



辽东湾典型场地吹填土性质研究*

周炳强¹, 张延军^{1,2}, 邴智武³, 郭亮亮¹, 郝术仁¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130011; 2. 吉林大学地下水资源与环境
教育部重点实验室, 吉林 长春 130021; 3. 辽宁省地质矿产调查院, 辽宁 沈阳 110032)

摘要: 针对辽东湾地区吹填土理论研究较少的现状开展野外勘察研究, 初步查明辽东湾吹填土分布特征和工程性质概况, 发现吹填物源、固结时间、场地渗透条件等影响因素差异使得该地区吹填土性质多样。选定2个典型场地, 通过压缩固结试验、压汞分析、扫描电镜等进一步深入分析, 研究A、B两类型吹填土工程性质及微观结构特征, 并结合埋深变化总结其固结规律。结果表明: A地吹填土不同埋深固结度不同, 但其固结阶段相同; B地不同埋深吹填土固结度和固结阶段均不同。

关键词: 吹填土; 对比分析; 孔隙分布; 微观结构; 固结过程

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0173-05

Study on dredger fill properties of typical fields in Liaodong gulf

ZHOU Bing-qiang¹, ZHANG Yan-jun^{1,2}, BING Zhi-wu³, GUO Liang-liang¹, HAO Shu-ren¹

(1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun 130011, China;

2. Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130021, China;

3. Liaoning Research Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, China)

Abstract: Based on in-situ investigation and experiments, the paper introduces the distribution characteristics and engineering properties of the dredger fill in Liaodong gulf to supplement theoretic research of dredger fill, and their properties are various owing to effects of many factors, such as the different source of dredger fill, consolidated time and site conditions. To make further analysis, two typical fields (A and B regions) are selected to research engineering properties and micro-structure through a series of experiments, such as compaction and consolidation, mercury penetration and scanning electron microscopy (SEM); then the rule of consolidation is obtained combining with the change of depth. Results show that A and B have different degrees of consolidation with different depths, however, A has the same consolidation phase and the consolidation phase of B is different.

Key words: dredger fill; comparative analysis; pore distribution; micro-structure; consolidated process

经济发展和城市建设对土地资源的迫切需求使得沿海吹填造陆工程大量开展。由于工程建设需要、工程地质性质极差、地基处理难度大, 吹填土一直是业界研究热点之一。文海家^[1]对吹填淤泥一般工程性质进行了归纳, 认为其具有高含水率、高压缩性、极低强度等特点, 与天然软土对比, 工程性质和物质组成多样, 且时间因素对其影响较大。彭涛^[2]将吹填淤泥沉积分为水流冲

蚀、动水沉积、静水沉积、失水固结4个阶段, 并分析了其物质组成、微观结构及孔隙特征、渗透固结特征等。龚镭等^[3-4]通过工程性质指标及孔压变化, 研究经晾晒、自重固结及人工排水固结后吹填淤泥性质的改善和影响深度。刘莹^[5]分别研究青岛和连云港吹填土性质并分析粒度成分、矿物成分、物理化学性质(易/难溶盐、游离氧化物、有机质、离子交换容量等)对其性质的影响。

收稿日期: 2013-08-01

*基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110061110055); 国家高技术研究发展计划(863计划)(2012AA052803)

作者简介: 周炳强(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事工程地质学研究。

宋志刚等^[6-7]研究了不同土水比、土粒成分、矿物成分、结构类型等因素对吹填土沉降和固结的影响。Kuoy^[8]应用计算机图像处理系统进行土的微观结构分析,促进了微观结构定量化研究。杨爱武等^[9-11]通过对吹填土扫描电镜和压汞试验成果的处理分析,研究其在前期固结和真空预压固结过程中孔隙分布特征和矿物颗粒排列形态的变化。朱颖波等^[12-13]总结比较了目前吹填土地基处理技术。张明^[14]将各种单项预测模型组合,引入变权“S”型成长曲线组合模型预测吹填土沉降,提高准确性。

尽管研究成果丰富,但研究区域大都集中在我国较早开展吹填造陆的长三角、珠三角及天津滨海地区。近几年,辽东湾地区也相继开展填海造陆工程,然而针对该地区吹填土的研究极少;并且研究对象多为各条件相同单一地区吹填土工程性质、其性质随固结时间或经人工处理演化纵向分析等。针对上述不足,本文通过对辽东湾地区吹填土进行野外调查和室内外实验,综述该地区吹填土分布及性质特征;选定2个影响因素差异典型场地,分别研究两类典型吹填土工程性质、微观结构特征及固结规律。

