

双柱联合桩基承台的实用设计计算方法

熊建辉^{1,2}, 张仲先¹

(1. 华中科技大学土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074;

2. 武汉科技大学城市建设学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 分别介绍了在工程中广为应用的双柱联合桩基承台设置暗梁和不设置暗梁的 2 种设计方案及相应的计算方法; 对承台的受冲切承载力计算模型、不设置暗梁时的受弯承载力计算模型, 以及设置暗梁时的暗梁计算模型进行了分析讨论; 充实了构造措施, 附以算例; 并结合算例对 2 种设计方案的计算结果进行了对比分析, 得出了可供工程设计参考的结论。

关键词: 桩基承台; 双柱联合桩基承台; 暗梁

中图分类号: TU473.12

文献标识码: A

文章编号: 1008-1933(2005)06-0118-04

1 前言

在多层钢筋混凝土框架结构房屋中, 其柱网的布置常采用内廊式的三跨四行柱布置方式, 中跨即内廊的跨度一般在 2.1~3.0 m 之间, 由于内廊两柱柱距较小, 其柱下基础常设计成双柱联合基础; 若基础类型为桩基, 则为双柱联合桩基基础。在基础设计规范^[1,2]中, 对双柱下桩基承台的设计尚没有具体的规定; 在建筑结构系列软件 PKPM 的基础设计软件(JCCAD)中, 将双柱联合桩基承台视为具有两柱外包尺寸的单柱桩基承台, 取两柱传给承台上的荷载矢量和, 作为联合桩基承台的设计荷载, 对承台双柱外接矩形边界处进行抗冲切承载力及承台板底筋计算, 但对承台柱间配筋没有进行计算, 需用户自己补充。广厦基础 CAD 设计软件中的“群柱桩基”菜单功能只能用于绘图, 其计算工作需用户自己完成。目前, 关于双柱联合桩基承台设计计算方面的文献甚少, 许多设计者仅依据双柱传给承台上的竖向荷载之和, 直接套用单柱桩基承台的标准图集进行设计。文献[3]结合工程实例, 对双柱联合桩基承台长边方向的柱间及支座(柱下)截面最大弯矩进行了计算, 笔者认为其算法有待商榷。文献[4]结合工程实例, 在双柱联合桩基承台的柱间设置暗梁, 对暗梁进行了内力及配筋计算, 但对承台底部暗梁两侧的配筋没有说明, 大多数设计者在实际工程设计中, 会根据自己的体会采用各不相同的近似处理方法, 但缺少交流。鉴于以上情况, 笔者认为, 根据现行基础设计规范的基本设计规定, 探求一种比较完善的、统一的双柱联合桩基承台的设计计算方法很有必要。本文讨论双柱联合桩基承台采用 2 种不同设计

方案即不设置暗梁与设置暗梁时的计算原理和计算方法。

2 不设置暗梁的设计计算方法

由于双柱联合桩基承台顶面分布着 2 个荷载作用点, 其冲切破坏形态和弯曲破坏形态与单柱桩基承台有所不同, 为了能将单柱桩基承台的计算方法推广应用到双柱联合桩基承台, 作出以下 2 条基本计算假设:

(1) 进行承台的抗冲切承载力计算和承台斜截面受剪验算时, 将双柱对承台的作用视为具有两柱外接矩形截面(图 1 中的 abcd)的单柱。

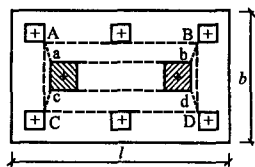


图 1 承台平面布置

(2) 进行承台的抗弯承载力计算时, 在承台的长边方向, 将承台视为支承在两根柱子上的单跨双伸臂梁; 在承台的短边方向, 与单柱桩基承台类似, 将承台视为支承在两柱外侧边界连线(延伸至承台短边)处的悬臂梁。

2.1 承台受冲切承载力计算

由假设(1), 采用具有两柱外接矩形截面的单柱柱边到相应桩顶边缘构成的四棱截锥体(图 2)进行柱对承台的冲切承载力计

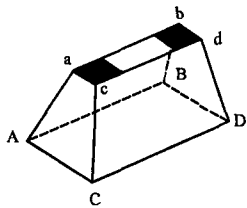


图 2 四棱冲切破坏截锥体

收稿日期: 2005-05-17

作者简介: 熊建辉(1971-), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 工程师, 一级注册结构工程师, 主要从事结构设计工作。

算;作用于冲切破坏锥体上的冲切力设计值,其数值等于双柱作用于承台顶面的竖向荷载设计值之和减去冲切破坏锥体范围内各基桩的净反力设计值之和。承台受角桩冲切承载力计算与单柱桩基承台相同。

