

高质量连续取土技术研究

吴跃东², Martin Th.van Staveren²

(1. 河海大学 岩土工程研究所, 南京 210098; 2. GeoDelft Delft, Holland)

摘 要: 简要介绍了国内常规的取土技术。阐述了土样扰动对工程设计的经济性和合理性的影响, 介绍了高质量连续性取土器的构成及其取样过程中的特点, 即适用土层类型广可以获取粉细砂原状样。通过室内模拟试验, 根据土体的变形、贯入力的变化以及孔隙水压力的比较分析进行研究, 结果表明, 连续性取土器能获得高质量的土样, 效率较高, 可以成为地层调查的重要工具。

关 键 词: 取土技术; 连续性; 贯入力; 模拟试验

中图分类号: TU 455

文献标识码: A

Research on high quality continuous sampling techniques

WU Yue-dong¹, Martin Th.van Staveren²

(1. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. GeoDelft Delft, Holland)

Abstract: The conventional sampling techniques used in China are presented together with the effects caused by soil disturbance on the engineering design. The design and operation of a high quality continuous sampler, which can obtain undisturbed fine silty sand samples, are introduced. The operation of the continuous sampler was simulated in the laboratory. The effects of sampling on the deformation of soil, the magnitude of push-in force and the change of pore-water pressure have been studied. The results show that high quality soil samples can be obtained from the continuous sampler with high efficiency. It seems that the sampler is an important tool in surveying of strata.

Key words: sampling techniques; continuity; push-in force; simulation experiment

1 前 言

取土引起的扰动会使土样的强度和变形特性发生显著的改变^[1], 为了尽量减少取样时的扰动影响, 在钻探、取土以及土样的运输、储存和制备试验时, 必须严格遵守有关规范和操作规程。目前国内大部分勘察部门在取土时常规采用的大多是内加衬筒的敞口厚壁取土器, 取得的土样往往扰动很大。最近几年科研机构也在推广应用较好的取土设备, 例如薄壁取土器和自由活塞取土器等。对于我国岩土工程勘察规范中列为唯一能在软土中取得一级土样的固定活塞薄壁取土器^[2], 由于操作起来较麻烦, 需要用 2 套钻杆, 导致效率较低, 每个钻杆台班的进尺不到 10 m, 因此在国内极少采用。文献[3]曾作过对比试验, 结果表明, 与常规取土器比较起来采用固

定活塞薄壁取土器可使快剪强度提高 40 % ~ 60 %, 固结快剪指标减少 10 % ~ 15 %。

取土扰动将对土的强度造成较大影响, 这种影响主要是针对于土的天然强度 (或快剪试验结果) 而言, 扰动使土的强度降低。但是, 对于固结快剪试验, 取土扰动的的影响却恰恰相反。因为土样扰动后在室内试验模拟原位自重应力再固结时会产生相当大的附加压缩, 从而使得测出的固快强度和强度指标偏大, 而采用这种偏大的强度指标偏于不安全。土样的扰动越大, 偏大也越厉害。但是目前国内有些勘察部门、试验人员以及使用试验结果的设计人员对此重视不够, 因而并不强调高质量土样的重要性, 加上勘察工作的市场化, 往往过分强调勘探工作本身的经济效益或效率, 实际勘探工作却做得较差, 使得取土质量和技术发展水平之间发生了严重

的脱节现象。不仅国内勘察部门重视不够，而且科研机构对取土技术也研究不多，李广信^[4]教授在中指出，目前研究土的结构性模型的论文较多，但不扰动土样的采取技术方面的工作几乎没有，这是不正常的。

在设计中，土的力学性质指标对工程造价影响很大。文献[5]指出，在基础工程设计中获取的所谓不扰动土样中，无侧限抗压强度 q_u 的离散性(标准离差)达到 $\sigma_{qu}=10$ kPa左右是很正常的事情。这样的离散性对于圆滑滑动的安全系数的影响为20%左右，而折合到结构物工程费用则有30%左右的影响。根据技术经济比较，包括取土、试验在内的地基勘探费用一般至多只占全部工程费用的1%~2%，在有些大型工程中，甚至只占0.1%左右。如果只花费大大低于1%的费用以改进高质量的取土技术，能够使土的力学性试验精度提高10%左右，那就很合算的了。因此，研究高质量取土技术是很有必要的了。

