

既有建筑地基基础 改造加固技术

JIYOU JIANZHU DIJI JICHU GAIZAO JIAGU JISHU

■ 滕延京等 编著

中国建筑工程工业出版社

既有建筑地基基础改造加固技术

滕延京等 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

既有建筑地基基础改造加固技术/滕延京等编著. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-112-13703-9

I. ①既… II. ①滕… III. ①地基处理 IV. ①TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 212121 号

本书结合科技部重点课题“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”成果和《既有建筑地基基础加固技术规范》修订内容, 重点介绍了既有建筑地基基础加固技术在设计和施工中所涉及的基本理论和技术方法, 主要包括既有建筑地基工作性状的试验研究, 既有建筑地基基础探测、鉴定与评价、设计计算方法、改造与加固技术及实例, 地基基础事故的预防与补救技术。

本书适合从事既有建筑地基基础加固设计与施工的技术人员使用, 也可供相关专业领域科技人员、大专院校师生参考。

* * *

责任编辑: 王 梅 咸大庆

责任设计: 张 虹

责任校对: 肖 剑 赵 颖

既有建筑地基基础改造加固技术

滕延京等 编著

*

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

北京科地亚盟排版公司制版

北京世知印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11¼ 字数: 280 千字

2012 年 5 月第一版 2012 年 5 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-13703-9

(21471)

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)

本书编写组成员

主 编：滕延京

编 委：李 湛 李钦锐 李 勇 王曙光
朱玉明 衡朝阳 石金龙 赵海生

前 言

近年来,随着城市建设的快速发展和既有建筑功能改造需求的快速增长,既有建筑地基基础加固的需求也在快速增长。随着大量既有建筑地基基础加固工程的开展,既有建筑地基基础加固的施工技术得到快速发展,原有的加固技术在工程应用中得到了完善,同时也发展了很多新的地基基础加固技术。但是,目前既有建筑地基基础加固技术理论和施工技术的研究尚不能满足市场的需求,一些重要技术问题的处理和解决很大程度上还依赖于传统的工程经验,既有建筑地基基础加固的效果和经济性很大程度上还取决于从事加固设计与施工的技术人员自身的技术水平。

结合科技部“十一五”重点资助项目子课题“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”(编号 2006BAJ03A03—07)和《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123—2000 的修订工作,编者所在科研团队针对既有建筑地基基础加固的理论和施工技术的几个重要问题进行了研究:(1)既有建筑地基工作性状的试验研究;(2)既有建筑地基基础的探测技术的应用研究;(3)既有建筑地基基础的鉴定与评价技术;(4)既有建筑地基基础加固改造时地基基础的再设计方法;(5)既有建筑地基基础事故的预防与补救技术。上述研究取得的主要创新性成果已经通过住房和城乡建设部科技创新成果鉴定,并结合规范修订工作编入《既有建筑地基基础加固技术规范》。

近年来陆续出版过一些既有建筑地基基础加固技术方面的专著,对于这一领域的技术进步起到了积极的促进作用,这些专著主要是针对既有建筑地基基础加固设计原则、施工方法、案例等方面,尚缺少同时包含地基基础加固基本理论和施工技术的系统、全面的著作,以满足广大设计和施工人员的需求。结合编者研究团队近几年来在既有建筑地基基础加固技术领域开展研究所取得的研究成果,我们编写了这本既有建筑地基基础改造加固技术。本书编写的思路,重点是归纳和总结我们课题的研究成果,为保证内容和结构的完整性,对国内外同行近年来在既有建筑地基基础加固方面取得的成果和新技术也进行了介绍。本书内容介绍了既有建筑地基基础加固所涉及的基本的理论、方法和技术,使读者能了解和掌握从事既有建筑地基基础加固设计和施工所应具备的基本知识。

本书的主要研究成果,得到了科技部“十一五”国家科技支撑计划项目子课题“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”(编号 2006BAJ03A03—07)的资助,在此深表谢意。本书编写过程中参考借鉴了国内外同行在既有建筑地基基础加固技术方面的成果资料,在此一并致谢。参加编写本书的各位同志在担负大量生产任务的同时,为保证书稿的如期完成付出了辛勤劳动,在此也向他们致以衷心的感谢。

本书可为从事既有建筑地基基础加固设计与施工的技术人员使用,也可作为地基基础工程领域科技人员、大专院校师生的参考书。由于编者水平有限,时间仓促,难免存在不足和疏漏之处,诚恳希望广大读者批评指正和提出宝贵意见。

