

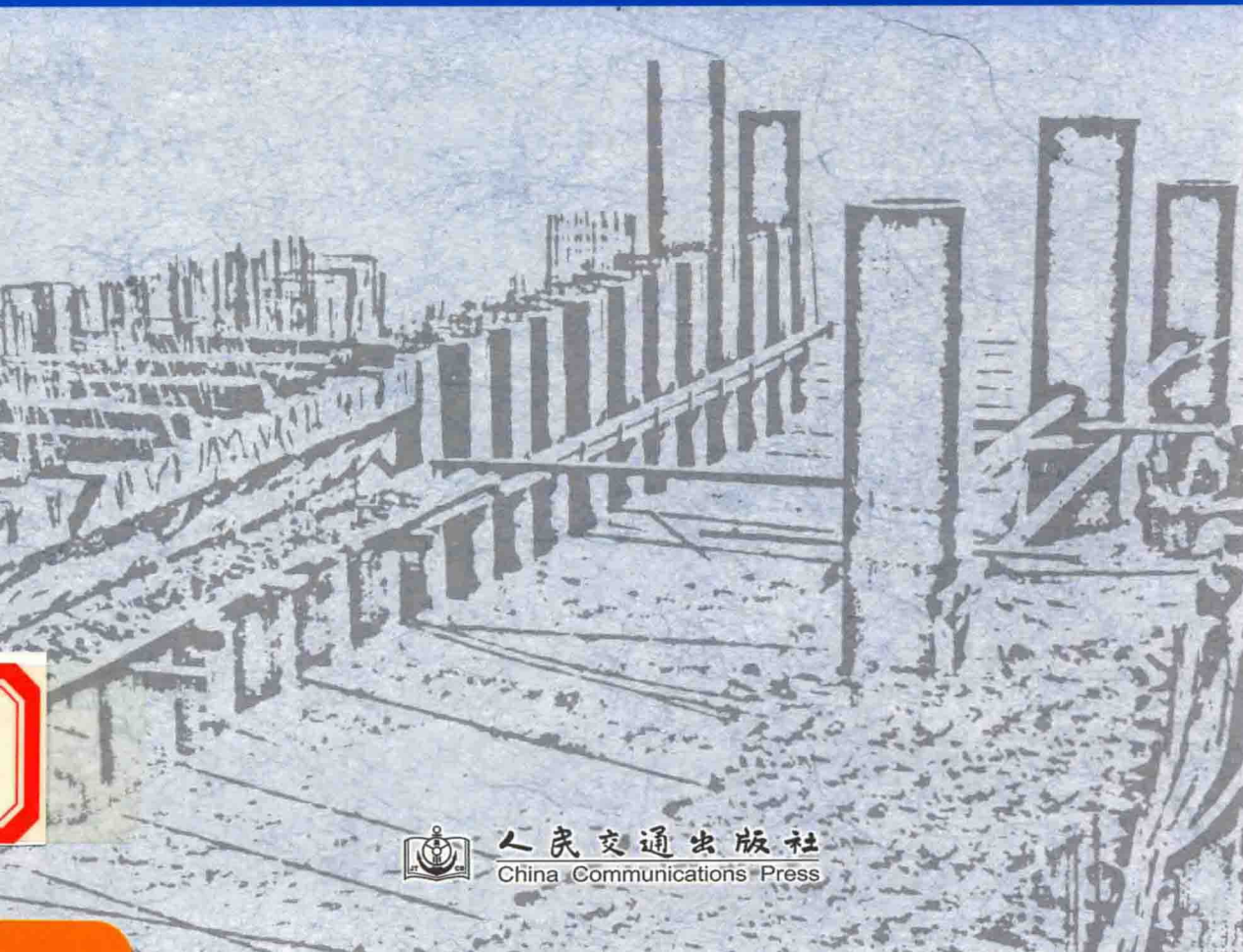


交通运输行业高层次人才培养项目著作书系

周国然 姚诗伟 编著

双排桩结构

Double Sheet-Pile Wall Structures



人民交通出版社
China Communications Press

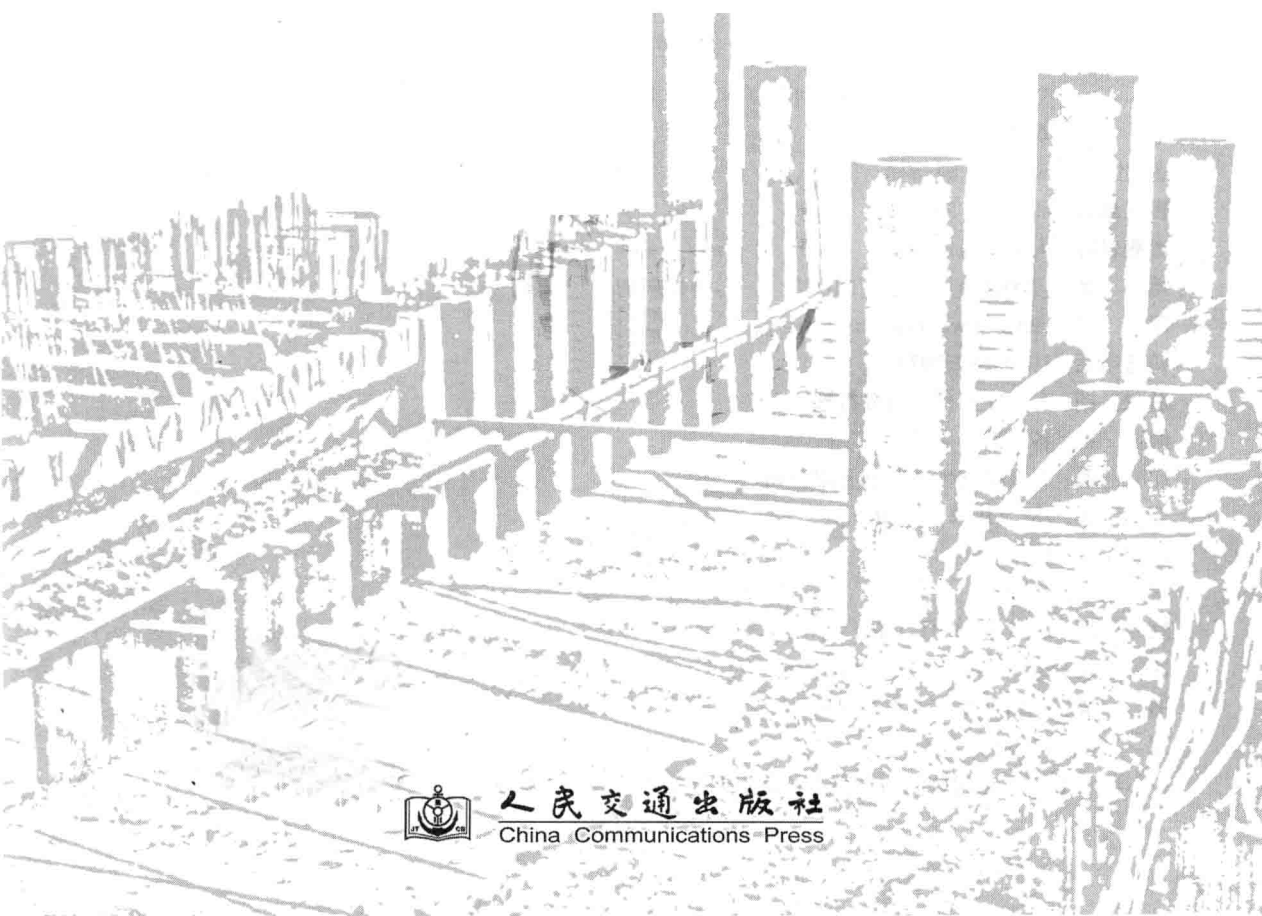


交通运输行业高层次人才培养项目著作书系

周国然 姚诗伟 编著

双排桩结构

Double Sheet-Pile Wall Structures



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为“交通运输行业高层次人才培养项目著作书系”中的一本,主要论述了在近海港口、船坞、防波堤中应用的大排距、大宽高比的双排桩墙的结构设计与施工。

本书分为三大块来论述双排桩墙结构:双排板桩墙结构、双排混凝土管桩结构以及双排桩施工。首先论述了双排桩结构所承受的荷载及荷载组合;其次在双排板桩结构中论述了结构的计算理论,大、小比尺的模型试验,试验结果与计算的比较以及工程实例。在双排混凝土管桩结构中论述了结构的计算模型、离心模型试验以及计算实例,论述了钢板桩施工、混凝土大管桩的施工以及抛砂石及加固;最后简述了应用前景及尚待研究的问题。