2.2 承台受剪承载力计算

由假设(1),对具有两柱外接矩形截面的单柱,分别沿纵、横(x, y)两个方向进行承台斜截面受剪承载力计算,计算公式 $V \leq \beta_{hs} \beta_f b_0 h_0$ [1] 中的 b_0 为承台计算截面处的计算宽度,沿 x 轴方向,取 $b_0 = l$; 沿 y 轴方向,取 $b_0 = b$ 。式中 V 为斜截面的最大剪力设计值,可取受剪计算截面一侧的各基桩净反力设计值之和。

2.3 承台受弯承载力计算

(1) 承台长边方向: 由假设(2), 在承台的长边方向, 取基桩净反力(视为集中荷载)作用下的单跨双伸臂梁为计算简图(图3), 进行承台的受弯承载力计算, 伸臂梁支座(柱下)截面的弯矩恒为正值, 在承台底部配置通长的受力钢筋; 梁的跨中截面弯矩有正负之分, 当为负弯矩时, 承台顶部也需配置

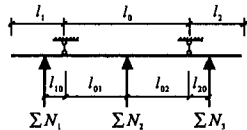


图3 承台受弯承载力计算简图

通长的受力钢筋, 另一方面配置分布钢筋, 分布钢筋不少于 $\phi 8@300$; 若跨中截面不出现负弯矩, 则承台顶部可不配筋。承台的配筋按经验公式 $A_s = M / (0.9 f_y h_0)$ 计算。承台受拉钢筋最小配筋率取 $\rho_{\min} = 0.15\%$ 。

(2) 承台短边方向: 由假设(2), 在承台短边方向, 取基桩净反力作用下的悬臂梁为计算简图, 受弯计算截面取在两柱外侧边界连线处, 其弯矩计算公式为 $M_x = \sum N_i y_i$ [1]。

3 设置暗梁的设计计算方法

为了简化双柱联合桩基承台的受力分析, 沿承台长边方向的柱下, 设置通长的钢筋混凝土暗梁(图4)。

3.1 承台受冲切及受剪承载力计算

进行承台的受冲切承载力计算时, 采用图5所

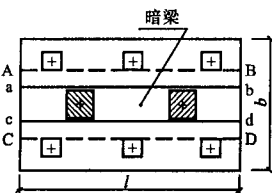


图4 承台平面布置

示的二棱锥体, 受冲切承载力计算公式 [1,2] 修改为 $F_1 \leq \beta_{hp} \beta_f u_m h_0$, 式中冲切力设计值 F_1 取暗梁

一侧各基桩净反力设计值之和; u_m 取冲切破坏锥体一侧底边的周长, 即 $u_m = l$; 冲切系数 $\beta = 0.84 / (\lambda + 0.2)$ 。承台斜截面受剪验算仅沿一个方向进行, 其计算截面处(ab或cd)的计算宽度 $b_0 = l$ 。

3.2 暗梁的设计计算

首先确定暗梁的截面尺寸, 显然, 与柱同宽的暗梁不会单独承受弯曲和剪切, 它会受到相邻部分混凝土的增强, 暗梁的有效宽度明显地大于柱宽, 在缺乏明确规定的情况下, 本文保守地建议, 取暗梁截面的计算宽度等于柱宽再加上 $100 \sim 200 \text{ mm}$; 暗梁截面高度取为承台厚

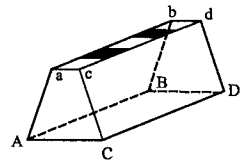


图5 二棱冲切破坏锥体

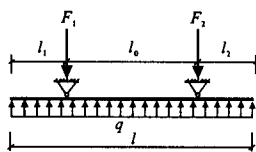


图6 暗梁计算简图

度。计算暗梁时, 考虑承台厚度及暗梁的刚度较大, 将作用在承台底面上的各个基桩净反力简化为面荷载, 并以均布线荷载(q)的形式作用在暗梁上(图6), $q = (\sum N) / l$, 式中 $\sum N$ 为各基桩净反力设计值之和, 其数值等于 $\sum F$ 。暗梁的内力(M, V)及配筋计算与一般梁相同。暗梁支座(柱下)截面及跨中截面的弯矩值一般较小, 支座截面的剪力设计值较大, 为减小配箍量, 箍筋的强度等级可采用 HRB335。考虑暗梁的截面高度较大, 箍筋间距不宜太密, 一般不应小于 150 mm , 以方便施工; 跨中一定范围(如 $0.4 l_0$) 内的箍筋间距可以加大, 视剪力大小而定。考虑暗梁设置在承台内部, 其两侧可不设置纵向构造钢筋(腰筋)。

