

[文章编号] 1002-8528(2005)03-0069-04

强夯置换法加固填海路基的试验研究

黄 海(深圳市天地集团股份有限公司, 广东 深圳 518001)

[摘 要] 在深圳地区强夯置换法加固填海路基应用非常广泛, 并在实践中取得了较好的处理效果。但由于强夯置换法尚未形成一套成熟的设计计算方法, 因此, 施工前往往在现场选取典型试验区进行试验性施工来确定工艺技术参数, 以指导大面积工程施工。本文结合深圳市高新技术产业园南区市政道路软基处理工程实例, 通过两个试验区的强夯试验研究, 确定了用于指导近 20 万 m^2 路基处理的施工技术参数。

[关键词] 强夯置换法; 填海路基; 软基处理; 试验研究

[中图分类号] TU 472 TU 472.3⁺1 [文献标识码] B

Experimental Study on the Subgrade of Reclamation Strengthened by Dynamic Replacement Method

HUANG Hai (Shenzhen Universe Group Co., Ltd. Shenzhen 518001, China)

[Abstract] In Shenzhen area the subgrade of reclamation strengthened by dynamic replacement method has found widespread application and has obtained a good processing effect in practice. However a set of mature design calculations method for the dynamic replacement has not formed. So the typical pilot area need be selected to determine the technology parameters for the total project construction. This article introduces the project example concerning the soft subgrade improvement of South Shenzhen High Tech Industrial Park in which through experimental studies of two pilot areas the construction technology parameters were determined for 200 000 m^2 area of the soft subgrade improvement.

[Keywords] dynamic replacement method; subgrade of reclamation; soft subgrade improvement; experimental study

1 前 言

强夯置换法是利用重锤自由落下的夯击能量将块石或碎石等粗骨料夯入软弱地基, 直至到达下部良好的持力层, 形成柱状加固体(俗称块石墩或碎石墩)。将块石夯到持力层是块石或碎石与软弱土层置换的过程, 所以, 此加固地基的方法就叫强夯置换法。强夯置换法以其施工机具简单、人员少、易操作、造价低、施工快等优点, 被广泛地用于加固软土地基。特别在深圳地区大面积填海造地工程中得到了广泛应用。但由于强夯置换法尚未形成一套成熟的设计

计算方法, 因此, 施工前往往需要在现场选取典型试验区进行试验性施工来确定工艺技术参数, 以指导工程大面积施工。本文结合深圳市高新技术产业园南区市政道路软基处理工程, 对强夯置换法加固填海路基的工艺技术参数进行了现场试验研究。

2 工程概况及工程地质条件

2.1 工程概况

深圳市高新技术产业园南区, 北至后海路, 南接滨海大道; 东至沙河西路, 西接科苑大道, 占地面积 1.168 km^2 , 其中市政道路九条, 总长度 7617m, 道路软基强夯处理面积近 20 万 m^2 。整个南区场地处于海滩—海滨区, 原始地貌均是渔塘, 后经围堰排水回填而成。强夯路基回填料大部分为较纯净的中风化

[收稿日期] 2004-08-06

[作者简介] 黄 海(1970-)男, 国家注册一级项目经理

[联系方式] mshh@vip.163.com

以上混合开山石料。为保证强夯效果,要求路基石料含土量 $\leq 5\%$ 左右,粒径 $\leq 80\text{cm}$,级配良好。

2 2 工程地质条件

深圳市高新技术产业园南区原始地貌为滨海相潮间带,海~冲击平原,场地地面标高变化在 $-6.0\sim-7.0\text{m}$ 之间。海水深一般 $1.0\sim 2.0\text{m}$,局部经抽淤处理后深达 5.0m 。潮差在 $1.5\sim 2.0\text{m}$ 间。道路范围内地层特征自上而下依次为:

