

低标号素混凝土桩在杭金衢高速公路中的应用

宋法宝¹,陈永辉²,刘汉龙²

(1. 杭州市交通设计研究院,浙江 杭州 310006;2. 河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要 由于杭金衢高速公路某段路基承载力要求较低,对混凝土的抗压强度要求不高,因此该路段加宽软基处理工程采用低标号素混凝土桩的地基处理方式.低标号素混凝土桩可按沉降控制要求设计,然后验算复合地基的承载力和稳定性.根据计算结果,确定低标号素混凝土桩的桩径、桩距及平面布置、桩长、桩体强度和配比,设计褥垫层,注意新老路基的连接.最后对低标号素混凝土桩进行低应变动力质量监测.结果表明,采用低标号素混凝土桩的地基处理方式,地基承载力大大高于设计要求,达到了减小工后沉降、加速施工工期的目的.

关键词 高速公路 低标号素混凝土桩 地基处理 软基路段

中图分类号:TU473

文献标识码:A

文章编号:1000-1980(2004)05-0583-04

随着经济建设的快速发展,现有许多高等级公路已不能满足交通流量急速发展的需要,急需进行加宽改造.如果在软土地基上进行路基加宽,由于老路一般沉降已稳定,因此如何控制加宽新路路基的工后沉降即选择经济合理的地基处理方式是高等级公路加宽工程中的一个难题.杭金衢高速公路部分加宽软基路段采用低标号素混凝土桩的高速公路地基处理方式,获得了很好的效果,本文将介绍该方法的设计、施工过程以及加固效果,为今后高速公路加宽工程的地基处理设计提供一种新的思路和方案.

浙江杭金衢高速公路萧山段路基于 2001 年年底进入预压期,沉降速率已稳定,即将进入路面施工准备阶段.由于杭州市决定在张家畈处(K16+200~K17+760)增加一个杭金衢高速与新建绕城公路互通立交,因此要对该段进行路基加宽.加宽段路基位于软基之上,软基深度普遍在 20 m 左右,最深的接近 25 m,软土层物理学特征较差.为了满足工后沉降及工期要求,需对该加宽路段进行地基处理.该工程从开工至通车仅 1 年左右时间,工期非常紧张.通过反复的经济技术比较,最后采用了低标号素混凝土桩的地基处理方案,不仅满足了工期要求,同时取得了很好的加固效果,通车后,加宽部分与老路部分没有出现差异沉降.

1 加宽段软基处理设计过程

1.1 工程地质及水文地质条件

经钻探表明,建设场地表层以湖沼积亚黏土为主,其下为海积软土,局部夹软塑—流塑状亚黏土.场地土层自上而下大致可以分为:(a)表层土,埋深为 2.0~4.0 m;(b)淤泥质黏土或淤泥质亚黏土,灰色,流塑,局部地段为淤泥,厚度 9.4~25.0 m;(c)黏土及亚黏土层,该层顶埋深 14.0~25.0 m,力学性质较好.

从以上地质条件看,该路段为典型的软土地基,填土高度在 2.8~5.1 m 之间,大部分为 4 m 以上,因此必须采用合适的地基处理方案进行软基处理.

1.2 地基处理方案的选择

目前在高速公路加宽工程中一般采用的地基处理方法有 排水固结结合堆载(超载)预压、深搅桩(干喷或湿喷)、预应力管桩、CFG 桩、薄壁管桩、钻孔灌注桩、EPS 轻质路堤等.由于杭金衢高速公路软基路段加宽工程工期相当紧张,因此采用排水预压的地基处理方案根本无法满足工期要求,采用粉喷桩方案又由于软土过深无法使用,采用预应力管桩、EPS 轻质路堤、钻孔灌注桩则费用过高,CFG 桩施工较为麻烦且当地缺乏粉煤灰材料.通过反复的经济技术比较,最后决定采用振动沉管低标号素混凝土桩进行加固.比较常见的振动沉管钢筋混凝土桩是一种比较成熟的地基处理方法,施工时不会有很大的难度,且当地振动沉管桩机较多,

便于短时间内组织机械,加快工期.由于杭金衢高速公路软基路段加宽工程为路基工程,承载力要求较低,且对混凝土的抗压强度要求不高,因此设计时振动沉管桩可以采用低标号素混凝土桩来降低造价.

1.3 低标号素混凝土桩的设计

由于低标号素混凝土桩在高速公路加宽中首次使用,且处理段地基条件较差,本次设计采用理论设计和现场试桩检测相结合的方法来确定设计、施工参数和指标.