1 辽东湾吹填土分布及性质

研究区主要分布在盘锦、营口及锦州部分沿海地区,吹填土分布面积约137.38 km²,其中盘锦沿海地区约103.55 km²,锦州地区约33.83 km²。两地吹填土水平和垂向分布特征相似,分别位于辽河与小凌河西侧海岸带及入海口处,沿海岸线走向成条带状分布,局部因建设需要向海延伸较远。垂向上吹填土厚度随向海延伸逐渐变大,盘锦沿海区最深处超过11 m,锦州吹填区最深约8 m,高差变化平缓,下卧层为海积淤泥质土。

吹填土因其水力冲填沉积形成而得名。理论研究和工程实践表明,不同吹填物源成分、沉积固结时间、渗透条件等都对吹填土性质产生较大影响^[1,5]。辽东湾地区不同吹填场地固结时间0~5 a不等;吹填物源为辽河、小凌河清淤泥砂和海积

淤泥质土,级配多样;且场地渗透环境受下卧层影响。由于上述因素不同,整个地区吹填土性质差异极大。含水率最低22.41%,最高达67.2%;孔隙比0.58~1.51;液限24.6%~45.3%;压缩系数 a_{1-2} 为0.214~0.0897 MPa⁻¹,主要为中压缩性、高压缩性土。由于研究区范围很大,场地类型多样,全面研究困难,因此本文选取两处典型场地进行深入研究,旨在研究不同影响因素下,吹填土工程性质和固结过程差异。

2 典型场地性质及微观特征研究

2.1 场地吹填环境差异

1) 场地环境。

A场地位于大辽河入海口,下卧层为三角洲沉积物,淤泥质土及粉砂薄层互层,含较多砂类土,渗透条件良好。以地表为基准,地下水位-0.5 m。B场地原为滨海滩涂,下卧层以海陆交互相互滨海沉积物和海相淤泥质土为主,渗透条件很差,地下水位0 m,如图1所示。



a) A吹填场地



b) B吹填场地

图1 吹填现场

2) 固结时间。

A地区吹填约4 a, B场地约5个月。

3) 吹填物源差异。

土的粒度成分及颗粒形状都与土的成因类型

有密切关系^[5,15], 各种成因的土都具有一定的粒度特点。A 场地吹填料为陆相三角洲沉积, 砂含量高, 比表面积小, 表面能小, 亲水性相对较差, 压缩性低, 抗剪强度高; B 场地为海积淤泥质土, 黏粒相对较多, 颗粒比表面积大, 表面能大, 亲水性更强, 沉积固结较慢, 压缩性高, 抗剪强度低。

岩土矿物成分对吹填土固结速度也有不同影

响^[6]。对两场地吹填土进行矿物成分及含量测定, 见表 1。A 地吹填土明显含较多石英、长石等原生矿物, 颗粒粗大, 亲水性弱; B 地蒙脱石、伊利石等黏土矿物相对较多, 比表面积大, 双电层厚, 晶胞间距大, 亲水性更强, 水分子易渗入, 更有活性, 压缩性强, 抗剪强度低。受颗粒和矿物成分影响, A 场地土重力作用相对较大, 沉积固结较快, B 场地土沉积较慢。

表 1 A、B 场地吹填土矿物成分

样品号	矿物相对含量 $\omega(B)/10^{-2}$							
	Q	PI	fs	Am	I/S	I	K	Ch
A 场地	53	18	19	1	4	5		
B 场地	30	9	18	3	7	25	4	4

注: Q-石英, PI-斜长石, fs-碱性长石, Am-闪石, I/S-伊蒙混层, I-伊利石, K-高岭石, Ch-绿泥石。

2.2 不同深度吹填土性质分析

受固结时间、物源特征、场地渗透条件等因素影响, A、B 场地吹填土工程性质和微观结构有明显差异。由于上述因素, 自重固结条件下两场地固结过程明显不同, 主要表现为随深度增加, 工程性质和微观结构随深度变化有不同规律, 固结程度变化规律并不一致。

