

PKPM JCCAD

建设工程软件培训教材

PKPM建筑工程基础设计软件 JCCAD工程应用与实例分析

林柏 主编

中国建筑工业出版社

建设工程软件培训教材

PKPM 建筑工程基础设计软件 JCCAD 工程应用与实例分析

林 柏 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

PKPM 建筑工程基础设计软件 JCCAD 工程应用与实例
分析/林柏主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 4
建设工程软件培训教材
ISBN 978-7-112-19235-9

I. ①P… II. ①林… III. ①建筑结构-计算机辅助
设计-应用软件-教材 IV. ①TU311.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 050072 号

本书以可靠、长期的工程实测沉降数据为计算依据, 对 JCCAD 软件的沉降
计算原理进行分析, 并对目前应用较广的盈建科软件进行分析, 这些资料可供
同行们自行判别各种基础计算软件计算结果的合理性。

希望本书能为结构设计人员与设计审查人员提供一些参考意见与资料。

责任编辑: 李 阳 李 明 李 慧

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 姜小莲

建设工程软件培训教材 PKPM 建筑工程基础设计软件 JCCAD 工程应用与实例分析

林 柏 主 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21¼ 字数: 526 千字

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-19235-9

(28506)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编著者名单

主 编：林 柏

副主编：章 华 张正浩

参编人员

徐和财	桂岩平	王青松	方 成	李达欣
傅宏兵	丁文香	甘 晶	阮晓青	杨振兴
屠双塗	何潇琦	王 磊	徐泽晨	张健晖
顾士星	吴 昀	高 源	张 蕾	李小华
付晓玥	朱芸岚	宗 磊	吴春飞	杨石宇
何 龙	查路遥	吴春玲	徐尉杰	许红霞

参编单位：

浙江省工业设计研究院
杭州风格建筑设计有限公司
浙江瑞联建筑设计有限公司

前 言

各种基础计算软件的说明均强调：“沉降计算是基础计算的核心，是基础”，但又给出多种不同的基础沉降计算结果供使用者选择，而且这些计算方法常出自有关地基基础规范。

由本书的探讨可知，有关地基基础规范提供的沉降计算方法均存在各自的适用范围外，JCCAD、盈建科等软件的某些计算原理还可能并非完全遵循规范的原理。

由于软件的不断升级，因此直接探讨某个软件的问题就没有太大的意义。本书在收集了大量工程实例的基础上，提取出一些为地基规范所认可的典型案例，以及有着长期实测资料、较少争议的工程实例，据以对地基规范的有关公式与数据进行探讨；并可由同行们自行由这些案例直接评判各种软件计算结果的合理与否。

遵循上述原理，本书对设计人员的参考价值可能就比较长久些。

《建筑桩基技术规范》JGJ 94 在各类地基规范中，提供了最详细、最多的桩基础沉降计算与桩土荷载分担计算公式及数据，因此本书的探讨也就不可避免地主要集中在《建筑桩基技术规范》上了。

但由于个人能够收集的有关资料，其数量仅相当于地基规范编制组掌握资料的约 $1/10\sim 1/5$ 。以如此简略的数据去探讨地基规范有关公式的适用范围，唯有采取一种“穷举”的方式，即尽量列出所有数据与计算过程，以便接受同行们的复核、检验与质询。

本书主要探讨的论题如下：

1. 关于承台效应系数与桩土荷载原位分担实测数据

本书第1章补充了近年来的全国各地79例建筑物与路堤、储罐的复合桩基桩土荷载分担原位实测数据，并据以对《建筑桩基技术规范》所提供承台效应系数的适用范围进行初步探讨。

2. 关于等效作用分层总和法与明德林应力公式法的关系

本书第4章依据上海地区9项有着6~13年实测沉降数据的工程实例资料，对等效作用分层总和法与明德林应力公式法的关系进行初步探讨。

3. 关于预制桩挤土效应系数的适用范围

本书第4章依据1999年版上海地基规范用于分析桩基沉降计算经验系数的54例预制桩与钢管桩基础工程实测沉降数据，就预制桩挤土效应系数对上海地区工程的适用范围、《建筑桩基技术规范》的“挤土效应系数”能否直接应用于国标地基规范的明德林应力公式法，进行初步探讨。

4. 关于“考虑桩径影响的明德林应力公式法”的适用范围

本书第4章根据上海地区3例列入《建筑桩基技术规范》表5的工程实例，以及上海

地区 1 例有 6 年以上沉降观测资料的工程实例，分别采用“考虑桩径影响的明德林应力公式法”与“不考虑桩径影响的明德林应力公式法”进行计算，就两者的差异得出初步结论。

5. 关于《建筑桩基技术规范》的单桩、单排桩与小桩群沉降算法适用范围的探讨

本书第 4 章提供上海、山东、吉林、安徽、南京等地共 13 例单桩与小桩群的实测沉降资料，并据以对包括《建筑桩基技术规范》单桩沉降公式的 3 种单桩沉降算法进行初步探讨。

