

武汉长江I级阶地原状土样获取技术研究

李光诚¹, 邵勇^{1*}, 伊盼盼², 李玉才³, 王璐³, 孔凡水³, 鲁雄波³

(1. 湖北省城市地质工程院, 湖北 武汉 430050; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430061;

3. 湖北地矿建设勘察有限公司, 湖北 武汉 430050)

摘要: 本文分析了原状土样获取的技术标准现状和行业现状, 研究了钻进方式、取样工具选取的适宜性综合分析、土样的封装及运输。对比试验研究表明, 在武汉长江I级阶地粘土层段采用锤击钻进配合使用敞口薄壁取土器, 在砂土层采用锤击和回转组合钻进配合使用内置环刀取土器, 辅以胶盖自封和胶带密封, 取得的原状样品在现场质量评测、室内样品制备性和试验性方面均有比较良好的表现, 基于此套方法获取的原状样原始结构受扰动较小, 土的原始结构力保持良好。

关键词: 原状样; 取土器; 工程勘察; 土工试验; 锤击钻进; 回转钻进; 武汉长江I级阶地

中图分类号: TU412; P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2024)04-0163-09

Research on technology of obtaining undisturbed soil samples from Wuhan first stage terrace of the Yangtze River

LI Guangcheng¹, SHAO Yong^{1*}, YI Panpan², LI Yucan³, WANG Lu³, KONG Fanshui³, LU Xiongbo³

(1. Hubei Institute of Urban Geological Engineering, Wuhan Hubei 430050, China;

2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan Hubei 430061, China;

3. Hubei Geological Build Prospecting & Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430050, China)

Abstract: In this paper, the current technical standards and industry status for obtaining undisturbed soil samples is introduced, moreover, the drilling methods, comprehensive analysis of suitability for sampling tool selection, soil sample packaging and transportation methods are studied. The comparative experimental research indicates that the original obtained samples show excellent performance in on-site quality evaluation, indoor sample preparation, and experimental performance under the following two conditions in Wuhan first stage terrace of the Yangtze River. In clay layer, hammer drilling combined with open thin-walled soil samplers is adopted, while in sandy soil layer, the hammer and rotary drilling combined with built-in ring cutter soil sampler is used supplemented by rubber cover and tape sealing. Based on this method, the original structure of the sample is less disturbed, and the original structural force of the soil is also well maintained.

Key words: undisturbed sample; soil sampler; engineering investigation; geotechnical test; hammer drilling; rotary drilling; Wuhan first stage terrace of the Yangtze River

收稿日期: 2023-12-05; 修回日期: 2024-01-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.04.020

基金项目: 国家自然科学基金项目“降雨入渗激励下非饱和成层土边坡的优势流动机理与稳定性分析”(编号: 12002243); 湖北省地质局科技项目“武汉地区基坑开挖数值分析中土体硬化模型参数的试验研究”(编号: KJ2023-46); 湖北省教育厅科学研究计划项目“坡体裂隙劣化的力学机理及互补模型研究”(编号: B2020254)

第一作者: 李光诚, 男, 汉族, 1971年生, 主任, 正高级工程师, 水工环专业, 硕士, 从事岩土工程工作, 湖北省武汉市汉阳大道298号, 505960243@qq.com。

通信作者: 邵勇, 男, 汉族, 1989年生, 高级工程师, 水工环专业, 硕士, 主要从事环境岩土、环境地质、环境污染防治工作, 湖北省武汉市汉阳大道298号, 654988610@qq.com。

引用格式: 李光诚, 邵勇, 伊盼盼, 等. 武汉长江I级阶地原状土样获取技术研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(4): 163-171.

LI Guangcheng, SHAO Yong, YI Panpan, et al. Research on technology of obtaining undisturbed soil samples from Wuhan first stage terrace of the Yangtze River[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(4): 163-171.

0 引言

第四系松散覆盖层原状土样品的获取是工程地质勘察以及岩土工程科研领域保障成果质量的关键环节。除原位测试外,基于原状土样的室内土工试验结果是指导工程设计、施工和准确了解岩土层性质及其变化规律的核心参数。土的各项物理及力学指标的可靠性,首先取决于土样的质量,取得最接近天然结构的原状土样十分关键,因此,其钻进方法、取土方法、取土器的选用、土样保存及运输等需要结合规程规范和地区工程实践经验归纳总结研究。

关于原状土样获取的研究较少,自2009年岩土工程勘察规范最新修订版实施以来,在中国知网通过篇名检索仅能获取到20几篇与原状土样获取相关的中文文献,即使从1950年代至今,总的文献量也不多,表明此方面的研究较为缺乏。