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 引言	1
1.2 应力历史对土的工程性质的影响	1
1.3 既有建筑地基基础鉴定和评价	3
1.4 既有建筑地基基础设计计算	4
1.5 既有建筑地基基础加固技术	5
第 2 章 既有建筑地基工作性状的试验研究	6
2.1 天然地基上既有建筑地基工作性状的试验研究	6
2.2 桩基础上既有建筑地基工作性状的试验研究	23
2.3 地基土“压密效应”机理的初步认识	57
第 3 章 既有建筑地基基础探测技术	59
3.1 直接探查与物探相结合的探测技术	59
3.2 地质雷达探测技术	63
3.3 无损探测探测仪的研制	66
第 4 章 既有建筑地基基础的鉴定与评价	68
4.1 既有建筑地基基础的鉴定	68
4.2 既有建筑地基承载力的评价方法	69
4.3 既有建筑地基变形的评价	73
4.4 紧邻基坑的既有建筑变形控制标准	75
4.5 既有建筑加固改造时周边地下管线的变形控制标准	78
4.6 既有建筑基础评价	82
第 5 章 既有建筑地基基础加固的设计计算方法	83
5.1 地基承载力计算	83
5.2 地基变形计算	85
5.3 既有建筑地基基础加固的设计方法	86
第 6 章 既有建筑地基基础加固技术	88
6.1 地基加固	88
6.2 基础加固	107
6.3 地基基础组合加固	125

第 7 章 地基基础事故的预防与补救技术	141
7.1 地基基础事故的预防与补救的加固原则	141
7.2 地基基础事故的预防技术	145
第 8 章 既有建筑地基基础改造与加固实例	153
8.1 某职高教学楼地基基础加固工程	153
8.2 某公司种分槽地基基础加固工程	159
参考文献	173

第1章 绪言

1.1 引言

最近的统计数据显示,我国一些城市大量房屋建筑尚未达到设计使用年限即被拆除,而美国房产寿命约为80年,瑞士、挪威等国家为70至90年,英国则为132年。建筑的短寿是对资源的严重浪费,在一些发达国家中,对既有建筑进行加固改造与病害处理已占据建筑市场的主体地位。再经过一些年的建设和发展,我国新建工程市场也将趋于饱和,那时对既有建筑的加固改造与病害处理将具有巨大的市场。

建筑物进行加固处理时,首先遇到和需要解决的就是地基基础的加固处理问题。既有建筑需要进行地基基础加固的情况,大致可以分为以下几类:

(1) 由于勘察、设计、施工或使用不当,造成既有建筑开裂、倾斜或损坏,而需要进行地基基础加固。这在软土地基、湿陷性黄土地基、人工填土地基、膨胀土地基和土岩组合地基上较为常见。

(2) 因改变原建筑使用要求或使用功能,而需要进行地基基础加固。如增层、增加荷载、改建、扩建等。其中住宅以扩大建筑使用面积为目的的增层较为常见,以不改变原有结构传力体系的直接增层为主。办公楼增层改造,因一般需要增加的层数较多,故常采用外套结构增层的方式,增层荷载由独立于原结构的新增设的梁、柱、基础传递。公用建筑如会堂、影院等因增加使用面积或改善使用功能而进行增层、扩建或扩建改造等常需增加地下结构。单层工业厂房和多层工业建筑,由于产品的更新换代,需要对原生产工艺进行改造,对设备进行更新,这种改造和更新势必会引起荷载的增加,造成原有结构和地基基础承载力不足等等。

(3) 因周围环境改变,而需要进行地基基础加固,大致有以下几种情况:

- ① 地下工程施工可能对建筑造成影响;
- ② 邻近工程的施工对既有建筑可能产生影响;
- ③ 深基坑开挖对既有建筑可能产生影响;
- ④ 由于地下水位变化过大对既有建筑可能产生影响。
- (4) 由于纠倾和移位施工,而需要进行地基基础加固。
- (5) 由于古建筑的维修保护,而需要进行地基基础加固。
- (6) 由于自然灾害的影响,而需进行地基基础加固。

1.2 应力历史对土的工程性质的影响

在既有建筑长期荷载作用下,地基土的物理力学特性会产生一系列的变化。确定既

有建筑地基土的工程性质是地基基础加固工作的基础,在对既有建筑下地基土的性状作出全面、正确的评价后,才能使既有建筑地基基础改造加固的设计满足安全性和经济性要求。

国内外相关文献都指出,既有建筑荷载对地基土的作用可视为预压作用。在长期预加荷载的作用下,地基土的性状发生了一系列的变化,有了新的特性。一定范围内的土层将会被压缩。土的压缩可以看作土中孔隙体积的减少,压缩过程即为压密过程。不同种类的土在一定荷载作用下压密过程可能持续的时间有所不同,透水性大的饱和无黏性土,其压密过程在短时间内就可以结束,相反透水性小的饱和黏性土,其压密过程就需要相当长的时间才能完成。但是无论压密过程持续时间长短,其最终的结果是相似的,即压密区内土层的物理力学性质有着不同程度的变化:孔隙比减小、重度增大、压缩系数减小、压缩模量和承载力提高。

