

强夯法处理沙漠地基的载荷试验尺寸效应研究

韩晓雷¹, 张 辉¹, 水伟厚², 张文龙²

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 西安 710055;

2. 上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司, 上海 200011)

摘要: 本文依托实际工程, 通过在强夯法处理的沙漠地基上所进行的不同尺寸承压板的平板载荷试验, 开展了该类场地地基承载力的尺寸效应研究, 发现了此类场地地基承载力特征值随承压板尺寸变化而变化的基本规律。依据实验研究成果, 提出了平板载荷试验承压板大小的选择原则, 并给出了采用不同宽度承压板进行载荷试验时地基承载力特征值的修正系数。

关键词: 沙漠地基; 强夯法; 平板载荷试验; 尺寸效应

中图分类号: TU472

文献标识码: A

Size effect of loading test in desert foundation treated by dynamic compaction

Han Xiaolei¹, Zhang Hui¹, Shui Weihou², Zhang Wenlong²

(1. College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Shanghai Shen Yuan Geotechnical Engineering Co. Ltd., Shanghai 200011, China)

Abstract: Through plate loading tests with different size plates in desert foundation treated by dynamic compaction in Mongolia the size effect of loading test is studied based on engineering practice. It is found that the characteristic values of the subgrade bearing capacity vary with the width of the plates. According to the testing results, the principle how to select the width of the plate in PLT is presented, and the modification coefficients for the characteristic values of the subgrade bearing capacity are given when the plates with different width are used.

Key words: desert subgrade; dynamic compaction; plate loading test (PLT); size effect

0 引言

工程实践及理论分析均表明, 地基的承载能力大小会受到地基土类、土性、基础形状及大小、荷载性质、覆盖层厚度、覆盖层土的强度、地下水位、下卧层等诸多因素的影响。目前工程建设中, 几乎均以载荷试验作为确定地基承载能力大小的基本手段。《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)^[1]虽然给出了开展载荷试验时承压板尺寸的基本选择原则, 但却没有明确载荷板尺寸变化对地基承载力的影响大小以及由此所带来的地基承载力特征值的误差值, 即进行载荷试验时, 到底采用何种尺寸的载荷板才能得到最客观真实的地基承载力特征值是不确定的。

对平板载荷试验的尺寸效应, 在湿陷性黄土地基、中低压缩性的砂土地基、不同填料的路基、复合地基、搅拌桩及高压旋喷桩复合地基中前人^[2-6]

都有一定的研究, 但是对沙漠地基, 特别是对强夯处理后的沙漠地基, 则还没有细致明确的研究, 其它地区的一些研究是否也适用于强夯处理后的沙漠地基还有待确定。《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)^[1]中规定承压板面积不小于 0.25m^2 , 但是在实际的强夯处理地基的工程检测中, 大多使用 1m^2 的大承压板, 这样就会使检测成本增加很多, 因此对于强夯处理后的沙漠地基的小面积承压板的载荷试验研究就更具有实际工程意义。本文通过内蒙古克什克腾旗强夯处理后沙漠地基上一定数量平板载荷试验和室内直剪试验结果, 依托工程实例对浅层平板载荷试验应用于沙漠地基

收稿日期: 2010-10-14; 修订日期: 2010-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目基金 (50678144)。

作者简介: 韩晓雷 (1957-), 男 (汉族), 陕西兴平人, 博士, 教授。

的尺寸效应进行研究。

1 场地条件

强夯处理后沙漠地基承载能力的平板载荷试验的尺寸效应试验研究场地为内蒙古大唐国际克什克腾旗煤制气项目6#场地。场地表层为粉细砂(Q₄^{col})，褐黄色，风积成因，成分以石英、长石为主，层中可见植物根系，含少量粉土，其颗粒含量如表1所示。表层以下为细砂(Q₄^{al+pl})，系冲洪积形成，浅黄色—灰白色，成分以石英、长石为主，级配较差，局部混中砂或渐变为中砂层。

表层砂土的颗粒含量 (%) 表1

砾石	粗砂	中砂	细砂	细粒	粘粒
0	5.4	25.0	54.0	14.8	0.8

6#场地的施工参数主要如下：强夯地基处理能级为6000 kN·m，主夯击点位置采用正方形布置，一、二遍夯点能级为6000 kN·m，夯点间距6m×6m，第二遍夯击点位于第一遍夯击点之间，夯点收锤标准以最后两击平均夯沉量小于100mm控制，第三遍满夯采用3000 kN·m能级，锤印搭接不小于1/4。

