

内 部

科学技术成果报告

高层建筑箱形基础实用基底
反力计算方法

科学技术文献出版社

刊登国内、外广告启事

我社出版的科技刊物，学科较全，专业较广。为给国内、外各厂矿、企业、科研单位、大专院校等刊登广告提供方便，决定从即日起开辟广告栏，欢迎选用。

有关刊登广告的具体手续、价目及刊物，详见我社的“承办国内广告业务暂行办法”及“承办国外广告业务暂行办法”。此项业务请直接与我社广告组联系，统一办理。

(社址：北京和平街北口 电话：46局4504)

科学技术文献出版社

一九八〇年四月十日

科学技术成果报告

高层建筑箱形基础实用基底反力计算方法

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

☆

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：1.75 字数：43.2千字

1980年7月北京第一版第一次印刷

印数：1—6,420册

科技新书目：165—32

统一书号：15176·473

定价：0.30元

目 录

前言.....	(1)
一、高层建筑箱形基础设计现状及其与基底反力的关系.....	(1)
二、箱形基础基底反力的实测结果.....	(3)
1. 北京建国门外16号公寓.....	(3)
2. 北京中医医院病房楼.....	(3)
3. 上海华盛路高层住宅.....	(4)
4. 上海康乐路12层住宅.....	(5)
5. 保定万吨冷库.....	(6)
6. 江苏浏河冷库.....	(6)
7. 北京前三门 604 工程高层住宅.....	(7)
三、高层建筑箱形基础基底反力系数的确定.....	(10)
1. 数据选择和处理.....	(10)
2. 反力曲线方程式.....	(17)
3. 分块系数的确定.....	(19)
4. 应用反力系数计算实例.....	(21)
四、实测基底反力系数的适用范围.....	(25)

高层建筑箱形基础实用基底 反力计算方法

中国建筑科学研究院地基研究所

前 言

目前,随着我国高层建筑的日益发展,箱形基础被越来越多的采用了。对于箱形基础的设计计算来说,基底反力的确定是一项十分重要的工作,按直线分布理论计算基底反力是比较粗糙的;建立在弹性半无限体理论上的多种计算方法则十分烦琐,其计算结果也不能完全反映实际情况。近几年来,我们与北京市建筑设计院、北京市地质地形勘测处、北京工业大学、上海市民用建筑设计院、同济大学、上海市市政工程设计研究所、商业部设计院及江苏省建筑设计院等单位,对几幢高层建筑进行了基底反力、建筑物基础沉降、地基回弹等一系列的实测工作,以及上部结构刚度对基础影响的理论计算和对实际高层建筑箱形基础的调查,在对以上有关资料进行分析、整理、统计的基础上提出了高层建筑箱形基础的实用基底反力计算方法,以供设计人员参考。

一、高层建筑箱形基础设计现状 及其与基底反力的关系

从一九五五年北京展览馆建成以后,我国高层建筑发展缓慢,因而对高层建筑箱形基础设计计算方法的研究也很不够。目前,我国还没有一个关于高层建筑箱形基础统一的设计原则及计算方法。现在我国设计人员所用的方法很多,较普遍采用的为两种类型。

第一种类型是根据弹性地基梁板的计算理论,将地基看成弹性半无限体,将箱形基础作为一个空心梁或板计算,求其基底反力,再根据基底反力计算出基础的整体弯曲应力,底板再利用基底反力按双向板计算,求解其局部弯曲应力。根据整体与局部弯曲应力叠加,综合配筋,常用的是日莫其金连杆法、葛尔布诺夫—伯沙道夫的级数法,以及近年来北京市建筑设计院、北京市勘测处等单位提出的地基与基础单向协同工作和地基与绝对刚性基础双向协同工作的计算方法等。这种主张计算整体弯曲应力的认为,由于基底反力及上部结构荷重的不均匀分布引起基础的整体弯矩,这是一个客观存在的现象,如果不加以考虑是不合适的,特别是在上部结构刚度较差的情况下,整体弯曲起着控制作用。

但是按照这种方法计算,求解的弯矩数值往往很大,出现以上情况,主要是算得的基底反力在基础边角处太大。很多国家早已开始探索由于地基土塑性区的开展引起基底边角处反力重分布的规律,我国已有工程设计结合塑性重分布的理论对基底反力进行了调整。

第二种类型是将基础的底板作为一个倒置的楼盖,不考虑箱形基础的整体弯曲作用,仅

考虑局部弯曲作用,按双向板进行计算。在计算时基底反力按均匀分布,有的使基底反力不均匀分布,将边角处提高一定的倍数,一般不超过1.5倍,也有的将平均反力普遍提高一定倍数,如有的工程提高1.3倍,配筋时一般根据跨中和支座的最大弯矩,将钢筋纵横拉通。按一方法计算,用钢量较小,从理论上讲,此法似乎不够严密,但不少工程是按这种方法设计的,并且经受了实践的考验。其主要原因是上部结构刚度对箱形基础起了作用,两者是共同工作的,根据我们的计算,象北京中医医院这样框架剪力墙结构,考虑上部结构的刚度以后可以使箱基的整体弯矩降低近20%。

许多设计人员在进行箱形基础设计计算时,往往采用几种不同的方法进行计算,再综合考虑各种计算结果进行配筋。但是对一个工程采用不同的算法,其结果相差很大。以北京建外16*公寓为例,该工程为地上16层地下3层的高层住宅,现浇大模板横墙承重,混凝土剪力墙结构,箱形基础。按日莫其金连杆法、伯沙道夫法及有限元法计算出的弯矩如图1。从图可以看出:同一断面的弯矩用不同的方法计算结果相差是很大的,这就给设计人员带来很大困难,即便综合考虑也无所依从。

