
深基坑双排桩支护结构优化设计

封 盛,辛业洪

(深圳市建设投资控股公司工程总承包部,深圳 518008)

摘 要:建立了多设计准则,多约束条件的面向桩 - 土相互作用的双排桩支护结构优化设计模型,给出了模型与结构分析软件及优化算法软件相结合的优化设计方法。完成了高层建筑深基坑双排桩支护实例的优化设计,并分析了桩身刚度、桩的直径和前后排桩距对优化结果的影响,算例结果表明,本文提出的优化模型应用于双排桩支护结构设计将带来显著的经济效益。

关键词:双排桩;桩 - 土相互作用;优化设计

中图分类号: TU473.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7717(2001)06-0032-03

Optimum Design for The Bracing Structure with Double - row Piles of Deep Foundation Pit

FENG Sheng, XIN Yehong

(Branch of Project General Contract, Shengzhen Construct Investment Inc, Shengzhen, 518008)

Abstract: This paper presents an optimum design model for the bracing structure with double - row piles under multi - design rule and multi - constrained conditions considering the pile - soil interaction, then an optimum design process which uses the optimum model with structure analysis and algorithm software is completed. An example of the optimum design for the bracing structure with double - row piles of deep foundation pit is calculated and the effect of the pile diameter, Stiff and the distance between the double - row piles. The optimum calculation results of the example shows the optimum model could produce obvious economic results in the design for the bracing structure with double - row piles of deep foundation pit.

Key words: Double - row piles; pile - soil interaction; optimum design

1 引言

随着高层建筑的蓬勃发展,深基坑支护新技术不断涌现,双排支护柱型式便是其中之一。这种支护型式在一定环境和施工条件下,具有侧向刚度大、能有效限制侧向变形;整体稳定性好、节省支撑;便于挖土和缩短施工工期等优点,且在实际工程中得到了广泛的应用^[1]。通常,双排桩的计算方法是把前桩、后桩及联系梁作为一个底端嵌固的平面刚架进行计算,不考虑桩与联梁的作用,也不考虑同排桩之间的协调,更无法考虑双排桩和土的相互作用。然而,近年来对双排桩参数的研究表明^{[2][3]},桩身刚度、桩体直径、桩的排距等对支护效果和工程造价的影响显著。这样,进行考虑桩 - 土相互作用的双排桩优化设计势在必行。为此,本文建立了考虑桩 - 土相互作用体系的多设计准则、多约束条件的双排桩

优化设计模型,并将上述模型应用于实际工程中。

2 计算模型

本文采用如图 1 所示的双排桩计算模型,模型中考虑了土与桩的相互作用。基底以上部分后排桩的桩背土压力采用主动土压力;基底以上部分的桩间土侧压力为

$$P_1 = \frac{\mu}{1 + \mu} y \quad (1)$$

式中: μ 为泊松比; γ 为土的重度; y 为计算点至桩顶距离。

基底以下部分的桩侧土抗力采用文克尔假定,即土对桩的侧向抗力为

$$P_x = k_h b_0 x \quad (2)$$

式中: k_h 为地基水平反力系数; b_0 为桩的计算宽度; x 为侧向位移。将后排桩两侧的土压力叠加。

* 作者简介:封盛,男,工学博士。

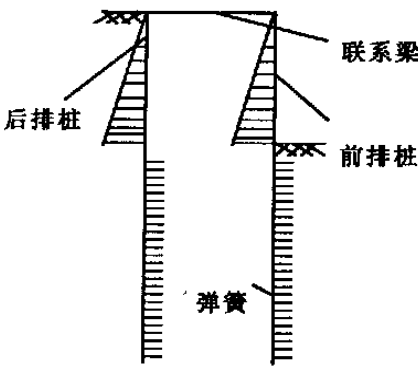


图 1 双排桩计算模型

3 优化模型

3.1 设计变量

设计变量分别为： d —桩径； A_{S1} —截面钢筋面积；—对应于受压区混凝土截面面积的圆心角与 2 的比值。

3.2 目标函数

$$C = C_C + C_S \tag{3}$$

式中： C 为支护桩造价； C_C 为支护桩混凝土造价； C_S 为支护桩钢筋造价。

3.3 约束条件

(1) 维护桩桩顶位移约束

$$u_{tmax} - \bar{u} \tag{4}$$

(2) 维护桩强度约束 (按圆形截面受弯构件配筋计算)

