

# 浅层平板载荷试验确定承载力特征值浅析

李雪萍,程祖峰,李娟,徐光兵

(河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**为了得到更加准确的地基承载力特征值,结合实例,简述邯郸市丰源小区工程内三点浅层平板载荷试验过程,以及将试验所得的原始数据进行整理,作出载荷量与沉降量( $p-s$ )、 $l_{gp}-l_{gs}$ 等多个曲线图,根据不同取值方法,在满足具体条件下,分别得到三点的地基承载力特征值,浅析结果后,确定此土层的地基承载力特征值。最后利用静力触探试验成果验证取值的合理性。

**关键词:**地基承载力;特征值;平板载荷试验; $p-s$ 曲线图

**中图分类号:**TU4

**文献标识码:**A

## Brief analysis of determine the characteristic value of bearing capacity in loading test of shallow plate

LI Xue-ping, CHENG Zu-feng, LI Juan, XU Guang-bing

(College of Natural Resources, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** For getting more accurate characteristic value of subgrade bearing capacity, Combined with the engineering instance, it describes process of the shallow plate load test at three points in the soil of the project of Fengyuan community in Handan, and the test results from the test first-hand data are obtained, then the load and settlement amount ( $p-s$ ),  $l_{gp}-l_{gs}$  and other curve graphs are made, according to different methods, such as the method of intensity and relative settlement control, to get characteristic value of subgrade bearing capacity at three points under meeting the specific conditions, after brief analysis of them, the characteristic value of subgrade bearing capacity is determined. Finally, the value will be verified with the results of cone penetration test.

**Key words:** subgrade bearing capacity; the characteristic value; plate load test;  $p-s$  curve graph

随着城市的发展,高、大、新奇的建筑物不断兴起,人们追求美观的同时,工程师们渐渐关注建筑物的安全,特别是地基及基础的变形与强度的问题。地基承载力值的确定在基础设计中尤为重要,从而技术人员对地基承载力值要求越来越严格。在实际工程中一般由原位测试(载荷试验、静力触探试验等)、公式计算,且结合工程实践经验等方法综合确定地基承载力特征值<sup>[1]</sup>。其中载荷试验是较准确、直接的方法,虽然此原位测试试验费时费力,但在重要工程中,一般会优先考虑做载荷试验<sup>[2]</sup>。当然只有合理地安排载荷试验及整理分析其试验资料<sup>[3]</sup>,才能得到有效的地基承载力值。本文以邯郸地区丰源小区工程为例,简述浅

层平板试验过程,以及对试验结果的浅析,最后与静力触探试验结果进行对比,从而得到符合实际的地基承载力特征值。

### 1 载荷试验介绍

载荷试验是在指定深度的试坑内,逐级加荷在一个刚性承压板,来测定不同荷载与不同时间下,承压板下的被测对象(地基或单桩)的沉降量,经过整理试验结果,最后确定它的承载力值和地基土的强度及变形特性的原位测试试验<sup>[4-5]</sup>。它反映了承压板下,在1.5~2倍的承压板直径(或宽度)范围内的地基土性质<sup>[5]</sup>。根据承压板的形式和指定深度的不同,载荷试验可分为浅、深层

(深度大于 3 m) 平板载荷试验和螺旋板载荷试验。本文只论述浅层平板载荷试验, 其试验深度小于 3 m。

浅层平板载荷试验技术要求:

(1) 刚性承压板可为方形或圆形, 宜选圆形, 其面积应大于  $0.25 \text{ m}^2$  (如果在软土或粒径较大的填土上试验, 需大于  $0.5 \text{ m}^2$ )。

(2) 试坑可以是方形和圆形, 它的宽度大于 3 倍承压板的宽度, 它的直径也是如此; 被测对象 (仅考虑土体) 应避免扰动, 尽量保持原状, 在试坑底部铺设厚度低于 20 mm 的砂垫层找平, 迅速安装设备。沉降测量仪 (百分表或位移传感器) 均匀安装。

(3) 最大加荷不应小于设计要求的两倍, 加荷分级应大于 7 级, 一般所施加等增量荷载为预估极限荷载的  $1/10$  左右, 荷载的量测精度应在  $\pm 1\%$  最大荷载。

(4) 加荷方式有常规慢速法、快速法和等沉降速率法, 本文仅介绍慢速法。施加各级荷载后, 记下间隔 10、10、10、15、15、30、30、30 min... 沉降量的读数, 满足稳定标准, 即当连续两个小时, 每小时的沉降量小于 0.1 mm 时, 可加下一荷载, 以此类推, 直到加荷结束。