1 原状土样获取的技术现状及分析

1.1 技术标准现状

现行与原状土样获取相关的技术标准有2009年修订实施的国标《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001(2009)),行标《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T 87—2012),以及JG/T 548至JG/T 557的10项关于取土器的建筑工程类推荐标准(见表1)。技术规程关于钻探、钻孔取样的规定较详细,对钻进方法和不同等级土试样的取样工具适宜性与国标的规定基本一致(钻进方法适用性规定有部分不同),但增加了3种贯入式取土器(自由活塞薄壁取土器、黄土取土器、束节式取土器)、单(双)动双(三)重管回转式取土器和环刀取砂器的技术指标。10项取土器技术标准则对各类取土器的规格、结构、基本参数、检验等做了具体规定。

1.2 实际工程原状样获取现状

经走访调查、市场分析和文献总结,实际工程中原状样获取的状况并不理想,主要体现在以下3点:(1)根据现有理论和技术标准,取样过程中土的应力状态、土的结构和含水量等客观变化引起的原状土的扰动是不可避免的,土试样级别的划分也具有较强的经验性质和地区差别,因此对“原状样”的定义目前仅能用近似形容,需要结合不同的试验目的因地制宜地确定原状样的采取方法;(2)工程勘察行业竞争激烈,采样队伍的机械设备和技术水平

表1 原状土样获取相关技术标准

Table 1 Technical standards for undisturbed soil samples

标准名称	标准号	实施日期
岩土工程勘察规范	GB 50021—2001(2009)	2009-05-19
建筑工程地质勘探与取样技术规程	JGJ/T 87—2012	2012-05-01
厚壁取土器	JG/T 548—2018	2018-12-01
敞口薄壁取土器	JG/T 549—2018	2018-11-01
自由活塞薄壁取土器	JG/T 550—2018	2018-12-01
固定活塞薄壁取土器	JG/T 551—2018	2018-11-01
水压固定活塞取土器	JG/T 552—2018	2018-12-01
束节式取土器	JG/T 553—2018	2018-12-01
黄土取土器	JG/T 554—2018	2018-12-01
三重管单动回转取土器	JG/T 555—2018	2018-12-01
三重管双动回转取土器	JG/T 556—2018	2018-12-01
内置环刀取土器	JG/T 557—2018	2018-12-01

参差不齐,常发生为了赶工期和降成本,简化取样工序和器具,直接把从岩心管内土心割取的土样装进样筒作为原状样送土工实验室,达不到土试样原定的质量等级;(3)在一些环境敏感的重点建设工程项目和岩土工程科研项目中,由于委托取样单位和钻探施工单位沟通不足,对现场作业人员交底不充分,经费投入有限等原因,导致原定的高标准取样方案无法精确实施,最终也达不成原有的取样目标。

2 武汉长江Ⅰ级阶地原状土样获取实践

2.1 取样地点

土样均取自位于武汉长江Ⅰ级阶地冲积相I₃工程地质亚区的某基坑工程项目场地,距离长江北岸线3.0 km。

该场地前期已开展了岩土工程勘察,为此次研究提供了基础。于紧贴场地红线原30号勘察钻孔东北侧约7 m处,地表原始状态较好的位置确定了试验研究钻孔的位置。在40 m孔深范围内(为本基坑最大挖深3倍左右),原勘察钻孔共揭露了1层杂填土、3层粉质粘土(其中③层粉质粘土后经试验判定为粉土)和3层砂土,其中,①层杂填土为杂色,主要为建筑垃圾、碎石、砖块夹粘性土组成,结构松

散,土质不均,硬物质含量约 30%,堆积年限<3 年;
③层粉质粘土为褐灰—褐黄色,软—可塑,含氧化铁、铁锰质,切面光滑,干强度一般,韧性一般;④层粉质粘土为褐灰—褐黄色,可塑,含氧化铁、铁锰质,干强度一般,韧性一般,局部夹有薄层粉土;⑤₁层粉砂为青灰色,稍密—中密,含云母片、长石,局部夹有薄层粉质砂土、粉土;⑤₂层细砂为青灰色,中密,含云母片、长石,砂质较纯;⑤₃层细砂为青灰色,中密—密实,含云母片、石英、长石,砂质较纯,偶见腐木,局部地段底部夹少量粗砂、砾石,含量较少,约 3%~5%,偶见砾卵石,如图 1 所示。其中,地表以下 3~9 m 为粘土层,每层厚度 2 m 左右,砂层则较厚。试验研究钻孔实际揭露的地层及位置分布与原勘察钻孔基本一致。为满足土工试验所需样品数量要求,对粘土层全部深度内取样,砂土层间隔深度取样。

