

文章编号: 0451-0712(2005)10-0078-04

中图分类号: U416.1

文献标识码: B

# 驻信高速公路三合同段不良地质地基处理

苗宝栋

(路桥集团第一公路工程局一公司 北京市 102205)

**摘 要:** 通过对不良地质处理段的调查、分析、设计、处理过程的介绍,强调了施工前进行地质调查和审核施工图纸的重要性。

**关键词:** 复合地基承载力; 沉管碎石桩; 附加质量法

驻马店~信阳高速公路(驻信高速公路)三合同段全长11.6 km,其中K33+500~K35+200段为不良地质处理段。此段地基原为水稻田,路基处理设计为原地面以上铺筑60 cm厚砂垫层,中间布设土工格栅。本段内有4个构造物,分别为K34+468涵洞、K34+724通道、K34+906通道、K35+081涵洞,构造物基础为1.5 m厚15号片石混凝土,基础以下铺设2 m厚的碎石垫层。

## 1 问题的提出

在K34+468涵洞开挖基坑时发现,原地面2.3 m以下有5.7 m厚的软塑状淤泥土。施工图提供的地质资料见表1。

表 1				
桩号	岩土分层	岩土描述	厚度/m	地基承载力/kPa
K33+500~K35+000	1	灰褐色软塑状低液限粘土	2.5	115
	2	灰色软塑状低液限粘土	5.4	140
	3	黄褐色硬塑状低液限粘土		180

土层分界基本与设计提供的地质资料相符,但第2层非常湿软,地基承载力远达不到140 kPa。涵洞基础下碎石垫层正好落在第2层上,原设计的涵洞基础处理方案不妥。

## 2 调查

据当地村民介绍,此段(K33+500~K35+200)很久以前原为湖面,湖面面积不详。

2002年1月23日~1月31日,对K33+500~K35+200段路基,在路基中线部位按1孔/100 m用麻花钻进行了钻探,对地面以下9.4 m左右深度范围内不同土层厚度进行了探测;同时,用挖掘机在K34+468涵洞、K34+724通道、K34+906通道、K35+081涵洞处挖探坑,取上面2层(受挖掘机能力的限制以及出水坍塌未能向下取样)土样做土的液塑限试验,又每隔90 cm分层用轻型触探仪做地基承载力试验。调查结果表明,本段原地面2.3~4.0 m以下有5 m左右厚的软塑状粘土,其承载力在60 kPa左右,原设计通道、涵洞基底处理方案及部分路段路基处理方案不能保证构造物及路基的稳定。

## 3 确定处理方案

根据实际情况,主要考虑了粉喷桩和沉管碎石桩2种处理方案。因为粉喷桩成桩后28 d才能检测,而沉管碎石桩14 d后就可以检测,考虑到工期因素,以及地基土中特别是K34+468涵洞地基土中含水丰富,用碎石桩处理正好可以利用其排水作用来提高地基承载力,所以最终选择了沉管碎石桩方案。沉管碎石桩对地基的加固作用原理主要有以下几种。

(1)挤密作用。在成桩过程中,碎石将地基土中小于或等于碎石体积的土体挤向沉管碎石桩周围,对沉管碎石桩周围的土层产生很大的横向挤压力,使桩周土层的孔隙比减小、密度增大、承载力提高。

(2)置换作用。软弱地基经沉管碎石桩加固后,变成由沉管碎石桩和桩间土组成的物理力学性质各异的“复合地基”。当荷载作用于复合地基上时(假

设基础是刚性的),则在基础底面的平面内,沉管碎石桩和桩间土的沉降量是相等的。由于桩的压缩模量大于桩间土的压缩模量,则荷载将向沉管碎石桩上集中,于是作用于桩间土上的荷载就相应降低了,从而使复合地基承载力较原天然地基承载力高,压缩性比原天然地基低。这就是沉管碎石桩的置换作用。

(3)垫层作用。用沉管碎石桩加固软弱土层时,如果软弱土层较厚,则桩体可不必贯穿整个软弱土层。此时,复合地基主要起垫层作用,通过垫层作用来减小地基的沉降并将基底压力向深部扩散,从而提高地基的整体承载力。

