

旁压仪在岩土工程深部原位测试中的应用

吴文 徐松林

(中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉 430071)

摘要 主要介绍应用日本 OYO 公司生产的 4149 型钻孔旁压仪进行深部岩体和深埋软粘土的原位测试的情况, 实践证明其结果能较好地应用于工程设计, 可为类似工程提供参考。

关键词 旁压仪, 岩土工程, 原位测试

分类号 TU454

1 引言

旁压试验作为一种地基勘察手段, 可在地层中某一指定位置进行试验, 提供测试部位土层有效的力学参数, 这与室内试验相比无疑具有很大的优越性。其实际做法(预钻式)是钻一个孔到达作试验的标高, 钻孔的一段长度形成圆柱形孔穴, 插入旁压仪探头, 然后充水以胀大孔穴, 同时记录所产生的径向变形。探头的设计确保孔穴产生的体积变化仅是钻孔的径向膨胀。

最早的旁压仪是由 K gler(约 1930 年)发明的, 而取得很大的成功, 并得到推广应用的则是 M énard (1957 年)发明的三腔旁压仪, 他对旁压曲线所确定的各种特征值给出了明确的概念和确定方法。同一时期, Bishop (1945 年), Cassan (1960 年), Vesic (1972 年)等根据弹塑性理论得到了有益的结论。其后作出很多工作的还有 Windle (1975 年), 刘祖德 (1984 年), 张国霞 (1985 年), 陈映南 (1986 年)等, 他们基于不同的出发点得到了相似的结论, 周明星等 (1993 年)则用非线性有限元法对小模型槽中的饱和粘土进行了旁压试验, 并对现在广泛应用于旁压试验的平面应变假定进行了评判, 从而对旁压试验进行了补充和完善^[1~3]。

桥基工程以及具有很大厚度软土等特殊情况的岩土工程要求测量较大压力下土、岩层的强度和变形参数, 一般的主要用于浅部土层原位测试的旁压仪无法满足要求。本文应用的是日本 OYO 公司应用地质研究所生产的 4149 型钻孔旁压仪, 其额定总压

力为 10 MPa, 橡皮工作腔外直径为 74 mm, 沿径向位移量测范围达 10 mm, 测量精度为 0.01 mm。为适应实际工程的需要, 我们对其橡皮腔、反馈系统、信息系统作了适当的调整, 可以进行岩土工程深部测试。本文主要介绍进行深部软岩和硬土原位测试的情况。

2 武汉长江公路桥拟建桥墩基岩钻孔变形试验

公路桥引桥长 1 350.4 m, 正桥长 1 877 m, 宽 26.6 m, 预计有 17 个桥墩, 每个桥墩拟用多条钻孔灌注桩打入基岩作为基础, 桩径 2.5 m, 入岩深 20 m。桥墩桩基穿过风化带砾岩、强胶结砾岩、中等胶结砾岩和微胶结砾岩。由于岩层中的地质情况较复杂, 含沙量普遍较高, 取不出完整的岩芯。本次试验主要是为确定拟设桩层各岩层的弹性与变形模量, 再参照经验方法确定各岩层的桩基设计参数。其测试方法采用逐次一级循环加载法, 共进行 3 个钻孔的测试, 测试深度分别为: 3558.6 m, 4462 m, 3967 m。

(1) 试验典型曲线如图 1, 其趋势反应出很明显的两个变形阶段: 图中 为逐步压密阶段, 为弹性变形阶段。阶段说明岩体由于含沙量较高, 虽然埋深较大, 但其岩性较松软, 因而表现出明显的压密阶段。

(2) 弹性模量的计算一般根据应力-应变曲线采用割线或切线模量来计算。也有根据卸荷以后的回

1998 年 5 月 7 日收到初稿, 1998 年 6 月 5 日收到修改稿。

作者 吴文 简介: 男, 35 岁, 硕士, 1987 年毕业于重庆大学采矿系采矿工程专业, 现为高级工程师, 主要从事深基坑和岩土工程测试研究方面的工作。

弹变形来计算。变形模量用全变形来计算的居多。但是由于本次试验中的钻孔孔径过大,使得橡皮筋的变形过大,从而反映出卸荷曲线不理想。因此,变形模量 E_d 的计算采用下式:

$$E_d = (1 + \mu) R \frac{P}{\delta} \quad (1)$$

式中: μ 为泊松比, R 为孔径, P 为压力差, δ 为增量荷载作用下的径向变形差。

其计算按两个阶段来实现,对应图中 I 的逐级压密阶段: $P = P_0, \delta = \delta_0$; 对应图中 II 的弹性阶段 $P = P_0, \delta = \delta_0$ 。最后的 E_d 为两者的平均值。弹性模量的计算亦采用上式,其中 $P = P_c, \delta = \delta_c$ 。

