

地场温度变化对湿喷桩承载力的影响

李 维 洪宝宁 范晓秋 闵紫超 胡 昕

(河海大学岩土工程研究所 ,江苏 南京 210098)

摘要 :采用不同性质土层构筑模型地基 ,在不同的地场温度下打设湿喷桩。通过在桩底预埋土压力盒 ,在 28 d 龄期进行载荷试验 ,结果表明地场温度越高 ,单桩的承载力越大 ,桩体的压缩量越小 ,桩顶的沉降越小 ;不同的养护温度造成了不同的桩端应力增长速度和桩侧摩阻力增长速度。

关键词 :湿喷桩 ;地温 ;承载力

中图分类号 :TU473.1 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2006)S1-0061-03

湿喷桩因其在施工、技术、经济等方面的优势 ,目前正广泛应用于高速公路软基处理的复合地基中。由于对湿喷桩使用条件和环境等方面的认识不足 ,以及理论研究等方面的欠缺 ,实际工程应用中 ,常常出现由于承载力不足导致复合地基塌陷或复合地基沉降过大而造成路基沉陷、路面开裂等病害^[1-2]。本文结合江苏盐城地区某高速公路实际工况 ,着重研究地场温度对湿喷桩承载力的影响 ,剖析产生影响的机理 ,从而可以从根源上减少或避免因使用条件和环境变化对湿喷桩成桩质量的影响 ,提高湿喷桩的处理质量。

1 室内模型试验

1.1 构筑模型地基和打设桩体

在 200 cm × 100 cm × 100 cm 的室内试验模型槽内构筑模型地基 ,上层为粉土层 ,中间层为黏土层 ,下伏层为粉土层。模型地基中粉土层和黏土层的物理学指标见表 1。在模型槽中打设水泥土桩 ,水泥土桩采用普通硅酸盐水泥 ,桩径 8 cm ,桩长 40 cm ,水泥掺入量 15% ,水灰比为 0.5 ,钻进、提升速度控制在 5 cm/min ,且复搅 3 ~ 5 次。打设共分 3 个施工期 ,分别为 9 ,11 ,12 月份 ,对应于 22.7℃ ,10.5℃ ,3.8℃ 的地场温度 ,以模拟不同地场温度下湿喷桩成桩过程以及强度生长过程 ,分别以 - 9 , - 11 , - 12 表示。因此共打设 6 根桩 ,每次打设 2 根 ,表示为 F-9 ,F-11 ,F-12 ;N-9 ,N-11 ,N-12。

1.2 p-s 曲线的测定

在模型槽中要确定湿喷桩单桩的承载力 ,需要

表 1 模型地基土层物理力学参数

土样	天然含	密度 $\rho/$		相对	天然	饱和	液限	塑限	塑性	液性
	水率	($\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$)	体积							
	$w/\%$	湿	干	质量	比 e_0	$S_r/\%$	$\%$	w_{p}	I_{p}	I_{L}
粉土	27.8	2.69	1.52	2.69	0.901	81	22.2	16.7	5.5	0.67
黏土	36.7	1.79	1.35	2.74	1.000	98	44.7	23.5	21.3	1.33

确定试验得到的 p-s 曲线的转折点 ,即突变值。测定 p-s 曲线时 ,桩顶压力采取在桩顶压重物(砝码)的方法进行施加 ,桩顶沉降的测量采用互成 120° 放置的 3 个百分表读取 ,取其读得的平均值作为某一荷载之下的沉降值。桩的荷载试验中 ,在桩顶逐级加载 ,每级荷载约为单桩设计值的 1/10 ~ 1/15。在每级荷载作用下 ,隔 5 min 测量一次 ,直到连续 6 个 5 min 内总沉降量不超过 0.01 mm 即认为稳定 ,直到总的沉降发生突变或者沉降达到 0.01 d。

1.3 桩端应力测量

在桩端深度的土层平面上埋设数个 YT-100 型应变式土压力盒 ,实时测量桩端阻力的大小以间接求得平均侧摩阻力的大小 ,从而了解土层配置对湿喷桩的侧摩阻力发挥以及桩端阻力发挥的影响。

1.4 单桩的承载力测试

由于试验的工作量非常大 ,无法进行各种龄期的湿喷桩的强度试验 ,所以试验中统一做 28 d 龄期湿喷桩的强度测试。通过单桩承载力试验得到不同养护期(即不同养护温度)不同土层下的桩体强度指标。

2 单桩承载力和沉降分析

2.1 单桩承载力

单桩竖向承载力标准值根据静力触探试验确

定,对于多层土地基,计算公式为^[3]:

$$R_k^d = U_p \sum q_{sik} L + \alpha A_p q_p \tag{1}$$

式中: U_p 、 A_p 分别为桩的周长和截面积; L 为桩长; q_{sik} 为第 i 层桩周土的侧阻力特征值; q_p 为桩端土的承载力特征值; α 为桩端土的承载力折减系数,一般取 0.4~0.6。