(4)排水作用。用沉管碎石桩加固粘土地基时,沉管碎石桩是粘土地基中一个良好的排水通道,能起到排水砂井的作用,大大改善了孔隙水的水平渗透途径,从而加速软土的排水固结,使沉降稳定加快。

4 沉管碎石桩设计

以 K34+468 涵洞为例,由于基底含水丰富,开挖困难,塌方严重,因此将基底标高提高。即将基底 2 m 厚的碎石垫层减少到 0.4 m,然后在垫层以下设沉管碎石桩。

表 2 为 K34+468 涵洞地基承载力调查结果。

表 2

距地面距离/m	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3.3	3.6
地基承载力/kPa	141	127	134	99	148	190	42	49	63
距地面距离/m	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6	6.3
地基承载力/kPa	35	56	99	77	113	169	84	120	91

4.1 桩径及桩间距的确定

K34+468 涵洞变更设计为 1.5 m 厚 15 号片石混凝土整体基础,基础下设 40 cm 厚碎石垫层,原地面距基础底面距离为 2 m 左右,地基承载力要求为 180 kPa。根据表 2,取此处天然地基承载力为 110 kPa,将其作为桩间土的承载力,应是偏于安全的,即  $f_{s,k}=110\text{ kPa}$ 。由于单桩承载力无试验数据,取经验值,即  $f_{p,k}=500\text{ kPa}$ 。

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002),假设桩径  $d=0.5\text{ m}$ 、桩间距  $S=1\text{ m}$ ,桩为正方形布置,则置换率为:

$$m=\frac{d^2}{d_e^2}=\frac{d^2}{(1.13S)^2}=\frac{0.5^2}{(1.13\times 1)^2}=0.196$$

承载力标准值为:

$$\begin{aligned} f_{sp,k} &= m f_{p,k} + (1-m) f_{s,k} \\ &= 0.196 \times 500 + (1-0.196) \times 110 \\ &= 186\text{ kPa} \end{aligned}$$

由计算结果可知,经沉管碎石桩处理后,地基承载力标准值大于 180 kPa,因而取桩间距为 1 m,按正方形布置。

4.2 桩长确定

桩长必须穿过软弱土层,直至进入压缩性较低的硬土层。从地质调查可知,软弱层在地面以下 9 m 左右,即距涵洞基底 7 m 左右,所以桩长定为 8 m,进入硬土层 1 m。

最终变更结果为:K34+468 涵洞、K34+724 通道、K34+906 通道、K35+081 涵洞基础以下及台背部分,K34+344 中桥台背部分,以及 K34+344~K34+468 段路基处,设沉管碎石桩,桩径为 0.5 m,桩长为 6~10 m 不等,桩长共计 45 846 m。

5 沉管碎石桩的施工

5.1 施工准备

(1)施工设备。采用 2 台 DZ—60 沉管振动打桩机作业,打桩机设备由桩架、提升卷扬机、导管和冲击锤等组成。桩管为壁厚 14 mm 的  $\phi 377\text{ mm}$  无缝钢管,冲击锤重 4.7 t,打桩机的电动机功率为 55 kW,5 t 卷扬机的电动机功率为 22 kW。考虑到启动时负荷大,每台打桩机配 1 台 120 kW 的发电机。

(2)碎石选择。选用未风化的硬质石灰岩。从理论上讲,粒径越大,级配越好,加固效果越好。但最大粒径超过 10 cm 时,会因下料困难或碎石形成桥梁结构,影响桩体密实度,反而效果不好。因此,在实际施工中采用的是 2~5 cm 的级配碎石。碎石级配见表 3。

表 3

筛孔直径/mm	遗留/%	累计/%	通过率/%
50	0	0	100
40	13.1	13.1	86.9
31.5	44.6	57.7	42.3
25	29.6	87.3	12.7
20	11.2	98.5	1.5
16	1.5	100	0

(3)清理、平整场地,回填坑槽并碾压平整,确保打桩机在工作面内移动正常。对于 4 个通道或涵洞

处开挖的探坑,原定方案是回填砂再打桩,考虑到在砂层打桩过程中桩管下沉困难,且提管过程中易产生缩孔现象,最终还是回填土方。由于地下水位高、塌方严重,无法分层碾压,只得在顶部进行压实,故对回填土方处的沉管碎石桩进行了加密。