由此整理出沿深度弹模和变模的分布趋势详见图 2,并整理出桩端各岩层的压缩变形值和弹性模量见表 1。

分析图 2 和表 1,由于受钻孔扰动等因素的影响,表现出压密阶段变形有较大的离散性。尤其是胶结

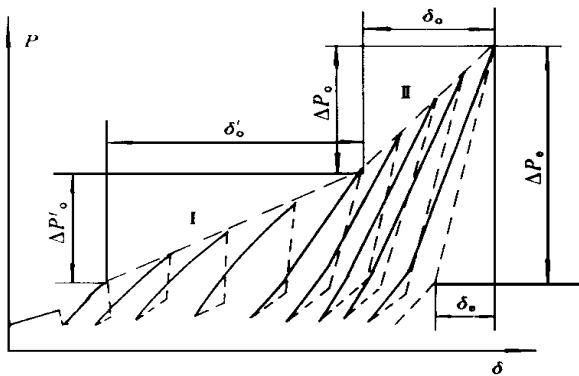


图 1 试验典型曲线

Fig. 1 Typical test curves

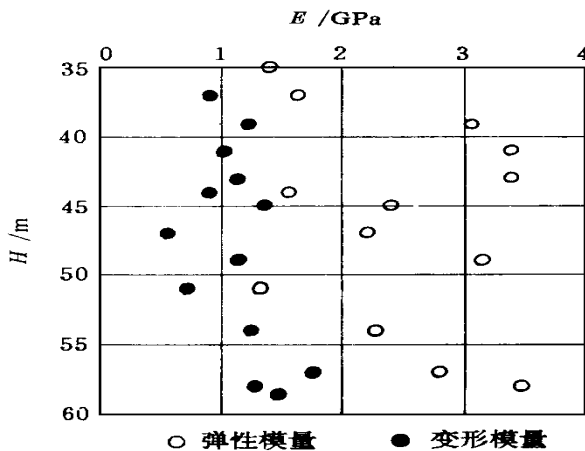


图 2 8 号墩 8 号孔弹模和变模沿深度变化趋势

Fig. 2 The varying tendency of E_c and E_d along depth

表 1 各类岩石的旁压变形特性

Table 1 Lateral pressure deformation characteristics of rocks

岩石类别	测量点 总数	压缩变形/mm		弹性模量/GPa	
		平均	范围	平均	范围
强胶结砾岩	13	0.18~0.65	0.25	2.91~5.18	3.64
中等胶结砾岩	13	0.20~0.22	0.21	1.83~2.95	2.30
微胶结砾岩	16	0.10~0.75	0.28	0.73~1.90	1.21

程度较差的微胶结砾岩,受钻孔扰动的更大。但它们的压密阶段所测的压缩变形值基本一致,均在 0.20.3 mm 之间。同时,岩石的胶结程度对弹模和变模影响较大,微胶结砾岩的弹模只有强胶结砾岩的 33%,中等胶结砾岩的 50%。

3 武汉白沙洲长江大桥拟建桥墩基岩钻孔变形试验

大桥全长约 4 km,是武汉市中环线道路工程的关键项目。拟建桥址桥墩区覆盖层主要为第四系河流冲积相松散沉积碎屑岩。其岩性岩相变化较大,软硬程度不均,固结及成岩程度较差,结构松散,遇水软化甚至崩解,含砾砂岩成岩程度相对较好,但厚度不大。本次试验主要是为确定拟设桩桩层各岩层的弹、变模,并提供其桩基设计参数。其测试方法亦采用逐次一级循环加载法,共进行 5 个钻孔的测试,测试深度分别为 20.583.6 m, 20.682.5 m, 21.783.2 m, 21.640.8 m, 24.885.4 m。

整理出其测试结果见表 2。测试结果表明:(1) 预钻式钻孔仍使得各项数据表现出一定的离散性;(2) 水下成岩的岩石力学性能很差,工程中应特别予以重视。

4 某高层建筑基坑底部深埋粘土的钻孔变形试验

某拟建高层建筑总高 85 m,地面上 28 层,地下 1 层。拟建场区为长江级阶地湖塘淤积地带。根据初勘和补勘结果,在该建筑基础范围内的东南角存在一特殊土层,即粘性土层。其形成与长江古河道的变迁有关,物质组成含云母、粉细砂层及腐木有机质等,属东南侧侵蚀阶地,主要由粘土夹砂淤积而成,其剖面呈“U”形。此层的存在直接影响到拟建建筑物的安全。因此,本次试验目的在于通过旁