本书可供水运工程、海洋工程、桩基工程的设计科研人员以及高等院校相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

双排桩结构 / 周国然, 姚诗伟编著. — 北京: 人民交通出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-114-10970-6

I. ①双… II. ①周…②姚… III. ①港口工程—打桩 IV. ①U655.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 257920 号

交通运输行业高层次人才培养项目著作书系

书 名: 双排桩结构

著 作 者: 周国然 姚诗伟

责任编辑: 周 宇 富砚博

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 16.5

字 数: 378 千

版 次: 2014 年 10 月 第 1 版

印 次: 2014 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10970-6

定 价: 47.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通运输行业高层次人才培养项目著作书系 编审委员会

主 任:杨传堂

副主任:戴东昌 周海涛 徐 光 王金付
陈瑞生(常务)

委 员:李良生 李作敏 韩 敏 王先进
石宝林 关昌余 沙爱民 吴 澎
杨万枫 张劲泉 张喜刚 郑健龙
唐伯明 蒋树屏 潘新祥 魏庆朝
孙 海

书系前言

Preface of Series

进入 21 世纪以来,党中央、国务院高度重视人才工作,提出人才资源是第一资源的战略思想,先后两次召开全国人才工作会议,围绕人才强国战略实施做出系列重大决策部署。党的十八大着眼于全面建成小康社会的奋斗目标,提出要进一步深入实践人才强国战略,加快推动我国由人才大国迈向人才强国,将人才工作作为“全面提高党的建设科学化水平”八项任务之一。十八届三中全会强调指出,全面深化改革,需要有力的组织保证和人才支撑。要建立集聚人才体制机制,择天下英才而用之。这些都充分体现了党中央、国务院对人才工作的高度重视,为人才成长发展进一步营造良好的政策和舆论环境,极大激发了人才干事创业的积极性。

国以才立,业以才兴。面对风云变幻的国际形势,综合国力竞争日趋激烈,我国在全面建成小康社会的历史进程中机遇和挑战并存,人才作为第一资源的特征和作用日益凸显。只有深入实施人才强国战略,确立国家人才竞争优势,充分发挥人才对国民经济和社会发展的重要支撑作用,才能在国际形势、国内条件深刻变化中赢得主动、赢得优势、赢得未来。

近年来,交通运输行业深入贯彻落实人才强交战略,围绕建设综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通的战略部署和中心任务,加大人才发展体制机制改革与政策创新力度,行业人才工作不断取得新进展,逐步形成了一支专业结构日趋合理、整体素质基本适应的人才队伍,为交通运输事业全面、协调、可持续发展提供了有力的人才保障与智力支持。

“交通青年科技英才”是交通运输行业优秀青年科技人才的代表群体,培养选拔“交通青年科技英才”是交通运输行业实施人才强交战略的“品牌工程”之一,1999 年至今已培养选拔 283 人。他们活跃在科研、生产、教学一线,奋发有为、锐意进取,取得了突出业绩,创造了显著效益,形成了一系列较高水平的科研成果。为加大行业高层次人才培养力度,“十二五”期间,交通运输部设立人才培养专项经费,重点资助包含“交通青年科技英才”在内的高层次人才。

人民交通出版社以服务交通运输行业改革创新、促进交通科技成果推广应

用、支持交通行业高端人才发展为目的,配合人才强交战略设立“交通运输行业高层次人才培养项目著作书系”(以下简称“著作书系”)。该书系面向包括“交通青年科技英才”在内的交通运输行业高层次人才,旨在为行业人才培养搭建一个学术交流、成果展示和技术积累的平台,是推动加强交通运输人才队伍建设的重要载体,在推动科技创新、技术交流、加强高层次人才培养力度等方面均将起到积极作用。凡在“交通青年科技英才培养项目”和“交通运输部新世纪十百千人才培养项目”申请中获得资助的出版项目,均可列入“著作书系”。对于虽未列入培养项目,但同样能代表行业水平的著作,经申请、评审后,也可酌情纳入“著作书系”。

高层次人才是创新驱动的核心要素,创新驱动是推动科学发展的不懈动力。希望“著作书系”能够充分发挥服务行业、服务社会、服务国家的积极作用助力科技创新步伐,促进行业高层次人和特别是中青年人才健康快速成长,为建设综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通做出不懈努力和突出贡献。

