

关于水泥土搅拌桩复合地基载荷试验的探讨

杜文义, 李 容

(核工业柳州工程勘察院, 广西 柳州 545005)

摘 要:通过试验结果的对比,讨论了地基土含水量变化对水泥土搅拌桩复合地基承载力的影响,建议采用“10 mm 厚的水泥砂浆对整个试验场地进行封闭保护”来减低其影响。通过 2 个典型试验场地试验结果的对比分析,讨论了按现行规范规定确定复合地基承载力特征值可能存在的问题;建议进行破坏性试验,先定极限荷载,然后再根据“先评价复合地基均匀性,再根据安全系数确定承载力”的原则确定复合地基的承载力。

关键词:水泥土搅拌桩;复合地基;载荷试验;地基土含水量;承载力特征值

中图分类号:TU472.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)12-0041-05

Discussion on Load Test in Composite Ground of Concrete Mixed Pile/DU Wen-yi, LI Rong (Liuzhou Engineering Investigation Institute of Uranium Geology, Liuzhou Guangxi 545005, China)

Abstract: By the comparison of test results, discussion was made on the effect of variation of subbed soil water content to the test result and suggestion was made to closely protect the test field with 10 mm cement mortar; by the comparison of test results of 2 typical test fields, discussion was made on the possibility of characteristic value of composite ground bearing capacity and suggestion was made to have destructive test, determine ultimate load first and than define the bearing capacity of composite ground by the principle.

Key words: concrete mixed pile; composite ground; load test; subbed soil water content; characteristic value of bearing capacity

水泥土搅拌桩是一种应用范围比较广泛的地基处理方法,适用于正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、粘性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基^[1]。该施工工艺具有施工效率高、成本低、施工占地面积小,无污染、无噪声、无震动,对邻近建筑物影响很小等特点。

按照规范的规定,水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值应通过载荷试验现场确定^[1]。在此,结合工程实例,对水泥土搅拌桩复合地基载荷试验进行探讨。

1 水泥土搅拌桩复合地基载荷试验

《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)(以下简称“规范”)附录 A 对复合地基载荷试验做了详尽规定和说明。根据作者的经验,有 2 方面的问题对载荷试验的结果影响较大,应引起相应的重视:

(1) 试验场地地基土含水量变化对试验结果的准确性有很大的影响;

(2) 复合地基承载力特征值的确定方法对复合地基的判定影响也很大。

根据规范附录 A,水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值按其第 A.0.9 和 A.0.10 条规定的方法确定。

大量的载荷试验资料表明,压力-沉降($p-s$)曲线多是一条比较平缓的光滑曲线,一般无明显的拐点,相邻两级压力对应的沉降量之比亦无一定规律,无法准确确定曲线的比例界限;实际进行检测时,很少进行破坏性试验,也无法确定曲线上的极限荷载。所以,在实际工程中,大多数情况下都是按规范第 A.0.9 条的第 2 款和 A.0.10 条来确定复合地基承载力特征值。

(1) 对单个试验点,将按相对变形值确定的复合地基承载力特征值与最大加载压力的一半进行对比;其值小于最大加载压力的一半时,采用该值作为该试验点的复合地基承载力特征值;其值大于最大加载压力的一半时,采用最大加载压力的一半作为该试验点的复合地基承载力特征值。

(2) 将所有试验点的数据取平均,再拿极差与平均值的 30% 进行对比;极差不超过平均值的 30%,取平均值为复合地基的承载力特征值;极差大

收稿日期:2010-06-03; 修回日期:2010-11-08

作者简介:杜文义(1966-),男(汉族),陕西三原人,核工业柳州工程勘察院副总工程师、工程师、注册一级建造师,化学工程专业,硕士,从事岩土工程设计与施工、行政与技术管理工作,广西柳州市荣军路 317 号, dwywh@sina.com; 李容(1968-),女(汉族),广西平南人,核工业柳州工程勘察院工程师,土木工程专业,从事岩土工程技术工作。

