

振冲碎石桩处理软土地基后的复合承载力

马绪强¹, 马宝强², 任喜禄³

(1. 辽宁省盘锦市公路管理处, 辽宁盘锦 124010; 2. 辽宁省路桥总公司第三分公司, 辽宁沈阳 110000;
3. 辽宁省水利水电勘测设计研究院, 辽宁沈阳 110000)

摘 要:盘锦市防洪大堤在城市区段内, 采用钢筋混凝土及多功能型钢筋混凝土坝形修建, 因基础软弱采用振冲碎石桩加固。为了解加固后地基承载力的变化情况, 对振冲碎石桩加固区域内有代表性的振冲碎石桩桩体、桩间土、碎石基层等进行必要的物理力学检测和试验, 根据试验数据按规定公式计算检测结果。对置换后形成的复合地基采用野外大型静活载试验检验, 从总体看是可行的, 随时间加长, 振冲碎石桩处理后的复合地基承载力, 完全能满足设计提出的要求。

关键词:多功能型混凝土坝; 软土地基; 振冲碎石桩; 桩间土; 碎石垫层; 复合地基; 承载力; 静活载试验

中图分类号: TU472.35 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)04-0193-04

1 概况

盘锦市城区段左岸防洪大堤位于溢洪区内, 东起梁家村、西至李家村, 全长 7160 m, 其中两端为土堤, 全长 4329 m, 中间为混凝土防洪堤和多功能混凝土防洪堤, 长 2831 m。地貌单元为下辽河冲积平原下缘, 其成因类型为冲海积地形, 场地为近代退海之地。地层属中等复杂情况, 由第四系全新统(Q₄)海陆交互沉积物组成, 其变化情况由上至下分别为:

第一层为粉质粘土层。黄褐色含铁质结核, 呈可塑状态, 中等压缩性, 局部呈软塑状, 层厚 1.5~5.5 m, 场区均有分布。

第二层粉土夹粉砂层, 灰色, 呈松散稍密状态, 局部夹有粉质粘土, 最大层厚可达 4 m 左右, 另外还可见粉质粘土夹层, 黑色, 呈软塑~可塑状态, 局部呈流塑状态, 具有中~高压压缩性。顶部夹有粉土及粉砂薄层, 局部层间夹有淤泥质粘土, 并含有贝壳及草炭, 层厚 0.6~4.3 m 场区均有分布。

第三层为粉砂及粉土夹粉砂层。灰色, 饱和, 呈稍密中密状态, 局部夹有粉土薄层, 底部夹有细砂, 局部夹有粉质粘土透镜体。粉砂主要矿物成份由石英、长石组成, 这层厚度约为 45 m 左右, 再往下愈深粉砂层愈较密实。

从以上场区地质情况可以明显看出, 由地表往下 10 多米左右, 多为呈可塑状态的软弱或较软弱土层, 均有受力易压缩变形的特点。作为防洪大堤的混凝土防洪堤和多功能混凝土防洪堤, 要求必须有牢固稳定的基础, 因此, 这段大堤地基处于软弱状态, 其饱和砂土还受地震影响产生液化现

象, 设计提出采用振冲碎石桩提高地基承载力。处理后的地基其碎石桩复合地基竖向承载力要 120~140 kPa, 单桩碎石桩承载力要达到 320 kPa。

2 碎石桩布设及检测

2.1 桩的布设

振冲碎石桩设计为 1 m 直径, 桩距为 2.5 m, 平面上为梅花形布设, 桩长 6~13 m, 视地质条件不同而变化, 桩身材料为碎石, 粒径为 4~10 cm。施工采用吊车吊起振冲器配以高压水振冲成孔后, 添加碎石再振冲密实为止。为使地基受力均衡, 设计在桩顶加设 50 cm 碎石垫层, 其断面如图 1。

