

浙江地区含硅藻类黏性土的工程性质研究

田丽霞

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:近年来随着大型工程的建设,基础越来越多地向地下深部地层延伸,在浙江地区深部地层经常会遇到一种类似 Q_4 年代的黏性土,含有硅藻类化石,具有与常规软黏性土不一样的物理力学性质,在外力作用下会出现强度突然下降和变形突然增大的现象,对工程安全造成不利影响。通过浙江地区某项目,对此类含硅藻类黏性土从微观结构、矿物组成和室内土工试验等方面进行研究,总结其工程特性,为工程建设提供有益的参考。

关键词:硅藻类黏性土;矿物成分;物理性质;力学性质;室内土工试验;变形

中图分类号: TU41

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)12-0208-05

0 引言

在我国长三角沿海一带地面下50 m以浅广泛分布着软黏性土地层,多是第四系全新统 Q_4 沉积层,为海积、冲湖积沉积,主要由伊蒙混层黏土矿物组成,物理力学性质主要表现为高含水率、高液塑限、高压缩性、高灵敏度、低承载力等工程特性,作为工程建设的不良地层被人们所重视,但在近些年的大型桥梁、超高层、超深基坑等工程项目建设中,随着人们对深部地层的开发利用,在地面下50 m以深常常会揭露一种类似 Q_4 沉积特性的黏性土层,按历史成因可划为第四系上更新统 Q_3 沉积层,冲湖积沉积。此类黏性土具有触摸手感细腻,天然密度小,孔隙比大,高灵敏度,原生结构强度较高,但在外力作用下易产生结构破坏出现强度迅速下降和变形突然增大的现象,并且在室内土工试验成果中会出现物理和力学性质指标不匹配的特殊现象。经对其成分进行分析,含有大量硅藻类化石,化学成分以 SiO_2 为主,矿物成分为蛋白石及其变种,主要由古代硅藻的遗骸形成。查阅相关资料,可称为硅藻土。关于硅藻类土对工程影响的研究文献较少,高大钊、李韬等^[1]编著的《岩土工程试验、检测和检测》中记录,我国工程人员在项目时遇到高压缩性湖相沉积土的物理指标和力学指标不匹配的问题,高老师答疑此类土是一种成因条件比较特殊的土,一般认为是 Q_4 的,但这种软土也可能是 Q_3 的,所以在工程设计中

不宜套用我国已有的经验公式和经验数据,而需要做一些有针对性的试验,按照实际的试验结果来评价。余俊杰、许圣华等^[2]在《宁德海相软黏土工程特性与沉积环境初探》一文中对宁德环澳软黏土从历史成因、微观结构、物理力学性质等方面进行研究,提到了含硅藻质软黏土高强度、高灵敏的特性。在工程勘察工作中也很少单独命名和划分成层,造成土工试验指标统计时,对此类土指标往往按异常数据进行剔除,因而不被工程技术人员重视,留下工程安全隐患。另外室内土工试验工作中对此类土也仅进行物理力学性质分析,很少进行成分和结构分析。

本文将从此类含硅藻类黏性土的微观结构、矿物成份和室内土工试验等方面进行研究,为今后工程建设提供参考。

1 研究概况

本次研究基于浙江宁波杭州湾新区某桩基项目,场地地貌类型属浙北滨海平原。根据地质资料,在勘探深度80 m范围内地层自上而下分为6个大层,本文研究的含硅藻类黏土分布于场地下53~63 m深度范围内,按浙江省工程标准《工程建设岩土工程勘察规范》(DB33/T 1065—2019)^[3]地层可划分为 $\textcircled{6}_2$ 层黏土,属 Q_3 沉积层,冲湖积成因类型。

本次研究方法,选取场地内代表性土样,通过扫描电镜进行微观结构和矿物成分分析,通过室内土工试验,进行物理性质(含水率、密度、孔隙比、液塑限、有机质含量)和力学性质(固结试验、先期固结压力试验、剪切试验、三轴试验、无侧限试验)等方面的研究。

