

# 素填土的自然固结特征、固结机理及其利用

邹琼燕 罗照华

(湖南省地质工程勘察院, 湖南株洲 412003)

**【摘要】** 工程实例的试验成果表明:素填土在自然状态下将产生固结,但这种固结除了受自身重力作用外,还受到雨水下渗、阳光照射和风力风干等因素的影响,且上部主要受雨水下渗、阳光照射和风力风干的影响,下部则主要受自身重力的作用。因此素填土的这种固结不是单纯的自重固结,我们称之为自然固结。试验结果还表明:经过一定时间后,在雨水下渗和阳光照射和风力风干的作用下,上部一定深度内的素填土固结度较好,且形成“硬壳层”,填筑时间四年的素填土在 6 m 深度内,其力学性能相当或接近于夯击能为 2 160 kN·m 的夯填土,因此可以作为对沉降敏感性要求不高的轻型低层建筑物和道路、小荷载的持力层,这既可节省工程造价,且也是安全的。

**【关键词】** 跨线桥;优化设计;风荷载;整体稳定性;横断面

**【中图分类号】** TU 447

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.04.002

## The Natural Consolidation Characteristics And Mechanism And Its Utilization of The Plain Fill

Zou Qiongyan Luo Zhaohua

(Exploration Institute of Geological Engineering of Hunan Province, Zhuzhou, 412003, Hunan, China)

**【Abstract】** Engineering test results showed that: plain fill under the natural state will produce the consolidation, but affected by their own gravity and also by rainwater infiltration, exposure to sun and wind drying and other factors. The upper part is mainly influenced by rainfall infiltration, exposure to sun and wind drying effect, while the lower part mainly affected by gravity. So the fill of this consolidation is not simply the self-weight consolidation, we refer to as the natural consolidation. The results also show that: after a certain period of time, in rainwater infiltration, exposure to sun and wind dried under the action of a certain depth, the upper part of the fill consolidation degree is better, and the formation of “crust”, the filling time of four years the fill in the depth of 6 meters, its mechanical properties equivalent or close to compaction energy for 2160 kN·m tamping and filling, so it can be used for settlement sensitivity requirements of light low buildings and roads. For the bearing stratum of pile load, it lower project cost, and is safe.

**【Key words】** plain fill; natural consolidation characteristics; natural consolidation mechanism; utilization

### 0 引言

在我国南方的丘陵地区,原始地貌起伏较大,因此工程建设大多需进行切方填筑整平,因而形成许多深厚填土地带,这些填土多为素填土,且一般都没有进行分层压实,但自填筑完成到正式建设一般要经历数年,在这数年时间内,素填土在自然状态下都产生了不同程度的固结。对于冲填土<sup>[1]</sup>和吹填土<sup>[2]</sup>固结机理方面的研究和素填土固结度及利用方面的研究<sup>[3]</sup>尚见有报道,但对于素填土在这种自然状态下固结的特征、固结机理以及在工程建设中如何利用这种固结作用方面的研究尚鲜有报道,因此对这方面的研究既具有理论意义,也具有实用价值。本文以

某公司 3<sup>#</sup> 厂房的素填土为实例,对素填土的自然固结特征、固结机理及在工程建设中的利用进行探讨。

### 1 场地概况、素填土的岩性特征及气候条件

某公司新建生产基地共规划建设有 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 和 3<sup>#</sup> 等三栋厂房,三栋厂房分期建设,其中的 1<sup>#</sup> 厂房已于 2007 年建设完成,2<sup>#</sup> 厂房尚未建设,本文研究的 3<sup>#</sup> 厂房已于 2011 年 9 月进入基础施工。

三栋厂房场地的原始地貌形态均为丘陵地貌,地形起伏较大,相对高差为 20~35 m,场地整平后,厂房横跨挖方区和填方区,填方区的填土均为素填土,岩性主要由粉砂岩、砂岩、页岩和板岩的全风化岩及这些岩石的碎石组成,局部有少量黏性土,多为

含碎石粉质黏土、碎石土,局部为粉质黏土,厚度为6~16 m左右,填筑时间为2007年,至2011年9月历时已经四年。素填土中的地下水水位埋深为8.00~10.00 m。

场地处于亚热带季风气候区,四季分明,雨季雨量充沛,夏季阳光充足,秋季闷热干燥,冬季风力较大。

### 2 填土的试验成果

由于工程建设需要,2007年3月对1#厂房场地的素填土进行了强夯加固处理,设计夯击能为2160 kN·m,有效加固深度为6 m,强夯处理完成后进行了地基检测,而其他厂房场地的素填土未进行任何处理。为了评价3#厂房所处场地素填土的工程特性,公司委托勘察单位对场地的素填土进行了专门勘察。夯填土