交通运输行业高层次人才培养项目
著作书系编审委员会
2014年3月

作者简介

Author Introduction



周国然,博士,1962年9月出生于江苏武进,教授级高级工程师,现任中交上海港湾工程设计研究院有限公司总经理、执行董事、中交三航局有限公司副总工程师。交通运输部第二届专家委员会委员,交通运输部新世纪十百千人才工程第一层次人选,中国土木工程学会土力学及岩土工程分会理事,中国土木工程学会土力学及岩土工程分会桩基工程学术委员会副主任委员、地基处理学术委员会副主任委员,中国工程建设标准化协会资深会员,上海市土木工程学会常务理事、高级会员,中国交通建设股份有限公司专家委员会成员,中国交通建设工程学院特聘教授,中国交通建设股份公司工程结构重点实验室首席专家,享受国务院政府特殊津贴。

1983年开始从事水利工程、岩土工程、港口工程等专业领域的技术开发、工程设计、工程施工等专业技术工作,研究的主要方向为上部结构与地基基础相互作用。先后负责和参与了交通运输部、住房和城乡建设部、上海市相关专业的的设计、试验检测、施工规范的编制。独立完成的“上海高层建筑桩筏及厚筏基础共同作用设计理论”获国家教委科技进步二等奖,主编《港口工程后张法预应力混凝土大管桩设计与施工规程》,并获得中国水运建设行业协会科学技术奖二等奖,《码头结构检测与评估技术研究》获中国航海学会科技奖三等奖。参加编写《上海高层建筑上部结构与地基基础共同作用》(同济大学出版社),《桩基手册》(中国建筑工业出版社出版),先后在国际和国内专业刊物与学术会议上发表论文20多篇,获省部级科技奖9项。

前 言

Foreword

本书主要介绍了在近海港口、船坞、防波堤中应用的大排距、大宽高比的双排桩墙的结构计算与设计。

书中分为四个部分共 11 个章节来论述双排板桩墙结构、双排大管桩墙结构以及双排桩施工简介。其中第一部分概论由第一~三章组成,分别从国内、国外及大排距双排桩三方面归纳总结了双排桩的研究概况;第二部分双排桩的结构设计由第四~六章组成,其中第四章为作用于结构上的荷载;第五章为双排板桩墙的结构设计;第六章为双排混凝土管桩墙结构设计;第三部分双排桩结构施工由第七~十章组成;第四部分第十一章展望简单地论述了应用前景及尚待研究的问题。

本书的主要特点是较详细地论述了大排距、大高宽比的双排桩结构的理论计算与设计,可应用于水运工程和海洋工程的结构设计。对于从事水运工程和海洋工程的科研设计人员有一定的参考价值。

本书由周国然和姚诗伟编著,吴锋、卓杨、俞立新、方炫强、王其标等参加了部分编写工作,姚诗伟、李烨校对了全部书稿,在此一并表示感谢。同时要感谢时蓓玲博士、董建国教授、袁聚云教授、杨敏教授等的关心和帮助。特别感谢赵锡宏教授,在学习和工作中给予我的谆谆教诲和指导,使我受益匪浅。

在编写过程中,本书引用了许多科研、教学和工作单位的一些科研成果和技术总结,尽量以参考文献的形式标明,但难免会有遗漏之处,在此谨向所有作者表示谢意。

由于时间仓促,再加上所涉问题复杂及编者水平有限,因此书中难免会有不足之处,恳请广大读者批评指正。

周国然
2013 年 7 月 1 日

 目 录
Contents

第一部分 概 论

第一章 国内双排桩结构的设计	3
1.1 理论研究	3
1.2 其他理论研究	8
1.3 双排桩结构特点	10
第二章 国外双排桩结构的施工设计	12
2.1 英国标准《海工建筑物》方法	12
2.2 日本钢管桩协会和新日本制铁公司方法	13
第三章 大排距双排桩结构特点与设计施工	20

第二部分 双排桩的结构设计

第四章 作用于结构上的荷载	25
4.1 水压力	25
4.2 波浪力	26
4.3 土压力	35
4.4 船舶荷载	41
4.5 荷载组合	45
第五章 双排板桩墙结构的设计	46
5.1 概述	46
5.2 双排板桩墙结构的横向性能	47
5.3 结构计算	70
5.4 模型试验	76
5.5 根据试验结果的计算模型研究	91
5.6 工程实例	106
第六章 双排混凝土管桩墙结构的设计	116

