

粉喷桩复合地基桩土应力比试验研究

朱中卫 方磊

(东南大学岩土所, 江苏南京 210096)

【摘要】 通过分析长江下游某高速公路粉喷桩处理路基段荷载试验和路堤填筑期间分别测试的桩与桩间土两者的应力变化, 发现虽然两种试验状况下桩土分担荷载的过程有一定差异, 但荷载试验中桩土应力比的最终稳定值与复合地基正常工作时桩土应力比值大致相同, 即可通过荷载试验测得的桩土应力比来确定粉喷桩复合地基的设计参数。文中实例说明, 该地区粉喷桩复合地基桩土应力比的设计值可取略小于荷载试验中所测桩土应力比。

【关键词】 荷载试验; 桩土应力比; 复合地基; 柔性荷载

【中图分类号】 TU 473.1

Experimental Study on Stress Ratio between Pile and Soil of DJM Pile Composite Foundation

Zhu Zhongwei Fang Lei

(Transportation College of Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China)

【Abstract】 Introducing the study of the stress ratio between pile and soil in a superhighway along the Yangtze River, which has been improved by Dry Jet Mixing pile. The tests for stress ratio between pile and soil of Dry Jet Mixing pile composite foundation, during the bearing experiments and the constructing embankment, are both analyzed. Based on comparing the results of the tests, it is shown that two results are accordant. The final result shows it is feasible for making the stress ratio between pile and soil under the bearing test as the design parameter of the DJM pile composite foundation.

【Key Words】 bearing test; stress ratio between pile and soil; composite foundation; flexible load

0 引言

粉体喷射搅拌法加固软土地基技术近 20 年来在高速公路软基处理中得到广泛应用, 但理论研究并不成熟, 尤其是复合地基的工作机理有待进一步研究。确定复合地基承载力的最可靠的方法是进行现场荷载试验, 但荷载试验费时费力, 不能大面积的推广; 目前, 根据经验公式推算复合地基的承载力, 绝大多数都包含桩土应力比这个参数。有学者认为桩土应力比的测试或计算都不完善, 建议避免将其作为复合地基设计的参数^[1]。但工程实践表明, 当有类似工程积累的相关经验时, 可考虑引入桩土应力比, 这一参数最能直观反映桩与桩间土荷载分担的情况, 以便更准确的利用桩与桩间土的强度。

粉喷桩复合地基的设计中, 必须注意桩土应力比的选择, 如果桩土应力比过小, 桩体强度得不到充分发挥; 桩土应力比过大, 桩间土承载能力又不能被完全挖掘, 都造成浪费。由于土的应力应变关系是非线性关系, 同时桩体的应力应变关系也是非线性的, 所

以很难找到一种精确的计算桩土应力比的公式; 而且桩体材料、地基土特性、桩长、桩径、水泥掺入比、面积置换率、荷载水平、时间等诸因素都会影响桩土应力比的变化规律, 且各种影响因素之间又不是彼此独立的, 对桩土应力比的影响是一种综合结果^[2]。桩土应力比的理论计算较困难。到目前为止, 国内外许多学者都是在各自假设的条件下提出了计算公式, 但尚无一个被工程界接受的较完善的计算模式^[3]。桩土应力比的试验研究非常有必要和有价值。在工程实践中, 常常通过荷载试验或现场埋设土压力盒实测桩土应力, 但后者只能用于设计的验算, 并不能指导设计, 而恰好后者又是桩土共同作用的真实反映。本文拟通过找出现场荷载试验测定的桩土应力比与路堤填筑过程中的测试的桩土应力比的相关关系, 在以后类似工程的设计中, 通过荷载试验确定的桩土应力比进行相关变化运用于复合地基的设计中。

1 工程实例

长江下游某高速公路穿越长江三角相冲积软土,

主要软土层的物理力学指标见表1。选取K78+338~388段落(桥头段)作为试验段,该软土路基段采用粉体喷射搅拌法加固,粉喷桩桩长为10 m,桩径为0.5 m,桩间距为1 m,水泥采用425[#]普通硅酸盐水泥,喷灰量50

kg/m,桩在平面上呈三角形布置。为更好地研究该地区粉喷桩复合地基的工作机理,在试验段进行了载荷试验,并在载荷试验过程中测试了桩土应力比,还于路堤填筑期间长期观测了桩土应力比的变化。

