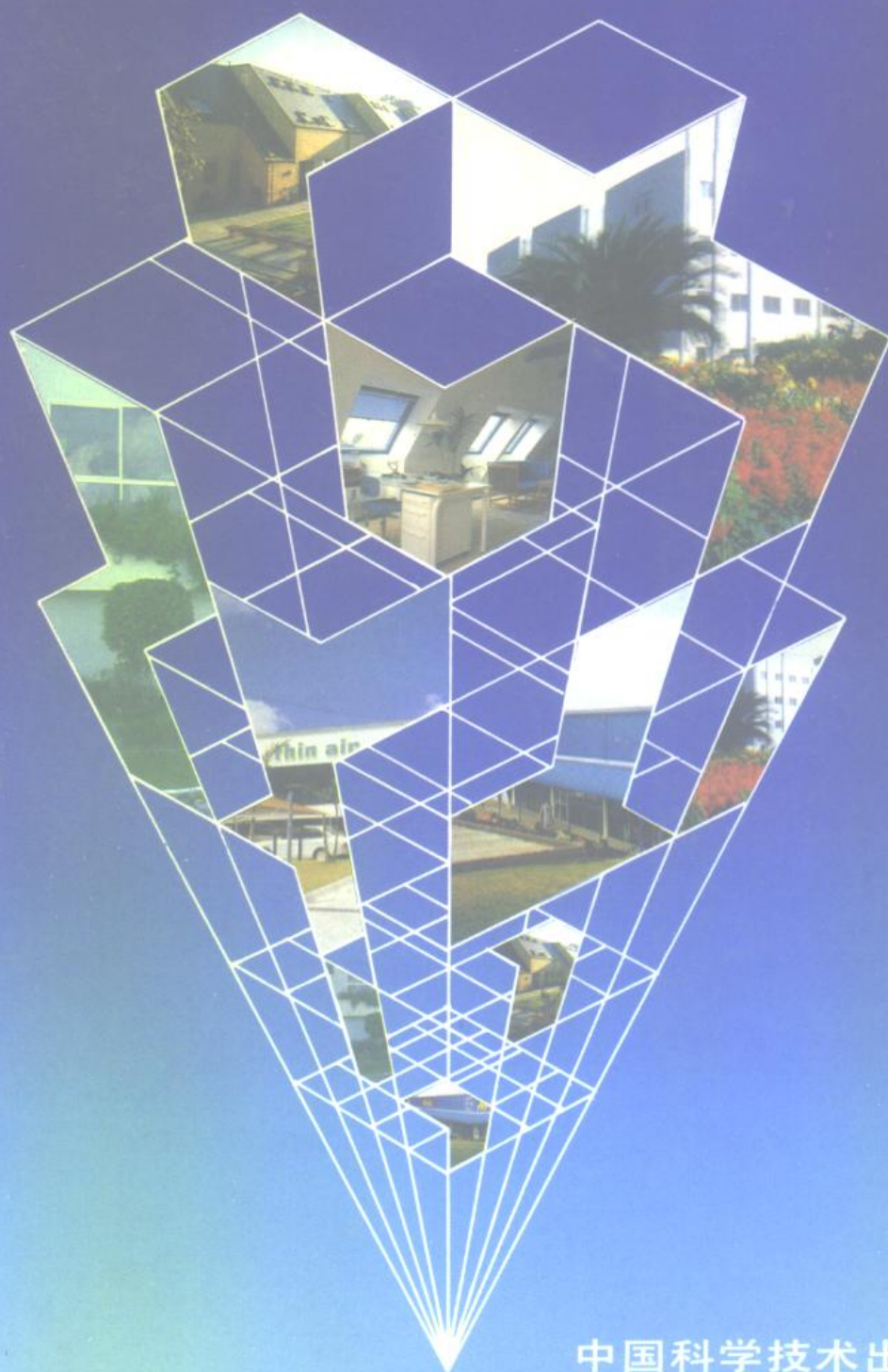


蒋国澄 主编 米祥友 彭安宁 副主编

基础工程 400 例

技术与经济观点

上册



中国科学技术出版社

(京) 新登字 175 号

内 容 提 要

本书集建筑基础工程的实用技术、研究成果、设计方法、施工经验为一体,全面系统地反映了我国地基基础领域的现状和科技水平。全书分为桩基、天然地基、人工处理地基和其他各类地基等四大部分,内容包括各类高层建筑基础、有经济效益的新型基础、复杂地基上的建(构)筑物基础、各种有地区特点的基础形式以及量大面广的工业厂房和住宅建筑基础等。书中实例取材广泛,涉及全国绝大部分地区,素材包容了各类基础设计与施工方法、技术与经济比较和目前基础工程中的实用新技术。该书具有一定的权威性和较强的实用性、知识性和资料性。

本书可供工程建设部门的领导、科技与管理人员和有关的中、高等院校师生等参考使用。

基 础 工 程 400 例

(上 册)

蒋国澄 主编 米群友 彭安宁 副主编

*

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

机械工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 49 字数: 1251 千字

1995 年 4 月第 1 版 1995 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—4050 册 定价: 55.80 元