6. 关于盈建科、旗云等软件的单桩沉降计算原理与《建筑桩基技术规范》法异同的确定

本书第 4 章通过 10 余例单桩与小桩群工程的计算，对盈建科、旗云等软件的单桩沉降计算原理，与《建筑桩基技术规范》单桩沉降计算原理的异同得出初步结论。

7. 关于《建筑桩基技术规范》疏桩复合桩基沉降算法适用范围的探讨

本书第 1 章依据《建筑桩基技术规范》认可的上海与福州等地共 8 例疏桩复合桩基工程实例的资料，探讨《建筑桩基技术规范》疏桩复合桩基沉降算法的适用范围。

8. 关于“复合疏桩基础沉降算法”适用范围的探讨

本书第 3 章提供 2 例《建筑桩基技术规范》认可的上海地区工程实例资料，再补充了上海、南京、浙江、福建等地共 18 例复合疏桩基础案例，并据以对“软土地基减沉复合疏桩基础沉降算法”、“上海沉降控制复合桩基算法”与《建筑桩基技术规范》“疏桩复合桩基法”的适用范围进行探讨。

9. 关于复合地基的沉降计算方法的探讨与桩土荷载原位分担实测数据

本书第 2 章对复合地基的沉降计算方法进行初步探讨，并提供了天津、福建、南京、广东、河南、浙江、四川、安徽等地的近 30 例建筑物复合地基桩土荷载分担原位实测数据，以及全国各地约 170 例公路与铁路路堤复合地基桩土荷载分担原位实测数据，可供建筑物复合地基的设计借鉴与参考。

10. 关于基础计算软件计算天然地基基础内力的探讨

本书第 5 章提供一些有着长期沉降观测数据的工程实例，就实际沉降量对天然地基基础内力计算值的影响进行初步探讨，并依据 2 例独基—构造板基础板底土反力实测的资料，对这类基础的构造板底土反力取值问题进行初步探讨。

11. 关于天然地基与桩基础的基础原位实测应力

本书各章均就 JCCAD、盈建科等软件的计算基础内力与原位实测应力进行对比与探讨。

12. 基础软件计算结果的校检步骤

本书第 6 章依据前 5 章探讨的基础，对应用基础计算软件时，给出判读软件计算结果是否合理的校检步骤。

随着更多地基规范编制组掌握资料的公开，本书的一些初步结论或许会失效，但相信本书提供的一些工程实例，不太可能都属于地基基础规范有关公式所未能包含的特例。因此根据这些典型案例进行的探讨，对同行们或许还是有一点参考价值的。

目 录

1 JCCAD 计算复合桩基础的疑难与探讨	1
1.1 引言	1
1.2 关于“承台底基土分担比一般小于 10%”的探讨	2
1.3 承台效应系数适用范围的探讨	7
1.4 复合桩基沉降计算方法的探讨	17
1.5 小结	44
2 JCCAD 计算复合地基的疑难与探讨	45
2.1 引言	45
2.2 柔性桩复合地基计算的探讨	45
2.3 刚性桩复合地基计算的探讨	60
2.4 刚-柔性长短桩复合地基计算的探讨	77
2.5 复合地基原位实测与静载荷试验数据的对比	86
2.6 小结	86
3 基础软件计算疏桩复合桩基的疑难与探讨	88
3.1 引言	88
3.2 上海地基规范“沉降控制复合桩基”法及“JCCAD 软件”法探讨	89
3.3 《建筑桩基技术规范》“软土地基减沉复合疏桩基础”算法探讨	134
3.4 《建筑桩基技术规范》“疏桩复合桩基法”探讨	151
3.5 关于疏桩复合桩基础承台底效应系数的探讨	156
3.6 小结	160
4 基础软件计算常规桩基础的疑难与探讨	162
4.1 引言	162
4.2 两种明德林应力公式法的探讨	162
4.3 国标地基规范、《建筑桩基技术规范》与上海地基规范的桩基础沉降计 算方法对比	172
4.4 单桩与小桩群基础沉降算法的探讨	206
4.5 桩筏基础原位实测承台板钢筋应力及初步探讨	251
4.6 “上硬下软”土层桩基沉降计算的疑难	255
4.7 基础计算软件原理对承台板内力计算影响的初步探讨	266

4.8 承台桩基(6桩以上)沉降计算初探	284
4.9 小结	289
5 基础计算天然地基基础的疑难与探讨	292
5.1 引言	292
5.2 天然地基弹性地基梁板计算的沉降基床系数与位移基床系数	292
5.3 沉降基床系数与位移基床系数对天然地基基础内力计算的影响	295
5.4 天然地基筏板原位实测钢筋应力及初步探讨	303
5.5 天然地基沉降计算的难题	306
5.6 独基(墩基)-构造板(防水板)的实测土反力及构造板荷载取值初步探讨	313
5.7 小结	318
6 前5章探讨结果小结及基础软件计算结果合理性的校检步骤	319
6.1 引言	319
6.2 前5章探讨结果小结	319
6.3 基础软件计算结果合理性的校检步骤	323
主要参考文献	327
后记	330

1 JCCAD 计算复合桩基础的疑难与探讨

1.1 引言

桩土共同作用在工程界早已达成共识。由已经检索到公开发表的资料,我国已有 15 个省市 80 余例民用建筑、工业建筑、铁路路堤与储罐的桩筏基础,提供了桩土分担的现场测试的资料。这些工程实例原位实测不含地下水浮力的桩间土分担荷载比由 2%~36% 不等,含地下水浮力的桩间土分担荷载比由 4.5%~57% 不等。

由此可见,复合桩基的潜力远大于桩基础与疏桩基础。从复合桩基的理念出发,可以很顺畅地扩展到各类基础:桩基础就是忽略了板底土抗力的复合桩基;疏桩基础其实就是距径比不小于 6 倍桩径的复合桩基;复合地基在一定意义上可是认为是依靠褥垫层调整桩土分担比例的复合桩基;天然地基的基床反力系数 k 值,在采用 JCCAD 与盈建科等软件计算复合桩基中同样需要应用,而且其用途远远大于天然地基。