前苏联基辅建筑工程学院和罗斯托夫公用事业科学研究院在既有房屋的基础下进行了地基土压密的试验研究。采用从基础底面下和在基础范围以外沿深度每隔 30cm 取原状土样的方法分析研究地基土在长期荷载作用下孔隙比(率)的变化,如图 1-1 和图 1-2 所示。虽然取原状土样在方法上有误差(天然结构有某些破坏、应力状态有某些解除和变形的弹性部分有某些消失)和没有考虑到土的不均匀性,但上述两个试验的数值结果非常接近:在荷载作用下,基础下土体被压密,孔隙比减小,减小的幅度随着深度的增加而减小,压密区在基底下 0.5~1.0 倍基础宽度的深度范围内。

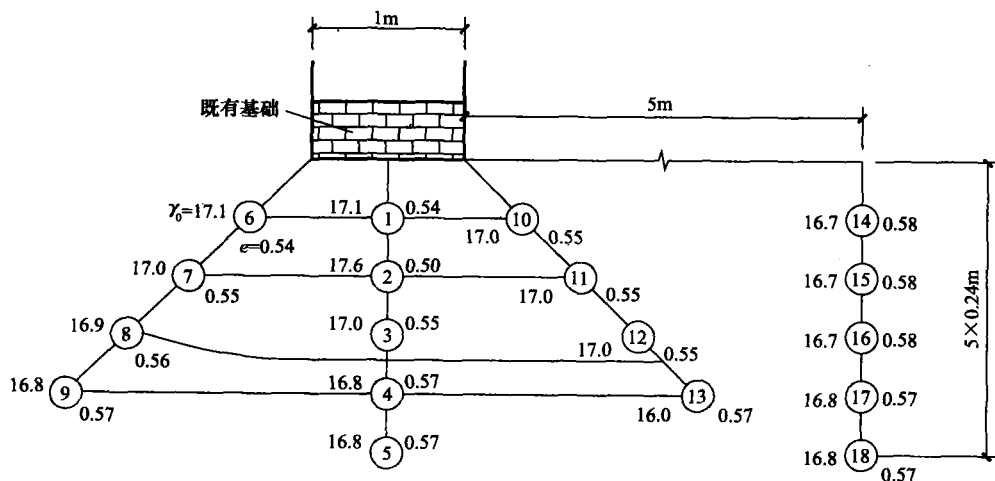


图 1-1 房屋基础下地基土孔隙比的变化(黄土亚黏土, $p=0.22\text{MPa}$)

“十一五”国家科技支撑计划“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”课题对既有建筑地基土的压密问题进行了较为深入的研究,并提出了用地基的“压密效应”解释其承载力和变形特性的机理。该成果通过一系列模拟试验证明既有建筑地基土在荷载作用下,在基础下 1.25 倍基础宽度的深度范围内的土对既有建筑地基的承载力和变形性质影响较大,再加荷时在一定荷载范围内其变形很小,承载力有所提高。通过课题的研究提出了既有建筑地基工作性状的评价方法,解决了目前工程设计中以经验为主,缺少必要的定量试验的问题。

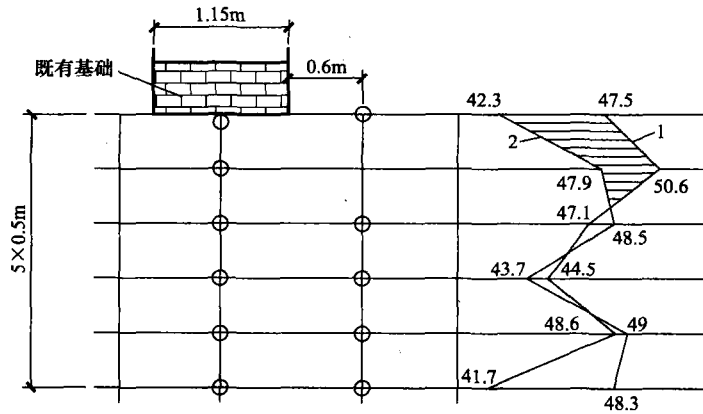


图 1-2 房屋基础下地基土的孔隙率变化 (黄土类粉质黏土 $p=0.213\text{MPa}$)

注: 1—在基础范围外的孔隙率 2—在基础下的孔隙率

1.3 既有建筑地基基础鉴定和评价

既有建筑地基基础探测是进行地基基础鉴定和评价的技术措施之一, 只有先摸清既有建筑地基基础的现状, 对既有建筑地基基础的现实状况有一个全面的了解, 并作出正确鉴定和评价后, 才有可能开展既有建筑地基基础改造加固的设计和施工等工作。目前, 20 世纪 80 年代以来的新近建筑物一般可以收集到较详细的勘察、施工、竣工图、沉降观测资料, 20 世纪 80 年代以前的建筑, 大多已经无法获得完整地基基础的设计、施工资料, 必须借助探测等技术手段, 获得既有建筑地基基础的现状资料。

