

预应力管桩在高速公路拼接工程软土地基处理中的应用

王 斌,徐泽中

(河海大学交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:为防止在深厚软弱地基上进行高速公路拼接时在新老路基间产生差异沉降,采用强度高、处理深度大的 PTC 型先张法预应力薄壁管桩替代传统水泥土搅拌桩法进行加固。为了充分发挥预应力管桩桩身强度大和桩间天然地基承载力的作用,在桩的顶部设置桩帽可加大桩的间距,同时在桩帽的顶部加铺碎石加筋垫层,形成桩网垫层疏桩复合地基。实践表明,预应力疏桩复合地基能有效地减小新老路基间的差异沉降,提高地基的承载力,处理效果明显,质量可靠。

关键词:预应力管桩,刚性桩,复合地基,软土地基,高等级公路

中图分类号: TU472, U461.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2003)07-0035-03

在软土地基特别是具有深厚软土层的路段进行高速公路的拼接拓宽工程或老路的改造工程,新老路基之间将存在明显的差异沉降,在新老路基的结合处将产生拉应力,如处理不当,会产生纵向裂缝,因此差异沉降控制的好坏是拼接工程建设成败的关键。

沪宁高速公路扩建工程昆山试验段,属河湖或海相沉积平原,地下水位位于地面以下 2.0 m 左右,与河水相通。该段总体以软弱粘性土为主,表层为 3 m 左右硬壳层,3 ~ 14.5 m 范围内为孔隙比 1.182、压缩系数 0.94 的淤泥质土;中间夹 1.5 m 的硬塑状粘土;下层为厚 19 m,平均孔隙比为 1.113、压缩系数为 0.69 的淤泥质亚粘土;下面为土质较好的粘土层。在设计中可充分利用硬壳层的应力扩散作用,减少工后沉降量。

目前高速公路上常用的深搅桩、碎石桩等柔性桩复合地基,处理深度有限,一般不超过 20 m,同时桩身范围多表现为鼓胀破坏,应用于深厚软土地基上的高速公路拓宽工程,显然难以满足变形要求。

昆山试验段软土深达 35 m,传统处理方法显然不能满足变形要求,因此从桩土共同工作控制沉降量的原理出发,提出了充分利用桩间土的预应力疏桩方案,并在桩的顶部设置一桩帽,在其上设置加筋垫层形成刚性疏桩复合地基。

下面以沪宁高速公路昆山试验段为例,介绍预应力疏桩复合地基的设计方法,并对其沉降规律进行分析研究,为推广应用提供参考。

1 预应力疏桩复合地基的设计

1.1 刚性疏桩复合地基受力机理

由于在桩的顶部设置桩帽,其受力模式与一般的复合地基不同:首先桩帽和桩帽以下的土体以及桩体之间构成组合单桩,同时在桩帽顶部设置碎石加筋垫层,它又与桩帽之间的土体构成复合地基。而对于组合单桩来说,如果间距大于 6 倍桩径,则可按疏桩基础中的组合单桩的受力模式来考虑,对于整个地基则按复合地基的受力模式来考虑。

1.2 控制沉降疏桩基础的设计

按控制沉降理论的复合地基设计,包括疏桩布置、沉降计算及承载力验算等内容。

1.2.1 桩型、间距及垫层的厚度初定

预制管桩作为一种刚性桩,与桩周围土体一起组成复合地基,桩土共同工作。当桩数较多时,可只在基础平面内布桩,但周围建筑物对其有影响时,在基础外侧应设隔离桩,一般按正方形布桩,可采用摩擦型和端承型设计。本工程采用摩擦型设计,具体确定方法如下:

a. 桩型的确定。对于摩擦型桩,桩型可采用 PTC 预应力空心管桩。

b. 桩长。桩长原则上应穿透软弱土层到达强度相对较高的土层,同时按满足超过危险滑弧的位置条件确定,以满足地基承载力和变形要求,取桩长 35 m。

c. 桩径。桩径则按桩长的比值,考虑细长比可按 $D/L \geq 1\%$ 确定,取桩径 40 cm,壁厚本工程取为 6

~7 cm.

d. 间距、桩帽大小. 桩间距和桩帽大小按控制沉降量和承载力为原则选取, 初定桩距为 2.5 ~ 3.0 m, 桩帽大小 1.5 m × 1.5 m, 厚度根据设计荷载和抗剪强度验算取 30 cm.

e. 垫层. 为充分保证桩土共同工作, 在桩帽的顶部设置 40 cm 的碎石垫层, 为加强垫层的整体刚度, 在垫层中间铺一层 $\varnothing 8$ 钢筋网格, 按每米 3 根纵横向布置, 从而形成强度较大的桩网垫层复合地基.

1.2.2 复合地基承载力验算

a. 单桩承载力. 根据桩的规格按规范确定其竖向承载力设计值^[1]. 桩侧土强度计算^[2]的计算公式为

$$R_k^d = (u \sum q_{si} l_i + q_{RA_p}) / \gamma_R \quad (1)$$

式中: R_k^d 为桩的设计承载力, kN; u 为桩周长, m; A_p 为管桩截面积, m^2 ; q_R 为桩端承载力, kPa; q_{si} 为桩周第 i 层土的极限摩阻力, kPa; l_i 为桩周第 i 层土分层厚度, m; γ_R 为荷载分项系数.