(经过强夯加固处理的填土,下同)的检测和素填土(未进行任何加固,下同)的勘察试验成果分述如下。

#### 2.1 土工试验成果

3#厂房场地勘察共布置钻探取土孔7个,钻探深度10 m左右,孔内采取土试样29件,击实试验试样1件,根据击实试验结果,场地填土最大干密度为1.92 g/cm<sup>3</sup>;1#厂房强夯地基检测共布置钻探取土孔20个,钻探深度6 m左右(设计强夯有效处理深度),孔内采取土试样40件,击实试验试样1件根据击实试验结果,场地填土最大干密度为1.90 g/cm<sup>3</sup>。所取试样均作了土的常规试验,物理力学性质试验成果统计见表1,各物理力学指标随深度的变化规律见图1。

表1 填土土工试验成果统计表

深度/m	填土名称	频数/组	统计项目	含水量 w/%	湿密度 ρ <sub>0</sub> /(g·cm <sup>-3</sup> )	干密度 ρ <sub>d</sub> /(g·cm <sup>-3</sup> )	压实系数	孔隙比 e <sub>0</sub>	压缩系数 α <sub>v</sub> /MPa <sup>-1</sup>	压缩模量 E <sub>s</sub> /MPa
0.00~2.00	素填土	7	区间值	12.9~18.6	1.96~2.11	1.67~1.83	0.870~0.953	0.475~0.619	0.11~0.29	5.6~14.2
			平均值	16.1	2.03	1.75	0.911	0.549	0.15	11.4
			变异系数	0.124	0.028	0.034	0.034	0.098	0.428	0.248
	夯填土	19	区间值	16.1~32.0	1.88~2.12	1.42~1.79	0.747~0.942	0.507~0.896	0.13~0.26	6.5~11.6
			平均值	20.2	2.01	1.68	0.883	0.618	0.18	9.3
			变异系数	0.156	0.035	0.053	0.053	0.146	0.204	0.143
2.00~4.00	素填土	6	区间值	16.3~23.2	1.94~2.06	1.57~1.76	0.818~0.917	0.540~0.727	0.13~0.37	4.7~12.3
			平均值	18.7	2.02	1.70	0.887	0.593	0.19	9.7
			变异系数	0.135	0.021	0.042	0.042	0.118	0.500	0.312
	夯填土	12	区间值	17.3~23.6	1.89~2.06	1.53~1.76	0.805~0.926	0.543~0.779	0.15~0.28	6.0~10.3
			平均值	20.1	1.97	1.64	0.863	0.659	0.21	8.2
			变异系数	0.094	0.030	0.041	0.041	0.106	0.201	0.166
4.00~6.00	素填土	6	区间值	14.8~23.7	1.93~2.18	1.59~1.88	0.828~0.979	0.439~0.714	0.11~0.33	5.1~13.8
			平均值	18.5	2.04	1.73	0.899	0.575	0.22	8.6
			变异系数	0.191	0.048	0.074	0.074	0.207	0.438	0.458
	夯填土	9	区间值	20.8~25.0	1.87~1.95	1.50~1.60	0.789~0.842	0.690~0.818	0.23~0.30	5.9~7.7
			平均值	23.4	1.91	1.54	0.813	0.759	0.26	6.8
			变异系数	0.057	0.014	0.021	0.021	0.053	0.102	0.087
6.00~8.00	素填土	5	区间值	17.5~21.9	1.92~2.11	1.62~1.78	0.844~0.927	0.518~0.675	0.13~0.33	5.1~11.7
			平均值	19.1	2.03	1.70	0.888	0.591	0.24	7.5
			变异系数	0.087	0.039	0.042	0.042	0.116	0.381	0.395
	素填土	5	区间值	13.9~19.5	1.95~2.16	1.63~1.87	0.849~0.974	0.445~0.648	0.10~0.39	4.2~14.5
			平均值	15.8	2.08	1.80	0.938	0.500	0.17	11.5
			变异系数	0.137	0.041	0.055	0.055	0.171	0.756	0.362

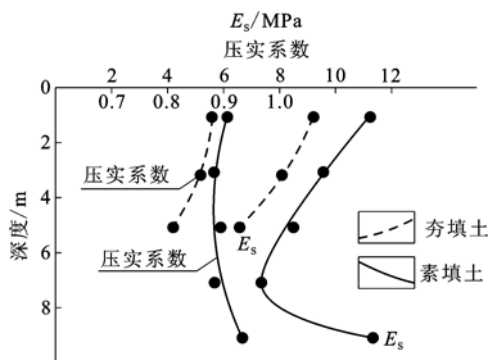


图1 压缩模量、压实系数随学深度变化曲线图

#### 2.2 标准贯入试验成果

3#厂房场地的素填土共进行标准贯入试验30段,试验成果的统计见表2,标准贯入试验修正击数随深度的变化规律见图2。1#厂房的夯填土未进行标准贯入试验。

#### 2.3 重型圆锥动力触探试验成果

3#厂房场地共布置重型圆锥动力触探试验钻孔19个,1#厂房场地布置重型圆锥动力触探试验钻孔22个,试验成果的统计见表3,重型动力触探试验修正击数随深度的变化规律见图3。