收稿日期: 2022-06-14

作者简介: 田丽霞(1980—),女,硕士,高级工程师,从事岩土工程勘察测试工作。

2 含硅藻类黏土结构及矿物成分

利用同济大学扫描电镜(日立 SU1510 型)对所取的代表性含硅藻类黏土进行电镜扫描成像,从微观角度认识其矿物组成及原始结构,见图 1、图 2。

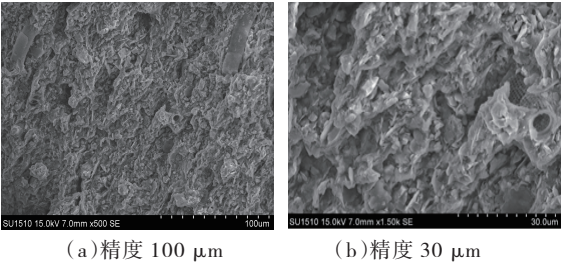


图 1 垂直向电镜扫描图

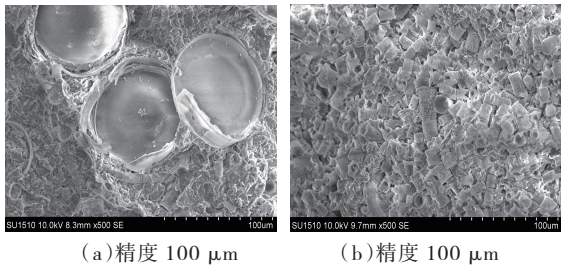


图 2 水平向电镜扫描图

从图 1 可以看出:该层黏土除了有正常的伊蒙混层高岭石、伊利石等成分外,还含有大量的藻类化石;从图 2 可以看出:该层黏土中的藻类化石主要为圆筛藻及直链藻类。藻类的存在导致黏土结构排列不规则、不紧密,具有很大的孔隙,因而表现出含水率大,孔隙率大,吸附力强,同时天然密度小,重量轻的特点。该层黏土由于沉积年代久、埋藏深,固结历史长,具有一定的结构强度,但圆筛藻及直链藻类化石本身结构强度并不高,因此在外力作用下易破碎,导致土体结构强度大幅降低,变形大幅增加,从而使该含硅藻类黏土具有较高的灵敏度和压缩性。

3 含硅藻类黏土物理力学性质研究

3.1 含硅藻类黏土的物理性质

3.1.1 常规物理性试验

对该项目场地内 142 组埋深在 53 ~ 63 m 的黏性土样品进行室内常规物理性试验,对试验结果统计见表 1。

对表 1 分析:该层黏土跟普通软黏土相比具有高含水率(最高为 79.7%)、小密度(最小为 1.47 g/cm³)、高孔隙比(最高 2.370)、高孔隙率(最高为 70.3),高液限(最高 80.7%)及高塑限(最高 42.0%)的特性。原状土试验中手感触压强度较高,但根据结构破坏后进行的液塑限试验结果,土体状态可塑状占比

表 1 土层物理性质指标统计表

项目	含水率 /%	密度 / (g·cm ⁻³)	孔隙比	孔隙率	液限 /%	塑限 /%	塑性指数	液性指数
最小值	36.8	1.47	1.106	52.5	38.1	20.7	17.4	0.49
最大值	79.7	1.81	2.370	70.3	80.7	42.0	42.1	1.77
平均值	55.0	1.65	1.598	61.1	58.6	31.0	27.6	0.88

注:液限采用 76 克锥下沉 10 mm 测得,塑限采用滚搓法。

20%,软塑状占比 79%,流塑状占比 1%,表明土体结构强度不高。另外该黏土指标离散性较大,土体均匀性差,分析原因主要是土样中所含硅藻化石分布不均和硅藻的孔隙结构造成。

3.1.2 有机质含量试验

在场地内取 10 组含硅藻类黏土样品进行有机质含量测试,采用烧灼法,烧灼温度参考国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—2012)^[4]按 550℃确定,对试验结果统计见表 2。

表 2 土层烧失量统计表

项目	密度 / (g·cm ⁻³)	烧失量 /%
最小值	1.54	5.5
最大值	1.70	6.5
平均值	1.64	6.1

对试验结果表 2 分析:土样的原始密度非常小,重量很轻,与常规的有机质土较接近,但有机质含量并不高,说明含硅藻类黏土虽然由古代硅藻的遗骸所组成,但已经沉积成化石,其化学成分以 SiO₂ 为主,因此与有机质土性质有很大区别。

3.2 含硅藻类黏土的力学性质

3.2.1 固结试验

对该黏土层进行了 95 组标准固结试验,加荷序列按照土层埋深和附加应力综合确定为 50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa、800 kPa、1 600 kPa,稳定标准为每级压力下每小时变形量不大于 0.01 mm。选取 100 ~ 200 kPa 压力下的固结试验结果进行统计,见表 3。