2.2 钻进方法选取及钻孔质量控制

国标规范和技术规程对 7 种取样钻进方法的适宜性进行了规定,但技术规程关于冲击钻探、锤击钻探和振动钻探的规定和国标稍有不同,此处以国标规范为准进行讨论。根据前文所述,本次取样地层有粘土层、砂土层和可能夹有的粉土层,要求采取不扰动试样。将这 4 项要求与国标规范规定的钻

土层序号	土层代号	土层名称	钻孔柱状图	埋深/ m	标高/ m
①	Q ^{ml}	杂填土		2.30	18.86
③	Q ^{al}	粉质粘土		5.20	15.96
④ ₁	Q ^{al}	粉质粘土		7.20	13.96
④ ₂	Q ^{al}	粉质粘土		9.00	12.16
⑤ ₁	Q ^{al}	粉砂		23.60	-2.44
⑤ ₂	Q ^{al}	细砂		35.00	-13.84
⑤ ₃	Q ^{al}	细砂		43.70	-22.54

图 1 参照钻孔(编号 30)揭露地层情况

Fig.1 Lithological conditions drilled by reference hole (No. 30)

探范围适用表叠加形成表 2,从表中可以看出,冲洗、冲击及无岩心钻探由于存在红色项目(不适用)被直接排除;锤击和岩心钻探最满足 4 项要求;振动钻探最满足 3 项要求,基本满足 1 项要求;螺旋钻探最满足 2 项要求,基本满足 2 项要求。仅从规范角度看,锤击和岩心钻探均为最佳钻进方法。

表 2 钻进方法适宜性综合分析选取

Table 2 Comprehensive analysis for the suitability of drilling method

钻探方法	钻进地层					勘察要求	
	粘性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别、采取不扰动试样	直观鉴别、采取扰动试样
螺旋钻探	++	+	+	—	—	++	++
回转 无岩心钻探	++	++	++	+	++	—	—
岩心钻探	++	++	++	+	++	++	++
冲击 冲击钻探	—	+	++	++	—	—	—
锤击钻探	++	++	++	+	—	++	++
振动钻探	++	++	++	+	—	+	++
冲洗钻探	+	++	++	—	—	—	—

注:—表示此种方法不适用,++表示此种方法适用,+表示此种方法部分适用。

张水云等^[1]指出,钻进方法应视所在地区地层情况与现有设备情况而定,不论是采用击入、压入、旋切,都各有其优缺点,没有哪一种取土方法在任何地层都能保证十分适合,他认为在较致密硬实地层采用旋切法较合适,在含水率较高的粘土和粉土

层则多采用重锤少击法,在软土层、淤泥质土层则多采用快速匀速压入法或一次击入法效果较好。王卫东^[2]在钻孔原状土样的方法探讨中认为,钻孔时采用快速回转钻进方法较冲击钻进方法效果好,如果采用冲击钻进方法,宜重锤少击,避免多次振

动而使土体原始结构破坏,亦提到重锤少击取土方法在国内被很多勘察单位采用,也是相关标准推荐采用的取土方法。徐晓宇^[3]通过对比重锤少击法和回转钻进法在花岗岩残积土地层中的应用,得出重锤少击法比回转钻进法对土体产生的扰动小。田秀雨等^[4]认为应尽可能采用重锤少击法和连续压入法,以保证土样的天然结构不受扰动,但并未给出具体适用条件。

具体到本次实践研究,综合上述前人经验和表2采用了回转钻进和重锤少击结合的方式。在连续取样的9 m深粘土层段采用锤击钻进,在间隔取样的砂土层段,只在取样段采取锤击钻进,取样段之间的覆盖层则采用回转钻进。这样做既可以充分提高在砂层中的钻进效率,亦能和所选取的取土器兼容配套。

在钻孔质量控制方面,孔口以下设置了4 m长套管,防止缩孔坍塌,辅以泥浆护壁和钻孔冲洗,孔径130 mm,满足取土器下放要求的最小孔径,孔深40.2 m。采用XY-1A-4型钻机钻进,图2为现场作业。

