

用扁铲侧胀试验计算软基处理工后沉降

向先超, 汪 稔, 朱长歧

(中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学重点实验室, 武汉 430071)

摘 要: 准确预测软基工后沉降对评价软基处理方法、提高软基处理质量非常重要。Marchetti 提出了运用扁铲侧胀试验计算砂和一般土的沉降公式。该试验具有准确快捷、对土扰动小的特点, 但用于计算加载初期的结构性软土误差却较大。软基处理后沉降趋于稳定。利用处理后的扁铲侧胀试验数据, 借鉴 Marchetti 公式, 预测工后沉降。通过与其他几种常规计算方法的比较, 表明该方法能更加准确地计算软基工后沉降。

关 键 词: 扁铲侧胀试验(DMT); 软基处理; 工后沉降

中图分类号: TU 447

文献标识码: A

Soft ground settlement after construction prediction with flat dilatometer test

XIANG Xian-chao, WANG Ren, ZHU Chang-chi

(Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: The accurate prediction of soft ground settlement after construction is very important to evaluate the treatment method and promote treatment quality. Flat dilatometer test (DMT) can get soft soil property quickly and exactly. A settlement calculation formula of sand and common soil was given by Matchetti; but it is not fit to structural soft soil in the beginning loading. After treatment, soft ground settlement tends to stable; and DMT data and Marchetti formula can be used to predict settlement after construction. A conclusion is drawn from the comparison with several other ordinary methods that DMT can predict soft ground settlement after construction more exactly.

Key words: DMT; soft ground treatment; settlement after construction

1 前 言

准确预测软基工后沉降是评价软基处理、提高软基处理质量的基础。由于工后沉降是最终沉降和当前沉降的差值, 常用的方法都是通过监测资料计算出最终沉降, 再用最终沉降减去当前沉降, 实际上是把工后沉降的计算转化为对最终沉降的计算。目前最终沉降常见的推算方法有双曲线法、三点法、沉降速率法、星野法等。这些方法都需要有准确、详细的监测资料(特别是沉降基本稳定后的资料), 历时较长。随着计算机技术的发展, 有限元等数值计算方法在软基沉降计算中运用越来越多^[1]。但除一些大型项目, 一般工程都难以准确获得众多的计算参数。采用试验方法计算沉降具有迅速快捷的特

点, 过去常用单桥静力触探试验参数按分层总和法进行计算, 张诚厚等^[2]根据沪-宁高速公路资料探讨了用孔压静力触探计算沉降的方法。扁铲侧胀仪是 20 世纪 70 年代发明的一种原位测试仪器, 适用于细粗粒土(如软硬粘土, 粉土, 砂类土), 具有试验迅速、准确、经济、对土扰动小的特点^[3], 用扁铲试验资料可以更加准确地预测软基工后沉降。

2 扁铲试验计算沉降的原理

扁铲试验是基于弹性理论计算路基在附加荷载下的沉降量的^[4]。其一维沉降公式为

$$s = \sum \Delta \sigma_v / M \Delta Z \quad (1)$$

式中 s 为沉降量(m); $\Delta \sigma_v$ 为试验深度处土的有效

压力的增量(附加应力, kPa); M 为试验深度处的一维 DMT 切线模量($M = \Delta\sigma_v / \Delta\varepsilon_v$, 该处原有效自重应力为 σ_{v0} (kPa), 假设 $\varepsilon_h=0$), 如图 1 所示; ΔZ 为试验间距(m)。

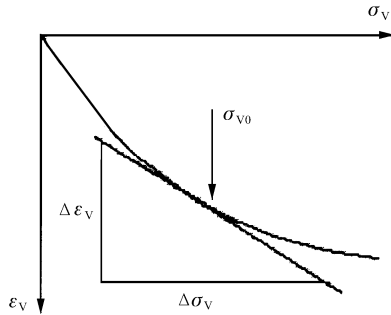


图 1 扁铲切线模量示意图
Fig.1 M of the DMT

三维沉降计算公式为

$$s = \sum \frac{1}{E} [\Delta\sigma_v - \mu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)] \quad (2)$$

式中 E 为土的弹性模量(kPa); μ 为土的泊松比; $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$ 为水平应力增量(kPa)。

由于沉降过程中, 泊松比和水平应力都是变化的, 难以准确地确定, 而一维和三维两种计算方法计算结果差异一般不超过 10%, 加上该路基较宽, 对其中心线用一维方法计算沉降应该是可行的, 因此后面主要讨论用一维沉降公式计算工后沉降。

3 切线模量和附加应力的计算

由于扁铲试验测量的是土层在受到水平方向压力时的相应变形量, 而不能直接提供切线模量, 但可以通过扁铲的侧胀模量 E_D 、水平应力指数 K_D , 土类指数 I_D 间接确定。