3.3 承台受弯承载力计算

承台短边方向的受弯承载力计算与不设暗梁时的计算方法相同, 受弯计算截面取在暗梁一侧的边界处。承台长边方向底部暗梁的两侧按受拉钢筋最小配筋量($0.15\% bh$)减去暗梁底部的配筋量配筋。

4 算例

4.1 工程概况

某8层办公楼, 钢筋混凝土框架结构, 柱网呈内廊式三跨四行柱布置, 根据该工程项目的《岩土工程勘察报告》, 经技术经济比较, 采用扩桩桩基础, 柱身直径 $d = 426 \text{ mm}$, 桩端入土深度约 16 m , 该办公楼的内廊柱距 2.4 m , 采用双柱联合桩基础。上部结构采用“TBSA6.0”程序计算, 由两柱

传至桩基承台顶面上的荷载设计值见表 1。

表 1 最不利荷载效应基本组合设计值

组合 编号	柱位	N /(kN)	M_x /(kN·m)	M_y /(kN·m)	V_x /kN	V_y /kN
(1)	1	-3197.2	5.1	3.3	1.9	-2.7
	2	-3415.2	-8.0	0.4	0.3	5.2
(2)	1	-2997.5	95.6	3.0	1.7	-32.7
	2	-3354.8	82.7	0.4	0.2	-25.0

采用六桩承台，柱截面尺寸为 550 mm×550 mm，圆截面桩换算成方桩的边长 $c = 0.8d \approx 340$ mm。承台桩位布置如图 7 所示。

承台底面埋深 1.6 m，室内外高差 0.9 m，试取承台厚度 1.0 m，按长期作用的荷载效应基本组合(1)确定其合力作用点位置，并使其与承台(群桩)形心

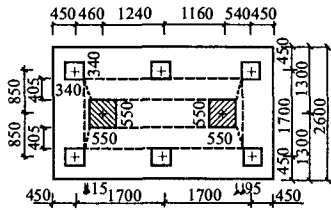


图 7 承台平面布置

相重合(图 8)。经计算，单桩竖向承载力设计值 $R = 1224$ kN，2 种最不利荷载效应基本组合的单桩竖向力设计值(N_i) 经验算均满足 $N_i = (\sum F + G)/6 \leq R$ 及 $N_{\max} \leq 1.2R$ 。承台基本接近中心受压，扣除承台及其上填土自重后的各基桩竖向力设计值，取 $N_i = (\sum F)/6 = 6612.4/6 = 1102$ kN。承台混凝土 C25。

为了比较，桩基承台按 2 种设计方案进行计算，承台厚度取 1.0 m(有效厚度 $h_0 = 0.9$ m)，经验算，2 种设计方案的承台

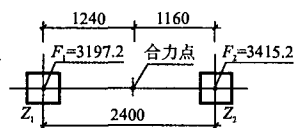


图 8 承台合力作用点位置

抗冲切及受剪承载力均满足要求，以下分别进行承台受弯承载力计算。

4.2 按不设置暗梁计算

承台短边方向： $M_x = 1901$ kN·m；承台底部钢筋截面面积 $A_s = 7823$ mm²； $A_{s\min} = 0.15\% bh = 6450$ mm²。选用 31 $\Phi 18$ (7890 mm²)。

承台长边方向：按图 3 所示的计算简图，经计算得支座控制截面(柱 Z_2 内侧柱边)弯矩 $M = 857$ kN·m；跨中截面(合力作用点处)弯矩 $M = -219$ kN·m。承台底部钢筋截面面积 $A_s = 3527$ mm²；顶部 $A_s = 901$ mm²； $A_{s\min} = 0.15\% bh = 3900$ mm²。承台顶、底部均选用 16 $\Phi 18$ (4072 mm²)。承台顶部横向分布钢筋 $\Phi 8@250$ 。

