

上海地区扁铲侧胀试验计算地基承载力的探讨

樊向阳^{1,2} 莫群欢² 张继红²

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海岩土工程勘察设计院有限公司, 上海 200002)

【摘要】 通过对扁铲侧胀试验和试验机理的研究和对试验指数的对比分析, 提出了用扁铲侧胀试验计算地基承载力的方法; 利用上海地区部分重大工程中的扁铲侧胀试验数据, 在与室内土工试验、静力触探试验及十字板剪切试验的相关分析的基础上, 经数理统计后给出了上海地区用扁铲侧胀试验计算地基承载力的经验公式。最后, 通过与室内土工试验、静力触探试验和十字板剪切试验计算的地基承载力对比, 分析了本经验公式计算地基承载力的精度。研究分析表明, 可以用扁铲侧胀试验计算地基承载力。

【关键词】 扁铲侧胀试验; 扁铲模量; 地基承载力;

【中图分类号】 TU 413

Study of Foundation Soil's Bearing Capacity Calculation Based on DMT in Shanghai Region

Fan Xiangyang^{1,2} Mo Qunhuan² Zhang Jihong²

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092;

2. Shanghai Geotechnical Investigation & Design Institute Co. Ltd., Shanghai 200002 China)

【Abstract】 From research on flat dilatometer test (DMT), the method of calculating bearing capacity of foundation by DMT is put forward. Take advantage of many DMT tested data from several projects in Shanghai through the contrast and analysis with laboratory test, static sounding test and vane shear test, the formulae of calculating bearing capacity of foundation are given, and the precision of the formulae is studied. The conclusion shows that the method is feasible.

【Key Words】 flat dilatometer test (DMT); dilatometer modulus; bearing capacity of foundation

0 引言

扁铲侧胀试验(简称 DMT 试验), 是适用于粘性土、粉性土和松散~中密的砂土的一种原位测试方法。自 20 世纪 70 年代末由意大利学者玛切特(Marchetti)发明扁铲侧胀试验以来, 在北美及欧洲得到了广泛应用, 并已列入 ATSM 推荐方法和欧洲 EUROCODE 等规范及标准。

扁铲侧胀试验具有试验参数多、对土体扰动小、试验点连续等优点, 因而能较好地反映原位土的力学性质。在岩土工程中的应用主要有: 划分土层、判别土类、确定土的重度, 确定静止侧压力系数, 测定水平基床系数, 计算粘性土不排水抗剪强度, 确定土的变形参数(压缩模量, 弹性模量, 剪切模量), 确定砂土有效内摩擦角, 地基液化判别等^[1]。

由于扁铲侧胀试验能较好地反映地基土的强度特性, 因此, 用扁铲侧胀试验估算地基土的承载力可

能是其另一个重要的应用领域。

1 地基承载力计算方法对比分析

1.1 计算地基承载力的常用方法

天然地基的地基承载力特征值, 须采用可靠的土性参数确定。对于粘性土可采用土工试验强度指标或原位测试方法计算; 对于粉性土、砂土或填土宜由原位测试方法确定^[1]。

常用的地基承载力计算方法有室内土工试验法、载荷试验法、静力触探试验法、十字板剪切试验法和旁压试验法等。

1.2 地基承载力常用计算方法对比分析^[2]

一般岩土工程勘察设计中, 将运用上述一种方法或几种方法来综合确定地基承载力。这些方法各有优缺点: 用室内土工试验参数计算地基承载力有明确的理论依据, 但由于易受取土扰动和土样的离散性的影响, 其结果与实际有一定的差异; 载荷试

验是模拟建筑物基础受荷条件的现场模拟试验, 是较为可靠的测定地基土承载力的原位测试方法, 但受载荷板宽度的局限, 所测试的土体深度有限, 且历时长, 费用高; 静力触探试验是现在最常采用的原位测试方法, 但从试验机理上来看, 探头贯入土的过程是一种刺入破坏或剪切破坏, 在其周围及底部土中会形成一定的扰动区, 从而破坏了土体结构; 用十字板剪切试验估算地基承载力的应用也比较多, 但对粉性土或加有薄层粉土、粉细砂的地层, 得到的数值往往偏高或失真; 旁压试验是一种横向的载荷试验, 由于设备轻便, 操作简易, 测试迅速, 可在不同深度进行试验等优点, 近年来发展迅速, 但需注意的是, 孔壁扰动, 土体压缩性、剪胀性, 横向扩展均匀性及钻孔成孔工艺等因素对地基承载力的计算结果都有一定的影响。