事实上,复合桩基即使在常规桩基础设计中也处处存在:

如现在最保守的工程师与设计审查人,一般也接受在桩基础计算中不考虑承台板自重,原因是开始浇筑承台板时混凝土强度等级为零,因此承台板自重由地基土承担。但这就是复合桩基,只不过取板底土净反力等于承台板自重而已。故同样需要输入板底土的基床系数。

又如计算桩基础地下室底板承受地下水浮力作用时的内力,由复合桩基的角度看,地下水浮力的力学效应就相当于板底土净反力。

因此常规桩基只是复合桩基的简化版,只有单桩、小桩群基础(无地下室底板或板底土脱开的情况)才属于真正意义上的常规桩基。

本章探讨的主要是指距径比不大于 6 倍桩径的复合桩基。距径比不小于 6 倍桩径的疏桩复合桩基础沉降计算有一定的特殊性,因此单独进行探讨。

2008 年版《建筑桩基技术规范》表 4 用来验证承台效应系数的 15 项工程实例,仍然是 1994 年版《建筑桩基技术规范》的工程实例。其中未提供承台底基土实测土反力分担比的数据,且缺少距径比不小于 6 倍桩径的疏桩复合桩基资料。

关于复合桩基沉降计算方法,除了上海地基规范的计算原则外,JCCAD 与盈建科等软件还将《建筑桩基技术规范》适用于距径比不小于 6 倍桩径的疏桩复合桩基沉降计算公式(5.5.14-4),推广应用于一般复合桩基。

关于承台土抗力的计算,JCCAD 软件用户手册建议承台底基土分担比一般小于 10%;桩土共同分担的计算方法采用《建筑桩基技术规范》中 5.2.5 条的相应规定。盈建科软件的计算原则为,桩土分担比例可直接指定与由程序自动计算。当由程序自动计算时,程序认为桩优先承担荷载,超过桩极限承载力标准值的部分由土承担。

在工程实践中可以发现, JCCAD 与盈建科等软件计算复合桩基的疑难有以下几点:

1. 承台底基土分担比一般小于 10% 的原则, 具体如何掌握? 承台土抗力的计算值与实际情况的符合程度如何?

2. 《建筑桩基技术规范》式(5.5.14-4) 应用于一般复合桩基, 计算值与实际情况的符合程度如何? 与上海地基规范复合桩基沉降计算法的差异。

3. 复合桩基沉降计算结果、承台底基土分担比对承台板内力计算的影响, 以及这种影响与实际情况的差别。

关于第 1、2 点疑难, 本章主要依据《建筑桩基技术规范》表 4 给出的 15 项复合桩基工程实例中, 能够检索到地质勘察资料的 11 项工程实例, 以及另行检索到公开发表的 70 余项复合桩基工程实例的实测桩土分担数据, 对计算承台土抗力的承台底土承载力特征值与承台效应系数的适用范围, 进行初步探讨。

关于第 3 点疑难, 本章主要依据《建筑桩基技术规范》表 4 给出的 15 项复合桩基工程实例中, 能够检索到上部结构荷载、地质勘察资料与实测沉降数据的上海、福州等地共 8 项工程实例, 对《建筑桩基技术规范》式(5.5.14-4) 应用于一般复合桩基的结果, 进行初步探讨。

本章还就 JCCAD、盈建科等基础软件计算的复合桩基沉降值, 以及承台底基土分担比的取值, 对基础内力计算值的影响, 进行初步探讨。

1.2 关于“承台底基土分担比一般小于 10%”的探讨

《JCCAD 用户手册及技术条件》关于计算中小桩距复合桩基础的计算原则中有一条是, 承台底基土分担比一般小于 10%。

但这条计算原则并未说明, “一般小于 10%”的承台底基土分担比与上部结构荷载的关系: 比如对于 30 层高层建筑与 3 层建筑是否等效的? 也未说明, 承台底基土分担比与承台底基土性质的关系: 对何种土质可以取接近 10% 的高值? 还有, 承台底基土分担比是否包括地下水浮力? 尤其在深、大桩筏基础设计中, 是否考虑地下水浮力的影响, 对桩筏基础设计的影响不容忽视。而对于桩基承台板内力的计算, 水浮力与承台底土抗力实际上是等价的。

盈建科软件在计算复合桩基时对桩土分担荷载比例的设定范围为 0~0.5, 但《YJK-F 基础设计软件用户手册及技术条件》中并未给出桩土分担荷载比例的建议值。

《建筑桩基技术规范》表 4 给出 15 个工程实例的实测承台底土反力, 但并未给出承台底基土的荷载分担比, 并不能直接用作“承台底基土分担比一般小于 10%”的参考数据。这 15 个工程实例所代表的地域实际上是上海 6 幢高层建筑、福州 2 个住宅小区的 6 幢 7 层住宅、山东的油田塔基、武汉 1 幢高层建筑与天津 1 幢建筑, 地域相对较窄, 作为设计参考, 值得商榷。

仅就《建筑桩基技术规范》表 4 给出 15 个工程实例而言, 若“承台底基土分担比一般小于 10%”是指承台底净土抗力的分担比, 则对于这 15 个工程实例, 已检索到上部结构、地质资料等数据的 11 个工程实例中, 上海 6 个工程与武汉 1 个工程的实测桩土分担