表 3 土层固结试验指标统计表

项目	压缩系数 /MPa ⁻¹	压缩模量 /MPa
最小值	0.22	2.40
最大值	1.00	12.80
平均值	0.50	5.70

对表 2 分析:该层黏土固结指标的变化范围和离散性都较大,压缩性为中等 ~ 高压缩性。

为进一步分析固结指标的变化特性,对压缩系

数指标绘制了散点图,见图3。

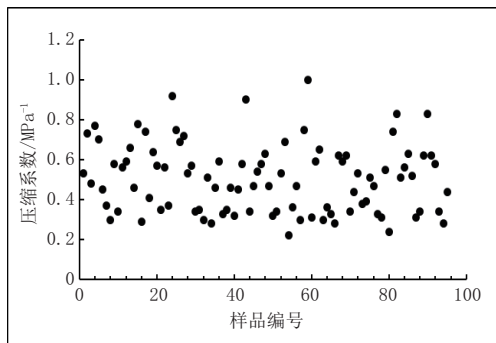


图3 压缩系数指标散点图

从图3可以看出:压缩系数指标以0.5 MPa⁻¹为中心轴上下变化,总体上压缩性偏高,主要为高压缩性。

另外在本次固结曲线中发现普遍存在反常现象:即在某级荷重前曲线平缓,压缩变形小,但在超过一定荷重后,曲线突然发生陡降,压缩变形突然增大,然后又趋于平缓。为了寻找其突变规律,选取6组样品,采用次固结增量校正试验方法进行高压固结试验,加荷序列为50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa、500 kPa、600 kPa、700 kPa、800 kPa、900 kPa、1 000 kPa、1 200 kPa、1 600 kPa、3 200 kPa,典型的固结试验曲线结果见图4。

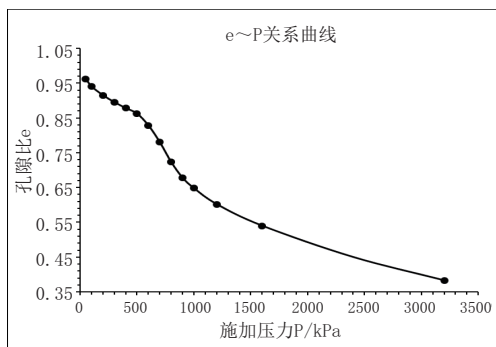


图4 高压固结试验曲线图

从图4分析:土样固结曲线在压力50~500 kPa区间时,土样变形稳定,其压力与孔隙比变化趋向于一次线性关系,压力增至600 kPa以后,土样变形出现明显下降,压力与孔隙比变化趋向于二次线性关系,随后变形又趋于平缓。这一台阶式固结变形曲线与常规软黏性土圆滑的固结变形曲线明显不同,说明含硅藻类黏性土强度受硅藻孔隙结构强度和黏土本身结构强度的双重控制,其中硅藻孔隙强度对变形影响较大。试验开始时,土样的固结变形主要由硅藻孔隙结构强度控制,当压力超过硅藻孔隙结构强度后,硅藻孔隙结构破坏,造成土体出现明显沉降变形。继续施加荷重,土体进行新一轮的固结变形,此

时主要由黏土本身结构强度发挥作用,因此曲线变化平缓且稳定。在本场地中600 kPa压力荷重是此类含硅藻类黏性土的硅藻孔隙强度破坏的极限值。因此在工程中需注意含硅藻类黏性土这一特性对承载力和沉降变形的影响。

3.2.2 先期固结压力试验

为了解该黏性土的固结历史,采用全自动固结仪进行先期固结压力试验,试验方法为标准固结,最大压力为3 200 kPa,典型的试验曲线结果见图5。

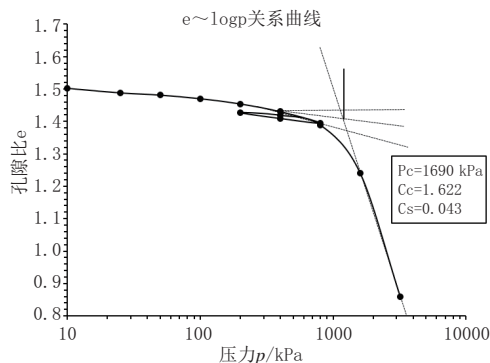


图5 先期固结压力试验曲线图

根据试验曲线,采用Casagrande图解法求得土样的先期固结压力 P_c 值,然后根据土层自重应力计算得到该类土的超固结比。对试验结果进行统计,先期固结压力 P_c 值在2~4,属超固结土,相比较常规软黏性土(P_c 值1左右)要大出很多,说明此类黏性土沉积历史较长,固结程度较高,具有一定的结构强度。

3.2.3 直接剪切试验

对该类黏性土进行直接剪切试验,试验方法分别采用直剪快剪和固结快剪方法,垂直压力采用100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa四级荷重。本次共进行了26组直剪快剪试验和43组固结快剪试验,试验结果统计见表4。

