

# 轻夯多遍法处理软土地基的可夯性 数据分析方法

杨之良

(天津津港建设有限公司, 天津 300456)

**摘要:** 在软黏土地区, 土体含水率高、灵敏度大、渗透性差, 若仅采用传统的强夯地基处理方法, 则土体中的超静水压力很难迅速消散, 而轻夯多遍法, 综合了静力排水固结法和动力排水固结法的优点, 适用于饱和软黏土地基的处理。本文依托天津地区某工程强夯试验, 对轻夯多遍法处理软土地基的可夯性进行了探索, 通过绘制软土地基的单位夯击能和夯击次数的关系曲线, 能够预测软土地基强度随着夯击次数增加的变化规律, 进而判断轻夯多遍法地基处理方案的可行性。

**关键词:** 软黏土; 地基处理; 可夯性

中图分类号: TU447

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)05-0439-04

## Data analysis method of compactibility of soft ground treated by multiple light dynamic compaction method

YANG Zhi-Liang

(Tianjin Jingang Construction Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

**Abstract:** In soft clay area, the soil has high moisture content, high sensitivity and poor permeability. It is difficult for the excess pore water pressure in soil to dissipate rapidly if only the traditional dynamic compaction method is adopted. The multiple light dynamic compaction method combines the advantages of the static and the dynamic drainage consolidation method, and is suitable for the foundation treatment of saturated soft clay. Based on a dynamic compaction test of a project in Tianjin, this paper studied the compactibility of soft ground treated by multiple light dynamic compaction method. Through the relationship between the unit tamping energy of soft ground and the tamping frequency, it can predict the change of the strength of soft ground with the increase of the frequency of tamping, and verify the feasibility of the ground treatment scheme using multiple light dynamic compaction method.

**Key words:** soft clay; ground improvement; compactibility

## 0 引言

随着地基处理技术的发展, 新的地基处理技术不断涌现, 例如, 近年来采用改进的强夯技术手段——轻夯多遍法来加固软黏土地基。但是, 软黏土地基含水率高、灵敏度大、渗透性差, 若无人工排水通道(如塑料排水板等), 则在单独的强夯作用下, 土体中产生的超静孔隙水压力无法快速消散, 易形成“橡皮土”。本文结合具体工程实践, 探索在无排水通道的条件下软土地基的可夯性并进行经

验总结, 以利相关工程借鉴。

## 1 项目背景

拟建的天津地区 A 码头工程场地历史成陆原因复杂, 场地原为近海滩涂区域, 后经人工填垫至现地坪, 填垫年限大于 10 年, 地貌单元属滨海相冲积海积低平原, 场地内隆起、洼地、道路、构筑物基础、水塘等不均匀散布在用地范围内, 局部高差可达 2 m 以上, 现状高程+4.0~+6.5 m, 为复杂的

