

等能量、等贯入度控制挤密碎石桩在南水北调工程地基处理中的应用

赵彦波 景书达 牛桂林

(水利部河北水利水电勘测设计研究院 300250)

[提要] 挤密碎石桩用相同的夯击能量和相同的贯入度控制桩体质量,可使处理深度范围内地基土上下均匀。由于施工设备采用高能量实现孔内夯击填料,对桩底和桩间土施以振动和挤密,使松散砂土颗粒重新排列,可提高砂土的承载力和压缩模量及消除砂土的液化可能性。在南水北调工程中成功地应用于砂土的液化处理,与振冲碎石桩相比,该技术工艺先进、地基处理效果好、经济效益明显。

[关键词] 等能量 等贯入度 碎石桩 复合地基 承载力标贯

Application of Gravel Piles Constructed by the Equal Energy and Equal Penetration Method in the Foundation Treatment of South-to-north Water Transfer Project Engineering /Zhao Yanbo, Jing Shuda, Niu Guilin(Hebei Research Institute of Investigation & Design of Water Conservancy and Hydropower, Tianjin 300250, China)

Abstract: The soil becomes even by treatment of gravel piles constructed by the equal energy and equal penetration method. After filled by the material and rammed by huge energy, the soil below and between the piles are vibrated and crowded densely, so that the soil particle is reconfigured; the bearing capacity and the compression modulus of the soil are improved, and the liquefaction of the soil is eliminated. The application of the gravel piles constructed by the equal energy and equal penetration shows a new method to treat the liquefaction of the soil. Compared with the vibration replacement stone column, the new technology has the characters of advanced craft, good effect and economical benefits.

Keywords: equal energy; equal penetration; gravel pile; composite foundation; bearing capacity

一、工程概况

南水北调滹沱河倒虹吸枢纽工程位于河北省正定县新村,总干渠在滹沱河附近,走向为NE43。由上下游渠道段、穿河渠道倒虹吸、退水闸、附属建筑物四部分组成。由于天然地基不能满足设计要求,须进行地基处理,对处理完毕的地基,设计要求包括:1)采用重型动力触探跟踪检测桩体密实度,要求动力触探平均贯入10cm的锤击数 ≥ 10 击;2)复合地基承载力不小于320kPa;3)桩间土相对密实度不小于0.75。

二、工程地质条件

滹沱河渠道倒虹吸工程区属于平原河流地貌,地形平坦,倒虹吸工程位于现代河床及河漫滩部位。主河槽宽2000m,其中深槽宽800m,河底高程70.7~72.5m,两侧河漫滩宽阔,地面高程约74.5m,高出河床约2~3m。各层土的力学性质指标如表1所示。此段渠道地基以中细砂为主(局部渠底以下存在厚约1~1.5m的砂壤土),存在地震液化的可能。工程区域内地震基本烈度为7度,设计地震分组为第一组,基本设防地震加速度为0.10g。

三、挤密碎石桩设计

原设计方案为振冲碎石桩,桩径为800mm,桩长8

各层土的力学性质指标表

表 1

土层	厚度 (m)	重度 (kN/m ³)	含水量 (%)	压缩模量 (MPa)	承载力特征值 f_k (kPa)
细~中砂	6~7	-	-	15	210
砂壤土		19.1	24.1	10.28	250
壤土	1.2~2.6	19.2	22.3	8.75	250
粘土		19.5	23.6	11.69	250
砾-中粗砂	局部夹层	-	-	22	300
砾砂		-	-	25	400
卵石	4.2~5.3	-	-	35	550
壤土		19.7	21.3	8.5	250
砂壤土	2.1~6.4	20.1	23.4	11.0	250
粘土		19.5	22.7	6.0	250

~11m,桩距为2.0m,等腰三角形布置。由于该施工工艺成本较高,后调整设计方案为等能量、等贯入度挤密碎石桩,桩径为600mm,桩距为3.6m \times 0.9m,等腰三角形布置,见图1。因挤密夯扩碎石桩在桩底以巨大能量夯击,有效加固深度在桩底以下2~3m,结合地质条件确定桩长为5~8m,处理完毕后在桩底2~3m范围内的土体得到了有效加固。

承载力计算公式为 $f_{spk} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk}$,根据工程地质资料,一击贯入度取10cm, $f_{pk} = 1200$ kPa,地

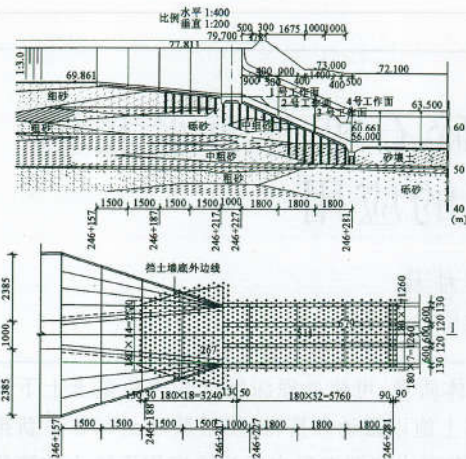


图1 滹沱河渠道倒虹吸工程地基处理平面及剖面

基土承载力为210kPa, 处理完毕后地基土承载力提高系数为1.15, 故 $f_{sk} = 241\text{kPa}$, $m = 0.087$, 故 $f_{spk} = 324\text{kPa}$, 大于设计承载力320kPa, 满足设计要求。

