

粉喷桩技术在梅溪桥闸重建工程中的应用

杨克斌, 陈焕新, 曾克耀, 郭小娜

(汕头市水利水电勘测设计院, 广东 汕头 515041)

摘要:梅溪桥闸闸址基底以下有20m左右的淤泥和淤泥质土,属于发生地震时可能液化的抗震不利场地,同时地基压缩性高,承载力低,不能满足工程要求。为解决地基承载力、地基抗震及闸室沉降等问题,对水闸、船闸基础采用粉喷桩进行处理。实际桩长为19~22m,桩身直径50cm,掺灰量18%。从工程的沉降量、承载力、桩体质量的测量及测试结果来看,地基处理是成功的。

关键词:粉喷桩;软基;承载力;沉降;抗震

中图分类号:TU473.1

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)01-0053-03

梅溪桥闸位于梅溪河中游,地处汕头市区,是御咸蓄淡,以城市供水为主兼有航运、公路交通等综合效益的工程,为汕头市的生命线工程之一。工程主体由12孔净宽7.5m水闸与1个V(Ⅱ)型船闸组成。工程于1998年10月动工,1999年4月主体工程完工并投入运行。工程总投资约9000万元。

1 工程地质

新建闸址地地质分层如图1所示。本地区地震基本烈度8度,地基按8度地震进行设防。

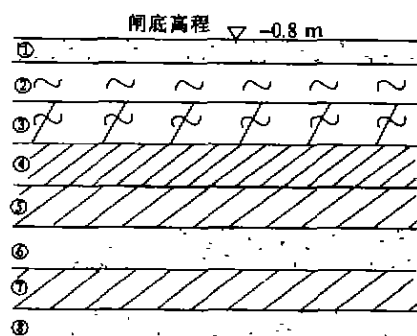


图1 闸下地地质示意图

①砂:饱和稍密, $N_{60.5}=11.7$, Ⅱ类土;②淤泥:含水52.7%, $N_{60.5}=1.1$, Ⅲ类土, 液化土层;③淤泥质土:含水54.5%, $N_{60.5}=3$, Ⅲ类土, 液化土层;④粉质粘土:含水30.8%, $N_{60.5}=8.5$, Ⅱ类土, 非液化土层;⑤粘土:含水39.2%, $N_{60.5}=7$, Ⅱ类土, 非液化土层;⑥砂:中密~密实, $N_{60.5}=46.8$, Ⅱ类土, 非液化土层;⑦粘土:含水39%, $N_{60.5}=11$, Ⅱ类土, 非液化土层;⑧砂:密实, $N_{60.5}=62$, Ⅱ类土, 非液化土层。

场地范围内20m深度以上土层主要为属于Ⅲ类土的淤泥和淤泥质土,场地土类别Ⅲ类,从土层液化判定结果来看,场地属于地震时可能液化、对抗震

不利的场地。

经检测,闸址地下水的pH=6.9,对普通硅酸盐水泥无侵蚀性。淤泥及淤泥质土中有害离子浓度(Cl^- , 可溶 SO_4^{2-})为0.028%~0.18%,远小于1%,且经室内试验证明,在此土体中水泥土不崩解。因此,闸下地基对粉喷桩具有适应性。

2 闸对地基的使用要求

a. 地基承载力。基底淤泥容许承载力50kPa,水闸基底设计压力为80kPa,船闸基底设计压力为130kPa,原地基承载力无法满足设计要求。

b. 沉降要求。新闸建于天然地基,最大沉降量可达40.6cm,远大于规范所允许的最大沉降量10~15cm。

c. 抗震要求。地基按8度地震设防,新闸闸底为约20m深的淤泥及淤泥质土,当新闸建于未处理地基上,如发生设计烈度地震时地基可能液化,从而导致闸室在不均匀地基压力作用下发生震陷及较大倾斜,破坏闸室稳定。