ISBN 7-5046-1330-4/T·23

前 言

地基基础是工程建设的重要组成部分。尤其是建筑基础，它的造价、工期和劳动消耗量，均占工程建设的较大比重。统计表明，我国的一般多层建筑地基基础费用约占总造价的25%左右，高层建筑或在复杂地基条件下的基础工程占的比重更大，有的高达总投资的1/3甚至还多。同时，由于众多的基础施工耗费人力大、工期长，甚至阻碍了整个工程建设进度，影响了工程投资效益。因而，地基基础工程技术的发展和改进，具有极其重要的意义。

众所周知，地基基础是属于地下隐蔽工程，据调查统计，在世界各国的工程事故中，以地基基础发生的事故最多，而且这类事故一旦发生，不光损失巨大，同时补救将十分困难。地基基础的安全性，取决于天然土的条件、基础类型以及上部结构的特性。发生事故的原因往往是设计上的失误和施工质量问题。从设计方面说，诸如忽视了现实存在的复杂因素，或过份相信了某些简化的设计理论及计算方法。诚然，基础工程领域是建筑行业中最古老的领域之一，但基础工程理论的创建却十分年轻，发展缓慢。究其原因，主要是作为特殊建筑材料的天然地基土，具有比其他任何建筑材料都复杂的物理力学性质，因而导致部分地基基础工程的理论计算比实际情况差异甚大。故对基础工程的设计，仅注重理论上的计算是远远不够的，它要求设计人员必须深入研究、综合判断实际工程的不同条件和相关因素，在不断吸收和借鉴其他工程经验及教训的基础上，才能有的放矢地作好具体工程的设计工作。

鉴于上述原因，并考虑到我国近年来各类工程地基基础建设数量庞大，为了使设计、施工和科研人员能用少量的时间、最快的速度了解和吸取别人的经验，作好基础工程的设计和选型工作，达到少花钱、多办事、办好事这一目的，在建设部领导和各有关部门的关心及支持下，我们于1993年初提出了此书的选题意见。这一选题设想很快得到了中国科学技术出版社的首肯，并列入了该社的出版计划。

本书选择的内容为我国已经建设或正在建设的具体基础工程设计(研究)实例,大部分工程已经过长期的使用,反应效果良好。积腋成裘,聚沙成塔,只要对工程建设有一定借鉴作用或参考价值的实例,我们都尽量收入书中。因而,此书内容取材广泛,地域涉及到国内绝大部分地区,素材包容了目前基础工程所遇到的方方面面问题,并且每例内容都十分注重技术与经济双指标的分析和比较。参加本书撰稿的均为具有实践经验并长期从事地基基础设计或施工的技术人员,其中很多作者为本领域的著名专家。

为使读者查阅方便,我们将该书分为四个部分。第一部分为桩基础,内容包括灌注桩、预制桩两大类;第二部分为天然地基基础,包括单独和条形基础、十字交叉基础、片筏基础、壳体基础和箱形基础等;第三部分为人工处理地基,本部分仅包括碎石桩、强夯和 CFG 桩等;第四部分为特殊地基基础及其他,主要内容包括在特殊性能地基和稳定性有问题地基的条件下,工程地基基础的设计和其他有关的处理方法等等。本书的上述内容基本上反映了我国地基基础领域的现状和技术水平,具有较强的知识性、实用性和资料文献价值,读者可从中得到有益的知识,受到启迪和帮助。

我们认为,编辑本书在一定程度上起到了对我国地基基础工程设计与施工技术的经验的总结、交流,是一件十分有意义的工作。由于考虑到一次出齐 400 例,无论从本书的容量上还是从出版的时间上来讲都有一定困难,故我们计划将《基础工程 400 例》分上下二册两次编辑出版。本次出版为《基础工程 400 例》上册。鉴于目前尚有一些优秀的基础工程设计实例来不及收集,现衷心希望同行专家将其写成介绍实例寄给我们,为编辑《基础工程 400 例》下册做好准备。

本书的编写是在中国土木工程学会领导下进行的,在编写过程中,得到了学会领导和有关部门的大力支持,在此,一并表示感谢。

由于本书征稿的时间仓促,加之照顾到有些地区的因素,致使文稿质量标准不一。我们虽对部分稿件作了一定的加工,但限于学术水平和实践经验,书中定有诸多不足不妥之处,敬请读者批评指正。