表 2 素填土的标准贯入试验成果统计表

深度/m	频数	区间值	平均值	标准值	标准差	变异系数
0.00~2.00	6	7.0~18.0	10.5	7.3	3.843	0.365
2.00~4.00	6	5.9~11.6	8.7	6.8	2.266	0.261
4.00~6.00	6	6.5~9.1	8.0	5.9	2.259	0.255
6.00~8.00	6	7.1~9.0	8.5	6.5	2.196	0.231
8.00~10.00	6	7.7~9.9	9.2	7.5	2.133	0.201

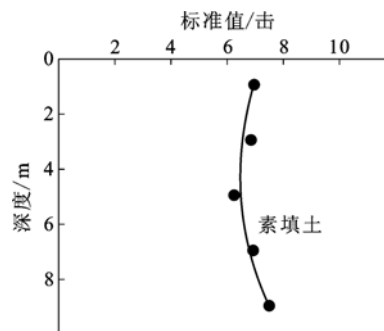


图 2 素填土标准贯入试验击数随深度变化曲线图

表 3 重型圆锥动力触探试验成果统计表

深度/m	填土名称	频数	区间值	平均值	标准值	标准差	变异系数	素填土与夯填土标准击数比值/%
0.00~2.00	素填土	273	1.0~15.0	5.8	5.5	3.011	0.497	84.6
	夯填土	10	4.7~14.5	8.4	6.5	3.189	0.381	
2.00~4.00	素填土	312	1.0~10.3	4.2	4.2	1.786	0.399	66.7
	夯填土	52	1.4~16.6	7.0	6.3	2.987	0.427	
4.00~6.00	素填土	314	1.0~9.5	3.8	3.6	1.850	0.473	67.9
	夯填土	40	2.0~14.5	6.1	5.3	3.020	0.491	
4.00~6.00	素填土	161	2.0~8.7	4.9	4.6	1.850	0.370	93.9
	夯填土	22	2.3~14.4	6.3	4.9	3.705	0.585	

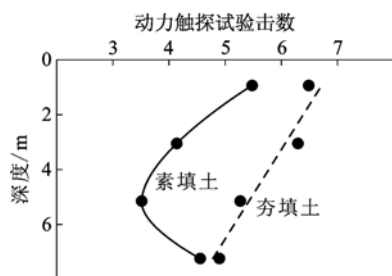


图 3 重型圆锥动力触探试验击数随深度变化曲线图

### 3 素填土的物理力学特征及固结机理

#### 3.1 素填土物理力学特征

上述图表显示:夯填土的压实系数、压缩模量、重型圆锥动力触探试验击数等物理力学性能指标随深度的增加呈线性递减,而素填土则不然,其物理力学性能指标随深度的增加则呈抛物线型变化,压实系数、标准击数和重型圆锥动力触探试验击数在 0.00~4.00 m 段由大变小,呈递减之势,4.00~6.00 m 段最小,6.00~10.00 m 段则由小变大,呈递增之势(压缩模量  $E_s$  也是这种趋势,只是深度下移了 2 m,这应该是所取土样的差异性 & 试验误差所致)。

#### 3.2 素填土的自然固结机理

夯填土物理力学性能指标随深度呈线性递减是夯击能自上而下衰减造成的。而素填土的物理力学性能指标随深度呈抛物线型变化又是什么原因造成

的呢?笔者认为应该是素填土的固结机理所致。素填土在固结过程中受到了以下几种内外营力的作用:一是土体的自重;二是雨水的下渗;三是阳光的暴晒;四是风力的风干。也即素填土的固结过程不但受到土体自重的作用,同时还受到了其他外营力的作用,因此不是单纯的自重固结,而是一种包括自重等自然营力作用下的固结,我们称之为自然固结。