于平均值的30%,规范没有规定如何确定复合地基的承载力特征值。

下面,通过一工程实例对水泥石土复合地基载荷试验的上述问题进行分析探讨。

2 工程实例

2.1 工程概况

越南海防电厂(一期)工程,其煤场及所有的附属建筑物、构筑物全部采用水泥石土搅拌桩进行地基处理。合同中约定:以中国《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)为主、以《电力工程地基处理技术规程》(DL/T 5025-2005)为辅进行水泥石土搅拌桩的设计、施工、检测及验收;水泥石土搅拌桩复合地基载荷试验的现场工作由越南方检测单位完成。

由于规模很大,前期进行了试桩工作,并编写了《复合地基试验报告》,以获取最佳的水泥石土搅拌桩各项设计与施工工艺参数。《复合地基试验报告》得到工程师(国际监理)的认可后进行施工图设计;施工图设计获得工程师的认可后,进行大规模的正式施工;最后进行复合地基的检测和验收。

通过试桩确定的水泥石土搅拌桩复合地基基本参数如下:

桩径 600 mm,桩长 10~16 m,水泥掺入比 18%,正三角形布桩,桩间距 1100 mm,置换率 0.272,设计要求 $f_{spk} = 200$ kPa;全部进行单桩复合地基载荷试验,压板直径 1150 mm,相对变形值取 $s/d = 0.006$ (对应沉降 $s = 6.90$ mm)。

2.2 场地地基土含水量变化对试验结果的影响

2.2.1 现场载荷试验结果

由于越南海防电厂(一期)工程煤场搅拌桩桩数很多(超过 40000 根),经过工程师(国际监理)同意,根据地质条件将煤场分为 23 个分区,每个分区尽可能安排同台机组施工。复合地基载荷试验也分区按下列方式进行:

(1)每个分区同时安排 3 套试验设备进行 6 点单桩复合载荷试验,压板直径 1150 mm;

(2)最大加载量取 300 kPa,取 $s/d = 0.006$ 对应的压力为复合地基承载力特征值。

其中某分区的试验结果见表 1 和图 1。

2.2.2 结果分析

首先进行了该分区 1~3 号试验点的载荷试验,3 个试验点的承载力特征值分别为 181、139 和 156 kPa,均达不到设计要求,与前期试桩结果($f_{spk} \geq 200$ kPa)相比下降很多,下降幅度超过 20%。

表 1 水泥石土搅拌桩复合地基单桩复合载荷试验结果(一)

试验点号	最大压力 /kPa	总沉降量 /mm	$s/d = 0.006$ 对应压力/kPa	$f_{spk} = 200$ kPa 对应沉降/mm
1	300	15.31	181	8.10
2	300	33.75	139	14.41
3	300	21.00	156	10.32
4	300	12.43	230	5.00
5	300	17.49	210	6.00
6	300	13.55	210	6.21

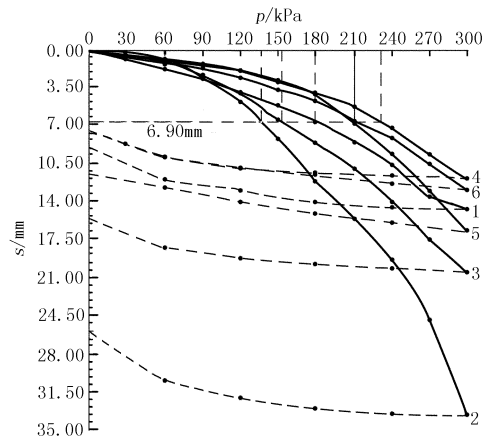


图 1 水泥石土搅拌桩复合地基单桩复合载荷试验 $p-s$ 曲线

经过仔细检查分析施工原始记录、施工日志及载荷试验过程中发生的各种情况,认为 1~3 号试验点的承载力特征值较低,达不到设计要求不是因施工质量问题造成的,是由于载荷试验过程中试验场地地基土含水量变化引起的。