1.3 扁铲侧胀试验计算地基承载力

近年来, 扁铲侧胀试验在我国发展迅速。上海地区, 在轨道交通 M8 线, 地铁二号线, 明珠线二期, 浦东国际机场等多个工程中采用了扁铲侧胀试验。

现有计算地基承载力的方法各有其优缺点, 因此在岩土工程勘察设计时, 在有条件的情况下, 通常采用几种方法的计算结果来综合确定地基承载力。随着扁铲侧胀试验的推广, 用扁铲侧胀试验计算地基承载力将进一步增加地基承载力计算方法的比选和计算结果的校核。

2 扁铲侧胀试验计算地基承载力的途径

室内土工试验、静力触探试验和十字板剪切试验是现今最常采用的确定地基承载力的几种方法, 试验资料丰富, 数据较多。本文采用扁铲侧胀试验扁铲指数 E_D 作为研究对象, 总结其与静探 P_s 及十字板 S_u 之间的相关关系, 从而得出计算地基承载力的经验公式。

2.1 扁铲指数 E_D 与静探 P_s 的相关性

扁铲侧胀试验在测试时对土体的扰动小, 试验指数较为稳定, 测算的扁铲模量 E_D 与静力触探试验比贯入阻力 P_s 值有很好的 consistency (见图 1)。

为了进一步验证两者之间的相关性, 对 2 600 多份试验资料进行统计, 得出扁铲模量 E_D 同与之对应的静力触探比贯入阻力 P_s 的相关关系 (见图 2)。

由图 2 可以看出, 扁铲模量 E_D 与静力触探比贯入阻力 P_s 值之间具有很好的相关性, 通过线性回归, 可得出下式所示的线性相关式:

$$E_D = 3.918P_s \quad (1)$$

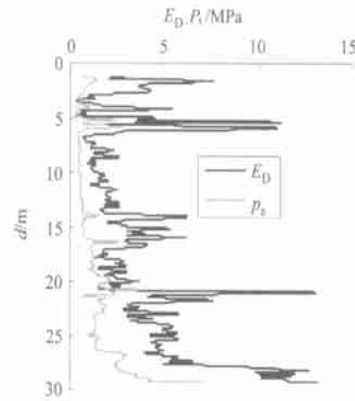


图 1 扁铲指数 E_D 曲线与静探 P_s 曲线对比图

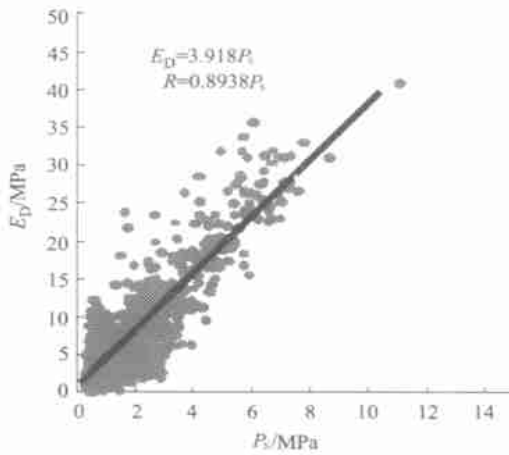


图 2 扁铲指数 E_D 与静探 P_s 相关关系图

2.2 扁铲指数 E_D 与十字板 S_u 的相关性

根据 537 份试验资料的统计, 扁铲模量 E_D 与十字板剪切试验峰值强度 S_u 也具有较好的相关性 (见图 3)。

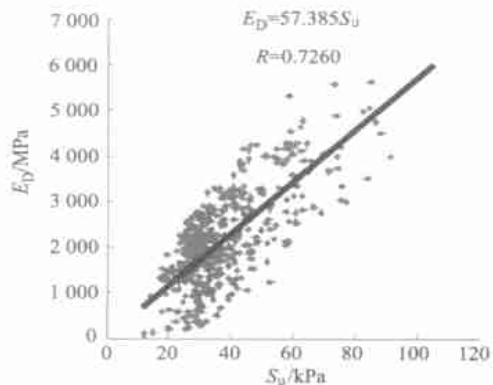


图 3 扁铲指数 E_D 与十字板 S_u 相关关系图

根据图 3, 可得出下式的线性相关式:

$$E_D = 57.385S_u \quad (2)$$

2.3 扁铲侧胀试验计算地基承载力的可能性

通过前面的相关性研究可以看出, 扁铲模量 E_D

与静探 P_s 值和十字板 S_u 都具有很好的相关性, 而用 P_s 值和 S_u 来计算地基承载力的方法已经很成熟, 因此, 用扁铲侧胀试验计算地基承载力, 在理论上是合理的, 在实践上是可行的。