表1 主要不良地层物理力学指标

土层	状态描述	天然含水量 $w/\%$	天然孔隙比 e	液限 $w_L/\%$	地基容许承载力 σ/kPa	厚度 /m
1-2 淤泥质亚粘土	灰黄色,流塑,中等压缩性	38	1.044	34.7	90	约1
2-2 淤泥质亚粘土	灰色,流塑,中、高等压缩性	53.9	1.453	36.4	60	约3.6

2 载荷试验中桩土应力比的测试

3 桩复合地基静载荷试验中,在载荷板下埋置钢铰式土压力盒,进行桩与桩间土的应力测试。试验进行了三组:PS1、PS2、PS3,土压力盒平面布置见图1。载荷试验的设计参数见表2。试验时,载荷板下设置了30 cm厚的中粗砂找平层。试验过程中采用钢弦式频率计测读土压力盒的频率,根据标定结果计算应力,测读时间同载荷试验中测读沉降的时间一致。按《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)进行试验,将试验结果绘制成荷载-沉降曲线、荷载-桩土应力比曲线(见图2图3)。从图3发现桩土应力比随上部荷载的变化有很强的规律性。开始加载阶段,桩土应力比随荷载的增加而增加,基本上成直线上升;当加载到150~300 kPa时,桩土应力比均达到最大,分布在6.2~9.6之间;继续加载,桩土应力比又逐渐减小,趋于某一常数。三条曲线趋势大致相同,均为上凸曲线,差别之处在于:桩土应力比的极大值不同,且极大值对应的荷载也不同。

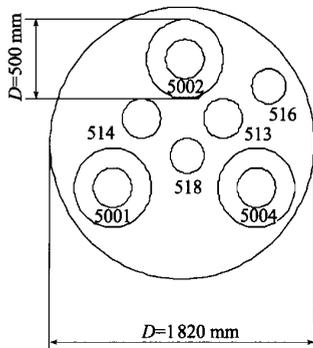


图1 载荷板下土压力盒布置图

表2 三桩复合地基载荷试验的设计参数表

试验点号	桩长 L/m	面积置换率 $m/\%$	载荷板尺寸 Φ/mm
PS1, 74 [#] 76 [#] 75 [#]	11.5	22.7	1820
PS2, 87 [#] 89 [#] 88 [#]			
PS3, 64 [#] 62 [#] 63 [#]			

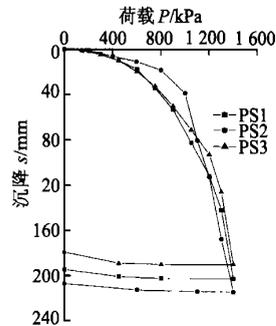


图2 3 桩复合地基荷载-沉降曲线

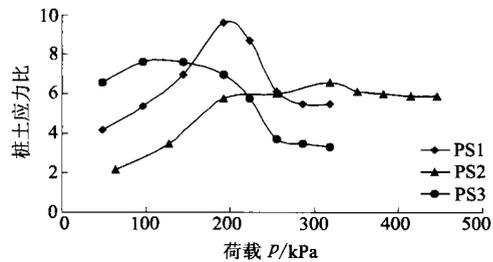


图3 3 桩复合地基荷载-桩土应力比曲线

复合地基在加荷初期,由于桩体的刚度较土体刚度大得多,呈现应力集中现象^[4],即荷载主要由桩体承担,且随着荷载的逐渐增加,应力集中表现得越明显,桩土应力越大;当加载超过某一级荷载时,桩土应力比不再增大;继续加载,桩土应力比呈下降趋势,各级荷载间或有增大,或有减小。通过与图2联合分析,发现荷载-桩土应力比曲线中,桩土应力比最大时所对应的荷载接近复合地基的比例极限荷载,有的文献也得出相同的规律,并提议将此作为复合地基比例极限荷载的参考值^[3]。这一现象说明桩土应力比在地基所加荷载接近其比例极限荷载时达到最大值,当施加荷载超过该级荷载以后,桩体应力仍随荷载的增加而增加,但增加的幅度比桩间土应力增大的幅度要小,即桩土应力比逐渐减小,最终趋于某一常数。由桩土分担荷载的这一过程可知,随着荷载的增加,桩与桩间土承载能力发挥的程度趋于一致,即桩土承载能力均得到同等程度的发挥。

3 桩复合地基载荷试验中,桩与桩间土都充分发挥时,桩土应力比约为 4.9,可选取此值为该地区桩土应力比的最优设计值,与《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ017-96)规定的无实测资料时建议的取值范围相符^[5]。

