times 600\text{mm}$, $a = 35\text{mm}$, $\eta_x = \eta_y = 1.0$, 混凝土C20, 钢筋Ⅱ级, $f_c = 10\text{N/mm}^2$, $f_{cm} = 11\text{N/mm}^2$, $f_y = f'_y = 310\text{N/mm}^2$, 承受外力为: $N = 400\text{ kN}$, $M_x = 200\text{ kN}\cdot\text{m}$, $M_y = 100\text{ kN}\cdot\text{m}$, 计算所需的钢筋面积。

解 (1) 利用本文表1

$$e_{ox} = \frac{M_x}{N} = 500\text{mm}$$

$$e_{oy} = \frac{M_y}{N} = 250\text{mm}$$

$$e_{ax} = e_{ay} = 0$$

$$\therefore e_{ix} = e_{ox} = 500\text{mm}$$

$$e_{iy} = e_{oy} = 250\text{mm}$$

$$\psi_0 = \frac{\eta_x e_{ix} / h_0}{\eta_x e_{ix} / h_0 + \eta_y e_{iy} / b_0} = 0.564$$

$$N_{ex} = \frac{N}{\psi_0} = \frac{400}{0.564} = 709.6\text{kN}$$

$$N_{ey} = \frac{N}{1 - \psi_0} = \frac{400}{1 - 0.564} = 917.43\text{kN}$$

$$\begin{cases} \frac{\eta_x e_{ix}}{h_0} = \frac{500}{565} = 0.885 \\ \frac{N_{ex}}{f_{cm} b h_0} = \frac{709.6 \times 10^3}{11 \times 400 \times 565} = 0.2854 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\eta_y e_{iy}}{b_0} = \frac{250}{365} = 0.685 \\ \frac{N_{ey}}{f_{cm} h b_0} = \frac{917.43 \times 10^3}{11 \times 600 \times 365} = 0.381 \end{cases}$$

由上述值查表1, 得: $\frac{f_y}{f_{cm}} \rho'_x = 0.132$,

$$\frac{f_y}{f_{cm}} \rho'_y = 0.111$$

$$\therefore A_{sx} = A'_{sx} = 0.132 \times \frac{11}{310} \times 400 \times 565 = 1058\text{mm}^2$$

$$A_{sy} = A'_{sy} = 0.111 \times \frac{11}{310} \times 600 \times 365 = 861\text{mm}^2$$

(2) 利用本文程序计算结果

$$A_{sx} = A'_{sx} = 1057\text{mm}^2$$

$$A_{sy} = A'_{sy} = 847\text{mm}^2$$

(3) 应用规范附录五图表

$$\omega_{ex} = \frac{N}{\psi_0 f_{cm} b h_0} = 0.285$$

$$\omega_{ey} = \frac{N}{(1 - \psi_0) f_{cm} h b_0} = 0.387$$

$$\lambda_{ex} = \frac{N \eta_x e_{ix}}{\psi_0 f_{cm} b h_0^2} = 0.252$$

$$\lambda_{ey} = \frac{N \eta_y e_{iy}}{(1 - \psi_0) f_{cm} h b_0^2} = 0.261$$

查得: $\alpha_{ex} = 0.13$, $\alpha_{ey} = 0.12$

$$\therefore A_{sx} = A'_{sx} = 1043\text{mm}^2$$

$$A_{sy} = A'_{sy} = 932\text{mm}^2$$

以上三种方法的计算结果相差均不大。

例2 条件同例1,只是外力改变为, $N = 1200\text{kN}$, $M_x = 400\text{kN}\cdot\text{m}$, $M_y = 250\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

解 (1) 利用本文表 1

$$e_{ox} = \frac{M_x}{N} = 333\text{mm}, \quad e_{oy} = \frac{M_y}{N} = 203\text{mm}$$

$$e_{ax} = 0.12(0.1h_0 - e_{ox}) < 0, e_{ay} < 0$$

$$\therefore \text{取 } e_{ax} = e_{ay} = 0$$

$$\psi_0 = \frac{\eta_x e_{ix}/h_0}{\eta_x e_{ix}/h_0 + \eta_y e_{iy}/b_0} = 0.5082$$

$$N_{ex} = \frac{N}{\psi_0} = 2361\text{kN}$$

$$N_{ey} = \frac{N}{1 - \chi_0} = 2440\text{kN}$$

$$\begin{cases} \frac{\eta_x e_{ix}}{h_0} = 0.589 \\ \frac{N_{ex}}{f_{cm} b h_0} = 0.950 \\ \frac{\eta_y e_{iy}}{b_0} = 0.570 \\ \frac{N_{ey}}{f_{cm} h b_0} = 1.013 \end{cases}$$