6.1 概述	116
6.2 双排混凝土管桩结构的设计原理(计算模型)	117
6.3 结构验算	132
6.4 双排管桩的模型试验	152
6.5 计算实例	161

第三部分 双排桩结构的施工

第七章 挖除淤泥	195
7.1 概述	195
7.2 挖泥要求	195
第八章 钢板桩施工	197
8.1 概述	197
8.2 钢板桩施工	197
8.3 常用钢板桩	205
8.4 拉杆施工的制作及安装	213
8.5 防腐措施	214
第九章 预应力混凝土大直径管桩的设计与施工	218
9.1 管桩设计	218
9.2 预应力混凝土管桩制作及拼接	230
9.3 管桩的吊运、堆存、运输	238
9.4 预应力混凝土管桩沉桩	239
9.5 沉桩控制标准及检测	241
第十章 抛砂与抛石	243
10.1 抛砂及加固	243
10.2 施工期抛石分层增量计算	243
10.3 水中抛石的下落速度	243

第四部分 展 望

第十一章 应用前景及尚待研究的问题	249
参考文献	250

第一部分 概 论

第一章 国内双排桩结构的设计

在我国,双排桩是一种新型的结构方案,其运用始于 20 世纪 80 ~ 90 年代,现已被越来越广泛地应用于各类工程中。与此同时,许多学者也已经进行了各种不同的研究工作。可将双排桩的研究分为三个部分,即理论研究、实验研究和数值模拟研究。

1.1 理论研究

到目前为止,基于不同假定的双排桩结构体系,已有不少计算模型,双排桩的计算理论与方法归纳起来主要有以下几类:

- (1) 根据经典土压力理论确定土压力的计算模型。
- (2) 等效刚度法。
- (3) 空间效应的双排桩支护结构研究。

1.1.1 基于经典土压力理论的计算模型

土压力是作用在双排桩结构上的荷载。土压力计算理论主要有朗肯理论和库仑理论,它们都是按极限平衡条件导出的。

1) 桩间土(体积)比例系数法

桩间土(体积)比例系数法,是根据桩间滑动土体所占桩后土体总体积的比例来确定前、后排桩所受土体压力的大小,对于其结构内力和位移可以通过结构力学中的力法进行计算。该方法基本假定为:

(1) 将前后排桩与桩顶连梁看作一个底端嵌固的刚架结构,如图 1-1 所示,视结点 A、B 为直角刚节点。

(2) 由于连梁 AB 与桩长之比很小,连梁截面刚度很大,所以可将梁 AB 看作没有变形的刚体。基坑开挖后,在土压力作用下,假定梁 AB 只能平移而不产生转角。

(3) 由于假定连梁 AB 为刚体,不产生压缩或拉伸变形,因此 A 点的水平位移等于 B 点的水平位移,即 $\Delta_A = \Delta_B$ 。

由上述三条假定,可进一步推导双排桩在土压力作用下的内力与位移计算。图 1-2 为刚架 ABDE 土压力简图,假定前排桩土压力合力为 E_{af} 及 E_{pf} (或土压力强度 p_{af} 及 p_{pf}),后排桩土压力合力为 E_{ab} 及 E_{pb} (或土压力强度 p_{ab} 及 p_{pb})。根据双排桩的排列形式,土压力强度可做如下简化:

以桩三角形和矩形排列为例,如图 1-3 所示,后排桩的迎土一侧可按主动土压力 σ_a 考虑,由于桩间土体对后排桩也会产生作用,其对桩的作用力用符号 $\Delta\sigma_a$ 表示。

由于桩间土宽度一般很小,所以可以认为前后排桩 $\Delta\sigma_a$ 大小相等,方向相反。由于后排桩上 σ_a 和 $\Delta\sigma_a$ 分别作用在桩的前后两面,且方向相反,因此后排桩土压力为 σ_a 与 $\Delta\sigma_a$ 的差值,前排桩为 $\Delta\sigma_a$ 。即后排桩: $p_{ab} = \sigma_a - \Delta\sigma_a$ 。前排桩: $p_{af} = \Delta\sigma_a$ 。如假定不同深度下, $\Delta\sigma_a$