试验设备安装时,刚好碰到下雨,虽然马上采取了相应措施,开挖排水沟、积水坑并进行抽水,但试验场地仍然被水浸泡。由于存在侥幸心理,没有果断终止试验,而是继续进行试验。由于被水浸泡,地基土含水量增大,致使试验场地浅部的地基土(桩间土)承载能力下降,造成试验前期的沉降增大和总沉降量增大,当取 $s/d = 0.006$ 对应的压力为复合地基承载力特征值时,承载力特征值就会变小。

为了减少地基土含水量变化对试验结果的影响,在 4~6 号试验点试验时,采取了较好的保护措施,试验场地基本保持原状,试验的准确性大大提高,4~6 号试验点的承载力特征值分别为 230、210 和 210 kPa,满足设计要求,与前期试桩结果相吻合。

2.2.3 采取措施

为防止再发生类似问题,经充分讨论、并获得工程师(国际监理)的同意,决定进行载荷试验时对试验场地采取如下保护措施:试验场地开挖修整后,马上用 5~10 mm 厚水泥砂浆对整个试验点的试验场地(不包括检测桩)进行封闭保护,以保证地基土的

原状性,防止由于地基土受到扰动、特别是地基土含水量发生变化而影响试验结果的准确性(见图 2)。

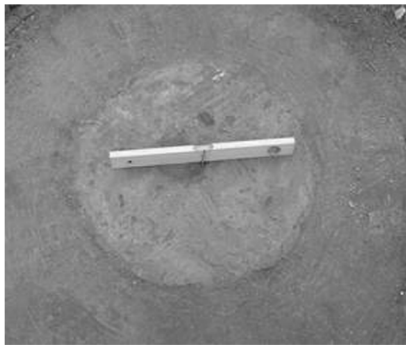


图 2 封闭保护的试验场地

从后续试验的实际效果看,采取保护措施后,即使试验场地由于下雨被水浸泡,对试验结果也不会发生较大的不良影响,说明上述保护措施效果不错。

2.3 复合地基承载力特征值确定方法的影响

这里,以 2 个比较典型场地(场地 A 和场地 B)的载荷试验为例,对不同的承载力确定方法所造成的不同结果进行探讨。

2.3.1 现场载荷试验结果

现场试验结果见表 2 和图 3~6。

表 2 水泥土搅拌桩复合地基单桩复合载荷试验结果(二)

场地	试验点号	最大压力 /kPa	总沉 降量 /mm	$s/d=0.060$ 对应沉降 /mm	$s/d=0.006$ 对应压力 /kPa	$f_{spk}=200$ kPa 对应沉降 /mm
A	1	450	15.26		314	2.88
	2	450	16.27	69.00	287	3.48
	3	450	12.58		334	3.00
	4	450	15.08		317	2.55
B	1	420	68.80		187	7.65
	2	420	38.50		184	8.43
	3	420	34.66	69.00	220	5.30
	4	420	30.12		235	5.51
	5	420	14.24		280	3.91