比均不大于10%，而福州地区4个工程的实测桩土分担比均大于10%。

具体到承台底净土抗力分担比的数值，则由最小的4.0%，到最大的26.8%不等。

可见设计人员的选择余地仍然很大，因此所谓“10%”的指标还是过于笼统了一点。

若“承台底基土分担比一般小于10%”是指含地下水浮力的实测桩土分担比，则上述11个工程中，只有1个工程（序号3，实测桩顶荷载接近单桩承载力极限值的标准复合桩基）的实测桩土分担比小于10%。

2008年版《建筑桩基技术规范》表4给出的15例桩土荷载分担原位实测工程实例，就是1994年版《建筑桩基技术规范》表5-5给出的工程实例。而近年来大量复合桩基的设计应用与原位实测，留下了大量桩土荷载分担原位实测资料，其中包括为数不少的高速公路与高速铁路路堤复合桩基数据，可以提供更多地域的有关资料，供设计人员参考。

本节通过主要发布于2008年前，上海、江苏、浙江、福建、安徽、山西、山东、陕西、四川、湖北、黑龙江、辽宁、天津、北京等地，86例复合桩基的桩土荷载分担原位实测数据（其中补充了5例疏桩复合桩基工程），对复合桩基承台底基土分担比的问题进行初步探讨。

1.2.1 国内外复合桩基承台底基土分担比的工程实例

已检索到全国14个省市、共86例复合桩基工程实例的原位实测承台底土抗力分担总荷载的比例，见表1.2.1-1，其中包括《建筑桩基技术规范》表4给出的11个工程实例：

国内原位实测承台底土抗力分担总荷载的比例

表 1.2.1-1

序号	工程名称	上部层数	桩型	基础埋深(m)	实测沉降值(mm)	沉降观测时间(d)	土分担比例(%)	土分担比例(含水浮力)(%)
1	武汉22层框架剪力墙	22	预制桩	6.5	—	—	4.9	20.0
2	上海25层框架剪力墙	25	预制桩	8.5	90	1825	10.5	27.1
3	上海20层剪力墙	20	预制桩	1.7	397	1370	4.0	7.9
4	上海12层剪力墙	12	预制桩	4.5	93	2340	6.4	12.0
5	上海16层框架剪力墙	16	预制桩	4.5	—	—	6.6	17.5
6	上海32层剪力墙	32	预制桩	4.5	37	1121	5.4	11.1
7	上海26层框架核心筒	26	钢管桩	7.6	67	1814	8.6	26.0
8	福州7层框架6号	7	沉管桩	1.0	70	>650	16.3	—
9	福州7层框架9号	7	沉管桩	1.0	90	>650	20.4	—
10	福州7层框架10号	7	沉管桩	1.0	80	>650	26.8	—
11	福州7层框架14号	7	沉管桩	1.0	67	>650	16.6	—

以上工程实例为桩基规范表4数据。已检索到地质勘察资料、上部结构、桩土分担等详细资料

12	上海60层框筒	60	钻孔桩	24.0	55.4	463	3.0	27.0
13	上海35层剪力墙	35	预制桩	4.8	20	—	10.8	21.2
14	上海杨浦区24层框剪	24	预制桩	6.5	92	767	2.0	13.4
15	上海青浦区6层砖混	6	预制桩	1.2	33.4	290	1.9	5.15
16	上海徐汇区6层砖混A楼	6	预制桩	1.2	140.0	1640	6.5	8.6
17	上海徐汇区6层砖混B楼	6	预制桩	1.2	136.0	1640	12.0	14.13
18	上海宝山区7层A楼	7	预制桩	1.2	15.5	270	0.3	1.0
19	上海宝山区7层B楼	7	预制桩	1.2	10.7	398	19.2	23.0
20	上海某桥梁4桩承台A	—	钻孔桩	1.2	8.9	117	15.0	—