查表1, 得 $\frac{f_y}{f_{cm}} \rho'_x = 0.387$

$$\frac{f_y}{f_{cm}} \rho'_y = 0.416$$

$$\therefore A_{sxx} = A'_{sxx} = 3100\text{mm}^2$$

$$A_{syy} = A'_{syy} = 3230\text{mm}^2$$

(2) 利用程序计算

$$A_{sxx} = A'_{sxx} = 3037 \text{ mm}^2$$

$$A_{syy} = A'_{syy} = 3282 \text{ mm}^2$$

(3) 利用规范附录五

$$\omega_{ex} = 0.935, \quad \omega_{ey} = 1.03$$

$$\lambda_{ex} = 0.551, \quad \lambda_{ey} = 0.5356$$

查得 $\alpha_{ex} = 0.38, \quad \alpha_{ey} = 0.36$

$$A_{sxx} = A'_{sxx} = 3047 \text{ mm}^2$$

$$A_{syy} = A'_{syy} = 2797 \text{ mm}^2$$

可见, 按规范附录五计算得的 A'_{syy} 差值较

大。现按此钢筋面积复核承载力, 得 $N_u = 1.155 \times 10^6 \text{N} < 1.2 \times 10^6 \text{N}$, 是偏于不安全的。

例3 条件同例1, 现已知截面配筋如图 4。 $\eta_x e_{ix} = 500\text{mm}$, $\eta_y e_{iy} = 250\text{mm}$, 求承载力 N 。

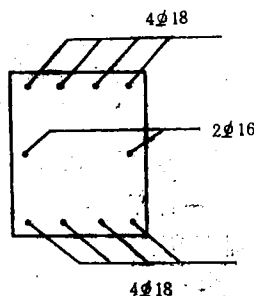


图 4

解 由配筋图可以得出:

$$A_{s0} = 254\text{mm}^2, A_{sxx} = 509\text{mm}^2, A_{syy} = 201\text{mm}^2$$

$$\frac{\eta_x e_{ix}}{h_0} = \frac{500}{565} = 0.885 > 0.5$$

$$\frac{\eta_y e_{iy}}{b_0} = \frac{250}{365} = 0.685 > 0.5$$

$$\therefore \xi_x = 0.36 - 0.13 \frac{h_0}{\eta_x e_{ix}} = 0.2131$$

$$\xi_y = 0.36 - 0.13 \frac{b_0}{\eta_y e_{iy}} = 0.1702$$

$$A_{sx} = 2A_{s0} + A_{sxx} = 1018\text{mm}^2$$

$$A_{sy} = 2A_{s0} + A_{syy} = 710\text{mm}^2$$

$$\therefore A_{sxx} = A'_{sxx} = A_{sx} + 2\xi_x A_{syy} = 1104\text{mm}^2$$

$$A_{syy} = A'_{syy} = A_{sy} + 2\xi_y A_{sxx} = 883 \text{ mm}^2$$

$$\frac{f_y}{f_{cm}} \rho_x = \frac{310}{11} \times \frac{1104}{400 \times 565} = 0.1377$$

$$\frac{f_y}{f_{cm}} \rho_y = \frac{310}{11} \times \frac{883}{600 \times 365} = 0.1136$$

查表得 $\frac{N_{ex}}{f_{cm} b h_0} = 0.2953, \quad \frac{N_{ey}}{f_{cm} h b_0} = 0.3866$

$$\therefore N_{ex} = 734.1\text{kN}, \quad N_{ey} = 931.4\text{kN}$$

(下转第39页)