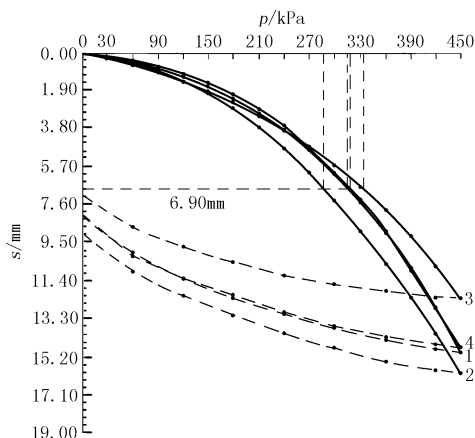


图 3 场地 A 载荷试验 p-s 曲线

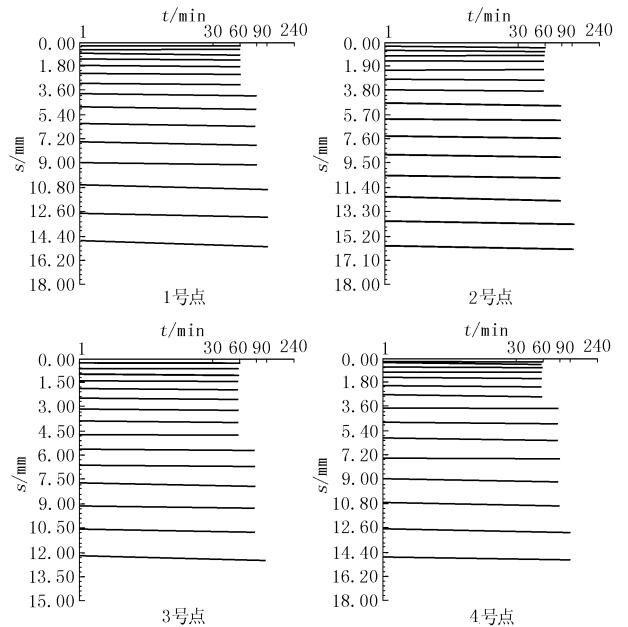


图 4 场地 A 载荷试验 s-lgt 曲线

注:从上至下依次为 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360、390、420、450 kPa

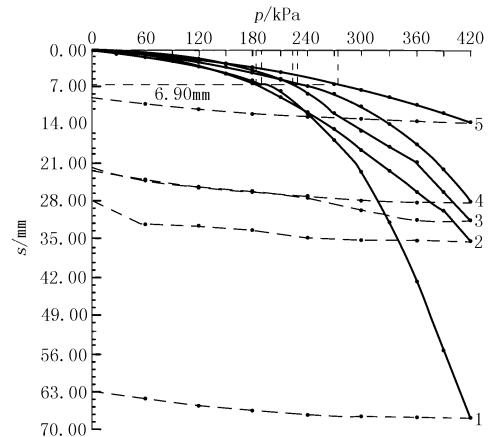


图 5 场地 B 载荷试验 p-s 曲线

2.3.2 复合地基承载力的确定

按规范附录 A 第 A.0.9 条第 2 款“按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半”及第 A.0.10 条“试验点的数量不应少于 3 点,当满足其极差不超过平均值的 30%时,可取其平均值为复合地基的承载力特征值”的规定,进行复合地基承载力特征值的确定,结果见表 3。