1 JCCAD 计算复合桩基础的疑难与探讨

续表

序号	工程名称	上部层数	桩型	基础埋深 (m)	实测沉降值 (mm)	沉降观测 时间(d)	土分担 比例(%)	土分担比例 (含水浮力)(%)
21	上海某桥梁 5 桩承台	—	钻孔桩	1.2	5.6	117	12.5	—
22	上海某桥梁 4 桩承台 B	—	钻孔桩	1.2	6.6	117	16.5	—
23	上海某高架桥 9 桩承台 A	—	预制桩	2.0	—	—	—	4.0
24	上海某高架桥 9 桩承台 B	—	钻孔桩	2.0	—	—	—	34.0
25	上海某高架桥 21 桩承台	—	钻孔桩	—	—	—	—	25.0
26	南京 33 层框筒	33	—	10.0	—	920	—	20.9
27	南京 24 层框筒	24	预制桩	7.0	13	415	—	17.5
28	南京 31 层框筒	31	预制桩	8.45	45	314	0.0	17.5
29	南京 28 层框筒	28	钻孔桩	11.0	10.1	—	—	24.8
30	南京 9 层框架	9	预制桩	2.8	23	1100	25.8	41.2
31	南京 6 层砖混	6	沉管桩	2.0	24	605	9.2	13.2
32	苏州 18 层框架 8 桩承台	18	钻孔桩	6.0	30	420	9.4	21.4
33	苏州 18 层框架 9 桩承台	18	钻孔桩	5.2	30	420	8.1	16.1
34	苏州 18 层框架 40 桩承台	18	钻孔桩	6.0	30	420	4.4	15.4
35	徐州 9 层框架	9	沉管桩	3.8	33	600	17.2	33.8
36	江苏灌南县 6 层住宅	6	预制桩	—	82	630	0.0	—
37	杭州 22 层框剪	22	钻孔桩	7.0	20	700	10.9	20.0
38	浙江绍兴 6 层砖混 1 号	6	沉管桩	1.0	54	180	11.18	—
39	浙江绍兴 6 层砖混 2 号	6	沉管桩	1.0	43	180	11.03	—
40	浙江绍兴 6 层砖混 3 号	6	沉管桩	1.0	55	180	10.96	—
41	浙江宁波 6 层底框	6	锚杆桩	1.0	153	400	5.2	10.0
42	浙江 10 万 m ³ 油罐	—	预制桩	1.0	360	300	6.5	—
43	浙江温州 7 层砖混	7	钻孔桩	1.5	—	—	—	8.5
44	浙江台州 5 层综合楼	5	沉管桩	1.8	—	—	12.9	19.9
45	西安 36 层筒体	36	钻孔桩	13.0	17	522	14.0	—
46	西安 20 层框剪	20	钻孔桩	12.6	3.7	460	24.3	28.6
47	沈阳 14 层框架	14	挖孔桩	4.5	—	—	9.0	—
48	沈阳 15 层框架	15	挖孔墩	5.7	—	1095	19.4	—
49	辽宁桥基 1# 承台	—	预制桩	—	41	340	17.5	—
50	辽宁桥基 2# 承台	—	预制桩	—	—	—	12.0	—
51	黑龙江大庆市某过滤间	—	预制桩	8.3	—	—	22.0	—
52	福州 23 层框架	23	沉管桩	5.25	33	890	25.6	33.4
53	福建 10 层厂房	10	预制桩	4.0	19	1580	—	28
54	厦门 30 层框剪	30	人工挖孔桩	10.5	45	1095	—	75.0
55	厦门 30 层框剪	30	人工挖孔桩	11.0	50	365	—	57.0
56	湖北 16 层框剪	16	挖孔桩	4.0	17	300	—	25.0
57	重庆 30 层框剪	30	沉管桩	3.8	14	1075	11.0	—
58	江西 12 层商住楼	12	预制桩	1.2	7	270	21.3	—
59	河北唐山 25 层	25	钻孔桩	12.0	158	1150	—	17.5
60	河北邯郸 28 层	28	预制桩	7.7	—	—	36.1	—
61	山西某发电厂房 1 号承台	1	预制桩	6.0	10	658	13.6	—
62	山西某发电厂房 2 号承台	1	预制桩	6.0	12	658	17.2	—
63	山西某发电厂房 3 号承台	1	预制桩	6.0	5	658	18.0	—

1.2 关于“承台底基土分担比一般小于10%”的探讨

续表

序号	工程名称	上部 层数	桩型	基础埋深 (m)	实测沉降值 (mm)	沉降观测 时间(d)	土分担 比例(%)	土分担比例 (含水浮力)(%)
64	山西某发电厂房4号承台	1	预制桩	6.0	4.5	658	16.0	—
65	山西某选煤厂房1号承台	1	嵌岩桩	4.8	—	—	11.6	—
66	山西某选煤厂房2号承台	1	嵌岩桩	4.8	—	—	15.5	—
67	京沪高铁江南段1号承台	—	钻孔桩	—	—	—	4.05	—
68	京沪高铁江南段2号承台	—	钻孔桩	—	—	—	3.41	—
69	京沪高铁虹桥站	—	钻孔桩	—	8.5	210	37.8	—
70	京津铁路永定新河特大桥北京端	—	预制桩	—	—	440	5.7	—
71	京津高铁武清站	—	预制桩	—	—	—	5.7	—
72	沪宁城际铁路(江苏段)	—	预制桩	—	28	300	6.5	—
73	湿陷性黄土地区14层	14	钻孔桩	—	—	—	—	28.6
74	合肥18层住宅	18	预制桩	—	—	425	—	27
75	京沪高铁宿州站	—	预制桩	—	21.3	390	—	7.6
76	郑西客运专线新华山站	—	钻孔桩	—	3.2	270	—	4.5
77	郑西客运专线新临潼站	—	钻孔桩	—	4	270	—	5.6
78	郑州18层综合楼	18	钻孔桩	4.8	22	660	—	20
79	黄土地区储罐A	—	爆扩桩	—	—	—	59.76	—
80	黄土地区储罐B	—	爆扩桩	—	—	—	72.59	—
81	黄土地区储罐C	—	爆扩桩	—	—	—	55.68	—
82	南京某水池	—	钻孔桩	4.1	—	—	—	9.0
83	江苏某风机工程	—	预制桩	3.8	—	—	—	23.0~34.2
84	沪昆高铁宜春站	—	钻孔桩	—	8.6	300	24.53	—
85	天津某大厦	41	预制桩	—	3.8	—	—	13
86	洛口试桩G-25	—	钻孔桩	0.0	9.4	108	29.0	—

