

· 地基与基础 ·



排水加固法加固软土液性指数变化规律的研究

郑新亮¹, 董志良¹, 武 霄²

(1. 中交四航工程研究院, 广东 广州 510230; 2. 中交天津港湾工程研究院, 天津 519030)

摘要: 利用实际工程中真空预压或真空联合堆载预压加固后取土试验, 得到软土含水率以及液性指数, 研究真空预压或真空联合堆载预压条件下软土液性指数的变化规律, 探索软土加固后的液性指数与土体的液限、外加荷载的关系, 为设计和施工提供参考。

关键词: 真空预压; 堆载预压; 含水率; 液限; 液性指数

中图分类号: U 655.54⁺4.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0145-03

On liquid index variation in soft soil reinforcement using drainage consolidation method

ZHENG Xin-liang¹, DONG Zhi-liang¹, WU Xiao²

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 519030, China)

Abstract: Using the soil testing after vacuum preloading or vacuum combined with surcharge preloading in the actual project, we get the water content and liquid index of soft soil to research the variation of soft soil's liquid index in the condition of vacuum preloading or vacuum combined with surcharge preloading, explore the relationship between the reinforced soft soil's liquid index and the liquid limit & imposed loads, to provide reference for the design and construction.

Key words: vacuum preloading; surcharge preloading; water content; liquid limit; liquid index

软土地基加固的主要工艺方法包括真空预压、堆载预压、砂桩、搅拌桩、素混凝土桩、置换等, 其中真空预压、堆载预压以及真空联合堆载预压因为工艺简单、费用低的优点得到了广泛应用。

在常规排水加固法加固软土地基方案设计中, 加固效果通常用沉降量、固结度等指标控制, 并以地下水位、分层沉降、孔隙水压力、十字板抗剪强度、液性指数等作为参考指标, 但软土加固后的含水率或者液性指数在设计阶段并未明确, 也没有做到定量计算, 无法满足设计计算以及验收的要求。

由于饱和软土强度与液性指数有一一对应的关系, 所以研究软土液性指数的变化规律有很大

的应用价值。

1 与液性指数变化有关的因素

液性指数是表示天然含水率与界限含水率相对关系的指标, 液性指数与土的类别及含水量有关——同一种土, 含水率越大则液性指数越大, 土质越软。液性指数公式如下^[1]:

塑性指数应按下式计算:

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (1)$$

式中: I_p 为塑性指数; ω_L 为液限 (%); ω_p 为塑限 (%).

液性指数应按下式计算:

$$I_L = \frac{\omega_0 - \omega_p}{I_p} \quad (2)$$

收稿日期: 2013-12-04

作者简介: 郑新亮 (1970—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事软土地基的科研、设计和施工管理工作。

式中： I_L 为液性指数，计算至 0.01。

排水加固法加固的软土液性指数与固结度、附加应力、液限等因素有关，为了简化条件，本文不分析土体的固结度以及中间排水过程，只选取加固后的最终状态最为分析对象，排水间距和固结度可以不用分析，所以液性指数只与附加应力和液限相关：规律是附加应力越大，液性指数越低；液限越高，液性指数越大。特别是土体液限对液性指数的变化有很大影响，根据工程经验得知，土颗粒越细，液限越高，孔隙水越难排出，加固后液性指数也越高，液性指数呈现出一定的变化规律。本文依据实际工程试验检测数据，针对附加应力和液限的变化，研究土体液性指数的变化规律。

2 真空预压加固软土液限与液性指数的相互规律

土体液限代表了土颗粒的大小，液限高则颗粒细，加固时孔隙水越难排出，液性指数越高。为了单纯比较液限对加固后液性指数的影响，选取多个工程的实测数据进行汇总，这些工程分别为天津东疆保税港区某地基加固工程、天津港东疆港区欧洲路南段地基加固工程、连云港海滨新区某地基处理工程、连云港海滨新区某陆域形成项目地基处理工程共 4 项。处理方式真空预压，预压荷载 80 kPa。为了保证数据的可对比性并简化计算分析的复杂程度，只选取其中的淤泥土进行对比分析，其他土体本次不做分析，留待以后补充完善。由于试验样本很多，数据无法在本文中一一列出，利用实测数值作图，并作出线性拟合（图 1）。

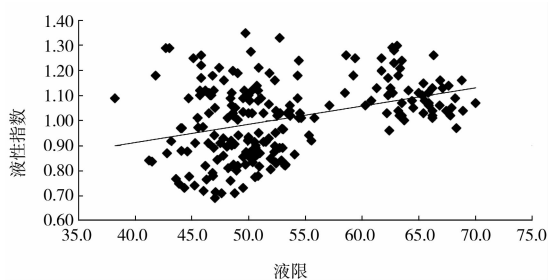


图 1 液性指数与液限变化规律

从图 1 可知，加固后土体的液性指数大部分集中在 0.7~1.3 之间，呈现一定的规律，直线拟合后为一条向上的斜线。从图 1 可以得到 2 点结论：

- 1) 液限越大，孔隙水越难排出，同等外载下加固后的土体液性指数也越大；
- 2) 利用数据直线拟合，拟合线公式为：

$$I_L = 0.0073W_L + 0.6192 \quad (3)$$

当然，直线拟合是一种简化方法，不一定与实际情况相符，而且该直线方程也只能反映本文所描述的土体情况，对于其他土体，由于加固方法、外加荷载大小、土体性状、地区特性等存在诸多不同，肯定不能等同该直线所述的变化规律，但趋势应该不会有根本性的不同，所以有很大的借鉴意义。

