

文章编号:1002 - 8743(2001)01 - 0063 - 06

珠江三角洲软土压缩实验

李榴芬¹ 朱建民²

(1. 广州中山大学 地球科学系, 广东广州, 510275;
2. 广州市番禺区房地产联合开发总公司, 广东番禺, 511400)

摘 要:珠三角地区广泛分布着一层全新世海侵形成的软土层。本文作者用不同长度的 PVC 管, 在该软土层中进行取样, 并在室内分别用薄样(常规样)和样柱进行了压缩实验。薄样的实验结果表明, 样品的压缩量随着压力的增大而增大, 且压缩量变化最大的区间是在 0~150 KPa。为此, 对不同长度的样柱均施加 151 KPa 荷载。结果却发现, 样柱的总压缩量与样柱的长度呈正相关关系, 而压缩比则呈负相关关系, 说明压力在向下传导过程中是逐渐衰减的。

关键词:珠江三角洲; 软土; 样柱; 压缩实验

中图分类号:S152 **文献标识码:**A

珠三角地区广泛分布着一层全新世海侵形成的软土层, 其成分主要为淤泥、粉砂质淤泥和粘土等^[1]。海相成因的软土层的一般特征是天然含水量大、压缩性高、承载力低, 呈软塑到流塑状^[2,3]。在珠三角的大部分地区, 软土层的厚度一般为几米至十几米厚, 最厚可达五十余米^[1,4]。随着珠江三角洲地区经济建设的进展, 在软土层分布区兴建公路、铁路、水利、电力、机场、码头、高层建筑等大型工程项目日益增多, 厚层软土引起的地基下沉和地段失稳已经成为该区一个不容忽视的环境地质问题。

软土层变形在宏观上表现为压缩沉降。过去对各种类型土常规样品的压缩实验已作过很多^[5,6]。与此不同的是, 本项研究除了对珠三角的软土进行常规压缩实验外, 还对一定厚度的软土(样柱)进行压缩实验。后者对于进一步探讨软土层受压后在垂深变化规律及其与荷载的关系, 无疑是很意义的。

1 软土常规物理力学指标测试

珠江三角洲的软土主要为海相淤泥和淤泥质土。据现有资料^[5,6]记载, 两者的常规物理参数一般如下:

1. 淤泥: 孔隙比大, $e > 1.5$, 液限 $W_L = 40\% \sim 48\%$, 塑限 $W_P = 25\% \sim 35\%$, 塑性指数 $I_P = 13 \sim 16$; 天然含水量 $W = 58\% \sim 70\%$ 以上, 超过其液限, 所以呈流动状态。由于含水量高, 孔隙比大, 所以其天然容重小 ($\gamma = 16 \sim 16.5 \text{ kN/m}^3$), 压缩性高 ($a_{1-2} = 1.2 \sim 1.5 \text{ MPa}^{-1}$), 抗剪强度低 ($C = 2 \sim 5 \text{ KPa}$)。颗粒组成中粘粒含量占 45~50%, 粉粒占 40~45%, 而砂粒含量一般小于 10%, 所以透水性低 ($K = 10^{-8} \text{ cm/s}$), 不易排水压密。

2. 淤泥质土: 液限 $W_L = 35\% \sim 40\%$, 塑限 $W_P = 20\% \sim 25\%$, 塑性指数 $I_P = 11$ 左右, 比上述淤泥的塑性稍低; 天然含水量 $W = 45\% \sim 50\%$, 稍大于液限; 天然容重 ($\gamma = 17.0 \sim 17.5 \text{ kN/m}^3$), 孔隙比 $e = 1.3$ 左右, 压缩系数约为 $a_{1-2} = 1 \text{ MPa}^{-1}$, 凝聚力 $C = 3 \sim 6 \text{ KPa}$, 工程性质较淤泥略胜一筹。颗粒组成中粘粒含量占 35%~40%, 粉粒含量占 55~60%, 砂粒约占 5%, 渗透系数 $K = 10^{-7} \text{ cm/s}$ 左右。

收稿日期: 2000-10-18

作者简介: 李榴芬(1964 -), 女, 江西人, 工程师。

为进一步了解软土的性质,也为下一步的压缩实验打下基础,本文作者对珠江三角洲的淤泥和淤泥质土的常规物理力学指标再次进行了测试,所获得的各种参数件(表 1),它与上述已有数据基本上是吻合的。