蒋国澄 米祥友 彭安宁

1994 年夏于北京百万庄

目 录

前 言

应科学地选择基础类型.....	1
-----------------	---

一、桩 基 础

小桩加固浅层软土地基及沉降计算方法的改进.....	5
海南外贸大厦基础设计	10
上海鑫兴大厦基础设计	20
西安皇后大酒店主裙楼连为整体的基础设计	25
上海喜临门大酒店软土地基桩基设计	31
打入式入岩灌注桩及高强预应力管桩在高层建筑中的应用	38
抚顺饮服公司大楼的深基础工程	48
南京洪武南路 D03 高层住宅桩基础设计	54
自重湿陷性黄土区灌注桩桩箱联合基础设计	64
鄂城墩联合大厦基础设计	76
广州德政南小区综合楼基础设计	82
嵌入卵石层的大直径冲（钻）孔灌注桩的应用与探讨	89
清华大学图书馆新馆预制短桩基础设计	98
中国人民银行南京分行大楼基础设计.....	107
夯扩桩基——多层住宅的经济型基础.....	112
深业大厦 $\phi 600$ 混凝土灌注桩应用实例	119
国家气象局数值预报楼基础设计实例.....	122
疏桩基桩及工程实例.....	130
用静压预制桩补救沉管灌注桩基桩工程实例.....	136
湖北省图书馆中文馆基础工程.....	141
某大楼预制桩基础的选型与设计.....	145
协调高层建筑主楼与裙房桩基差异沉降的技巧.....	150
大厚度湿陷性黄土地基上桩箱联合基础的应用.....	152
武汉市稷园大厦的基础工程设计.....	162
北京首汽地下车库基础设计实例与合理方案的探讨.....	166
宁波国际大厦工程潜水钻孔灌注桩常见故障及排除方法.....	174
挖掘式倒筑钢筋混凝土空腔基础的设计与施工.....	181
人工挖孔扩底桩加高压旋喷注浆加固地基的综合基础设计.....	186
不规则桩基联合承台的设计及探讨.....	188
无桩靴夯扩桩应用介绍.....	196

川仪宾馆基础设计·····	204
降低人工挖孔桩基础造价的有效措施·····	208
采用灌浆止水的人工挖孔桩实例·····	214
静压桩基处理非自重湿陷性黄土地基的实例·····	218
锤击沉管灌注桩大面积离析断桩的工程实例·····	220
玛珠基维奇 (MAZUY KIE WICZ) 方法的应用探讨·····	224
旧区内高层建筑深基础设计·····	228
中南财经大学教工住宅楼桩基础的设计与施工·····	231
高承载力锚杆静压长桩基础设计·····	237
解决单桩承载力不足的实例·····	239
桩基——复合地基设计实例分析·····	243
彭城电厂桩基及液化地基处理·····	249
云南涤纶化纤厂复打式沉管灌注桩的设计与施工·····	257
大直径钻孔桩在多层预应力厂房基础中的应用·····	266
扩底桩在杂填土地基中的应用·····	274
已腐蚀地基上的基础设计·····	276
安源煤矸石发电厂主厂房基础设计与施工·····	282
桩土共同作用的设计与逆作法施工·····	291
凤凰颈泵站复杂地基的基础设计·····	295
人工挖孔扩底桩在狭窄场地工程中的应用·····	302
大直径钻孔灌注桩的实际应用·····	306
山东华能德州电厂二期工程主厂房地基处理方案设计简介·····	308
人工挖孔空心灌注桩的实践·····	317
武钢新一号空压机站基础工程·····	326
黄台电厂六期工程灌注桩设计简介·····	333
宁波金龙饭店基础设计·····	341
从某高层建筑工程桩的混凝土质量事故看水电效应法对混凝土质量的检验效果·····	347
构筑物桩基工程处理·····	352
无砂混凝土钻孔灌注桩在立交桥基础中的应用·····	356

二、天然地基基础

北京西苑饭店新楼的基础设计·····	363
金河大酒店基础设计·····	369
京西宾馆东楼地基基础设计·····	373
贵阳市新百货大楼基础设计·····	380
沈阳裕宁大厦基础设计·····	386
双向条形基础在多层建筑中的应用·····	395
软土地基的浅层处理和浅埋基础的探讨·····	399
柱下条块基础的设计·····	404
考虑地基实际变形特征的基础实用分析方法·····	413

武汉保险公司综合大楼基础设计·····	422
往复移动荷载作用下弹性地基梁的设计·····	425
北京燕莎中心工程地基回弹与沉降观测结果的初步分析·····	432
折板基础设计的应用·····	439
筏板——箱形基础在高层建筑中的应用·····	449
缩减刚性基础的设计方法·····	456
一项内框架建筑基础工程实例·····	461
纵向折板基础的应用工程实例·····	468
东莞大厦的基础设计·····	472
影响高层建筑箱形基础设计质量的问题和防止措施·····	476
折板基础在软弱地基上的成功应用·····	482
多跨钢筋混凝土浮筏式 V 形折板基础的设计 ·····	488
单层配筋的钢筋混凝土筏片基础设计·····	493
太原第二热电厂四期工程主厂房筏形基础的设计简介·····	496
钢筋混凝土圆筒煤仓地基基础设计·····	502
偏心受压基础直接算法新解·····	513
高耸设备的联合薄壳基础设计·····	518

三、人工处理地基

简易强夯法加固市内杂填土地基的工程实践·····	527
应用强夯法加固某教学楼湿陷性黄土地基的做法·····	531
用粉体喷射搅拌法加固厚填土的工程实例·····	536
扬子乙烯工程地基处理与试验·····	544
饱和黄土或黄土状土置换砂石垫层作建筑基础的试验研究·····	556
威海电厂强夯法加固地基简介·····	563
振冲加固张家港电厂淤泥质粉土地基的成效·····	570
桂林地区岩溶及土洞发育场地的地基处理和基础设计·····	574
用振冲碎石桩代替预制桩的工程实例·····	583
玉融花园刚性桩复合地基工程·····	588
山西太原柳南小区 19 号楼基础工程设计实例 ·····	593
软土地基上大面积堆荷工程实例报告·····	598
能源部水利部北京勘测设计院科研设计楼基础设计·····	602
大冶钢厂重油罐压实填土地基——壳体基础工程实例·····	605
砂卵石回填地基的工程实例·····	611
复杂地基基础处理设计探讨·····	616
砂石桩处理地基和基础的工程实例·····	621