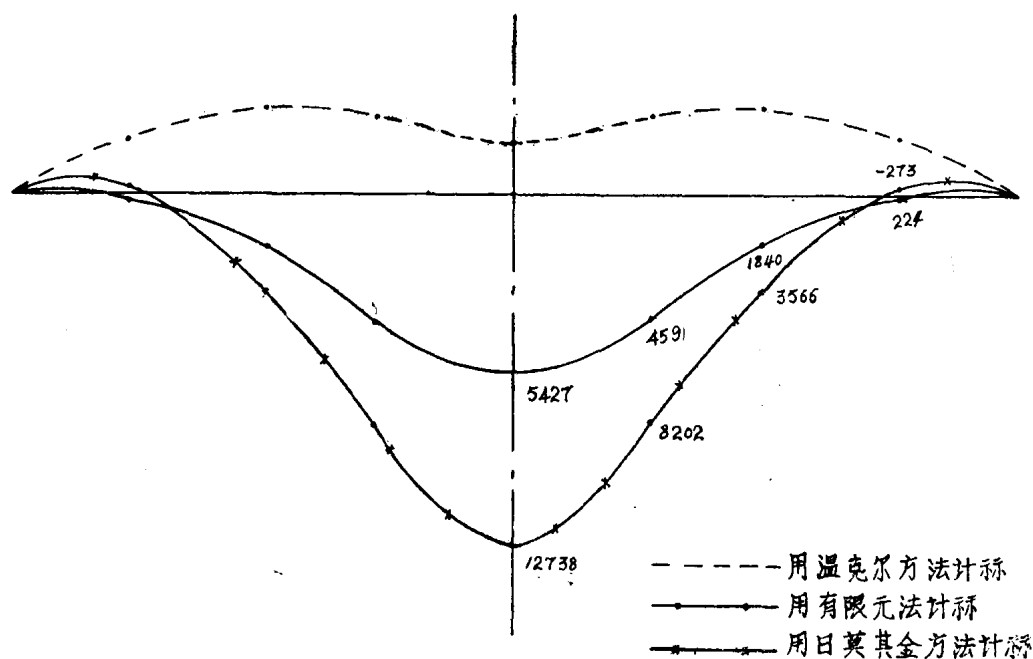


图1 北京建外16*公寓不同计算方法比较图

从国外高层建筑箱形基础设计的一般情况来看,基础结构的弯矩、剪力计算,也是以基底反力为依据的。苏联及一些东欧国家多是采用弹性半无限体理论,考虑箱形基础的整体弯曲计算。西方一些国家资料指出,要算出基础下基底反力的准确数值,必须考虑基础及上部结构的刚度和地基的沉降特性,不仅要满足力的平衡条件,还要满足变形的连续条件,再考虑建筑物刚度、地基的蠕变、塑性及地基压缩性的不均匀等因素,使问题变得十分复杂。因此他们认为现阶段正确地求出基底反力几乎是不大可能的事,所以在很多情况下,基底反力取为均布,这种计算方法比较简单,但不能准确的反映基底反力的实际情况。如日本计算刚性基础的基底反力用以下公式:

$$\text{基底反力 } \sigma_a = \frac{\alpha \Sigma P}{A} \leq f_e \text{ (吨/米}^2\text{)}$$

式中: α —按荷载的偏心和底面积的形状决定的系数;

ΣP —垂直荷重的总和, 包括基础自重;

A —基础底面积 (米²);

f_e —允许地基强度 (吨/米²)。

也有的国家用近似经验方法计算基底反力, 对刚度较大的矩形基础, 其基底反力的图形可以在平均分布的基础上, 通过基础平面两边的外四分之一点作直线将基础平面分成16块, 四角上的四块取平均压力值上再加上正中四块压力 (不包括浮托力及土自重) 的50%, 而在平面当中的四块则减去同样的力。这种计算方法很简便, 但算出的弯矩仍是偏大的。很多国外资料指出: 地基土较硬时基底反力一般成马鞍形, 而地基土较软时一般基底反力分布比较均匀。

综上所述, 对于箱形基础的设计计算, 目前所用的各种计算方法, 首先都要求出基底反力, 而基底反力的分布形状是决定箱形基础内力的最主要的因素之一, 它不仅决定内力的大小, 在某些情况下甚至可以改变内力 (主要是整体弯矩) 的正负号。所以基底反力的研究是甚为重要的, 国内外的许多学者对此做了大量工作, 提出了种种计算理论, 多种理论计算结果的差别, 正是反应了这个问题还没有很好的解决。

二、箱形基础基底反力的实测结果

为了研究高层建筑箱形基础基底反力的分布规律, 我们在北京、上海等地对一些新建的高层建筑进行了反力实测工作。测试手段主要是以钢弦式压力盒作为压力传感器。现将一些工程概况和测试结果说明如下:

1. 北京建国门外16号公寓

该工程位于北京建国门外东二环路东侧, 地上16层局部18层, 地下3层, 全部建筑面积为10205平米, 上部结构为现浇大模板横墙承重的钢筋混凝土剪力墙结构, 预制整间大楼板和挂墙板, 按8度地震设防, 采用天然地基箱形基础。地基持力层为中砂粘、重粘砂和粉细砂, 地基强度 $[R]=25$ 吨/平方米, 基础底面积长36.46米, 宽13.75米, 箱基技术层和半地下室共三层高9.06米, 基础埋深8.25米, 经过深宽修正后地基承载力为49.5吨/平方米, 基础未设变形缝和施工缝, 基础底板厚80厘米, 人防顶板厚20厘米, 半地下室和技术层顶板为8~10厘米, 外墙厚30~35厘米。

为测定基底反力采用28个钢弦式压力盒, 布置在基础的北半部, 其平面布置及实测基底反力见图2。

2. 北京中医医院病房楼

该工程有平战结合使用的地下室一层, 为箱形基础, 高5.35米, 顶板厚30厘米, 底板厚70厘米, 内墙厚20厘米, 外墙厚30厘米, 地下室平面尺寸为87×12.6米。箱基采用天然地基, 持力层为重粘砂、轻砂粘层, 地基强度 $[R]=20$ 吨/平方米。上部结构为9层, 部分为10层, 局部为11层, 地下室上面为设备层, 全部建筑面积12200平方米, 采用预制框架结构, 抗震设防烈度为8度,

