

螺旋板载荷试验资料整理若干问题探讨

张海东¹ 张金力² 郝庆芬³

(1. 辽宁省建筑设计研究院岩土工程公司, 辽宁沈阳 110005;

2. 辽宁省公路勘测设计公司, 辽宁沈阳 110005; 3. 沈阳建筑工程学院, 辽宁沈阳 110015)

【摘要】 螺旋板载荷试验对获取地下水位以下土层的工程参数具有无可比拟的优势, 但在试验资料的整理分析方面, 尚有若干问题需要解决。在大量试验的基础上, 对这些问题进行了有益的探讨。

【关键词】 螺旋板载荷试验; $p-s$ 曲线; 承载力特征值; 变形模量

【中图分类号】 TU 413.4

Discussion on the Experimental Material Analysis of Screw Plate Load Test

Zhang Haidong¹ Zhang Jinli² Hao Qingfen³

(1. Liaoning Provincial Building Design & Research Institute Geological Project Co Ltd Liaoning Shenyang 110005; 2. China Liaoning Highway Surveying & Designing Company, Liaoning Shengang 110005; 3. Shenyang Jianzhu University, Liaoning Shenyang 110015 China)

【Abstract】 Screw plate load test has incomparable advantage in obtaining the engineering parameter of soil layer below groundwater level, however, there are several problems which need to be solved in terms of the sorting and analysis of experimental materials. On the basis of plenty of experiments, some beneficial discussions on these problems are given.

【Key Words】 screw plate load test; $p-s$ curve; characteristic value of bearing capacity; modulus of deformation

0 引言

螺旋板载荷试验是由挪威人 N. Janbu (1973) 提出的, 是由常规的平板载荷试验演变而来的, 它是将一个螺旋形的承压板借用机械或人力旋入地面下预定深度后, 通过传力杆对螺旋形的承压板施加荷载 (见图 1), 并观测板下地基土体受压后板的位移, 从而获得地基土的压力-变形-时间的关系曲线; 该试验可以测求地下水位以下砂土压缩模量、承载力、变形模量和粘性土的不排水抗剪强度、固结系数、变形模量、承载力。目前在一些国家, 如瑞典、美国、加拿大、挪威等国, 均已普遍应用于工程实践中, 最大试验深度可达 30 m, 我国新修订的《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001) 虽已将该项试验纳入条文中, 但相关的试验规程还不完备, 如何整理试验资料 and 如何利用试验成果还没有比较普遍认可的观点。这大大限制了螺旋板载荷试验在工程实践中的应用。本文在 104 点螺旋板载荷试验资料的基础上, 对如何分析试验资料进行了探讨, 提出了可借鉴的几点看法。

1 关于 $p-s$ 曲线的分析

在许多文献^[1~4]中, 螺旋板载荷试验的 $p-s$ 曲线有三种形式: 一是如平板载荷试验一样, 以实际加

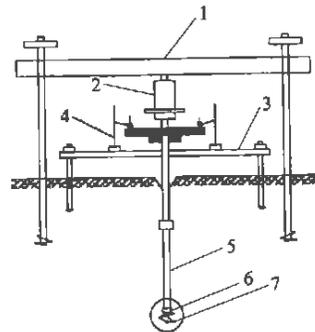


图 1 YDL 型螺旋板载荷试验仪
1—反力装置; 2—液压千斤顶; 3—磁力表座;
4—百分表座基准梁; 5—传力杆; 6—测力传感器;
7—螺旋型承压板

荷及每级荷载下的沉降量作 $p-s$ 曲线; 二是在 p 轴上以原位上覆压力 p_0 为起始点, 附加压力为 p_N , 则 $p = p_0 + p_N$, 作 $p-s$ 曲线 (见图 2); 第三种是将 $p-s$ 曲线初始直线段延长, 使其与 p 轴相交, 取其交点 p_0 为原位覆盖压力 (见图 3)。第一、二种方法无可非议, 第三种方法似乎不妥。原因是: 其一, 螺旋板试验是在地表下某一深度原位应力条件下进行的, 螺旋板在旋转置入时, 虽然对土体有一定的扰动, 但板上的土体并未取出, 作用在板上的上覆土压力