四、特殊地基基础及其他

满归铁路旅客站房钻孔插入桩基础·····	627
多年冻土地区建筑基础的合理选型·····	633

在季节性冻土地基上住宅楼基础浅埋工程实例·····	636
劲涛铁路房屋钻孔爆扩桩基础·····	642
砖砌空心沉井基础·····	646
岩石锚杆基础的应用·····	653
房屋增层基础宽度不够的解决方法·····	657
青岛辛家店三小区基础工程设计实例·····	662
混凝土扩底空心墩基础·····	665
新建房屋地基中原有防空洞的处理方法·····	671
防空洞与地基基础·····	674
相邻建筑基础施工事故实例及补救措施·····	681
大直径人工挖孔扩底灌注桩在旧房改造工程中的应用·····	684
一种新的浅基础形式——短墩基础·····	691
爆坑基础·····	700
基础加固处理实例·····	702
桩墙(柱)合一挖孔桩在沈阳市农贸大厦地下室工程中的应用·····	705
φ130 小桩加固冷藏库地基·····	712
地基中洞穴对建筑物安全的影响及其处理·····	718
宁波市浅基础调查与研究·····	721
宁波国际大厦工程深基坑开挖的设计与施工·····	732
钢筋混凝土灌注桩在治理山区地基滑坡中的应用·····	737
福建龙溪胶合板厂主厂房岩土工程处理实例·····	744
直接大直径锚杆钢柱基础·····	749
倒筑空腔基础·····	751
某喀斯特洞穴工程柱基沉降开裂机理及处理·····	754
多年冻土地区某办公楼冻害实例分析·····	758
严寒地区低层住宅基础的探讨·····	760
西藏高寒地区地基与基础的论析·····	763
高寒地区部分多年冻土地基上条形基础的设计应用·····	767
灌注桩膨胀剂的性能与应用·····	769

应科学地选择基础类型

中国土木工程学会 米祥友

中国建筑科学研究院 彭安宁

地基基础是工程建设的重要组成部分，其造价、工期和劳动消耗量均占工程建设的较大比重。随着现代经济和科学技术的飞速发展，建设工程出现了结构复杂化，规模大型化，功能多样化，使用特殊化等一系列变化，给工程基础设计提出了各种新的要求。鉴于当前我国地基基础领域的科技水平，还比较落后，加之天然地基土材料的复杂特殊性决定了地基基础理论计算与实际情况相差甚大，故在各类建筑基础设计中，时常出现方案选择上生搬硬套，基础设计上脱离实际。有的工程为了赶进度，图省事，求保险，则随意提高基础设计的类别和档次。不合理的设计，浪费了大量的建设资金，必须引起工程界的关注。

70年代末，我国高层建筑开始兴起，高层建筑“箱形基础热”曾一度席卷全国。那时，各地的高层建筑不管当地的土质条件是软粘土还是硬粘土，是砂土还是黄土，多采用箱形基础，即使是在坚硬的卵石地基上，部分工程也要照般箱基方案。同时，“箱基热”推动了刚性基础与土相互作用的研究工作，并由此而诞生了《高层建筑箱形基础设计与施工规程》。

基础工程不仅与上部结构相互影响，而且与复杂的地基条件直接发生关系，其计算分析的难度很大。近年来，随着建筑施工技术特别是打桩机械的发展，一些设计单位找到了更为简便、保险的做法，一度出现了“桩基热”。部分单位在地基基础设计中，往往忽视了天然地基的实际承载能力，有时只图省事，放弃了其它经济合理的设计方案，动辄就是打桩。由于每一种基础形式都是在满足某种客观需要的条件下产生并得以发展的，设计人员在设计中应视客观需要而选用恰当的基础类别。若盲目地选用桩基，其后果之一是加剧了日后地下空间的开发难度，使许多城市地下桩林密布，给地下空间的发展设置了层层障碍，出现了作茧自缚现象；二是导致地基基础建设费用增大，有的高达工程总投资的1/3甚至更多，造成大量的建设资金被白白地埋入地下。

在满足结构安全的前提下，优先选用天然地基基础可以节约大量建设资金。山西太原第二热电厂四期工程主厂房，经过专家论证后，科学地将原来桩基方案改为天然地基方案，工程建成后表明，天然地基完全能满足电厂结构上的安全要求。这一项目不仅直接节约基础工程投资300多万元，而且缩短了建设工期，使电厂得以提前并网发电，其综合的社会和经济效益更为显著。保利大厦是一栋坐落在北京东四十条立交桥畔的超高层建筑（原名天地大厦）。该工程原设计的基础类型为钢管桩方案，钢管桩材料计划从美国进口，预算费用达200多万美元，后广泛听取了勘察和设计部门的专家意见，将钢管桩基础改为天然地基箱形基础。这一合理的更改，不仅节约了外汇，同时节省了近千万元建设资金，而且还大大缩短了建设周期。这一工程通过多年使用证明，其基础的类型选择是安全的、正确的、科学的。近年来，郑州、天津、深圳、南昌等地的一些工程，在选择天然地基方案中，都取得很多经验并收到了显著的经济效益。