2 试验研究方案

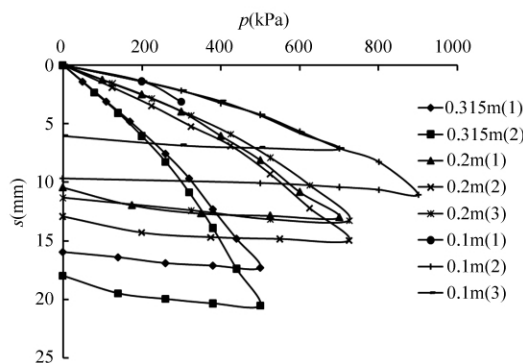
在该场地上分别选取0.1m×0.1m、0.2m×0.2m、0.315m×0.315m、0.4m×0.4m、0.5m×0.5m、0.6m×0.6m、0.707m×0.707m、1m×1m共8种尺寸的刚性方形载荷板在同一标高处做平板载荷试验。试验采用慢速维持荷载法，以堆载砂土为反力，加荷设备为油压千斤顶，压力量测采用标准压力表，试验前仪器均进行了检定。实验过程满足《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)^[1]附录C第C.0.5条的规定。在该场地不同位置取载荷试验影响深度范围内的原状土样14组按照《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)^[7]进行直剪试验，获得其c、φ值。

3 载荷试验数据及分析

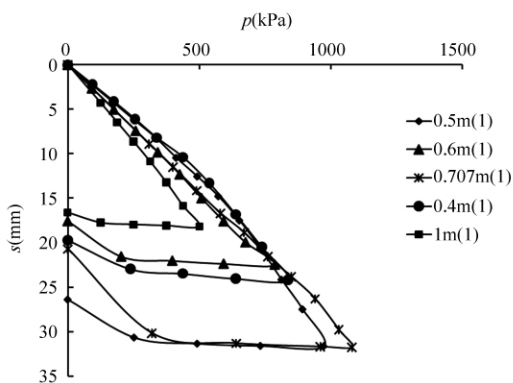
各种板宽的平板载荷试验的p-s曲线如图1所示，为分析其尺寸效应，承载力特征值的选取标准为：

- ①当p-s曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值；
- ②当极限荷载小于对应比例界限的荷载值的2倍时，取极限荷载值的一半；
- ③当不能按上述两款要求确定时，取s/b =

0.01 (b是承压板宽度) 所对应的荷载值。



(a) 板宽0.1~0.315m承压板的载荷试验p-s曲线



(b) 部分板宽0.4~1m承压板的载荷试验p-s曲线

注：图中1m(1)代表第一个板宽为1m的载荷试验

图1 部分不同承压板的p-s曲线

根据上述标准可得平板载荷试验的承载力特征值如表2所示，从表2可看出按照同一标准，各种板宽得出的承载力特征值在板宽为0.315m处是一个界限，当承压板板宽小于0.315m时，承载力特征值随着板宽的减小而增大，当承压板宽度大于0.315m时，承载力特征值随板宽的增大而增大。

各种承压板所得出的承载力特征值 表2

板宽 (m)	面积 (m ²)	JZ1 承载力 (kPa)	JZ2 承载力 (kPa)	JZ3 承载力 (kPa)	平均值 (kPa)
0.1	0.01	132	148	179	153
0.2	0.04	161	158	132	150
0.315	0.1	109	112	146	122
0.4	0.16	187	170	-	179
0.5	0.25	203	187	-	195
0.6	0.36	207	208	-	208
0.707	0.5	260	244	-	252
1	1	288	273	-	281

板宽为0.2m的载荷试验所得出的承载力特征值偏高，这是因为其承压板下影响深度内有大约20cm厚硬壳层，这说明小面积承压板因其影响深

度较小而受地基不均匀性影响较大。从表2和图1也可看出承压板宽度为0.1m、0.2m、0.315m的载荷试验所得出承载力特征值不太稳定,因此对本场地同一土层进行平板载荷试验时,承压板的宽度至少应在0.4m以上。

4 直剪试验数据及分析

由直剪试验得出的载荷试验影响深度范围内砂土的 c 、 φ 值如表3所示。

场地不同位置处砂土的 c 、 φ 值 表3

假粘聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)
9	33.9
6.5	35.3
10.6	32.1
10.2	30.2
18.3	29.4
15.2	30
6.1	30.8
6.0	30.8
10.4	31.2
11.4	29.4
6.5	33.5
7.7	26.7
10.3	31.8
7.7	31.8