2.3.3 结果分析

2.3.3.1 场地 A

复合地基均匀性比较好,按相对变形值确定的每个试验点的数据离散性比较小,最后的评判结果实际上远远低于复合地基的实际承载能力。

根据场地 A 载荷试验的压力-沉降(p-s)曲线,如果将试验继续进行下去,一直加载至破坏,只

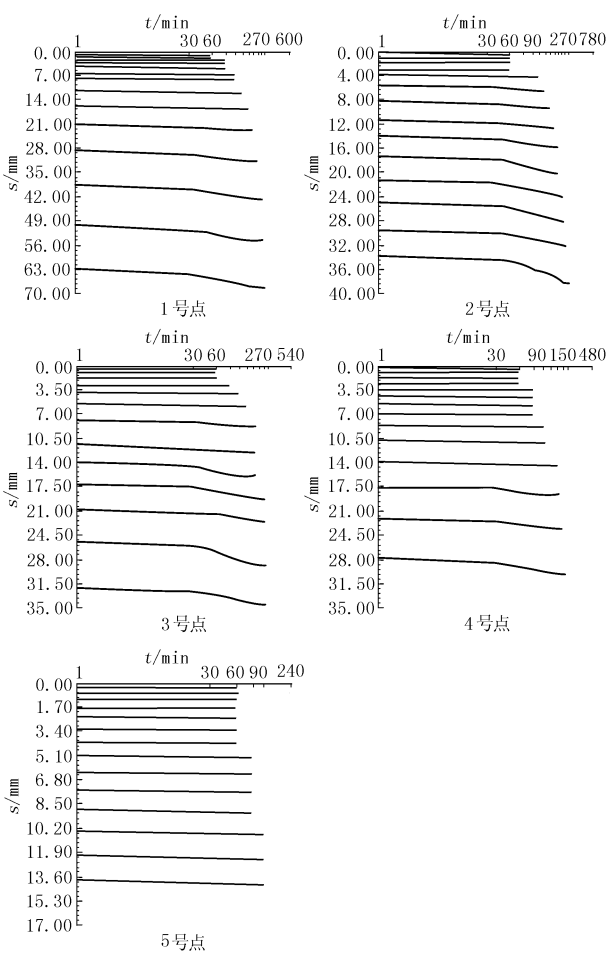


图6 场地B 荷载试验 s-lgt 曲线

注:从上至下依次为 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360、390、420 kPa

表3 混凝土搅拌桩复合地基承载力特征值确定结果

场地	试验点号	s/d = 0.006 对应压力 /kPa	最大加载压力的一半 /kPa	试验点承载力特征值 /kPa	平均值 /kPa	极差 /kPa	复合地基承载力特征值 /kPa
A	1	314		225			
	2	287	225	225	225	0	225
	3	334		225			
	4	317		225			
B	1	187		187			
	2	184		184			
	3	220	210	210	200.2	26	200.2
	4	235		210			
	5	280		210			

要在荷载加至 630 kPa 时试验仍然能达到相对稳定条件(按照图 3、4 中曲线的发展趋势来看,是极有可能的),这样就可以将场地 A 的复合地基承载力特征值判定为 > 300 kPa(见表 4)。由于试验没有进行下去,只能按规范^[1]附录 A 第 A.0.9 条第 2 款“按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半”的规定来处理数据,将场地 A 的复合地基承载力特征值判定为 225 kPa(见表 3)。

表4 按相对变形值确定混凝土搅拌桩复合地基承载力特征值

场地	试验点号	s/d = 0.006 对应压力 /kPa	平均值 /kPa	极差 /kPa	复合地基承载力特征值 /kPa
A	1	314			
	2	287	313	47	313
	3	334			
	4	317			
B	1	187			
	2	184			
	3	220	221.2	96	无法评价
	4	235			
	5	280			

2.3.3.2 场地 B

复合地基均匀性比较差,按相对变形值确定的每个试验点的数据离散性比较大(极差大于平均值的 30%),最后的评判结果掩盖了复合地基的不均匀性,将不均匀地基评判为均匀地基,将不合格地基评判为合格地基。

从地基变形(沉降)的角度看,场地 B 每个试验点的总沉降量和 $p = f_{spk} = 200$ kPa 时的沉降量差别非常大,所以该复合地基是一个严重不均匀地基,按照相对变形值确定的地基承载力特征值的极差大于平均值的 30%,且有 40% 的试验点数据达不到 $f_{spk} = 200$ kPa 的设计要求(见表 4),虽然规范没有明确规定对这种情况如何判定,但至少可以肯定该复合地基的均匀性非常差。

但按规范^[1]附录 A 第 A.0.9 条第 2 款“按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半”的规定来处理每个试验点的数据,会将离散性很大的数据拉平均,减小其离散性,虽然有 40% 的试验点数据达不到 $f_{spk} = 200$ kPa 的设计要求,但按规范^[1]附录 A 第 A.0.10 条“试验点的数量不应少于 3 点,当满足其极差不超过平均值的 30% 时,可取其平均值为复合地基的承载力特征值”的规定进行评判时,其复合地基承载力特征值会被判定为 $f_{spk} = 200.2 > 200$ kPa(见表 3),从而将其判定为合格地基。

按照现行规范^[1]的规定,虽然也可将场地 B 复合地基判定为合格地基,但却掩盖了地基均匀性很差的事实。

通过以上分析可以看出,按现行规范的规定进行复合地基荷载试验,在某些情况下会掩盖真实情况,得出错误的结果。场地 B 的情况就是一个实例。

笔者认为,之所以会造成这种结果,是由规范在规定确定复合地基承载力特征值时用最大加载压力代替极限荷载而造成的。

3 关于复合地基载荷试验的建议

复合地基载荷试验是判定复合地基是否满足设计要求的最可靠、最准确的方法。载荷试验结果的准确与否,直接影响对复合地基的判定结果。为保证载荷试验的准确性、真实准确地对复合地基进行判定,笔者建议按以下方法进行载荷试验。