预应力混凝土池的设计

提 要

本文将预应力混凝土水池作为一种特例来探讨应力重分布的影响,提出了一种能够计算这种应力分布的预应力水池的设计方法。

一、基本假定和符号

假定池壁受到拉伸时可自由地径向移动;拉伸后,池壁与基础形成一个铰接点(图1);环向预应力从顶部的 ψn 到底部的 ρn 为线性变化。

假定参数 βd 相当大,使池壁底部的弯矩不受上边缘条件的影响。

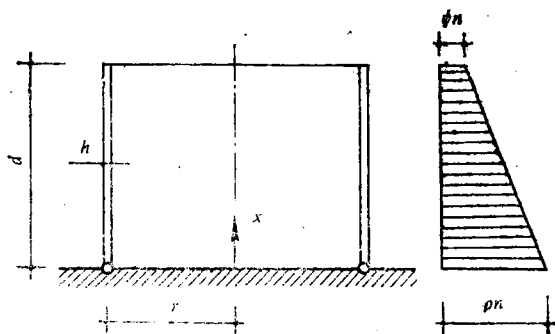


图1 圆形池

符号

$$n = \gamma r d$$

r = 池的半径

d = 池的深度

γ = 液体的比重

$$\eta = [12(1 - \nu^2)]^{0.5}$$

ν = 泊松比

$$\beta = \eta^{0.5} (2rh)^{-0.5}$$

$$\theta(\beta x) = e^{-\beta x} \cos \beta x$$

$$\xi(\beta x) = e^{-\beta x} \sin \beta x$$

$$\phi(\beta x) = \theta(\beta x) + \xi(\beta x)$$

x = 距池底高度

$$\omega = d^{-1}x$$

κ = 松弛率

h = 池壁厚度

二、环向预应力

从参考资料[1]公式19可以得到混凝土应力松弛的结果。由于混凝土应力的松弛,由环向预应力产生的母线单位长度的法向薄膜力表示为

$$n_{\phi p} = -\rho n [1 - \omega - (1 - \kappa) \theta(\omega \beta d) - \psi n \omega] \quad (1)$$

符号规定: $n\phi > 0$ 表示受拉。

由液体压力所产生的单位长度环向法向力表示为

$$n_{\phi r} = n [1 - \omega - \theta(\omega \beta d)] \quad (2)$$

由收缩和温度变化引起的单位长度环向法向力表示为

$$n_{\phi s} = n_{\phi 0} \theta(\omega \beta d) \quad (3)$$

$n_{\phi 0}$ 表示相应于应变完全不变的情况,最小混凝土压应力用 σ_{c0} 表示。符号规则:混凝土压应力为正值。由式(1)和式(3)

$$\rho [1 - \omega (1 - \kappa) \theta(\omega \beta d)] + \psi \omega - [1 - \omega - \theta(\omega \beta d)] - \nu_0 \theta(\omega \lambda d) \geq \nu_1 \quad (4)$$

符号

$$\nu_0 = n^{-1} n_{\phi 0} = -n^{-1} h \sigma_{c0}$$

$$\nu_1 = n^{-1} h \sigma_{c0}$$

σ_{c0} 表示当应变为0时混凝土的压应力。

式(4)中 ω 值区间为 $0 \leq \omega \leq 1$,当 $\omega = 0$ 和

$\omega = 1$ 时, 则

$$\rho \geq \rho_1 = \kappa^{-1}(v_0 + v_1) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \psi &\geq \psi_1 = v_1 + [\rho(1 - \kappa) + v_0 - 1]\theta(\beta d) \\ \min \theta(\beta d) &= \theta(0.75\pi) = -0.067 \end{aligned} \quad (6)$$

环向预应力值与 $\rho + \psi$ 成正比。

如果 $\rho = \rho_1 + \Delta\rho (\Delta\rho > 0)$, 则 $\rho + \psi$ 将至少增加

$$\Delta\rho(1 - 0.067) > 0$$

因此, 最佳值应为

$$\rho = \rho_1 = \kappa^{-1}(v_0 - v_1) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \psi &= \psi_1 = v_1 + [\kappa^{-1} - 1](v_0 + v_1) + v_0 - 1 \\ &\times \theta(\beta d) \end{aligned} \quad (8)$$

根据式(4), $\rho + \psi$ 必须满足下式条件

$$\rho + \psi \geq g(\rho, \omega) \quad (9)$$

其中

$$\begin{aligned} g(\rho, \omega) &= 2\rho - 1 + \omega^{-1} \{v_1 + 1 - (1 - v_0) \\ &\times \theta(\omega\beta d) - \rho[1 - (1 - \kappa)\theta(\omega\beta d)]\} \end{aligned} \quad (10)$$

这个条件要求 ρ 和 ψ 分别大于式(7)和式(8)得出的数值。

对于给定的 ρ 值, 即使对于 $g(\rho, \omega)$ 的最大值所对应的 ω 值, 式(9)也能满足。如果 $0 < \omega < 1$ 时存在最大值, 则该值应对应于

$$\frac{\partial g(\rho, \omega)}{\partial \omega} = 0 \quad (11)$$

ρ 的最佳值, 即是此值时 $g(\rho, \omega)$ 为最小值, 则表示为

$$\frac{\partial g(\rho, \omega)}{\partial \rho} = 0 \quad (12)$$

由式(11)和式(12)得

$$\omega = 0.5[1 - (1 - \kappa)\theta(\omega\beta d)] \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_2 = [1 - (1 - \kappa)\delta]^{-1}[1 + v_1 - (1 - v_0) \\ &\times \delta] \end{aligned} \quad (14)$$