2 连续取样设备

目前国内通常都是通过钻孔在钻孔底部获取所谓的不扰动土样(如敞口厚壁取土器和薄壁取土器)，事实上，即使是采用较好的取土技术也无法避免土样的扰动，如采用薄壁取土器取样，由于土样和取土器之间的摩擦，土样在进入和推出时扰动很大，而且，钻孔取得的土样也是不连续的，从而获得不足的土层信息。为了克服这些问题，Begemann^[6]研制发展了整套不同的设备：连续取样技术。通过锥形贯入设备取样器稳稳压入地层中，不需要利用钻孔。实践证明，这种取样器可以取得连续完整土样，成为很可靠的地层调查工具，而且可以取得高质量的土样，通过微观结构观察，土样象晶状体和纹理等微观结构保持完好。

2.1 取样器的构造

取样器由6部分组成(如图1所示)：①贯入器：非常锋利的圆锥形钢性体，压入时迅速可切割土体；②较厚的圆柱形取样器的钢性外表；③尼龙套；④内部塑料衬管；⑤自动夹具；⑥活塞。

2.2 取样器的特征

为了获得长的连续的无扰动土样，必须尽量减少土样与取样器之间的摩擦，为了达到这个目的，土样装入尼龙套子里，套子被设计成紧紧包住土样，并且是柔软可以变形且不漏水的，在套子和取样器之间很小环状空隙里充满润滑液，为了在侧面支持土样，润滑液的密度采用适合当地土层条件。

套子被储存在取样器底部装置里，通过狭缝被拉着，附上移动的活塞，经过压入，活塞必须保持固定，套子随着取样器压入土中慢慢伸展开来，这样通过贯入器切割土样并使套子紧紧包裹住土样，随着取样器的向下延伸，外面刚性套管一节一节连接起来，内部的塑料衬管也可以一节一节连接起来，刚性套管和内部塑料衬管被设计成1 m一节并通过螺纹有利于连接。当达到预定深度，刚性套管向上提起时，夹具装置(如图2所示)可以自动夹紧塑料衬管，防止土样从取样器里脱落。

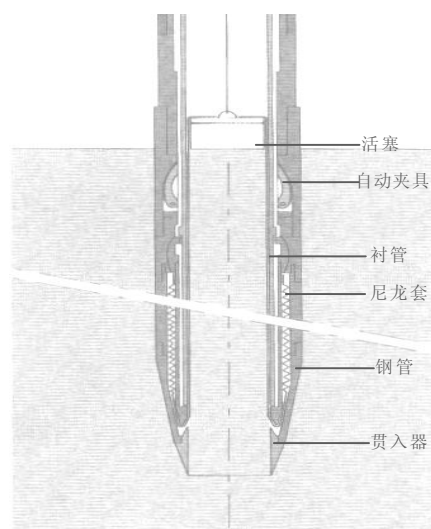


图1 取土器的构造

Fig.1 The constitution of sampler



图2 自动夹具装置

Fig.2 The clamping device

取样器可以通过液压系统稳稳压入土体中，1 m长的衬管和外部管子是配套的。润滑液可以任意增加，取样的过程可以通过一系列参数来监测，如润滑液的消耗量、保持活塞稳定所需的外力和贯入阻力，更好控制试样的质量不受影响。当达到预定深度时，取样器稳稳收回，然后按米抽回，外部管

子可以松开并拿走, 暴露出内部塑料衬管, 并用锋利的刀每隔 1 m 长割下尼龙套子和试样, 并用塑料盖子盖紧衬管的底部并密封试样, 盖子上面印有编号, 编号与试样的深度顺序一致, 以免混淆。

3 试样处理

将试样密封在塑料衬管里面, 在现场储存好后尽早送往实验室。在运输过程中, 试样被竖直存放并用钢环(内径略大于塑料衬管)固定, 底部装有弹簧, 防止运输颠簸对试样的扰动。试样在实验室被挤压出来, 旋开两头的盖子并轻轻倾斜衬管, 因为润滑液的原因, 土样(外面包裹套子)很容易滑出, 随后, 根据应用规格和要求进行分类, 根据试验的需要选择试样后, 剩余试样沿纵向劈开进行详细土层分层, 为了得到详细的分层报告, 实验室工作通常要拍下全部劈开土样的彩色照片。