由于桩帽的存在, 桩上部的侧摩阻力会受到削弱, 其影响深度根据以往桩基静载试验取 1.5 倍桩帽宽度^[2], 在进行桩极限承载力验算时不应计入.

单桩承载力在两者中取小值.

b. 置换率. 组合单桩与整个复合地基的置换率 (正方形布桩) 为

$$m_1 = A_1 / A \quad (2)$$

单根桩与复合地基的置换率为

$$m_2 = A_p / A \quad (3)$$

式中: A_p 为桩的截面积, m^2 ; A_1 为桩帽的面积, m^2 ; $A = l^2$, l 为桩间距, m.

c. 复合地基承载力验算. 参照文献[3], 按式(4)进行验算:

$$f_{sp} = m R_k^d / A_1 + \beta (1 - m) f_{sk} \quad (4)$$

式中: f_{sp} 为复合地基承载力, kPa; m 为复合地基置换率; β 为桩间土应力发挥系数; f_{sk} 为天然地基承载力, kPa, 根据试验取值, 其余符号意义同前.

承载力验算时可采用组合单桩的试验成果, 也可采用单桩的试验成果. R_k^d 对应组合单桩的设计承载力时 m 按 m_1 取值; R_k^d 对应单桩的承载力时 m 按 m_2 取值, 两者计算结果应基本相同, 但存在一定试验误差, 可取均值.

当 m 取 m_1 时, 有:

$$f_{sp} = m (R_k^d + f_{sk} A_1) / A_1 + \beta (1 - m_1) f_{sk}$$

当 m 取 m_2 时, 有:

$$f_{sp} = m_2 R_k^d / A_p + \beta (1 - m_2) f_{sk}$$

1.2.3 复合地基沉降计算

复合地基的沉降包括加固区的沉降 s_1 和下卧层的沉降 s_2 两部分. 沉降计算可采用复合模量法、应力扩散法和等效实体法. 应力扩散法的扩散角难以确定, 等效实体法加固区的侧摩阻力密度的推求难度较大, 因此本文采用复合模量法. 当已知复合地基置换率 m 和各土层的压缩模量 E_s 后, 可按式(5)计算加固区的复合模量 E_{sp} ^[3]:

$$E_{sp} = m E_p + (1 - m) E_s \quad (5)$$

式中: E_s 为桩的压缩模量, MPa; m , E_{sp} 取值方法同式(4).

沉降量采用一般的分层总和法^[3]进行计算, 见式(6).

$$S = \Psi \left(\sum_{i=1}^{n_1} \frac{\Delta P_i}{E_{sp}} \Delta h_i + \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \frac{\Delta P_j}{E_{sj}} \Delta h_j \right) \quad (6)$$

式中: n_1 为加固区的土层数; n_2 为总土层数; ΔP_i , ΔP_j 为各土层的附加应力, kPa; Δh_i 为各土层的分层厚度, m; Ψ 为沉降修正系数, 按实测值求得, 一般取 1.0 ~ 1.3.

计算断面取 K0 + 710, 由于该段原路未完全稳定, 仍存在沉降变形, 计算时需考虑原路荷载对压缩层厚度的影响, 对软土路段, 压缩层厚度可按附加应力是自重应力的 0.1 倍考虑, 同时应按原路的实际加载历时和新拼接路堤的加荷历时采用固结理论进行计算. 原路宽度为 26 m, 两侧各加宽 8.25 m, 桩间距 3.0 m, 桩帽尺寸 1.5 m × 1.5 m, 计算桩长 35 m, 路堤高度 3.75 m.

按式(6)计算表明, 加固区沉降很小, 可忽略, 下卧层沉降量为 $s_2 = 38.8$ mm.

2 现场试验分析

2.1 现场试桩分析

为了给控制沉降疏桩的设计方法提供指导, 在 K0 + 710 断面针对有(无)桩帽和天然地基的情况进行了现场试桩试验, 其 $P \sim s$ 曲线见图 1, 桩间土压力和桩帽下土压力变化曲线见图 2.

从图 1 可以看出, 第一拐点出现在 $P = 1000$ kN 处 (或 445 kPa), 与图 2 中土压力的变化规律接近. 从图 2 可以看出, 加荷初期 (荷载小于 1000 kN), 两个土压力的数值基本接近; 当荷载达到 1000 kN 后, 桩间土的受力逐渐加大, 桩间土的承载力逐渐发挥作用. 在加荷过程中, 由于桩的强度大, 桩间土先发生沉降, 随着桩间土的沉降, 桩帽下的土压力值减小, 桩土变形不协调, 在加筋垫层的作用下, 桩所分配的荷载加大, 桩发生位移, 桩间土和桩帽下土压力