其中

$$\delta = \theta(\omega\beta d) + \omega\beta d\phi(\omega\beta d) \quad (15)$$

式(13)中 ω 值可采用迭代法由 $\omega_1 = 0.5$ 开始, 求得

$$\omega_{i+1} = 0.5[1 - (1 - \kappa)\theta(\omega_i\beta d)] \quad (16)$$

ρ 选用 ρ_1 和 ρ_2 二者中的较大值。

ψ 值表示为

$$\psi = \psi_2 = g(\rho, \omega) - \rho$$

其中 $g(\rho, \omega)$ 由式(10)求得, ψ 应选用 ψ_1 和 ψ_2 二者中较大者。

张拉后, 在基底处产生环向最大混凝土压应力, 且表示为

$$\max \sigma_{\theta\theta} = h^{-1}n(\rho - v_i) \quad (17)$$

v_i 表示温度增加所对应的 v_0 值, 如下所示

$$v_i = -n^{-1}h\sigma_t$$

σ_t 表示温度增加且应变完全无变化时所产生的混凝土压应力。

三、垂直预应力

一旦形成铰支底部(时间 $t = 0$), 由于沿圆周预应力为零, 池壁水平截面上弯矩 m_x 为零。由于混凝土徐变, 弯矩将会随时间而变成

$$m_{x\rho} = (1 - \kappa)\rho nh\eta^{-1}\rho(\omega\beta d) \quad (18)$$

符号规则: $m_x > 0$ 时池壁外侧受压。

液体压力产生的 m_x 见下式

$$m_{xv} = -nh\eta^{-1}\rho(\omega\beta d) \quad (19)$$

根据文献[2]第114节, 在长筒壳体端部剪力 θ_0 必将引起弯矩

$$m_x = \beta^{-1}\theta_0\rho(\omega\beta d) \quad (20)$$

端部径向位移为

$$w_0 = -(2\beta^3 h^3 E)^{-1}\eta^2 Q_0 \quad (21)$$

对应于收缩的 w_0 值表示为

$$w_0 = -r\nu v_0(Eh)^{-1} \quad (22)$$

由式(20)至(22)可得

$$m_x = m_{xs} = nh\eta^{-1}v_0\xi(\omega\beta d) \quad (23)$$

$\xi(\omega\beta d)$ 最大值是0.322。此值对应于

$$\omega = \omega_0 = \pi(4\beta d)^{-1} \quad (24)$$

在混凝土徐变后($t > 0$), 空池时出现最大值 m_x 如下所示

$$m_x = 0.322nh\eta^{-1}[1 - \kappa]\rho + v_0] \quad (25)$$

在混凝土徐变($t = 0$)之前, 池子满载时最小值 m_x 如下所示

$$m_x = 0.322nh\eta^{-1}(1 - v_i) \quad (26)$$

当 $x = \omega_0 d$ 时, 定义混凝土压应力 σ_{cx} 为

$$\left. \begin{array}{l} \max \sigma_{os} \\ \sigma_{oo} = \min \sigma_{os} \end{array} \right\} = \pm \sigma h^{-1} |mx|_{\max} + \gamma_0 d (1 - \omega_0) + h^{-1} \alpha n \quad (27)$$

符号

γ_0 = 混凝土的比重

αn = 周长单位长度的垂直预应力

根据式(27), α 的最小值为

$$\alpha = \nu_1 + n^{-1} h [\sigma h^{-1} |mx|_{\max} - \gamma_0 d \times (1 - \omega_0)] \quad (28)$$

用 α 值代入式(27)得

$$\max \sigma_{os} = \sigma_{oo} + 12 h^{-1} |mx|_{\max} \quad (29)$$

四、减少混凝土徐变和收缩的影响

在约束池壁之前,在张拉后的某段时间,保持底板能滑动可以减小徐变和收缩的不利影响。采取这个办法可以用较低的徐变和收缩的参数。

在池壁基础形成约束后,迅速将池子充满水有利于减小收缩,同样可以减小部分池壁的徐变,但不是在底板中的关键部位。由于徐变和收缩,在池底部径向截面最可能出现拉应力和开裂。