2.3 取土器的选取

主要涉及软-可塑粘性土、可塑粘性土、粉砂、细砂及可能夹有的粉土的取土器及取样方法的选



图2 钻孔取样现场作业情况
Fig.2 On-site sampling operation

取。将取样要求与技术规程规定的取样工具适宜性叠加形成表3(标示方法同表2),可以看出:(1)除单动三重管和原状取砂器外,其余取土器均不适用细砂的取样;(2)没有一种取土器能同时完全适用软塑和可塑粘土的取样,考虑到可塑粘土占主要部分,自由活塞薄壁取土器和单动三重管可列为优先选项,固定及水压活塞和敞口薄壁取土器可列为备选项,双动三重管取土器不考虑。国标规范在岩土试样的提取条文说明中推荐采用标准薄壁取土器。

表3 取样工具适宜性综合分析选取
Table 3 Comprehensive analysis for the suitability of sampling tools

土试样 质量等 级	取样工具	适用土类										
		粘性土					粉土	砂土				砾砂、碎石 土、软岩
		流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬		粉砂	细砂	中砂	粗砂	
I	薄壁取 土器	固定活塞	++	++	+	—	—	+	+	—	—	—
		水压固定活塞	++	++	+	—	—	+	+	—	—	—
		自由活塞	—	+	++	—	—	+	+	—	—	—
		敞口	+	+	+	—	—	+	+	—	—	—
	回转取 土器	单动三重管	—	+	++	++	+	++	++	++	—	—
		双动三重管	—	—	—	+	++	—	—	++	++	—
I~II	原状取砂器	—	—	—	—	—	++	++	++	++	++	+

注:探井(槽)中刻土适用全部土类,现场不具备此类采样条件,不在表中列出。

对于不同取土器在实践中的应用表现,可查阅的前人文献非常有限。王晓峰等^[5]对比了水压式与敞口式薄壁取土器所采取样品试验指标的差异性,但并未明确给出孰优孰劣的结论。张力群^[6]仅从取土器的参数层面给了一些建议,并未提及在实践中具体应如何选择取土器类型。

本次实践研究取土器的选取主要根据以下几个方面综合考虑:(1)取土器的易得性和经济性。经向多家工勘配件企业询价咨询,单动三重管较为少见,定制调运价格昂贵、时间较长,维修替换亦不便捷。(2)取土器的易用性。敞口薄壁取土器结构上只有接头、排浆孔、活塞、废土筒、连接套和取样

管,自由和固定活塞薄壁取土器则多了锁卡总成、活塞杆、接长杆等部件,结构更复杂、更易损坏、价格高。(3)钻探施工单位更倾向使用操作简便、技术成熟、使用普遍的取土器,结构复杂精密的取土器如操作使用不当,反而会适得其反。综合以上分析,本次实践研究粘性土采用敞口薄壁取土器(规格TB 75,取样管内径75 mm,取样管长度500 mm),砂土则采用原状取砂器(内置环刀取土器规格TK 89×64.8×61.8,取标准贯入值30以下基本参数),其结构部件及拆分见图3所示。



(a) 内置环刀取土器(环刀等结构部件)



(b) 敞口薄壁取土器(薄壁取样管等结构部件)

图3 本次实践研究所选取的两种取土器

Fig.3 Two types of soil samplers selected for this practical research

2.4 现场原状样品质量初步评测

将取土器提出孔口拆下取样管后,立即对土样的质量进行现场初步评测,以判断试样扰动程度。从图4可以直观看出:(1)切开的粘土样断面及表面光滑完整,样体完整、密实、无变形,基本无扰动;(2)砂土原状样的端截面平整密实,没有明显的析水、变形、破坏面或凹坑。样品回收率基本在0.95~1.0之间,因此可以初步判断取样比较理想。

2.5 土样封装及运输

李博聪^[7]在敞口薄壁取土器两端加盖并用胶布密封。田秀雨等^[4]建议样取出后立即用胶布、纱布、石蜡密封并装箱,运输时严防震动、日晒、雨淋和冻结,实行专人跟班、跟车。王卫东^[2]、张水云等^[1]用铁皮盖盖住两头,土试样衬筒的外壁用棉纱擦拭干净,用蜡水涂封缝隙处,再用麻纸仔细包裹,纸外涂一层蜡水,装进用木屑填好的土试样箱内运回试验



(a) 砂土样端面

(b) 切开的粘土样断面

图4 原状样的现场外观检查

Fig.4 Inspection of the undisturbed sample surface

室,搬运过程中轻拿、稳放,土试样筒放置牢靠,避免振动和来回摆动,限制运输车速。谢方媛等^[8]通过原状土样不同密封方法的对比试验分析证明胶带密封法能够满足原状土样密封的要求,环保经济又能保证原状土样含水率不变。