由以上分析,地基无法满足设计要求,在进行多种地基处理方案比较后,决定对水闸、上下船闸首、船室墙地基采用深层粉体喷射搅拌桩处理。

3 地基处理设计

3.1 技术参数确定

a. 桩长及桩身直径。本工程地基处理主要为解决20m深度范围内的软基土的承载力、沉降及抗震问题。桩长主要根据桩身穿过液化土层、桩尖下卧层为非液化土层进行确定。根据地质情况,初步设计阶

段确定桩尖高程为-21.8m,桩长21.0m,桩尖所处土体大部分为标准贯入击数4~14击的粉质粘土,局部处于与粉质粘土接壤的呈软塑状态的淤泥质土,均属非液化土层。技术施工阶段,为更好地消除水闸地基沉降差问题,根据第二次地质钻探分析,采取了水闸地基上游桩长20~21m,下游桩长21~22m,右侧桩长21~22m,左侧桩长20~21m的优化措施,船闸首地基桩长也改为上船闸首桩长20m(桩尖高程-22.60m),下船闸首桩长19m(桩尖高程-21.6m)。同时规定,施工过程中根据打桩时电流值及喷粉气压值的变化情况随时调整桩长,准备的最大桩长为25m,桩身断面为直径50cm的圆形。

b. 水泥掺入比 a_w 值。依据室内15%,18%,20%掺入比试验结果,结合考虑提高桩身强度及早期强度,取 a_w 为18%。

c. 与桩身加固土配合比相同的室内加固土试件无侧限抗压强度 q_u 值定为2.5MPa。水泥选用425号普通硅酸盐水泥。

d. 桩周土摩擦阻力及下卧层承载力标准值为:淤泥 $q_s = 5 \text{ kPa}$; 淤泥质土 $q_s = 9 \text{ kPa}$ 。为了安全,取下卧层为淤泥质土,按地质报告取 $f_k = 55 \text{ kPa}$ 。

3.2 桩群布置

水闸部分闸底周边布三道连续粉喷桩形成一个围封连续墙,内部按桩中心距1.2m,1.4m进行梅花布桩;船闸部分基底按桩中心距1.0m密布。

3.3 复合地基承载力验算

由计算可知,单桩承载力^[1]为

$$N_d = \min \left[kq_u A_p, \sum q_{si} U_p L_i + a A_p f_k \right] = \min [162, 232.4] = 162 \text{ kN} \quad (1)$$

式中: k 为强度折减系数,取 $k = 0.33$; q_u 为无侧限抗压强度, $q_u = 2.5 \text{ MPa}$; A_p 为桩截面, $A_p = 0.19625 \text{ m}^2$; q_{si} 为 i 层土的桩周摩擦阻力标准值; L_i 为 i 层土厚度; U_p 为桩截面周长; $a A_p f_k$ 为桩端承载力,考虑为纯摩擦桩,此项为零。

桩中心距1.4m时复合地基承载力^[1]为

$$[R] = \frac{m N_d}{A_p} + \beta(1 - m) f_k = 86.1 \text{ kPa} > 80 \text{ kPa} \quad (2)$$

式中: m 为置换率; β 为桩间土承载力折减系数,取 $\beta = 0.2$; f_k 为桩间土的地基承载力标准值。

桩中心距1.0m时复合地基承载力为

$$[R] = 150 \text{ kPa} > 130 \text{ kPa}$$

3.4 按群桩原理验算下卧层承载力

桩端下卧层(淤泥质土)地基容许承载力^[2]为

$$f_t = N_B \gamma_B B + N_D \gamma_D D + N_C c = 261.8 \text{ kPa} \quad (3)$$

式中: N_B, N_D, N_C 为承载力余数,由基础底下土的内摩擦角标准值查得; γ_B 为基础底面以上的加权平均重度, kN/m^3 ; γ_D 为基础底面以下土的重度, kN/m^3 ; c 为粘聚力, kPa ; B 为基础宽度, m ; D 为基础深度, m 。

群桩顶压力按 $[R] = 80 \text{ kPa}$ 计算,则桩及桩间土所构成假想实体基础底面压力^[1]为

$$p_b = \frac{[R]A + G - A_s q_s - f_t(A - A_1)}{A_1} = 206.7 \text{ kPa} < f_t \quad (4)$$

