

十字板剪切试验在软土工程勘察中的应用研究

何新春¹ 徐燕燕¹ 杨一林²

1. 江苏省地质勘查技术院 江苏南京 210049

2. 江苏省地质矿产调查研究所 江苏南京 210049

摘要: 十字板剪切试验是一种常用的现场试验技术,它的主要用途是测量饱和软粘土的抗剪强度,是软土地区工程勘测的一项必要技术,它对各种类型的土样剪切强度、残余剪切强度、饱和软粘土的承载力、软土的固结度、灵敏度以及判断地基强度的大小。此外,十字板剪切测试在软土工程勘测中具有很大的应用价值。本文根据实际施工勘测,对十字板剪切试验在软土工程勘察中的应用进行了研究。

关键词: 十字板剪切试验;软土工程勘察;抗剪强度;灵敏度

Study on the application of cross plate shear test in soft soil engineering investigation

Xinchun He¹, Yanyan Xu¹, Yilin Yang²

1. Jiangsu Institute of Geological Exploration Technology, Nanjing, Jiangsu 210049

2. Jiangsu Institute of Geological and Mineral Investigation, Nanjing 210049, Jiangsu

Abstract: Cross plate shear test is a common field test technique. Its main use is to measure the shear strength of saturated soft clay, which is a necessary technology for engineering surveys in soft soil areas. It is used to determine the shear strength, residual shear strength, bearing capacity of saturated soft clay, consolidation degree of soft soil, sensitivity, and the size of foundation strength. In addition, cross plate shear test has great application value in soft soil engineering surveys. According to the actual construction survey, the application of cross plate shear test in soft soil engineering survey is studied in this paper.

Keywords: Cross plate shear test; Soft soil engineering survey; Shear strength; Sensitivity of sensitivity

前言:

十字板剪切试验是计算地基承载力、围堤稳定、软粘土敏感性、加固历史等地基的重要方法。在进行试验时,要将十字头插入到土壤中,在插入的板头上施加一股扭力,从而使其能剪断土壤。用转动十字板的阻力矩,可以求出试验土壤的抗剪强度。在软土地基的日常勘察中,为了保证测量精度,需要对其进行强度和敏感性进行测量。

1 设备及方法

1.1 检验设备

十字板剪切试验运用于软土工程勘测中,一般要求使用十字板头、渗透主机、轴杆、扭力传感器、扭力应用装置、测量仪等。

1.2 检验方法

在仪器的安装上,首先要建立一个测试平台,并把

所需的支撑架固定好。在完成了前期工作后,把十字头插进软泥里,把探针杆卡在里面,把所有的数据重新设置为0,然后转动把手(10秒一次,每钻一次便做一次记录),然后在杆轴转动时,对十字头的转矩进行观测和记录。在力矩达到一个稳定值或峰值时,使轴杆在某一方向上连续转动,从而测量出重塑土的抗剪强度。

2 工程概况

(1) 该地区主要有两种类型的软土:①粉质泥质黏土(Q_4^m),灰、黑色,饱和,流塑~软塑,夹砂斑中有少量的贝壳,夹砂层较薄,部分为粉质粘土混合砂体,厚度为1.50~3.60m;②粉质黏土(Q_4^m),灰、湿润、软塑,夹砂点中有少量的贝壳,部分为粉土,厚度为0.60~4.10m。

(2) 拟建设的污水管网主要沿着村道(堤路)进行,采取明挖法,管道埋深1.2~3.0m,部分(桥、河段)采

用顶管法施工,管道埋深约6.0~8.0m。基础为自然或复合地基,管道为HDPE中空壁塑钢缠绕式排水管,其它设计要求按设计要求进行。地层岩性:钻井后发现,在钻井深度以内,该场地基土包括第四系人工填土(Q^m)和第四系海陆交互层(Q^d)。具体的分层由下往上依次是:①人工填筑:平均厚度2.71m;②淤泥质土壤:厚度为1.00~20.20m;③泥沙:0.50~12.70m。