既有建筑地基的鉴定包括对既有建筑原岩土工程勘察资料进行分析、采用各种探测技术对既有建筑地基进行检验, 当资料不全时, 应补充勘察并对地基现状进行现场检验; 既有建筑基础的鉴定工作主要包括通过现场调查手段, 获得基础的表观状况; 采用各种技术手段, 对基础的强度、配筋及数量、桩的承载力等进行检验。

原建筑场地地基评价对于无法取得勘察报告的建筑物应进行现场勘察, 按现行国家标准评价地基; 对既有建筑的地基承载力、变形的评价应根据既有建筑结构、地基基础设计、使用情况以及使用年限的要求进行评价。现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JG J123 推荐采用载荷试验、室内土工试验以及现场勘探方法进行既有建筑地基承载力的评价。“十一五”国家科技支撑计划“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”课题在对既有建筑增层改造的大型试验模拟的基础上, 提出了一种评价既有建筑地基承载力的确定性试验方法。在确定既有建筑直接增层改造时的地基承载力时, 可在既有建筑旁与既有建筑下有相同性质的土体上做持载试验。然后根据持载以后的 $p-s$ 曲线, 确定增加荷载后的地基承载力特征值。这种方法同样适用于既有建筑桩基础、既有建筑复合地基承载力的确定。

既有建筑加固施工前要求对其周边建筑物的地基变形提出施工期间的控制标准。这一变形允许值为建筑物的地基变形允许值扣除已有变形值及后期变形值之和。因此, 需要合理确定加固施工后建筑物的变形值。“十一五”国家科技支撑计划“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”给出了当采用现场持载试验方法或基础下载荷试验方法确定地基承载力时, 增层改造后产生的基础沉降量的确定性方法。

既有建筑基础的分析评价应包括下列工作内容：(1) 根据基础的裂缝、腐蚀或破损程度以及基础材料的强度等，对基础的完整性和耐久性进行分析评价；(2) 对于桩基础，当未对桩的承载力进行静载试验检验时，应根据桩的入土深度、桩端持力层情况和桩身质量检查情况，并结合岩土的工程性质、沉降观测记录和地区经验对桩的承载力进行分析和评价；(3) 按实际承受荷载和变形特征进行基础承载力和变形的验算，分析基础加固的必要性，提出基础加固建议方法。

1.4 既有建筑地基基础设计计算

既有建筑地基基础加固，应根据加固目的取得相关资料，分析原因，确定加固方法，精心设计，精心施工，保证加固后的地基基础满足国家现行有关规范标准的要求。

既有建筑地基基础加固设计应包括以下内容：

- (1) 地基计算应满足承载力计算有关规定；
- (2) 地基变形计算值不应大于地基变形允许值；
- (3) 基础设计计算应满足基础结构受弯、受剪、受冲切承载力的要求；
- (4) 受较大水平荷载或位于斜坡上的既有建筑物地基基础加固，以及邻近新建建筑、深基坑开挖、新建地下工程基础埋深大于既有建筑基础埋深，对既有建筑有影响时，应进行地基稳定性验算。

地基承载力验算时，地基承载力特征值的确定应结合“十一五”国家科技支撑计划“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”提出的“采用持载试验确定既有建筑地基承载力的方法”加以确定。当采用持载试验确定既有建筑地基承载力时，该课题给出了结构增层加固后地基变形的计算方法。

对于如下6种地基基础加固施工情况，结合“十一五”国家科技支撑计划“既有建筑地基基础改造与加固技术研究”，提出了地基基础设计原则和方法：(1) 直接增层地基基础设计方法；(2) 扩大基础增层地基基础设计方法；(3) 原基础内增加树根桩加固地基基础设计方法；(4) 原基础外扩大基础增加树根桩加固地基基础设计方法；(5) 原桩基础外扩大基础树根桩加固地基基础设计方法；(6) 复合地基加固地基基础设计方法。

