

扁铲侧胀试验在滨海沉积软土中的应用

杨超¹, 汪稔¹, 傅志斌², 孟庆山¹

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉 430074; 2. 建设综合勘察研究设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 通过运用扁铲侧胀仪 (DMT) 在长江入海口滨海沉积软土中进行的原位测试, 获得滨海沉积软土中扁铲侧胀试验各指标参数的变化规律。扁铲侧胀试验与静力触探试验结果一致, 试验结果可靠, 且扁铲侧胀试验可以快速地获取侧向基床反力系数 K_{H1} , 为桩基础的设计提供可靠的依据。对比旁压试验结果, 扁铲侧胀试验得到的 K_{H1} 值常常偏大。在粘土层、粘质粉土夹粉质粘土、淤泥质粉质粘土、粘质粉土、淤泥质粘土等土层中 K_{H1} 与真实值相差较小, 可以使用, 但实际应用中应同时结合规范使用; 而在砂质粉土和粉砂等土层中 K_{H1} 与真实值相差较大, 不宜使用。

关键词: 扁铲侧胀试验 (DMT); 侧向基床反力系数 K_{H1} ; 旁压试验; 静力触探试验

中图分类号: TU459⁺.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)02-0079-04

随着沿海城市的建设和发展, 沿海地区的工程地质问题越来越受到人们的关注。沿海城市地质地层常常表现为深厚的滨海沉积软土层。学者们通过大量的室内试验对滨海沉积软土的物理力学性质已经有了比较清楚的认识, 但是室内试验并不能完全代表原始应力状态下土体的力学特性。室内试验的试样常常受到扰动, 这使得室内试验所测得的力学指标失去了真实性。然而, 原位试验可以弥补室内试验这方面的不足。沈珠江^[1]认为, 要取得可靠的土质参数, 只有通过原位测试。原位测试不同于室内简单应力条件下的试验, 不能从试验结果直接求出某一参数, 而是通过反馈分析的办法间接求出参数。

扁铲侧胀仪 (DMT) 是 20 世纪 70 年代由意大利学者 Marchetti 发明的一种原位测试仪器。该仪器由于操作简单、试验迅速、重复性好、且较经济, 故在国外发展很快, 并且被收为美国 SIM 的推荐方法 (A SIM geot. Test Journal, June, 1986) 和欧洲标准 (Eurocode)。本文将介绍长江入海口滨海沉积软土中 DMT 试验的成果及相关土性的研究分析。

1 试验原理及方法

扁铲侧胀仪试验是岩土工程勘测中一种先进的原位测试方法, 适用于各类粘性土、粉土及中密以下的砂土、黄土等土层, 可应用在天然地基、桩基工程及边坡工程等复杂的岩土工程中。它是一种特殊形式的旁压试验, 通过静力或锤击动力将扁铲形探头贯入土中, 达到试验深度后, 利用气压使扁铲侧面的圆形钢膜向外扩张进行测试 (图 1)。

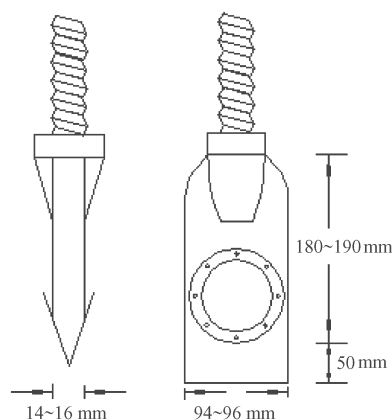


图 1 扁铲探头示意图

Fig 1 Sonde of DMT

收稿日期: 2009-06-23 修订日期: 2009-07-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (50639010); 科技部科研院所技术开发研究专项资金项目; 中国科学院武汉岩土力学研究所知识创新工程青年人才领域前沿项目 (O712041Q01)