表 1 不同采样点软土样点土工试验结果

取样地点	取样深度 (M)	天然含水量 (%)	天然容重 (KN/m ³)	干容重 (KN/m ³)	土粒比重	自然隙比	孔隙度 (%)	饱和度 (%)	液 限 (%)
珠海明渠	2.00-2.50	58.8	16.3	10.3	2.74	1.668	62.5	100	40.3
广州水厂	2.00-2.50	66.5	16.4	9.8	2.66	1.697	62.9	100	46.0
广州污渠	3.80-4.30	45.7	17.0	11.67	2.66	1.280	56.1	100	36.0
	塑限 (%)	塑性指数	液性指数	有机质 含量 (%)	压缩系数 (MPa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)	抗剪强度 凝聚力 (KPa)	抗剪强度 内摩擦角 (度)	定 名
珠海明渠	26.8	14	2.286	1.43	1.2	1.90	2.2	9.1	淤泥
广州水厂	32.0	14	2.460	1.03	1.35	1.82	4.2	5.5	淤泥
广州污渠	25.0	11	1.88	0.77	0.94	2.43	3.6	9.0	淤泥质土

2 薄样压缩实验

为进行本次实验,作者分别在广州、珠海两地三个不同的地点采集淤泥样品。采样使用不同高度的 PVC 塑胶管(直径为 7cm)。方法是将管口削薄,并在管内涂上润滑油,然后沿垂线方向慢慢压入淤泥层中,从而获得不同高度的样柱。

软土样品的室内压缩实验分两组进行:一组是薄样(常规样),另一组是不同高度的样柱。

2. 1 实验步骤与结果

为保证试验结果的准确性,每组样都做了两个平行样。首先用环刀切取 2cm 厚的原状土样,放入常规的三联固结仪,施以不同的荷载:12.5 KPa、50 KPa、100 KPa、150 KPa、200 KPa、300 KPa、350 KPa、400 KPa、800 KPa。实验过程采用逐级加荷法,即每相隔一小时加荷一次,以防止软土产生强烈变形。为避免加荷后软土剩余含水量失真,加荷过程中用湿毛巾包围土样,以防水份蒸发。荷载加到最后一级时,稳定 24 小时后再在测微表读取数据。读取数据后取出土样,除去样品表层,然后放入小铝盒(每一级荷载装两盒),用于测定加荷后的软土含水量。

上述测试得到结果如下(表 2、表 3、表 4)

表 2 淤泥薄样压缩试验成果(珠海)

压力 (KPa)	总压缩量 (mm)	含水量 (%)	孔隙比
0	0	58.8	1.668
25	0.437	53.6	1.610
50	0.953	50.2	1.541
100	1.517	46.4	1.466
150	2.312	44.2	1.360
200	2.646	42.1	1.315
250	3.154	41.4	1.247
300	3.334	40.3	1.223
350	3.441	37.1	1.209

400	3.538	35.7	1.196
800	4.554	34.7	1.060

表 3 淤泥薄样压缩试验成果(广州)

压力 (kPa)	总压缩量 (mm)	含水量 (%)	孔隙比
0	0	66.5	1.697
12.5	0.775	58.8	1.544
25	1.645	58.5	1.475
50	1.730	57.9	1.464
100	2.020	56.8	1.425
150	2.350	54.8	1.38
200	2.712	52.6	1.331
250	2.993	51.1	1.293
300	3.165	50.2	1.270
350	3.174	48.3	1.269
400	3.250	46.5	1.224

