

# 既有建筑物地基土压密效应的研究

郭忠贤

杨志红

(石家庄铁道学院建工系, 石家庄 050043) (河北省建筑科学研究院, 石家庄 050021)

**【摘要】** 在既有建筑物的增层改造中, 首先要解决的问题是对地基土作出正确的评价。根据某工程实例, 通过室内外大量试验数据的分析, 并结合两组静载荷试验, 探讨了地基土长期荷载作用下, 土的物理力学性质的变化规律。

**【关键词】** 压密效应; 既有建筑物; 静载荷试验; 地基土

**【中图法分类号】** TU431

**【Abstract】** Before accomplished buildings are reformed to increase their layers, the first important problem is to correctly evaluate the properties of the foundation soil. Based on a certain engineering practice, by analyzing many laboratory and in-site test data together with two groups of loading test, the variable regularity of physical mechanics properties of foundation soil is discussed.

**【Key words】** compression effect; accomplished buildings; static-loading test; foundation soil

## 1 工程概况及地质条件

某单位四栋四层住宅楼, 建于1979年初, 同年8月全部竣工, 单楼占地面积 $82.86\text{ m} \times 10.26\text{ m}$ 。该建筑为砖混结构, 基础由两种材料组成, 上部为砖砌条形基础, 下部为 $0.4 \sim 0.55\text{ m}$ 厚的灰土基础, 基础底面高程为 $-1.10 \sim -1.65\text{ m}$ (由室内地面起算)。1991年拟增建一层。为评价地基土的力学性质, 我们进行了一系列的对比试验, 研究了地基土在长期荷载作用下, 地基土的压密效应及强度增长的幅度。

四栋楼场地地层如下: ①杂填土: 含灰渣砖及植物根系, 层厚 $0.4 \sim 1.2\text{ m}$ ; ②粉质粘土: 黄褐色夹有粉土薄层, 呈可塑状态, 局部呈软塑和硬塑状态, 见孔隙、铁锰结核及姜石, 在 $2.5 \sim 3.0\text{ m}$ 姜石较为富集, 属高压缩性土; ③粉质粘土: 黄褐色, 呈可塑、硬塑状

态, 多含姜石、铁锰结核。此层强度较高, 据静探、轻便触探, 在深度 $3.3 \sim 3.9\text{ m}$ 之间出现明显峰值。

该楼的上下水管道均埋设在楼的北、东方向, 使用期间锈蚀严重, 长期得不到及时维修, 加之室外地面低洼, 排水不畅, 致使北、东方向地基土含水量较高。

## 2 试验方法

### 2.1 取样及资料整理

在基础边先挖探井, 南墙挖7个, 北墙挖5个, 室内横墙挖4个, 共计16个探井。

水平方向以基础下中心, 基础边界外, 基础外 $0.5\text{ m}$ 为取样点; 垂直方向沿基底面下每 $0.5\text{ m}$ 处为取样点; 共分四层, 取原状试样共计166件。

将土样做土工试验, 对其结果进行统计计算(见表1), 并绘制出孔隙比、压缩系数等

**作者简介:** 郭忠贤, 1964年生, 男, 汉族, 河北石家庄人, 讲师, 工学硕士。1991年毕业于西安冶金建筑学院结构工程专业。现主要从事土力学、基础工程的教学和科研工作。

与基础下 1.5 m 深度的各种关系曲线。

表 1 土的物理力学性统计表

取样深度 h/m 及水平位置	地基土物理 力学指标	w(H <sub>2</sub> O) /%	天然重度 γ/(kN·m <sup>-3</sup> )	压缩系数 a <sub>1-2</sub> /(MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 E <sub>s1-2</sub> /MPa	天然 孔隙比 e	液性 指数 I <sub>L</sub>	统计 个数 n	回归修 正系数 Ψ <sub>f</sub>	承载力 标准值 f <sub>k</sub> /kPa
0~0.2	基础中心	22.19	18.34	0.442	6.923	0.818	0.304	15	0.851	196
	基础边界	22.97	18.22	0.566	5.067	0.842	0.365	15	0.867	189
	基础外	22.60	17.47	0.831	2.849	0.912	0.298	15	0.904	183
0.5~0.7	基础中心	20.98	18.14	0.576	3.977	0.814	0.321	16	0.917	211
	基础边界	20.35	18.09	0.631	4.025	0.806	0.364	16	0.962	207
	基础外	20.53	17.84	0.721	3.512	0.837	0.323	16	0.894	199
1.0~1.2	基础中心	21.04	18.30	0.515	4.195	0.802	0.280	12	0.870	206
	基础边界	20.88	18.33	0.416	6.149	0.800	0.249	12	0.889	213
	基础外	21.45	18.22	0.501	4.957	0.817	0.311	12	0.847	195
1.5~1.7	基础中心	20.62	18.25	0.483	4.409	0.793	0.349	12	0.868	204
	基础边界	20.60	18.18	0.489	4.679	0.801	0.334	12	0.825	192
	基础外	21.25	18.17	0.458	6.779	0.809	0.401	12	0.841	189