有关国外资料分析表明，天然地基基础的造价仅为桩基的17%~67%。在工业发达的美国、日本，很多建筑也都采用天然地基，如美国休士敦市的一些高达30至75层的大厦，也

多有采用天然地基基础的，并且长期使用以来，一直安然无恙。日本是个多地震的国家，其超高层建筑采用天然地基基础方案占总基础形式的 57%。世界上工业发达国家，天然地基尤以筏形基础应用最为广泛。为了更合理地发挥混凝土和钢筋的力学特征，同时也为了进一步节省投资，部分发达国家已开始应用预应力钢筋混凝土基础。

基础工程是地下隐蔽工程，在众多的工程事故中，地基基础占的比重最大，而且这类事故一旦发生，不仅损失巨大，并且补救十分困难。因而，基础设计工作应该成为工程建设设计的中心环节，科学合理的选择地基基础类型，也是降低建设造价，保证结构安全的重要组成部分。当前，结合国情，加强地基基础的科学研究，完善工程基础设计管理体制，科学地选择基础类型已势在必行。为此建议：

1. 综合评论基础类型的合理性。一个好的基础工程必须具备能安全地支承上部结构和巧妙地将荷载传递到下部地基中。它就应具有最小的埋置深度，良好的稳定性能，又能将沉降和差异沉降控制在容许范围内，同时还应具备造价经济、施工简便快捷、对周围环境影响最小等特点。因而，要求设计人员在基础设计中，要善于掌握和了解所建工程的地质性质和地貌概况，熟悉周围环境，并能运用地质学、地貌学和地理学的知识，从地质观点、地基特性角度分析其结构性能及特征。在设计计算中，对其参数、理论的精确度和适应性要进行研究，经过多种方案的比较和调整偏差后，才能确定技术上合理和经济效果最佳的基础类型。对大型基础方案，还应请基础工程师、土力学及岩土工程专家进行多方可行性研究，以确保基础方案的科学合理性。

2. 尽快制定相应的政策措施，充分调动设计人员的积极性和创造性。对方案上经济合理，设计上精益求精，效益上又很显著的工程的设计单位和具体设计者，要分别给予重奖。反之，应有处罚措施。从政策上消除那些只求设计方便，不管耗资多少，只图四平八稳●不愿承担任何风险的思想。

3. 加紧完善设计管理体制。合理的设计方案是在科学管理体制下产生的，因此，基础工程要具有严格的设计立项管理程序和项目审批制度。设计管理部门要设置专门的权威机构，归口负责项目的可行性研究和咨询顾问工作，并应形成一种制度，凡未经专家签述咨询意见的工程方案不予审批。这样一方面可以群策群力，保证设计上经济合理；再一方面，各有关部门和设计人员共同承担责任，减轻设计者单方面的压力和他的后顾之忧。

4. 认真总结经验，尽快对现有的工程进行调查研究和科学评审。组织力量，结合目前已建成的典型工程，对其方案类型、结构使用情况以及技术和经济方面问题等，进行综合分析、评价，在此基础上编制出各类工程基础处理方案选择指南。同时还可将各类建筑基础的有关资料、数据和专家评审意见，输入电子计算机进行系统分析和处理，建立一套不同工程的基础类型软件包和专家系统，供从事基础设计人员查阅、咨询和借鉴。

5. 加强理论和应用的研究，注重经验积累工作。为有效地提高基础工程设计水平，希望各地区、各部门应做好对建筑基底压力、沉降变形和基础钢筋应力的测试，加强典型基础工程的实测分析，同时做好新型基础的开发和应用，写出研究报告和论文，以进一步促进我国基础工程设计水平的提高。

本文强调在满足结构安全的前提下，优先选用天然地基基础，并不是否认采用其它地基处理方法。各类地基基础都有其特定的适应条件和范围。在设计基础工程时，具体问题必须做具体分析，反对盲目照搬照套的做法，只有科学地选择相适应的地基基础类型，才可确保将有限的建设资金能真正地用在刀刃上。

一、桩 基 础

小桩加固浅层软土地基及沉降 计算方法的改进

上海市城市规划管理局 孙更生

上海市民用建筑设计院于 1987 年开始开发小桩桩基加固浅层软土地基, 到 1989 年已有 100 余幢多层(一般为 6 层)住宅建筑采用这种桩基, 效果良好。小桩截面为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$, 钢筋混凝土预制桩, 桩长 16m, 分二段预制, 300# 混凝土, 接头用简易角钢焊接。桩身大部分处于淤泥质粘性土中, 其孔隙比为 $1.29 \sim 1.32$, 含水量达 $47\% \sim 54\%$; 持力层为粘土夹薄层粉砂, 土性虽较淤泥质粘性土略好, 但不属硬土, 其孔隙比为 1.11, 含水量为 39% 。通过单桩荷载试验, 确定单桩极限承载力为 250kN。