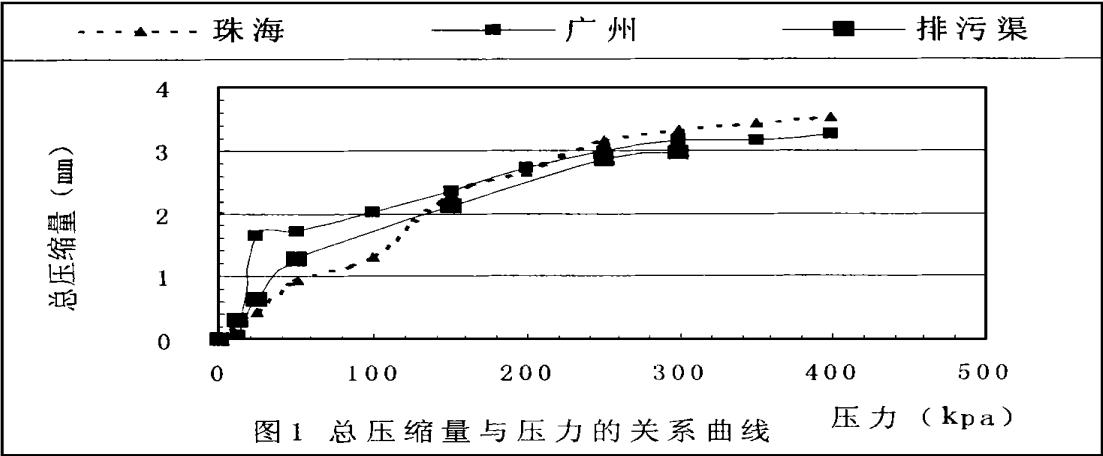
表 4 淤泥质土薄样压缩试验成果(广州)

压力 (kPa)	总压缩量 (mm)	含水量 (%)	孔隙比
0	0	45.7	1.280
12.5	0.307	44.7	1.245
25	0.623	43.4	1.209
50	1.289	30.5	0.833
150	2.114	27.1	0.739
250	2.85	23.0	0.655
300	2.956	22.4	0.638

2. 2 实验结果讨论

将表 2,3,4 的观测数据进行图示化处理,可以见到:

(1)总压缩量:加压初始,总压缩变化值较大。压力增到 150 kPa 之后,压缩量曲线逐渐趋向平缓(图 1)。



(2)含水量:与压缩量的变化相应,在加压初期,样品的含水量减少较快。压力增至 150 kPa 时,曲线渐趋平缓(图 2)。按现有理论,此后的变形应为次固结变形为主,如蠕变、流变等。

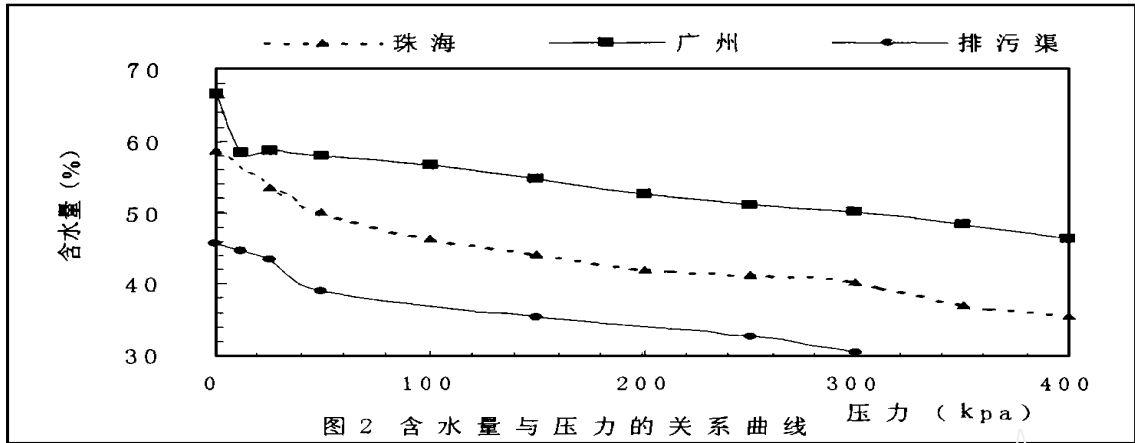


图2 含水量与压力的关系曲线

3. 孔隙比:按现有的计算公式 $e_i = e_0 (1 - \frac{\sum \Delta h_i}{h_0}) - \frac{\sum \Delta h_i}{h_0}$ 求得样品受压后的孔隙比。从图3可以见到,孔隙比的变化与总压缩量的变化也是相应的,即在加压初期,孔隙比变化较大。压力增至150 kPa时,曲线趋向平缓(图3)。

由于常规样品厚度小,可以认为压力是穿透性的,即样品的各个部位均匀变形。从上面的结果可以见到,样品受压后的总压缩量、含水量和孔隙比变化均与压力的大小有关,而且在0-150 kPa区间均出现一个陡变带。