## 2.2 轻便触探试验

轻便触探试验点在四栋楼的周边及屋内房心天然土布点,孔距为 3.3 m,孔位紧靠外墙灰土基础,以散水面为零点,孔深 5.1 m,总进尺 1 142 m,并绘出轻便触探试验结果。

## 2.3 静载荷试验

每栋楼取两点进行试验。一点在承重横墙下中心处,另一点在相邻的室内房心天然土上。共两组试验。基础下的试验以横墙为反力,试验设备置于基础中心下。天然土的载荷试验采用 MT3B 型载荷试验机的反力系统,载荷板面积为 0.25 m<sup>2</sup> 的圆板,载荷板高程 -1.80 m,放置在基础底面下 0.25 m 深度处(基础含 0.5 m 厚灰土基础)。用千斤顶加荷,三等标准测力计测定荷载,以百分表量测沉降量。

试验的加载分级、沉降观测、相对稳定标准及终止加载条件等均按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)的有关规定进行。

## 3 试验结果分析

### 3.1 土的物理力学性质的变化

在既有建筑物长期荷载作用下,由于压密固结效应,地基土的物理力学性能随时间

的增长而得到改善。

#### 3.1.1 孔隙比的变化

孔隙比的大小反映土的密实程度。图 1 为地基土不同部位,基础下 1.5 m 深度范围内地基土孔隙比的变化情况。由图 1 可看出:

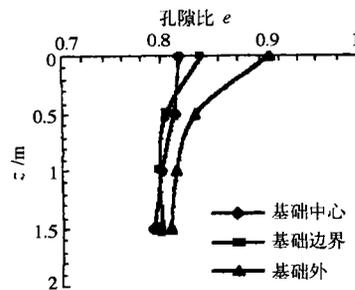


图 1 基础下孔隙比  $e$  变化

①孔隙比在水平方向的变化,以基底 0.0 m 为水平面,基础中心下孔隙比最小,基础外最大,基础中心下比基础外减少约 10%。在其他深度也有此规律,但孔隙比减少的幅度较小;②孔隙比在深度方向的变化,基础中心下 1.5 m 范围内变化不大,而在基础外 1.5 m 的范围内随深度的增加而减小。说明在基础荷载主要影响范围内(约 1.0 b,

$b$  为基础宽度)地基土的孔隙比因荷载作用而减少。

### 3.1.2 压缩系数和压缩模量的变化

压缩系数和压缩模量的大小反映土的压缩性大小。图 2 为基础下沿深度及水平方向压缩系数的变化情况。从图 2 可看出在同一深度的水平方向变化情况。在 0.5 m 深度内,基础中心处比基础外的压缩系数明显减小,其减小幅度达 20% 以上,基础中心处的压缩系数远小于基础外,说明基础下地基土的压缩性减小。到基础下 1.0~1.5 m 时,这种变化特点减小,压缩系数值变化不大。

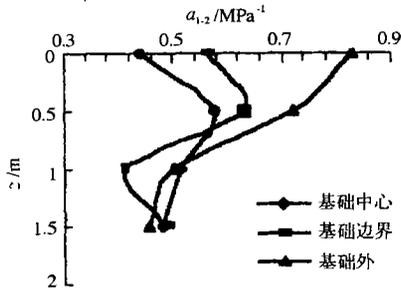


图 2 基础下压缩系数  $a_{1-2}$  变化

地基土压缩模量的变化,说明土的固结程度。压缩模量越大,在同一压力范围内压缩变形越小,土的压缩性越低。从图 3 可看出:

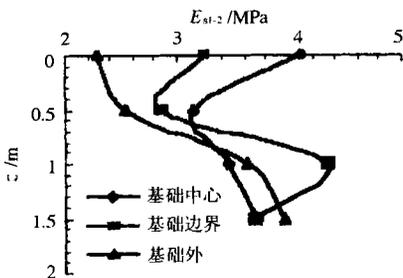


图 3 基础下压缩模量  $E_{s1-2}$  变化

基础下 0.0 m 深度处,土的压缩模量基础中心远高于基础外,提高幅度达 143%;基础下 0.5 m 深度处,土的压缩模量基础中心也高于基础外,提高幅度达 13.2%。基础