同干砂及饱和砂相比,非饱和砂的内聚力不为零,这种内聚力因水的存在而产生,且随砂中水分的消失或砂土饱和而消失,因此称为“假粘聚力”或者“似内聚力”。砂性土的假粘聚力是由毛细水压力引起的,一般情况下,砂越细,毛细作用越强^[8]。由该场地的颗粒分析试验可知,这种砂为粉细砂,毛细作用较强,表3中假粘聚力一项数据也说明了这点。

按照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)^[9]中岩土参数的统计方法按不利组合考虑统计表3的数据可得,假粘聚力的标准值 $c_k = 8.6\text{kPa}$, $\varphi_k = 30.5^\circ$ 。根据太沙基地基极限承载力公式^[10]计算该场地极限承载力,该场地密度 $\rho = 1.74\text{g/cm}^3$,取基础宽度 $B = 3\text{m}$ 。

(1) 基底完全粗糙:

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma = 1127\text{kPa}$$

(2) 基底完全光滑:

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma = 992\text{kPa}$$

该场地地基极限承载力介于这两个值之间,按偏安全考虑取 $q_u = 992\text{kPa}$,安全系数 $K = 2$,则地

基承载力为:

$$f_a = \frac{q_u}{K} = \frac{992}{2} = 496\text{kPa}$$

载荷试验不同取值标准得出的承载力特征值 表4

板宽 (m)	面积 (m ²)	$s = 0.01b$ 对应的承载力 (kPa)	$s = 0.015b$ 对应的承载力 (kPa)	$s = 0.02b$ 对应的承载力 (kPa)
0.4	0.16	179	265	348
0.5	0.25	195	294	385
0.6	0.36	208	313	416
0.707	0.5	252	379	504
1	1	281	414	

对该类场地,载荷试验承载力特征值取值标准按变形控制时取 $s = 0.02b$,根据表4,同地基承载力相比,板宽0.707m的载荷试验得出承载力特征值即为地基承载力,板宽为0.4m、0.5m、0.6m载荷试验得出的承载力特征值需进行修正,其修正系数为 $k_{0.4} = \frac{496}{348} = 1.43$; $k_{0.5} = \frac{496}{385} = 1.29$; $k_{0.6} = \frac{496}{416} = 1.19$

$k_{0.4}$ 、 $k_{0.5}$ 、 $k_{0.6}$ 分别表示板宽为0.4m、0.5m、0.6m的修正系数。

5 结论

(1) 按照同一标准,各种板宽做出的承载力特征值在板宽为0.315m处是一个界限,当承压板板宽小于0.315m时,承载力特征值随着板宽的减小而增大,当承压板宽度大于0.315m时,承载力特征值随板宽的增大而增大。

(2) 对强夯处理后的沙漠地基同一土层进行平板载荷试验时,考虑科学、经济、合理,承压板的宽度可选择0.4~0.707m。

(3) 对强夯处理后的沙漠地基,宽度为0.4~0.707m承压板载荷试验,按变形控制时承载力特征值可取 $s = 0.02b$ 对应的荷载,板宽为0.707m载荷试验得出的承载力特征值即为地基承载力,其它小板的修正系数为 $k_{0.4} = 1.43$; $k_{0.5} = 1.29$; $k_{0.6} = 1.19$ 。

(4) 强夯法施工时满夯完成后常用推土机将夯坑推平,而且强夯产生的强大振动会振松周围表层土,所以在施工完成后表层有1m左右土的密实程度远比下层差,因此在夯后使用小面积承压板进行载荷试验检测时,应使试坑深度较深一些。若试坑深度浅,小面积承压板载荷试验的影响深度较浅,不能很好地反应强夯效果。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范 (GB 50007-2002) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
 [2] 《工程地质手册》编委. 工程地质手册 (第四版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
 [3] 翟洪飞, 高云. 载荷试验沉降与承压板尺寸关系的分析 [J]. 西部探矿工程, 2008, (10).
 [4] 李小勇. 载荷试验尺寸效应的试验研究 [J]. 太原理工大学学报, 2005, 36 (1).
 [5] 肖兵, 张敏勇. 平板载荷试验应思考的几个问题 [J]. 岩

土力学, 2003, 24 (1).
 [6] 吕镇江. 深层搅拌桩及高压旋喷桩复合地基载荷试验中承压板面积问题的探讨 [J]. 建筑科学, 2001, 17 (5).
 [7] 中华人民共和国国家标准. 土工试验方法标准 (GB/T 50123-1999) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
 [8] 韩晓雷. 非饱和沙漠地基土的理论 and 工程应用的研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004.
 [9] 中华人民共和国国家标准. 岩土工程勘察规范 (GB 50021-2001) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
 [10] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1994.