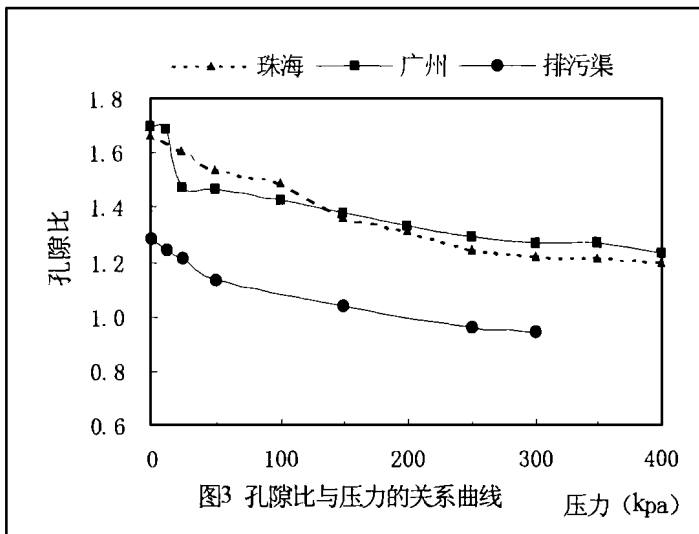


图3 孔隙比与压力的关系曲线

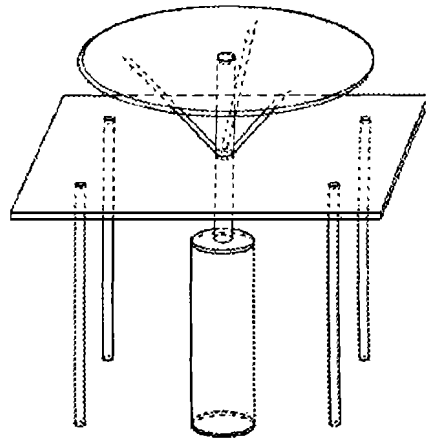


图4

3 样柱压缩实验

为研究软土层整体受压在垂深方向上的变化特征,作者对用PVC塑胶管在广州、珠海等地采集到的不同高度的淤泥样柱直接进行了加压试验。

3.1 实验步骤与结果

将各种高度的土柱放入专门设计的加压仪(图4)中,两端各放一张滤水纸和一块与土柱面积相同的透水石,底端对准有凹槽的托盘,以便加压时孔隙水的排出,顶端放加压平台,放加压平台前要把加压杆均匀地抹上凡士林,以减少加压杆与底座的摩擦。

前述薄样实验结果已经表明,软土受压后在150 kPa前压缩量变化最大,且100 kPa~200 kPa也比较符

合软土地基的实际受压情况。为进一步证实这一认识,先以一高 30cm 的土柱试压,观察其受压后的变化。结果发现压力为 0~150 KPa 的区间确实是压缩沉降变化较大的区间;压力增至 150 KPa 后,软土的压缩量明显变化较小,加压稳定时间达 24 小时以后,土的压缩沉降变化也较小。所以,在以后的试验中均以 150 KPa 为标准,因实验室中砝码最接近 150 KPa 的数字是 151 KPa,故采用 151 KPa 的荷载,加满荷后稳定 24 小时测量样柱的压缩量。样柱的加荷也是逐级进行的。首先,抱稳加压平台,对准土柱轻轻地放下。要注意的是,样柱一定要保持垂直,并要在加压杆上刻上样柱顶面在施压前的位置。然后相隔 1 小时加荷一次,直到到 151 KPa 后稳定 24 小时,然后测量总压缩量(沉降量)。

在 151 KPa 的压力作用下,不同高度的淤泥样柱的压缩量和压缩比(压缩量/样柱原始高度)分别见表 5 和表 6。

表 5 等压下不同高度样柱的压缩量和压缩比 (珠海, P = 151 KPa)

样柱高度 (mm)	20	78.5	96	192.5	264	271	280	405	521.5
压缩量 (mm)	2.31	8.0	9.7	15.8	18.9	19.2	19.4	22	26
压缩比	0.115	0.121	0.118	0.075	0.068	0.068	0.067	0.054	0.054

表 6 等压下不同高度样柱的压缩量和压缩比 (广州, P = 151 KPa)

样柱高度 (mm)	20	96	192	273.5	295	396	505.5
压缩量 (mm)	2.35	11.0	18	22.9	23.2	26.5	27.0
压缩比	0.118	0.118	0.073	0.060	0.061	0.057	0.050