$$f_{cm}A(1 - \frac{\sin^2}{2}) + (-i)f_yA_{S1} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{2}{3}f_{cm}r^3\frac{\sin^3}{3} + f_yA_{S1}r_s\frac{\sin + \sin}{t} M_{max} \tag{6}$$

式中：

$$t = 1.25 - 2 \tag{7}$$

A 为支护桩截面积； r 为支护桩截面半径； r_s 为纵向钢筋所在圆周的半径； s 为混凝土保护层厚度； f_{cm} 为混凝土设计强度； f_y 为钢筋设计强度； M_{max} 为所有支护桩截面弯矩最大值；

(3) 构造约束

$$\min s \max \tag{8}$$

式中： s 为钢筋配筋率； \min 、 \max 分别为最小、最大配筋率。

(4) 尺寸约束

$$d \quad d \quad \bar{d} \tag{9}$$

$$\underline{A_S} \quad A_S \quad \bar{A_S} \tag{10}$$

$$- \tag{11}$$

4 优化设计流程

以 SAP91 软件和优化算法软件包 OPB - 1 为基础,通过编制数据转换程序 DT 和优化建模程序 OPM,实现面向桩 - 土相互作用的深基坑双排桩支护结构优化设计。计算流程如图 2。

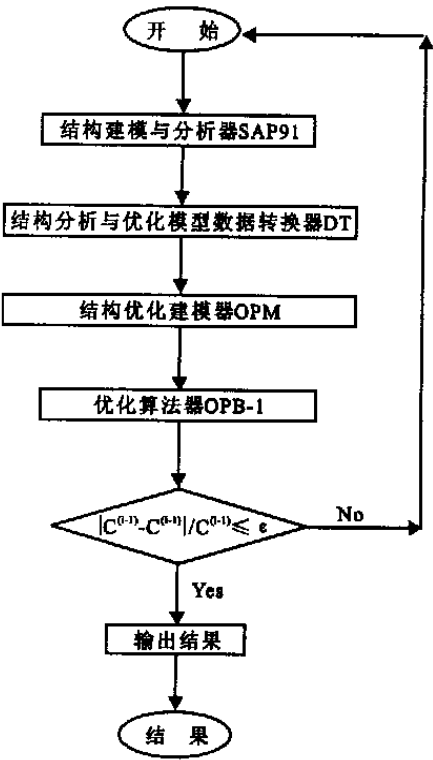


图 2 双排桩支护结构优化设计流程

图 2 中各模块功能分别为结构建模与分析器 SAP91:建立双排桩支护结构计算模型并进行结构分析;结构分析与优化模型数据转换器 DT:把结构分析的数据转换成优化模型所需的数据;结构优化建模器 OPM:建立双排桩支护结构优化模型并进行模型处理;优化算法器 OPB - 1:针对不同优化模型的各种优化算法。

C^i 和 C^{i-1} 分别为 $i - 1$ 和 i 次迭代目标函数值，为目标函数收敛精度。

5 算例

某工程大厦为一幢主体 24 层的高层建筑,占地面积 1800m²,建筑面积(含地下室)为 20000m²,一层地下室,高为 4.8m,基础底板面标高为 - 5.2m,实际基坑开挖深度为 7.0 m。

5.1 工程地质概况

地基土层自上而下为杂填土、淤泥质粉土、粉质粘土、细中砂、中粗砂和微风化页岩,各土层厚度及主要物理力学指标见表 1。

表 1 现场土层物理力学参数

土 层	厚度 m	重度 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	含水量 %
杂填土	1.0	16.5	
淤泥质粉土	3.6	17.0	69
粉质粘土	5.0	19.0	33.1
细中砂	5.2	19.0	
中粗砂	3.1	20.0	
微风化页岩	15.0	20.0	