侧胀模量反映的是土在水平方向上的应力与应变之间的关系, 如图 2 所示。

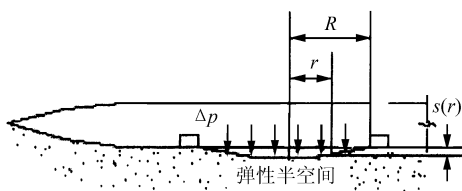


图 2 扁铲膜片在土中的变形图
Fig.2 Deformation of the DMT membrane in soil

假设土体为弹性半空间, Δp 为施加在弹性半空间上的均布荷载, 则有^[5]:

$$s(r) = \frac{4R\Delta p(1-\mu^2)}{\pi E} \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2} \quad 127(3)$$

由膜片中心位移 $s(0)=1.1$ mm, 有

$$E_D = \frac{E}{1-\mu^2} = 34.7\Delta p \quad (4)$$

而水平应力指数反映的是水平应力与竖向应力之间的关系, 由下式计算:

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma_{v0}} \quad (5)$$

式中 p_0 为膜片在土中行程为 0.05 mm 时的气压(kPa); u_0 为静水压力(kPa)。

因此, 可以通过 K_D 和 E_D 建立切线模量 M 的计算式。在 $0.22 < I_D < 0.58$ 的软土中, Marchetti 提出了以下的计算公式:

$$M = [0.14 + 2.36 \log(K_D)] E_D \quad (6)$$

道路中心线各试验点处软土层附加应力为

$$\Delta\sigma_v = \alpha p \quad (7)$$

式中 α 为 Boussinesq 影响系数; p 为设计荷载(kPa)。

4 计算工后沉降

4.1 扁铲试验在预测结构性软土沉降中的问题

国外许多学者在砂和一般性土中用扁铲试验预测沉降, 取得了很好的结果, 并与孔压静力触探进行了比较, 表明扁铲具有更高的准确性。但在结构性很强的软土中, 由于固结曲线在压力超过前期固结压力时有一个明显的转折, 即在加载初期, 当堆载较大时会超出固结前期压力 p_c , 沉降量明显增大, 此时, M 值太高, 需要进行折减后才能用于计算, 而扁铲试验不能提供这个折减模量。并且在加载过程中, 由于附加应力来不及完全转化为土的有效应力增量(较大部分由孔隙水承担), 由此导致软基强度不够产生侧向变形, 引起附加沉降, 这一部分沉降与加载路径有很大关系, 因此, 在软基加载及加载完成后的前期不能应用这种方法计算。

4.2 用扁铲试验计算工后沉降的可行性

经过近 2 年的堆载, 大多数断面的固结度都超过了 90% 以上, 在当前荷载下沉降速率已经很小。卸载至路基交工面以后, 软基有轻微回弹, 变形稳定后进行扁铲试验, 计算得到的 OCR (超固结比) 为 1.2~1.6, 可以认为软土处于超固结状态。由于设计荷载小于前期堆载, 因此软基在设计荷载下的沉降速率必然小于超载结束时的沉降速率。由此, 利用卸载后的软土扁铲试验资料计算设计荷载下的工后沉降是可行的。

4.3 工程计算实例

下面以一个具体断面为例, 该处淤泥层较薄, 软土层顶面在路基交工面下 6 m, 后期工程施工附加荷载及设计活荷载共计 48 kPa。路基宽度为 52 m, 断面长度取 100 m, 卸载后软土层厚度为 2.2 m, 扁铲试验曲线见图 3。计算的工后沉降为 3.31cm, 详细的计算结果见表 1。部分断面扁铲试验与其他常用方法计算的工后沉降对比结果见表 2。常规方法在推算工后沉降时一般都需要沉降基本稳定, 并要求沉降曲线符合一定的线型, 这对测量频率和测量

精度都有较高的要求, 否则推算结果将有很大的误差。在一些断面用几种常规方法推算的工后沉降相互之间有较大差异, 这为如何选择推算方法及采用哪种计算结果带来一定的难度。通过比较, 发现其他三种方法的计算结果在有些断面出现了明显偏大或偏小的情况, 如双曲线设在计算 k_4+122 和 k_5+250 时结果较大, 三点法在 k_4+122 断面计算中明显偏小, Asaoko 法在 k_2+700 和 k_5+353 计算中结果较大, 而扁铲试验计算结果较稳定、合理。