既有建筑改造时地基基础的再设计流程如图1-3所示。

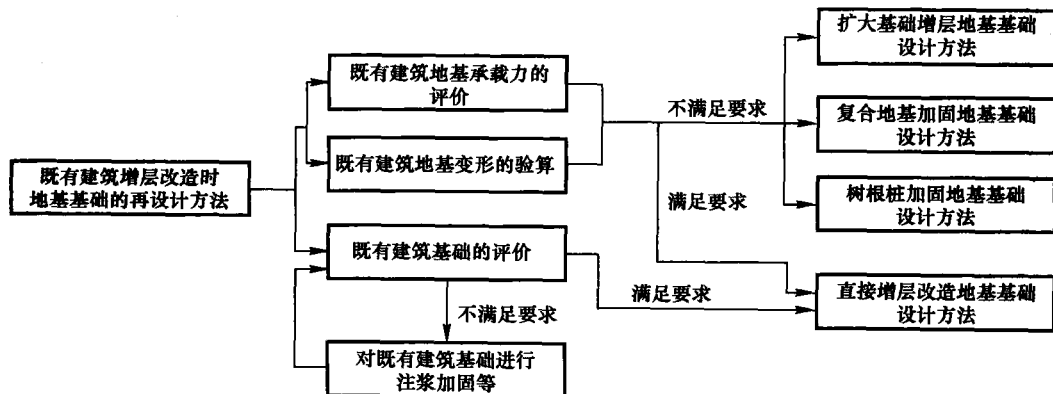


图 1-3 既有建筑增层改造时地基基础的再设计流程图

1.5 既有建筑地基基础加固技术

既有建筑地基基础加固是指为满足建筑物使用功能和耐久性的要求对建筑地基、基础采取的加固技术措施的总称。

根据加固技术是否改变基础外观尺寸及是否对地基或基础采用加固措施，我们将既有建筑地基基础加固方法分为地基加固、基础加固、地基基础组合加固三类：（1）地基加固是指不改变基础外形尺寸、也不对基础采取加固措施，只对地基进行加固补强的地基基础加固方法；（2）基础加固是指扩大基础的外形尺寸，或对基础采取补强加固，不对地基进行加固的地基基础加固方法；（3）地基基础组合加固是指同时对基础和地基土进行加固的地基基础加固方法。

既有建筑地基基础加固应根据加固目的，结合地基基础和上部结构的现状，考虑上部结构、地基和基础的共同作用，选择地基加固、基础加固或地基基础组合加固方法。对初步选定的各种加固方案，分别从预期效果、施工难易程度、材料来源和运输条件、施工安全性、对邻近建筑和环境的影响、机具条件、施工工期和工程造价等方面进行技术经济分析和比较，选择较优的加固方法。

第2章 既有建筑地基工作性状的试验研究

2.1 天然地基上既有建筑地基工作性状的试验研究

2.1.1 试验目的

建筑物建成经长期使用后,建筑物下地基土的性状同未建时相比,已经发生了一系列变化,地基土的应力已经得到重新分配。目前,对既有建筑地基土在上部荷载长期作用后的工程特性的认识尚不全面:

(1) 现在国内外对既有建筑地基基础评价方法的研究,基本上是局限在对既有地基基础在长期荷载作用下土的力学特性的研究,而且基本上是在既有建筑基础旁直接取原状土样或进行原位测试后再作分析。由于实际工程中土样区域差异性很大,实际工程状况复杂,取土做土工试验大大降低了获得数据的理论分析价值,因此进行相关的大比尺模型试验研究显得尤为重要。

(2) 要对既有建筑地基土的性状做出正确的评价,首先要有正确评价承载力和沉降的方法。现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 强调按变形控制设计的原则,以满足建筑物使用功能上的要求。因此确定地基土的荷载增大(承载力的提高)的可能性必须具有沉降发展的资料,必须获得地基土的性状(各种土的参数)在增层改造整个过程中的变化情况,才有可能对承载力和沉降作出相对准确的评估。

(3) 由于既有建筑基础下的土体发生了压密,而基础边上的土体并未压密,在扩大基础面积加固设计中如果仅仅考虑压密区域内的土体显然不正确。目前还没有相关的试验研究,对扩大基础面积加固设计的研究是本试验的重点之一。

(4) 现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 对增层改造时的承载力和沉降估计方法也只停留在在基础下取土做室内试验或进行原位测试,然后按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定确定地基承载力特征值和沉降值,没有考虑地基土在长期荷载作用下再加荷的特殊性。

试验采用三台大比例模型试验,对地基土在既有建筑的建造过程、使用期间、加大基础底面积后增层改造和不加大基础底面积直接增层改造时地基基础的性状作了全过程的模拟。目的在于:

(1) 掌握既有建筑地基土在长期荷载作用下性状的变化规律,以便对既有建筑地基土的工作性状做出正确的评价;

(2) 掌握既有建筑地基土在长期荷载作用下,在基础加大底面积加固以后继续加载时性状的变化规律,以便为加大基础底面积加固设计提供理论依据。

2.1.2 试验设计

1. 上部结构模拟

上部结构采用柱下独立基础模拟。模型试验分模型(a)、模型(b)、模型(c)三台

试验,平面布置如图 2-1 所示。试验坑的平面尺寸为 $13300\text{mm} \times 5350\text{mm}$ 。模型 (a) 与模型 (c) 的基础板尺寸为 $1600\text{mm} \times 1600\text{mm} \times 300\text{mm}$, 采用钢筋混凝土预制基础板。模型 (b) 的基础板尺寸为 $1600\text{mm} \times 1600\text{mm} \times 650\text{mm}$, 为保证基础扩大后新旧部分的可靠连接和共同受力, 采用现浇混凝土制作。模型 (b) 在试验过程中要扩大底面积至 $3200\text{mm} \times 1600\text{mm} \times 650\text{mm}$, 设计如图 2-2 所示。