1.3.1 计算方法

由于杭金衢高速公路软基路段加宽工程为路基工程,最高填土 5 m 多,采用低标号素混凝土桩复合地基处理后,承载力一般能够满足要求,但对变形要求较为严格,因此该工程可按沉降控制要求进行设计,然后验算复合地基的承载力和稳定性.在沉降满足要求的条件下,承载力一般都能满足要求.

沉降计算采用复合地基的沉降计算理论进行.低标号素混凝土桩作为高粘结强度桩,与褥垫层、桩间土共同形成复合地基.目前复合地基的沉降计算理论正在不断发展和完善之中,针对不同的工程情况和桩型应采用不同的计算公式.在各类实用沉降计算方法中,一般把复合地基变形分为加固区的变形量 s_1 和下卧层的变形量 s_2 (褥垫层的变形很小,可以忽略不计).关于加固区的变形计算方法有复合模量计算法、应力修正法(E_s 法)、桩身压缩法等.桩身压缩法是假定桩体不发生上下刺入而通过桩身的压缩量来计算加固区的变形,显然低标号素混凝土桩作为一种高粘结强度的刚性桩不适合采用这种方法.而 E_s 法计算公式中的桩土应力比 n 与桩土相对刚度、荷载水平、置换率、垫层厚度、桩间土和下卧层土体的工程性质等因素有关,很难合理取值,特别是对于桩土相对刚度较大的高粘结强度桩, n 在 20 ~ 50 之间,是一个变化值.杭金衢高速公路软基路段加宽工程设计时采用较为简单的复合模量方法计算.一般来说,在上覆荷载不是很大的道路工程情况下,加固区的压缩量比较小,各种方法之间计算结果相差不是很大.从计算值与试桩试验结果来看,采用复合模量方法有一定的可靠性.该方法将加固区中的桩和土体视为一种复合土体,将加固区土层分成 n 层,采用分层总和法计算.加固区土层变形量 s_1 表达式为

$$s_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i}{E_{csi}} H_i \quad (1)$$

式中: ΔP_i ——第 i 层复合土上的附加应力增量; H_i ——第 i 层复合土层的厚度.

加固区复合土压缩模量 E_{cs} 通常近似采用面积加权平均法计算,即

$$E_{cs} = mE_{ps} + (1 - m)E_{ss} \quad (2)$$

式中: E_{ps} ——桩体压缩模量; E_{ss} ——桩间土压缩模量; m ——复合地基置换率. E_{ps} 受各种因素影响相对较小,该工程近似取为固定值 60 MPa,而 E_{ss} 由土工试验压缩曲线根据不同的土层和压力大小进行取值.

下卧层土层变形量 s_2 常采用分层总和法计算,而作用在下卧层上的荷载是难以精确计算的.目前在工程上常采用扩散法、等效实体法、改进 Geddes 法等计算应力.应力扩散角法中的扩散角较难确定,改进的 Geddes 法计算复杂且荷载分担比以及桩侧摩阻力分布不易准确确定^[1].该工程设计时采用了等效实体法计算.对于平面应变情况,计算公式为

$$p_b = p - (2h/B)f \quad (3)$$

式中: p ——复合地基上的荷载密度; h ——加固区厚度; B ——荷载作用面宽度; f ——等效实体四周侧摩阻力密度.加固区的侧摩阻力不易确定,本次计算根据经验, f 按各土层地质报告中桩侧土极限摩阻力的一半取值.

对于加宽路段,其沉降控制标准一方面要保证整个路基工后沉降满足规范要求,另一方面应满足新老路基工后沉降基本一致的要求.对于老路基,由于有新的附加荷载,因此需要进行工后沉降校核.而该工程老路基沉降速率已很小,新路基又采用复合地基处理,工后沉降和总沉降均很小,因此新路基的加宽对老路基的变形影响也非常小.

对于低标号混凝土桩的复合地基承载力计算方法可以与其他刚性桩或柔性桩复合地基承载力计算方法相同,这方面的研究相对比较成熟和简单,其计算公式可以参见文献[2~4]等.