1.0~1.5 m 的范围内,压缩模量的变化规律不明显,但在基础外的压缩模量则随深度的加深,其压缩模量有明显的提高。

以上说明压缩系数及压缩模量的变化主要产生在 0.5 $b$  的基础深度范围内,其下变化不是很明显。

### 3.2 轻便触探试验结果分析

轻便触探锤击数的大小反映土的密实度大小,间接反映土的力学性能的好坏。图 4 为楼房不同部位及基础边界和室内天然土的轻便触探试验结果。从图 4 可看出,地基土所处楼房的位置不同,其轻便触探击数大小不同,因此其地基土承载力也不同。四栋楼的南、西方向锤击数高于北、东方向,在 0.0~0.9 m 的深度范围内,南、西方向平均 19 击,承载力标准值为 137 kPa,北、东方向平均 14 击,承载力标准值为 89 kPa,南、西方向比北、东方向的承载力高 53.9%。分析原因认为是下水管漏水造成的。

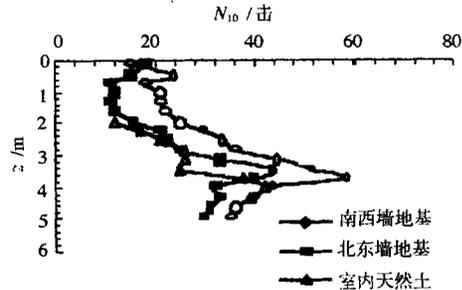


图 4 不同位置轻便触探  $N_{10}$  的变化

基础边界地基土与室内天然土轻便触探锤击数的比较,在 1.8~3.0 m 范围内,基础边界地基土轻便触探锤击数平均为 25 击,承载力标准值为 198 kPa;室内天然土平均为 20 击,承载力标准值为 145 kPa,基础边界地基土比室内天然土承载力提高 36.6%。

从以上结果看,地基土轻便触探锤击数南、西方向高于北、东方向,基础边界地基土比室内天然土高,四栋楼具有相同的规律。前者可能是由于水管漏水的影响,而后者是

由于长期荷载作用下的压密效应造成的。

每组试验基础下与其附近天然土的物理力学性质指标见表2、表3。

3.3 基础下地基土和天然土载荷试验

表2 第一组试验土物理力学指标

位置	深度 z/m	w(H <sub>2</sub> O)/%	重度 r/(kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙比 e	饱和度 s <sub>r</sub> /%	塑性指数 I <sub>p</sub>	液性指数 I <sub>L</sub>	压缩系数 a <sub>1-2</sub> (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 E <sub>s1-2</sub> /MPa	土名
天然土	1.55~2.25	20.6	18.44	0.777	72.0	12.4	0.25	0.28	6.44	粉质粘土
基础下	1.55~2.25	21.0	18.04	0.822	69.4	12.3	0.32	0.41	4.44	

表3 第二组试验土物理力学指标

位置	深度 z/m	w(H <sub>2</sub> O)/%	重度 r/(kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙比 e	饱和度 s <sub>r</sub> /%	塑性指数 I <sub>p</sub>	液性指数 I <sub>L</sub>	压缩系数 a <sub>1-2</sub> (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 E <sub>s1-2</sub> /MPa	土名
天然土	1.55~1.75	27.5	18.64	0.874	86.2	16.8	0.49	0.36	5.25	粉质粘土
基础下	1.55~1.75	27.3	18.58	0.876	85.3	16.7	0.56	0.32	5.85	
天然土	2.05~2.25	22.6	18.24	0.818	74.6	10.2	0.77	0.95	1.92	粉质粘土
基础下	2.05~2.25	22.4	18.28	0.818	74.3	11.9	0.64	0.83	2.20	

根据各试验点的试验数据绘制 p~s 曲线见图5、图6。承载力基本值按 S/B=0.02 所对应的荷载取值,各组试验结果见表4。

表4 基础下地基土与天然土试验结果对比表

试验组号及点号	力学指标			提高幅度
	承载力基本值 f <sub>0</sub> /kPa	变形模量 E <sub>0</sub> /MPa		
1	1-1(天然土)	208	7.48	7.7%
	1-2(基础下)	224	8.05	
2	2-1(天然土)	102	3.67	7.8%
	2-2(基础下)	110	3.95	