① 第四纪海积层,主要为淤泥和淤泥质粘土。淤泥呈灰~灰黑色,饱和,流塑状态,厚度为 $4.2\sim$

6.7m 。淤泥质粘土呈灰黑色~深灰色,含贝壳及 20% 砂,很湿~饱和,软塑~流塑状态。主要分布在北部,厚 $2.6\sim 6.4\text{m}$ 。淤泥及淤泥质粘土为本次软基处理的主要对象。其物理力学性质见表 1。

② 第四纪海~冲积层,主要为混有淤泥的砾砂。砾砂饱和、松散,层厚 $0.6\sim 3.4\text{m}$ 。此层局部混较多淤泥,但强度较低,尚可满足构筑路、管线之要求。

③ 第四纪冲~洪积层,主要为砾砂、粘土,为良好路基持力层。

表 1 软土层主要物理力学性质表

地层名称		厚度 $H(\text{m})$	含水量 $w(\%)$	孔隙比 e	液限 $w_L(\%)$	压缩系数 $a_{i-2}(\text{MPa}^{-1})$	压缩模量 $E_s(\text{MPa})$	竖向固结系数(m^2/s^{-8})			允许承载力 $\bar{q}(\text{kPa})$
								50kPa	100kPa	200kPa	
淤泥	范围值	4~6.7	37.5~123	1.034~3.042	36~62	0.784~3.221	1.257~2.594	1.66~8.52	3.12~11.12	3.19~13.28	-
	平均值	5.0	71.6	1.90	51.5	1.58	2.00	4.60	5.88	6.82	45
淤泥质粘土	范围值	2.5~5.0	22.9~60.7	0.569~1.402	26~56	0.304~1.448	2.11~5.813	3.95~26.79	5.88~22.77	6.15~33.48	-
	平均值	4.0	35.8	1.01	35.8	0.90	3.40	12.42	15.12	11.88	80

3 场地试验设计

为保证工程质量,并为后续大面积强夯施工提供合理的工艺参数,在淤泥区、淤泥质粘土区各选择一个有代表性的试验区进行现场试验。两试验区强夯参数相同,如表 2 所示。

表 2 试验区基本参数

试验区	面积 (m^2)	夯点间距 (m)	夯点数	填石平均厚度 (m)	填石顶标高 (m)	淤泥顶标高 (m)	淤泥厚 (m)
I 区	937.5	2.5	176	3.0	1.5	-0.3	5.5
II 区	825	2.5	156	2.5	2.9	0.5	5

由于 I 区填石前淤泥未晒干,块石进入淤泥较深; II 区填石是在排干积水一个月后进行的,故填石进入淤泥较浅,填石面较高。强夯采用 80t 履带式吊机,夯锤重 15t 直径 1.0m ,落距 20m ,采用自动脱钩装置。

根据深圳市进行强夯块石墩的经验,暂定如

下收锤标准:①最后两击夯沉量小于 15cm ;②每个夯点总夯击数应大于 15 击。第一条收锤标准作为第一判据,一般情况下应满足最后两击夯沉量小于 15cm ;第二条收锤标准作为第二判据,当第一条收锤标准达到时,夯点击数还远远小于 15 击,应进一步查明地质情况后现场确定。当第一条不满足,第二条满足时,则必须增加夯点击数。

点夯完成后,采用锤径 2.5m 、重 15t 的夯锤进行面夯,夯能控制在 $1000\sim 1500\text{kN}\cdot\text{m}$,每夯点夯两击,夯点按 2.15m 间距梅花形布置,两夯点之间搭接 35cm 。