1.3.2 设计内容

根据本文所述的计算公式,对低标号素混凝土桩进行设计,成果如下.

a. 桩径.采用 $\varnothing 426$ mm 的振动沉管打桩机成桩.由于该工程地基土体比较软弱,通过试桩确定采用较大

的充盈系数 1.5,实际成桩直径约为 500 mm,设计计算时为偏于安全,仍采用 426 mm 的直径.

b. 桩距和平面布置. 桩距主要由承载力计算决定,一般桩距 $s=(3\sim5)d$, d 为桩径. 通过承载力校核验算以及加宽路段宽度情况,根据填土高度、地基条件和加宽宽度,间距分为两种情况 2.0 m 间距和 2.5 m 间距,平面布置均采用正方形布置.

c. 桩长. 应按前文所述方法进行地基的沉降计算后决定,并对老路基的沉降进行预测分析. 沉降预测方法比较多,如指数曲线法、双曲线法、沉降速率法等^[5]. 该工程由于老路基沉降已基本稳定,设计时近似采用指数曲线法^[6]拟合表明老路基工后沉降小于 2~3 cm,因此对新路基工后沉降控制较为严格,一般填土高度较高的地段深度基本要求达到压缩性较低的黏土层. 通过部分断面的沉降计算表明,加固区范围内的总沉降在 2~3 cm,下卧层总沉降在 4~5 cm. 计算结果还表明,施工期的沉降量约在 5 cm(与实测结果比较吻合),因此工后沉降能够与老路基协调并满足使用要求,通车 1 年后未发现明显的不均匀沉降.

d. 桩体强度和配比. 桩体试块标准养护 28 d 的强度应满足

$$f_{cu} \geq 3R_k/A_p$$

(4)

式中: R_k ——单桩竖向承载力标准值; A_p ——桩的截面积. 本工程桩体强度,室内按混凝土标号 C10 进行配制,要求成桩后地基条件下 28 d 无侧限抗压强度大于 6.0 MPa,60 d 无侧限抗压强度大于 10.0 MPa,粗骨料最大

粒径不大于 40 mm,施工坍落度宜为 30~55 mm,其中水泥采用 425 号普通硅酸盐水泥. 经试桩并通过几种配合比比较,确定单方混凝土用量配合比 水为 190 kg,水泥为 211 kg,砂为 901 kg,碎石为 1 058 kg.

e. 褥垫层设计. 该工程采用 40 cm 厚度的砂砾垫层为褥垫层,第一层填筑材料采用含泥量小于 15% 的宕渣. 在褥垫层中间和顶部铺设 1~2 层纵向抗拉强度大于 50 kN/m 的土工格栅.

f. 其他要求和检测内容. 桩体采用低应变动力质量检测 and 桩基静载荷试验.

g. 新老路基的连接. 在软基处理之前,将原老路堤边坡开挖成台阶状,台阶宽度不小于 1 m. 对新老路堤搭接处施工时应注意压实度的控制.

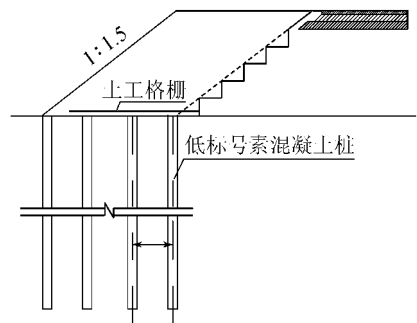


图 1 低标号素混凝土桩复合地基横断面布置

Fig.1 Sketch of cross-section
意压实度的控制.

图 1 为低强度低标号素混凝土桩复合地基典型的横断面布置示意图.

2 低标号素混凝土桩的施工

低标号素混凝土桩的施工顺序为:(a)开工前准备;(b)测量放样;(c)埋置砼桩尖;(d)沉管至桩设计深度;(e)搅拌混凝土;(f)灌注砼至桩顶;(g)震动拔管;(h)移机. 重复上述各步骤,进行下一桩的施工.

3 低标号素混凝土桩的质量检测和加固效果

施工质量的检测主要是检查施工记录、混合料坍落度、桩数、桩长、桩位偏差以及低应变动力质量检测 and 现场载荷试验等. 根据要求对低标号素混凝土桩进行低应变动力质量检测,抽检频率为 5%. 同时该工程还随机进行了 3 根桩的单桩静载荷试验以及 3 组复合地基静载荷试验. 由于试验桩为工程桩,且路基工程对承载力要求不高,试验时间又很短,因此载荷试验未达到破坏荷载,所加的荷载仅达到设计要求的最大荷载,其中单桩试验要求不小于 300 kPa. 复合地基采用 2 m² 的加载板,荷载为 700 kPa. 试验结果表明,在最大荷载作用下,单桩的沉降量为 1.78 mm,2.43 mm 和