风载

风载假设为垂直于墙面的单位面积荷载 p (图2)

$$p = p_1 \cos \phi \quad (30)$$

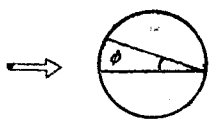


图2 风荷载

根据薄膜理论可得薄膜力

$$n_\phi = -r p_1 \cos \phi \quad (31)$$

池壁单位长度水平和径向墙截面的剪力

$$n_{\phi\phi} = (d-x) p_1 \sin \phi \quad (32)$$

池壁单位长度环向法向力

$$n_x = \frac{1}{2} (d-x)^2 r^{-1} p_1 \cos \phi \quad (33)$$

n_ϕ 、 $n_{\phi\phi}$ 和 n_x 同时应满足下列边界条件

当 $x = d$ 时, $n_{\phi\phi} = n_x = 0$

由风载引起的应力非常非常小,所以该应力在设计中可以忽略不计,见算例1。

五、池壁厚度变化的影响

如果采用下列数值:收缩率 κ ; 最小混凝土压力 σ_{oo} ; 荷载 γ 收缩和温度变化分别为 σ_0 和 σ_t , 则产生 $\rho_1 > \rho_2$, $\psi_1 > \psi_2$, 及 $\max m_s > |\min m_s|$ 。

在以上的条件下,可得

$$\text{式(5): } \rho = \rho_1 = h(\kappa n)^{-1} (\sigma_{oo} - \sigma_0) \quad (34)$$

即, ρ 与 h 成正比; 由式(17)和式(30)

$$\max \sigma_{os} = \sigma_{oo} - \sigma_0 + \sigma_t$$

即, $\max \sigma_{os}$ 与 h 无关。由式(29), 式(25)和式

$$\begin{aligned} \text{(30)} \max \sigma_{os} = \sigma_{oo} + 3.87 \eta^{-1} [(\kappa^{-1} - 1) \\ \times (\sigma_{oo} - \sigma_0) - \sigma_0] \end{aligned} \quad (35)$$

即 $\max \sigma_{os}$ 同样与 h 无关。根据式(28), α 与 h 近似成正比。根据式(6), ψ 随着 n 的增加而增加。

如前所述,前述的关系适用于

$$\max m_s > |\min m_s|$$

由式(25), 式(26)和式(30), 这相应于

$$h > h_0 = n[\kappa^{-1} - 1](\sigma_{oo} - \sigma_0) - \sigma_0 - \sigma_t]^{-1} \quad (36)$$

h 的最佳值就是 h_0 , 因为这会使混凝土和预应力钢筋 ($\rho + \psi$ 和 α) 二者的数量均为最小值。但是, h_0 值常常较小, 不能满足有的实际要求, 这些要求包括: 钢筋防锈需要足够的混凝土保护层厚度, 抗冲击性, 对于预制池壁构件还要考虑作搬运和组装时的荷载。考虑以上因素, 通常采用的墙厚不小于 90mm。

六、预应力池的设计步骤

设计步骤首先从确定适当的最小池壁厚度开始。然后, 初步计算所需要的预应力 (ρ 和 α) 和最大混凝土压应力, 根据这个应力值确定混凝土强度。设计步骤流程图如图3和算例1所示。将这个流程图编制成计算机程序, 通过变化各种输入的参数就可以很容

易地进行分析研究。

实际应力分布不同, 实际应力不能满足最小混凝土压应力所规定的要求, 甚至于会出现混凝土拉(伸)应力。这可用算例来说明。

七、算 例

算例1 条件数据如下: $r = 15\text{m}$, $d = 4\text{m}$,
 $h = 0.09\text{m}$, $\nu = 0.15$, $\kappa = 0.231$

$$\gamma_0 = 0.024\text{MN}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\sigma_{00} = 1\text{MPa}$$

$$\gamma = 0.01\text{MN}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\sigma_0 = -2\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = 1\text{MPa}$$