4 试验结果分析

4.1 夯沉量

根据施工现场实测数据,每个试验区选取代表性的一点作单点击数与单点夯沉量 s 及累计夯沉量 Δs 曲线,如图 1 所示。

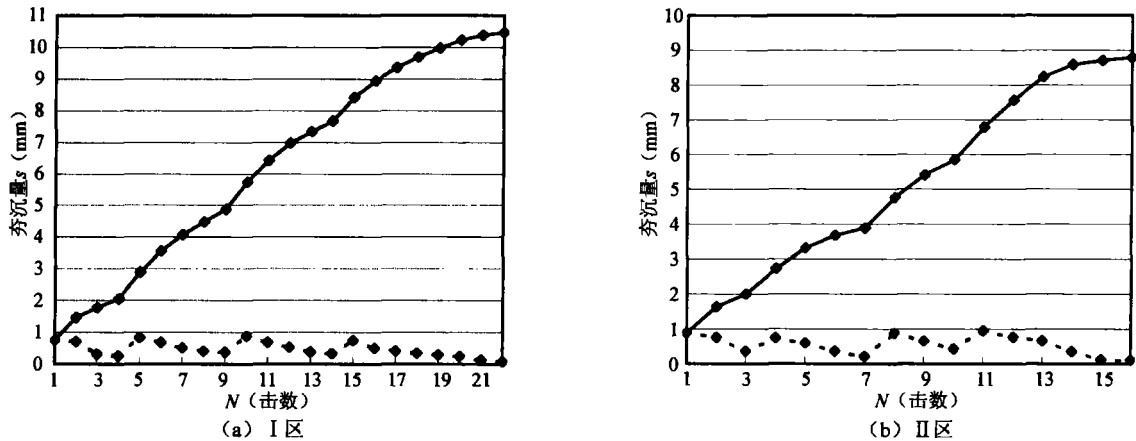


图 1 $N - s(\Delta s)$ 曲线

根据夯沉量曲线分析, 当强夯到一定击数后, 曲线趋于平缓, 继续夯击势必造成能量的浪费。据此, 确定两个试验区的强夯击数为 I 区 22 击, 平均夯沉量 10.53mm; II 区 16 击, 平均夯沉量 9.8mm。

4.2 强夯对周围淤泥的影响

试验区强夯完工后, 实测两侧淤泥面, 挤出淤泥呈缓坡向外扩散, I 区隆起最大高度 0.4m, 最宽处 6.0m; II 区隆起最大高度 0.5m, 最宽处 5.0m。

4.3 强夯效果检测

通过墩长雷达检测、平板载荷试验以及瑞雷波承载力检测, 路基承载力均满足设计要求。

(1) 墩长雷达检测 按照设计文件要求, 抽检总墩数的 50%。根据雷达检测结果及图像分析, 所检测的 166 根墩均合格。I 区检测 88 根, 平均墩长 7.15m; II 区检测 78 根, 平均墩长 7.5m, 全部为着

底墩。在这些墩体上的地质雷达图像上, 墩体界面反射波比较强, 同相轴连续性好, 而且其墩底部持力层反射强度和特征也与淤泥层有明显区别。

(2) 平板载荷试验 为检测强夯地基的承载力, 每个试验区选一点进行载荷试验。设计采用 $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ 、面积 6.25m^2 压板。根据《深圳地区地基处理技术规范》(SJG04-96), 复合地基载荷试验分九级加荷, 最大加荷量为设计荷载的 2.0 倍, 均为 280kPa。复合地基载荷试验结果见表 3 $Q \sim s$ 曲线如图 2 所示。加荷至最大荷载 280kPa 时, 沉降量分别为 25.55mm、19.12mm, $Q \sim s$ 曲线较平缓, 沉降较均匀, 无明显陡降点。按照《深圳地区地基处理技术规范》(SJG04-96) 有关规定, 复合地基承载力基本值取相对变形值 $0.01d = 25\text{mm}$ 时所对应的荷载, 说明承载力基本值均大于 140kPa, 满足设计要求。

表 3 复合地基载荷试验结果

试验区	压板面积 (m^2)	最大实验负荷		最大沉降量 (mm)	残余沉降量 (mm)	变形模量 (MPa)	回弹率 (%)	按相对变形值确定的 f_0 (kPa)
		(kN)	(kPa)					
I 区	6.25	1750	280	25.55	23.21	22.8	9.16	> 140
II 区	6.25	1750	280	29.72	24.98	20	14.22	> 140