3 岩土工程特征

(1) 泥沙(Q_4^{mc}):根据初勘资料、本次取土样品钻孔和静压触探孔资料,发现该土层沿区域连续分布,基本呈现北薄南厚的特点。层厚1.60~22.80m,平均8.33m,层顶深度为0.20~26.60m(标高-21.29~5.40m);层底深度为4.20~31.00m(标高-25.79~2.08m)。地层结构稳定,土壤性质略有改变,土壤为灰褐色、深灰、灰黑色,对22个样品进行了有机质分析,结果表明,土壤中的有机质含量最高为4.16%,最低为1.90%。部分含腐木块,泥炭质,含不均匀的细粉,个别含贝壳类杂质,有腥气,有海棉和多孔结构,流塑,少量软塑状态。在浅层和中间层,通常不能形成土柱,流塑。深层土壤的固结性要好一些,以软塑为主。该土体的压缩系数为 2.0MPa^{-1} ,超固结比例为0.420,属于较高的收缩不固结软粘土。土壤的渗透率较低,在室内实测的渗透率为 $8.0 \times 10^{-8}\text{cm/s}$, $\text{KH}=13.8 \times 10^{-8}\text{cm/s}$ 。

(2) 淤泥质土壤(Q_4^{mc}):其在区域内分布,而在垂直方向上则以淤泥为主。地层不稳,土壤性质略有改变,土壤呈灰褐色、深灰、灰黑色,局部可见腐木块、泥炭质,再向下为细粉,有刺鼻的气味,有海棉和空隙,流塑—软塑性。该地层的压缩因子为 0.9MPa^{-1} ,超固结比例为0.462,属于较高的收缩不固结软粘土。通过实验室测量,发现土壤渗透率为 $12.0 \times 10^{-8}\text{cm/s}$, $\text{KH}=22.0 \times 10^{-8}\text{cm/s}$ 。

4 十字板剪切试验在工程勘察中的应用

4.1 剪切强度随时间推移的变化

在室内进行试验时,由于牵涉到的因素较多,因此不能真实地反映出相同条件下的剪力变化。但可以通过大量的实验,得出抗剪强度随深度的增加而增加的规律,十字板剪切试验可以很好地反映这种变化。

4.2 饱和软土敏感性的测定

高敏感性是一种非常重要的特性。尤其是海域工程勘察中,饱和软粘土的取样比较困难,只有在野外进行。与其它测试方法比较,十字板剪切试验由于其测量方法简单、数据准确等优点,在现场测试中得到了广泛的应用。通过十字板剪切实验,可以直接测定原状土与重塑

土的抗剪强度,而软质粘土的敏感性则是原状土/重塑土的抗剪强度,从而进一步测定了原状土与重塑土的抗剪强度。

4.3 土壤物理机械性能指标

在岩土工程调查报告和室内土工测试结果的基础上,对该地区钻孔暴露的软土物理力学参数进行了统计,见表1。

表1 土层物理力学参数统计成果

土层名称	统计内容	天然密度 $\rho_s'(\text{g/cm}^3)$	塑性指数 I_p	液性指数 I_L
淤泥、 淤泥质土	统计件数	87.00	87.00	79.00
	平均值	1.83	14.26	0.55
	标准值	1.82	13.83	0.61

4.4 十字板的剪切实验结果

对粉质粘土层十字板剪切实验资料进行了统计分析(参见表2)。

表2 淤泥质粉质黏土十字板剪切试验成果统计表

项目名称	统计 个数	界限值 /kPa	平均值 /kPa	标准差 /kPa	变异 系数	标准值
原状土抗剪 强度 C_u	26	7.6-19.3	11.9	2.8	0.24	11.5
重塑土抗剪 强度 $C_u^{\text{①}}$	26	2.29-6.97	3.65	1.1	0.31	3.5
灵敏度 S_t	26	2.77-4.32	3.34	0.39	0.12	3.28

由表2可知,十字板原状土壤的剪切强度变化较大,而重塑土的剪切强度也有较大幅度的波动。通过对工程地层及钻井地质的分析,得出了原因是该地区沉积物沉积不均,细砂混杂。在不同孔隙的粉质粘土中,一般的十字型板原状土的剪切强度都是直线上升的,只有少数的原状土才表现出明显的反常。通过现场钻井实践,发现部分区域存在着砂岩互层,部分岩层不均匀。

此外,通过对实测数据的统计,得到了各土层的现场十字板剪切实验的参数统计值,以供工程设计和基础加固时参考(参见表3)。

表3 现场十字板剪切试验统计成果

地层	统计件数	统计参数	标准值/kPa
软土	28	原状土 S_u	28.9
	28	重塑土 $S_u^{\text{①}}$	9.4
	28	灵敏度 S_L	3.2