- 注：1. 序号23、24的“上海某高架桥9桩承台A”、“上海某高架桥9桩承台B”（姚笑青，1999），原位实测桩土荷载分担数据系架设桥梁时的资料（320 d）。未检索到高架桥运行后的资料。荷载施加方式属于“骤加荷载”类型，与常规工程的“渐加荷载”类型有所不同。
2. 序号25的“上海某高架桥21桩承台”（杨奇，2011），原位实测桩土荷载分担数据系铺轨后的资料（260 d）。
3. 序号43的“浙江温州7层砖混”（朱奎，2006），为刚性桩复合桩基，即格筏基础下布置有44 m长钻孔灌注桩与14 m长水泥搅拌桩，因此实测所得桩间土分担比例为8.5%，水泥搅拌桩分担比例为19%，钻孔灌注桩分担比例为72.5%。
4. 序号54、55的厦门2项工程（宰金珉，2007，2008），由于其桩基础为“采用桩顶变形调节装置的端承桩复合桩基”，属于可以人为调节桩间土荷载分担比例的特殊情况，因此桩间土分担比例高达57%~75%，与常规复合桩基有所不同，故未列入比较范围。
5. 序号65、66的“山西某选煤厂房1号承台、2号承台”，桩端持力层为中风化细砂岩，属较软岩，较破碎。
6. 序号79、80、81的黄土地区3项储罐工程（徐至钧，1982），其桩土荷载分担的原位监测，系按上部储罐灌注液体分级加载时进行的，尚未检索到该项目长期原位监测的资料；荷载施加方式属于“骤加荷载”类型，与常规工程的“渐加荷载”类型有所不同。
7. 序号82的南京某水池工程（杨挺，2007），由于其注水期间桩土荷载分担的原位监测持续时间为15 d，此后即排水。未检索到该项目长期原位监测的资料。荷载施加方式属于“骤加荷载”类型，与常规工程的“渐加荷载”类型有所不同。
8. 序号83的江苏某风机工程（张延军，2014），未检索到该项目长期原位监测的资料。风机基础必须承受360度偏心随机水平荷载，与常规复合桩基有所不同。且其静止时总荷载大于运行时总荷载。
9. 序号86的洛口试桩G-25（黄河洛口桩基试验研究组，1985），即1994年版桩基规范表5-2与2008年版桩基规范表3中序号13的静压108 d的承台桩试桩。荷载施加方式属于“骤加荷载”类型，与常规工程的“渐加荷载”类型有所不同。

由表 1.2.1-1 可知, 86 个工程实例中有 61 个工程实例的原位实测桩土分担比(含地下水浮力)大于 10%, 占总数的 70.9%。最高的原位实测桩土分担比(含地下水浮力)为“福建 10 层厂房”, 达到总荷载的 52.5%。

表 1.2.1-1 中不含地下水浮力的实测桩土分担比大于 10% 的工程实例也有 36 个, 占总数的 41.9%。

由表 1.2.1-1 还可以看出, 灌注桩基桩间土分担的荷载一般比预制桩基要大些。而且桩间土分担比的大小与建筑物沉降的大小无关, 主要与承台底基土参数、桩距等因素有关, 参见表 1.3.1-3。

但如序号 79~81 的非湿陷性黄土状粉质黏土中的爆扩桩圆形承台桩基, 在桩距较大桩数不多(4~10 根)的情况下, 承台底土荷载分担比为 60% 左右(徐至钧, 1982)。但该案列实例的桩均为沿圆形承台(直径 5~6.9 m)周边布置, 分别为 10 桩、4 桩、6 桩的独立承台; 且其桩土荷载分担的原位监测, 系按上部储罐灌注液体分级加载时进行的, 因此尚不足以作为其他工程的设计参考。

1.2.2 关于地下水浮力问题

1. 关于软土地区地下水浮力的浮力系数取值问题, 上海地区曾对小于 6 m 的基坑进行地下水浮力试验, 得出的结论是浮力系数接近 1。

从 1974 年起, 在中国建筑科学研究院的组织下, 对上海地区四幢大楼的箱形基础进行测试。先在上海华盛大楼、胸科大楼与康乐大楼的箱形基础侧墙板上设置了两个水位观察孔, 以观测井点降水停止后地下水位的回升问题; 随后在上海华盛大楼、胸科大楼和四平大楼三个工程的箱形基础底面埋设了渗压计, 以便观测地下水浮力的大小以及基底压力是否对水浮力有影响。

这四幢大楼中, 康乐大楼、华盛大楼、四平大楼位于上海地区的浅埋粉性土区, 基底持力层为粉性土; 胸科大楼位于上海典型的软土区, 基底持力层为黏性土。但是关于水浮力的测试结果却相当接近。

在华盛大楼工程中, 地面 2.5 m 以下为 12 m 厚的黏质粉土层。1976 年 7 月 23 日停止井点降水, 利用箱形基础侧墙板上水位观察孔进行水位观测。以 7 月 23 日的实测水位为稳定水位, 此时水位回升的总高度为 4.34 m。停止降水 24 h 后水位回升高度为回升总高度的 45%, 72 h 后约为 60%, 120 h 后约为 75%。到 1 个月后的 8 月 23 日回升到稳定水位。由此可见地下水位的回升速度相当快。

在华盛大楼的箱形基础基底还埋设了两个渗压计测量基底水浮力。从 1976 年 9 月 27 日至 11 月 22 日, 基底平均压力由 6.8 kPa 逐步增至 16.1 kPa, 而两个渗压计的实测基底水浮力维持在 (3.6~5.0) kPa 范围内, 并不随基底压力的增加而增大, 而与井点降水停止后一个月地下水水位回升高度 4.34 m (相当于水浮力 4.34 kPa) 比较接近。

在康乐大楼工程中, 地面 3.0 m 以下为 14 m 厚黏质粉土。该工程的井点降水停止后 10 h, 通过箱形基础侧墙板上水位观测孔就可以观测到地下水水位回升高度已达到回升总高度的 80%。