表4 直接剪切试验指标统计表

统计项目	直剪快剪		固结快剪	
	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
最小值	16.2	2.4	10.7	3.5
最大值	73.2	12.3	68.4	14.5
平均值	41.6	6.5	33.8	8.0

对试验结果表4进行分析:

(1)同一种试验方法得到的剪切强度指标离散性非常大,并且剪切强度指标与天然密度、孔隙比等物理性质指标没有相关性。分析原因主要是该类黏土的剪切强度受所含硅藻类结构影响较大,由于土样

硅藻类含量及分布不均匀,故反映出剪切强度变化范围较大。

(2)不同的试验方法得到的黏聚力普遍较大,与常规软黏性土有很大不同。该类黏土虽然天然密度较小,多呈现为软塑状态,但得到的剪切强度指标较高,出现剪切力学参数与物理性状态不匹配的情况。分析原因主要是由于该类黏性土固结历史较长,属超固结土,历史上受过比现应力大的有效应力的压密,因此具有比正常固结土高的抗剪强度,另外,由于含硅藻类化石,导致土体内部结构排列不规则,颗粒之间接触面较粗糙,也增大了抗剪强度。对于物理性状态不佳主要受含硅藻类成份结构导致的高孔隙率影响,造成土体出现低密度、高含水率、高孔隙比等现象。

(3)不同的试验方法得到的内摩擦角普遍较小,并且两种试验方法获得的内摩擦角差别不大,说明固结排水对该黏性土原始强度影响并不明显。分析原因主要是土体固结度较高,且硅藻类结构强度也较高,而试验加荷受仪器设备限值,不能使土样进行充分固结排水,因而得到的内摩擦角值差异不明显。

3.2.4 三轴固结不排水剪试验

对该类黏性土采用全自动三轴仪进行三轴固结不排水剪切试验,选取代表性土样制成3个标准试样,周围压力分别按200 kPa、300 kPa、400 kPa施加。试验结果曲线见图6、图7。

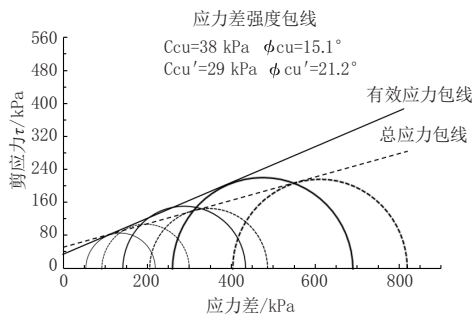


图6 三轴应力强度试验曲线

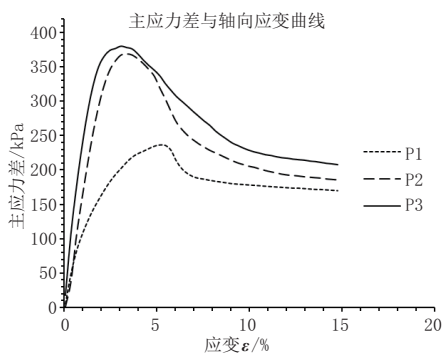


图7 三轴应变试验曲线

从图6可以看出:该类黏土总应力指标和有效应力指标均较大,受其原始结构强度影响,其剪切强度大于常规软粘性土。

从图7可以看出:该类黏土强度破坏峰值明显,呈现为脆性破坏特征,明显不同于普通软粘土无峰值的剪切破坏曲线。

3.2.5 无侧限抗压强度试验

对该类黏性土选取10组土样进行无侧限抗压强度试验,试验结果见表5。

表5 无侧限抗压强度试验指标统计表			
统计项目	原状样强度/kPa	扰动样强度/kPa	灵敏度
最小值	105.9	16.7	4.2
最大值	377.4	36.3	22.9
平均值	232.2	25.2	10.6

对统计表4分析:该类黏土原状样抗压强度值很大,普遍高于常规的软黏土,但扰动样抗压强度值较低,灵敏度非常高,属于高灵敏~极灵敏土,个别为流性,表明土层结构强度对外力作用敏感。