2.2.1 物理力学性质随深度变化

A 地吹填土厚约 3.2 m, B 地约 4.5 m, 但强度极差, 无法机械取样, 只能人工取样至 1.0 m。总结两地代表深度各项工程性质指标, 见表 2。A 地的天然含水率受地下水位影响, 随深度加深由 24.67% 增至约 30% 后变化不大, 压缩系数 a_{1-2} 随深度降低, 由 0.295 MPa^{-1} 减为 0.24 MPa^{-1} , 抗剪强

度随深度增加而变大; 由于吹填物源渗透性好, 固结时间长, 场地透水良好, A 地吹填土天然状态下经晾晒和自重压密, 固结较充分, 固结程度随深度增加而增大, 工程地质性质随深度增加而改善。B 场地天然含水率地表 52.63%, 地表以下 5 cm 处增至 71.76% 并随深度增加变化不大, 压缩系数 a_{1-2} 地表 0.843 MPa^{-1} , 5 cm 以下压缩系数至 1.25 MPa^{-1} 后变化较小, 抗剪强度表层稍大, 5 cm 以下因抗剪强度太小而测量误差很大; 由于 B 地物源渗透性差, 吹填时间短, 场地排水不良, 含有较多黏土矿物, 吹填土自重固结很慢且固结程度低, 处于自重固结早期阶段; 因晾晒作用水分蒸发, 地表形成约 5 cm 硬壳, 稍有强度, 而硬壳以下含水率高、压缩性高、强度极低, 且随深度变化不大。

表 2 不同深度工程性质

编号	深度/m	天然密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	含水率/%	孔隙比	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}
A 场地	0.2	1.93	24.67	0.73	6.18	11.5	0.295
	0.6	1.91	27.20	0.78	5.79	13.6	0.287
	1.4	1.95	29.08	0.85	5.68	14.2	0.264
	2.2	1.88	30.37	0.82	5.45	14.8	0.240
B 场地	0	1.69	58.63	1.47	4.30	6.2	0.843
	0.4	1.51	71.76	1.83			1.250
	0.6	1.54	72.30	1.78			1.325

2.2.2 微观结构分布特征随深度变化

微观结构是影响土体工程性质不同的重要内

因之一。吹填土随深度固结程度不同、工程性质不同, 其微观结构也有差异。

2.2.2.1 孔隙变化特征

分别对 A、B 两场地不同深度土样做室内压汞试验，试验结果见表 3：A 地土样孔隙体积小、孔隙率低、平均孔径小；B 地土样则孔隙率高，平均孔径大。随深度增加，A 地吹填土固结程度增加，孔隙体积、孔隙率、平均孔径均有下降；B 场地吹填土则为表层硬壳孔隙特征稍好，深部则各指标反而明显增大。

表 3 A、B 场地吹填土孔隙特征

编号	深度/m	孔隙总体积 / (mL·g ⁻¹)	孔隙率 / %	平均孔径 / μm
A 场地	0.40	0.203	36.20	0.124
	3.60	0.186	31.40	0.102
B 场地	0.05	0.736	47.05	0.542
	0.50	1.017	56.73	0.754

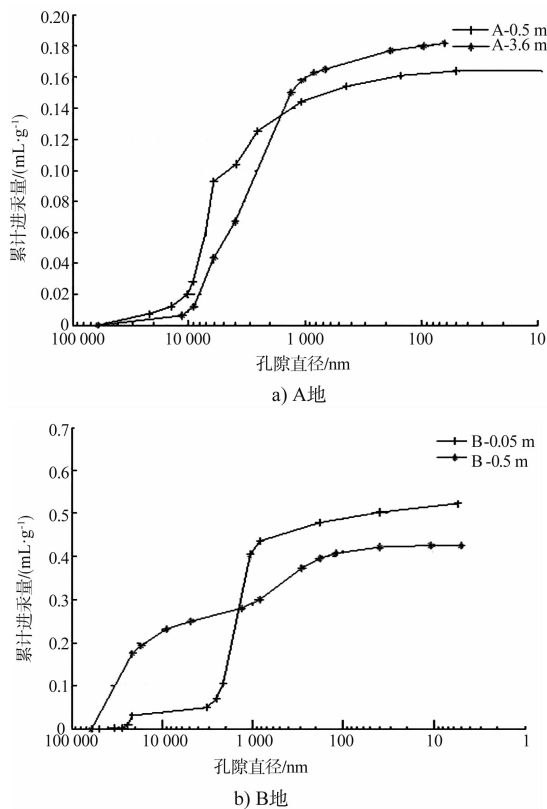


图 2 吹填土孔径与孔隙累计体积曲线

图 2 为孔径-孔隙体积累计曲线，曲线斜率表示该孔径区段内进汞量速率，反映不同孔隙体积所占总体积的大小。曲线斜率越大，表示该区段孔隙体积越多，曲线斜率越小，则表示其孔隙体积越少。图 3 为孔隙直径分布曲线，峰值越高，则该处孔隙越多。