表 1 扁铲试验工后沉降计算表

Table 1 Settlements after construction calculation of DMT

H dm	p_0 /0.1 MPa	p_1 /0.1 MPa	Δp /0.1 MPa	U_0 /0.1 MPa	σ_{vo} /0.1 MPa	E_D /0.1 MPa	K_D	OCR	M /kPa	$\Delta\sigma_v$ /kPa	Δs /cm	S /cm
2	2.60	3.78	1.18	0.18	1.06	40.81	2.29	1.23	40.31	47.76	0.24	0.24
4	2.75	3.63	0.88	0.20	1.07	30.61	2.38	1.31	31.44	47.72	0.30	0.54
6	2.81	3.49	0.68	0.22	1.08	23.68	2.39	1.32	24.43	47.68	0.39	0.93
8	2.92	3.92	1.00	0.24	1.10	34.61	2.45	1.37	36.60	47.64	0.26	1.19
10	3.02	3.64	0.62	0.26	1.11	21.50	2.49	1.41	23.12	47.60	0.41	1.60
12	3.15	3.88	0.73	0.28	1.12	25.50	2.56	1.47	28.12	47.56	0.34	1.94
14	3.02	3.68	0.66	0.30	1.13	22.95	2.40	1.33	23.82	47.52	0.40	2.34
16	3.03	3.62	0.59	0.32	1.14	20.40	2.37	1.30	20.91	47.48	0.45	2.79
18	2.95	4.42	1.47	0.34	1.16	51.01	2.26	1.21	49.72	47.44	0.19	2.98
20	3.07	4.66	1.59	0.36	1.17	55.02	2.32	1.26	55.26	47.40	0.17	3.16
22	3.53	5.08	1.55	0.38	1.18	53.92	2.67	1.57	61.75	47.36	0.15	3.31

表 2 几种工后沉降计算方法对比表

Table 2 Settlements after construction calculation results of DMT and several other methods

断面号	淤泥厚度 /m	加载高度 /m	预压结束 时实测沉 降量/cm	工后沉降/cm			
				双曲线法	三点法	Asaoko 法	扁铲试 验法
k1+920	7.80	4.98	95.44	9.90	8.66	5.25	6.87
k2+700	3.30	5.89	38.65	3.01	2.38	7.24	3.31
k3+400	2.80	5.07	62.11	7.23	2.81	3.49	6.75
k3+910	9.80	4.63	103.40	8.64	3.51	4.85	10.36
k4+122	3.00	6.01	82.26	16.91	1.92	5.81	5.71
k5+250	11.10	6.35	128.73	29.45	24.12	19.11	17.87
k5+353	8.1	6.12	100.89	21.91	5.35	33.24	8.29

扁铲侧胀试验具有试验迅速、准确、经济、对土扰动小的特点, 本文详细讨论了如何用这种方法计算软基工后沉降, 并与几种常用方法进行了比较, 表明扁铲试验具有更高的精度。

本文工后沉降的计算方法主要借鉴了国外关于扁铲试验计算砂和土的沉降公式, 随着资料的积累应该建立国内地区性的计算公式。

本文探讨的计算方法是根据卸载后的试验数据进行推测的, 这虽然可以复核软基处理工后沉降是否达到设计要求, 但作为指导施工的指标, 应在卸载前进行试验, 以确定是否达到卸载要求。因此在后续工作中还应该建立用堆载期间扁铲试验数据计算工后沉降的方法。

参 考 文 献

- [1] 张诚厚, 袁文明, 戴济群. 高速公路软基处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996. 69 - 79.
- [2] 安关峰, 鲁亮. 软土地基上填土桥坡工后沉降三维有限元研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(3): 247 - 251.
- [3] Kamei T, Iwasakik. Evaluation of undrained shear strength of cohesive using a flat dilatometer[J]. Soil and Foundation, 1995, 35(2): 111 - 116.
- [4] Marchetti S. The flat dilatometer(DMT) and its application to geotechnical design[A]. Japanese Geotechnical Society International Seminar[C]. Tokyo: Japanese Geotechnical Society, 1999. 56 - 61.

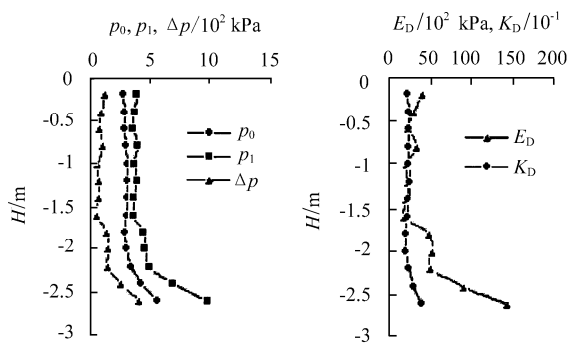


图 3 扁铲试验曲线图

Fig. 3 DMT curve

5 结 语

-
- [5] 唐世栋, 林华国. 用扁铲侧胀试验求解侧向基床反力系数[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(11): 692 - 696.
- TANG Shi-dong, LIN Hua-guo. Calculation of the horizontal coefficient of subgrade reaction with the flat dilatometer test[J]. **Journal of Geotechnical Engineering**, 2003, 25(11): 692 - 696.