(4)测量放样。用坐标法放出通道、涵洞基础位置及路基中心线,根据各处桩间距放出沉管碎石桩桩位。通道、涵洞基础位置的沉管碎石桩要用水准仪测出原地面标高,根据沉管碎石桩桩顶标高计算出桩顶距地面高度,确保沉管碎石桩桩长。

## 5.2 沉管碎石桩的施工顺序

为了减少桩在施工过程中对软卧层的扰动,采用间隔跳打的方式进行施工,如图 1 所示。

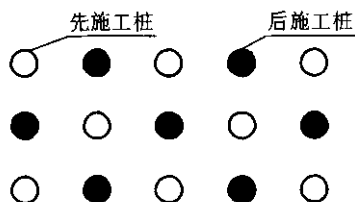


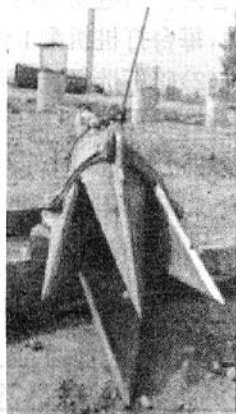
图 1

## 5.3 施工工艺

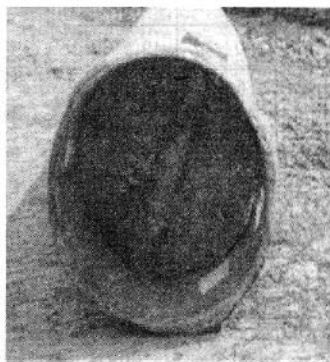
(1)桩机就位后,校正桩管垂直度应使其小于 1.5%,校正桩管长度及投料口位置使之符合设计。桩尖活瓣并拢在一起,桩尖对准桩位中心。



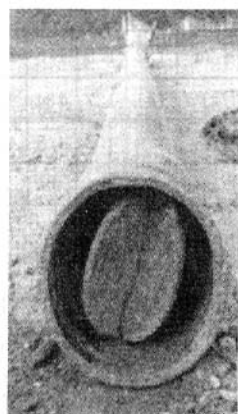
(1) 尖活瓣管头 (关闭时)



(2) 尖活瓣管头 (打开时)



(3) 平活瓣管头 (关闭时)



(4) 平活瓣管头 (打开时)

图 2

打桩机就位前,先在桩位处铺一层 25 cm 厚的碎石,使得桩管下落过程中管头内存满碎石,这样在桩管提升过程中活瓣就能顺利地打开。

## 6 沉管碎石桩检测

沉管碎石桩试验检测项目有 2 项:一是重 II 型

(2)用振动冲击锤将桩管打入土层 3 m 左右(根据淤泥层所处位置而定)时,开始第一次投料。早投料可防止桩进入淤泥层后泥浆进入桩管中,造成提升桩管时下料困难。

(3)继续锤击桩管使其降至设计的桩底标高,桩管打入深度可用在桩管外壁做标记的方法来控制。桩管下沉过程中应及时挖除桩管带出的泥土,孔口泥土不得掉入孔中。

(4)稍提升桩管使桩尖打开,停止振动,进行第二次投料,直至一根桩的设计碎石量投完为止。随后启振拔管,拔管前留振 1 min,以后边振动边拔管,拔管速度应均匀。

(5)提升桩管高于地面,孔口加压至前机架抬起,完成一根桩施工。

(6)移动桩架到另一孔位,重复以上作业。

## 5.4 施工中易出现的问题及解决方法

沉管碎石桩施工过程中最易出现的问题就是桩尖活瓣打不开,料下不去,当土层为软塑状时最易出现上述问题。这是因为在这种土层中桩尖活瓣不易夹紧,软泥从活瓣缝隙进入桩管中,使得桩管提升过程中活瓣打不开从而料下不去,或打开不充分造成下料困难。解决上述问题的方法是,遇到软塑状土层时改用平活瓣管头。平活瓣管头及尖活瓣管头的构造如图 2 所示。