与 σ_a 的比值相同,即 $\Delta\sigma_a = \alpha\sigma_a$, α 为比例系数,则有 $p_{ab} = (1 - \alpha)\sigma_a$ 。比例系数可按下式确定: $\alpha = (2L/L_0) - (L/L_0)^2$ 。同样被动土压力取值,后排桩: $p_{pb} = (1 - \alpha)\sigma_p$ 前排桩: $p_{pf} = \alpha\sigma_p$ 。

其中, L 为双排桩排距, H 为基坑深度, H_0 为桩长, $L_0 = H \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 。该方法物理概念明确,容易用程序实现,因而现阶段是为较多设计者采用的方法之一。

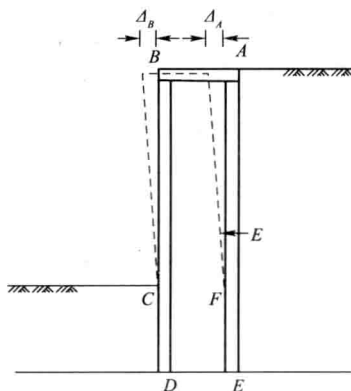


图 1-1 双排桩刚架简图

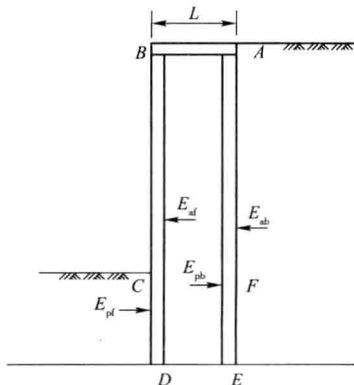


图 1-2 双排桩土压力简图

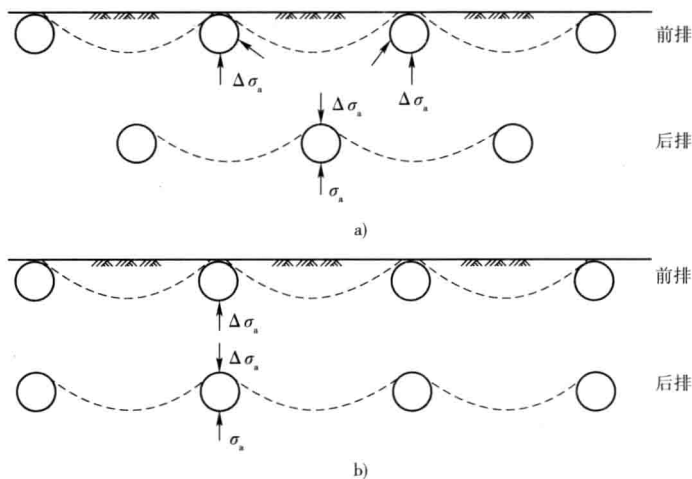


图 1-3 双排桩土压力传递
a) 三角形排列; b) 矩形排列

2) JGJ 120—2012 规范方法

国家新颁布的《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012) 根据以往的双排桩工程实例总结及通过模型试验与工程测试的研究,提出了一种双排桩的设计计算简化实用方法。

本结构分析模型认为,作用在结构两侧的荷载与单排桩相同,不同的是如何确定夹在前后排桩之间土体的反力与变形关系,这是解决双排桩计算模型的关键。本模型采用土的侧向约束假定,认为桩间土对前后排桩的土压力与桩间土的压缩变形有关,将桩间土看作水平单向压缩体,按土的压缩模量来确定水平刚度系数。同时,考虑基坑开挖后桩间土应力释放后仍存在一定的初始压力,计算土反力时应考虑其影响,本模型初始压力按桩间土自重占滑