(3) 瑞雷波承载力检测 高新技术产业园南区市政道路强夯地基处理面积达 20 万 m^2 , 块石墩

数达 2.7 万根。若按规定均采用平板载荷试验, 其检测数量为 540 组 (按 2% 选取), 不仅周期长,

费用高,而且严重影响施工进度。因此,设计上采用瑞雷波法进行承载力检测,大大缩短了检测周期,费用也很低。按 2%总墩数检测,总有效工期仅为 20天。

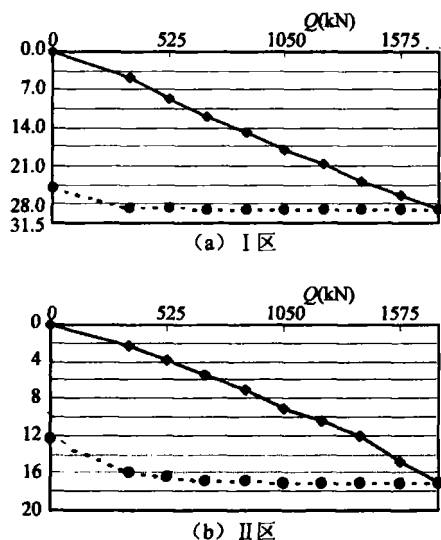


图 2 $Q \sim s$ 曲线

瑞雷波法是近十几年来发展应用起来的一种新的岩土物理性质原位测试技术。理论研究和测试实践证明,在一定的范围内,瑞雷波速与承载力具有线性相关性。通过场区内 10组平板载荷试验结果以及所对应的实测瑞雷波波速值显示,二者存在如下关系:

$$f = (V_r - 97) \cdot 0.376$$

式中, f 为瑞雷波波速求得的承载力基本值(kPa);
 V_r 为实测瑞雷波波速值(m/s)。

由于对瑞雷波波速影响的因素较多,经十组平板载荷试验与波速的对比分析,按上述线性回归计算承载力时,最大偏差在 $\pm 16\%$ 之内。为安全可靠起见,将设计承载力提高 20%,即由 140kPa提高到 168kPa 然后反算求出波速值 $V_r = 160\text{m/s}$ 将此波速值定为本区工程质量的检测标准,合格点达到总检测点的 95%以上即判定本区强夯后路基承载力满足设计要求。检测结果显示,各点承载力基本值均大于 140kPa 满足设计要求。瑞雷波法测试结果

可信度较高,可以在强夯工程中大力推广。

4.4 强夯参数的确定

通过以上检测手段,试验区处理后均满足设计提出的要求。故确定淤泥区、淤泥质粘土区强夯收锤标准分别为:

(1)淤泥区 ①最后两击夯沉量小于 15cm; ②每个夯点总夯击数不小于 22击; ③总夯沉量为设计墩长的 1.5倍。

(2)淤泥质粘土区 ①最后两击夯沉量小于 15cm; ②每个夯点总夯击数不小于 16击; ③总夯沉量为设计墩长的 1.5倍。

5 结 语

为检测经软基处理后地基的剩余沉降情况以及沉降的发展过程,在道路管网、路基土施工期间以及竣工后又进行了沉降观测,包括埋设沉降板和全断面沉降观测仪。观测结果显示,荷载的增加对处理后的地基沉降影响很大,施工期间沉降占总沉降量的 75%左右,对于长期沉降的影响比较小。路面施工完成以后,地基沉降很快稳定下来。处理完的路基沿道路横断面沉降比较均匀,总沉降量较小,满足设计要求。道路使用期间,路况保持完好,未发现明显沉陷。充分说明通过试验确定的强夯施工工艺技术参数是正确的。

[参考文献]

- [1] SJG04-96 深圳市地基处理技术规范[S]. 1996
- [2] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994
- [3] 张诚厚, 袁文明, 戴济群. 高速公路软基处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [4] 刘景政, 杨素春, 钟冬波. 地基处理与实例分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [5] 王铁宏. 全国重大工程项目地基处理工程实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998
- [6] 《地基处理经验集萃》编写组. 地基处理经验集萃[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996
- [7] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京: 地质出版社, 1994