4.3 按设置暗梁计算

暗梁截面宽度取 $b = 550 + 200 = 750$ mm，高度取 $h = 1000$ mm。由图 4 所示，承台短边方向暗梁边界处(ab)截面弯矩 $M_x = 1570$ kN·m；承台底部钢筋截面面积 $A_s = 6461$ mm²； $A_{s\min} = 0.15\% bh = 6450$ mm²。选用 26 $\Phi 18$ (6617 mm²)。按图 6 所示的暗梁计算简图计算暗梁， $q = (\sum F)/l = 1538$ kN/m，支座控制截面(柱 Z_2 外侧柱边)弯矩 $M = 393$ kN·m。跨中截面弯矩 $M = -412$ kN·m。暗梁下部钢筋截面面积 $A_s = 1499$ mm²；上部 $A_s = 1580$ mm²； $A_{s\min} = 0.2\% bh = 1500$ mm²。暗梁上下均选用 4 $\Phi 22$ (1520 mm²)。承台底部暗梁两侧按 0.15% bh 减去暗梁下部配筋量(1520 mm²) = 2380 mm² 配筋，选用 10 $\Phi 18$ (2545 mm²)。暗梁支座控制截面(柱 Z_2 内侧柱边)最大剪力 $V = 1469$ kN。按公式 $V \leq 0.25f_c b h_0$ 对暗梁受剪截面进行验算，满足要求。按公式 $V \leq 0.7f_t b h_0 + 1.25f_{yv} A_{sv} h_0/s$ 对暗梁进行斜截面受剪承载力计算，选用 4 肢箍筋 $\Phi 12$ ， $s = 180$ mm。承台(含暗梁)配筋如图 9 所示。

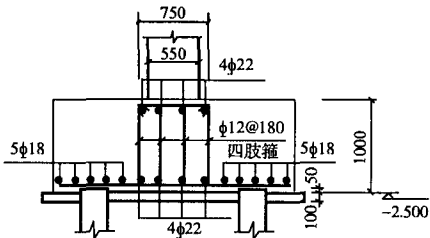


图 9 承台(含暗梁)配筋

5 讨论

5.1 2 种设计方法计算结果的对比分析

以上系按承台厚度 $h = 1000$ mm 的计算结果，承台的受冲切和受剪承载力有较大的安全储备，当承台厚度由 1000 mm 减小至 800 mm 时，承台受冲切及受剪切承载力仍满足要求，其用钢量有所不同，见表 2。

表 2 承台材料用量对比

承台厚度 /mm	不设置暗梁		设置暗梁	
	混凝土用量 /m ³	钢筋用量 /kg	混凝土用量 /m ³	钢筋用量 /kg
1000	11.18	450	11.18	420
800	8.94	515	8.94	527

由表 1 得出初步结论：(1)2 种设计方法的用钢量相差不多；(2)减小承台厚度，混凝土用量显然

减少,用钢量有所增加;其中,设置暗梁的用钢量增加相对较多,但绝对增量都不大。承台的设计方案(设置暗梁和不设置暗梁)及其承台厚度应通过技术经济综合分析确定。

5.2 不设置暗梁时承台顶部的配筋

经计算,承台两柱之间出现负弯矩时,应在承台顶部配置通长的负弯矩钢筋,其受拉钢筋最小配筋率取 $\rho_{\min}=0.15\%$ 。注意到承台厚度较大,即使按 ρ_{\min} 配筋,其配筋量也是较大的。当承台两柱之间不出现负弯矩时,承台顶部不需配筋。

参 考 文 献:

- [1] GB 50007—2002,建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] JGJ 94—94,建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [3] 林世明.多柱下联合桩基础的设计探讨[J].福建工程学院学报,2003,(2): 51-54.
- [4] 林世明.长乐龙门渤海楼双柱下联合桩基础设计[J].福建建筑,2002,(1): 37-38.

Practical design-calculation method of double-column combined pile cap

XIONG Jian-hui^{1,2}, ZHANG Zhong-xian¹

(1. School of Civil Eng. & Mechanics, HUST, Wuhan 430074, China;

2. School of Urban Studies, WUST, Wuhan 430070, China)

Abstract: Two design schemes and corresponding calculation method for the double-column combined pile cap setting and not setting a hidden beam, which is widely used in the engineering are respectively introduced. Calculation model of punching shear bearing capacity of the pile cap, calculation model of bending resistance not setting a hidden beam in the pile cap and the hidden beam calculation model setting a hidden beam in the pile cap are analyzed and discussed. The paper has enriched the construction measures and given an engineering example. Combining with the engineering example, the calculation results of the two design schemes are compared and analyzed. The conclusion, which can provide reference for the designers, has been reached.

Key words: pile cap; double-column combined pile cap; hidden beam

更 正 说 明

本刊 2005 年第 4 期发表的两篇文章《厚壁 T 形柱最不利荷载角的确定》、《厚壁 T 形柱的延性研究》,由于第一作者的疏忽,造成第二作者张新培的工作单位标注有误,张新培的工作单位应为:四川大学建筑与环境学院。特此更正说明。

《四川建筑科学研究》编辑部