动力触探;二是构造物基础复合地基承载力。

### 6.1 重 II 型动力触探

重 II 型动力触探试验用来检验沉管碎石桩的密实性,即检验沉管碎石桩本身的质量,检验频率为桩总数的 5%。

### 6.2 复合地基承载力

(1)静载试验。此方法是规范给出的唯一方法,是最基本、最直观、最有效的方法。它是采用堆重反力装置,由钢梁构成反力平台,其上配置钢性重物,通过油压千斤顶将反力施加到承载板并传递给复合地基,位移传感器正交对称安装于承载板上,通过分级加载、分级卸载测出加载量与位移的关系曲线,判定复合地基承载力。但它存在设备笨重、试验期长、费用高、受场地条件限制等缺点。如对于 K34+468 涵洞,设计地基承载力为 180 kPa,依据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)的规定,试验承载板选用 1.4 m×1.4 m 方形钢板,要求反力配重在设计值的 2 倍以上,计算得总加载量要大于 70.56 t,加载相当困难,检测 1 个点最少需要 3 d 时间,一道涵洞有 2 个测点则需 6 d,工期不允许,并且费用高,1 个测点的检测费用达 2 万元。

(2)利用地锚作为反力装置的静载试验方法。此方法与静载试验方法唯一不同的是,由多个(最多可设 12 个)地锚构成反力荷载来代替直接堆载。该装置如图 3 所示。

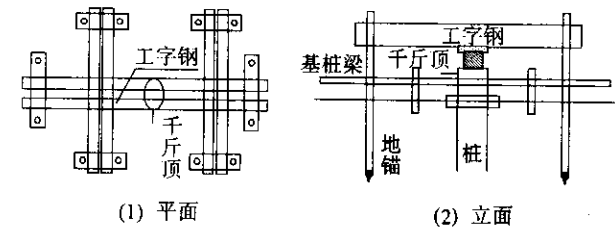


图 3

此种方法设备简单,不用堆载,检测时间短(测 1 个点约需 1 d)、费用低(测 1 个点约 4 000 元)。但提供的反力有限,一根地锚只能提供 6 t 的反力,12 根地锚最多提供 72 t 的反力,并且地锚对地基有扰动。

(3)附加质量法。附加质量法是黄河水利委员会勘测规划设计院李丕武高级工程师的科研成果,1993 年通过水利部技术鉴定,1996 年获得国家发明专利。

附加质量法是通过在地基所选测点施加一定质量的重物而测出地基承载力的,它在形式上是载荷板试验的模拟,在理论上是以单自由度弹簧体系为模型,在思路上是测动(动参数)求静(地基承载力)。附加质量法的操作方法为:首先,将 1 块符合规定要

求的承载板平铺在测点地基上,并在承载板上堆放一定质量(约相当于静载试验的 1/25)的重物,激振后测出由附加质量、承载板、地基所组成的弹簧振动体系的动刚度及地基土参振质量;再根据动刚度与地基承载力关系(根据大量动静测试资料建立的关系),求出地基承载力。

附加质量法与传统方法相比,设备简单,操作简单,测试速度快(测 1 个点仅需 1 h 左右),测试费用低(测 1 个点只需 3 000 元)。

由于当时业主还未批复沉管碎石桩变更的单价,工期又紧,经与业主、监理沟通,对 4 个构造物复合地基承载力采用了附加质量法进行检测,分 2 次检测,1 次只用了 1.5 h,第 3 天出结果,保证了施工需要。

7 检测结果

复合地基承载力检测结果见表 4。

表 4

构造物桩号	测点	桩长 m	桩径 m	承载板尺寸 m×m	复合地基承载力基本值 kPa	
					设计值	实测值
K34+468	1	8	0.5	1.0×1.0	180	181
	2	8	0.5	1.0×1.0	180	189
K34+724	1	8	0.5	1.5×1.5	150	152
	2	8	0.5	1.5×1.5	150	154
K34+906	1	8	0.5	1.5×1.5	150	162
	2	8	0.5	1.5×1.5	150	155
K35+081	1	8	0.5	1.1×1.1	180	187
	2	8	0.5	1.1×1.1	180	181

从表 4 可知,K34+468 涵洞测点 1 处于回填土部分,地基承载力也能满足要求,说明沉管碎石桩处理回填土地基效果也是较好的。

8 结语

驻信高速公路三合同段不良地质沉管碎石桩处理方案的实施,进一步说明施工前必须认真审核施工图纸,必须进行必要的地质调查,发现问题及时向监理和业主提出,并制定切实可行的变更处理方案,以免给工程留下质量隐患。