(1)为防止地基土含水量变化对试验结果造成不良影响,在进行试验时,对整个试验场地采用10 mm厚的水泥砂浆进行封闭保护。

(2)进行破坏性试验、确定极限荷载,然后按“先评判地基均匀性、再根据安全系数确定承载力”的原则确定承载力特征值。

①按相对变形值确定每个试验点的承载力特征值,如果各个试验点结果的极差不大于平均值的30%,取平均值为复合地基承载力特征值;如果极差大于平均值的30%,取最小值为复合地基承载力特征值建议值。

②取各个试验点的最小极限荷载的一半作为复合地基承载力特征值。

③将分别按相对变形值和极限荷载确定的复合地基承载力特征值(或建议值)进行对比,取其小者为复合地基承载力特征值。

④每个建筑物或场地检测桩数为总桩数的0.5%~1%,试验点数不少于3点。

笔者认为,只有确定了极限荷载,规范^[1]附录A第A.0.9条第2款中“对有经验的地区,可按当地经验确定相对变形值”的规定在确定水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值时才具有可行性。也就是说,“按当地经验取值”只有在确定了极限荷载前提下,才可能在“极限荷载的一半(安全系数取2)”的范围内发挥作用,否则,无论相对变形值如何取值,都必须按第A.0.9条第2款中“按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半”的规定进行处理,直接就会把超过“最大加载压力的一半”的复合地基承载力特征值限定为“最大加载压力的一半”,所谓的“按当地经验取值”也就无从谈起了。

(3)之所以能进行破坏性载荷试验,是基于以下的理由:

①由于水泥土搅拌桩是低强度的柔性桩,一般情况下,每个场地的桩数都很多,检测桩数占总桩数的比例很小(0.5%~1%),即便是所有检测桩都被破坏,也绝对不可能影响到整个复合地基的安全;

②水泥土搅拌桩复合地基是以水泥土桩体和桩间土的摩擦为主来提供承载能力的,而水泥土桩体

的强度一般在1.0~2.0 MPa范围,其强度远大于桩端持力层或下卧层的强度,在正常施工保证桩体质量的前提下,一般不会发生桩体本身的破坏,发生最多的是桩体刺入持力层或下卧层的“刺入型”破坏,即便是进行复合地基的破坏性载荷试验,对桩体本身也不会造成破坏;

③根据笔者的实践经验,大多数的情况下水泥土搅拌桩复合地基的极限荷载基本上在600 kPa左右(搅拌桩是块状布置的除外);即便是少数情况下极限荷载会更高,但当加载至600 kPa左右时,总沉降量基本上已经接近或达到 s/d 或 $s/b=0.060$ 所对应的沉降量,即达到规范^[1]第A.0.7条第2款所规定的终止试验条件,可以终止试验,直接用其上一级荷载作为极限荷载。

4 结语

(1)通过载荷试验判定水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值是一个综合性的工程问题。按照现行规范的规定判定水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值过于简单,可能会掩盖复合地基存在的一些问题。笔者认为,应根据场地实际工程地质条件、建筑物的结构形式和重要程度以及载荷试验压力-沉降($p-s$)曲线特性,对水泥土搅拌桩复合地基是否满足设计要求和工程需要作出符合工程实际的综合性评价。

(2)为保证试验的准确性,降低和减少试验场地地基土含水量变化对试验结果的影响,可采用10 mm厚的水泥砂浆对不包括检测桩的整个试验场地进行封闭保护。

(3)为真实、准确地评价水泥土搅拌桩复合地基,建议进行破坏性载荷试验。先确定试验的极限荷载,然后再根据“先评价复合地基均匀性、再根据安全系数确定承载力”的原则确定复合地基的承载力(安全系数 ≤ 2);在“极限荷载的一半”的范围内,可根据当地经验确定的相对变形值(s/d 或 s/b)来确定复合地基的承载力特征值。

上述分析讨论及建议是基于水泥土搅拌桩复合地基而进行的,只是对笔者在工程实践中碰到的问题的归纳总结,对于其它形式的复合地基,如碎石桩、旋喷桩、CFG桩等不一定适用。以上分析建议如有不妥或错误,欢迎广大同行和专家批评指正。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [2] DL/T 5025-2005,电力工程地基处理技术规程[S].