续上表

弹性模量 MPa	泊松比	内聚力 kPa	内摩擦角 °
			15
5.2	0.9	12.6	11
11.7	0.25	30.0	16
21.0	0.2	15.0	18
23.0	0.17	25.0	23.1
41.0	0.1	27.2	25.6

5.2 深基坑支护方案

在考虑施工场地、周围环境及地质条件后,为保证周围建筑不致引起大的变形,采用双排沉管灌注桩作基坑支护结构。各土层地基反力系数数值如表 2。

表 2 土质地基反力系数

土类型	$k_h (\text{kN} \cdot \text{m}^{-4})$
淤泥质粘土	1000
粉质粘土	5000
细中砂	9000

5.3 优化计算结果及分析

结构分析采用 SAP91 软件系统进行总体分析,优化算法用约束变尺度法 CVM01^[4],桩顶容许侧位移 \bar{u} 为 5cm,表 3 给出了钢筋 Ⅱ 级,排距 2.5m,桩距 0.8m,不同强度等级混凝土对应的优化结果;表 4 给出了钢筋 Ⅱ 级,混凝土 C25,桩距 0.8m,不同排距对应的优化结果。

表 3 不同强度等级混凝土对应的优化结果

混凝土强度等级	目标函数 (万元)	设 计 变 量		
		$d (\text{m})$	$A_s (\text{mm}^2)$	
C20	205.7	0.532	0.004088	0.4207
C25	201.5	0.527	0.004007	0.4237
C30	191.3	0.512	0.003961	0.4284
原设计值	242.0	0.600	0.002513	0.4000

表 4 不同排距对应的优化结果

桩的排距 m	目标函数 (万元)	设 计 变 量		
		$d (\text{m})$	$A_s (\text{mm}^2)$	
2.0	198.5	0.521	0.004068	0.4242
2.5	191.3	0.527	0.004007	0.4237
3.0	196.5	0.519	0.004063	0.4240
原设计值	242.0	0.600	0.002513	0.4000

从表 3 可看出,随着混凝土强度等级的提高,桩体直径减小,配筋率降低,C20、C25 和 C30 三种混凝土强度等级下的目标函数相对于原设计值分别降低了 15%、16.7%和 20.9%。从表 4 可看出,随着双排桩排距从 2.0m 增大到 2.5m 时,目标函数值降低,幅度为 3.6%;而排距从 2.5m 增大到 3.0m 时,目标函数值增大,幅度为 2.7%,这说明在本文算例条件下,桩排距取 2.5m 为宜,也进一步说明了双排桩排距过大和过小效果都不理想。

6 结论

采用本章建立的考虑桩-土相互作用的双排桩支护结构优化设计模型,结合现有的结构分析和优化算法软件,完成了某高层建筑深基坑双排桩的优化设计。通过上述计算及分析,初步得到如下结论:

- (1) 本文提出的考虑桩-土相互作用的双排桩支护结构优化设计模型,目标函数收敛速度快、减小幅度可观,用于实际工程设计能带来显著的经济效益。
- (2) 双排桩排距过大或过小都不能使双排桩有效地共同作用。从实际优化结果知,当双排桩桩距为 4 倍桩直径左右时,双排桩支护费用最低。
- (3) 在支护结构侧向变形不变的条件下,适当提高桩身刚度可以减少工程投资,但减小的幅度不大。

[参考文献]

[1] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册. 北京:中国建筑出版社,1998.

[2] 曹俊坚,平扬,朱长歧等. 考虑圈梁空间作用的深基坑双排桩支护计算方法研究. 岩石力学与工程学报, 1999,18(6):709-712.

[3] 蔡袁强,赵永倩,吴世明等. 软土地基深基坑中双排桩式围护结构有限元分析. 浙江大学学报,1997,31(4):442-447.

[4] 余俊,周济. 优化方法程序库 OPB-1-原理及使用说明. 机械工业出版社,1989.