是存在的;而不象钻孔内承载板试验,将承载板位置以上的土体全部取出,使受压土体经历了卸荷—回弹—再压缩的过程;其二,通过传力杆传到螺旋板上的荷载,无论多么小,对于试验位置的土体而言都是附加荷载,换言之,螺旋板载荷试验的 $p-s$ 曲线的 p 轴严格的定义应为附加压力;其三,通过我们做的近百点不同深度的螺旋板载荷试验, $p-s$ 曲线并未反映出图 3 的特征,而是通过原点的居多,个别曲线最初直线段的延长甚至与 s 轴相交(见图 4);其四,加拿大学者 Selvadurai A. P. S 教授在其文章《软粘土中的螺旋板载荷试验和螺旋钻试验》^[5] 中给出一典型的荷载—位移曲线(见图 5),该曲线是通过原点的。综上所述,在螺旋板载荷试验曲线上,定义一个初始压力点 p_0 是不恰当的。

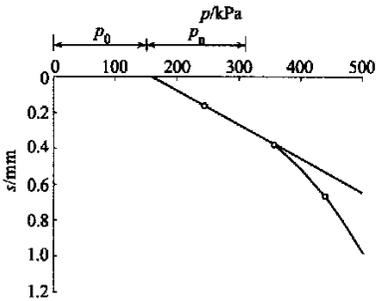


图 2 螺旋板载荷试验 $p-s$ 曲线

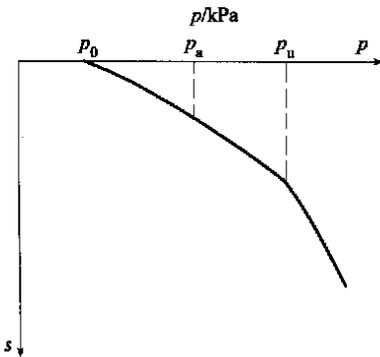


图 3 确定 p_0 、 p_a 、 p_u 值示意图

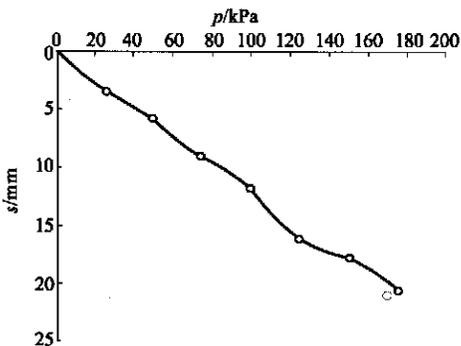


图 4 螺旋板载荷试验的 $p-s$ 曲线
(盘棉某工地)

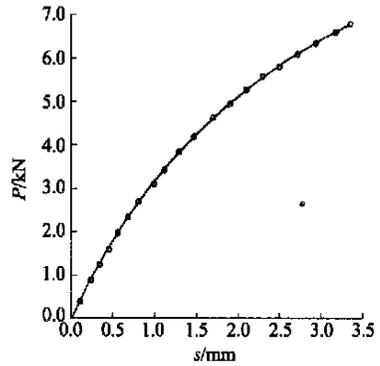


图 5 螺旋板的典型 $P-s$ 曲线

2 关于承载力特征值的确定

我们知道 $p-s$ 曲线特征是多因素综合反映的结果,而螺旋板载荷试验的 $p-s$ 曲线则是某一深度,某一压板面积,试验土体的应力应变特征的综合反映。由于试验成果已包括了上覆土压力的因素,所以在螺旋板载荷试验 $p-s$ 曲线上确定的承载力与在平板载荷试验 $p-s$ 曲线上确定的承载力的物理意义是不一样的。平板载荷试验是半无限体表面作用一分布荷载;而螺旋板试验则是无限体内作用一分布荷载。两者的作用机理是截然不同的,以往的关于承载力的概念大多是指天然地基浅基础承载力,大部分土分析结果和原位测试结果都是与平板载荷试验结果建立的相关关系,所以,如果把螺旋板载荷试验结果等同于习惯意义上的天然地基浅基础承载力便是错误的。这一点是首先必须明确的。

按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中地基承载力特征值“指由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值,其最大值为比例界限值”,对于按正常使用极限状态进行设计的房屋建筑地基而言,这一定义同样适用于螺旋板载荷试验,因为根本的原则,是要把地基承载力界定在地基土的临塑荷载以内。

规范中用 $p-s$ 曲线确定承载力有三个原则,简单地讲即:①取比例界限;②取极限荷载的一半;③当压板面积为 $0.25 \sim 0.5 \text{ m}^2$,可取 $s/b = 0.01 \sim 0.015$ 所对应的荷载。前两条对于螺旋板载荷试验是可行的,第 3 条是否也同样可行则需要探讨。

表 1 为两种试验不同压板面积按相对沉降法确定的 s 值。

为了分析这些数值是否合理,我们进行了对比试验,对比试验的方法是,首先在试验深度取土样作不固结不排水三轴试验,获得强度参数 c 、 φ ,然后用 Flament 临塑荷载理论公式确定该地基土的临塑荷