动体自重的比值关系确定。双排桩结构可采用如图 1-4、图 1-5 所示的平面刚架结构模型进行计算。

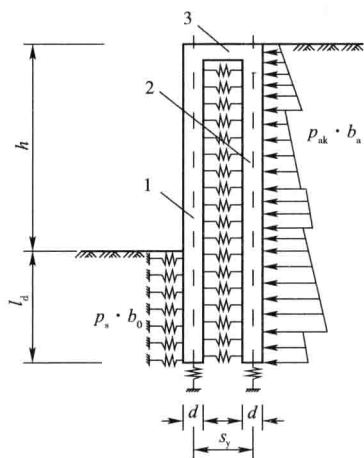


图 1-4 双排桩计算

1-前排桩;2-后排桩;3-刚架梁

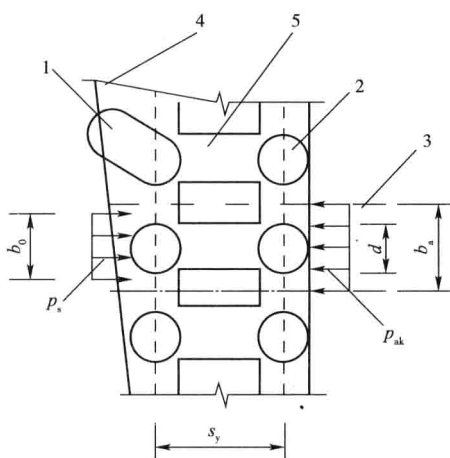


图 1-5 双排桩桩顶连梁布置

1-前排桩;2-后排桩;3-排桩对称中心线;4-桩顶冠梁;5-刚架梁

采用如图 1-4 所示的结构模型时,作用在后排桩上的主动土压力应按经典土压力理论规定计算,前排桩嵌固段上的土反力应按下列公式计算:

$$p_s = k_s v + p_{s0} \quad (1-1)$$

式中: p_s ——分布土反力(kPa);

k_s ——土的水平反力系数(kN/m^3), $k_s = m(z-h)$;

v ——挡土构件在分布土反力计算点使土体压缩的水平位移值(m);

p_{s0} ——初始土反力强度(kPa),作用在挡土构件嵌固段上的基坑内侧初始土压力强度可按经典土压力理论计算。

前、后排桩的桩间土体对桩侧的压力可按下式计算:

$$p_c = k_c \Delta v + p_{c0} \quad (1-2)$$

式中: p_c ——前、后排桩间土体对桩侧的压力(kPa),可按作用在前、后排桩上的压力相等考虑;

k_c ——桩间土的水平刚度系数(kN/m^3),见式(1-3);

Δv ——前、后排桩水平位移的差值(m):当其相对位移减小时为正值;当其相对位移增加时,取 $\Delta v = 0$;

p_{c0} ——前、后排桩间土体对桩侧的初始压力(kPa),见式(1-4)。

桩间土的水平刚度系数 k_c 可按下式计算:

$$k_c = \frac{E_s}{s_y - d} \quad (1-3)$$

式中: E_s ——计算深度处,前、后排桩间土体的压缩模量(kPa);当为成层土时,应按计算点的深度分别取相应土层的压缩模量;

s_y ——双排桩的排距(m);

d ——桩的直径(m)。

前、后排桩间土体对桩侧的初始压力 p_{co} (kPa), 可按下式计算:

$$p_{co} = (2\alpha - \alpha^2)p_{ak} \quad (1-4)$$

$$\alpha = \frac{s_y - d}{h \tan(45^\circ - \varphi_m/2)} \quad (1-5)$$

式中: p_{ak} ——支护结构外侧, 第 i 层土计算点的主动土压力强度标准值(kPa);

α ——计算系数, 当计算的 α 大于 1 时, 取 $\alpha = 1$;

h ——基坑深度(m);

φ_m ——基坑底面以上各土层按土层厚度加权的内摩擦角平均值($^\circ$);

s_y ——两排桩间距(m);

d ——桩的直径(m)。

双排桩结构的嵌固稳定性应符合下式规定(图 1-6):

$$\frac{E_{pk}a_p + Ga_G}{E_{ak}a_a} > k_e \quad (1-6)$$

式中: k_e ——嵌固稳定安全系数, 安全等级为一级、二级、三级的支挡式结构, k_e 分别不应小于 1.25、1.2、1.15;

E_{ak} 、 E_{pk} ——基坑外侧主动土压力、内侧被动土压力的标准值(kN);

a_a 、 a_p ——基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力的合力作用点至挡土构件底端的距离(m);