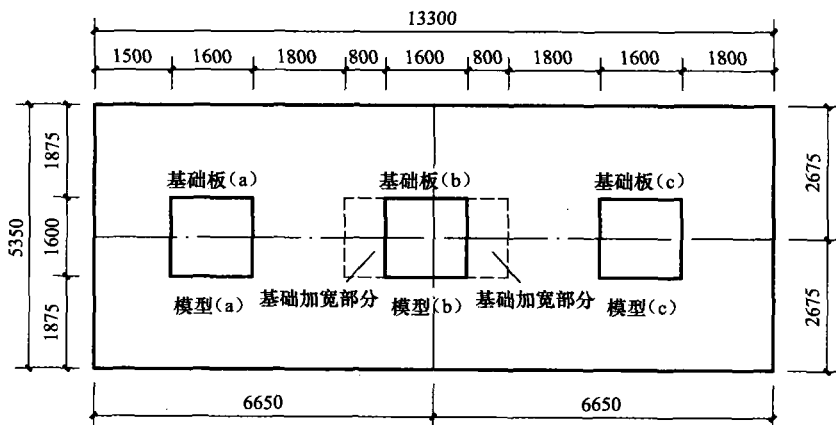


图 2-1 平面布置图

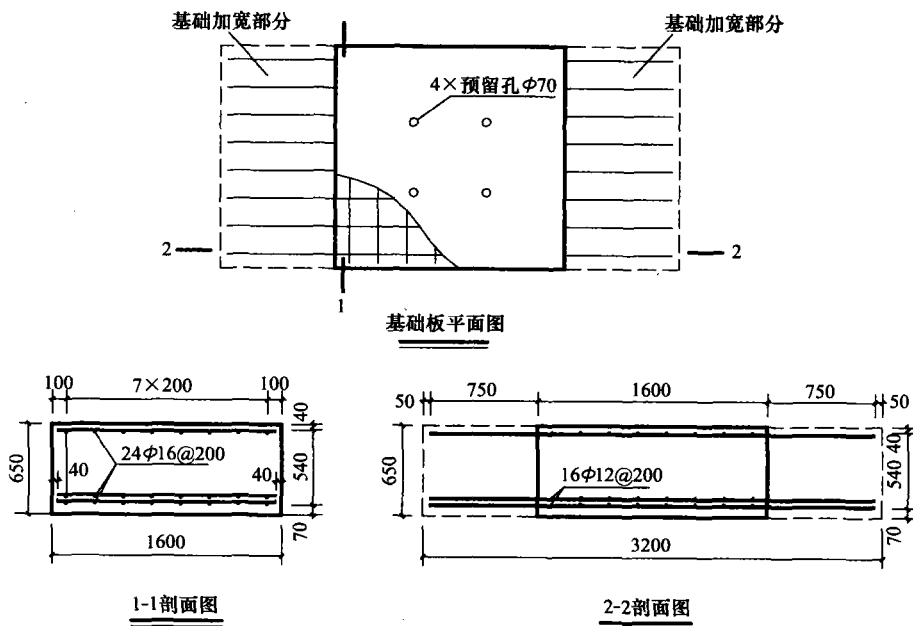


图 2-2 基础板 (b) 的设计图

2. 地基土的模拟

试验中地基采用天然地基土 (粉质黏土) 模拟, 其物理性能按天然地基指标控制。

在试验坑中将土方开挖至 2.8m 深, 开挖完后, 采用粉质黏土分层回填, 回填厚度为 2.5m。为确保模型试验获得良好的测试结果, 必须保证试验基坑内回填土的均匀性, 在地基土分层回填过程中, 回填土的含水量按照最优含水量控制。在地基土回填完成后, 对

土体养护 48d，使其最大程度接近天然土体。

土体养护完以后，离试验坑边沿 1m 处布置 3 个取样点。取样时采用扰动性较小的 SH-30 钻机，沿试验坑面垂直方向每隔 0.3m 取一次样，共分十层，总共取了 30 个土样。土工试验按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 进行，土的主要物理力学指标见表 2-1。

试验土的主要物理力学指标 表 2-1

取土深度 (m)	w (%)	γ (kN/m^3)	d_s	e	w_L (%)	w_p (%)	I_p	α_{1-2} (MPa^{-1})	E_s (MPa)
0~0.6	15.68	17.80	2.70	0.76	28.30	18.50	9.80	0.20	8.73
0.6~1.2	16.91	18.88	2.70	0.68	28.77	16.00	12.77	0.19	8.87
1.2~1.8	16.79	20.44	2.70	0.56	28.53	16.93	11.60	0.17	9.64
1.8~2.4	15.49	20.18	2.70	0.55	28.03	15.70	12.33	0.14	9.80
2.4~3.0	17.09	20.74	2.70	0.53	28.23	15.57	12.67	0.17	9.22