作者简介: 杨超 (1983-), 男, 博士, 主要从事岩土力学和软基加固处理研究。

E-mail: yangc_3201@yeah.net

试验中, 当钢膜扩张到特定位置时测出膜片所受的相应气压值 A 、 B 和 C 从而获得土体受力与变形关系。一般三个压力计 A 、 B 、 C 可在贯入后 1 min 内完成。试验前应进行膜片约束力的标定。通过膜片约束力的标定 ΔA 、 ΔB 以及试验测得 A 、 B 、 C 可以得出各测试深度的土压力值。则据压力 B 修正为 P (膜中心外移 1.10 mm) 的计算式为:

$$P_1 = B - z - \Delta B$$

$$P_0 = 1.05(A - z + \Delta A) - 0.05(B - z - \Delta B)$$

$$P_2 = C - z + \Delta A$$

式中: z ——压力表的零计数 (在气压下);

P_0 ——膜中心无外移 (外移 0.00mm) 压力表读数;

P_2 ——膜中心外移后又收缩到初始外移 0.05mm 的位置时压力表读数。

根据扁铲侧胀试验可以确定土的岩土技术的多个参数,并为路基、浅基、深基等岩土工程问题作出评价^[2-8]。

2 工程地质条件

试验场地为上海青草沙水源地建设五号沟泵站,位于上海浦东新区曹路镇五号沟地区,临近长江口,与上海长江隧道工程相邻。长江口位于长江三角洲冲积平原的东南前缘,成陆较晚。工程场地位于长江入海口陆域范围,地貌类型为河口、砂嘴、砂岛。场地 90.20m 深度范围内均为第四纪松散沉积物,属全新世 Q_4 ~上更新世 Q_3 以来的河口、滨海、浅海、沼泽相沉积层,自上而下主要由饱和粘性土、粉性土以及砂土组成,一般具有成层分布特点,地层分布如图 2 所示。

3 试验成果分析

试验成果依据上海市工程建设规范《DGJ8-37-2002 岩土工程勘察规范》^[9] 中 9.8.4 条及相应的条文说明进行扁铲侧胀试验成果估算。

根据 P_0 、 P_1 、 P_2 计算 DMT 指数:

$$\text{土类指数: } I_b = \left(\frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} \right) \left(\frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \right)$$

$$\text{水平应力指数: } K_D = \left(\frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \right) / \sigma'_{v0}$$

$$\text{扁铲模量: } E_D = 34.7 \left(\frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} \right)$$

$$\text{孔压指数: } U_D = \left(\frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \right) \left(\frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \right)$$

| 地质时代 | 土层层号 | 土层名称 | 层底深度 (m) | 层底标高 (m) | 厚度 (m) | 柱状图 | 成因类型 |
|-----------------------------|----------------|-----------|----------|----------|--------|-------|-------|
| Q ₄ ³ | ① ₁ | 填土 | 0.80 | 3.14 | 0.80 | /// | |
| | ② ₁ | 粉质粘土夹粘质粉土 | 2.50 | 1.44 | 1.70 | /// | 滨海~河口 |
| | ② ₃ | 砂质粉土 | 5.50 | -1.56 | 3.00 | /// | 滨海~河口 |
| Q ₄ ² | ③ ₁ | 淤泥质粉质粘土 | 8.90 | -4.96 | 3.40 | ~ ~ | 滨海~浅海 |
| | ③ ₂ | 粘质粉土 | 12.00 | -8.06 | 3.10 | /// | 滨海~浅海 |
| | ④ | 淤泥质粘土 | 17.90 | -13.96 | 5.90 | ~ ~ | 滨海~浅海 |
| | ⑤ ₁ | 粘土 | 27.30 | -23.36 | 9.40 | /// | 滨海~沼泽 |
| Q ₃ ² | ⑦ | 粉砂 | 56.60 | -52.66 | 19.60 | · · · | 河口~滨海 |
| | ⑧ | 粉质粘土 | 64.80 | -60.86 | 8.20 | /// | 滨海~浅海 |
| Q ₃ ¹ | ⑨ | 粉砂 | 87.70 | -83.76 | 22.90 | · · · | 滨海~河口 |
| | ⑩ | 粉质粘土 | | | | /// | 河口~湖泽 |

图 2 长江口土层分布图

Figure 2 Soil profiles for Yangtze estuary

侧向基床系数 (kN/m³):

$$K_{H1} = \left(\frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} \right) / \Delta s \Delta s = 0.00105 \text{ m}$$

式中: U_D ——静水压力;