可算得

$$\eta = [12(1-\nu^2)]^{0.5} = 3.42$$

$$\beta d = \eta^{0.5}(2rh)^{-0.5}d = 4.51$$

$$n = \gamma r d = 0.600\text{MN}\cdot\text{m}^{-1}$$

$$\nu_0 = -n^{-1}h\sigma_0 = 0.300$$

$$\nu_1 = n^{-1}h\sigma_{00} = 0.150$$

按本文的公式计算如下

$$\text{式(5): } \rho_1 = 1.948$$

$$\text{式(6): } \psi_1 = 0.1482$$

$$\text{式(16): } \omega_{i+1} = 0.5 - 0.385\theta(4.51\omega_i)$$

$$\omega_1 = 0.5$$

$$\omega_2 = 0.526$$

$$\omega_3 = 0.526$$

$$\omega = 0.526$$

$$\text{式(15): } \delta = -0.0709$$

$$\text{式(14): } \rho_2 = 1.138$$

$$\rho = \rho_1 = 1.948$$

$$\text{式(9)和(10): } \psi_2 = -0.672$$

$$\psi = \psi_1 = 0.1482$$

$$\text{式(25): } \max m_s = 0.00913\text{MN}$$

$$\text{式(26): } \min m_s = 0.00584\text{MN}$$

$$\max |m_s| = 0.00913\text{MN}$$

$$\text{式(24): } \omega_0 = 0.1743$$

$$\text{式(28): } \alpha = 1.152$$

$$\text{式(29): } \max \sigma_{00} = 14.52\text{MPa}$$

$$\text{式(17): } \max \sigma_{00} = 13.98\text{MPa}$$

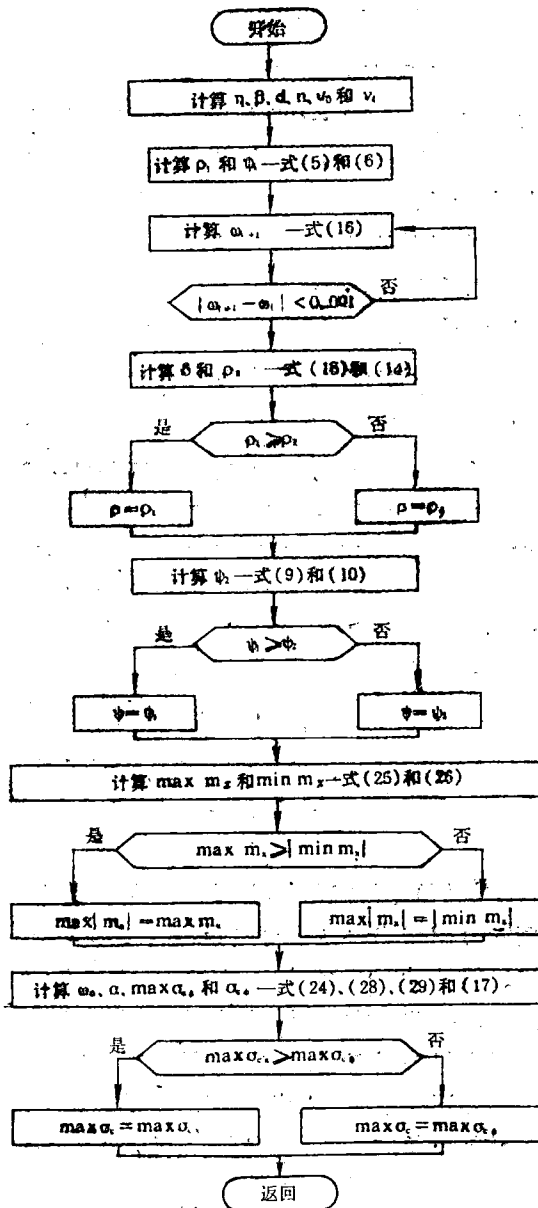


图9 计算步骤图表

算例2 用一组不同的壁厚证明了最大混凝土压应力与壁厚无关, 需要施加的预应力与壁厚近似成正比。

如果忽略混凝土徐变而产生的混凝土应力重分布, 那么设计所得到的应力分布就与

$$\max \sigma_o = 14.52 \text{ MPa}$$

关于风荷载,令式(30)中 $p_1 = 10^{-3} \text{ MPa}$,
 r, d, h 取值同上。

由式(31)至式(33)可得到薄膜应力

$$\sigma_\phi = \pm 0.17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x\phi} = \pm 0.04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \pm 0.01 \text{ MPa}$$

由此可见,风载引起的应力是可以忽略不计的。

算例2 池壁厚度变化对池壁应力产生的影响将通过下面的计算得以说明。计算步骤与算例1相同。池壁厚度取0.06m和0.24m,其他条件均不变。

表1最后一列分别列出了对应于壁厚 $h = 0.24 \text{ m}$ 和 $h = 0.06$ 的应力极大值变化率。周边环向预应力与数值 $\frac{1}{2}(\rho + \psi)$ 成正比。最佳

壁厚度变化的影响

表 1

	单位			变化率
h	m	0.06	0.24	
ρ		1.299	5.19	4.00
ψ		0.1008	0.1769	1.759
α		0.768	3.08	4.01
$1/2(\rho + \psi)$		0.700	2.69	3.84
$\max \sigma_{ox}$	MPa	14.52	14.52	1.0000
$\max \sigma_{o\phi}$	MPa	13.99	13.99	1.0000