3.2 实验结果讨论

从表 5 和表 6 可见,土柱加压后,其压缩量是随着土柱高度的增加而增加,但压缩比却随着土柱高度的增加而减少。这意味着在样柱的垂深方向上压应力是逐渐衰减的。如果我们将样柱沿其垂深方向分割成为一系列如前述常规样品的厚度一样的厚的小单元,那么各个单元所受到的压力应该是不一样的:离开力的作用点(样柱顶面)距离越远的单元受到的压力应该越小。而前述常规样品的实验结果又已表明,压缩量与压力有关。所以,样柱垂深方向上的不同单元的压缩量对于样柱总压缩量的贡献是不一样的。这就是说,如果在天然软土层上施加的荷载不是足够大的话,外压力不一定能够穿透整个软土层。压力应随着深度的增加而衰减,并在某一定深度处趋向于零。这一认识对于在面状工程^[7],例如高速公路、机场等的建设时计算软土层的总沉降量可能是很有意义的。

综上所述,用一定高度的样柱进行压缩实验,并进一步研究其受压后在垂深方向上的结构变化特征,从而研究不同深度上的软土的受力特征及其对总沉降量的贡献。这对于模拟或计算天然软土层在一定荷载下的变形及预测其沉降量,应该是很有意义的。

参考文献

[1] 黄镇国,李平日,等,珠江三角洲形成发育演变[N].广州:科普出版社广州分社,1982.
[2] 甘德福等,上海地区淤泥质粘土结构的初步研究[J].勘察技术,1979(6):5-7.
[3] 高国瑞,中国海相沉积土微结构研究和工程性质[J],中国科学 B,1984(9):849-860.
[4] 陈国能,张珂,等,珠江三角洲晚更新世以来的沉积-古地理,第四纪研究,1994,(1):67-74.
[5] 高国端,近代土质学[M].地质出版社,1990.
[6] 唐大雄,孙懋文,工程岩土学[M].北京:地质出版社,1987.
[7] 张诚厚等,软粘土的结构性及其对路基沉降的影响[J].岩土工程学报,1995(5):25-32

COMPRESSIVE EXPERIMENTS ON THE SOFT - SOIL FROM THE PEARL RIVER DELTA

LI Liu-fen¹ ZHU Jian-min²

(1. Department of Earth Sciences ,Zhongshan University ,Guangzhou 510275 ;

2. Panyu Real Estate Development Company ,Guangzhou ,511400 ,China)

Abstract: A soft - soil layer formed during the Holocene transgression is distributed broadly in the Pearl River Delta. The authors of this paper have collected the specimens from the layer with the PVC piles of different lengths. The compressive experiments are carried out respectively on the thin specimens and the soil - columns. The experiment result of the thin specimen displays that the unit settlement of soil is increased with the increase of pressure , and in between 0 - 150 Kpa , the unit settlement changing rapidly. Compression of the soil - columns under the pressure of 151 Kpa , however , displays that with the increasing length of the columns , the settlement increases while the compressive ratio decreases. This indicates that the compressive stress should be reduced gradually in the vertical direction of the column , which should be significant in studying the change characters of the soft - soil layer in vertical direction under a certain load.

Key words: the Pearl River Delta ; soft - soil ; specimen column ; compressive experiment

(上接第 62 页)

[4] 陈述彭. “数字地球”战略及其制高点[J]. 遥感学报, 1999, 4.

[5] 郭华东, 杨崇俊. 建设国家对地观测体系, 构筑“数字地球”[J]. 遥感学报, 1999, 2.

[6] 钟玉琢. 地球信息化怎么搞[N]. 中国计算机报, 1999. 11. 29

STUDY ON CHINA DIGITAL EARTH DEVELOPMENT

HUA Cui¹ WU Jian-ping²

(1. Geography Department ,Guangxi Teachers College ,Nanning , 530001 ;

2. Geography Department ,East China Normal University ,Shanghai ,200062 ,China.)

Abstract: This paper gives a brief introduction of digital earth , analyzes the development significance of China digital earth and the existing problems. Based on the analysis , the strategies and construction scenarios about developing Chinese digital development have been put forward.

Key words: digital earth ; China digital earth ; strategy ; scenario.