

文章编号: 0451-0712(2006)02-0084-04

中图分类号: U416.1

文献标识码: B

CFG 桩复合地基降低高填方路基沉降的计算及应用

马 凡

(北京国道通公路设计研究院 北京市 100053)

摘 要: 根据 CFG 桩复合地基工程特性, 确定高速公路高填方路基 CFG 桩复合地基的设计原则, 提出地基沉降复合地基承载力的计算方法, 以及其在高速公路中的实际应用。

关键词: 高速公路; 高填方路基; 沉降; CFG 桩复合地基; 计算及应用

路基是公路的重要组成部分, 是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物, 承受由路面传来的荷载, 应具有足够的强度、稳定性与耐久性。路基一般可分为填方路基、挖方路基、半填半挖路基和零填路基。

路基工程的主要特点是: 工艺比较简单, 工程数量大, 耗资大。路基稳定与否, 对路面工程质量影响甚大, 关系到公路的正常使用。实践证明, 没有坚固稳定的路基, 就没有稳固的路面。因此, 前期做好路基工程的设计、中期做好施工、后期重视养护, 是非常有必要的。综上所述, 路基应满足下列基本要求:

- (1) 具有足够的整体稳定性;
- (2) 具有足够的强度;
- (3) 具有足够的温湿稳定性。

随着高速公路的大规模修建, 高填方路堤不断增多, 相应的路基沉降问题就显得尤为突出。作为一个合格的道路设计人员, 发现问题并找到相应的解决方法是我们的职责所在。

造成高填方路堤下沉的原因, 主要是由地基下沉或路堤本身的沉降引起, 包括均匀沉降和不均匀沉降。在一般路段, 少量的均匀沉降不会对路面造成破坏; 而过量沉降的主要矛盾出现在构造物台背后, 由于桥涵构造物沉降量较小, 构造物两侧的高填路

收稿日期: 2005-12-13

Establishment of Evaluation Index of Expressway Landscape in Limestone Mountain Areas

SHANG Guan-su¹, LU Xiao-hong²

(Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: On the basis of the characteristics of environment and engineering geology in limestone mountain areas, the evaluation of expressway landscape in limestone mountain areas is analyzed from environment, function, esthetics and social economic benefit. At the same time the evaluation index system is established and all kinds of the index are analyzed. These studies provide a complete understanding of the function of expressway landscaping for highway decision-makers, builders and managers, and lay a good foundation for expressway construction and operation.

Keywords: limestone mountain area; expressway; evaluation of landscape; evaluation index

堤沉降量偏大,常会引起桥头跳车,并造成路面过早损坏,纵而线形不连续。针对上述路堤下沉产生的原因,就需要我们在设计阶段综合考虑对地基采用何种处理方法,尽可能减小地基沉降对路基造成的破坏。

目前,公路地基处理中使用的方法主要有桩基、粉喷桩、散体材料桩、强夯法、真空预压和堆载预压等加固法。上面任何一种加固技术都有它的优越性,也有其局限性。粉喷桩、散体材料桩方法造价低廉,但施工质量不易控制,且加固深度有限。堆载预压法由于地基土的强度很低,因存在路堤的稳定性问题,不可能快速加载,制约着工程的进度,因此施工工期很长;由于现在高速公路的建设周期很短,采用这种加固方法的机率很小,此外堆载预压需要额外土方,将会多占用耕地,破坏环境。桩基在加固路基中使用,可大大缩短工期,加固处理深度较其他方法更深,明显增加了路基的稳定性,减少地基沉降,但缺点是造价较高。

水泥粉煤灰桩,简称CFG桩(C指Cement、F指Flyash、G指Gravel),属于高粘结强度桩复合地基,它与素混凝土桩的区别仅在于桩体材料的构成不同,而在其受力和变形特性方面没有什么区别。

CFG桩成型桩质量稳定,可沉桩较深,桩体和桩间土一起,通过褥垫层形成复合地基,复合层的变形很小,地基稳定性得到提高,该技术在京承高速公路一期和二期工程的桥头地基处理中得到了广泛的应用。