该工程纵向长度大, 在东半部共布置钢弦式压力盒36个, 埋设位置及实测基底反力如图

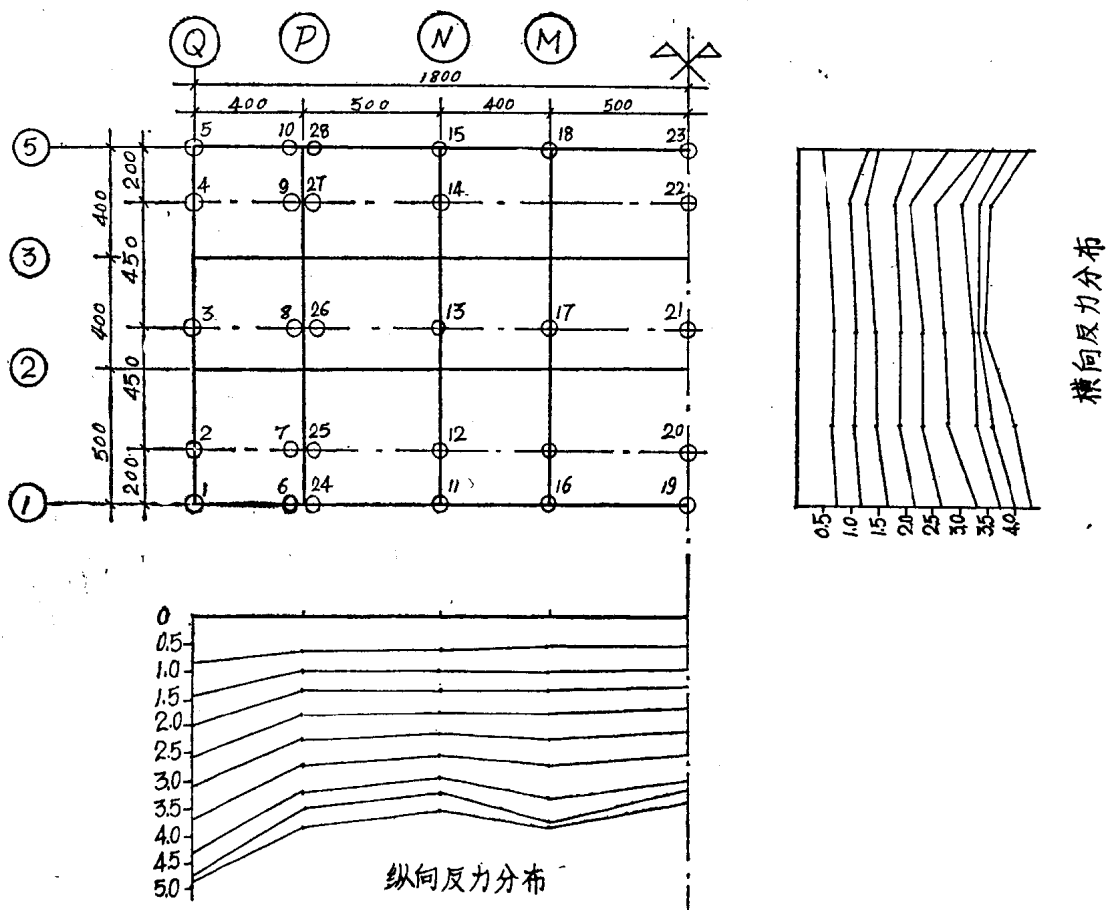


图2 北京建外16*公寓基底压力盒布置及实测反力图

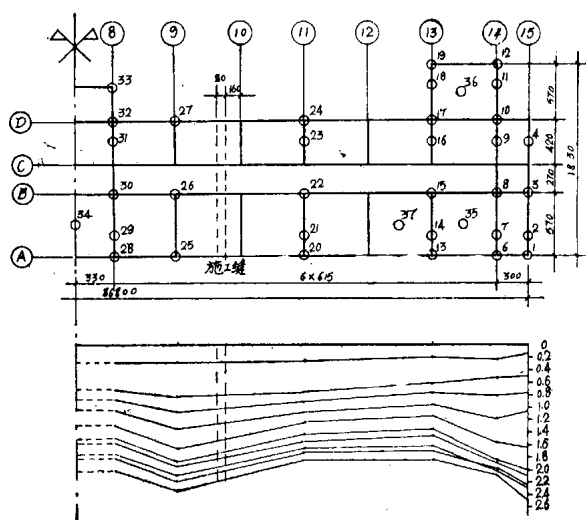


图3 北京中医医院病房楼压力盒布置及实测反力图

3所示。

3. 上海华盛路高层住宅

该工程系由南楼(13层)和北楼(12层)两单元组成的住宅建筑,采用天然地基,两层

地下室, 箱形基础。南楼地下室的外包尺寸为 24×12.5 米, 底板南北两方面各挑出0.2米, 东西挑出分别为1.5米和1.7米, 基底总面积为407平方米。北楼地下室的外包尺寸为 55.8×12.5 米, 底板四周均挑出0.9米, 基底总面积为824平方米。箱形基础埋深为5.65米。

基础下土层为淤泥质亚砂土、粘土、亚粘土等, 按上海地基规范计算, 地基强度为26吨/平方米。

上部结构均采用装配式框架剪力墙结构(现浇柱), 外墙采用挂板, 内墙用空心砖, 楼板用预制空心板; 两楼的连接采用能自由沉降的悬挑结构, 沉降缝宽度为10厘米。

在北楼基础下共埋设钢弦式压力盒36个, 平面布置及其基底反力如图4所示。

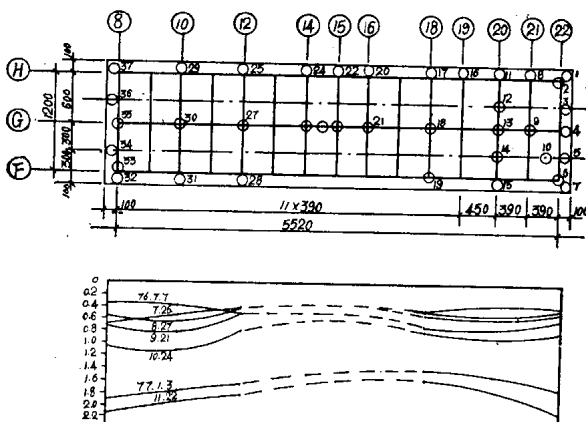


图4 上海华盛路高层住宅基底反力盒布置及实测反力图

4. 上海康乐路12层住宅

该工程为12层住宅建筑, 中部女儿墙标高为38米, 两翼为36.6米, 采用墙板式结构, 预制空心楼板, 滑模施工, 一层地下室。地下室外包尺寸为 67.85×11.65 米, 底板南北挑出1.20米, 东西挑出1米, 基础底总面积为 $69.58 \times 14.05 = 980$ 平方米, 基础埋深5.5米, 采用天然地基, 其持力层为淤泥质亚砂土、粘土、亚粘土、粉砂等, 基底标高处的地基强度根据上海地基规范采用临塑荷载公式计算, 为24吨/平方米。