压试验确定该土层的初始压力 (P_0)、临塑压力 (P_f)、极限压力 (P_l) 和旁压模量 (E_m) 来研究其强度和变形特性, 从而对此高层建筑基础的稳定性作出评价。本次试验对场区内的两个钻孔进行了测试, 其深度分别为: 3641 m, 32.544.0 m。试验采用多级逐次加载的方法。

表 2 各岩层旁压试验结果

Table 2 Results of lateral pressure

tests of rock layers		MPa						
岩石名称	埋深/m	测点总数	临塑压力 P_f / MPa		极限压力 P_l / MPa		弹性模量 E_m / MPa	
			平均	平均	平均	平均		
全强风化砂质泥岩及软砂质泥岩	20.0~27.5	4	1.0~1.6	1.3	2.2~2.9	2.6	130~260	195
	软砂质泥岩	24.0~75.2	14	1.6~3.7	2.7	2.8~6.7	4.3	146~1580
疏松砂岩	35.0~70.5	11	1.8~5.3	2.9	3.2~9.2	5.2	217~2375	270
	含砾砂岩	<73	2	4.5	>10.0		2240	
泥质砂岩	40.0~45.0	1	2.5		4.5		594	

(1) 试验中三种典型曲线见图 3, 曲线 ① 为理想曲线, 试验中的大多数曲线具有此形态, 曲线 ② 为钻孔孔径过大时的曲线, 其数据只部分可用。曲线 ③ 的数据则基本无用, 须舍去。

(2) 由实测资料可整理出临塑压力 P_f 、极限压力 P_l 和土体变形值沿深度的分布见图 4。

由图 4 可见, 由于随深度其组成成份有差异, 因

而表现出各参数有一定的变化。两孔临塑压力 P_f 平均值为 1.04 MPa, 极限压力 P_l 为 1.61 MPa, 旁压模量 E_m 为 16.48 MPa。其各项指标均高于浅埋的同类粘土。根据“岩土工程测试技术”, 粘土的极限承载力为: 一般粘土 $P_c = 0.1.2$ MPa, 而坚硬粘土 $P_c = 1.84.0$ MPa。因此, 此粘土层的极限压力 P_l 值已接近于坚硬粘土。而且是一种强度比较高的粘土。另外, “岩土工程测试技术”亦指出, E_m/P_l 为一反映土类的指标: 超固结土中 E_m/P_l 值较高, 达到 10~30; 而在冲击土(如砂和砾石, 水下粉土质砂等)中 E_m/P_l 值则较低, 为 5~8。该粘土层 E_m/P_l 值为 9.4, 略低于 10。说明这一粘土层为正常固结或轻微超固结土。