基坑土全部回填完毕后，在坑内随机选择 3 个钎探点，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行轻便触探试验，钎探深度为 3.3m。从轻便触探试验的结果及土工试验的结果来看，基坑回填土比较均匀，满足模型试验的要求。

3. 测试内容及仪器布置

1) 地基附加应力及地基反力

为了研究长期荷载作用下地基土附加应力的分布规律，在基础板下及深层土中埋设了土压力盒，土压力盒埋放位置为±0.0m、-0.6m、-1.3m、-2.0m，如图 2-3 所示，其中±0.000m 即为基础板底标高。此次埋设土压力盒共计 56 个，其中基础板下 39 个，基础下土体中 17 个。试验中压力盒为钢弦式，在使用前先用油压罐对其进行标定，数据采集采用 VW-1 振弦读数仪完成。

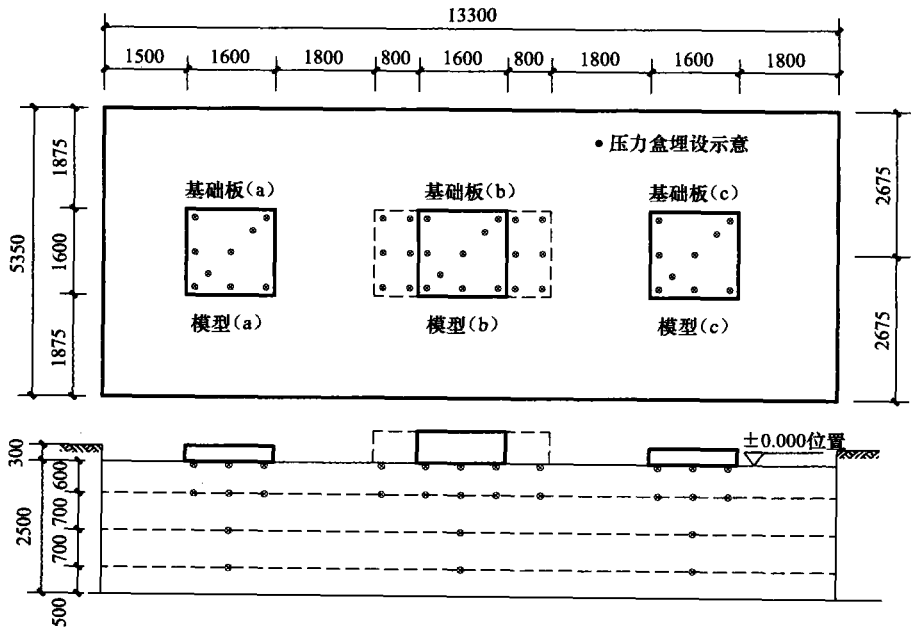


图 2-3 土压力盒埋设位置

2) 深层土和基础板位移

刚性变形深标是中国建筑科学研究院地基所自主研发的测试地基中深层土体竖向变形（沉降）的仪器，如图 2-4 所示。本试验总共设置了 16 个刚性变形深标，深标点埋设位置如所图 2-5 所示，埋设深度为 $\pm 0.0\text{m}$ 、 -0.6m 、 -1.3m 、 -2.0m 、 -2.5m 。