在此基础上,选取了3个试验孔,33点次,对原状土的抗剪强度、重塑土抗剪强度、敏感性等有效统计资料进行了28个,平均为33.3kPa, 11.3kPa, 3.1kPa。

4.5 强度调整

十字板剪切试验的长期强度为峰值强度的

60%~70%，因此，在实际应用中必须对其进行校正。

根据《工程地质手册》(第5版)的建议，修改公式：

$$C_u = \mu S_u$$

在式中， C_u 是不排水剪切强度的修正值。 S_u 为不排水剪抗剪承载力的现场测试结果。

在《工程地质手册》第5版中，只介绍了两种确定的修正因子：

(1) 根据图3，对土壤 $I_L > 1.1$ 的土壤进行了调整，而对其它条件较软的土壤，则采用了曲线2。

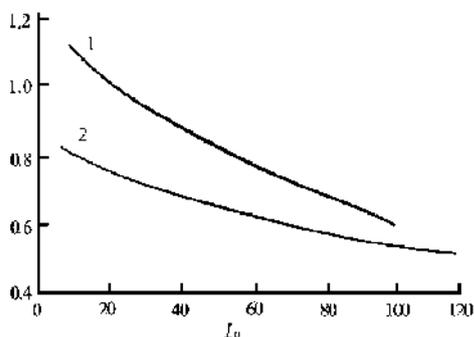


图3 修正系数

(2) 《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018-2018中，提出了在塑性指标 $I_p > 20$ 的情况下，降低系数 $\mu = 1.0$ ；在塑性指标为20以下的情况下，其折减系数为 $\mu = 0.9$ 。

此次工程软土勘察的修正系数见下表4。

表4 修正系数 μ

依据	修正系数 μ	备注
工程地质手册 (第五版)	原状土 0.83	液性指数小于 1.1
	重塑土 0.83	采用曲线 2
TB 10018-2018	原状土 1	塑性指数小于 20
	重塑土 1	

该地区软土的塑性度指标 I_p 值都在20以下。为确保安全，根据《工程地质手册》(第5版)建议的计算公式，对原状土壤和重塑土壤进行了修正。修正后的原状土壤的标准值为 $C_u = 23.99\text{kPa}$ ；重塑土的标准值为

7.90kPa；经校正后的灵敏度为 $23.99/7.90 = 3.1$ 。

5 十字板剪切试验中应注意的问题

在软土工程勘察中，为了减少由于外部环境的影响，必须设置一个稳定的平台，以减少由于环境因素造成误差。在十字板剪切实验前，开启刚性圈或扭力传感器的测试，必须对其进行标定。在试验时，应将十字头插入指定的位置，并在2-3分钟内保持稳定，然后进行试验。在使用开环式钢环试验机上，必须考虑到其与土壤的摩擦力。通过交叉板剪切实验得到的资料往往较多，在应用前必须进行资料校正。

6 结语

(1) 十字板剪切试验是一种广泛的试验方法，它不仅测量工程勘察参数，还可以测量地基承载力，还可以检测软粘土的敏感性。另外，由于十字板剪切试验操作简单，设备使用方便，测量速度快，数据精度高，因此，十字板剪切试验具有广泛的应用价值。

(2) 该数值需要修改后方可采用，本文参照《工程地质手册》第5版，只提出两种修正方法，建议在实际应用时，应根据区域经验选择或实地板载试验，以确定校正系数的选择是否正确。

(3) 部分工程往往会受到水流、水压等外部环境的干扰，从而影响到实验的效果。所以，在进行软粘土的抗剪强度测试时，必须消除各种影响试验结果精度的各种因素，从而为工程设计提供精确的资料。

参考文献：

- [1] 高林, 李亚军. 十字板剪切试验在软土勘察中的应用[J]. 工程建设与设计, 2021(04): 34-35+38.
- [2] 王昌辉, 何旭东, 田维强, 贺太红. 十字板剪切试验在软土工程勘察中的应用[J]. 资源信息与工程, 2019, 34(03): 82-83.
- [3] 张凤海, 徐明江, 宋兵. 基于十字板剪切试验的软基处理效果评价研究[J]. 广州建筑, 2019, 47(03): 19-23.