1 设计原则

1.1 工程特性

1.1.1 成桩工艺

CFG桩的成桩工艺要视场地土的性质,设计要求的承载力、变形以及拟建场地周围环境等情况而定。目前,最常用的施工工艺是长螺旋钻孔泵压混合料成桩。施工中,首先用长螺旋钻钻孔达到预定标高,然后提升钻杆,同时用高压泵将桩体混合料通过高压管路及长螺旋钻杆的内管压到孔内成桩。这一工艺具有低噪音、无泥浆污染的优点,是一种很有发展前景的施工方法。

1.1.2 桩身材料

CFG桩由碎石屑、粉煤灰,掺适量水泥加水拌和,用各种成桩机制成的具有可变粘结强度的桩型,通过调整水泥掺量及配比,可使桩体强度等级在

C5~C20之间变化。桩体中的粗骨料为碎石,石屑为中等粒径骨料,粉煤灰具有细骨料及低标号水泥的作用。

1.1.3 桩土受力特性

对CFG桩复合地基,基础通过一定厚度的褥垫层与桩和土相联系,如图1(a)所示。若基础和桩之间不设置褥垫层,则如图1(b)所示,桩和桩间土传递垂直荷载,与桩基相类似,当桩端落在坚硬土层上,基础承受荷载后,桩顶沉降变形很小,绝大部分荷载由桩承担,桩间土的承载力很难发挥。在设置褥垫层后,当其他参数不变时(桩长、桩径、桩距一定时),褥垫层厚度与桩上应力比成反比;当褥垫层厚度很大时,桩土应力比接近1,桩与桩间土将共同承担路基荷载。

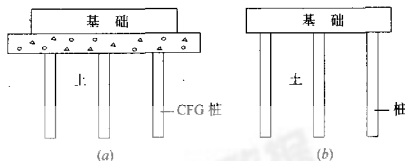


图1

1.2 复合地基设计原则

1.2.1 基本原则

利用CFG桩进行公路路基加固时,桩的直径、长度及间距设计采用以桩体与桩间土形成的复合地基满足路基工后沉降要求为原则。在高填方路基设计中,由于车辆荷载对地基影响相对较弱,计算荷载主要是路基恒载。

1.2.2 设计思想

CFG桩复合地基通过褥垫层与基础连接,无论桩端落在一般土层还是坚硬土层,均可保证桩间土始终参与工作,因此,垂直承载力设计首先是将土的承载能力充分利用,不足的部分由CFG桩来承担。由于CFG桩复合地基置换率不高,基础下桩间土的面积与使用的桩间土承载力之积是一个不小的数值。总的荷载扣除桩间土的荷载,才是CFG桩承担的荷载。与传统桩基设计思想相比,桩的数量减少了,降低了工程造价。

1.2.3 设计参数

CFG桩复合地基有5个设计参数,分别是桩径、桩距、桩长、桩体强度以及褥垫层厚度。

(1) 桩径 d 。

一般桩径 d 设计成 350~400 mm。

(2) 桩距 S 。

一般桩距 $S=(3\sim6)d$, 设计要求承载力大时 S 取小值。

(3) 桩长 L 。

一般根据单桩承载力以及地基土的性质, 可推算出桩长 L 。

(4) 桩体强度。

原则上桩体配比按桩体强度控制, 最低强度按 3 倍桩顶应力确定。

(5) 褥垫层。

褥垫层厚度一般以 10~30 cm 为宜, 其材料可采取碎石或中、粗砂。

2 CFG 桩复合地基计算

2.1 CFG 桩复合地基沉降计算

沉降计算理论和实践正处在不断发展之中, 相比之下, 复合地基沉降计算远不如承载力计算研究得更深入、更成熟。在目前比较统一的认识是把总沉降分为加固区的沉降 s_1 和压缩范围内下卧层的沉降 s_2 , 分别计算再求和。其沉降计算公式为:

$$s = s_1 + s_2 = \psi \left(\sum_{i=1}^{n_1} \Delta \sigma_{mi} \cdot h_i / E_{si} + \sum_{j=1}^{n_2} \Delta p_{mj} \cdot h_j / E_{sj} \right) \quad (1)$$