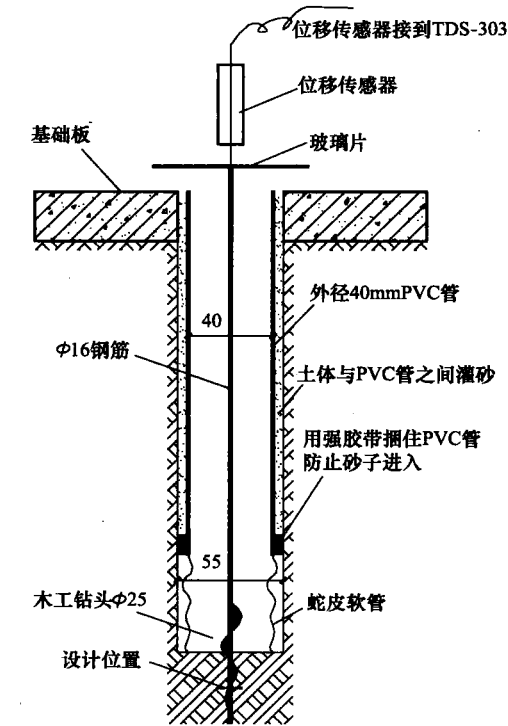


图 2-4 刚性变形深标埋设示意图

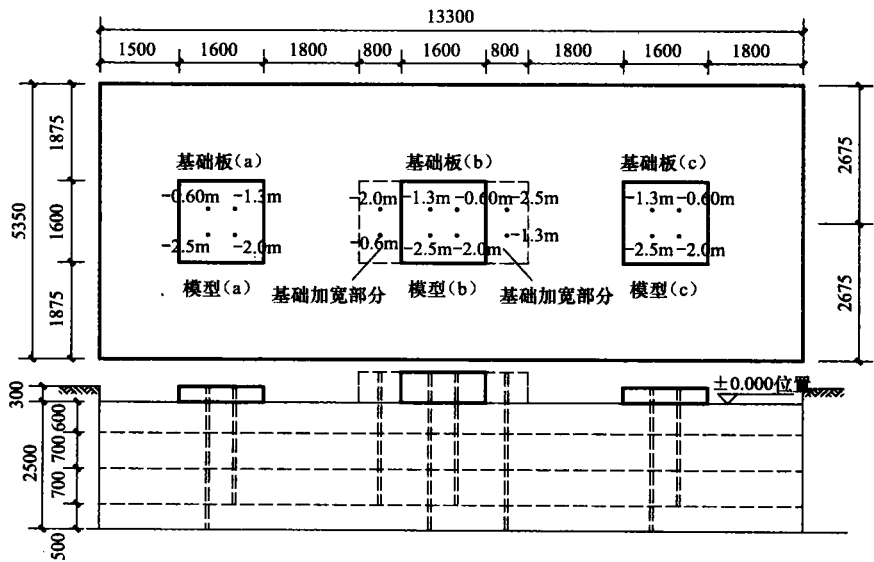


图 2-5 刚性变形标的埋设位置

2.1.3 模拟工况及试验时间表

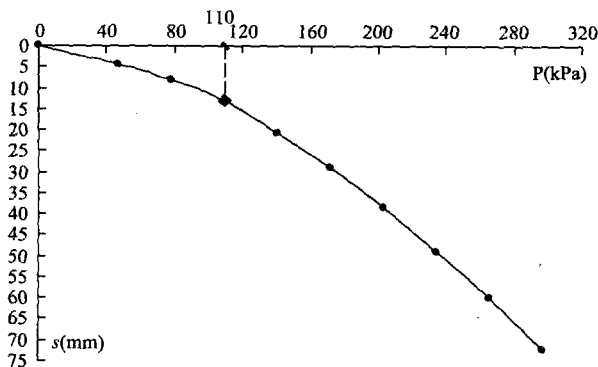
1. 模拟工况

模型 (a) 模拟直接在天然地基上建造建筑物的过程。按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中载荷板试验加载的标准, 最大加载量不小于设计要求的 2 倍, 然后按地基规范中的方法确定地基承载力特征值 f_a 。

模型 (b) 先按地基规范要求加载到 f_a (通过模型 (a) $p-s$ 曲线得到的承载力特征值), 接着维持荷载不变 (模拟既有建筑使用阶段, 建筑物下的地基土受上部荷载长期作用), 按沉降速率小于 $0.1\text{mm}/24\text{h}$ 的标准控制持载, 持载第 22d 时基础板 (b) 加宽扩展成 $3200\text{mm}\times 1600\text{mm}\times 650\text{mm}$ (模拟既有建筑基础加大底面积加固), 持载第 47d 时开始按地基规范继续加载 (模拟既有建筑增层改造), 加载到 f_u 破坏, 模型 (b) 试验结束。

模型 (c) 与模型 (b) 同步加载, 先按地基规范加载到 f_a , 接着维持荷载不变 (模拟既有建筑使用阶段, 地基土受上部荷载长期作用), 持载第 47d 以后, 按地基规范加载到 f_u 破坏, 模型 (c) 试验结束。

模型 (a) 的加载过程按地基规范中浅层平板载荷试验的要求进行, 承压板面积是 $1600\text{mm}\times 1600\text{mm}$ 。模型 (a) 的 $p-s$ 曲线如图 2-6 所示。从图中可见, 比例界限对应的荷载值为 110kPa (图中◆所示), 因此地基承载力特征值可取 110kPa 。

图 2-6 基础板 (a) $p-s$ 曲线

2. 试验的时间表

三台模型试验时间如表 2-2 所示。最先进行的是模型 (a) 的试验, 完成之后, 接着进行模型 (b) 与模型 (c) 的试验。模型 (b) 与模型 (c) 持载历时 47d。持载完成以后, 继续按荷载分级表加载至试验结束。

模型试验时间过程表

表 2-2

时 间	模型 (a)	模型 (c)	模型 (b)	其 他
2008. 01. 29	采用预制好的基础板	采用预制好的基础板	基础板浇筑完成, 开始养护	土中压力盒埋设完毕, 试验坑土体回填完成
2008. 03. 15	基础板就位, 开始加载	基础板就位	基础板养护了 46d, 就位	板下压力盒埋设深标点、位移表埋设完毕, 土体养护了 48d