4 适用条件

取样过程中并不需要钻孔, 并且可以从地面连续取样, 如果现场表面存在石头或较硬东西的话, 在取样之前必须先清除干净, 下面土样才可以顺利取出。取样过程中可以忽略上面土层, 这需要在取土器里放一个适合的塞子, 这样可以避免在压入过程中土样进入。当到达要取样地层上部, 这个塞子可以拿开并开始取样。由于套子的限制, 最长土样可以取到 25 m, 获得土样长度也受到当地土层条件限制, 土层条件包括贯入阻力、膨胀或脆弱土体性状、树根和砂砾。成层土体有时难以取出, 特别在切割土体过程中, 比较硬的土层在推进过程中, 会挤压下面的软土层。

该取样器适用的取样土层类型包括: 软土、硬塑粘土、不同腐烂程度的泥炭土、松至中密砂、淤泥、夹层之间的软土、硬粘土和壤土等。

5 室内模型模拟分析

为了研究该取样器压入土体中对土体的扰动程度, 模拟现场进行了室内模型取样试验^[7]。试验在均质的粘土中进行, 同样长度的 2 个半取样器(一半)沿着装有粘土模型的玻璃墙刺入。格栅被打印在粘土模型里, 经过取样过程可以完整看到土样变形过程。

模型箱是专门为实验而特殊设计的, 它由 4 面坚硬的玻璃墙组成, 底座尺寸为 0.36 m × 0.36 m, 高度为 1 m, 其是由 125 kg 高岭土和 93 % 水混合合成的粘土泥浆充填, 充满后泥浆开始固结, 最后固结压力为 200 kPa。试样是均质的、完全饱和的固

结粘土, 第 1 次试验的含水量为 44.29 %, 第 27 次含水量 43.52 %, 平均的液限和塑限为 59.1 % 和 30.6 %, 塑限指数为 28.5。

格栅被打印在模型箱的一侧, 以便半取样器取样时观察土体的变形。粘土试样固结达 90 % 后把玻璃墙小心移开, 并在粘土试样打印格子线, 在玻璃墙放回之前, 涂上硅树脂起润滑作用, 以减少粘土和玻璃墙的摩擦。

所有试验是在贯入速度 1 cm/s 完成的, 压入时可以量测贯入力和贯入深度, 此外, 拍摄的照片可以显示格子线变形的情况, 在第 3 次试验时孔压计埋设在粘土里。

5.1 变形特征

图 3 显示了半取土器压入后格栅的变形。可以很清楚看到, 取样器的外面在推进的过程中粘土向下呈放射状, 但在取样器里面, 土样保持完整, 几乎没有变形出现。要把土样里面小的变形量化是困难的, 从视频里依据图象处理程序可以进一步分析变形, 结果显示在图 4 上。从这些图形中可以看出, 取样器外面的变形占主导, 取样器里面的变形很小。

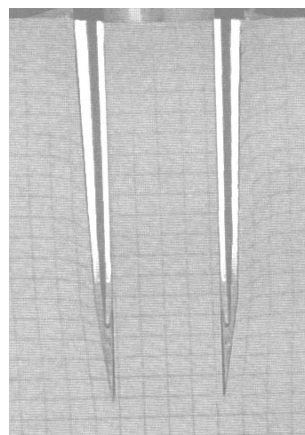


图 3 取土器压入时土体变形
Fig.3 Deformed grid of the sampler

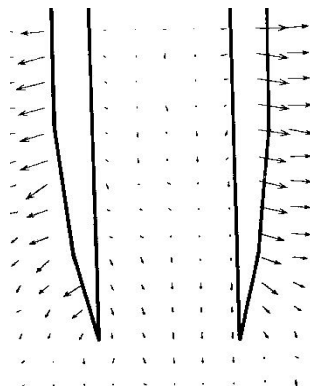


图 4 视频图象处理程序模拟土体变形

Fig.4 Deformation of the clay in the test (image processing plot)

5.2 贯入力

在第 2 次系列试验是采用连续性取样器和活塞取样器试验, 比较贯入力的大小。量测的贯入力数值汇总在表 1, 最大值是在贯入深度 420 mm 时对应的数值。连续性取样器比活塞取样器贯入力大 2 倍左右, 这是由于取样器比表面积比较大, 也可能是它外面的管子的凹口造成的。