(5) 当出现下面情况之一, 试验可终止, 终止时的荷载量为此试点极限荷载。当承压板四周的土明显侧向挤出时; 本级荷载的沉降量急剧增大, 大于上一级荷载沉降量的 5 倍, 即  $p-s$  曲线出现陡降段; 当某级荷载 24 小时都不满足稳定标准时; 当总沉降量与承压板直径 (或边长) 之比  $s/b > 0.06$  时。

## 2 工程实例

### 2.1 载荷试验说明

在邯郸市丰源小区工程 (1~7#) 场地中, 共布置三个浅层平板载荷试验点 A1、A2、A3, 为了使三点更具代表性, 分别在 1#、3#、6# 住宅楼北侧。三点同时开始试验, 均在同一粉土土层中, 在三试点附近各做两个静力触探试验 (单桥探头), 共六个静力触探孔 J1~J6。具体情况如下:

A1 点坑深为 1.4 m, 承压板为圆形, 面积为  $0.5 \text{ m}^2$ , 坑为  $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ , 总加荷 154 kPa, 分 11 级。(试验设备为全自动) 当加荷至 140 kPa 时, 24 小时未达到稳定标准。

A2 点坑深为 1.2 m, 承压板为圆形, 面积为  $0.635 \text{ m}^2$ , 坑为  $2.7 \text{ m} \times 2.7 \text{ m}$ , 总加荷 189 kPa, 分 12 级。(加压设备为手动加压系统) 当加荷至 158 kPa 时, 24 小时未达到稳定标准。

A3 点坑深为 1.4 m, 承压板为圆形, 面积为  $0.635 \text{ m}^2$ , 坑为  $2.7 \text{ m} \times 2.7 \text{ m}$ , 总加荷 174 kPa, 分 11 级。(加压设备为手动加压系统) 当加荷至 174 kPa 时, 24 小时未达到稳定标准。

J1~J6 孔深均 4.5 m, A1 点附近为 J1、J2, A2 点附近为 J3、J4, A3 点附近为 J5、J6。探头系数  $k_p$  为 0.01, 从孔口处每探入 10 cm 记录一次, 本文仅给出载荷试验土层范围内的数据, 整理后如表 3。

### 2.2 载荷试验结果与静力触探部分结果

原始数据整理后, 得到浅层平板载荷试验汇总如表 1、2 所示。

表 1 A1 点平板载荷试验汇总表

Tab. 1 Table of plate loading test of A1 point

序号	载荷/kPa	A1 历时/min		A1 沉降/mm	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	14	210	210	0.08	0.08
2	28	180	390	0.96	1.04
3	42	150	540	0.89	1.93
4	56	480	1 020	2.42	4.35
5	70	1 200	2 220	7.81	12.16
6	84	1 260	3 480	10.02	22.18
7	98	1 080	4 560	9.62	31.80
8	112	1 290	5 850	9.65	41.45
9	126	1 320	7 170	9.16	50.61
10	140	1 710	8 880	9.72	60.33
11	154	630	9 510	8.03	68.36

表2 A2、A3点平板载荷试验汇总表  
Tab.2 Table of plate loading test of A2 and A3 points

序号	载荷/kPa	A2 历时/min		A2 沉降/mm		A3 历时/min		A3 沉降/mm	
		本级	累计	本级	累计	本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0
1	15	90	90	0.10	0.10	150	150	0.09	0.09
2	31	120	210	0.55	0.65	150	300	0.50	0.59
3	47	210	420	1.29	1.94	210	510	1.08	1.67
4	63	360	780	2.86	4.80	360	870	2.34	4.01
5	79	630	1 410	4.45	9.25	780	1 650	4.00	8.01
6	94	810	2 220	7.06	16.31	840	2 490	6.03	14.04
7	110	750	2 970	7.02	23.33	840	3 330	6.96	21.00
8	126	840	3 810	8.98	32.31	840	4 170	8.50	29.50
9	142	1 080	4 890	9.92	42.23	1 050	5 220	11.15	40.65
10	158	1 530	6 420	13.69	55.92	1 380	6 600	13.21	53.86
11	173	1 410	7 830	11.04	66.96	1 560	8 160	18.13	71.99
12	189	60	7 890	2.30	69.26				

静力触探记录表包括 J1 ~ J6, 如表 3:

表3 J1 ~ J6点静力触探汇总表

Tab.2 Table of cone penetration test of J1 ~ J6

深度/m	仪表读数 $x/kg$					
	J1	J2	J3	J4	J5	J6
1.2			42	52		
1.3			55	99		
1.4	66	48	147	161	53	49
1.5	59	62	144	90	30	38
1.6	56	66	63	43	44	46
1.7	52	59	68	49	63	41
1.8	58	88	158	107	88	62
1.9	51	87	118	127	70	112
2.0	81	84	157	165	134	161
2.1	80	84	62	58	136	112
2.2	83	69			119	90
2.3					78	101

2 可知无明显直线段。

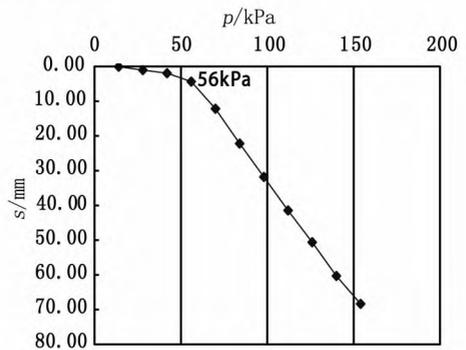


图1 A1点的p-s曲线图

Fig.1 p-s curve graph of A1 point

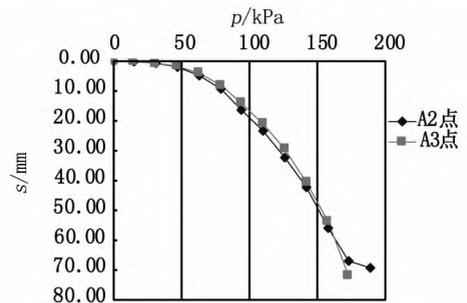


图2 A2、A3点的p-s曲线图

Fig.2 p-s curve graph of A2 and A3 points

(2) 当  $p-s$  曲线上没有明显的直线段时, 可用下面方法确定其特征值:

① 某一荷载的沉降量 ( $\Delta s_n$ ) 超过上一级荷载沉降量 ( $\Delta s_{n-1}$ ) 的两倍的点对应的荷载量为  $P_0$ 。根据表 1、2 可知, A1、A2、A3 的承载力特征值分别为 70、63、63 kPa。

② 取  $l_{gp} - l_{gs}$  曲线上的转折点对应的荷载量

### 3 地基承载力特征值的确定

试验结果整理后, 有以下几种方法确定地基土承载力特征值, 总体分为两类, 一类是根据强度控制的方法, 另一类是根据沉降控制的方法。此工程根据以下几种方法得到相应的承载力特征值。

#### 3.1 强度控制法

(1) 在  $p-s$  曲线上有明显的直线段时, 通常此直线段的终点对应的荷载量为比例界限  $P_0$ , 可取为承载力特征值。根据表 1 作  $p-s$  曲线如图 1, 在  $p-s$  曲线上有较明显的直线段, A1 点的  $P_0$  为 56 kPa; 根据表 2 分别作 A2、A3 曲线  $p-s$ , 如图

为  $P_0$ 。如图 3、4, 可确定 A2、A3 的  $P_0$  均为 79 kPa。

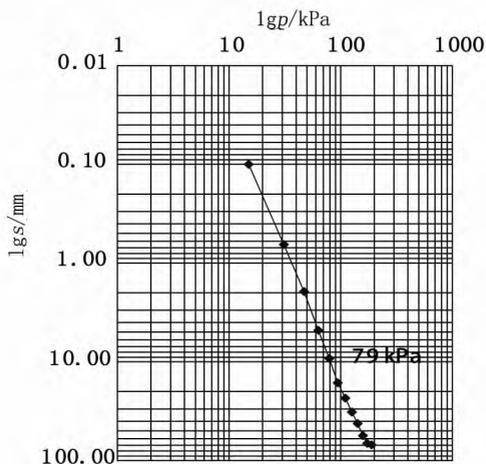


图3 A2点的lgp-lgs曲线图

Fig. 3 lgp-lgs curve graph of A2 point

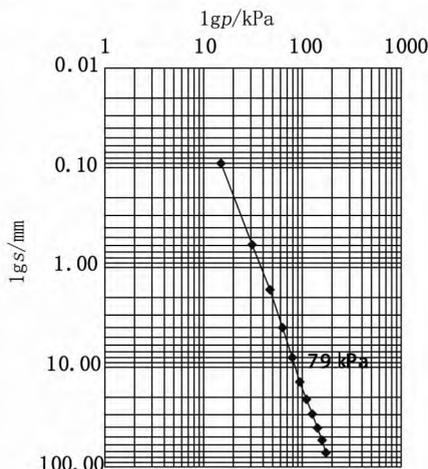


图4 A3点的lgp-lgs曲线图

Fig. 4 lgp-lgs curve graph of A3 point

③取  $p - \Delta p / \Delta s$  ( $\Delta p$  为荷载增量,  $\Delta s$  为相应的沉降量) 曲线上的转折点对应的载荷量为承载力特征值。如图 5 所示, A2、A3 的  $P_0$  均为 94 kPa。