载,最后用该临塑荷载值在 $p-s$ 曲线上确定相应的沉降量 s 值,分析对比试验结果。(见表 2)

表 1 两种试验不同压板面积
按相对沉降法确定的 s 值

试验种类	压板面积/ m^2	s/mm	
		$s/b=0.01$	$s/b=0.015$
平板载荷试验	0.25	圆形 5.60	圆形 8.40
		方形 5.00	方形 7.50
	0.50	圆形 8.00	圆形 12.00
		方形 7.07	方形 10.60
螺旋板载荷试验	0.01	1.1	2.0
	0.02	1.6	2.4
	0.05	2.5	3.8

表 2 临塑荷载值在 $p-s$ 曲线
上相应的沉降量 s 值

编号	土名	板头直径 b/mm	临塑荷载 p/kPa	沉降量 s/mm	试验深度 h/m	s/b
1	粉土	160	211	1.80	3.0	0.011 2
2	粉土	160	236	3.60	3.0	0.022 5
3	粉质粘土	160	132	2.50	5.0	0.015 6
4	粉土	160	83	1.40	1.8	0.008 7
5	粉土	160	143	2.10	3.5	0.013 0
6	粉质粘土	160	137	2.10	4.0	0.013 0
7	粉质粘土	160	150	3.11	8.0	0.019 0
8	粉质粘土	160	208	5.60	4.0	0.035 0
9	粉土	160	150	1.65	3.0	0.010 0
10	粉土	160	123	1.40	6.0	0.008 7
11	粉质粘土	160	211	4.35	6.0	0.027 0
12	粉土	160	154	4.00	5.0	0.025 0
13	粉土	160	211	2.70	5.0	0.016 8
14	粉土	160	102	2.30	4.0	0.014 0
15	粉土	160	164	3.90	3.0	0.024 0
16	粉质粘土	160	166	6.30	4.0	0.039 0
17	粉质粘土	160	126	3.50	5.0	0.022 0
18	粉土	160	100	2.80	4.0	0.017 5
19	粉土	160	113	2.60	3.0	0.016 2
20	粉土	160	130	2.70	5.0	0.016 8
21	粉土	160	111	1.55	2.0	0.010 0

表 2 中的粉土处于中密状态,粉质粘土和粘土都属于可塑状态,从表中可以看出,9.5%的 s/b 值小于 0.01,38%的 s/b 值小于 0.015,21%的 s/b 值小于 0.02,也就是说 69.5%的数值落在 $0.01 \leq s/b \leq 0.02$ 的范围内,由此可以得出,对于板头面积为 200 cm^2 的试验,对于一般粘性土、粉土用 $0.01 \leq s/b \leq 0.02$ 对应的压力作为承载力特征值是合理的。如何在这个区间选择要考虑:①建筑物对沉降的要求和对沉降的敏感程度;② $p-s$ 曲线的发展趋势,如果 s/b 取较大值时,对应的荷载下的沉降较大,或接近最大加荷值,则 s/b 应取较小值;③所确定的特征值不应大于最大加载量的一半。

3 变形模量的确定

从工程应用角度讲,螺旋板载荷试验最大的价值在于可获得不同深度处的变形模量试验值,这为在地基沉降计算中准确地采用弹性参数提供了保证,从目前掌握的资料看,关于用螺旋板载荷试验确定变形模量的方法有如下几种:

1) 规范法

现行《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)中,对深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验的变形模量,可按下式计算:

$$E_0 = \omega p d / s \quad (1)$$

式中: ω ——与试验深度和土类有关的系数;

p —— $p-s$ 曲线线性段的压力, kPa;

s ——与 p 对应的沉降, mm;

d ——承压板的直径或边长, m。

上式是在 Mindlin 解的基础上推算出来的,适用于地基内部垂直均布荷载作用下的情况。

2) Janbu 和 Sennest(1973)方法^[1]

土的一维压缩模量由下式给出:

$$E_0 = m \cdot p_a [p/p_a]^{1-a} \quad (2)$$

式中: a ——应力指数;

m ——系数,一般为 5~50;

p_a ——参考压力(等于 100 kPa);

p ——试验深度处原位上覆压力与试验施加压力之和。

3) 加拿大 Selvadurai 等人的方法^[1](1979)法

非应变软化的软粘土不排水模量可按下列式计算:

$$E_0 = Q^\circ A / (\pi r s) \quad (3)$$

式中: Q ——荷载, KN;

r ——螺旋板半径, m;

s ——荷载 a 所对应的沉降量, m;