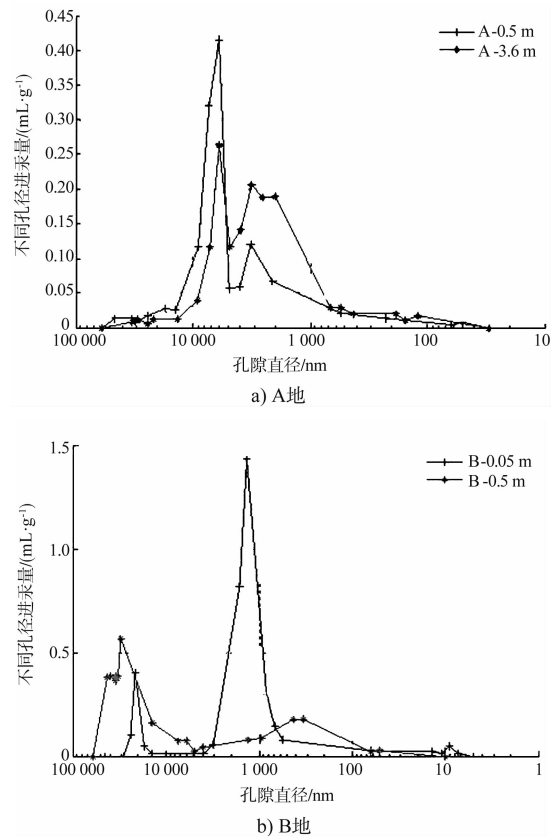


图 3 吹填土孔径直径分布曲线

从图中看出，A、B 两地不同深度曲线情况不同。图 2 中 A 地不同深度曲线很接近，曲线均先缓后陡，然后再变缓，且均在 1 ~ 10 μm 处斜率最高。图 3 中 A 地不同深度曲线，均为孔径 1 ~ 3 μm 和 6 ~ 10 μm 孔隙体积较大，有峰值，为优势孔隙。图 2 中 B 地不同深度曲线则有明显差异，0.05 m 处土先缓后陡，0.5 m 土处先陡后缓，斜率最大孔隙直径也不同，结合图 3，0.05 m 处吹填土孔隙直径 0.7 ~ 3 μm 和 15 ~ 21 μm，为优势孔隙，0.5 m 处孔径 5 ~ 30 μm 和 0.1 ~ 1 μm 为优势孔隙。以上分析表明：A 地不同深度吹填土，尽管固结程度不同，不同孔径孔隙体积有差别，但优势孔隙相同，表明处于同一固结阶段；B 地不同深度吹填土则不仅固结程度不同，不同孔径孔隙体积差异很大，且优势孔隙也不同，为不同固结阶段。

结合两种曲线，并依据前人对吹填土孔隙划分经验^[16-19]，划分土样孔隙分布特征（表 4）。A 地吹填土固结良好，自 0.4 ~ 3.6 m，固结程度增加。孔隙分布特征超大孔隙、大孔隙减少，而中孔隙、

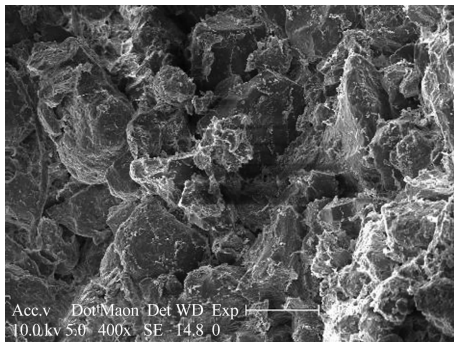
小孔隙含量明显增多。B 地表层失水固结, 随深度增加, 超大孔隙和大孔隙反而明显增加。总结 A、B 地土样结果表明, 从孔隙角度分析, 吹填土的固结是超大孔隙、大孔隙被压缩向中小孔隙转变的过程。