分析可知,素填土填筑后的固结机理如下:首先,在土体自身重力的作用下孔隙中的水与气体逐渐排出,空隙减小,从而使土体得到逐步固结,土体结构强度逐渐增大。由于填土的自重力是随深度递增的,因此随着深度增加,土体的固结度是渐增的;其次,在雨后雨水逐渐下渗,在下渗过程中,一是增加土体自重,二是形成渗透力,两者的共同作用加大了对土体的作用力,加速了土体的固结速度。由于渗透力与渗透距离成正比,同时增加的土体重力远小于水的渗透力,因此雨水下渗作用的最终效应是随深度增加呈递减之势;第三,在日照和风的作用下,上部填土中的水分被大量蒸发,促进土体的固结进程,这种影响自上而下变弱,故填土的力学性能也是自上而下递减。

在自重力作用下,填土的固结度自上而下递增,而在雨水、阳光和风等外营力的作用下,填土的固结度自上而下递减,且往往在地表一定深度内形成一

层力学性能较好的“硬壳层”。自重和外营力综合作用的结果,导致素填土的物理力学性能指标自上而下的变化曲线呈抛物线型。

#### 4 自然固结素填土的利用

为了说明已自然固结素填土的可利用性,我们先用室内土工试验成果和野外重型圆锥动力触探试验成果对素填土与夯填土的力学性质比较分析如下。

图1显示,素填土的压缩模量和压实系数随深度变化曲线均位于夯填土的右侧,也就是说素填土的力学性能比夯填土普遍偏好。图3和表3则显示,素填土的重型圆锥动力触探击数随深度变化曲线却位于夯填土的左侧,即原位测试试验得出的结论是素填土的力学性能比夯填土要差,为夯填土的66.7%~93.9%,其中上部2m段和6m以下段可达夯填土的90%左右,深度2~6m段则为夯填土的2/3左右。

上述分析比较表明:尽管素填土的室内土工试验的物理力学性能指标受取样代表性的影响而有所失真,但结合野外重型圆锥动力触探试验的结果可以得出结论:总体而言堆填时间四年的素填土上部与夯击能为2160 kN·m的夯填土的力学性能接近。根据土工试验成果和重型动力触探试验的结果估算<sup>[4]</sup>,其承载力特征值不小于120 kPa,因此可以作为轻型低层建筑物天然地基的持力层,也可作为道路或小荷载堆载物的天然地基础持力层。

当然,尽管经过多年自然固结的素填土具有较好的力学性能,但仍具有不均匀性、高压缩性和一定的湿陷性等特征,因此以其作建筑物天然浅基础持力层时,应注意以下问题:

1)要充分利用“硬壳层”<sup>[4]</sup>,因此宜采用浅埋型基础;

2)要强化基础验槽,并采用轻型动力触探试验加以验证;

3)基础型式应以控制差异沉降、强化上部结构与基础共同作用的刚度为原则,且应使附加应力作用下的沉降影响深度尽可能减小。因此宜采用交叉梁的独立柱基或条形基础。

#### 5 结论

1)素填土填筑后将产生固结,但这种固结不仅受到土体自重力的作用,还受到雨水下渗过程中的增加重力和渗透力的作用,以及阳光照射、风力风干等失水效应的作用,因此素填土的这种固结不是单纯的自重固结,严格而言称之为“自然固结”更为准确。

2)素填土自然固结的固结度自上而下有逐渐递减,递减至一定深度后又转为逐渐递增的变化特征,即变化曲线总体呈抛物线型。形成这种变化特征的机理是雨水下渗过程的渗透力和增重力及阳光照射、风力风干与土体自重力共同作用的结果。

3)素填土的自然固结在上部一定深度内固结度较好,且往往形成一层力学性质较好的“硬壳层”。试验结果表明:填筑时间四年的素填土上部的力学性能相当或接近于夯击能为2160 kN·m的夯填土,因此为节省造价,一些对沉降要求不高的轻型低层建筑物和道路或小荷载堆载物可以以素填土作天然地基持力层。

4)通过对3<sup>#</sup>厂房场地素填土的勘察和试验,在分析素填土自然固结机理的基础上,通过与1<sup>#</sup>厂房强夯填土力学性质的对比,肯定了素填土具有较好的力学性能,不进行强夯加固处理可以满足厂区道路、工厂生产过程产品堆载对的要求,为此节省工程造价200多万元,既缩短了工期,也取得了良好的经济效益。

#### 参 考 文 献

- [1] 杨 坪. 上海冲填土工程特性及自重固结变形机理研究[D]. 上海:同济大学,2007.
- [2] 成玉祥. 滨海吹填土结构强度形成机理与真空预压法关键技术研究[D]. 西安:长安大学,2008.
- [3] 易宙子,张文华. 填土自重固结度及其利用研究—以深圳某工程为例[J]. 城市勘测,2005(6):57-59.
- [4] 常士骠,张苏民,等. 工程地质手册(第四版)[S]. 中国建筑工业出版社,2007.

收稿日期:2012-05-08