在胸科大楼工程中, 地面 2~3 m 硬土层以下即为深厚的淤泥质黏土层, 渗透性差。

根据箱形基础基底三个渗压计的实测水浮力和箱形基础侧墙板上水位观察孔的水位变化,由1976年8月至1978年6月,两者还是相当接近的,均在(5.0~6.0)kPa。

由上述工程的实测情况可以得出结论:在上海的软土地基中,地下水的浮力是客观存在的,基底浮力的大小完全取决于地下水位的高低,与基底压力增大无关,而地基土的类型(砂土和黏性土)只是影响水在土中的渗流速度。因此,箱形基础在使用期间,完全可以根据正常的地下水位,按全部浮力进行设计。

而在国内其他地区的大量浮力测试资料表明,浮力系数小于1,大于0.9,也有小于0.85的。

因此一般建议对于深、大的桩筏基础设计,浮力系数可考虑取0.8~0.9。

如上海环球金融中心,101层,桩筏基础底板埋深18m,地下水位在地面以下1m。设计时仅考虑10m的地下水浮力,约等于浮力系数取0.6,就相当于建筑物总重4400000kN的13.8%。经济效益相当可观。

又如上海121层中心大厦,地下室5层,地下水位在地面以下1m。设计时浮力系数取0.8,水浮力相当于建筑物总重的19%。

2. 关于非软土地区地下水浮力问题,张在明(《地下水与建筑基础工程》)指出:

只要是饱和地层,在一定的水力梯度作用下,原则上都能传输一定的水量。

对于建筑工程的设计与施工而言,凡是传输的水量可能对工程造成较大影响的地质结构,都可看作含水层。

与含水层相对的是滞水层。滞水层几乎不可能传输出有意义的水量。但滞水层的存在,并不能将各个含水层相互隔离。当这些滞水层中存在非饱和带时,更是如此。

当地基影响深度范围内存在多层地下水时,确定建筑基础底板的地下水作用力,除了最高水位的预测外,还要了解各层地下水的赋存形态和动态规律。

即使在基础埋深范围内仅存在一层地下水,在地下水赋存体系比较复杂的情况下,上层水与下部含水层之间也存在一定的水力联系,在各含水层之间有非饱和带时更是如此。

基底的水压力并不完全取决于水位的高低,而必须由渗流分析来确定。用地下水动力学的方法确定的水压力,与仅仅将水压力按静水状态确定的做法,存在很大的差别。而后者往往对基底的水压力估计过高,造成浪费。

因此非软土地区地下水浮力问题,远比软土地区复杂。

综上所述,对于深、大桩筏(桩-承台)基础,承台底土抗力(包括地下水浮力)的影响不容忽视。其实对于基础计算而言,地下水浮力与承台底土抗力是等效的。

1.3 承台效应系数适用范围的探讨

为了研究粉土中群桩的承载力与变形性状,中国建筑科学研究院地基所在济南市洛口小黄庄黄河南岸堤侧的群桩试验场地,进行大规模的系统的群桩现场试验。

为了研究软土中群桩的承载力与变形性状,中国建筑科学研究院地基所在天津大港进行了大规模的系统的的大比例群桩、单桩现场试验。

上述试验结果,结合1994年版《建筑桩基技术规范》给出的武汉、上海、福州、山

东等地共 15 例桩土荷载分担原位实测资料, 就给出了《建筑桩基技术规范》表 5.2.5 的承台效应系数。

《建筑桩基技术规范》的承台效应系数表, 虽然给出了桩距径比大于 6 的疏桩复合桩基承台效应系数, 但通观 1994 年版《建筑桩基技术规范》至 2008 年版《建筑桩基技术规范》, 实际上除了在天津大港进行的大比例群桩(距径比等于 6)现场模型试验外, 并未提供实际工程疏桩复合桩基的原位实测资料。

但在工程实践中, 不考虑桩土荷载分担的基础设计并不一定仅仅是偏于保守。事实上, 在桩一承台与轴线布桩的情况下, 由于未考虑板底土反力而导致地下室底板开裂的情况, 时有发生, 只不过极少有详细报道, 且责任一般均被推诿于施工单位而已。然而一旦施工单位技术人员熟悉了复合桩基的设计原则, 或设计审查人员也提出这个问题, 设计人员就可能陷于被动了。

因此桩土荷载分担的探讨对于工程实践还是相当有用的。

本节通过主要发布于 2008 年前后, 上海、江苏、浙江、福建、安徽、山西、陕西、四川、湖北、黑龙江、辽宁等地, 共 90 例复合桩基的桩土荷载分担原位实测数据(其中补充了 10 例疏桩复合桩基工程), 对《建筑桩基技术规范》承台效应系数的适用范围进行初步探讨。

1.3.1 承台底基土承载力特征值定义的探讨

承台底土反力的计算, 除了依据《建筑桩基技术规范》的承台效应系数外, 另一个参数——承台底基土承载力特征值的取值, 值得特别注意。因为承台效应系数可以随着数据的积累进行修改, 但若是承台底基土承载力特征值没有一个统一的定义, 则承台底土反力计算值的确定就失去了评判的统一标准。因此这个参数才是真正决定承台底土反力计算值的关键。

1994 年版《建筑桩基技术规范》的表 5-5 给出了山东、武汉、福州、上海等地共 15 个工程实例的实测承台底土抗力, 以及由承台效应系数计算所得的计算土抗力。两者进行对比, 可以为设计人员对承台效应系数的选用提供参考。