A ——与弹性介质、圆形刚性、板-土界面的摩阻和土的扰动等的假设有关的系数。对于饱和软粘土,不排水条件下 $\mu=0.5$ 则

$$E_0 = (0.59 \sim 0.75) dp/s \text{ 或 } E = 0.67 dp/s \quad (4)$$

该法是把螺旋板试验简化为埋置于均匀各向同性弹性介质内部的一圆板,板承受一轴对称的荷载。

4) 加拿大 kay 等人的方法^[1]

硬粘土的不排水变形模量可用应变法试验得到的 $p-s$ 曲线按下式计算:

$$E_0 = A \Delta p d / \Delta s \quad (5)$$

式中: Δp ——压力增量, kPa;
 Δs ——压力增量对应的沉降量, m;
 d ——螺旋板直径, m;
 A ——取决于泊松比 μ 和螺旋板与土之间的粘质程度系数。

硬粘土的排水模量

$$E_0 = 0.42 \Delta p \cdot d / s_{100} \quad (6)$$

式中: Δp ——单位面积上的压力增量, kPa;
 d ——螺旋板直径, m;
 s_{100} ——在 Δp 压力增量下固结完成后的总沉降量, m。

5) 华东电力设计院方法^[3]

先按平板载荷试验计算变形模量 E_0 , 螺旋板的变形模量 E'_0 按下式计算:

$$E'_0 = c \cdot E_0 \quad (7)$$

式中: c ——深度修正系数。

上述各方法可用一个通式表达即

$$E_0 = A \cdot p d / s \quad (8)$$

式中: p/s —— $p-s$ 曲线直线段的斜率;
 d ——螺旋板的半径, m;
 A ——考虑土类、试验点深度、圆板刚度、板—土界面及土体扰动等因素的参数, 具体如何确定, 详见有关文献。

假定压板为刚性的土与压板光滑接触, 则用规范法与加拿大 Selvadurai 等人的方法进行比较, 发现相对埋深 d/z (z 为试验点深度) 土的颗粒越细, 规范法得出的变形模量越大, 最大可比 Selvadurai 等人的方法高出 30%, 仅当 $d/z=0.01$ 时, 两种方法得出的结果才比较接近。至于哪种方法取值更合理, 有待于在工程实践中进行验证。

但无论采用哪种方法, 正确的前提条件是, 公式中的 p 值应与该土层实际受到附加压力对应起来, 因为 p 代表的就是附加压力。此外, 由于螺旋板的直径很小, 代表受压土层的厚度有限, 所以, 对于厚度较大的成层土体应每隔 0.5~1.0 m 取一试验点,

以便获取该层土的平均变形模量值。因为小承压板上的载荷试验结果不能外延用来预估大尺寸基础的沉降量, 也就是说, 基础沉降量会受到远离小承压板的影响范围之外土层的影响。不可否认, 用实测变形模量值去计算地基沉降量自然是最佳的选择。特别是对于埋深不大的软弱下卧层, 用螺旋板载荷试验获取承载能力和变形指标是最直接的方法。

4 结 论

1) 螺旋板载荷试验从实践到理论研究在我国还处于初步阶段, 有许多问题尚待人们在实践中去不断地探索总结, 但有一点是确定无疑的, 即螺旋板载荷试验为获取深层土的特性指标开辟了一条新的途径, 特别应对软弱下卧层的研究, 螺旋板载荷试验无疑是最有效的方法。

2) 螺旋板载荷试验是研究在原位上覆土压力的条件下, 某一深度土体在附加压力下的变形特征, 其试验的 $p-s$ 曲线同平板载荷试验一样, 不存在上覆土压力特征点, 对于圆滑型的 $p-s$ 曲线, 粉土、一般粘性土的承载力特征值可取 $s/b=0.01 \sim 0.02$ 。

3) 对于有直线段的 $p-s$ 曲线, 在直线变形段内, 其变形模量应近似一常数, 对于圆滑型的 $p-s$ 曲线, 其变形模量可通过该土层实际承受的附加压力及相应的沉降予以确定。

参 考 文 献

- 1 林宗元. 岩土工程试验检测手册. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994. 329~338
- 2 王钟琦, 孙广忠, 等. 岩土工程测试技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. 242~243
- 3 林在贯, 等. 岩土工程手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 156~162
- 4 常士骠主编. 工程地质手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 275~277
- 5 方鸿琪, 等. 工程勘察译文选录, 1985. 1~7

收稿日期: 2004-05-24