本次采用的薄壁取土器取土筒两端自带非常密实贴合的胶盖(无螺纹),合盖后对胶盖与筒体的接合处多层缠绕胶带密封,见图5(a)。内置环刀取砂器自带螺纹胶盖,密封性能更好,但亦对端口处多层缠绕了胶带密封,见图5(b)。密封后将全部试样装进试样箱内,全程跟车看护,低速运回土工实验室。

3 原状样品在室内土工试验中的表现

刘谊^[9]在土工试验原状土样的质量划分中指



(a) 取粘土筒的封装



(b) 取砂筒的封装

图5 原状样品的现场封装

Fig.5 On-site encapsulation of undisturbed samples

出,对于目测检查无明显缺陷的试样,结合野外回收率可不作进一步判定,按土工试验规程要求进行试验即可。由于后续室内土工试验没有安排不排水压缩试验,无法得出相应的破坏应变值,且缺乏原位孔隙比数据,因此不再对土试样扰动程度进行进一步的、专门的室内试验评价,而是直接进行目标三轴固结排水剪切试验、三轴固结排水卸载一再加载试验和标准固结试验,将分别对原状样品的制备性和试验性表现进行分析评价。

3.1 原状样品的制备性表现

图6为推土器推出的粘土土柱,经绳锯切取后在切土盘上制备完成的圆柱试样。可观察到土样均匀、无裂缝,制备好的试样形状规则、完整、无杂质。

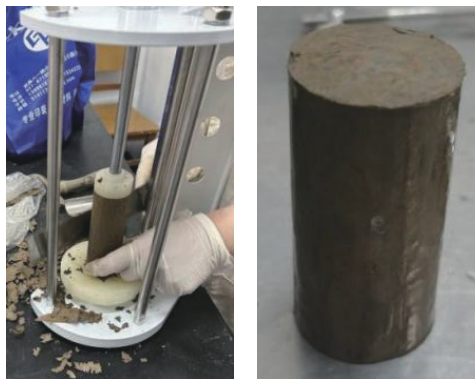


图6 三轴固结排水试样的制备性表现
Fig.6 Preparation performance of triaxial consolidated drainage specimens

图7为环刀取砂筒由推土器推出,取出半圆环刀后经绳锯逐段切取的砂样环,经修平后的试样整齐、完整、密实。



图7 一般物理性质试验样品的制备性表现(砂土)
Fig.7 Preparation performance of general physical property of the test samples (sandy soil)

图8为粘土样经切土环刀压取并用切土刀修平的固结试样装载于固结设备上,样品均能满足试验要求。



图8 标准固结试验样品的制备性表现
Fig.8 Preparation performance of standard consolidation test samples

3.2 原状样品的试验性表现

将本次实践研究取得的物理力学性质参数与原常规勘察成果能够获取的对应参数进行对比分析,以评价此次获取的原状样品的试验性表现。

选取的室内试验数据主要有烘干法测定的含水率,土工标准环刀法测定的天然密度,比重瓶法测定的比重,液塑限联合测定法测定的塑性指数,筛析法+密度计法测定的颗粒组成百分数,计算得到的初始孔隙比,标准固结试验得到的压缩模量 $E_{s(1-2)}$ 和 $e-\lg p$ 曲线。

从表4中可以看出,原常规勘察含水率和原状样的含水率均值比较接近,两者土粒密度也基本一致。但表4中原常规勘察重度值均小于原状样的密度乘以 $g(9.80 \text{ m/s}^2)$ 换算得出的重度值,可以直接说明本次所取的原状样更为密实。

由于④₂土层样品现场初步判断其浅部为粉质粘土,下部粉土及一些软土夹层,深部近砂,与原勘察不对应,因此对这部分样品的塑性指数和颗粒进行了分析测定。表4结果证明④₂土层更符合粉土的工程分类,表明此次获取的原状样可以更好地用于场地地层结构与特征的全面准确判定。

表5给出了原状样与原常规勘察的压缩性指标差异,从表中可以看出原状粘土样的天然孔隙比全部小于原常规勘察试验值,原状粘土样的压缩模量全部大于原常规勘察试验值和综合建议值,原状砂样的压缩模量基本全部大于原常规勘察的综合建议值(原勘察未给出砂样的试验值)。原状样的 $e-\lg p$ 曲线符合粘土、粉土和砂土的压缩特性见图9。