2008 年版《建筑桩基技术规范》表 4 给出的 15 个工程实例, 仍然是 1994 年版《建筑桩基技术规范》的表 5-5 的那些工程实例, 只不过表 4 的数据中省略了这些工程实例的承台底基土名称、未扣除静水压力值的实测土抗力以及工程实例所在城市的名字。

现将两个版本《建筑桩基技术规范》的表, 组合成一个“建筑物群桩承台土抗力计算与实测比较(一)表”, 见表 1.3.1-1。

建筑物群桩承台土抗力计算与实测比较(一)

表 1.3.1-1

序号	工程名称	等效距 径比	承台宽与 桩长比	承台底 基土	承台底土承 载力特征值 (kPa)	计算承台 效应系数	计算承台 土抗力 (kPa)	实测承台 土抗力 (kPa)
1	武汉 22 层框架剪力墙	3.29	1.12	粉质黏土	80	0.15	12.0	13.4 (53.4)
2	上海 25 层框架剪力墙	3.94	1.44	砂质粉土	90	0.20	18.0	25.3 (65.3)
3	天津大港独立柱基	3.55	0.18	淤泥质 粉质黏土	60	0.21	17.1	17.7 (24.7)
4	上海 20 层剪力墙	3.75	2.95	黏质粉土	90	0.20	18.0	20.4 (40.4)

1.3 承台效应系数适用范围的探讨

续表

序号	工程名称	等效距 径比	承台宽与 桩长比	承台底 基土	承台底土承 载力特征值 (kPa)	计算承台 效应系数	计算承台 土抗力 (kPa)	实测承台 土抗力 (kPa)
5	上海 12 层剪力墙	3.82	0.506	淤泥质粉 质黏土	80	0.8(0.9)	23.2	33.8 (63.8)
6	上海 16 层框架剪力墙	3.14	0.456	砂质粉土	80	0.23	16.1	15.0 (40.0)
7	上海 32 层剪力墙	4.31	0.453	淤泥质粉 质黏土	80	0.27	18.9	19.0 (39.0)
8	上海 26 层框架核心筒	4.26	0.687	砂质粉土	80	0.33	26.4	29.4 (89.4)
9	福州 7 层砖混怡园 2 号	4.6	0.163	黏填土	79	0.18	13.7	14.4
10	福州 7 层砖混怡园 3 号	4.6	0.111	黏填土	79	0.18	14.2	18.5
11	福州 7 层框架 6 号	4.15	0.98	黏填土	110	0.17	19.0	19.5
12	福州 7 层框架 9 号	4.3	0.73	黏填土	110	0.16	18.0	24.5
13	福州 7 层框架 10 号	4.4	0.61	黏填土	110	0.18	19.3	32.1
14	福州 7 层框架 14 号	4.3	0.73	黏填土	110	0.16	19.1	19.4
15	山东某油田塔基	4.0	1.4	黏质粉土	120	0.50	60.0	66.0

注：1. 表 1.3.1-1 由《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 表 4 “承台效应系数工程实测与计算比较”，与《建筑桩基技术规范》JGJ 94—1994 表 5-5 “建筑物群桩承台土阻力计算与实测比较”组合而成。后者的数据更齐全些。

2. 实测承台土抗力，括弧内为未扣除静水压力值，括弧外为扣除静水压力（浮力）值。

3. 表中的部分工程（序号 2、序号 4、序号 5、序号 6、序号 11、序号 12、序号 13、序号 14）的承台底基土名称，系根据已收集到该工程公开发表的地质勘察资料。与《建筑桩基技术规范》JGJ 94—1994 表 5-5 有所不同。

4. 表中序号 4 与序号 5 这两个工程的地质勘察资料，系由该工程原设计单位处抄录下来的，比较可靠。

5. 表中序号 5 的“上海 12 层剪力墙”，《建筑桩基技术规范》JGJ 94—1994 表 5-5 给出的承台效应系数为“0.9”，应该是“0.29”之误， $0.29 \times 80 = 23.2$ kPa。符合。

而《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 表 4 给出序号 5 “上海 12 层剪力墙”的承台效应系数为“0.8”，应该是“0.28”之误。 $0.28 \times 80 = 22.4$ kPa。故计算承台土抗力“23.2”也应该是“22.4”之误。

6. 序号 3、序号 6、序号 7、序号 9、序号 11、序号 12、序号 13、序号 14 的计算承台土抗力有误。其原因是 2008 年版《建筑桩基技术规范》的承台效应系数有所变化，但上述工程的计算承台土抗力仍沿袭了 1994 年版《建筑桩基技术规范》表 5-5 的计算值。

由于承台效应系数系由大比例群桩现场试验得出的结果，因此实际工程的实测承台土抗力与计算值是否相符，除了地质条件不同的影响（如黄土、硬塑土与群桩现场试验的粉土、软土可能有所不同）、群桩试验与实际工程加载时间的巨大差异、大比例群桩现场试验与实际工程在体量上的巨大差异外，判断承台土抗力计算值是否实用应该还有一个最主要的条件，就是承台底土的承载力特征值 f_{ak} 的确定。

《建筑桩基技术规范》对计算复合基桩竖向承载力特征值所采用的 f_{ak} ，有着明确的规定，即“承台下 1/2 承台宽度且不超过 5 m 深度范围内各层土的地基承载力特征值按厚度加权的平均值”。

因此就可以对表 1.3.1-1 的 15 个工程实例中，已收集到地质勘察资料的 11 个工程实例进行探讨：

1. 表 1.3.1-1 中序号 5~序号 8 的上海 4 个工程，承台底基土分别为淤泥质粉质黏土