为测试基底反力, 共埋设压力盒43个, 其中西半部19个为竖式压力盒, 东半部24个为卧式压力盒。压力盒布置位置及实测反力如图5所示。

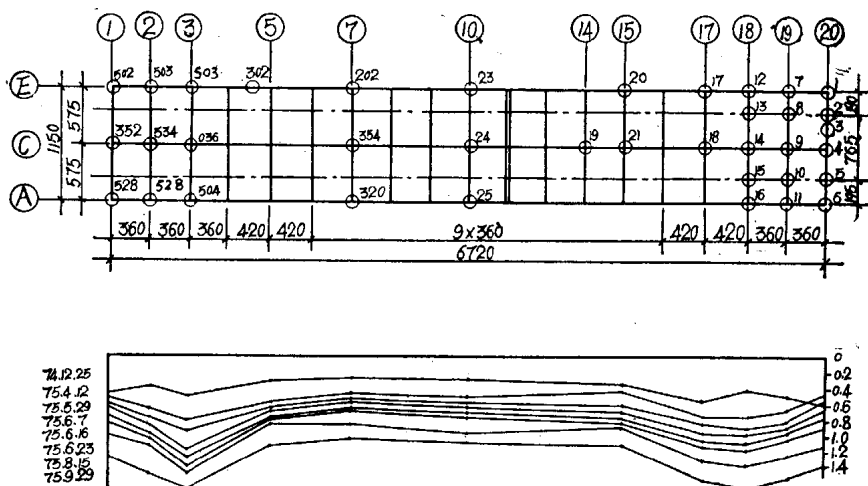


图5 上海康乐路高层住宅基底压力盒布置及实测反力图

5. 保定万吨冷库

该工程为万吨级肉类储备库，位于河北省保定市西部，主库箱基外包尺寸为 55×43 米，底板四周挑出0.5米，基础面积为 $56 \times 44 = 2464$ 平方米，地上五层，地下一层，总建筑高度23米。主库上部结构采用 6×6 米柱网现浇无梁楼板，檐板厚16厘米，屋顶板厚15厘米，屋顶中部留伸缩缝，四周挑出3.3米。标准层板厚22厘米，四周挑出2.5米。每层板在边柱处有 20×20 厘米三角形锚系梁与外墙圈梁联结。采用天然地基，整体现浇箱形基础，基础埋深在自然地面下3.01米，箱基顶板为底层地面，箱基高度为4.5米。地层除第四纪冲积层外，上部有很厚的湖泊沉积的淤泥层。基础设置在亚粘土含淤泥层上，此层土不均匀，压缩模量变化较大， $E_0 = 47.6 \sim 98$ 公斤/平方厘米，地基强度 $[R] = 12$ 吨/平方米。

在主库箱基下四分之三的部位埋设钢弦式压力盒34个,其平面布置及基底反力实测结果如图6所示。

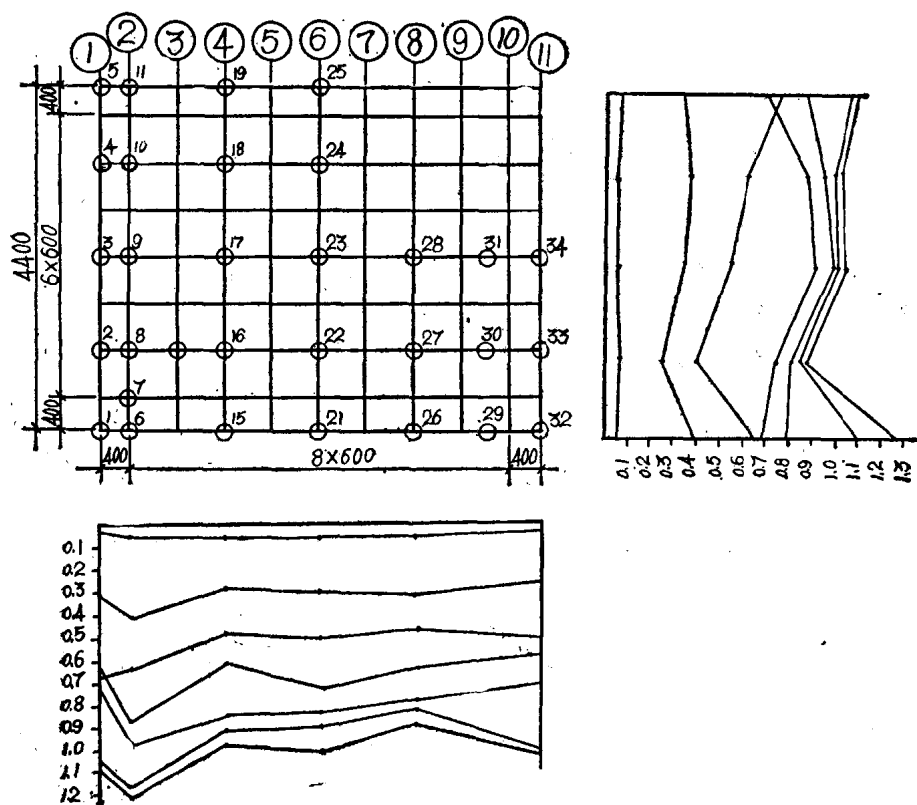


图 6 保定冷库工程基底压力盒分布及实测反力图

6. 江苏浏河冷库

该工程位于江苏省太仓县浏河镇,上部为五层钢筋混凝土框架结构,6米柱网外墙为砖墙,楼面为整体现浇无梁楼盖,首层层高4.6米,二、三、四层层高4.5米,五层楼板至屋架下弦高为6.3米。檐口标高24.9米。地下为一层箱形基础,基底标高6米,室外地面标高1.2米。箱基基底平面尺寸为52.5×38.5米,箱基全高5.7米,底板厚60厘米,顶板厚25厘米,外墙厚50厘米,内墙厚30厘米。地基持力层为灰色汗质粘土,土的物理力学指标为 $W=47\sim 59\%$; $r=1.64\sim 1.76$; $l=1.31\sim 1.65$; $C=0.08\sim 0.09$; $\phi=10^{\circ}\sim 12^{\circ}$; $E=18\sim 28$ 。场地土质南区较北区为好。为改善地基状况,在建筑物范围内打砂井427根,直径32.5厘米,长

20米，成3米间距的等边三角形布置，在基底下为50厘米厚之砂垫层。为实测地基反力，本工程在基底1/4范围（西北角）内埋设钢弦式压力盒32个，位置及实测地基反力如图7所示。