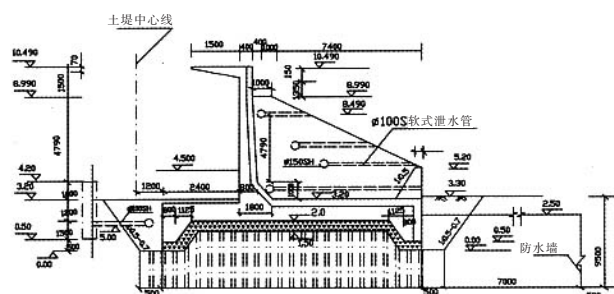


图 1 混凝土堤下振冲碎石桩断面图

2.2 检测

振冲碎石桩复合地基竖向承载力检测包括下列内容:

- (1) 碎石桩桩身密度检测;
- (2) 桩间土挤密效果检测;
- (3) 碎石桩桩体单位面积承载力检测;
- (4) 复合地基承载力检测。

以上各项检测分别采用静荷载试验、重(2)型触探试验和标准贯入室内土工试验等方法进行。根据这些试验所求出的结果, 结合实际合理的设计置换率, 按《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-91 中提出的经验公式(1)计算复合地基承载力。其公式(1)如下:

收稿日期: 2006-01-18

作者简介: 马绪强(1964-), 男, 陕西宝鸡人, 高级工程师, 国家注册建造师, 交通部注册监理工程师, 从事公路桥梁勘测设计工作。

$$f_{sp,k} = f_{p,k} + f_{s,k}(1-m) \quad (1)$$

式中: $f_{sp,k}$ ——复合地基承载力标准值(kPa)

$f_{p,k}$ ——桩体单位截面积承载力标准值(kPa)

$f_{s,k}$ ——桩间土承载力标准值(kPa)

m ——面积置换率

振冲碎石桩基础各项内容的检测结果选代表性测点的试验及各层计算资料列于表 1 中。

(5) 碎石垫层的检测。

碎石垫层的检测是振冲碎石桩处理软弱地基设计项目中,顶层最后一道最终检测内容,这层要求碾压密实,干密度值一般要达到 2.0 g/cm^3 ,根据轻便触探和重(2)型动力触探试验锤击数,按(2)式确定,其承载力不低于 150 kPa。

$$F_k = 7.3 \times N_{10} + 25 \quad (2)$$

式中: F_k ——承载力标准值(kPa)

N_{10} ——轻便触探锤击数(击)

按公式(2)试验和计算的碎石垫层压实前后桩间土各层物理力学性质指标列于表 2、表 3。

碎石垫层的各检测指标选有代表的区段列于表 4。

(6) 冲振碎石桩处理软基后的野外静载荷试验

野外静载荷试验是直接对碎石桩桩体及振冲碎石桩置换软土后形成的复合地基总体承载力情况的实际检验,也是校验桩体本身和处理后的复合地基基础是否达到设计提出的要求。

这次实际抽查检测采用堆载慢速维持荷载法进行,依靠堆载的重物通过千斤顶对单位面积的地基施加等差额的荷载,观其每级荷载下的地基沉陷量再按有关规定求算单位截面上的承载力。所用设备配置吊车、载重汽车、堆积平台、千斤顶、承压板、基准梁、百分表、堆重物等组成。桩体承压板采用 1 m 直径、承载面积为 0.785 m^2 、复合地基试验的承压板直径取值为 2.5 m,承载面积为 4.9 m^2 ,最大压力为 1400 kN,加荷等级分为 10 级,每级 140 kN。在每级荷载作用下,桩沉降量在每小时小于 0.25 mm 时,可加下级荷载。当沉降量急骤增大,土被挤出,压板周围出现裂缝,或累计沉降量大于压板宽度或直径的 10%,当加载总量超过设计要求值的 2 倍时,试验可以终止。卸载分 3 级,每次 15 min 记读一次回弹量,读两次后,再隔半小时读一次,即可进行下级卸荷。承载力的确定是根据荷载变形的(Q-S)曲线上有明显转折的比例界限时,取该比例界限所对应的荷载为承载力值;或者当极限荷载已能确定,而其值小

