



滨州港港区吹填土渗透固结特性试验研究

张云冬，朱文泉，程瑾

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202)

摘要: 为准确确定滨州港吹填土地基处理参数, 采用渗透固结和真空预压2种试验方法研究滨州港吹填土的物理性质参数与固结压力的关系, 结果表明: 试验后吹填土的参数仅与固结压力的大小有关, 与其初始状态无关, 且各参数的变化速率在压力小于50 kPa时比压力大于50 kPa时快。渗透固结试验中100 kPa压力和真空预压试验中-100 kPa压力对吹填土的压缩效果基本相同, 试验后各土样物性参数基本一致; 如采用真空预压对吹填土地基进行处理, 在不采取堆载等其他措施的情况下, 吹填土的极限含水率为44%, 孔隙比为1.23, 密度为 1.78 g/cm^3 。

关键词: 吹填土; 渗透固结; 试验研究

中图分类号: U 652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S2-0136-05

Experimental study on permeation and consolidation characteristics of dredger fill in Binzhou Port area

ZHANG Yun-dong, ZHU Wen-quan, CHENG Jin

(CCCC(Tianjin) Eco-Environment Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300202, China)

Abstract: To accurately determine the foundation treatment parameters of the dredger fill in Binzhou Port, this paper uses permeation and consolidation as well as vacuum preloading tests to explore the relationship between the physical parameters and the consolidation pressure of the dredger fill in Binzhou Port. The results reveal that the parameters of dredger fill after the tests are only related to the consolidation pressure and is irrespective of its original state, and the change rate of physical parameters at the pressure of less than 50 kPa is faster than that at the pressure of more than 50 kPa. Moreover, in the permeation and consolidation test at the pressure of 100 kPa and the vacuum preloading test at the pressure of -100 kPa, the pressure has the same compression effect on dredger fill, and the physical parameters of dredger fill samples after the tests are consistent. When we employ vacuum preloading for foundation treatment of dredger fill and take no other measures such as stacking, the dredger fill has a limit water cut of 44%, with the void ratio of 1.23 and the density of 1.78 g/cm^3 .

Keywords: dredger fill; permeation and consolidation; experimental study

随着经济的不断发展及城市基本建设的蓬勃开展, 各大港口城市对土地资源的需求日益迫切, 围海造陆已成为缓解沿海港口城市土地资源紧张的有效途径。作为围海造陆的主要物质, 吹填土在疏浚吹填的过程中, 不仅原土本身的结构遭到了彻底破坏, 而且由于快速沉积过程导致其具有密度小、孔隙比大、含水率高、强度极低和灵敏

度高的欠固结土特点^[1]。

对于吹填土的研究, 目前取得了较多的研究成果, 主要包括以下几个方面: 吹填土的固结机理及变形特征的理论研究^[2-5]; 吹填土地基的加固方法及加固工艺及效果的研究^[6]; 吹填土性质的室内试验^[7-8]及其微观机理的研究等。尽管目前的研究内容比较丰富, 但由于各地区吹填土性质的

差异, 导致目前研究成果异地应用的难度较大。

为研究滨州港吹填土的渗透固结特性(含水率、孔隙比、渗透系数等)随压力的变化关系, 及吹填土初始状态对土样固结后物理性质参数的影响, 设计了渗透固结和真空预压试验, 取得了滨州港吹填土的物理性质参数随固结压力的变化曲线, 从而为滨州地区吹填土场地的地基处理、沉降计算及地基处理效果的评价提供参考。

1 试验方案

1.1 试验目的

- 1) 研究滨州港吹填土的含水率、孔隙比、密度和渗透性与固结压力(压缩稳定)的关系。
- 2) 研究滨州港吹填土在抽真空(-100 kPa)前后土样的含水率、孔隙比、密度和渗透性的关系。
- 3) 研究渗透固结试验 100 kPa 压力和抽真空

试验-100 kPa 压力时各土样物理性质参数的关系。

1.2 试验步骤

1) 在吹填泥塘中取得足量的吹填土土样, 将土样搅拌均匀并分成 3 等份。

2) 将 3 份土样分别进行不同程度的晾晒, 并在晾晒的过程中不断搅拌, 使土样的含水率均匀降低。

3) 待各土样分别达到要求的含水率时, 对其进行渗透固结试验, 并在每级压力试验完成时, 测定土样的含水率、密度、孔隙比和渗透系数等指标。

4) 分别从 3 个土样中取 0.01 m³ 的土样进行抽真空试验, 之后测试每个土样的含水率、密度和孔隙比等指标。

1.3 试验土样参数

经均匀晾晒完成的各土样的初始参数见表 1。

表 1 土样初始参数

土样 编号	含水率/ %	孔隙比	密度/ (g·cm ⁻³)	渗透系数 $K/(cm \cdot s^{-1})$	塑性 指数	颗粒组成/%			
						0.075~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.005 mm	<0.005 mm
1#	88.6	2.41	1.50	6.25×10^{-4}	24.1	1.6	27.8	20.4	50.2
2#	73.8	2.01	1.57	3.48×10^{-5}	24.4	1.9	30.0	17.5	50.6
3#	62.4	1.70	1.64	9.76×10^{-6}	24.3	1.7	29.1	18.3	50.9