采用分层总和法进行变形计算, $s = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})$, 经计算压缩模量的当量值为24MPa, 沉降计算经验系数为0.2, 总沉降量为51mm。

采用原设计方案, 施工时候需要高压水射流, 并产生大量泥浆; 经计算共需布桩约1550根, 碎石方量约6600m³, 将产生泥浆4000余m³, 严重污染周边环境, 且振冲碎石桩施工过程中需大量的清水, 而施工现场附近水资源缺乏, 给方案的实施带来了巨大困难。夯扩挤密碎石桩利用巨大能量冲击成孔和填料夯击, 对桩间土施加挤密和振动, 施工过程中不须用水, 生产过程中不产生泥浆, 经济高效; 设计计算共布桩1900根, 碎石方量约4000m³。表2为两种地基处理方案的对比。

两种地基处理方案的对比 表2

方案	桩径 (mm)	桩长 (m)	桩数 (根)	碎石方量 (m ³)	施工单价 (元)	总造价 (万元)
振冲碎石桩	800	8~11	1550	6600	175	115.5
等能量、等贯入度挤密碎石桩	600	5~8	1900	4000	200	88

四、复合地基的检测

为分析等能量、等贯入度控制的挤密碎石桩处理后复合地基的处理效果, 分别对施工完毕后的碎石桩进行如下检测。

(1) 桩体强度的重型动力检测。在施工完毕的碎石桩桩顶0~0.5m范围内进行试验, 记录每10cm的贯入击数发现, 最小击数为32, 最大击数131, 平均击数为66, 远大于设计要求。

(2) 复合地基静载荷试验。对施工完毕后的碎石桩

进行载荷试验以检测复合地基承载力是否满足设计要求, 共进行10个试点的复合地基检测。按规范所有试验加载到设计荷载的2倍, 分10级进行加载, 每级加载前后记录荷载板沉降量一次, 以后0.5h记录一次, 当1h内沉降量小于0.1mm时, 即可加下一级荷载。

对所有原始数据进行分析, 在2倍设计荷载下, 最大变形为17.05mm, 且所有试验曲线都呈缓变型, 表明复合地基承载力还有一定富余, 故施工完毕后碎石桩复合地基满足设计要求。图2为部分试验点的Q-s曲线, 施工参数见表3。

试桩施工参数表 表3

试点号	桩径 (mm)	桩长 (m)	填料碎石 (m ³)	一击贯入度 (cm)
267#	600	8.5	2.70	10
511#	600	10.1	3.25	9.5
679#	600	10.7	3.41	10

(3) 地基土的取样和标贯试验。对桩间土进行取样和试验, 发现经过处理后的砂土孔隙比大大降低, 平均相对密实度由原来的0.64增大为0.86, 满足设计对密实度的要求。对整个场地砂土进行原位标贯试验, 经检测, 处理完

毕后桩间砂土标贯击数都明显提高, 平均提高幅度为38.9%, 由此可见桩间土重新排列, 密实度提高。

根据《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001), 砂土液化判断标准贯入击数临界值

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{3/\rho_c}$$

根据施工完毕后对砂土进行标贯试验, 发现标贯击数都大于砂土液化判断标准贯入击数临界值, 说明砂土不会发生液化, 等能量、等贯入度控制碎石桩施工后, 砂土液化已经消除。

五、结语

等能量、等贯入度控制挤密碎石桩在南水北调工程中的应用, 证明了该工艺施工快捷、造价经济, 在需大量处理的市政工程地基处理中具有明显的经济效益, 尤其对需要消除液化的地区, 该方法尤其有效。

参考文献

1. 建筑地基处理技术规范(JGJ79—2002). 中国建筑工业出版社, 2001.
2. 孙玉文, 王继忠等. 等能量、等贯入度控制夯扩挤密碎石桩复合地基的介绍. 建筑结构(增刊), 2005.
3. 建筑抗震设计规范(GB50011—2001). 中国建筑工业出版社, 2002.
4. 龚晓南. 复合地基理论与工程应用. 中国建筑工业出版社, 2002.

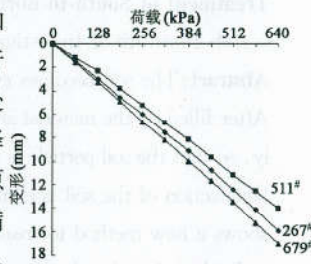


图2 部分复合地基平板静载荷载试验Q-s曲线