通过模型试验可以发现,桩底阻力的充分发挥,需要有较大的位移值。在确定桩的承载力时,应该根据施工质量来考虑这一点,置于一般土层上的摩擦桩,桩底土层支承反力发挥到极限值时,需要比发生桩侧极限摩阻力大得多的位移值,这时,总是桩侧摩阻力先发挥出来,桩底阻力才能逐渐发挥,直至达到极限值。

从图 1 和图 2 可以看出,随着桩顶位移的增长,桩侧摩阻力和桩端应力均快速增长,当达到 0.3 mm 左右时,桩侧摩阻力达到极限值,而桩端应力此时仍然快速增长,当达到 0.5 mm 时,桩端应力达到转折点,此时两者的增长情况略有不同,桩端应力仍然缓慢增长,而桩侧摩阻力则几乎不增长甚至减少,可以认为此时的桩体破坏或者桩体刺入下伏层,单桩达到承载力极限值。

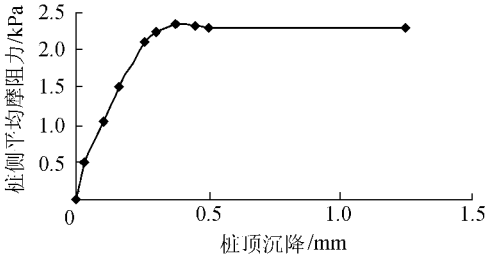


图 1 桩侧平均摩阻力与位移关系

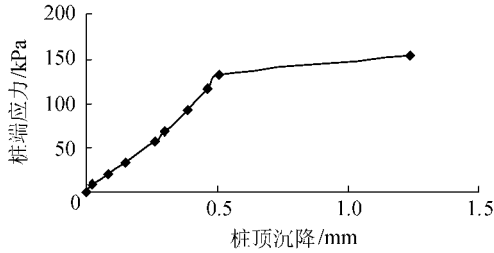


图 2 桩端应力与位移关系

2.2 对湿喷桩进行桩体强度验算

模型中单桩的承载力特征值计算公式^[4]为

$$R_k^d = \eta f_{cu,k} A_p \tag{2}$$

表 2 模型槽中挖桩得到的桩体强度

养护时间	黏土地基				粉土地基			
	挖桩深度/m	无侧限抗压强度/MPa	压缩模量/MPa	密度/(g·cm ⁻³)	挖桩深度/m	无侧限抗压强度/MPa	压缩模量/MPa	密度/(g·cm ⁻³)
9月	0.0~0.1	1.670	175.6	1.77	0.0~0.1	1.49	155.2	1.74
11月	0.3~0.4	1.159	128.8	1.79	0.3~0.4	1.00	102.2	1.73
12月	0.3~0.4	0.321	33.5	1.78	0.3~0.4	0.36	37.9	1.74

式中: A_p 为桩的截面积,本模型地基中 $A_p = \frac{1}{4} \pi \times (0.08\text{ m})^2 = 0.005\,03\text{ m}^2$; $f_{cu,k}$ 为与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内水泥加固土试块(边长 70.7 mm 的立方体)的无侧限抗压强度平均值。在实际施工中,桩的形状不是正方体的,因此对于用正方体湿喷桩体测出来的强度还要进行折算; η 为强度折减系数,取值为 0.35~0.5。由于模型试验条件便利,可以将未进行加载试验的桩体挖出做单桩承载力试验,将得到的强度不做折减直接应用于强度验算公式。计算得到最低的承载力为 1 610 N。

挖桩并进行单桩承载力试验得到的参数见表 2。根据沉降突变时的应力,通过表 2 可以发现,在压桩过程中所有桩体包括最不利时期施工的桩体的强度均远没有达到极限强度,因此可以认为是土层发生破坏而引起沉降发生突变。

2.3 桩顶沉降实测值

确定承载力的方法^[5]:如果 p - s 曲线有明显的转折点,则取转折点处的承载力作为极限承载力;如果没有明显的转折点,则取弹性段和塑性段的切线相交点为转折点。

图 3 到图 5 是几组单桩在加载时候的 p - s 曲线。这些桩的承载力采用的是沉降发生突变时或者沉降达到规定值所对应的加载值进行计算,通过测量数据可以看到在粉土地基土层布置情况下单桩承载力分别为 0.3 kN、0.68 kN、0.9 kN,而黏土地基的土层布置情况下单桩承载力分别为 0.3 kN、0.65 kN、0.87 kN。试验湿喷桩极限承载力及相应沉降量见表 3。可以推断正常养护温度下粉土地基中的单桩承载力大于黏土地基,这说明在正常温度下地基土的强度决定了单桩的承载力,而在低温养护情况下,黏土湿喷桩的承载力高于粉土湿喷桩。