表 4 原状样与原常规勘察一般物理性质指标对比分析

Table 4 Comparison of physical properties between the undisturbed samples and the conventional survey															
参考钻孔土层序号及名称	原状样取土深度/m	含水率/%		密度/ (g·cm ⁻³)		重度/ (kN·m ⁻³)		土粒相对密度		塑性指数 (10 mm)		颗粒组成百分数/%			
												0.5~ 0.25 mm	0.25~ 0.075 mm	0.075~ 0.005 mm	<0.005 mm
		原状样	原勘察	原状样	原勘察	原状样	原勘察	原状样	原勘察	原状样					
③粉质粘土	3.7~4.2	30.97		1.98		—		—		—		—		—	
	4.2~4.7	34.12	34.6	1.95	17.8	2.75	2.73	—	15.9	—	—	—	—	—	
	5.2~5.7	35.27		1.94		—		—		—		—		—	
④ ₁ 粉质粘土	5.7~6.2	28.63		1.99		—		—		—		—		—	
	6.2~6.7	30.13	29.5	1.99	18.3	2.74	2.73	—	16.9	—	—	—	—	—	
	6.7~7.2	32.12		2.02		—		—		—		—		—	
④ ₂ 粉质粘土	7.2~7.7	34.03		1.97		2.73		—		—		—		—	
	7.7~8.2	—	33.3	—	17.9	—	2.73	9.3	16.5	0.1	14.6	70.2	15.1		
	8.2~8.7	34.54		1.90		—		—		—		—		—	
	8.7~9.2	30.36		2.00		—		—		—		—		—	
⑤ ₁ 粉砂	17.15~17.35	32.30	—	1.95	18.0	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	
⑤ ₂ 细砂	29.25~29.45	29.34	—	2.00	18.5	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	
⑤ ₃ 细砂	39.8~40.0	20.08	—	2.04	18.8	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	

表 5 原状样与原常规勘察力学性质指标对比分析

Table 5 Mechanical properties between the undisturbed samples and the launched survey						
参考钻孔土层序号及名称	原状样取土深度/m	天然孔隙比		$E_{s(1-2)}/\text{MPa}$		
		原状样	原勘察	原状样	原勘察试验值	原勘察综合建议值
③粉质粘土	3.7~4.2	0.819	1.019	5.12	4.49	4.0
④ ₁ 粉质粘土	5.7~6.2	0.771	0.897	6.83	6.85	6.0
④ ₂ 粉质粘土	8.2~8.7	0.766	0.996	13.12	4.62	4.5
④ ₃ 粉砂夹粉质粘土	—	—	0.894	—	5.24	6.0
⑤ ₁ 粉砂	17.15~17.35	0.769	—	21.98	—	14.00
⑤ ₂ 细砂	29.25~29.45	0.679	—	23.26	—	20.00
⑤ ₃ 细砂	39.8~40.0	0.596	—	22.98	—	26.00

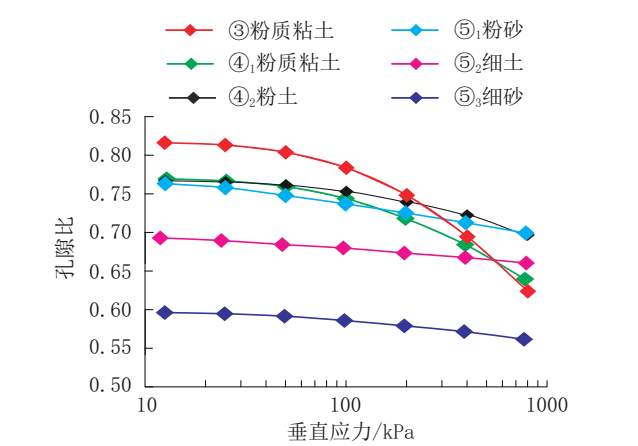


图 9 原状样的 $e-\lg p$ 曲线
Fig.9 $E-\lg p$ curve of undisturbed soil sample

通过以上原状样的制备性和试验性表现综合分析,可判定此次所取试样的原始结构受扰动较小,土的原始结构力保持良好。

4 原状土样获取不足之处分析

4.1 样品的扰动

本次实践研究所取的原状样品亦有一些扰动的情况发生,主要发生在粘土样中,在砂土样中未发现有明显扰动。胡俭春等^[10]详细分析了原状土样扰动的原因,认为土样取出地表后应力状态的改变、取土器内壁的摩擦力、取土器刃口的贯入力、上提及旋转取土器时土样底端产生拉应力及扭剪应