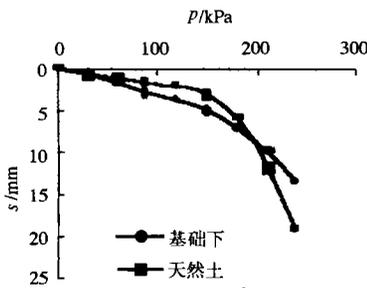


图5 第一组试验 p-s 曲线

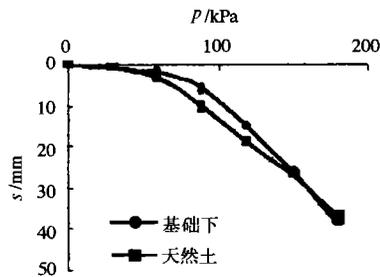


图6 第二组试验 p-s 曲线

从以上图表可知,基础下地基土承载力均比天然土承载力有所提高,第2组试验因下水道漏水,造成含水量偏高,承载力降低,但基础下地基土比天然土仍有相应的提高幅度。

4 结语

1)地基土的物理力学性质的变化,与原有建筑物长期荷载密切相关,基底下 0.5 b 深度范围内地基土的压缩模量有明显提高,压缩系数有明显降低;1.0 b 深度范围内地基土的孔隙比明显减少。

(下转 54 页)

计算支撑轴力为:

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= F_1 \times \frac{E_2}{E_1} \times \frac{A_2}{A_1} \\ F_1 &= \sigma_1 \times A_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

本工程中,在混凝土支撑对撑中,测得的混凝土收缩引起的钢筋应力计内的收缩力平均值为 10.6 kN,相当于断面中的钢筋的内力为 169 kN,钢筋应力为 10 203 kN/m<sup>2</sup>,混凝土应力为 211 kN/m<sup>2</sup>,该值相当于实测混凝土支撑轴力的 1/3。据上述公式计算,取 7 d龄期, $M=1.5$ , $\gamma=1.0$ 时,得到的应力计因混凝土收缩引起的钢筋应力为 6 899 kN/m<sup>2</sup>,混凝土应力为 142 kN/m<sup>2</sup>,实测和计算上的差异可能归结为所取的收缩龄期上的差异,混凝土在自由状态下,收缩的周期较长,而在受钢筋内约束时,收缩期认为在 7 d 内基本完成,因为此时不受外荷作用。

本工程支撑中实测温度变化引起的最大轴力约占支撑轴力的 20%,平均值在 8% 左右。

经过收缩应力与温度应力修正的轴力、未经过修正的支撑轴力的关系见图 4。

本基坑工程的支撑轴力量测,经过收缩应力、温度应力修正后的轴力平均值为 5 000 kN 左右,与设计值 4 237 kN 比较接近。初始阶段支撑基本不受外力作用下,修正后反映出较接近实际情况的小轴力值,而修正前该值为 2 200 kN,显然与实际不符。

### 3 结 语

本文根据钢弦式应力计的工作原理,通

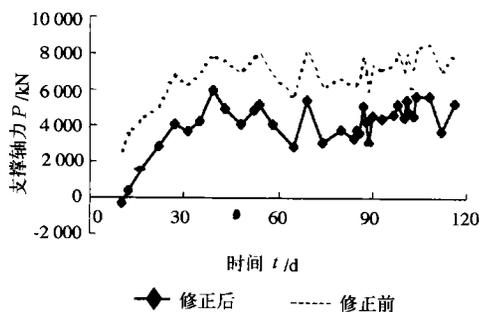


图 4 经过温度、收缩应力修正与未经过修正的支撑轴力对比

过对上海浦东某实际工程的现场温度和收缩应力的实测研究,说明对钢筋混凝土支撑量测进行现场收缩修正是必要的。实测结果可以看出,收缩引起的支撑轴力相当于整个支撑轴力的 1/3,是相当可观的;而温度变化引起的最大应力也相当于支撑轴力的 1/5。总而言之,基于现场的温度和收缩修正是必要的。这从一个侧面说明,目前的支撑量测中得到的支撑轴力实际反映支撑体系受力情况的份额应相应的减少。

本文研究了混凝土支撑中收缩应力和温度应力的影响,建议在基坑工程的支撑轴力的监测中进行现场温度和收缩应力修正。

### 参 考 文 献

- 1 赵锡宏,陈志明,胡中雄等著. 高层建筑深基坑围护工程实践与分析. 上海:同济大学出版社, 1996. 156~157

收稿日期:1999-06-21

(上接 50 页)

2) 轻便触探结果也显示,基础边界处锤击数明显高于室内天然土;说明基础下地基承载力有一定程度的提高。

3) 承重墙下地基土经 12 年的压密固结,承载力可提高约 7.7%。

4) 因管道漏水可造成地基承载力大幅度

下降,所以在增层改造中应对渗水部位地基土进行加固处理,并作好防水。

### 参 考 文 献

- 1 唐业清. 关于旧有房屋增层改造工程的几个问题. 建筑技术, 1992, 19(3): 1~6

收稿日期:1999-08-10