典型的试验曲线见图8,试样破坏情况见图9。

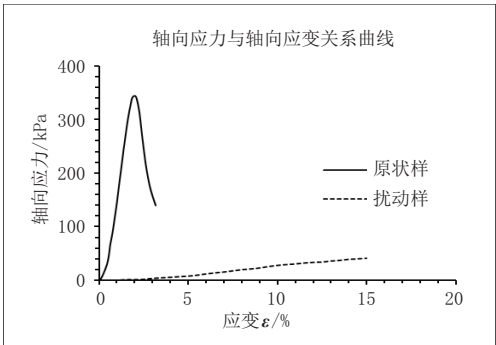


图8 无侧限抗压强度试验曲线



图9 无侧限抗压强度破坏图

从图8可以看出:土样原状样试验曲线呈现陡升和陡降形式,土样结构破坏峰值强度明显,而此时

轴向变形却不大。土样扰动样试验曲线呈现缓升形式,且无强度峰值。

从图9可以看出:土样剪切破坏形态明显,轴向变形很小,基本上看不出有什么变化,呈现出典型的脆性破坏特征。

4 结 语

通过对含硅藻类黏性土的微观结构、矿物成份以及室内土工试验等方面的研究,可以得出以下结论:

(1)含硅藻类黏土具有高含水率、高孔隙比、高液塑限、高灵敏度、高压缩性、高固结比、低密度等工程特性,与常规软黏土和有机质土存在很大的不同,工程建设中需引起重视。

(2)含硅藻类黏土的物理力学性质受所含硅藻组成结构和分布不均的影响,导致指标离散性很大,并且物理性质指标不佳(如密度小,孔隙比大),而力学性质指标较好(如剪切强度大、无侧限抗压强度高),两者明显不协调。因此在土工试验数据整理及岩土设计参数的选用过程中不能按常规经验,需充分考虑其特殊性。

(3)在工程建设中,建议对含硅藻类黏土除了进行常规的物理力学性质试验外,宜增加微观结构或矿物成分分析试验。另外考虑到此类土的特殊性,建议单独划分成层,并根据试验结果对土层定名为硅藻类土,以便引起工程技术人员重视。

(4)根据固结试验,含硅藻类黏土的变形特征由硅藻类结构强度和土体本身强度双重控制,具体表

现为在受到外力作用下,先是受硅藻孔隙结构强度控制,超过一定压力后,硅藻孔隙结构破坏,产生陡降变形,然后受土体本身结构强度控制,开始新一轮的固结稳定过程,产生平缓变形。因此,确定硅藻孔隙结构强度对工程结构变形控制至关重要,室内试验需要确定含硅藻类黏土的临界荷载,以便为设计确定承载力和变形要求提供参考依据。

(5)根据三轴剪切试验和无侧限抗压强度试验,含硅藻类黏土原状样具有较高的抗压强度,但土体结构破坏后,呈现脆性破坏,强度大幅降低,属高灵敏~极灵敏土,对施工过程控制及后期建筑物地基沉降存在很大的隐患。故建筑物地基持力层遇到该层土时,宜穿过该层或增大与该层的安全距离,以保证工程安全。另外由于该层土灵敏度高,采用桩基振动沉桩时会造成该层土结构破坏,承载力急剧下降,且恢复缓慢,因此遇到此类土层时不建议使用振动成桩工艺。

(6)本次研究基于宁波杭州湾新区某桩基项目,内容和深度有限,建议在今后能有更多此类含硅藻类黏土特性的研究,为工程设计、施工和建设提供合理、可靠的地质依据。

参考文献:

- [1] 高大钊,李韬,岳建勇.岩土工程试验、检测和监测[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [2] 余俊杰,许圣华,冯启,等.宁德海相软黏土工程特性与沉积环境初探[J].工程地质学报,2021,29(4):1207-1215.
- [3] DB33/T 1065—2019,工程建设岩土工程勘察规范[S].
- [4] GB 50307—2012,城市轨道交通岩土工程勘察规范[S].

(上接第198页)

可视为“1+1NX”(组合型环卫+绿化养护+市政养护+水系养护+巡查职能)。该类模式的优势在于,首先,环卫工作在时间、空间上的高包容性具有能够更好整合其他专业工作内容的客观基础。其次,该类模式具有菜单化模块化特征,可以最大限度地搭配区域特性,普适性大,落地性强,能够贴合综合养护多信息、多要素、多行业的路径特点。该类模式通过“一体化标准、一体化作业、一体化管理”的方式,能够达到“服务效能提升、规模效应凸显、协同作用增

强”的实施效果,实现养护资源的有效整合,具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 罗海元,王伟.完善新时代城市管理机构职能与管理体制研究——基于我国八省市三级城市管理实践考察[J].中国行政管理,2019(8):82-88.
- [2] 刘洁欣.多规合一”下村镇建设用地控制线划定研究——以齐河表白寺镇和昌南大店镇为例[D].山东:山东建筑大学,2017.
- [3] 杨志翔.市政公共设施综合管理一体化养护的实践与思考[J].市政设施管理,2019(2):3.