表 1 试验中两种取样器进入土体的阻力

Table 1 Maximum push-in forces for two types of samplers

类型	贯入力最大值 /kN	深度>420 /mm
活塞取样器	0.950	0.770
连续性取样器	1.970	1.810

图 5 为贯入力随深度变化曲线。图上显示, 第 1 节点为取样器最厚的部分刚经过粘土表面时, 随着取样器外部直径的减少, 贯入力也在慢慢减少, 但速度更慢, 在第 2 节点取样器外部直径已经减少到 2.4 mm, 显然这已足够让土体与设备分离开来。

5.3 孔隙水压力

第 3 次试验是孔隙压力计埋设在粘土里, 位置在取样器下面。试验结果绘于图 6, *A* 为实测数值, *B* 为数值计算的结果。图上显示的 *A* 和 *B* 两条曲线变化趋势一致, 只是量测的数值略小于计算值, 主要原因是在压入过程中由于土样进入塑料衬管存在一些真空, 从而造成量测取样器内的孔隙水压力值减少。

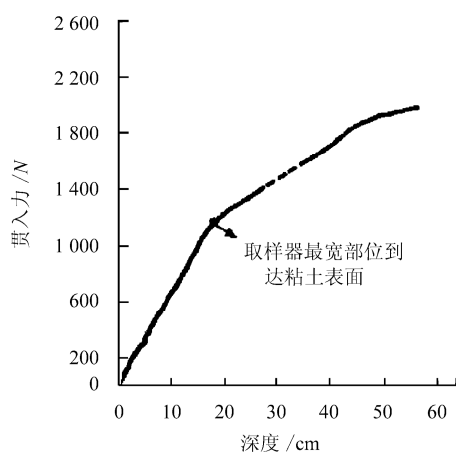


图 5 试验中贯入力随深度变化曲线

Fig.5 Load-displacement curve of the sampler in the test

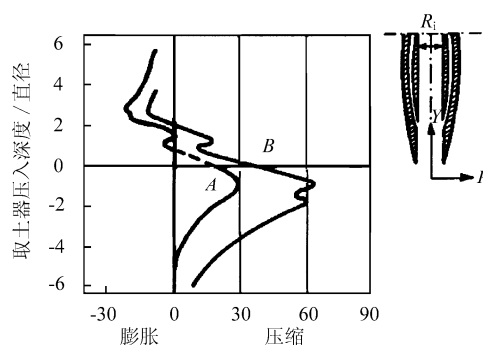


图 6 试验中量测和计算的孔压比较

Fig.6 Comparison between measured and calculated pore pressures in the sampler

6 结 语

土样扰动对于室内测定的力学性指标以及工程设计的经济性和合理性的影响很大, 决不可掉以轻心。

连续性取样器可以获取高质量土样, 适用较多类型土层, 可以获取国内取样器无法得到的松-中密 (粉细) 砂原状样。该取样器采用尼龙套子和润滑液减少了取样器和土体之间的摩擦力, 对土体扰动很小。根据室内模型分析, 取样器较大的比表面积和表面的凹口只导致小的应力增长和土样很小的变形。

模型试验结果表明, 土样下的孔隙水压力试验值和计算是比较吻合的, 在取样器切头下方一段距离孔压接近最大值, 切割土体之后, 由于塑料衬管里保持真空导致土样孔压减少。

参 考 文 献

- [1] 魏汝龙. 软粘土的土样扰动及其影响[J]. 水利水运科学研究, 1986, (2): 75 - 90.
- [2] GB50021 - 2001, 岩土工程勘察规范[S].
- [3] 王年香, 魏汝龙. 沿海软粘土取土质量的对比分析[J]. 工程地质学报, 1994, (2): 66 - 75.
- [4] 李广信. 土的基本性质与测试技术[A]. 第九届土力学及岩土工程学术会议论文集[C]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [5] 魏汝龙. 软粘土取土技术及其改进[J]. 岩土工程学报, 1986, (6): 113 - 125.
- [6] Begemann H K S. Soil sampler for taking an undisturbed sample and with length of 17 metres[J]. Quality in Soil Sampling, 1971, (7): 54 - 57.
- [7] Suzanne J M. Sample disturbance, numerical model and experiments[J]. Geotechnical Engineering Emerging Trends in Design and Practice, 1994, 16(1): 11 - 32.