2 试验过程及成果

2.1 渗透固结试验

2.1.1 试验过程

渗透固结试验采用多功能渗透固结仪, 该设备主要有以下特点:

1) 可进行 0~2 MPa 任意压力的固结试验, 压力可从小到大按既定速率逐渐增大至预定压力值, 并在预定压力持续既定时间, 从而避免试验初始阶段试样从压力室中挤出, 解决了常规固结试验设备不能进行超软稀泥固结试验的问题。

2) 每一级压力下的固结试验完成后调整压力设置, 可直接在试样上进一步进行渗透试验, 从而取得土样在某级压力下固结完成后的渗透系数。

3) 设置好试验过程后, 可全自动进行试验并采集位移、孔隙水压力等数据。

力下的固结及渗透试验, 试验流程见图 1, 渗透固结仪见图 2, 试样及压力室见图 3。

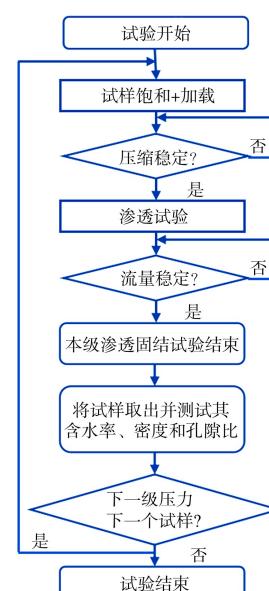


图 1 试验流程

对每个土样, 采用多个试样分别进行不同压

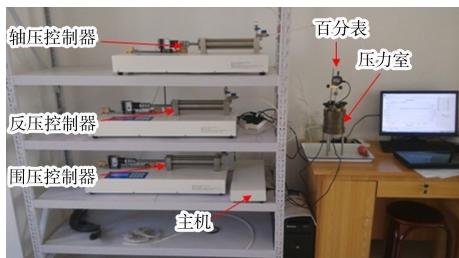


图 2 渗透固结仪

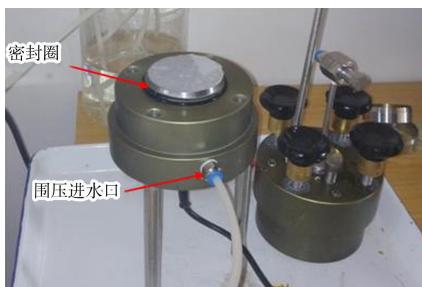
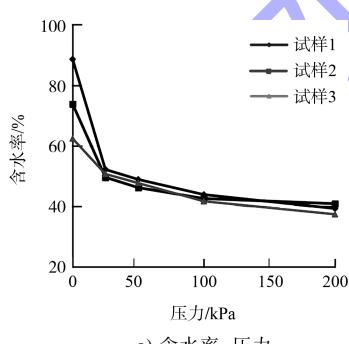


图 3 试样及压力室

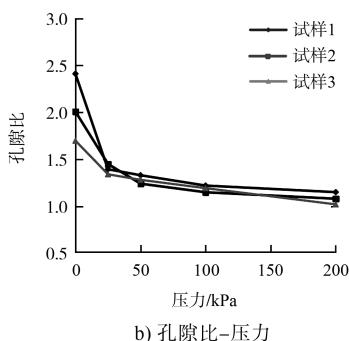
将 3 个土样分别按照以上渗透固结试验流程进行试验，得到每个土样在每级压力下对应的物理性质参数，包括孔隙比、含水率、密度和渗透系数。