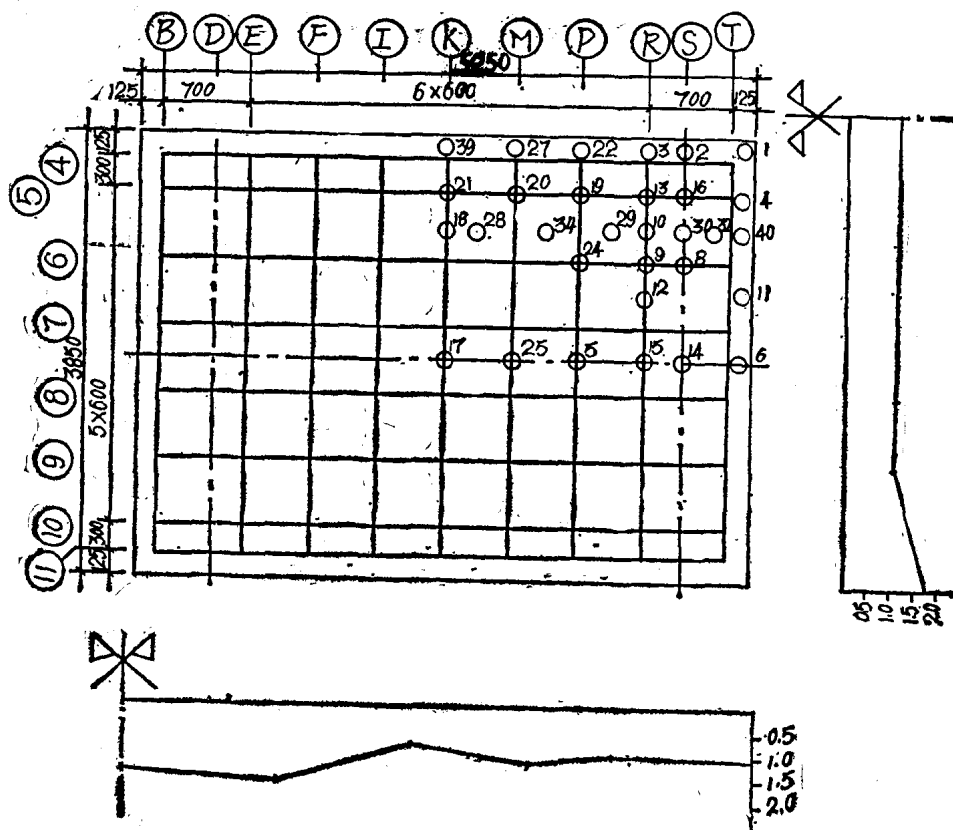


图7 浏河冷库基底压力盒布置及实测反力图

7. 北京前三门604工程高层住宅

604统建工程位于北京和平门外，地上10层，地下一层半，全部占地面积为1375.38平方米，上部结构为现浇剪力墙横墙承重，预制楼板结构。按8度地震设防。

基础采用天然地基箱形基础，基底持力层在3米以内的变化较复杂，主要由轻、中、重砂粘与粉粘砂反复交替沉积所组成，规律性很差，其中主要以东南部分的土质明显偏软，而且粘性土的厚度也比较厚，故在验槽时作过部分处理，基本地基强度 $[R]=22$ 吨/平方米，基础埋深4.5米左右。箱基底板厚50厘米，顶板厚30厘米。基础设两道抗震缝。

为测定地基反力，共埋设钢弦式压力盒55个，布置在基础中部及东半部，其平面布置及实测基底反力见图8。

将以上几个工程的实测基底反力与实际荷载引起的基底平均压力进行比较可知，实测结果误差一般在20%以内，但测得的基底平均反力与建筑高度增加（即荷重增加）呈现线性关系，如上海康乐路高层住宅实测反力与建筑层数增加的曲线图9与北京建外16号公寓实测基底反力与上部荷重关系曲线图10所示，说明压力盒所测之反力是能够反映基底反力变化规律的。可见钢弦式压力盒作为量测手段，在定量方面有一定误差，但是作为定性分析能满足要求。

从北京建外16#公寓、中医医院高层病房及前三门604工程来看，其地基持力层主要为一般粘性土，从三幢建筑的实测结果来看，纵向基底反力都比较均匀，最大反力值在边缘处，其值为平均值的1.24倍左右。

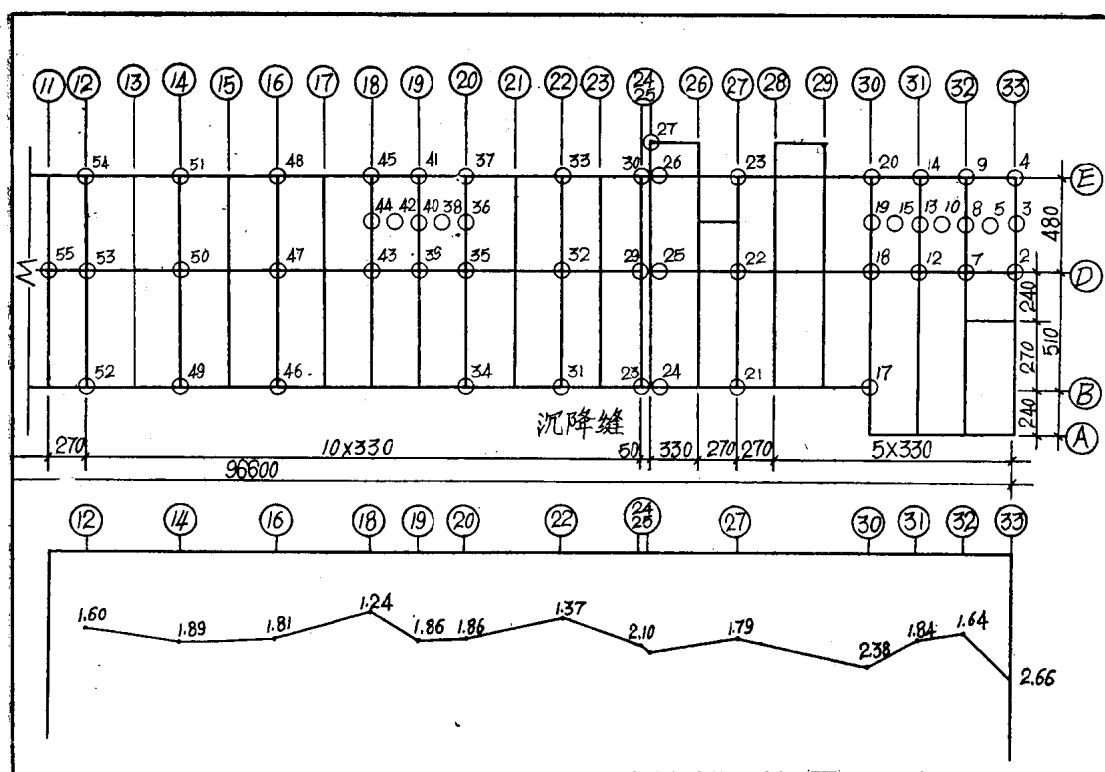


图 8 北京前三门604工程压力盒分布及基底反力图

上海康乐路高层住宅及华盛路高层住宅地基的持力层主要是淤泥质土层，纵向反力图形的变化经历三个阶段：第一阶段荷载在0.6公斤/平方厘米，小于挖土荷载时，基底反力曲线比较均匀平缓；第二阶段为拔除钢板桩阶段，反力曲线呈马鞍形，形成马鞍形分布的原因是拔钢板桩带出土太多，在拔出钢板桩处形成孔洞，基础边缘的地基土挤过去填补空隙，导致基础边缘部位的反力急剧下降。这种基底反力的马鞍形，是由于边界状态的改变而形成的，