3 扁铲侧胀试验计算地基承载力的方法

3.1 扁铲指数 E_D 计算地基承载力特征值的公式

对比研究扁铲指数 E_D 同用室内土工试验参数确定的地基承载力特征值 $f_a^{[3]}$, 可以发现它们之间也具有很好的相关性(见图4)。

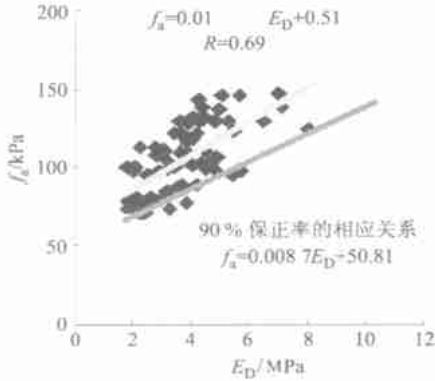


图4 扁铲指数 E_D 与土工试验地基承载力 f_a 相关关系图

注: 上图中的地基承载力特征值是假定基础埋深 1m、宽 1.5m、地下水位 0.5m 的地基承载力特征值。

根据图4, 通过线性回归, 可得出式(3)、式(4)的线性相关式:

$$f_a = 0.0109 E_D + 63.511 \quad (3)$$

90% 保证率时的相应关系为

$$f_a = 0.0087 E_D + 50.81 \quad (4)$$

对上海市浅层各土层, 上海市工程建设规范《岩土工程勘察规范》(DGJ 08—37—2002)中给出了用静探 P_s 值计算地基承载力基本值 f_0 的公式, 同时在条文说明中指出, 如需提供地基承载力特征值 f_{ak} , 建议取用 $f_{ak} = 0.9f_0$; 对十字板试验, 中国建筑科学研究院、华东电力设计院的经验公式为^[4] $q_a = 2c_u + \gamma h$, 其中 c_u 为修正后的不排水抗剪强度(kPa), γ 为土的重度(kN/m^3), h 为基础埋深(m)。

对上海地区浅部各土层, 通过扁铲指数 E_D 同静探 P_s 和十字板 S_u 的相关关系式(1)、式(2), 结合上述用静探 P_s 和十字板 S_u 计算地基承载力特征值的公式, 即可得出扁铲指数 E_D 同地基承载力特征值之间的相关关系, 同时综合考虑扁铲指数 E_D 同用室内土工试验参数确定的地基承载力特征值之间的关系见式(3)、式(4), 可得出表1的上海地区用扁铲侧胀试验计算地基承载力的经验公式。

表1 扁铲侧胀试验确定地基承载力特征值 f_{ak} 的经验公式

土层	f_{ak}/kPa	适用范围值
② _{1,2} 褐黄色粘性土	$f_{ak} = 0.010 E_D + 60$	$E_D > 7000$ 取 7000
② ₃ 灰色粉性土	$f_{ak} = 0.009 E_D + 50$	$E_D > 11500$ 取 11500
③ 灰色淤泥质粉质粘土	$f_{ak} = 0.006 E_D + 50$	$E_D > 6500$ 取 6500
④ 灰色淤泥质粘土	$f_{ak} = 0.006 E_D + 50$	$E_D > 3500$ 取 3500
⑤ ₁ 褐灰色粘土	$f_{ak} = 0.010 E_D + 60$	$E_D > 5500$ 取 5500

3.2 地基承载力特征值的校核

为了更好地用扁铲指数 E_D 计算地基承载力, 通过统计, 给出了在上海地区用扁铲指数 E_D 确定地基承载力特征值的校核资料(见表2)。

表2 扁铲侧胀试验 E_D 确定地基承载力特征值 f_{ak} 的校核

土层	E_D/MPa	计算 f_{ak} 公式	f_{ak}/kPa
② _{1,2} 褐黄色粘性土	2.0~7.0	$f_{ak} = 0.010 E_D + 60$	80~130
② ₃ 灰色粉性土	2.5~11.5	$f_{ak} = 0.009 E_D + 50$	73~154
③ 灰色淤泥质粉质粘土	0.6~6.5	$f_{ak} = 0.006 E_D + 50$	54~89
④ 灰色淤泥质粘土	1.1~3.5	$f_{ak} = 0.006 E_D + 50$	57~71
⑤ ₁ 褐灰色粘土	2.2~5.5	$f_{ak} = 0.010 E_D + 60$	82~115