表 1 振冲碎石桩基础检测成果

项目	层次	土层名称		深度(m)		土层描述				
土	(1)	粉质粘土		0~3.7		黄褐色,可塑,中压缩、含铁质结核				
层	(2~1)	粉土		3.7~5		灰色、可塑、局部夹有粉砂				
描	(2)	粉粘土夹层		5~6		黑色、可塑、含有淤泥质土				
述	(3)	粉砂		6~7		灰色、饱和、中密~密实				
桩间土	层号	标准贯入试验(N1)					室内土工试验			承载力标
	频数	平均值 N 击	采用值 N 击	承载力值 f(kPa)	含水量 W%	孔隙比 e	液性指数 i	承载力值 f(kPa)	准值 f(kPa)	
	(1)	3	3.6	3.3	111	29.9	0.862	0.51	200	111
	(2~1)	1	5.9	5.9	129					129
	(2)	1	3.7	3.7	109					109
桩体	(3)	2	27.4	23.9	222					222
	层号	频数	平均值 N ₂ 击	标准差 δ	变异系数 δ	修正系数 r	修正击数 N ₂ 击	承载力标准值 f(kPa)	承载力采用值 f(kPa)	
	(1)	37	10.87	3.217	0.296	0.916	10	400	320	
	(2~1)	11	16.19	2.293	0.142	0.922	14.9	556	389	
	(2)	13	19.41	4.794	0.247	0.876	17	630	441	
(3)	9	22.88	1.932	0.084	0.947	21.7	771	463		
	静载荷试验					复合地基承载力				
	累计荷载(kN)		累计历时(min)		累计沉降量(mm)			F(kPa)		
	450		1800		104.91			268		
	500		2100		70.53			325		
	500		2160		65.79			331		
复合地基	450		2730		118.45			236		
	地基土层层位	面积置换率 m	桩体承载力标准值 F _{p.k} (kPa)			桩间土承载力 F _{s.k} (kPa)		复合地基承载力 F _{sp.k} (kPa)		
	(1)	0.176	320			111		148		
	(2~1)	0.176	389			129		175		
	(2)	0.176	441			109		167		
(3)	0.176	463			222		264			

表 2 碎石垫层压实前桩间土各层物理力学性质						
土层 代号	土层名称	原位测试击数(击)		承载力标准值(kPa)		
		标贯		范围值 平均值	标准值	建议 采用值
		范围值 平均值	标准值			
(1)	粉质粘土	2.0 ~ 4.8 3.4	2.9	85 ~ 141 113	103	103
(2-1)	粉土	5.9 ~ 10.9 7.3	6.6	129 ~ 117 142	135	135
(2)	粉质粘土 夹粘土	2.6 ~ 4.5 3.5	3.1	97 ~ 135 121	107	107
(3)	粉砂	7.6 ~ 39.8 18.8	12.8	121 ~ 296 197	162	162

表 3 碎石垫层压实后桩间土各层物理力学性质						
土层 代号	土层名称	原位测试击数(击)		承载力标准值(Kpa)		
		标贯		范围值 平均值	标准值	建议 采用值
		范围值 平均值	标准值			
(1)	粉质粘土	2.0 ~ 4.0 3.3	2.7	85 ~ 125 111	99	99
(2-1)	粉土	5.8	5.8	128	128	128
(2)	粉质粘土 夹粘土	2.4 ~ 4.7 3.3	2.9	93 ~ 139 111	103	103
(3)	粉砂	10.9 ~ 12.6 11.7	11.3	147 ~ 162 154	150	150