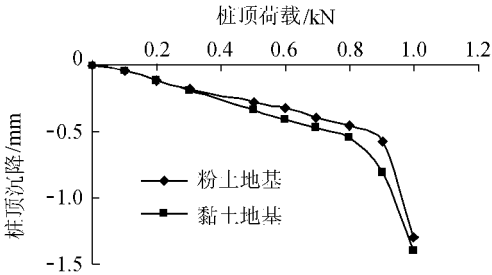


图 3 9月施工压桩曲线

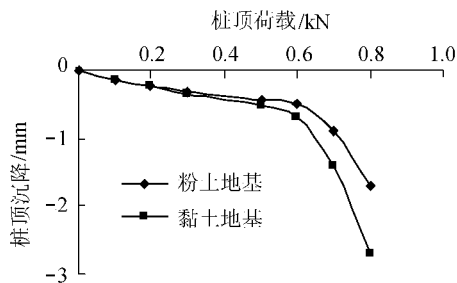


图4 11月施工压桩曲线

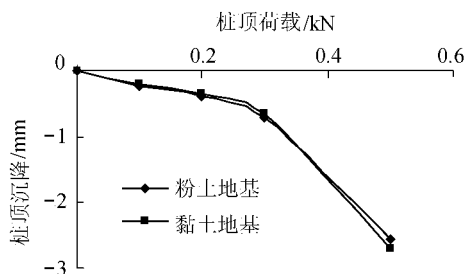


图5 12月施工压桩曲线

表3 试验湿喷桩极限承载力及相应沉降量

土 层	施工时间	平均气温/℃	极限承载力/kPa	沉降量/mm
黏土地基	9月	22.7	173.5	0.632
	11月	10.5	128.5	0.730
	12月	3.8	59.7	0.586
粉土地基	9月	22.7	179.0	0.531
	11月	10.5	134.5	0.551
	12月	3.8	59.7	0.670

图6和图7是不同施工养护期、相同土层配置情况下的压桩 $p-s$ 曲线,从图中可以发现,施工养护期的气温越低(模型较小,地场温度可以等同于气温,因此导致地场温度也越低),其承载力下降速率越大,桩顶沉降速率随温度降低逐渐变大。

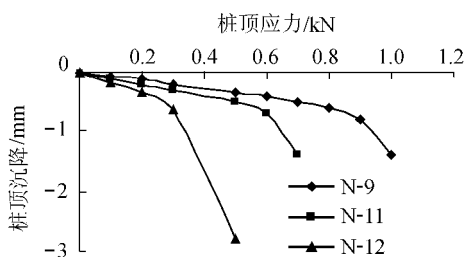


图6 黏土地基湿喷桩压桩曲线

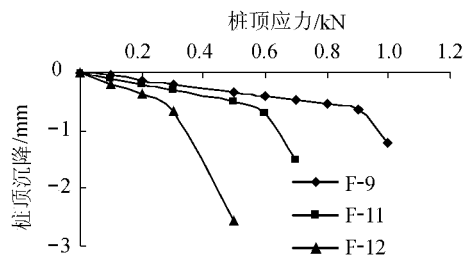


图7 粉土地基湿喷桩压桩曲线

通过以上分析可以发现,施工期的温度对单桩承载力的影响是很大的。在模型试验中,由于模型

地基尺寸较小,与环境的热传导更容易,因此环境温度对整个桩均有影响,而实际工程中,环境温度只对地表一定深度内的地基有影响,因此环境温度对整个桩的影响将不如模型试验这么大。

3 结 语

a. 由试验测得了不同养护温度下的单桩 $p-s$ 曲线,并且做出了比较,发现在正常温度下的单桩承载力与在低温状态下养护的单桩承载力相差比较大,温度越高,单桩承载力越大。因此在施工时不能为了赶进度而忽略施工期的气温等因素。

b. 由试验测得的桩端应力表明,不同的养护温度造成了不同的桩体刚度,不同的桩体刚度又造成了不同的桩端应力增长速度和桩侧摩阻力增长速度。因此,要将温度因素考虑到评价持力层的承载力中去。

c. 随着养护温度的降低,极限荷载时的沉降量逐渐增大,而桩端沉降量逐渐减小,桩体压缩量逐渐变大,说明了温度越高,桩体刚度越大,桩端应力越大,桩体压缩量越小,桩顶沉降越小。

参考文献:

- [1] 陈冠雄,黄国宣,洪宝宁.广东省高速公路软基处理实用技术[M].北京:人民交通出版社,2005:109-112.
- [2] 赵峥嵘,杨红霞.粉喷桩在不同温度下龄期与强度关系的试验研究[J].济南交通高等专科学校学报,1999,7(3):25-30.
- [3] JGJ79—2002/J220—2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [4] 何开胜.水泥搅拌桩承载力计算方法探讨[J].岩土工程学报,2003,25(1):31-35.
- [5] 庄心善,杨雪强,何世秀.桩后注浆增强桩基承载力的试验研究[J].地下空间,1999,19(5):463-465.

(收稿日期:2006-05-19 编辑:熊水斌)