式中: A 为闸底面积, m^2 ; G 为假想实体重, kN ; A_s 为假想实体侧面积, m^2 ; f_t 为桩周土承载力标准值, kN ; A_1 为基础底面积, m^2 。

由上述计算结果可知,下卧层承载力满足要求。

3.5 地基沉降计算

地基沉降量由群桩体沉降量与下卧层沉降量两部分组成。

a. 群桩体沉降量用下式计算^[1]

$$s_1 = (p_c + p_0) L / 2 E_0 = 3.00 \text{ cm} \quad (5)$$

式中: p_c 为群桩体顶面平均压力, $p_c = 50.91 \text{ kPa}$; p_0 为群桩体顶面附加应力,它等于假想实体的基础底面压力 p_b 减去假想实体底面处自重压力 σ_s , $p_0 = 37.32 \text{ kPa}$; L 为桩长,取21m; E_0 为群桩体变形模量, $E_0 = 31.37 \text{ kPa}$ 。

b. 桩端下卧层沉降量。新闸位于原桥闸下游17m处,下卧层上游部分局部处于原闸预压范围,沉降计算方法为分层总和法。下卧层计算厚度取至高程-30.0m(厚粗砂层上表面)。计算结果经刚性调整后为(含群桩体沉降量 s_1):水闸底板的上游边点5.65cm,中点7.7cm,下游边点9.75cm,沉降差(Δs)4.1cm;下船闸首底板的上游边点10.0cm,中点10.5cm,下游边点11.0cm,沉降差(Δs)1.0cm。

计算结果均满足规范要求,即 $s_w < (10 \sim 15) \text{ cm}$, $\Delta s < (3 \sim 5) \text{ cm}$ 。

4 施工工艺

基础处理于1998年11月10日正式动工,1998年12月10日完成,累计打桩5650根,总进尺117140m。

桩机采用PH-5B加长型,最大打桩深度可达25m,桩径0.5m,配套机械有水泥粉发送器、空气压缩机及PJ4-1型喷粉电脑记录仪,喷粉过程可按电脑显示的每米喷粉量进行喷粉均匀性控制。电脑记录仪可记录并打印830根桩的施工时间、起始高程、桩底高程、桩身每米喷粉量、复搅长度,电脑记录资料具有不可更改性,它的应用为施工质量的管理提供了有利的条件。粉喷桩施工采用空钻—喷粉—全程复拌的双循环工艺,以保证桩身的搅拌均匀性。

5 质量检测

施工全过程均由监理工程师全天 24 h 监理。此外,粉喷桩施工完成后,由广东省水利科学研究所、汕头市水利水电质量检测站对工程质量进行检测,检测项目有 7 d N10 轻便触探,28 d,60 d,90 d 抽芯及室内试验,28 d 桩头现场无侧限抗压强度,28 d,90 d 四桩复合地基静载试验。各项目测试结果如下:

a. 轻便触探.7 d N10 桩头轻便触探共随机触探桩头 21 个 84 点,除 2 个桩头由于浸泡地下水中击数未达到规范规定 10 击外,其余桩头触探击数均远大于 10 击,最多为 40 多击。

b. 28 d 桩头现场无侧限抗压强度试验。粉喷桩成桩 28 d 时挖取桩头现场测试其破坏荷载,试验结果见表 1。各桩头破坏荷载均大于 162 kN,满足设计要求。

表 1 28 d 桩头现场试验的破坏荷载

桩号	桩径/mm	第一节破坏荷载/kN	第二节破坏荷载/kN
638	620	330	370
947	500	280	210
980	480	180	210
970	490	340	200
315	500	480	220
205	500	300	300

c. 四桩复合地基 28 d,90 d 静荷载试验,试验结果见表 2。从表 2 可知,除试验区 1 号试点因试验混凝土承台被剪切破坏无法继续进行试验外,其余静荷载试验结果均满足设计要求,即复合地基承载力达到设计要求。