式中: n_1 为加固区土分层数; n_2 为下卧层土分层数; $\Delta \sigma_{mi}$ 为桩间土应力在加固区第 i 层土产生的平均附加应力; Δp_{mj} 为荷载 p_0 在下卧层第 j 层土产生的平均附加应力; E_{si} 为加固区第 i 层的压缩模量; E_{sj} 为下卧层第 j 层的压缩模量; h_i 和 h_j 分别为加固区第 i 层和下卧层第 j 层的分层厚度; ψ 为沉降计算经验系数, 参照《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89) 表 5.2.6 取值。

对于沉降计算的压缩层, 其下限的深度可按下面公式确定:

$$\sigma_{zn} = (0.1 \sim 0.2) \sigma_{mz}$$

式中: σ_{zn} 、 σ_{mz} 分别表示压缩层下限处土的自重应力和附加应力。

2.2 承载力计算

CFG 桩复合地基承载力可按下面公式计算:

$$f_{sp,k} = mR_k / A_p + \alpha \beta (1-m)f_k \quad (2)$$

式中: $f_{sp,k}$ 为复合地基承载力标准值; m 为面积置换率; A_p 为桩的断面面积; α 为桩间土强度提高系数; β 为桩间土强度发挥度, 对一般工程 $\beta=0.9\sim$

1.0, 重点工程或变形要求高的建筑物 $\beta=0.75\sim 1.0$; f_k 为天然地基承载力标准; R_k 为自由单桩承载力标准。

R_k 可按下面公式计算:

$$R_k = (U_p \sum q_{in} h_i + q_p A_p) / K \quad (3)$$

式中: U_p 为桩的周长; q_{in} 为第 i 层土与土性和施工工艺有关的极限侧阻力, 按建筑桩基技术规范有关规定取值; h_i 为第 i 层土厚度; q_p 为与土性和施工工艺有关的极限端阻力, 按建筑桩基技术规范有关规定取值; K 为安全系数。

3 设计计算实例

京承高速公路二期(高丽营~沙峪沟段)工程第十标段中, 油库专用铁路分离立交桥梁台处, 路基顶宽为 35 m, 填土高度 $H=11$ m, 边坡坡度为 1:1.5, 填料平均容重为 18 kN/m³。

3.1 地基沉降计算

采用分层总和法计算最终沉降量。在未经过地基加固处理前, 路堤填土高度为 11 m 时, 地基产生的总沉降量 $s=181.29$ mm。根据京承高速公路路基设计的技术要求, 为避免桥台与台后填土不均匀沉降过大, 在台后 15 m 路基范围内的高填方路基沉降量不应大于 50 mm。依照上述设计要求, 对桥台后路基进行 CFG 桩复合地基加固。经沉降计算得出, 当 CFG 桩桩长达 15 m 时, 加固区的沉降变形与下卧层沉降变形总和为 45.47 mm, 满足设计要求。

3.2 复合地基设计计算

根据土层状况, 地基处理方案为: 设计桩径为 410 mm, 桩间距纵、横向均为 1.4 m, 面积置换率 m 为 0.064; CFG 桩长为 15 m; 褥垫层采用二灰碎石, 厚度为 50 cm。

依照式(3), 当桩长 $L=15$ m, 单桩承载力为:

$$R_k = (U_p \sum q_{in} h_i + q_p A_p) / K = 511.76 \text{ kN}$$

按式(2)计算复合地基承载力为:

$$f_{sp,k} = mR_k / A_p + \alpha \beta (1-m)f_k = 372 \text{ kPa}$$

该段路基顶宽为 35 m, 填土高度 $H=11$ m, 边坡坡度为 1:1.5, 填料平均容重 $\gamma=18$ kN/m³。考虑到该处有近 2.2 m 厚素填土需清除, 以最大荷载计算, 桥台处单位面积荷载为:

$$P = \gamma h = 237.6 \text{ kPa}$$

$$f_{sp,k} / K = 372 / 1.5 = 248 \text{ kPa}$$

由于 $P \leq f_{sp,k} / K$, 满足规定。

4 工程实际应用

由于笔者曾作为京承高速公路一期(四环路和桥~高丽营段)工程的设计代表,于2001年2月~11月在工地配合施工,以第四标段具体施工谈一下对CFG桩复合地基加固的认识。