与一般基础边缘的反力要达到临塑值时才向中间调整的概念是不同的。第三阶段钢板桩拔除后上部荷载继续增加，基底反力曲线由马鞍形向抛物线形发展，华盛路高层住宅基底反力很明显的形成抛物线形。康乐路高层住宅有向抛物线形发展的趋势。

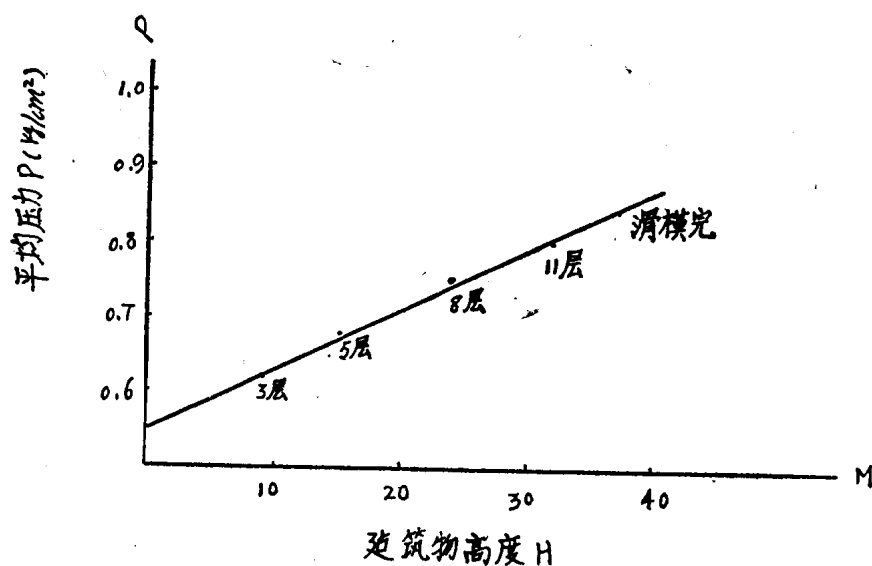


图 9 上海康乐路高层住宅实测反力与建筑物高度关系

综观基底反力

的实测情况大体是：当荷载小于挖土荷载时，一般基底反力近于均匀，当超过挖土荷载时，边缘处基底反力逐渐增大，反力图形呈马鞍形或者抛物线形，但反力的不均匀性不如按弹性理论计算的那样大。

从以上几幢高层建筑箱形基础实测反力计算出的弯矩与原工程设计计算方法算出之弯矩对比，实测基底反力算出的弯矩较小，一般小1~3倍。北京建外外交公寓16*楼，基底反力按日莫其金弹性地基反力系统计算之弯矩与实测反力计算出的弯矩结果比较见图11，两者最大弯矩相差约3倍。上海华盛路高层住宅设计计算方法是基底反力系按半无限体上刚性板的假定计算，考虑基底反力不超过地基强度（按上海地基规范计算）的原则，根据经验将基底四周部位超过地基强度的反力部分分配到基底其他部位。基底反力经过这样调整后，扣去水浮力，用以计算基础在整体弯曲作用时的弯矩，计算得的最大弯矩 $M_x=334\text{T-M}$ ，而用实测基底反力计算的最大弯矩 $M_x=180\text{T-M}$ ，两者相差约一倍。保定万吨冷库箱形基础设计计算采用北京展览馆箱基计算的方法，设计计算的最大弯矩 $M=24280\text{T-M}$ ，实测反力计算的最大弯矩 $M=7500\text{T-M}$ ，如图12，两者相差三倍多。