4 计算公式的精度分析评价

上海市工程建设规范《岩土工程勘察规范》(DGJ 08—37—2002)中给出了用室内试验、静探和旁压试验确定地基承载力基本值 f_0 和设计值 f_d 的校核值, 按《规范》推荐的 $f_{ak} = 0.90f_0$ 和 $f_{ak} = 0.80f_d$ 计算地基承载力特征值校核值, 并把它与表2给出的扁铲侧胀试验确定的地基承载力特征值校核值进行对比, 其结果见表3。

表3 不同试验方法确定的地基承载力特征值 f_{ak} (kPa) 校核值的对比

土层	旁压试验	静探触探试验	扁铲侧胀试验	室内土工试验
② _{1,2} 褐黄色粘性土	97	75~135	80~130	83~119
② ₃ 灰色粉性土	101	81~149	73~154	
③ 灰色淤泥质粉质粘土	76	54~92	54~89	58~82
④ 灰色淤泥质粘土	73	54~79	57~71	53~77
⑤ ₁ 褐灰色粘土	105	82~136	82~115	94~130

为了进一步研究用扁铲侧胀试验扁铲指数 E_D 计算地基承载力特征值的精度,对已有的扁铲侧胀试验资料,用表 2 给出的公式分层计算地基承载力特征值,统计其分布规律,并把它与用室内土工试验

法、静力触探试验法和十字板剪切试验法确定的地基承载力特征值的分布进行对比,得出各方法确定的地基承载力最大频率分布范围,其结果见表 4。

表 4 不同方法确定的最大频率分布范围地基承载力特征值 f_{sk} /kPa 的对比

土 层	十字板剪切试验	静力触探试验	扁铲侧胀试验	室内土工试验
② _{1,2} 褐黄色粘性土	90~100	90~100	90~100	140~150
② ₃ 灰色粉性土		70~80	85~95	
③ 灰色淤泥质粉质粘土	70~80	50~60	55~65	100~110
④ 灰色淤泥质粘土	55~65	55~65	60~70	70~80
⑤ ₁ 褐灰色粘土	90~100	90~100	95~105	100~110

据表 3、表 4,对用扁铲侧胀试验计算上海地区浅部各土层地基承载力公式(见表 1)的计算精度分析评价如下:

1)由表 3 可以看出,用扁铲侧胀试验确定的地基承载力范围与用其它方法确定的地基承载力范围基本一致;

2)由表 4 可以看出,最大频率分布范围内,除室内土工试验计算的地基承载力偏大外,用扁铲侧胀试验计算的地基承载力与用其它方法确定的地基承载力基本一致。

5 结论与建议

1)研究分析表明,可以用扁铲侧胀试验计算地基承载力,计算公式见表 1。

2)对比分析表明,本文得出的经验公式能够满足精度要求。

3)扁铲侧胀试验由于其具有操作简单、重复性好、人为影响小及经济适用等优点,在估算地基承载力方面,将具有广阔的应用前景。

4)本文主要研究了上海地区用扁铲侧胀试验计算地基承载力的公式,在其它地区,对公式的适用性还需做进一步的研究。

5)为了更好地总结规律,建议在以后的岩土工程勘察中,多增加扁铲侧胀试验项目。

参与本课题研究的还有上海岩土工程勘察设计研究院有限公司的陈波、夏群同志,谨此一并致谢!

参 考 文 献

- 1 上海市工程建设规范 DGJ 08-37-2002 岩土工程勘察规范
- 2 王锺琦,等. 岩土工程测试技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- 3 GB 50007-2002 建筑地基基础设计规范
- 4 孙莉,孙仕林. 用扁铲侧胀试验计算饱和软粘土的不排水抗剪强度. 岩土工程技术, 2002(6): 334~337
- 5 陈国民,钟建东,汤智青. 采用扁铲侧胀试验估算土的侧向基床系数的探讨. 上海地质, 2002(2): 40~42
- 6 陈国民,李隽毅,汤智清. 扁铲侧胀试验判别液化的研究与实践. 上海地质, 2003(1): 20~24
- 7 季军,祁镇廷,熊卫兵. 扁铲侧胀试验与静力触探试验的成果对比分析. 上海地质, 2003(1): 32~35
- 8 林宗元. 岩土工程试验监测手册. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994. 426~440

收稿日期: 2004-03-24