3 路堤填筑中桩土应力比的测试

路堤填筑过程中,在桩顶和桩间土同一水平位置分别埋设了钢弦式土压力计各 2 只,每月观测 4 次。室内试验表明:此地区水泥土在龄期 28 d 的强度就达到了最终强度的 80%,故整理长期观测的桩土应力资料时可不考虑桩体刚度变化。绘出填土高度-时间-桩土应力比的关系图(见图 4),与现场载荷试验结果进行比较。由图 4 可知:桩土应力比随填土高度的增加而缓慢增加,在填筑结束一段时间后, n 稳定在 3.8~4.5 之间。上述载荷试验结果表明,此地区桩土应力比为 4.9 时,桩与土体的承载能力均得到充分发挥。与路堤填筑过程中桩土应力比的观测结果相比,载荷试验所得最佳桩土应力比值略大于桩土实际工作中的应力比值。通过载荷试验确定复合地基桩土应力比设计值时,应取适当小于载荷试验中确定的桩土应力比为最优设计参数。

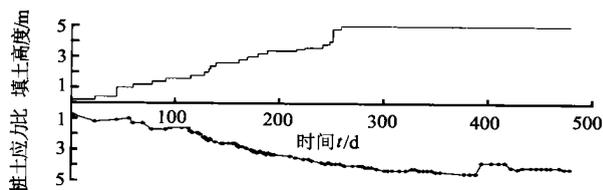


图 4 填土高度-时间-桩土应力比关系图

通常所说的桩土应力比,是指在某级荷载下达到稳定时的桩、桩间土平均应力的比值^[1]。由图 4 可知:在填土高度稳定在 5 m 时所得的一系列观测值,随时间逐渐减小,这就是桩土应力比的时间效应。这一现象说明:在开始施加荷载时,由于桩体与土体刚度差异较大,应力集中表现明显,荷载主要由桩体来承担,后随时间的增长,荷载逐渐由桩体向桩间土转移,最后趋于稳定^[6]。其它填土阶段也存在明显的时间效应。此结论表明,在施工过程中,如果施工速度很快,测试到的桩端应力较大,如果仍在桩体的极限应力范围以内,则桩体依然能正常工作,并随时间变得更加安全。

4 结论

1) 粉喷桩复合地基的桩土应力比指的是作用于桩顶上与桩间土上的平均应力之比(即 $n = \sigma_p / \sigma_s$),试验中埋设的土压力盒均是置于地基表面,可见两者结果能用于横向比较。土质不同成桩的性状也不同,即粉喷桩应看作分段组合体^[7]。如果把桩土应力比作为表征复合地基的某一指标,在某种程度上有些不合适,但复合地基本身很复杂,要深入讨论确实有较多困难。鉴于粉喷桩复合地基用载荷试验确定桩土应力比的结果已被广泛采用,且运用中已积累很多经验,所以,目前工程界往往在经验的基础上以这一指标作为重要参数。

2) 载荷试验中桩土共同承担荷载的机理,与路堤荷载作用下桩土的工作机理是有差异的,但两种试验结果大致吻合,说明在载荷板下设置柔性垫层能较好的模拟路堤柔性荷载。通过分析,粉喷桩复合地基的设计中,可取略小于载荷试验中确定的桩土应力比为设计参数。另外,还可利用载荷试验测得的桩土应力比预测施工期间桩土应力随施工荷载的变化,保证在土体与桩体都正常工作状况下,提高填土速率,对缩短工期相当有意义。

3) 桩土应力比设计值可取载荷试验确定的桩土应力比减去 0.5~1 为宜,地基土质较好时取小值,地基土质较差时取大值;同地区粉喷桩复合地基设计时可借鉴此结论。

参 考 文 献

- 1 龚晓南. 复合地基理论及工程应用. 北京:中国工业出版社,2002. 100~130
- 2 秦建庆,叶观宝,费涵昌. 水泥土桩复合地基桩土分担荷载的试验研究. 工程勘察,2000(1): 32~34
- 3 宋修广. 水泥粉喷桩的理论研究与分析:[学位论文]. 南京:河海大学,1999
- 4 段继伟,龚晓南. 水泥搅拌桩的荷载传递规律. 岩土工程学报,1994,16(4): 1~7
- 5 JTJ 017-96 公路软土地基路堤设计与施工技术规范
- 6 宋修广,王松根. 水泥粉喷桩荷载传递规律的试验研究. 岩土力学,1999,20(4): 81~85
- 7 陈 彭建忠,等. 水泥粉喷桩复合地基受力性状试验研究. 中国公路学报,2002,15(4): 17~21

收稿日期:2004-03-29