当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的 2 倍

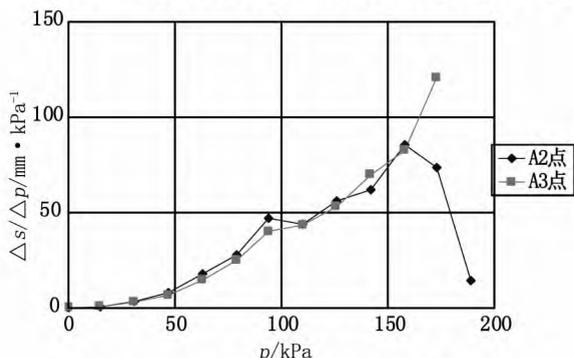


图5 A2、A3点  $\Delta s / \Delta p - p$  的曲线图

Fig. 5  $\Delta s / \Delta p - p$  curve graph of A2 and A3 points

时, 取极限荷载值的一半作为承载力特征值。A1、A2、A3 点的极限荷载为 140、158、174 kPa, 其极限荷载值的一半为 70、79、87 kPa。

### 3.2 相对沉降控制法

当以上方法不能确定时, 承压板面积为  $0.25 \sim 0.50 \text{ m}^2$ ,  $b$  为承压板的宽度或直径, 地基土承载力的特征值可取  $s/b = 0.01 \sim 0.015$  所对应的荷载量, 但不超过最大荷载值的一半<sup>[6]</sup>。A1 的地基承载力特征值已确定, 而且当  $s/b = 0.01$  时, 所对应的荷载量为 78 kPa, 超过了最大荷载值的一半 ( $154/2 = 77 \text{ kPa}$ ), 均说明不能用此方法确定。A2、A3 点试验的承压板面积均为  $0.635 \text{ m}^2$ , 也不宜采用此法确定其承载力特征值。

## 4 结果分析

综上所述, A1 点按照上述 3.1 中的(1)和 3.1 (2) 中的①方法确定地基承载力特征值均为 56 kPa, 可确定 A1 点的地基承载力特征值为 56 kPa; A2、A3 点按照上述 3.1(2) 中的三方法确定的地基承载力特征值分别为: 63、79、94 kPa, 但 A2、A3 点极限荷载值的一半小于 94 kPa, 舍去 3.1 (2) 中③方法的取值。取前两者的平均值为两点的地基承载力特征值, 即  $(63 + 79)/2 = 71 \text{ kPa}$ 。

在同一土层的 A1、A2、A3 三点试验点承载力特征值的极差为:  $71 - 56 = 15 \text{ kPa}$ , 它们的平均值为:  $(56 + 71 + 71)/3 = 66 \text{ kPa}$ , 因为  $15/66 < 30\%$ , 该土层的地基承载力特征值  $f_{ak}$  为 66 kPa<sup>[3]</sup>。

本工程所做试验的静力探头是单桥探头, 它的有关参数为比贯入阻力  $p_s$ 。

$$p_s = k_p \cdot x_i \quad (1)$$

在同一土层(粉土)中, 参数一般取该土层厚度的算数平均值, 根据表 3 和(1)式计算, J1 ~ J6 的比贯入阻力分别为 0.566 7、0.587 5、0.58、0.584、0.544、0.576  $\text{kg/cm}^2$ 。由下式确定地基承载力特征值<sup>[7]</sup>:

$$f_{ak} = 48 + 41.82p_s \pm 48.235 [0.01087 + 0.02383 (p_s - 1.61)^{0.05}] \quad (2)$$

得到 J1 ~ J6 的地基承载力特征值为 71.7、72.57、72.26、72.43、70.75、72.08 kPa。利用静力触探试验测试结果对应荷载试验 A1、A2、A3 试验点处的地基承载力特征值分别为 72.13、72.35、71.42 kPa, 其平均值为 71.97 kPa, 即该土层的地基承载力特征值  $f_{ak}$ 。(下转第 51 页)

是数千年文化积淀的实体展示,是历史空间的延续发展,我们只有保护好传统建筑,并把人文主义作为精神支撑点,现当代住宅才能更好、可持续地发展下去。

#### 参考文献:

- [1] 王建国,陈晓卫.人文视野下的德国国际建筑展[J].河北工程大学学报:自然科学版,2007,24(1):40-44.  
[2] 王其亨.风水理论研究[M].天津:天津大学出版社,2005.