图中土体的变形特性表明: 旁压试验反映土体的似弹性阶段的变形值约在 0.852.7 mm 之间, 这

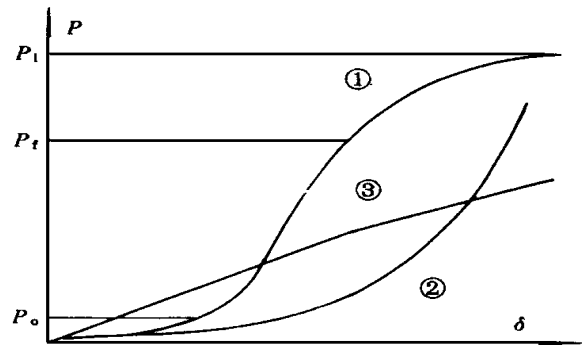


图 3 三种实测的典型旁压曲线

Fig. 3 Three kinds of measured typical curves

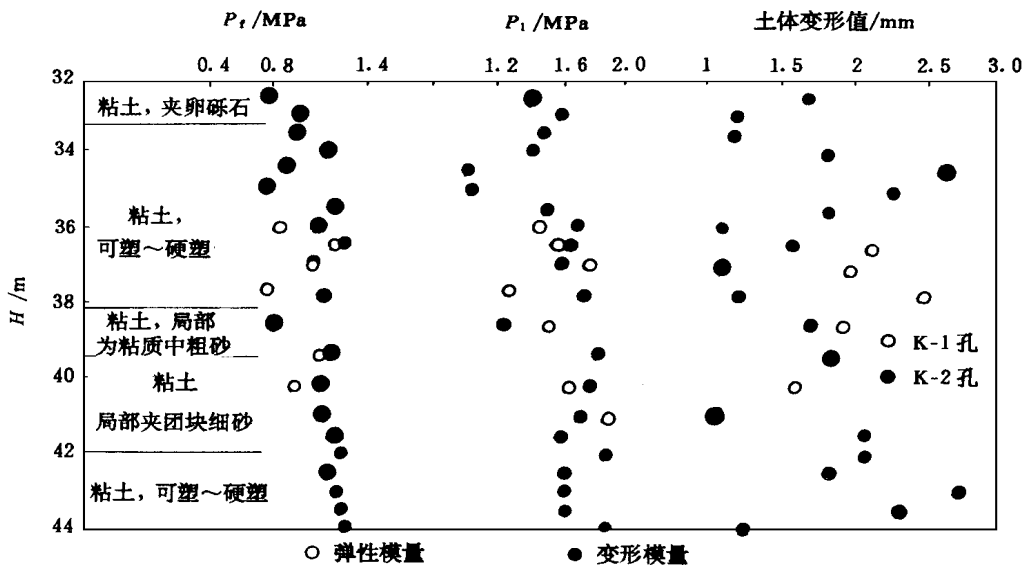


图 4 各参数随深度的变化趋势

Fig. 4 The varying tendency of parameters along depth

与浅埋粘土层的 1020 mm 相比, 有很大的差别。

综合以上分析, 此深埋粘土层由于室内土工试验得到 I_L 值较大(0.63 ~ 1.04), 取最大 I_L 来判断, 此层为流塑状态。因而使得上部结构设计担心此为软弱下卧层。旁压试验的结果表明, 此粘土层为正常固结或轻微超固结状态, 承载力验算可以证明此基础是稳固的。定义此层为流塑状态是由于对夹砂粘土的土工试验出现的常有的不正常数据的误解。

5 影响预钻式旁压试验测试结果因素分析

基于以上几个工程的现场测试分析, 影响旁压仪测试结果的因素较多, 有诸如: 钻孔孔径的大小, 钻孔内的泥浆压力, 钻孔对岩、土层原始状态的扰动等。(1) 钻孔孔径的影响。由于钻孔孔径较大, 有时根本无法测得数据, 有时即便能够测得数据, 但也只有部分可用, 例如临塑压力和极限压力, 而初始压力则基本无用;(2) 钻孔内泥浆压力的影响。此因素是长期困扰工程界的难题, 长期以来都没有切实可行的办法来消除其影响, 这是因为泥浆压力不仅与其深度有关, 而且还与泥浆浓度等复杂的因素有关;(3) 钻孔过程对较松软土、岩层原始状态的扰动影响。主要表现为预钻式钻孔不仅使原始状态有一个应力释放的过程, 而且对原始土、岩层有一个机械磨擦的过程。由于以上因素的影响, 使得各参数有一定的离散性。所测参数标准差见表 3, 由表中可见, 各组数据的标准差基本为 15% ~ 30%。而强度较差、不均匀程度较高的土、岩层具有更大的离散性。这是以上的几种因素综合影响的结果。

表 3 各参数旁压结果标准差

介质	弹性模量	变形模量
强胶结砾岩	0.192	0.371
中等胶结砾岩	0.146	0.058
微胶结砾岩	0.297	0.406
粘土层	旁压模量	固结系数
	0.189	0.175
	临塑压力	极限压力
	0.137	0.218

6 结语和展望

现代的桥梁工程和高层建筑所涉及的地层越来越复杂, 深度也越来越大。对于工程设计者而言, 为了工程的安全可靠, 需要了解一些特殊的深埋土、岩层的力学性能。在实际工程中往往是由于涉及到的土、岩层很复杂, 取不到完整的岩芯, 或者对原始状态扰动过大, 得不到可靠的参数。应用旁压仪则不失为一种较好的办法。本文应用旁压仪进行了两座拟建桥梁的桥墩基岩和某高层建筑深埋饱和粘土的原位测试, 为工程设计提供了基本数据, 也可为类似工程提供参考, 取得了较好的效果。另外, 由于所测试深度较大, 且所测试的土、岩层较硬, 一般采用预钻式, 这种方法因为对土、岩层的原始状态的扰动较大, 因此人为地造成了一些试验数据的离散。这将是以后工作中需要改进的重点。

参 考 文 献

- 1 唐贤强. 地基工程原位测试技术. 北京: 中国铁路出版社, 1993
- 2 巴居兰·弗. 旁压仪和基础工程. 卢世深译. 北京: 人民交通出版社, 1984
- 3 周明星. 旁压试验的有限元分析. 岩土工程学报, 1993, 15(4): 6671

THE APPLICATION OF ELASTMETER TO THE DEEP IN-SITU MEASUREMENT OF GEOTECHNICAL ENGINEERING

Wu Wen Xu Songlin

(Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Science, Wuhan 430071)

Abstract In-situ measurement of deep covered rock layers and soft clay by using model-4149 elastmeter made by Japan OYO Company is introduced. It is proved that it can be well used for engineering design and for the references of similar project.

Key words elastmeter, geotechnical engineering, in-situ measurement