3 不同附加压力对加固后软土液性指数变化的影响

不同附加压力下的加固效果是不同的：同一种软土，附加压力越大，加固后土体的含水率越低，强度越高，液性指数也越低。选取多个工程的实测数值作统计分析，为了保证数据具有可比性，全部选取了连云港地区的工程，包括连云港海滨新区某基础设施陆域形成项目地基处理工程、连云港港旗台港区 25 万吨级矿石接卸码头工程、连云港港旗台港区三期突堤工程、连云港港旗台作业区 10 万吨级氧化铝。这些工程的加固方案和附加荷载如表 1 所示。

表 1 工程加载情况

工程名称	主要处理工艺	外加荷载/kPa
连云港海滨新区某基础设施陆域形成项目地基处理工程	真空预压法	$85 + 3.5 \times 17(\text{吹填}) = 144.5$
连云港港旗台港区 25 万吨级矿石接卸码头工程	堆载预压法	$81 + 5 \times 17(\text{吹填}) = 166$
连云港港旗台作业区 10 万吨级氧化铝、散化肥泊位后方陆域地基加固工程	真空联合堆载预压法	$85 + 2 \times 17(\text{联合堆载}) + 4 \times 17(\text{吹填}) = 187$
连云港港旗台三期突堤工程	真空联合堆载预压法	$85 + 40(\text{联合堆载}) + 4.5 \times 17(\text{吹填}) = 201.5$

为保证数据的可对比性,选取原状淤泥土作为分析对象,所以取加固后深度6~17 m范围内的淤泥土数据。按照液限分为4类:40~50, 50~55, 55~60, 60以上,基本满足分类统计的要求。

按照上述分类方法,针对6~17 m深度范围,按照液限划分,选取数据作图显示外加荷载与液性指数变化规律(图2)。

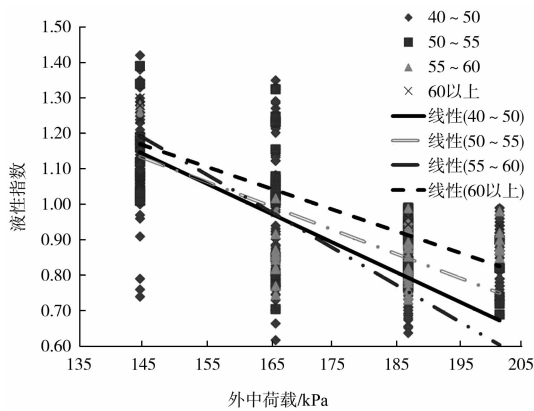


图2 外加荷载与液性指数变化规律

利用数据点作出的趋势线共4根,从趋势线可以得到3点结论:

- 1) 液性指数都是随着外加荷载的加大而降低的,初步可假定为线性关系;
- 2) 在同一级荷载下,土体随着液限升高,液性指数也升高,这与第二章的结论是一致的;
- 3) 随着外加荷载的加大,趋势线的离散程度加深,说明液限越低的土体,在外加荷载加大时,加固效果越好。

与第二章的分析结论一样,该结论只针对本文涉及的土体,但对其他土体的趋势有借鉴作用。另外,图中液限55~60的趋势线与其他趋势线有交叉,变化比其他趋势线大,应该与数据离散性和试验偏差以及样本数量有一定的关系。

为了反映不同深度范围内土体的变化情况,不区分液限情况,选取全部土体数据,按深度分类为6~11 m和11~17 m(图3)。

分析图3中2根趋势线得知,土体平均液性指数趋势线基本重合,可以得到2点结论:

- 1) 液性指数随外加荷载增大而减小;

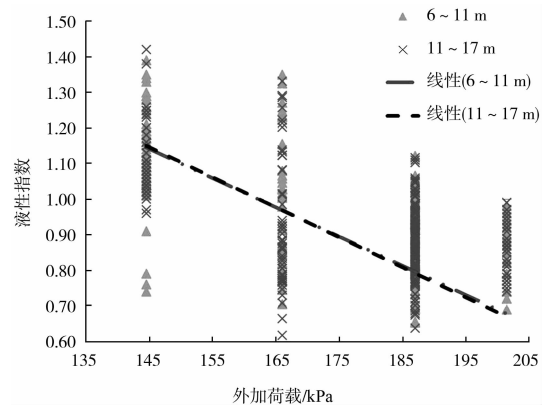


图3 土体不同深度范围内的液性指数加固效果

2) 2种深度范围(6~11 m, 11~17 m)的土体加固效果没有明显区别,说明在17 m深度内加固效果均一,没有随深度增大而衰减,证明了真空预压加固效果在加固深度内的有效性,又由于堆荷载属于大面积荷载,附加应力沿深度范围几乎没有衰减,综合了2种加固荷载的组合效果沿深度也没有衰减。

4 结论

1) 在同一外加荷载作用下,加固后的土体液性指数随液限的增大而增大,基本可以假定为线性关系,随着液限增大,孔隙水越难排出,加固后的土体液性指数也增大,加固效果变差,文中拟合直线 $I_L = 0.0073W_L + 0.6192$ 作为特例仅供参考。

2) 在不同外加荷载作用下,随着外加荷载的加大,土体液性指数越小,初步表明呈现线性关系。同时在外载加大时,不同液限的土体加固效果的离散程度相应变大,液限越低的土体,在外加荷载加大时,加固效果越好。

3) 大面积外载加固地基时,在6~11 m和11~17 m深度范围内的加固后液性指数没有明显区别,说明在有效加固深度范围内的土体加固效果均一,没有出现加固效果衰减现象,由于大面积堆载引起的附加应力在有效加固深度内基本没有扩散,从而证明了真空预压在有效加固深度内的有效性。

参考文献:

- [1] GB-T 50123—1999 土工试验方法标准[S].