σ'_{v0} ——有效上覆土压力。

扁铲侧胀试验成果见表 1。

表 1 扁铲侧胀试验综合成果表

Table 1 The result for DMT

| 土名 | ΔR (kPa) | 土类指数 I_b | 水平应力指数 K_D | 扁铲侧胀模量 E_D (MPa) | 静止侧压力系数 K_0 | 侧向基床系数 K_{H1} (kN/m ³) |
|-----------|------------------|------------|--------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|
| 粉质粘土夹粘质粉土 | 62.1 | 0.31 | 8.23 | 2.03 | 0.57 | 59.100 |
| 砂质粉土 | 237.7 | 0.67 | 8.12 | 7.37 | 0.40 | 246.900 |
| 淤泥质粉质粘土 | 60.8 | 0.34 | 2.94 | 2.14 | 0.53 | 56.300 |
| 粘质粉土 | 116.3 | 0.70 | 1.82 | 4.18 | 0.37 | 122.900 |
| 淤泥质粘土 | 64.0 | 0.35 | 1.48 | 2.16 | 0.43 | 60.300 |
| 粘土 | 77.5 | 0.29 | 1.46 | 2.66 | 0.42 | 72.100 |
| 粉质粘土 | 177.3 | 0.54 | 1.53 | 6.68 | 0.43 | 164.400 |
| 粘质粉土夹粉质粘土 | 313.5 | 0.72 | 1.59 | 11.74 | 0.34 | 231.600 |
| 粉砂 | 309.4 | 0.85 | 1.19 | 10.74 | 0.31 | 327.200 |

通过 DMT 指数 I_b 和 E_b 可以对土进行土类的划分 (表 2)。图 3 为一个测试孔的 I_b 、 E_b 随深度的变化曲线。由图 3 可以看出, 34m 范围内的 I_b 都小于 1.0。12~18m 土层的 I_b 值在 0.35 左右, 为粘土或粉质粘土, 与之相对应的 E_b 则在 3 左右。而在 0~12m 和 29m 以下 I_b 和 E_b 值起伏较大, 这是因为这两个深度范围内土层性质变化较大, 扁铲指数 I_b 可以很好地反映土类特性, 与勘测结果一致。

表 2 根据扁铲指数 I_b 划分土类
Table 2 Soil classfic based on I_b

| I_b | 土类 | I_b | 土类 |
|-----------|------|-----------|------|
| 0.10~0.35 | 粘土 | 0.90~1.20 | 粉土 |
| 0.35~0.60 | 粉质粘土 | 1.20~1.80 | 砂质粉土 |
| 0.60~0.90 | 粘质粉土 | 1.80~3.30 | 粉质砂土 |

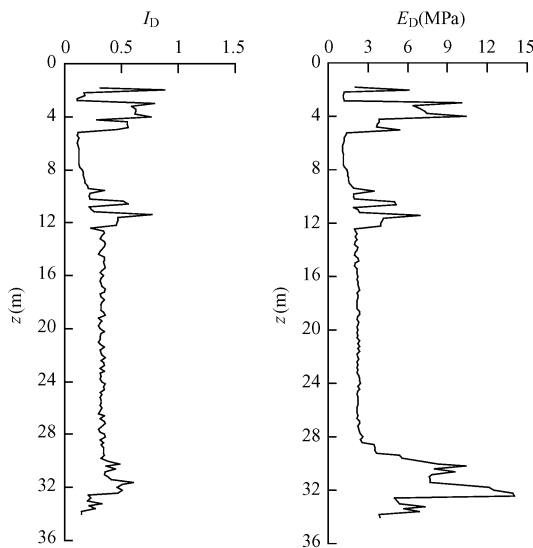


图 3 扁铲侧胀试验成果图
Fig 3 Graph of DMT result

由扁铲侧胀试验成果可以看出, 土层水平应力指数 K_h 随深度的增加而减小, 从 8.23 逐渐减小到 1.19 有减小到 1 的趋势, 说明土层水平压力与覆盖土层有效压力相差逐渐减小, 最终趋于相等, 土层深部土体趋于各向等压的状态。扁铲侧胀模量 E_b 则与土层特性关系密切, 不同的土层中 E_b 变化显著; 在砂质粉土、粉质粘土、粘质粉土以及粉砂中 E_b 值较大, 而在淤泥质土、淤泥质粘土和粘土中 E_b 值较小; E_b 表现出与土性明显相关的特性, 可以与土类指数 I_b 共同使用进行土类的划分。静止侧压力系数 K_0 也表现出来与土层特性明显相关的性质, K_0 随土类指数 I_b 的增大而减小, 具体变化范围在 0.31~0.57 之间。