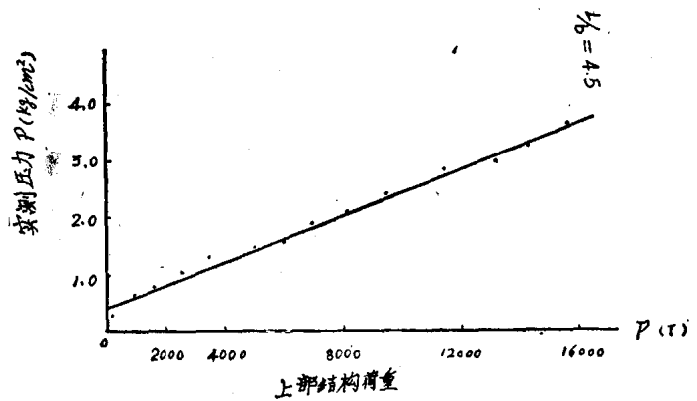


图10. 北京建外16*公寓实测基底反力与荷重关系

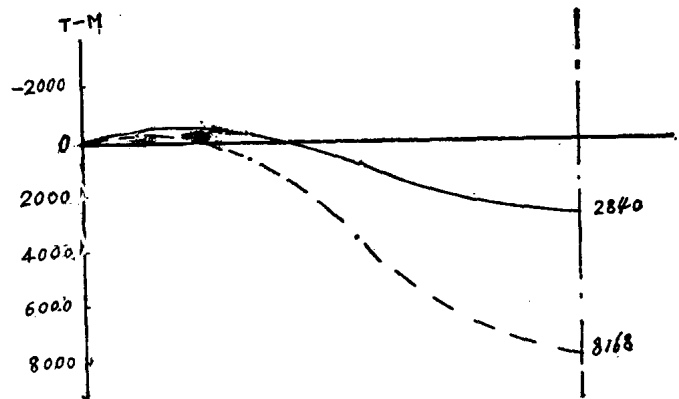


图11 北京建外16*公寓设计弯矩与实测弯矩比较曲线

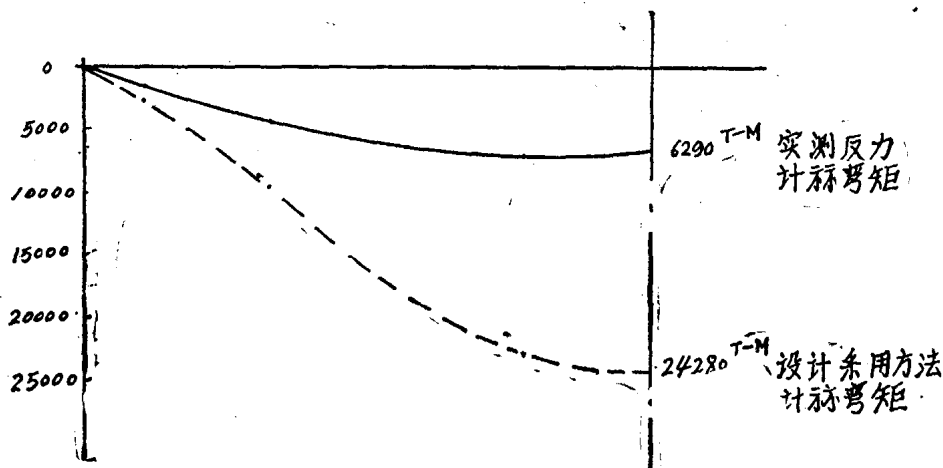


图12 保定冷库设计弯矩与实测弯矩比较图

从以上工程的实测结果与设计计算结果比较可知，实测基底反力计算之弯矩都比设计计算之弯矩为小，而且小1~3倍，即是把实测反力误差考虑在内，实测比设计计算结果仍然小很多。

三、高层建筑箱形基础基底反力系数的确定

为了获得不同地基上高层建筑箱形基础基底反力分布规律,我们对北京地区一般粘性土上高层建筑和上海淤泥质土上高层建筑反力的实测结果进行了统计分析。北京一般粘性土地基选用了1126个数据,上海淤泥和淤泥质土地基选用了340个数据。由于两个地区土质不同反力分布规律亦不一致,这里分别加以统计分析。

1. 数据选择和处理

实测的每一个单项工程均得到了纵横向反力分布曲线,在这些反力分布曲线中,一部分

北京外交公寓纵向平均实测反力值:

表(1)a

反力值 X/L 编 号	$\frac{0}{18}=0$	$\frac{5}{18}=0.278$	$\frac{9}{18}=0.5$	$\frac{14}{18}=0.778$	$\frac{18}{18}=1$	$\bar{P}$
1	1.12	1.18	1.18	1.12	1.79	1.224
2	1.25	1.35	1.34	1.37	2.03	1.414
3	1.41	1.56	1.51	1.70	2.30	1.644
4	1.64	1.80	1.75	1.81	2.61	1.883
5	1.81	1.99	1.93	2.02	2.85	2.053
6	2.05	2.26	2.17	2.26	3.16	2.308
7	2.50	2.70	2.58	2.77	3.73	2.779
8	2.65	2.87	2.74	2.91	3.90	2.931
9	2.94	3.37	2.95	3.23	4.35	3.779
10	3.06	3.50	3.07	3.37	4.60	3.421
11	3.14	3.70	3.23	3.50	4.77	3.581
12	3.40	3.90	3.61	3.86	4.86	3.855

北京外交公寓横向平均实测反力值:

表(1)a

反力值 X/L 编 号	$\frac{6.5}{6.5}=1$	$\frac{4.5}{6.5}=0.692$	$\frac{0}{6.5}=0$	$\frac{4.5}{6.5}=0.692$	$\frac{6.5}{6.5}=1$	$\bar{P}$
1	1.42	1.25	1.24	1.22	1.45	1.243
2	1.61	1.41	1.40	1.25	1.65	1.400
3	1.82	1.59	1.58	1.42	1.87	1.583
4	2.15	1.84	1.84	1.60	2.16	1.828
5	2.36	2.02	2.03	1.78	2.38	2.017
6	2.67	2.28	2.28	2.00	2.66	2.269
7	3.23	2.78	2.64	2.45	3.28	2.722
8	3.39	2.92	2.77	2.62	3.41	2.867
9	3.36	3.28	3.18	2.95	3.67	3.222
10	3.80	3.50	3.31	3.12	3.80	3.385
11	3.98	3.75	3.34	3.25	3.96	3.517
12	4.28	3.96	3.60	3.47	4.20	3.756

北京中医医院纵向平均反力值: 表(1) b

反力值 X/L 编号	$\frac{3.5}{43.4}=0.081$	$\frac{9.65}{43.4}=0.222$	$\frac{21.95}{43.4}=0.506$	$\frac{34.25}{43.4}=0.789$	$\frac{40.4}{43.4}=0.931$	$\frac{43.4}{43.4}=1$	$\bar{P}$
1	1.26	1.60	1.24	1.13	1.55	1.62	1.342
2	1.40	1.70	1.32	1.27	1.70	1.82	1.437
3	1.38	1.76	1.36	1.27	1.76	1.92	1.491
4	1.46	1.85	1.41	1.33	1.80	1.98	1.555
5	1.52	1.91	1.47	1.37	1.79	1.94	1.600
6	1.55	1.93	1.51	1.41	1.82	2.09	1.637
7	1.72	2.09	1.64	1.60	1.99	2.23	1.797
8	1.77	2.13	1.67	1.65	2.00	2.29	1.835
9	1.80	2.17	1.71	1.67	1.95	2.38	1.881
10	2.00	2.34	1.84	1.84	2.07	2.58	2.020

北京中医医院横向平均反力值: 表(1) b

反力值 X/L 编号	$\frac{8.65}{8.65}=1$	$\frac{7.15}{8.65}=0.827$	$\frac{3.45}{8.65}=0.399$	$\frac{0.45}{8.65}=0.052$	$\frac{3.45}{8.65}=0.399$	$\frac{7.15}{8.65}=0.827$	$\frac{8.65}{8.65}=1$	$\bar{P}$
1	1.65	1.19	1.22	1.27	1.24	1.43	1.45	1.289
2	1.81	1.25	1.31	1.34	1.40	1.58	1.64	1.399
3	1.87	1.33	1.36	1.46	1.38	1.67	1.70	1.462
4	1.92	1.39	1.43	1.47	1.45	1.73	1.78	1.518
5	1.94	1.43	1.47	1.50	1.50	1.76	1.73	1.547
6	1.95	1.43	1.54	1.54	1.53	1.77	1.75	1.583
7	2.10	1.61	1.67	1.68	1.69	2.05	2.13	1.763
8	2.21	1.68	1.69	1.72	1.73	2.11	2.14	1.806
9	2.18	1.66	1.74	1.71	1.74	2.08	2.02	1.804
10	2.59	1.80	1.80	1.87	1.83	2.19	2.22	1.913