不均匀场地（见图1~图2）。

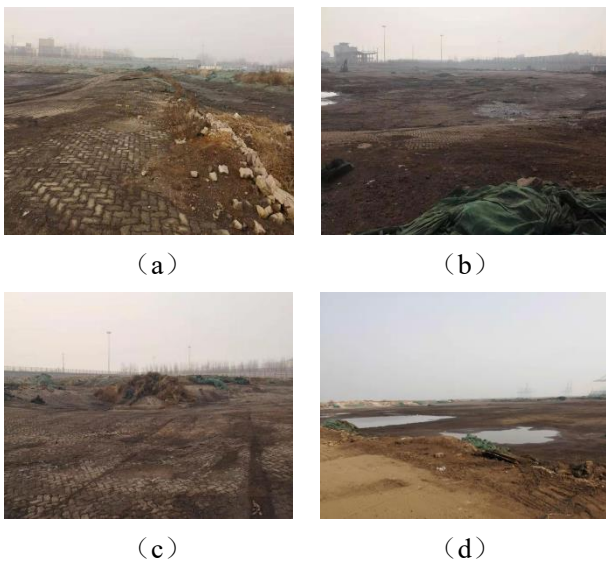
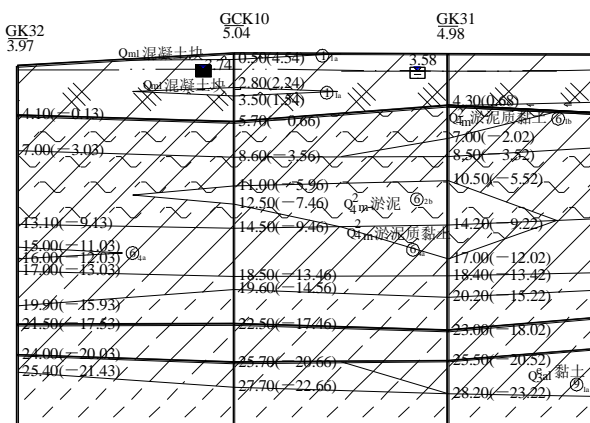
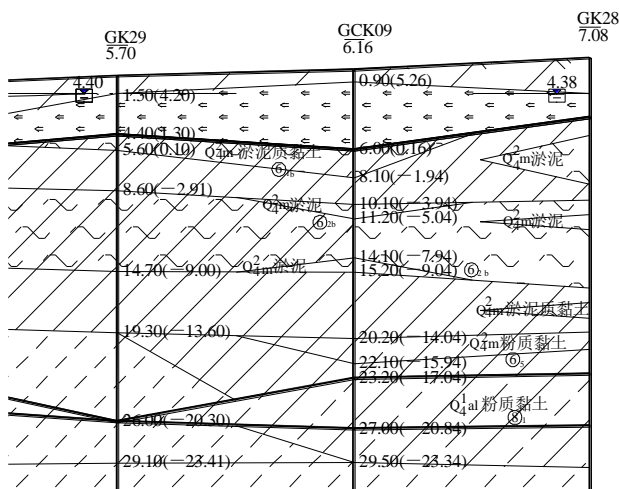


图1 场地地貌  
Fig. 1 Figure of field



(a)



(b)

图2 地质剖面图  
Fig. 2 Geologic profile

拟建的智能化堆场、主要道路使用要求较高，不同于常规工艺的集装箱码头，要求总沉降不大于300 mm，不均匀沉降小于2‰，地基承载力不低于200 kPa。

该地块勘察结果表明，场区覆盖2~7 m厚杂填土，杂填土层主要由砖块、大块混凝土、碎石、粉煤灰渣及废土组成，局部掺有碱渣。其下为黏土及淤泥质黏土，厚度13.10~19.40 m，其中淤泥质黏土层土质较软，强度低，且分布不均匀，属欠固结土。

为了改善地块的不均匀性，实现场地土基结构的连续、稳定，本工程采用强夯法（轻夯多遍法<sup>[1-3]</sup>）进行地基处理，并在前期进行了强夯试验，以完善相关参数。

## 2 强夯试验

### 2.1 试验方案

试验选取4种代表性区域作为试验场地，分别为：

A区：含淤泥质黏土区域（杂填土厚度3.0 m区域），50 m×50 m，共2 500 m<sup>2</sup>；

B区：高填土（厚度>5 m）区域，40 m×40 m，共1 600 m<sup>2</sup>；

C区：岸坡区域（完成真空预压），40 m×40 m，共1 600 m<sup>2</sup>；

D区：含碱渣区域，50 m×40 m，共2 000 m<sup>2</sup>。

### 2.2 实施过程

选取2个代表区，即A区和D区。

### 2.3 加固后载荷试验检测成果

选取2个代表区，即A区和D区。

试验总结见表1~表4和图3。

经过检测，A、B、C区地基承载力特征值均满足200 kPa，仅D区不满足，为127 kPa。

## 3 轻夯多遍法处理软土地基的可夯性数据分析方法

### 3.1 问题的提出

4个试验区均采用轻夯多遍法施工工艺，但仅D区未达到设计要求，根据单一变量法，是地质条件不同所导致的。究其根本原因，是D区纯碱渣层不适用于强夯的动力固结作用，经外力扰动后产生液化。本文试图根据试验数据，找到一种轻夯多遍法处理软土地基的可夯性数据分析方法。