G ——排桩、桩顶连梁和桩间土的自重之和(kN);

a_G ——双排桩、桩顶连梁和桩间土的重心至前排桩边缘的水平距离(m)。

1.1.2 等效刚度法

该方法根据刚度等效的原则, 将前后排桩分别等效为连续墙, 进而采用弹性地基梁法进行计算。

如图 1-7 所示, 设前排桩桩径 d_1 , 桩距 t_1 , 后排桩桩径 d_2 , 桩距 t_2 , 前后排桩之间距离为 t_3 。根据刚度等效的原则, 前后排桩可分别等效为厚度为 h_1 、 h_2 的连续墙。 h_1 、 h_2 按下式计算:

$$h_1 = 0.838d_1 \sqrt[3]{\frac{d_1}{d_1 + t_1}} \quad (1-7)$$

$$h_2 = 0.838d_2 \sqrt[3]{\frac{d_2}{d_2 + t_2}} \quad (1-8)$$

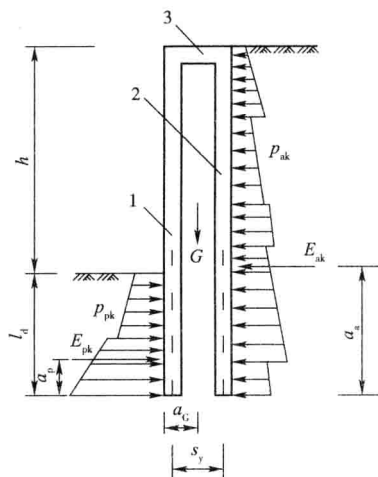


图 1-6 双排桩抗倾覆稳定性验算

1-前排桩; 2-后排桩; 3-刚架梁

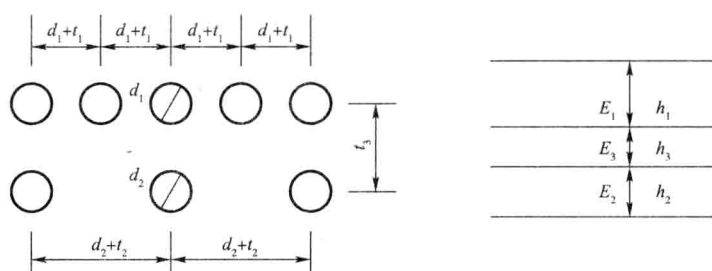


图 1-7 双排桩平面布置与简化图

双排桩支护结构就可等效为由厚度分别为 h_1, h_2, h_3 ($h_3 = t_3 - d_1/2 - d_2/2$) 的板组成的侧向挡土体系。以 1 延米为例,其整体抗弯刚度为:

$$EI = EI_1 + EI_2 + EI_3$$

$$= E_1 \left[\frac{(2h_1 + h_3)^3 - h_3^3}{24} \right] + E_2 \left[\frac{(2h_2 + h_3)^3 - h_3^3}{24} \right] + E_3 \frac{h_3^3}{12} \quad (1-9)$$

式中: EI ——整体抗弯刚度 ($\text{MN} \cdot \text{m}$);

EI_1 ——前排桩抗弯刚度 ($\text{MN} \cdot \text{m}$);

EI_2 ——后排桩抗弯刚度 ($\text{MN} \cdot \text{m}$);

E_1 ——前排桩的弹性模量 (MPa);

E_2 ——后排桩的弹性模量 (MPa);

E_3 ——桩间土体的弹性模量 (MPa)。

该方法仅适用于计算排间距小于四倍桩径的双排支护结构。

1.1.3 空间效应的双排桩支护结构研究

双排桩空间效应的研究是考虑桩与土的共同作用效应来确定前、后排桩在开挖面以上的土压力和地基土的水平基床系数;利用前、后排桩之间的滑动土体占整个土体的体积比例来确定所受土压力的大小;通过通用有限元程序分析双排桩支护结构排距等因素对土压力、桩体位移和内力的影响,研究双排桩支护结构的力学机理等。

在考虑圈梁对桩空间作用影响的基础上,根据变形协调原理建立前后桩的变形方程,一些学者推导出一种新的计算方法。该方法建立在如下假定基础上:

(1) 桩、圈梁和连梁均为线弹性体,并满足力、位移的叠加原理。

(2) 桩侧被动区土为 Winkler 离散线性弹簧,不考虑桩土之间黏结力和摩阻力。主动区采用郎肯土压力,开挖面以下采用矩形土压力分布形式。

(3) 土体的抗拉强度为零。

(4) 地基水平抗力系数随深度 z 增加而增加,即 $K(z) = mz$ 。

(5) 基坑转角处土压力空间效应影响宽度 B 等于基坑深度;在影响范围 L 内的土压力,按如图 1-8 所示抛物线进行分布;各桩在土压力作用下产生的水平位移和转角也按抛物线分布,如图 1-8 所示。