力等均会造成土样扰动。张力群^[6]认为需要考虑取样时上受清孔、下受拉断土柱的扰动影响。

从图 10(a)可以看到,该粘土样经推土器推出后,其前端约 1 倍样径处发生了受拉扰动破坏,样品表面不再光滑,样体表面出现了拉裂纹和少许凹坑。从图 10(b)可以看到,另一夹粉土粘土样经推土器推出后,夹层的结合面处出现了断裂。由此可见,即使取样工作已经较为细致,依然可能会因为取土器的状况、下钻过程、钻进过程、提样过程^[11],亦或是室内推样过程造成样品不同程度的扰动。



(a) 粘土样的受拉扰动 (b) 夹粉土粘土样的自发断裂

图 10 部分样品的扰动

Fig.10 Disturbance of some samples

在粘土层中取样时,由于薄壁取土器无衬管或半合管(有衬管的束节式取土器逐步淘汰),推土器对样品的内部力学结构可能会造成影响,尤其是对含有淤泥、粉土、粉砂等夹层的粘土层,经推土器推出的样品无法完全保证其完整性。为了减少对样品的扰动,同时利于土层的分层判别,在条件具备时可采用三重管取土器。从表 3 中可以分析看出,对非坚硬的粘土层、粉土层、粉砂层和细砂层,采用旋转外管+非旋转内管+衬管的单动三重管是十分适合的,对坚硬的粘土层则可采用双动三重管。同时推土时应注意,应将衬管与土样从外管推出,并应事先将土样削至略低于衬管边缘,保证推土时试样不受压。

目前规范只对厚壁取土器半合管有一些说明,对 I 级原状土试样采取使用半合管钻探工艺暂无明确规定。目前对半合管钻具的研制与应用有一些进展,如叶兰肃等^[12]研制了 91 单动三重半合管钻具,其由外管、半合管、护心管 3 层组成,适宜松散地层钻进,岩矿心采取率可达到 100%;张子军等^[13]采

用了底喷式钻头和不分散无固相抑制性泥浆护壁,结合小泵量单动双管半合管取心工艺,对厚大的风化壳离子吸附型稀土矿进行揭露和评价;王青薇等^[14-15]在污染场地调查中将半合管直推取样工艺应用于第四系砂土类地层、砂土卵石地层,岩心采取率达到 85%~90%。但尚无半合管钻探工艺在岩土工程勘察 I 级原状土试样获取中的报道,是一个值得进一步开展研究的方向。

4.2 与实验室衔接的问题

由于不同实验室仪器设备的规格及对送检样品的要求不尽相同,在开始取样前,要与所选定的土工实验室就取样细节进行确认。本次实践研究因所选定的薄壁取土器直径规格与实验室推土器的直径规格不一致,实验室不得不重新定制符合此次薄壁取土器直径的推土器。

另由于所选取砂器的环刀与实验室固结设备的装样环刀刃口不一致,导致无法直接将取土器环刀安装到固结设备上,需要重塑砂样并重新制样装填。重塑砂样时,把取砂器环刀表面抹平,测量取砂器环刀和砂土样的湿质量及烘干后的质量,用游标卡尺测得环刀体积,进而得到原状土的干密度,以这个干密度为标准重塑砂土环刀样,进而还原了现场土体的密实状态。

5 结论

(1)在武汉长江 I 级阶地典型“上粘下砂”二元结构地层中采取原状土样时,粘土层采用重锤少击钻进配合使用敞口薄壁取土器,砂土层采用锤击和回转组合钻进配合使用内置环刀取土器,辅以胶盖自封和胶带密封,可以取得较为理想的原状样品。基于此套方法获取的原状样原始结构受扰动较小,土的原始结构力保持良好,优于常规工程勘察手段,值得在业内推广使用。

(2)现场原状样品质量评测结合原状样品的制备性和试验性表现,可以全面准确地评价原状样品的扰动情况,是验证取样方法适宜性的必要手段。

(3)从原状土样获取的各个环节及整个流程来看,取土器及相关辅助措施在整个勘察钻探成本所占比例并不高,因此在环境敏感的重点工程项目和岩土工程科研项目中,可采用本文使用的方法采取原状土样,以保证岩土体物理及力学性质指标的准确性。

(4)原状样会因取土器的状况、下钻过程、钻进过程、提样过程、推样过程等发生局部扰动。条件具备时,在适宜地层可采用三重管取土器进一步保证取样质量。需要对半合管钻探工艺在岩土工程勘察I级原状土试样获取中的应用开展更进一步的研究。

(5)需要注意取样长度的控制,以保证充足长度的试样用于室内试验。同时应做好与实验室的衔接以避免发生意想不到的问题。

参考文献(References):