(上接第3页)

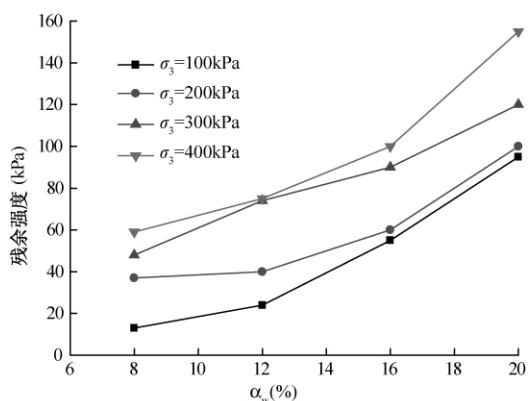


图7 残余强度与水泥掺量的关系

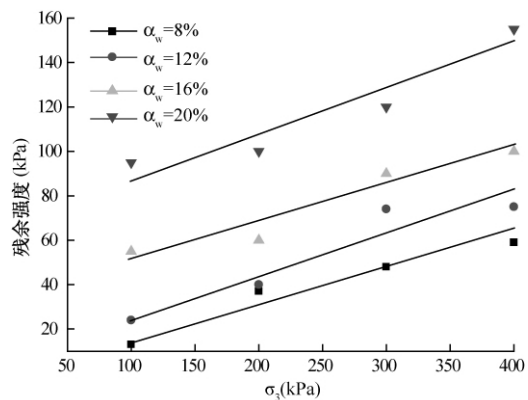


图8 残余强度与围压的关系

增大幅度在水泥掺量 8% ~ 12% 之间较小, 水泥掺量 12% ~ 20% 之间较大, 且可以认为水泥掺量从 12% 增大到 20% 时峰值强度随水泥掺量的增大而线性增大。峰值强度随围压增大而增大, 但是增大的幅度较小。

(3) 临界应变随水泥掺量的增大而减小, 但是水泥掺量在 12% ~ 16% 变化时临界应变基本保持不

变。临界应变随围压的增大而增大, 用线性关系可以较好地拟合临界应变与围压的关系。

(4) 残余强度随水泥掺量及围压的增大都增大, 且随着水泥掺量的增大残余强度的增大幅度逐渐增大。残余强度与围压的关系可以近似用线性关系进行表示。

参 考 文 献

[1] 叶书麟, 叶观宝. 地基处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
 [2] Stavridakis E I, Hatzigogos T N. Influence of liquid limit and slaking on cement stabilized Clayey admixtures [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 1999, 17 (1): 145 ~ 154.
 [3] 潘林有. 温州软土水泥土强度特性规律的室内试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (5): 863 ~ 865.
 [4] 汤怡新, 刘汉龙, 朱伟等. 水泥固化土工程特性试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2000, 22 (5): 549 ~ 554.
 [5] 张天红, 周易平, 叶阳升等. 水泥土的强度及影响因素初探 [J]. 中国铁道科学, 2003, 24 (6): 53 ~ 56.
 [6] Jian Wenbin, Huang Chunxiang, Huang Zhengguang. Effect of soft soil properties on cement-sodium silicate-stabilized soil. [A]. In: LiuGuobin ed. Geotechnical Engineering in Soft Ground [C]. Shanghai: Tongji University Press, 2001, 656 ~ 661.
 [7] 简文彬, 黄春香, 吴维青等. 水泥土的疲劳试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (11): 1949 ~ 1953.
 [8] 侯永峰, 张航, 周建等. 循环荷载作用下水泥复合土变形性状试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2001, 23 (3): 288 ~ 291.
 [9] 周敏峰, 张克绪, 张尔齐. 峰值后软化水泥土桩复合地基工作机制研究 [J]. 土木工程学报, 2007, 40 (4): 92 ~ 97.
 [10] 地质矿产部水文地质专业实验测试中心. 土工试验规程 (DT-92) [S]. 北京: 地质出版社, 1993.