表 1 A 区试验参数  
Tab. 1 Testing parameters of zone A

遍数	夯锤直径/m	夯锤自重/t	落锤高度/m	夯坑深度/m	夯击次数/次	夯击能	用时/h
第 1 遍	1.4	15	8~12	1.2~1.8	2~5	1 500	35
第 2 遍	1.4	15	9	0.8~1.4	2~4	1 400	31
第 3 遍	1.4	15	10	0.8~1.6	2~5	1 500	31
第 4 遍	1.4	15	10	0.8~1.5	6~10	1 500	33
第 5 遍	2.5	15	15~18	0.6~1.1	5~9	2 500	21
第 6 遍	2.5	15	13	0.6~0.9	7~11	2 000	32
第 7 遍	2.5	15	16	0.6~1.0	4~10	2 400	25
第 8 遍	2.5	15	17	0.3~0.7	4~8	2 600	33
第 9 遍	2.5	15	20	0.4~0.6	5~6	3 000	30
第 10 遍	2.5	15	20	0.2~0.3	3	3 000	30

表 2 D 区试验参数  
Tab. 2 Testing parameters of zone D

遍数	夯锤直径/m	夯锤自重/t	落锤高度/m	夯坑深度/m	夯击次数/次	夯击能	用时/h
第 1 遍	1.35	16	9	1.2~1.7	2~4	1 400	17
第 2 遍	1.35	16	9	1.0~2.1	2~3	1 400	-
第 3 遍	1.35	16	9	0.8~1.8	2~5	1 400	15
第 4 遍	1.35	16	9	1.1~2.1	2~4	1 400	15
第 5 遍	2.5	15	17	0.7~1.4	3~6	2 600	13
第 6 遍	2.5	15	9~13	0.4~0.8	5~8	1 700	13
第 7 遍	2.5	15	17	0.4~0.9	3~6	2 600	12
第 8 遍	2.5	15	14	0.6~1.2	4~11	2 100	24
第 9 遍	2.5	15	16	1.5~2.3	7~14	2 400	30
第 10 遍	2.5	15	17	0.8~1.1	4~7	2 600	12
第 11 遍	2.5	15	10	0.7~0.8	2~3	1 500	12

表 3 D 区承载力特征值统计表  
Tab. 3 Characteristic value of bearing capacity of zone D

测点编号	最大加荷量/kPa	最终沉降量/mm	地基承载力特征值 $f_{ak}$ /kPa	区域地基承载力特征值/kPa
D1	400	55.21	124	
D2	400	50.09	156	127
D3	400	97.88	101	

3.2 数据分析方法

本文提出“单位夯沉量单位面积所用夯击能”的概念，用  $E_0$  表示，例如表 1 中第一遍的

$$E_0 = \frac{1\ 500}{\frac{1.2+2+1.8+5}{2} \times \frac{3.14 \times 1.4^2}{4}} = 2\ 031\ \text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}^3$$

将表 1 中其余组数据进行同样计算，可得到 A 区  $E_0$  随夯击遍数  $n$  增长曲线，为同时将 B、C、D

区按此方法计算，得到的曲线见图 4。

由于前 4 遍锤径（小）与后几遍不同，因此前 4 遍不参与统计，并排除 B、C 区第 6 遍变锤径的影响，因此可以得到各个区  $E_0 \sim n$  的趋势线，如图 4 中虚线所示。由图中可知，采用轻夯多遍法成功处理软土地基的  $E_0 \sim n$  的趋势线是单调递增的，而失败的 D 区是呈递减趋势的。