图 4 为扁铲试验成果图和静力触探试验成果图。

由图 3、图 4 可知, 从 6~29m 深度, I_b 、 E_b 都呈线性增长, 表明土的初始压力和膜中心外移 1.10mm 时的压力都有所增长, 且二者的增幅几乎相等, 即 ΔI_b 基本上维持不变。因此, 侧胀模量 E_b 、水平应力指数 K_h 也相对稳定, 变化不大。这是因为 6~29m 深度土层厚度比较大, 土性基本不变为淤泥质土, 仅在 10~12m 处出现粘质粉土。与静力触探试验结果较为一致。在静力触探试验成果图中, 试验深度从 6~10m, q_c 、 f_s 测试值基本呈线性增长, 但是存在一些波动; 而在 12~28m 深度, 土层强度随深度呈线性增长。通过扁铲侧胀试验与静力触探试验结果的对比表明, 扁铲试验与静力触探试验是一致的, 试验结果可靠。

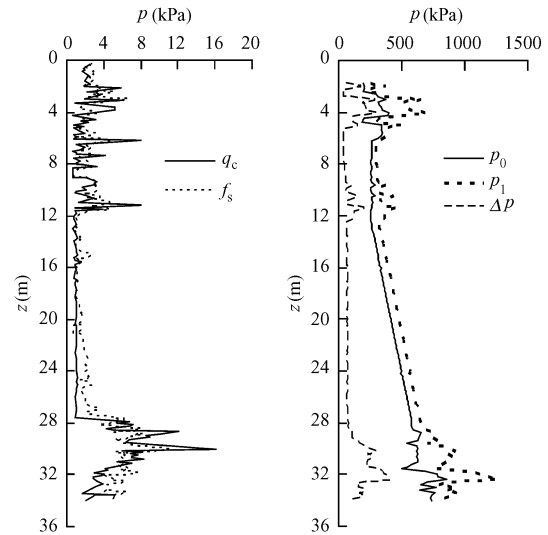


图 4 扁铲侧胀试验与静力触探试验成果图
Fig 4 Graph of DMT and Static Cone Penetration Test

由表 3 可以看出, 扁铲侧胀试验测得的侧向基床反力系数 K_H 较旁压试验测得的侧向基床反力系数 K_H 大 (表 3)。这是因为扁铲侧胀试验中, K_H 是在小变形情况下计算出的, 最大位移量仅 1.1mm, 土体变形近似处于弹性阶段或为拟弹性阶段, 代表了土体在似弹性阶段的侧向基床反力系数, 因此用扁铲侧胀试验得到的侧向基床反力系数常大于工程使用的 K_H 值。而旁压试验测得的 K_H 是一个变化的数值, 其反映的是土体变形直到破坏的全过程, 是土体在变形时刻的侧向基床反力系数, 更能反映土体受力变形的真实情况。因此, 两者测得的 K_H 值会有一些的差异, 这种差异在不同的土层中表现不尽相同。在粘土层和粘质粉土夹粉质粘土层中, 扁铲侧胀试验测得的 K_H 值为旁压试验测得 K_H 值的两倍左右; 而在淤泥质粉质粘土、粘质粉土、淤泥质粘土等土层中, 扁铲侧胀试验测得的 K_H

值为旁压试验测得的 K_H 值 2.27 ~ 3.58 倍;砂质粉土和粉砂中甚至超过 8 倍。由此可见,用扁铲侧胀试验获得的 K_H 值常常偏大。因此,DMT 试验测得的 K_H 值在粘土层、粘质粉土夹粉质粘土、淤泥质粉质粘土、粘质粉土、淤泥质粘土等土层中可以使用,但使用时应结合规范等方式进行;而在砂质粉土和粉砂等土层中测得的 K_H 值与真实值相差较大,不宜使用。