表 4 碎石垫层检测成果												
区段里程	检测 序号	密度试验			密度试验							
		频数	平均值	采用值	频数	平均值	标准差	变异系数	修正系数	标准值	承载力标	密实 度
		(次)	Pd (kg/m³)	Pd (kg/m³)	(次)	N _{10击}	N _{63.5}	δ	δ	r _s	N _{10击}	
C10+034~0+094	③	2	1.90	1.84	6	111	67.5	0.604	0.50	55.6	431	中密
C10+154~0+214	①	2	1.86	1.86	10	91.3	28.2	0.309	0.819	74.8	571	中密
C10+214~0+274	①	2	1.83	1.83	6	74.8	16.3	0.218	0.82	61.3	472	中密
C10+334~0+394	①*				17	54.3	16.34	0.301	0.87	47.3	370	稍密
	②	2	1.77	1.75	6	74.8	16.11	0.215	0.822	61.5	474	中密
C10+394~0+454	①	2	1.88	1.85	6	77	25.0	0.324	0.732	56.3	436	中密
C10+514~0+574	①	2	1.97	1.93	4	82.8				67.0	514	中密
C10+574~0+634	①	2	2.02	2.02	4	82.3				76.0	580	中密
C11+054~1+114	①	3	2.08	2.05	6	62.2	26.3	0.424	0.65	40.4	320	稍密
C11+114~1+174	①	2	2.02	2.02	4	48.5				41.3	326	稍密
C11+174~1+241	①	2	2.12	2.11	10	48.8	16.96	0.347	0.796	38.9	309	稍密
C20+099~0+159	②	2	2.01	2.01	4	67.3				57.0	441	中密
C20+159~0+191	②	2	2.03	2.02	6	56.0	11.06	0.198	0.837	46.9	367	稍密
Sta0+124~0+184	①	2	2.06	2.05	6	51.6	16.7	0.324	0.732	37.8	301	稍密
Sta0+484~0+544	①	2	2.07	2.07	8	57.3	19.4	0.339	0.771	44.1	347	稍密

注:检测序号第①次为重(2)型触探试验

于对应比例界限荷载的 1.5 倍,可取极限荷载的一半为值;亦可按相对变形值确定,在以粘土为主的地基时,可取 S/D=002 所对应的荷载为值,在以粉土或砂土为主的地基时,可取 S/D=0015 所对应的荷载为承载力值等。D 为试验时所用承压板直径。

复合地基及碎石桩静载试验 Q~S 曲线见图 2。

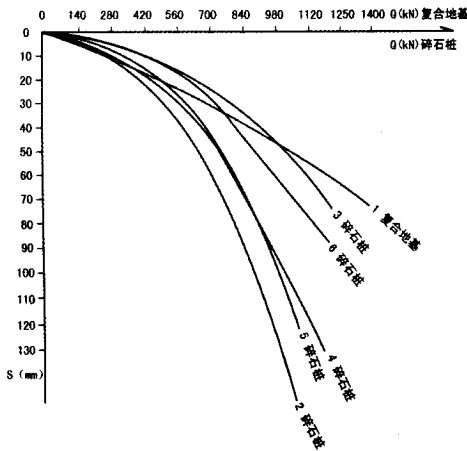


图 2 复合地基碎石桩静载试验 Q~S 曲线

根据以上所述确定承载力取值的原则,结合试验 Q~S 曲线呈现的特点,将复合地基及抽样碎石桩静载测试取值结果列于表 5。

表 5 复合地基振冲碎石桩野外静载测试成果							
序 号	桩体 位置	桩号	桩体 编号	桩长	施工日期	检测日期	桩体承载 力(kPa)
01	D2 区	C+889.0	KH1	13.5	1999-10	2000-4-25	168
02	D2 区	C+936.3	DH489	13.5	2000-4-09	2000-4-29	236
03	E 区	C+1109.5	EH846	9.5	2000-3-31	2000-4-29	331
04	F 区	C+071.0	FH275	9.0	2000-4-14	2000-5-2	274
05	C 区	C+631.0	CH508	9.5	2000-3-31	2000-5-2	268
06	B 区	C+405.9	BH128	8.0	2000-4-12	2000-5-4	325

3 检测结果的综合评价

对软土地基经过振冲碎石桩处理后,分土壤层次及不同部位,进行了试验检测,根据整理的抽查检测结果表 1 可以看出:

(1)桩间土的挤密效果不佳,各土层的承载力经标准贯入试验后并无明显的提高。分析原因这主要归结于土壤含水量大,松软,震冲时受到不同

程度的挠动,土壤尚未充分固结所致。

(2)碎石桩桩体重(2)型触探试验各土层段单位载面积承载力值,均大于设计提出的 320 kPa。但是采用慢速维持荷载法,对桩体进行的静载试验其值在个别桩段单位载面积承载力仍有低于设计要求提出的 320 kPa 的情况,其偏低范围为 210~274 kPa。究其原因与桩位所在地段土壤各层性质及物理力学性的现状有关,凡是呈软塑状态的淤泥质粉土深度超过 2 m 以上的地段或是可塑~软塑状态的易压缩的粉质亚粘土,且土层深于 5~6 m 以上接近地表者,此处震冲碎石桩单位载面积承载力,都在偏低的范围内。这些土壤一旦受到外力体积可塑压缩变形,需要较长一段时间才能固结逐渐达到稳定。震冲碎石桩成桩施工时间到检测多数只有 20 多天,桩周围受过挠动的土壤尚未固结稳定,所以作为散体的碎石桩,外围约束力减小了,本身在外荷压力下就极易移动,造成承载力降低。