过去桩基持力层选择深约 26m 的粉质粘土, 土性好得多, 孔隙比为 0.69, 含水量为 24% , 桩的截面为 $45\text{cm} \times 45\text{cm}$, 但造价较高。

由于小桩为预制桩, 质量容易得到保证, 而且施工完成后无需作现场检测, 故与其他加固方法比较, 在技术经验和保证质量方面, 有较大优势。

一、小桩桩基设计原则

(一) 小桩桩基的特点

1. 小桩桩基的设计是以变形控制为原则, 考虑桩与承台共同作用, 介于天然地基浅基础与一般桩基之间的一种基础类型, 是减少软土地基沉降和不均匀沉降的浅层加固方法之一。

2. 小桩一般是摩擦桩, 在承台产生一定沉降的情况下, 桩能发挥其全部极限承载力, 有效地减少沉降量, 同时桩间土也能承担部分荷载。

3. 与按桩承担全部外荷载的常规方法设计相比, 根据不同土质和容许沉降量要求, 用桩数量可减少 $30\% \sim 70\%$ 。由于对持力层土质的要求比一般桩基低些, 故桩的长度也可减短。

4. 它与一般加固浅层杂填土的短桩也不同, 后者长度要短得多, 设计时根据经验, 荷载由桩承担 70% , 由桩间土承担 30% ; 而小桩桩基是以沉降计算确定桩数的, 而且采用明特林(Mindlin)理论计算应力, 沉降的计算值与实测值较为接近。

(二) 小桩桩基的极限荷载

理论分析和工程观测证明, 对于软土地基中桩距较大的摩擦桩群所组成的低承台桩基, 其荷载与沉降的关系曲线如图 1 中虚线所示, 也可简化用折线 OAB 表示。图中 P_u 为桩基中各单桩极限承载力之和, P 为外荷载, P_u 为桩基极限荷载。与 P_u 相对应的 A 点处有较明显的转折。

桩与承台分担外荷载的情况随时间和外荷载的大小而变化。在荷载较小时, 主要由桩承担外荷载, 承台居次要地位; 随着荷载增大, 承台作用逐渐发挥, 当荷载超出各单桩极限承载力之和时, 承台就承担了荷载超出各单桩极限承载力之和的余下部分。

小桩桩基的极限荷载 P_u 可按公式 (1) 计算:

$$P_u = n(\lambda P_{su} + P_{pu}) + R_d F \quad (1)$$

式中 n ——桩数；

λ ——修正系数，在软土中可取 1.0；

P_{su} ——单桩桩侧极限摩阻力；

P_{pu} ——单桩桩端极限阻力；

R_d ——承台底埋深处地基土极限承载力；

F ——承台底面积。

(三) 小桩桩基的沉降计算原则

1. 当外荷载小于各单桩极限承载力之和时 ($P < P_a$)，桩基沉降是外荷载完全由桩基承担条件下桩端以下土层压缩产生的沉降量。

2. 当外荷载超过各单桩极限承载力之和时 ($P \geq P_a$)，桩与桩间土之间产生相对滑移，这时桩群上始终保持承担 P_a ，而承台则承担荷载 ($P - P_a$)，则桩基沉降是桩端以下土层和桩身范围内土层的压缩量之和。

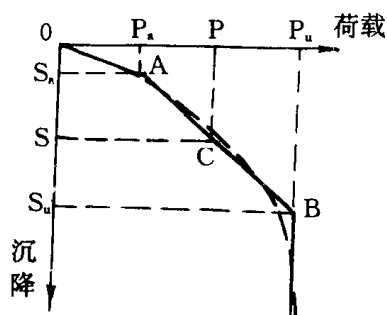


图1 桩与承台共同作用时，荷载与沉降曲线

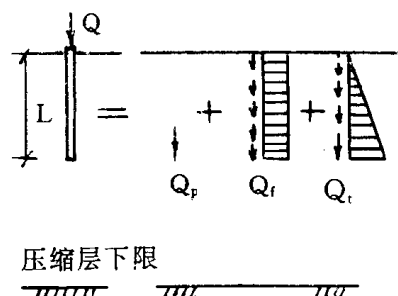


图2 单桩荷载分解为三种形式荷载的组合

二、小桩桩基的设计计算

(一) 沉降计算

长度为 L 的单桩在荷载 Q 的作用下，对地基土产生的作用力，可视作如图 2 所示的桩端集中力 Q_p 、桩侧均匀分布的摩阻力 Q_f 和桩侧随深度线性增长分布的摩阻力 Q_t 三种形式荷载的组合。

盖茨 (S. D. Geddes) 根据弹性半无限体中作用一集中力时的明特林应力解，导出了单桩的上述三种形式荷载在地基中产生的应力计算公式，则地基中的竖向应力 σ_z 可按式计算：

$$\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zf} + \sigma_{zt} = \frac{Q_p K_p}{L^2} + \frac{Q_f K_f}{L^2} + \frac{Q_t K_t}{L^2} \quad (2)$$