- [1] 张水云,白彦飞,庞瑞瑞,等.水利水电工程地质勘察中取土器及取样方法探讨[J].山西水利科技,2003(1):62-64.
ZHANG Shuiyun, BAI Yanfei, PANG Ruirui, et al. Soil sampler and sampling process in geologic exploration of water and water power project[J]. Shanxi Hydrotechnics, 2003(1):62-64.
- [2] 王卫东.采取钻孔原状土样的方法探讨和工程实践[J].山西水利,2004(1):49-50.
WANG Weidong. Exploration and engineering practice of adopting the method of drilling undisturbed soil samples[J]. Shanxi Water Resources, 2004(1):49-50.
- [3] 徐晓宇.取土器及取样方法对测试土体抗剪强度指标的影响研究[J].广东土木与建筑,2017,24(6):54-56.
XU Xiaoyu. Effect of soil sampler and sampling method shear strength index of soil test[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2017,24(6):54-56.
- [4] 田秀雨,吴一凡,苏凤全,等.浅谈原状土样采、运过程中应注意的问题[J].黑龙江水利科技,2000(2):86.
TIAN Xiuyu, WU Yifan, SU Fengquan, et al. Issues on the sampling and transportation of undisturbed soil samples[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2000(2):86.
- [5] 王晓峰,王玮瑜.水压式与敞口式薄壁取土器的对比[J].中国科技信息,2015(Z1):168-169.
WANG Xiaofeng, WANG Weiyu. Comparison between hydraulic and open thin-walled soil samplers[J]. China Science and Technology Information, 2015(Z1):168-169.
- [6] 张力群.取土器的合理选用与改进[J].探矿工程,2003(3):33-34.
ZHANG Liqun. Reasonable selection and improvement of soil samplers[J]. Exploration Engineering, 2003(3):33-34.
- [7] 李博聪.敞口薄壁取土器在珠江出海八大口门整治工程勘察中的应用[J].内蒙古水利,2003(3):66-67.
LI Bocong. Application of open thin-walled sampler in the investigation of the regulation project of the eight major entrances to the The Pearl River[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2003(3):66-67.
- [8] 谢方媛,穆娜,郗国增.原状土样密封方法优化研究[J].河北水利,2020(12):44-45.
XIE Fangyuan, MU Na, QIE Guozeng. Optimization of sealing methods for undisturbed soil samples[J]. Hebei Water Resources, 2020(12):44-45.
- [9] 刘谊.浅议土工试验中原状土样的质量[J].内蒙古水利,2011(3):161-162.
LIU Yi. A brief discussion on the undisturbed soil samples quality in geotechnical tests[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2011(3):161-162.
- [10] 胡俭春,曲振贵,李晓峰,等.原状土样扰动及原因分析[J].吉林地质,2011,30(1):147-150.
HU Jianchun, QU Zhengui, LI Xiaofeng, et al. Analysis of undisturbed soil disturbance and its causes[J]. Jilin Geology, 2011,30(1):147-150.
- [11] 董教社.双管单动活门式取芯取土器[J].工程勘察,2010(S1):166-177.
DONG Jiaoshe. Double-tube single-acting valve coring soil sampler[J]. Geotechnical Investigation Surveying, 2010(S1):166-177.
- [12] 叶兰肃,苗晓晓,王建兴,等.91单动三重半合管钻具的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):56-61.
YE Lansu, MIAO Xiaoxiao, WANG Jianxing, et al. Development of 91 single-action triple coupling pipe core drilling tools and its application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):56-61.
- [13] 张子军,倪光清,瞿亮,等.半合管钻探工艺在滇东南建水普雄稀土矿床勘查中的应用[J].钻探工程,2021,48(10):62-69.
ZHANG Zijun, NI Guangqing, QU Liang, et al. Application of the split tube core barrel in the exploration of the Puxiong Rare Earth Deposit in Jianshui, Southeast Yunnan[J]. Drilling Engineering, 2021,48(10):62-69.
- [14] 王青薇,尹业新,王水,等.中空螺旋半合管直推取样建井工艺在污染场地调查中的应用研究[J].钻探工程,2022,49(3):154-159.
WANG Qingwei, YIN Yexin, WANG Shui, et al. Application of direct push sampling and well drilling technology with the hollow auger split-tube in contaminated site investigation[J]. Drilling Engineering, 2022,49(3):154-159.
- [15] 王青薇,钟道旭,尹业新,等.砂土卵石地层高频冲击直推半合管取样工艺应用研究[J].钻探工程,2022,49(4):111-116.
WANG Qingwei, ZHONG Daoxu, YIN Yexin, et al. High frequency impact direct push split tube sampling technology for sandy pebble layers[J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):111-116.

(编辑 王文)