(上接第22页)

相对于在角桩上更易发生冲切破坏,根据本文的介绍,不难对其进行受冲切承载力计算。

结 束 语

对承台在柱下的受冲切承载力计算,应以将来正式颁布的《建筑桩基技术规范》和《桩基承台设计规程》为准。参加过上述《规范》、《规程》中有关承台受冲切承载力设计计算条文的讨论和编写的还有北京钢铁设计研究总院的丁祖堪、顾怡荪,中国建筑科学

的池壁厚度是实际考虑中可接受的最小值。

算例3 本例题阐明在改变结构体系后,略去由于混凝土蠕变而产生的混凝土应力重分布的影响。

除松弛率 κ 假设为1外(即 $\kappa = 1$),其他参数均同算例1,计算得出下列数据:

$\rho = 1.172, \psi = 0.221, \alpha = 787, \max \sigma_o = 9.45 \text{ MPa}$ 。池壁环向最小混凝土压应力 $\sigma_{o\phi}$ 值可表示为图4中曲线1($\kappa = 1$)。

预应力不变,松弛率取接近实际的 $\kappa = 0.231$,则 $\sigma_{o\phi}$ 表示图4中曲线2。算例1($\kappa = 0.231$)可表示为图4中曲线3。

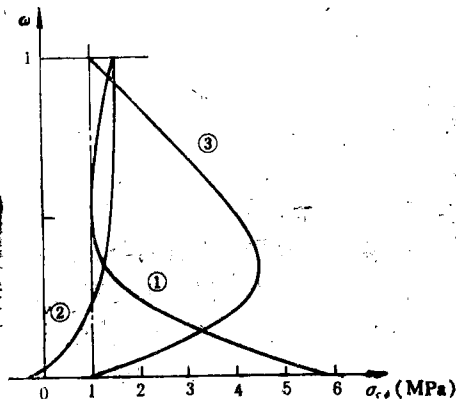


图 4 最小值 $\sigma_{o\phi}$

译自美国《ACI Structural Journal》

1992; (3); 245-250

轻工业部规划设计院申云生译 贾柏玲校

研究院的白生翔、刘金砺,轻工业部规划设计院的陈健、赵慰生等先生。

本文写作是在蒋大骅教授生前主持下进行的。

参 考 文 献

1. 周克荣,蒋大骅,李子新. 桩基承台抗冲切承载力设计计算. 混凝土结构基本理论及工程应用(全国第三届学术讨论会论文集). 湖南科学技术出版社,1993

设置加劲环肋的带悬臂圆板的设计探讨

张 震 陆

(后工建筑设计院)

提 要

本文对设置加劲环肋的带悬臂圆板的设计进行优化的问题作了进一步的探讨,是作者过去在这方面研究工作的继续。

一、引 言

运用参考文献[1]中所列公式便可对此种板进行结构设计。但由于要事先设定板厚,环肋断面、数量与位置,往往要经过多次反复。本文试图对此进行一些探讨,力求用较少次的计算来得出较经济的设计。

二、概 述

此种板为等厚度板。为了降低造价,板厚应尽量薄一些,混凝土强度等级低一些,但应满足变形要求与抗弯要求。由于板与环肋是整浇在一起的,两者的混凝土强度等级应取得一致。环肋截面较小时,会要求提高混凝土强度等级,而增大环肋截面会使扭矩增大。环肋的数量与位置对板内弯矩影响很大。以下就来分别进行探讨。

三、板中央相对挠度的计算公式

板上荷载是对称分布的,因此板中央挠度最大。当 $r=0$ 时,板的挠度公式为

$$wD = \frac{a^4}{64} \left[q_1 \left(\frac{2k_1}{1+\mu} - 1 \right) \right.$$

$$\begin{aligned} & + q_2 \left(\frac{2k_2}{1+\mu} - 1 \right) - q_3 \frac{k_3}{1+\mu} \Big] \\ & - \frac{a^3}{8} P_1 \frac{k_4}{1+\mu} + \frac{a^3}{4} P_2 \{ \gamma^3 \ln \gamma \\ & + \xi^3 \ln \xi + \zeta^3 \ln \zeta + \eta^3 \ln \eta + [\gamma(1-\gamma^2) \\ & + \xi(1-\xi^2) + \zeta(1-\zeta^2) \\ & + \eta(1-\eta^2)] \left(1 + \frac{1}{2\beta^2} \cdot \frac{1-\mu}{1+\mu} \right) \Big\} \\ & + \frac{a^2}{2} [(\gamma^2 M_{h1} + \xi^2 M_{h2} + \zeta^2 M_{h3} \\ & + \eta^2 M_{h4}) \left(\frac{1}{2} + \frac{1-\mu}{1+\mu} \cdot \frac{1}{\beta^2} \right) \\ & - \gamma^2 \ln \gamma M_{h1} - \xi^2 \ln \xi M_{h2} - \zeta^2 \ln \zeta M_{h3} \\ & - \eta^2 \ln \eta M_{h4}] \end{aligned} \quad (1)$$