北京前三门604工程东段纵向平均反力值

表(1)c

反力值 X/L 编号	$\frac{12.6}{12.6} = 1$	$\frac{6.6}{12.6} = 0.524$	$\frac{2.7}{12.6} = 0.214$	$\frac{6.0}{12.6} = 0.476$	$\frac{9.3}{12.6} = 0.738$	$\frac{12.6}{12.6} = 1$	$\bar{P}$
1	0.59	0.65	0.95	0.72	0.76	0.94	0.760
2	0.82	0.85	1.17	0.92	0.97	1.25	0.978
3	1.19	1.12	1.63	1.27	1.22	1.71	1.327
4	1.59	1.45	1.93	1.57	1.38	2.11	1.637
5	1.89	1.58	2.09	1.62	1.49	2.43	1.793
6	2.10	1.78	2.38	1.84	1.64	2.66	2.018
7	2.30	1.96	2.54	2.04	1.78	2.84	2.191
8	2.54	2.11	2.80	2.22	1.92	3.22	2.396
9	2.74	2.33	3.16	2.58	2.16	3.49	2.720
10	3.02	2.61	3.44	2.90	2.40	3.98	2.969

北京前三门604工程中段纵向平均反力值

表(1)c

反力值 X/L 编 号		$\frac{22.5}{22.5}=1$	$\frac{16.5}{22.5}=0.733$	$\frac{9.9}{L}=0.44$	$\frac{3.3}{L}=0.147$	$\frac{3.3}{L}=0.147$	$\frac{9.9}{L}=0.44$	$\frac{16.5}{22.5}=0.733$	$\frac{22.5}{22.5}=1$	$\bar{P}$
1		0.44	0.57	0.54	0.70	0.48	0.65	0.46	0.67	0.566
2		0.63	0.75	0.79	0.84	0.63	0.80	0.56	0.89	0.734
3		0.85	0.98	1.19	1.17	0.87	1.05	0.82	1.14	0.968
4		1.35	1.31	1.58	1.50	1.09	1.34	1.11	1.47	1.335
5		1.75	1.45	1.89	1.81	1.14	1.44	1.26	1.87	1.428
6		1.83	1.60	1.84	1.70	1.24	1.80	1.37	2.01	1.637
7		2.00	1.78	2.10	1.94	1.40	2.02	1.51	2.14	1.831
8		2.25	1.92	2.28	2.07	1.50	2.20	1.65	2.43	1.992
9		2.35	2.08	2.51	2.28	1.70	2.47	1.83	2.53	2.179
10		2.80	2.53	2.88	2.58	1.88	2.84	2.09	2.97	2.525

北京前三门604工程中段横向平均反力值 表(1)c

编号 X/L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.525	0.636	0.840	1.116	1.304	1.354	1.500	1.632	1.791	2.088
0.6	0.621	0.718	0.948	1.225	1.423	1.510	1.678	1.854	2.041	2.325
1	0.655	0.851	1.170	1.515	1.720	1.905	2.105	2.345	2.51	2.850

上海康乐路工程纵向平均反力值 表(1)d

反力值 编号 X/L	0	$\frac{10.8}{33.6}=0.321$	$\frac{14.4}{33.6}=0.429$	$\frac{22.2}{33.6}=0.661$	$\frac{26.4}{33.6}=0.786$	$\frac{30.0}{33.6}=0.893$	$\frac{33.6}{33.6}=1.0$	$\bar{P}$
1	0.732	0.705	0.88	1.04	1.088	0.973	0.699	0.872
2	0.816	0.790	0.94	1.14	1.175	1.065	0.792	0.956
3	0.864	0.840	0.97	1.185	1.231	1.108	0.872	1.00
4	1.074	1.050	1.08	1.405	1.435	1.323	1.095	1.197
5	1.296	1.250	1.12	1.61	1.638	1.567	1.365	1.385

上海康乐路工程横向平均反力值

表(1)d

反力值 编 号	1	2	3	4	5
$\frac{X}{L} = \frac{0}{5.8} = 0$	0.923	1.04	1.105	1.34	1.615
$\frac{2.9}{5.8} = 0.5$	0.870	0.945	1.045	1.270	1.546
$\frac{5.8}{5.8} = 1$	0.633	0.723	0.790	0.983	1.240
$\bar{P}$	0.837	0.937	1.011	1.233	1.503

上海华盛路工程纵向平均反力值

表(1)e

反力值 编 号	X/L	0	$\frac{5.85}{27.3} =$	$\frac{11.7}{27.3} =$	$\frac{19.5}{27.3} =$	$\frac{27.3}{27.3} = 1$	$\bar{P}$
1		0.441	0.460	0.507	0.681	0.423	0.533
2		0.640	0.650	0.692	0.843	0.554	0.711
3		0.798	0.810	0.852	1.071	0.866	0.912
4		1.15	1.48	1.513	1.559	1.709	1.541
5		1.65	1.70	1.797	1.699	2.135	1.779

上海华盛路工程横向平均反力值

表(1)e

反力值 编 号	X/L	0	$\frac{3.15}{6.30} = 0.5$	$\frac{6.30}{6.30} = 1$
1		1.669	1.117	0.561
2		2.009	1.715	1.288
3		2.203	2.059	1.643

是在建筑物荷重很小时获得的,反力的绝对值很小,曲线形状不能反映反力的分布规律,随着建筑物荷重的增加反力分布曲线呈现出较好的规律性。北京地区选择了32条纵向反力分布曲线,27条横向反力分布曲线,上海地区选择了10条纵向和10条横向反力分布曲线,这些曲线的反力值列于表(1)中。

为了便于综合各单项工程的实测数据,这里采用折算长度 $\zeta = \frac{X}{L}$, 式中X为测点至建筑物中心轴的距离;L为建筑物的半长或半宽。测点至中心轴的距离均用折算长度表示。

每一条实测反力曲线都是在一定的建筑荷重下获得的。为了便于统计比较及消除部分测试误差,需将实测反力值进行适当的处理。处理的方法是将某一荷重下各测点的反力值连接成折线,并由折线与坐标线所围成的面积计算总反力值,总反力除以长度而得到平均反力。每一测点的反力值除以平均反力即可获得反力的相对值。现将各工程反力的相对值列于表(2)。