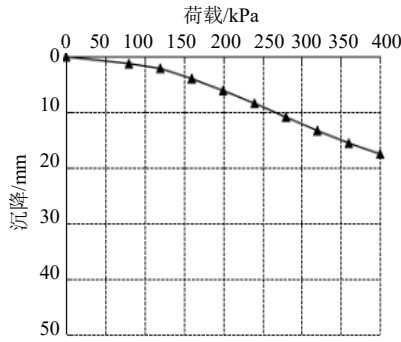
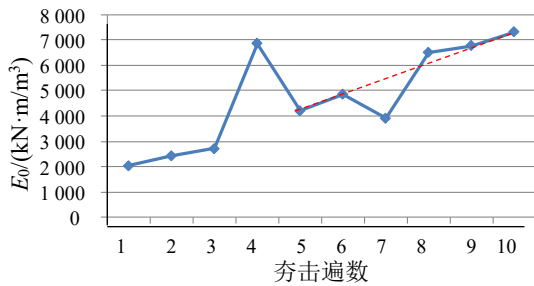
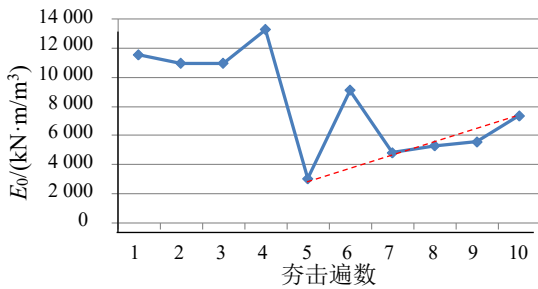


图3 A区荷载-沉降曲线图

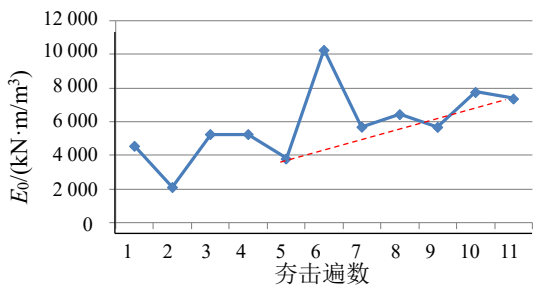
Fig. 3 Load-settlement curve of zone A



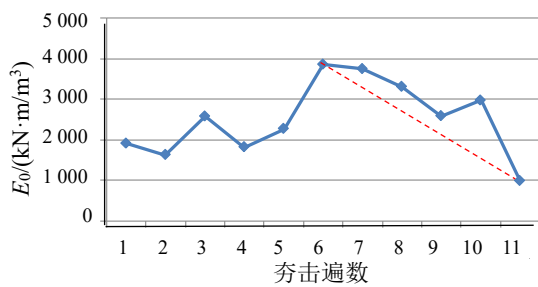
(a) A区



(b) B区



(c) C区



(d) D区

图4 D区 E0-n 曲线图

Fig. 4 E0-n curve of zone D

表4 A区沉降量

Tab. 4 Settlement of zone A

荷载分级	荷载 $p/kPa$	沉降量 $s/mm$
0	0	0.00
1	80	1.22
2	120	2.08
3	160	3.94
4	200	6.09
5	240	8.38
6	280	10.88
7	320	13.31
8	360	15.57
9	400	17.52

## 4 结论和展望

(1) 通过本次强夯试验，探究轻夯多遍法处理软土地基的可夯性数据分析方法，即统计  $E_0 \sim n$  的趋势线，若单调递增，则表明软土地基具有可夯性，并且利用  $E_0 \sim n$  关系曲线，能够在施工过程中预测软土地基是否具有可夯性，并提前采取有取措施。

(2) 若要成功采用轻夯多遍法，则在实际施工过程中，在相同能级作用下，后一遍强夯达到同一夯沉量所用击数比前一遍多，或采用同一击数达到同一夯沉量所用夯击能应比上一遍大。

(3) 单独采用轻夯多遍法来加固软黏土地基是可行的，但单纯采用本方法处理纯碱渣是不可行的。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 水运工程地基设计规范: JTS 147-2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 吹填土地基处理技术规范: GB/T 51064-2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [3] 姜保威. 轻夯多遍法处理软土地基的方法: 中国, ZL200610140685.5[P]. 2007.02.28.