表 4 A、B 吹填土不同深度孔隙分布特征

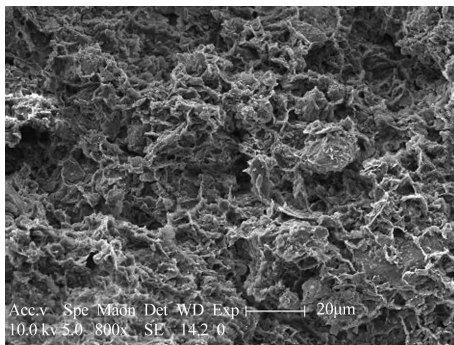
孔隙/ μm	A 场地分布率/%		B 场地分布率/%	
	0.4mm	3.6mm	0.05mm	0.5mm
超大孔隙 $d > 40 \mu\text{m}$	1.83	0.54	0	14.86
大孔隙 $4 \mu\text{m} < d \leq 40 \mu\text{m}$	61.59	35.52	8.38	44.57
中孔隙 $0.4 \mu\text{m} < d \leq 4 \mu\text{m}$	31.1	56.83	79.81	22.88
小孔隙 $0.04 \mu\text{m} < d \leq 0.4 \mu\text{m}$	4.88	6.56	7.81	16.75
微孔隙 $d \leq 0.04 \mu\text{m}$	0.61	0.55	4	0.94

2.2.2.2 微观结构

微观结构由基本单元体构成, 通常称为结构单元体, 主要有单粒 (原生矿物碎屑) 和集粒组成^[20]。对两场地不同深度土样做扫描电镜分析 (图 4)。



a) A 场地(0.3 m)



b) B 场地(0.05 m)

图 4 A、B 场地吹填土扫描电镜图片 (400 倍)

A 地吹填土呈骨架结构, 颗粒主要为原生矿物晶屑, 呈单粒状态并起骨架支撑作用。颗粒形状、大小很不均匀, 多以不规则轮廓板状和块状为主, 排列形态多种接触并存。B 地土样为淤泥质粉质黏土, 絮凝状结构, 矿物颗粒中次生和黏

土矿物明显增多, 以絮凝体集粒为基本结构单元, 少量原生矿物颗粒分布其中。矿物形态多为片状, 扭曲严重, 定向性差, 因而工程地质性质各向相近。

3 结论

1) 辽东湾地区吹填土面积约 103.55 km^2 ; 受吹填物源、固结时间、场地渗透条件等影响, 工程性质多样, 各项性质指标差异很大。

2) 辽东湾吹填土受各因素影响工程性质有明显差异, 成分特征、工程性质和微观结构均有差别。以 A、B 两类型典型场地为例, A 地吹填土以砂粒土为主, 原生矿物 91%; 相对含水率 24.67% ~ 30.37%、孔隙比 0.73 ~ 0.85、压缩性 $0.24 \sim 0.295 \text{ MPa}^{-1}$ 、抗剪强度高、孔隙体积及平均孔径小, 呈单粒骨架结构。B 地吹填土含较多黏粒土, 原生矿物 67%, 含水率 58.63% 以上, 压缩系数大于 0.843 MPa^{-1} , 抗剪强度低, 孔隙体积和平均孔径较大, 呈絮凝状结构。

3) 分析两场地工程性质和孔隙分布随深度变化, 总结 2 种类型吹填土固结规律: A 地吹填土 0.4 m, 3.6 m 处优势孔隙均为孔径 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 和 $6 \sim 10 \mu\text{m}$ 孔隙, 表明不同埋深固结程度不同, 但固结阶段相同, 该类型场地固结过程中重力作用明显, 垂向同时固结; B 地吹填土 0.1 m 和 0.5 m 优势孔隙不同, 固结过程重力作用较弱, 垂向不同深度不仅固结程度不同, 固结阶段也明显不同。

致谢

辽宁省地质矿产调查院为中国地质调查局“辽东湾地质环境调查评价”项目 (1212011120088) 及本文提供大力支持, 在此诚挚感谢。

参考文献:

- [1] 文海家, 严春风, 汪东云. 吹填软土的工程性质研究[J]. 重庆建筑大学学报, 1999, 21(2): 79-83.
- [2] 彭涛, 武威. 吹填淤泥的工程地质性质研究 [J]. 工程勘察, 1999(5): 1-5.