(上接第42页)对比载荷试验和静力触探试验方法所确定的地基承载力特征值,其结果均相近,说明浅层平板载荷试验过程以及试验资料分析确定的方法较合理。

#### 5 结语

在规范中,虽然明确规定载荷试验成果确定地基土承载力特征值的方法,但试验成果较复杂,如何更好地应用规范里的方法得到符合实际的地基承载力特征值尤为重要。本文以邯郸市丰源小区工程的三点浅层平板载荷试验为例,采用不同方法确定地基土承载力特征值为66 kPa。最后静力触探试验确定的地基承载力值(71.97 kPa)与其结果相近,说明此试验成果分析得较合理。

(上接第46页)是桩底反射。位置不同的断桩在相同的时间上缺陷波的大小相差不大,说明了缺陷的位置不怎么影响振动速度的衰减程度。

#### 4 结论

(1)桩土模型中,桩侧土剪切波速越大,一次桩底反射信号衰减越多,桩底反射幅值变得很小。一次桩底反射波的相位随着桩底岩石的剪切波速 $V_{sb}$ 的增大,其同相位信号逐渐减小至消失,而同相位后面的反向相位逐渐增大直至将同相信号取代。

(2)对于缩径桩,缩径位置一定时,缩径程度越厉害,缩径反射越明显,桩底发射越不明显;缩径程度一样时,缩径出现的位置越浅,缩径反射出现的时间越靠前,缩径反射程度一样。

(3)对于扩径桩,扩径位置一定时,扩径程度越大,扩径反射越明显;扩径程度一样时,扩径出现的位置越浅,扩径反射出现的时间越靠前,且扩径反射越明显。

(4)对于断桩,断桩位置越浅,缺陷反射出现

- [3] 何晓昕.风水探源[M].南京:东南大学出版社,1991.  
[4] 李约瑟.中华科学文明史[M].上海:上海人民出版社,2010.  
[5] 姜涛,杜莹,杨芳绒.郑州绿博会城市展园景观设计与文化表达[J].河北工程大学学报:自然科学版,2012,29(2):7-40.  
[6] 张述任,张怡鹤.黄帝宅经[M].北京:团结出版社,2009.

(责任编辑 刘存英)

#### 参考文献:

- [1] GB50007-2011,岩土工程勘察规范[S].  
[2] 谢定义,陈存礼,胡再强.试验土工学[M].北京:高等教育出版社,2011.  
[3] 工程地质手册编委会.工程地质手册[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2007.  
[4] 徐超,石振明,高彦斌,等.岩土工程原位测试[M].上海:同济大学出版社,2005.  
[5] 杨绍端,杜方江.银川地区粉细砂层地基土承载力特征值试验研究[J].工程勘察,2012(4):25-28.  
[6] 薛卫军.浅层平板载荷试验确定地基承载力特征值[J].陕西水利,2012(5):85-88.  
[7] 邵江.河北省建筑地基承载力确定方法研究[D].天津:河北工业大学,2005.

(责任编辑 王利君)

的越靠前,相同时间内出现的频率增加。除了入射波,各个反射就是桩底反射。

#### 参考文献:

- [1] 雷林源,杨长特.桩基瞬态动测响应的数学模型及基本特征[J].地球物理学报,1992,5(4):501-509.  
[2] 徐攸在,刘兴满.桩的动测新技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.  
[3] 刘东甲.完整桩瞬态纵向振动的模拟计算[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2000,23(5):683-687.  
[4] 刘东甲.完整桩瞬态纵向振动参数影响分析[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2000,23(6):1014-1018.  
[5] 陈义全,任志国,刘东甲.非完整桩瞬态纵向振动的模拟计算[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2004,27(10):1210-1214.  
[6] 刘东甲.指数型变截面桩中的纵波[J].岩土工程学报,2008,30(7):1066-1071.  
[7] 刘东甲.纵向振动桩侧壁切应力频率域解及其应用[J].岩土工程学报,2001,23(5):544-546.

(责任编辑 王利君)