式中 K_p 、 K_f 、 K_t 为竖向应力系数，其值如下：

$$K_p = \frac{1}{8\pi(1-\mu)} \left\{ -\frac{(1-2\mu)(m-1)}{A^3} + \frac{(1-2\mu)(m-1)}{B^3} - \frac{3(m-1)^3}{A^5} - \frac{3(3-4\mu)m(m+1)^2 - 3(m+1)(5m-1)}{B^5} - \frac{30m(m+1)^3}{B^7} \right\} \quad (3)$$

$$K_f = \frac{1}{8\pi(1-\mu)} \left\{ -\frac{2(2-\mu)}{A} + \frac{2(2-\mu) + 2(1-2\mu)\frac{m}{n}\left(\frac{m}{n} + \frac{1}{n}\right)}{B} - \frac{2(1-2\mu)\left(\frac{m}{n}\right)^2}{F} \right\}$$

$$+ \frac{n^2}{A^3} + \frac{4m^2 - 4(1+\mu)m^2\left(\frac{m}{n}\right)^2}{F^3} + \frac{4m(1+\mu)(m+1)\left(\frac{m}{n} + \frac{1}{n}\right)^2 - (4m^2 + n^2)}{B^3} \\ + \frac{6m^2\left(\frac{m^4 - n^4}{n^2}\right)}{F^5} + \frac{6m\left[mn^2 - \frac{1}{n^2}(m+1)^5\right]}{B^5} \quad (4)$$

$$K_t = \frac{1}{4\pi(1-\mu)} \left[-\frac{2(2-\mu)}{A} + \frac{2(2-\mu)(4m+1) - 2(1-2\mu)\left(\frac{m}{n}\right)^2(m+1)}{B} \right. \\ + \frac{2(1-2\mu)\frac{m^3}{n^2} - 8(2-\mu)m}{F} + \frac{mn^2 + (m-1)^3}{A^3} \\ + \frac{4\mu n^2 m + 4m^3 - 15n^2 m - 2(5+2\mu)\left(\frac{m}{n}\right)^2(m+1)^3 + (m+1)^3}{B^3} \\ + \frac{2(7-2\mu)mn^2 - 6m^3 + 2(5+2\mu)\left(\frac{m}{n}\right)^2 m^3}{F^3} \\ + \frac{6mn^2(n^2 - m^2) + 12\left(\frac{m}{n}\right)^2(m+1)^5}{B^5} - \frac{12\left(\frac{m}{n}\right)^2 m^5 + 6mn^2(n^2 - m^2)}{F^5} \\ \left. - 2(2-\mu) \ln\left(\frac{A+m-1}{F+m} \cdot \frac{B+m+1}{F+m}\right) \right] \quad (5)$$

式中 $A^2 = n^2 + (m-1)^2$, $B^2 = n^2 + (m+1)^2$, $F^2 = n^2 + m^2$, $m = \frac{z}{L}$, $n = \frac{r}{L}$

z ——计算应力点离地表面的垂直距离；

r ——计算应力点离桩轴线的水平距离。

对于由 n 根桩组成的桩群，地基中的竖向应力 σ_{zg} 可对 n 根桩逐根按公式 (2) 计算后叠加求得，随后采用与常用的单向分层总和法一样的规定确定压缩层深度并计算最终沉降量。

由于公式 (3) ~ (5) 极为冗长，加上桩群在平面上布置不规则、荷重分布不均匀等复杂因素，上海市民用建筑设计院的专家采用了影响图及电算计算系统方法，以利推广应用。

在进行小桩桩基沉降计算时，应区分下列二种情况：

1. 当 $P < P_a$ 时，桩基沉降可直接按上述方法计算；
2. 当 $P \geq P_a$ 时，桩基中桩群始终承担 P_a ，而承台承担 $(P - P_a)$ ，地基中竖向应力应是这二部分荷载产生的竖向应力之和：

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^n (\sigma_{zp,i} + \sigma_{zf,i} + \sigma_{zt,i}) + \sigma_{z,(P-P_a)} \quad (6)$$

式中 $\sigma_{z,(P-P_a)}$ 为承台承担的荷载 $(P - P_a)$ 在地基中所产生的竖向应力，其计算方法和天然地基中的应力计算方法相同。

(二) 桩数的确定

所需桩数是按控制沉降量的原则确定的，一般需经过若干不同用桩数量方案的沉降试算分析后，才能确定用桩数量，如图 3 所示， n_1 为按外荷载全部由桩承担的常规方法设计的桩基用桩数量； n_0 为桩基中各单桩极限承载力之和与外

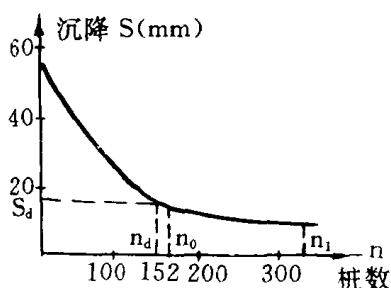


图 3 沉降量与桩数的关系曲线

荷载相等时, 并以上述明特林理论计算竖向应力及相应沉降量确定的用桩数量, 可见 n_0 比 n_1 少得多。

在计算不同用桩数量的桩基沉降量时, 若 $n < n_0$, 按上述 $P \geq P_a$ 情况进行计算; 若 $n_0 < n < n_1$, 按 $P < P_a$ 情况进行计算。从图 3 中 $S-n$ 曲线可知, 当桩数较少时, 桩数的增加对减少沉降的效果很明显; 但当桩数达到一定程度后, 继续增加桩数对减少沉降的作用就不大。