表 2 28 d,90 d 四桩复合地基静荷载试验结果

龄期	部位编号	复合地基面积	桩中心距/m	最大试验荷载/kN	总沉降量/mm
28 d	上船闸首试验点	2 m×2 m	1.0	720	7.82
	船室墙试验点	2.8 m×2.8 m	1.4	710	3.04
	水闸 1 号试点	2.4 m×2.4 m	1.2	640	4.03
	水闸 2 号试点	2.8 m×2.8 m	1.4	710	4.98
	水闸 3 号试点	2.8 m×2.8 m	1.4	710	4.05
	水闸 4 号试点	2.8 m×2.8 m	1.4	710	4.57
90 d	试验区 1 号试点	2.0 m×2.0 m	1.0	1200	
	试验区 2 号试点	2.0 m×2.0 m	1.0	1200	9.70

注:试验区 1 号试点当加荷至 840 kN 时,试验混凝土承台被剪切破坏。

d. 28 d,60 d,90 d 抽芯及室内试验。28 d 龄期共抽芯检查 9 根桩,其中水闸 4 根,船闸 5 根,平均岩芯采取率 90%。从岩芯情况来看,岩芯大部分成桩完好,搅拌均匀,但桩体下部局部夹泥,为搅拌不均所致;岩芯描述中深部为淤泥质土的芯件,经后期试验证明皆为未凝结水泥土,说明桩体深部一般凝结较慢。从岩芯试件室内抗压试验来看,90 d 试件平均抗压强度 4.20 MPa,最大值 7.3 MPa,最小值 0.9

MPa,21 个试件中 q_u 值小于 2.5 MPa 的仅有 3 个,基本达到设计要求。 q_u 值的离散度大,说明桩体搅拌均匀性有待进一步提高。

6 实测基础沉降量

基础上部建筑物(水闸、船闸)于基础水泥粉喷桩成桩 28 d 时开始建设,水闸上部结构荷载于 1998 年 12 月开始施加,1999 年 3 月初上部主体结构基本完成,上部荷载基本达到竣工荷载。截至 1999 年 4 月 21 日为止,水闸、船闸底板最大沉降仅为 3 mm,初步说明了利用粉喷桩技术处理梅溪桥闸软基取得了成功。实测沉降与计算沉降差距较大的原因如下:①实际搅拌桩变形模量大于 300 MPa;②群桩实际布桩比较密(特别是围封结构),即换置率远大于 0.0954;③抽取原地基的试验土样发生扰动,试验结果存在误差;④下卧层沉降还未结束。

从桩区抽取桩间土进行试验,并将试验结果与原来未处理前的土样试验结果相比较,处理后的土的含水量比原来土样的含水量平均降低了 10.65%,说明桩间土的物理力学性能得到了改善。

7 结 语

本工程地基处理设计有几个特点:①突破规范限制,桩体设计长度 22 m,实际处理地基深度 23.2 m,大大超过规范规定 15 m 的界限,其深度属国内第一,是超深度粉喷桩的一次成功尝试,其总进尺达 117 km;②水闸地基采用围封结构,内部布桩按中间疏两边稠进行,大大增加了地基抗震能力,同时也大大增强了水闸的防渗能力;③上下左右地基根据地质情况采取长短桩办法优化设计,以消除沉降差,节约工程投资。

从质量检测及结构沉降观测结果来看,地基处理是成功的,说明利用粉喷桩处理深层软基在技术上是可行的,同时它与同样处理深层软基的刚性桩基础相比,具有投资少、施工进度快、噪音小、地基整体性好等优点。

尽管施工过程中实行全过程监理及使用电脑记录仪进行桩体均匀性的控制,而且从实际施工的记录结果来看,按照每米喷粉总量 (58 ± 5) kg 的标准,喷粉合格率达到 99.9%,但是从抽取岩芯的情况来看,深部桩体每米内的喷粉及搅拌均匀性还不够,还有待于进一步提高。

参考文献:

- [1] TB 10113-96,粉体喷搅法加固软弱土层技术规范[S].
- [2] YBJ 225-91,软土地基深层搅拌加固法技术规程[S].

(收稿日期:1999-05-28 编辑:张志琴)