(3)复合地基野外静荷载试验,选在了震冲碎石桩成桩时间较长的地段进行,成桩到试验约 6 个多月时间,检测结果为 168 kPa,满足设计提出碎石桩复合地基竖向承载力要达到 120~140 kPa 的要求,这个地段也是土质水文极不利的软弱地带。可见,碎石桩置换后的复合地基,要有一定的充分固结时间,待挠动土壤稳定后,检测结果才能真实地显现出复合地基综合受力的实际情况。

(4)碎石垫层是起到均衡传力的作用,必须要求密实,石料坚固经压实后垫层稳定有其良好的承载能力,并对下面的桩间土有压实效果。检验结果从表 2、3、4 表明:碎石垫层压后对以下的桩间土没有起到什么大的作用,压实前后的承载力标准未见明显的变化。这主要还是桩间土水分大挠动后没有充分固结的缘故。垫层本身经过压实后,大部份呈稍密~密实状态,承载力标准值均达到设计提出 150 kPa 的要求,但局部土层处于软塑易压缩的区段仍见有松散状态,这些地段建议建设单位增加碎石进行补压。干密度小于 2 kg/cm³

(上接 192 页)

工程实践表明,咬合桩在基坑围护工程中的应用是成功的。同时也充分发挥了咬合桩工艺施工进度快、成桩质量好、施工安全,噪音干扰小,无泥浆排放,工程造价低的特点。咬合桩用于清除地下障碍物具有独特的优势,值得推广。随着咬合桩被逐渐应用,咬合桩施工技术也将不断得到完善和提高。

段落,材质多系质量较轻的浑长岩类组成,但其密实程度都在中密以上,稳定性好能满足设计要求。

4 结语

用震冲碎石桩置换软弱地基中部分软土所形成的复合地基,其承载力随置换的提高在提高。盘锦市城市防洪工程在混凝土坝及多功能混凝土坝下,适当地采用碎石桩处理软弱地基,提高了坝址地基的承载力,这一措施是得力的、合理的。根据野外各部位的一系列检验结果来看,设计上提出要达到的指标,基本得到了满足。至于局部区段碎石桩体载面积承载力不足只是暂时的,待桩间土完全固结后会提高的。还应该看出复合地基承载力野外检测值远比设计提出的要高,这也说明总体是符合设计的,坝址地基竖向承载力亦是完全满足设计要求的。从 2000 年底防洪堤坝建成至今已整 5 a,坝形外观无任何异常现象发生,目前是安全稳定的。

应该说,这次复合地基承载力检测所用承载板偏小,对防洪大坝趋于安全,对地基却提高了要求。正常应完全按震冲碎石桩轴距间所辖全面积选用,本场地碎石桩横轴距 4.33 m,竖向轴距 2.50 m,其所辖受力面积为:

$$4.33 \times 2.50 = 10.825 \text{ m}^2$$

让此面积为两根碎石桩承担,则单桩承受面积为:

$$10.825/2 = 5.413 \text{ m}^2$$

设受力面与施力承压板面积相等(同等于圆面积)

$$\text{即: } 5.413 \text{ m}^2 = \pi r^2$$

$$\text{所以, } r = \sqrt{5.413/3.14} = 1.312 \text{ m}$$

故承压板直径为:

$$D = 1.312 \times 2 = 2.624 \text{ m}$$

可见采用 2.5 m 承压板直径是偏小了点。建议今后作复合地基承载力试验时,承压板大小应切实结合布桩情况计算确定。



图 8 成桩后的咬合桩