设计时可按建筑物的容许沉降量 S_d 在 $S-n$ 曲线上确定桩基实际所需的用桩数量 n_d 。

三、工程实例

某居住区一幢六层住宅, 上部为砖混结构, 传至承台梁顶面处的总重约 39000kN, 基础面积为 $42.5\text{m} \times 10.5\text{m}$ 。

地基土很软弱, 其物理力学性质指标如表 1 所示。

表 1 地基土的物理力学性质指标

土 层	层底标高 (m)	γ (kN/m ³)	e	w (%)
褐黄色粉质粘土	-2.90	18.6	0.93	33
灰色淤泥质粉质粘土	-4.50	17.5	1.29	47
灰色淤泥质粘土	-13.60	16.8	1.32	54
灰色粘土夹薄层粉砂	-18.90	18.0	1.11	39
灰色粉砂夹粘土	-26.20	18.6	0.91	32
暗绿色粉质粘土	-29.00	20.1	0.69	24

一般常规的设计, 可选择埋深在 26.20m 的暗绿色粉质粘土为桩基持力层, 桩截面较大, 为 $45\text{cm} \times 45\text{cm}$, 造价大。本工程采用 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的小桩, 桩长 16m, 分二段预制, 持力层选择灰色粘土夹薄层粉砂层, 孔隙比 1.11, 土质并不好, 但较淤泥质土稍好。

根据单桩荷载试验, 确定单桩极限承载力为 250kN。由桩身结构强度确定的单桩容许承载力为 240~300kN。

根据上海市地基基础设计规范, 采用容许沉降量为 18cm。在 $S-n$ 曲线上查得的用桩数量为 152 根, 仅为常规方法设计小桩用桩数量的 39%。

本工程在竣工时各观测点的沉降量为 7.7~9.3cm, 平均为 8cm, 平均沉降速率为 1.1mm/日; 竣工后一年, 平均沉降为 11.4cm, 平均沉降速率减至 0.02mm/日。实测推算最终平均沉降量为 15cm, 与计算值 18cm 接近, 而且建筑物在今后漫长的时间内还有微小的均匀沉降的增量, 将更接近计算值。

条形基础作为小桩桩基的承台, 其总面积在实际用桩数量尚未确定前, 先可按假定外荷载全部由承台承担的原则, 初步确定其埋深及底面尺寸, 待实际用桩数量确定后, 再进行验算, 必要时进行调整。本工程的承台, 初步确定埋深为 2.2m, 然后用该埋深处地基土的临塑荷载作为初步确定承台底面尺寸的地基设计承载力, 则计算的承台底面总面积约 360m^2 。根据已确定的用桩数量并按公式 (1) 计算桩基的极限荷载, 从而计算总安全系数为 2.25。

对几种比较适合量大面广的多层住宅软土地基设计方案进行比较, 如表 2 所示。

从表 2 中技术经济指标可见, 按本文方法设计的小桩桩基比按常规方法设计的费用要低 25% 左右, 而且最终沉降量计算值完全满足容许沉降量的要求。与 8m 短桩桩基相比, 费用也要低 7%, 而且沉降量和不均匀沉降都小得多, 况且 8m 短桩桩基的沉降量大大超过容许沉降量, 则不均匀沉降量也必然过大, 引起建筑物裂损, 为不可取。此外, 与常用的多种复合地基处理方案比较, 也有明显的技术经济优势, 特别要提出的是, 质量有把握。

本工程所在的居住小区 100 余幢建筑物中, 各建筑物实际用桩数量与按常规方法设计的用桩数量之比, 由于地基土质差异, 在 30%~70% 幅度内变化。

表 2 不同桩基设计方案比较

不同桩基方案	最终平均沉降量计算值 (cm)	基础工程费用比值 (含承台)	说 明
常规方法设计的桩基	13	1.00	断面 20cm×20cm,长 16m,二段预制,荷载全部由桩承担
8m 短桩桩基	35	0.80	断面 20cm×20cm,长 8m,荷载由桩(70%)与承台(30%)共同承担
小桩桩基	18	0.75	断面 20cm×20cm,长 16m,二段预制,按本文方法设计

到 1990 年为止,上海市民用建筑设计院采用本文方法设计的建筑总面积达 70 万 m^2 ,多数为六层,部分为中高层,最高为八层,效果也好,节约资金至少有 1100 万元。同时,对该方法在上海地区十二~十四层、上部采用框架结构的高层建筑中应用的可能性进行了探索,认为是可行的。

参 考 文 献

1. 按沉降量控制的复合桩基设计方法在多层及中高层建筑中的应用. 上海市民用建筑设计院. 1991. 8.
2. 黄绍铭, 裴捷. 用影响图预估桩基沉降量. 上海市民用建筑设计院. 1991. 8.
3. 姚建明, 裴捷. 复合桩基设计计算系统. 上海市民用建筑设计院. 1991. 8.