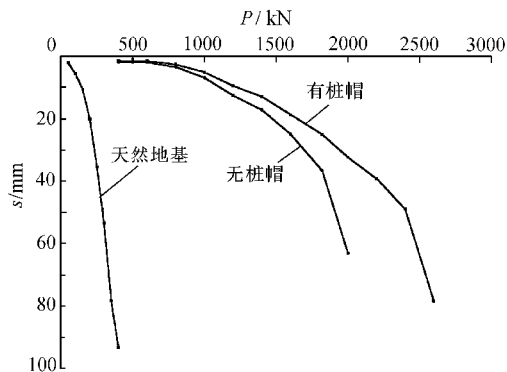


图 1 不同类型试桩 $P \sim s$ 曲线

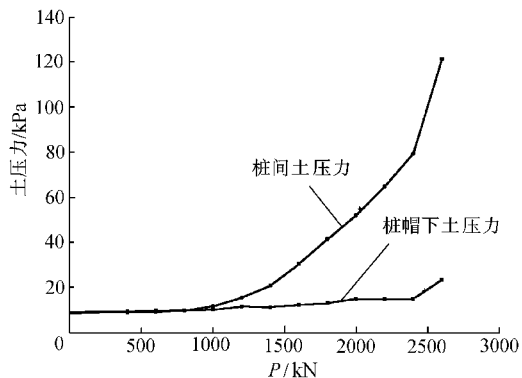


图 2 不同位置土压力随荷载变化曲线

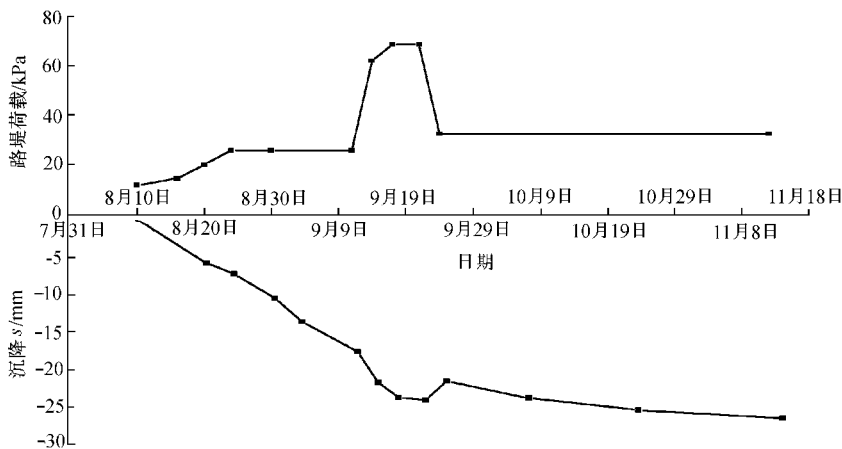


图 3 K0+710 断面实测沉降过程线

增加,当桩土重新达到变形协调时,桩间土再次沉降,如此循环,最终达到变形协调,沉降稳定。

在加荷过程中,桩间土的土压力数值应逐渐增加,而桩帽下的土压力数值是以锯齿状逐渐上升,但始终小于桩间土压力的数值,与试验结果一致。

试验段预埋钢筋计的观测结果显示,无桩帽情况下,钢筋的受力较大,达到 5.23 kN,出现了较大的变形,桩顶相对垫层发生了刺入变形,而有桩帽情况下的钢筋受力为 1.38 kN,桩帽和垫层的作用明显。

试验同时表明,植桩后经过恢复期,由于桩间土的压缩变形使得桩侧摩阻力增大和桩的“挤土”效应,组合单桩承载力明显,提高达 1770 kN,比设计值 870 kN 大 1 倍以上,同时组合单桩的承载力要比单桩承载力高。因此在施工图设计时应通过试桩所确定的参数进行设计。

2.2 路堤沉降实测成果分析

K0+710 段施工至 95 区后,进行了 1 m 的超载预压试验,实测总沉降为 26.6 mm,推算最终沉降量为 35.0 mm,与计算值 38.8 mm 接近。加载后的沉降增量为 6.5 mm,回弹量为 2.6 mm,存在较大的弹性变形,其形心位置的加荷沉降过程线见图 3。由图 3 可见,沉降量满足拼接段对沉降要求高的特点,处理效果明显。

3 结 语

a. 在高速公路的拼接工程中,计算和现场试验表明,采用预应力疏桩复合地基模式来处理深厚软土地基具有沉降小,施工方便,质量可靠等优点,能起到有效控制工后沉降的作用,也可在新建高速公路的地基处理中推广应用。

b. 复合地基加固区的沉降可忽略不计,下卧层沉降可采用分层总和法计算,压缩层厚度应根据原路的稳定状况及地质条件决定,对软土可按附加应力是自重力应力的 0.1 倍选取。

c. 施工图设计阶段应通过试桩合理确定刚性疏桩复合地基的设计参数。

参考文献:

- [1] GBJ1346-1999,先张法预应力混凝土管桩[S].
- [2] 河海大学,沪宁高速公路股份有限公司.交通土建软土地基工程手册[M].北京:人民交通出版社,2001.785~795.
- [3] 龚晓南.复合地基理论及工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.351~355.

(收稿日期 2003-10-21 编辑 熊水斌)