第四标段中来广营高架桥终点K5+780~K6+200段,路基顶宽度为35 m,填土最高达13 m;边坡高度在8 m以上时坡率采用1:1.5,设置2 m护坡道,下面8 m采用1:1.5边坡坡度。由于该段高填方路基长度有420 m,在设计以及施工中决定采用何种处理方法,受到业主的重视。经京承高速公路一期项目部、设计、监理、地质勘探部门以及施工单位多方讨论,确定从复合地基加固设计、施工工艺、路基填筑材料以及路基压实等方面减小路基沉降。

首先,在设计中采用CFG桩复合地基加固。根据地质勘探部门提供的地质报告计算,该段地基未进行处理前沉降量为170.59 mm,进行处理后沉降量为57.04 mm。CFG桩具体设计如下:设计桩径为400 mm,桩间距纵、横向均为1.4 m;CFG桩长为20 m;褥垫层厚度为50 cm。

施工中,首先在填筑材料的选择上,改用级配砂砾代替习惯使用的填土;在路基压实过程中严格控制每层压实厚度,要求每层虚铺厚度不大于30 cm。压实遵照先轻后重的原则,碾压第2遍后开始测压实度,依次检查第2、3、4、5、6遍碾压后的压实度,分别与设计所要求的压实度相比较,以确定最佳碾压机型组合及碾压遍数。

在路基压实过程中,增加使用蓝派冲击压实技术。该技术通过压实机的连续滚动,压实轮胎磨非圆曲线对路基施以揉压—碾压—冲击的综合作用,使土体从上部至下部深层随着压力波的传递得到压实,降低了地基沉降量。实际应用中提出路基每填筑2 m冲击压实1次,直至填至路床顶面。

施工过程中对路基设置沉降观测,每隔150 m设置1个沉降观测点,观测点位置在路基中心线处。前期观测频率为1天1次,后将观测频率调整为2天

1次,经过近2个月对路基填筑过程沉降的观测,累积沉降量最小为14 mm,最大为21 mm,未超出规定数值(每昼夜不大于10 mm),符合沉降量要求。

5 结语

CFG桩复合地基试验研究是建设部“七五”规划课题,于1988年立项进行试验研究,并应用于工程实践。CFG桩复合地基试验研究成果于1992年由建设部组织鉴定,专家们一致认为:该成果具有国际领先水平,推广意义很大。为此,建设部1994年把其作为重点科研成果在全国推广应用,国家科委列为国家级全国重点推广项目。最早,CFG桩多用于多层建筑的基础处理,近几年来开始在高层和超高层建筑地基的加固中大量使用,仅北京地区已有近300余栋高层建筑地基处理采用了CFG桩加固技术,其中绝大多数为20~30层,31~35层的超高层建筑有15幢。相对于房建领域的广泛使用,CFG桩复合地基加固在公路建设中使用的范围还是很有限制的。

在京承高速公路一期及二期工程桥台后路基加固设计中,积极推广CFG桩复合地基,在设计中发现可以通过改变桩长、桩距、褥垫层厚度和桩体配比等多种灵活方式,使地基承载力提高幅度有很大的可调性。同时,CFG桩复合地基不仅可以降低地基沉降,在构造物下天然地基承载力不足时,还可以通过CFG桩达到设计所要求的承载力水平。在技术上面,通过CFG桩复合地基加固,对于减小桥台后地基不均匀沉降,克服桥头跳车,均有很好的使用效果;在造价上,由于CFG桩桩体材料可以掺入工业废料粉煤灰、不配筋以及充分发挥桩间土的承载能力,其受力和变形类似于素混凝土桩,具有地基承载力高、变形小、稳定快、施工简单易行、工程质量易保证等优点,工程造价一般为桩基的1/3~1/2,经济效益和社会效益非常显著。综上所述,在高速公路高填方路基加固中采用此种地基处理方案,质量易控制,造价低,经济、社会、环境效益明显,有极大的发展潜力。