2.1.2 试验成果

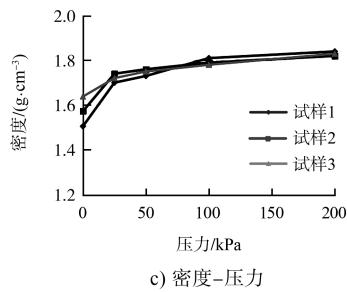
将以上各土样的试验成果进行汇总，分别得到各土样的物理性质参数随压力的变化曲线见图 4。



a) 含水率-压力



b) 孔隙比-压力



c) 密度-压力

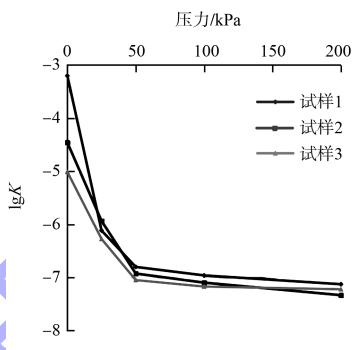


图 4 土样物理性质参数随压力变化曲线

从图 4 可得出以下规律：

- 1) 随着固结压力的增大，土样逐渐被压密，各土样的含水率、孔隙比和渗透系数逐渐减小，而密度则逐渐增大。
- 2) 不管各土样的初始物理性质参数如何，在各级压力压缩稳定后，各级压力对应的土样物理性质参数之间的差距均较小，仅在小范围内波动。
- 3) 各土样的物理性质参数在第 1 级压力 (50 kPa) 稳定时的变化速率最大，然后随着固结压力逐渐加大，各参数的变化速率减小。

2.2 真空预压模型试验

2.2.1 试验过程

1) 土样密封及监测：将土样装入各真空密封装置后，按图 5 所示流程将土样进行密封，随后监测直至稳定。土样密封装置见图 6，尺寸为 20 cm×20 cm×30 cm(长×宽×高)。

2) 土工试验：抽真空完成后，将各土样取出进行土工试验，主要得到含水率、孔隙比、密度和渗透系数等物理性质参数。

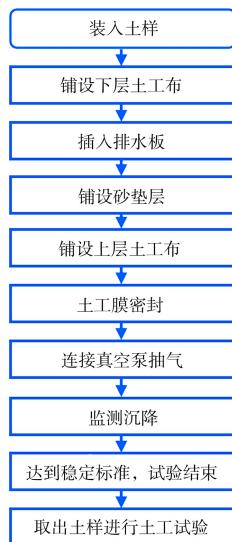


图 5 试验流程

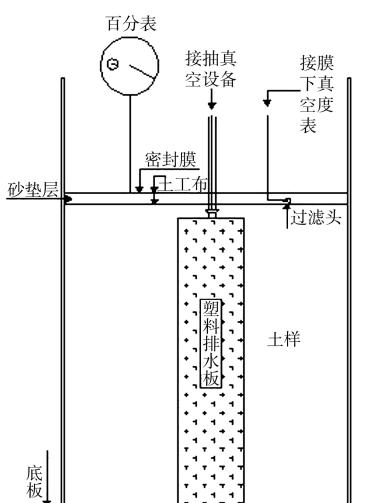
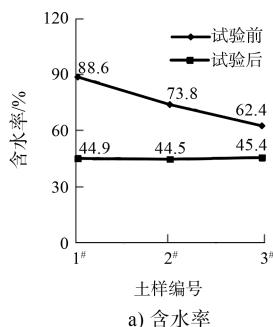


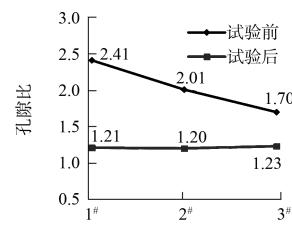
图 6 真空密封装置

2.2.2 试验成果

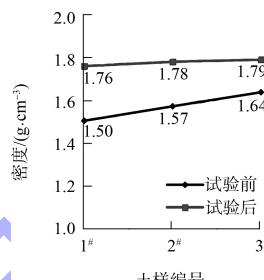
将抽真空前后各土样的物理性质参数进行对比, 见图 7。



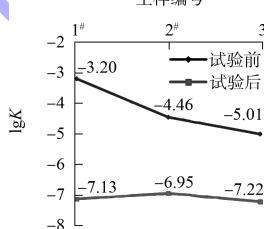
a) 含水率



b) 孔隙比



c) 密度



d) 渗透系数

图 7 试验前后土样物理性质参数对比

从图 7 可得出以下规律:

1) 抽真空(-100 kPa)试验后, 各土样的密度、孔隙比和渗透系数均减小, 而密度则增大, 试验取得的效果较明显。

2) 尽管各土样的初始物理性质参数不同, 但在抽真空后, 各土样的物理性质参数大小基本相同, 变化较小。

3) 抽真空(-100 kPa)试验与固结试验 100 kPa 压力时所取得的土样物理性质参数基本相同, 说明两者取得的固结效果基本相同, 见表 2。

表 2 ± 100 kPa 压力土样物理性质参数对比

压力	含水率/%	孔隙比	密度/(g·cm⁻³)	lgK
100	42.7	1.17	1.79	-7.07
-100	44.9	1.21	1.78	-7.10

3 结果分析

3.1 吹填土固结特性

1) 初始状态与最终状态的关系

根据各土样物理性质参数随固结压力的关系曲线和抽真空试验结果对比分析可知,对于滨州港的吹填土而言,无论其初始状态如何,当经过相同的压力完成固结后,其状态是相同的,即有相同的含水率、孔隙比、密度和渗透系数。出现以上现象的主要原因可能是由于从取泥到吹填的过程中,吹填土结构被彻底破坏,并在吹填区迅速沉积,使其不具有原位沉积土的结构性,其压缩过程是土颗粒之间的空隙减小,仅与土颗粒性质及其中流体的性质有关。因而,当吹填土中流体性质和土颗粒性质一定时,在某一固定的压力和土样孔隙比条件下,颗粒之间产生的接触力足以支撑该压力,土样达到该压力下的最终压密状态,其密度达到该压力下的最大,含水率达到该压力下的最低,渗透系数达到该压力下的最小,在土样未经历大于该压力的压缩过程条件下,此最终压密状态与吹填土样的初始状态无关。

2) 初始阶段压缩速率快的原因分析

当固结压力小于 50 kPa 时,吹填土样的物理性质参数变化速率较大,而随着固结压力逐渐增大,其变化速率则逐渐变缓。出现该现象的原因一方面可能是由于初始阶段土样的含水率高、孔隙比大,土颗粒之间的接触面积较小,处于悬浮状态,故土样受挤压时排出水的速率快,可被快速压密;随着逐渐压密,土颗粒之间的接触面积逐渐增大,土样压密越来越困难,故出现初始阶段压缩速率快的现象。自然沉积的原位土虽然也有类似的规律,但初始压缩阶段的物理性质参数变化速率明显要比吹填土的小,滨州港海港港区吹填土和原位土典型 $e-p$ 曲线对比见图 8;另一方面可能是结构性影响,原位土整体结构性好,吹填土整体结构性差,在平衡相同的固结压力时,结构性差的吹填土颗粒之间的接触面积比原位土的要大,因此可猜测若施加相同的压力且吹填土和原位土的初始条件(孔隙比)相同时,初始阶段吹填土的压缩速率则更快,但当压力逐渐增大,

土样的固结压力超过自重固结压力一定程度时,土体结构性的影响逐渐变小,两者的压缩变形规律逐渐比较接近,由图 8 可看出,当压力超过 25 kPa 时,吹填土的孔隙比开始小于原位土的孔隙比,当压力大于 100 kPa 时,2 种土的压缩速率基本一致。

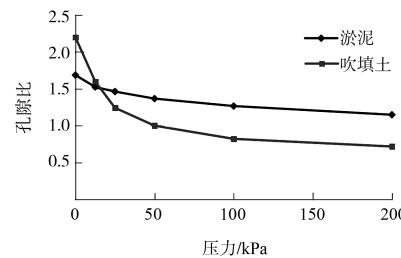


图 8 滨州港吹填土及原位软土典型 $e-p$ 曲线

3.2 吹填土地基处理目标参数

从以上渗透固结试验和抽真空试验的目标指标对比中可发现,两者试验后得到的物理性质参数和试验效果基本相同,因此,如果场地的地基采用真空预压(无堆载的情况)的方式进行地基处理,在不考虑其他因素的情况下,地基处理完成后,地基土含水率最小达到 44%,孔隙比最小达到 1.23,密度最大达到 1.78 g/cm^3 ,如果想要进一步降低地基土的含水率、减小孔隙比、增大密度,只能通过采取其他措施如联合堆载预压的方式实现。

4 结论

1) 滨州港吹填土渗透固结试验结果表明,无论吹填土的初始状态如何,当施加相同的压力(或等效的负压)时,其最终含水率、孔隙比、密度和渗透系数是基本相同的,与其初始状态无关。

2) 当固结压力小于 50 kPa 时,吹填土的物理性质参数变化速率较大,而原位土在此压力区间的参数变化速率则相对平缓,一般比吹填土的要小。

3) 对比试验结果表明,无论是真空-100 kPa 的固结压力,还是渗透固结 100 kPa 的压力,取得的效果是相同的,各土样均有基本相同的物理性质参数,即含水率 44%、孔隙比 1.23、密度 1.78 g/cm^3 。

(下转第 144 页)