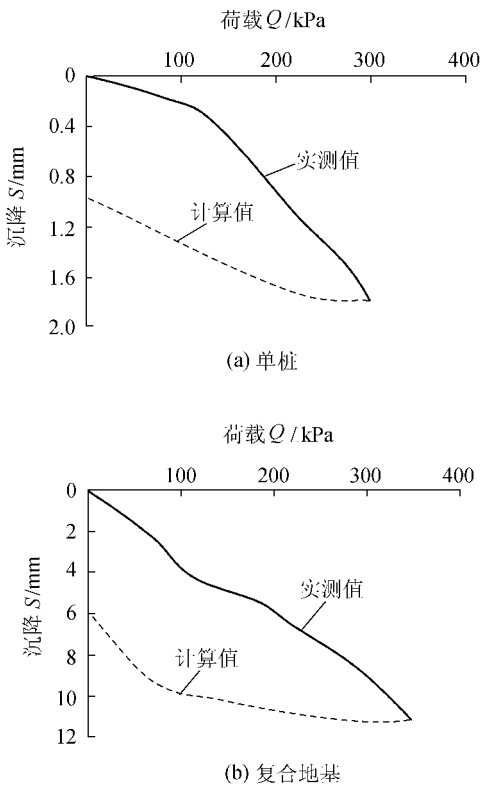


图 2 Q - S 曲线
Fig.2 Q - S curve

2.32 mm,复合地基为 13.82 mm,12.47 mm 和 11.20 mm,回弹率在 45% 以上,其 $Q-S$, $\lg Q-S$ 和 $\lg t-S$ 曲线均未出现陡降或下折,因此其地基承载力均大大高于设计要求值.本文仅选取了两个 $Q-S$ 曲线,见图 2.

该工程还设置了几个沉降板进行沉降观测.3 个断面到通车前沉降均已稳定,其中桩和边桩的累计沉降见表 1,总沉降均小于 5 cm(比理论计算略小),完全满足沉降变形要求.

4 结 语

杭金衢高速公路张家畈互通加宽工程处于较为深厚的软基路段,经过经济技术比较,采用了低标号素混凝土桩地基处理方案,取得了很好的加固效果,达到了减小工后沉降、加速施工工期的目的.该方法为高速公路加宽工程中首次使用,为今后类似工程中地基处理方案的选择提供借鉴和参考.本次工程应用表明:

- a. 低标号素混凝土桩可以处理较深的软基,一般可以达到 30 m 以上,而目前广泛使用的粉喷桩加固深度一般不超过 12 m,具有更广的适用性.
- b. 同样加固深度情况下,按该工程的价格,低标号素混凝土桩的单平方米费用略低于粉喷桩(2.5 m 间距)或基本相当(2.0 m 间距),但要远小于预应力管桩和 EPS 轻质路堤等方法,是一种比较经济的地基处理方法.
- c. 低标号素混凝土桩的质量控制比粉喷桩容易.

参考文献:

[1] 杨涛. 柔性基础下复合地基下卧层沉降特性的数值分析[J]. 岩土力学, 2003, (1): 53—56.
[2] 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. 35—75.
[3] 阎明礼,张东刚. CFG 桩复合地基技术及工程实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 75—125.
[4] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S].
[5] 魏延奇,陈永辉. 基础沉降变形的灰色预测方法[J]. 水利水运科学研究, 1998, (4): 120—123.
[6] 徐立新,桂炎德,曹宁. 公路软土路堤预抛高的分析和计算[J]. 东南大学学报, 2000, (3): 126—131.

Application of low-grade plain concrete piles for a section of Hangjinqi Expressway

SONG Fa-bao¹, CHEN Yong-hui², LIU Han-long²

- (1. Hangzhou Communication Design & Research Institute, Hangzhou 310006, China ;
- 2. Geotechnical Research Institute of Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract In consideration of the low sub-grade capacity and low compressive strength of concrete required by the section of the expressway, the low-grade plain concrete pile was adopted for widening of the soft foundation section. The piles were designed according to the requirement of settlement control. Based on the calculated results of the bearing capacity and stability of the composite foundation, the diameter, length, and strength of the piles as well as their arrangement and the concrete mixing ratio were determined, and the cushion layer was designed. In the treatment of the foundation, the connection of the new and old foundation was paid much attention. The low-strain dynamic quality monitoring of the concrete piles showed that the application of the piles made the bearing capacity of foundation much higher than the design value, decreased the post construction settlement, and shortened the construction period of the project, providing reference to foundation treatment in the similar projects.

Key words expressway ; low-grade plain concrete pile ; foundation treatment ; soft foundation section

表 1 累计沉降观测

Table 1 Observed final settlements cm		
断 面	边桩沉降量	中桩沉降量
K16 + 400	1.91	4.31
K17 + 205	0.50	3.62
K17 + 680	0.72	3.27