式中各符号含义见参考文献[1], q_3 项、 P_1 项及各 M_h 项均为负值,为了得出最不利情况的 wD 值,应不计 q_3 项;当环肋少于4个时, P_2 项及各 M_h 项均从后向前取消无关项;由于是钢筋混凝土结构,故不能直接引用 D 值得出实际挠度。

通过一些例题的计算,可知 wD 一般为不太大的负值。故建议设计此板时,可仅从

满足抗弯要求着眼,必要时用式(1)复核一下。

四、混凝土强度等级及环肋截面的确定

由[1]可知环肋受力情况比较复杂,受扭、受剪,有轴向压力并受弯。

规范规定对承受剪扭构件的截面限制条件用下列方程表达:

$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{W_t} \leq 0.25f_c \quad (2)$$

式中 V 为本文的 Q_n , T 为本文的 M_n ,

$$W_t = \frac{b^2}{6}(3h-b)$$

由文献[1]的式(47),将 Q_n 及 M_n (用绝对值)代入式(2),得:

$$M_n \left[\frac{1.5}{bh_0} - \frac{6}{b^2(3h-b)} \right] > 0.25f_c \quad (3)$$

指定混凝土强度等级,用几组不同截面代入式(2),便可得出此截面所能抵抗的 M_n 值。作者建议混凝土等级用 C20 即可。

进行一次试算后,便可根据 M_n 值(要留有余地)及选定的混凝土强度等级确定环肋截面。

五、环肋数量

环肋数量的选择与板半径 a 、荷载及板厚等因素有关。一般说, a 值大,荷载大及板较薄则环肋数宜多些。否则不仅肋截面大,板厚也得增加。

建议最内环肋的 r 可为 3~5m。其余环肋间距 1~2m。

经一次试算,再行确定。

六、环肋位置与 V_i 方程组

一般地说,板内 M_r 值使比较小,变化也不剧烈,只是在板中心处最大并且等于此处的 M_r 值。板内 M_t 值则变化比较剧烈,最大值常在环肋处。因此板厚要由环肋处最大

M_r 值来确定。

由[1]结语中可知,环肋处内侧的 M_r , 减外侧的 M_r , 应为此肋的 M_n 值。现如以环肋内侧的 M_r 计算公式加上环肋外侧 M_r 的计算公式来得一方程。令此方程为零,解出环肋位置,则此时环肋内、外侧的 M_r 绝对值将相等,均为 $\frac{1}{2}M_n$ 值。

如环肋不止一个,则可得出一个方程组,称之为 V_i 方程组。

以下先列出这些方程组:

1. 四个肋

$$r = \eta a$$

$$V_4 = 2 \left[M_{r1} - P_2 \frac{a}{2(1+\mu)} K_1 + F_1 \right] + (1+\mu)(M_{n1} + M_{n2} + M_{n3}) + \mu M_{n4} = 0 \quad (4)$$

$$r = \xi a$$

$$V_3 = 2 \left[M_{r1} - P_2 \frac{a}{2(1+\mu)} (N_1 \gamma + N_2 \xi + N_3 \xi + F_3 \eta) + F_1 \right] + (1+\mu)(M_{n1} + M_{n2}) + \mu M_{n3} - (1-\mu)(\eta/\xi)^2 M_{n4} = 0 \quad (5)$$

$$r = \xi a$$

$$V_2 = 2 \left[M_{r1} - P_2 \frac{a}{2(1+\mu)} (N_1 \gamma + N_2 \xi + F_2 \xi + F_3 \eta) + F_1 \right] + (1+\mu)M_{n1} + \mu M_{n2} - \frac{1-\mu}{\xi^2} (\xi^2 M_{n3} + \eta^2 M_{n4}) = 0 \quad (6)$$

$$r = \gamma a$$

$$V_1 = 2 \left[M_{r1} - P_2 \frac{a}{2(1+\mu)} (N_1 \gamma + F_4 \xi + F_2 \xi + F_3 \eta) + F_1 - G \right] + \mu M_{n1} = 0 \quad (7)$$

2. 三个肋

$$r = \xi a$$