表 3 旁压试验与扁铲侧胀试验侧向基床反力系数表

Table 3 K_H of Pressuremeter test and DMT

| 土层名称 | K_H (kN/m ³) | K_H (kN/m ³) | $K_H^{DMT}/K_H^{旁压}$ |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| 粉质粘土夹粘质粉土 | 59 100 | 40 148 | 1.47 |
| 砂质粉土 | 246 900 | 28 319 | 8.72 |
| 淤泥质粉质粘土 | 56 300 | 19 441 | 2.90 |
| 粘质粉土 | 122 900 | 38 921 | 3.16 |
| 淤泥质粘土 | 60 300 | 16 842 | 3.58 |
| 粘土 | 72 100 | 36 927 | 1.95 |
| 粘质粉土夹粉质粘土 | 231 600 | 102 015 | 2.27 |
| 粉砂 | 3 272 000 | 380 961 | 8.6 |

4 结论

扁铲侧胀试验与静力触探试验结果一致,试验结果可靠,具有操作简单、快速、土层扰动小等特点,可以同时快速地获取土类指数、水平应力指数、扁铲模量、孔压指数、侧向基床反力系数 K_H 等多个参数,可为地基基础等工程的设计提供可靠的依据。

在确定侧向基床反力系数 K_H 时,与旁压试验相比,扁铲侧胀试验得到的 K_H 值常常偏大。在粘土层、粘质粉土夹粉质粘土、淤泥质粉质粘土、粘质粉土、淤泥质粘土等土层中 K_H 与真实值相差较小可以使用,

但使用中应同时结合规范等方式进行;而在砂质粉土和粉砂等土层中 K_H 与真实值相差较大,不宜使用。

参考文献:

[1] 沈珠江. 原状取土还是原位测试—土质参数测试技术发展方向刍议[J]. 岩土工程学报, 1996, 18 (5): 90—91.

[2] 孟庆山, 黄超强, 李晓辉, 等. 扁铲侧胀试验在浅海钙质土力学特性评价中的应用[J]. 岩土力学, 2006 5 27(5): 769—772.

[3] 朱帆济, 於李军. 扁铲侧胀试验确定软土静止侧压力系数[J]. 市政技术, 2008 26(2): 157—159.

[4] 徐超, 陈忠清, 邢皓枫, 等. 扁铲侧胀试验在地基处理效果评价中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2009 36(1): 100—103.

[5] 文松霖, 胡汉兵. 利用扁铲试验成果外推粉细砂层深部承载力参数[J]. 土工基础, 2008 22(5): 14—17.

[6] 孟庆山, 汪稔, 胡建华, 等. 水下旁压试验在桥基原位测试中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2005 33 (1): 36—39.

[7] 林华国, 唐世栋. 上海地区软土层侧向基床反力系数规律性研究[J]. 岩土工程学报, 2004 26(4): 495—499.

[8] 钟嘉告, 梁杏, 梁永国. 扁铲侧胀试验在地铁工程勘察中的应用[J]. 路基工程, 2008(3): 57—59.

[9] DG J8-37-2002 J10206-2002 上海市建设规范, 岩土工程勘察规范[S].

Application of flat Dilatometer Test in littoral deposit soft soil

YANG Chao¹, WANG Ren¹, FU Zhibin², MENG Qing-shan¹

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;
2. China Institute of Geotechnical Investigation and Surveying Co., Ltd Beijing 100007, China)

Abstract: The law of dilatometer test parameters is got from the in situ test of flat Dilatometer Mirjan (DMT) at the estuario of Yangtze River soft soil in coastal sediments. DMT results agree with Static Cone Penetration Test and DMT can get the lateral coefficient of subgrade reaction K_H quickly for the design of pile foundation and provide reliable data. Contrast with Pressuremeter test, DMT test value is often larger. In clay layer, silty clay including clayey silt, muddy silty clay, clayey silt and muddy clay, K_H is less different from the real value, it can be used in those soil. While in sandy soil and powder sand, it has a significant difference from the real value, so it not un favorable use in such soil.

Key words: DMT, lateral coefficient of subgrade reaction K_H , pressuremeter test, Static Cone Penetration Test

责任编辑:张明霞