

文章编号: 1000-7598-(2005)07-1095-04

海滩地区软土路基瞬时沉降分析

向先超, 汪 稔, 朱长歧

(中国科学院岩土力学重点实验室, 武汉 430071)

摘 要: 软基瞬时沉降目前还没有很完善的计算方法, 而海滩地区软土路基所处环境又较复杂, 由于长期受潮汐影响, 两旁一般都筑有围堰。结合厦门一滨海路基变形监测资料, 对瞬时沉降进行了分析, 在考虑围堰及潮汐等影响因素的情况下, 建立了该类地区软基瞬时沉降的计算公式。由于该方法各计算参数都是由厦门地区软基变形实测资料而得出, 故能较好地计算该地区软基瞬时沉降, 而对其他类似地区也有一定的参考作用。

关 键 词: 瞬时沉降; 围堰; 潮汐

中图分类号: TU 433

文献标识码: A

Analysis of soft foundation instant settlement in seaside areas

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

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

Abstract: There is no perfect calculation method for soft foundation instant settlement at present. And the environment of the seaside soft foundation is very complicated. As the foundation is always affected by the tide, in general, there exist embankments in the two sides. The measurement data from a seaside road foundation treatment project in Xiamen are used to analyze instant settlement, on the condition of considering the influences of embankment. Finally the instant settlement calculation method is established. As the parameters about the method are obtained from the measurement data in Xiamen area, then it can calculate the soft foundation instant settlement very well there; in addition it also can be used for some other places in the similar conditions.

Key words: instant settlement; embankment; tide

1 引 言

软基沉降变形随时间可以分为瞬时沉降、主固结沉降、次固结沉降。瞬时沉降为加载过程中, 土体来不及排水, 而由地基形状的变化引起的附加沉降。目前, 对于主固结沉降、次固结沉降研究得较多^[1]。但对瞬时沉降的研究却相对较少, 现在瞬时沉降计算方法主要有: 根据土体的不排水变形模量计算的线弹性理论法; 应力路径法; 根据三轴不排水试验的归一化曲线进行计算的方法^[2]。其中只有应力路径法可以考虑加载方式和加载速率的影响, 但又过多地依赖室内试验, 在工程中应用很不方便。在工程设计中, 一般是用固结沉降乘以一定的修正系数来考虑瞬时沉降及其他因素的综合影响, 但由于各地软土特性千差万别, 施工方式也不尽相同, 修正系数过于笼统, 给设计带有较大的不确定性。许多地区都根据自身的具体情况建立起了一些适应

不同条件的经验公式^[3], 虽然这些公式不具有普遍性, 但在解决本地区问题时无疑是较为适用的。

在海滩地区, 会出现较其他地区更为特殊的情况, 比如路基填筑前一般都要在两侧修筑围堰, 并且每天各时刻潮水位变化也很大。本文将根据厦门某滨海大道路基变形监测资料, 综合考虑以上因素, 对瞬时沉降变形进行分析。

2 场区土性及软基变形原位监测

由于经济的发展, 厦门开始了海湾型城市的建设步伐, 许多浅海地带都成了开发区域。为了深入了解这一地区的软基变形特性, 对该区域一条道路路基变形进行了全面监测。该工程为城市 I 级主干道, 同时兼有旅游观光的功能。工程分两期, 其中, 一期路面长 5.85 km, 设计宽度为 52 m。淤泥层厚度为 0.5~19.0 m, 具有高压缩性、低强度、低透水性等特点。其物理力学性质指标见表 1。

收稿日期: 2004-03-24

修改稿收到日期: 2004-07-24

资助项目: 建设部 2003 科研攻关项目 (No.63-03-2-004)。

作者简介: 向先超, 男, 1976 年生, 博士研究生, 主要从事软土加固技术及机理的研究。E-mail: xiangxc@sina.com

表 1 软土物理力学性质指标
Table 1 Physico-mechanical properties of the soft clay

含水量	重度	孔隙比	液限	塑限	压缩模量	承载力 标准值	无侧限		十字板剪切		直剪		固结系数
							原状土	重塑土	不排水抗剪强度	灵敏度	粘聚力	内摩擦角	
$w / \%$	$\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	e	$W_L / \%$	$W_P / \%$	E_s / MPa	f_k / kPa	q_u / kPa	$q_{u'} / \text{kPa}$	c_u / kPa	S_t / kPa	c / kPa	$\varphi / (^\circ)$	$C_v / \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
64.8	15.9	1.807	50.4	26.9	1.8	45	15	5	5	4.4	10.0	1.5	2.2×10^{-3}

依据试验路段的研究成果，针对不同的淤泥厚度采用两种不同的地基处理方法，在淤泥厚度小于 15 m 的地段，采用袋装砂井超载预压法；在淤泥厚度大于 15 m 的地段及涵闸等构筑物处，采用粉喷桩复合地基。路基处理前在两侧修筑围堰，围堰和道路之间为反压护道。原位监测每 100 m 设置一个监测断面，主要使用了沉降板、分层沉降、水位、孔隙水压力、全断面水平位移监测等手段。由于该路基大部分在海面下施工，因此在大多数断面两侧都筑有围堰，而且路基常年受潮汐影响。

3 瞬时沉降分析

在瞬时沉降过程中，视土体体积没有改变，则有：

$$\int_0^L S_d dx = 2m \tag{1}$$

式中 S_d 为瞬时沉降量(m); L 为路基宽度(m); m 为单侧水平侧移面积(m^2)。

由于水平位移测点间距为等间距，则该断面一侧总的水平侧移面积可看成是 $n-1$ (n 为测点数) 个梯形的面积之和。图 1 为一个断面部分时间的水平位移曲线， H 为淤泥深度，该处没有围堰，测点间距为 0.5 m。则水平侧移面积为

$$m = \left(a_1 + a_n + 2 \sum_{i=2}^{n-1} a_i \right) d / 2000 \tag{2}$$

式中 a_i 为第 i 测点的水平位移(mm); n 为水平位移的测量点数; d 为测点间距(m)。

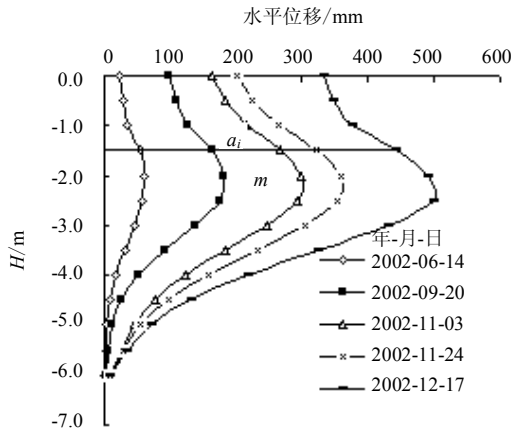


图 1 水平位移图(无围堰)
Fig.1 Lateral displacement profiles (without embankment)

3.1 围堰对瞬时沉降的影响

根据瞬时沉降的定义，瞬时沉降的大小可以由加载完成时的侧移量直观反映。围堰的存在，大大限制了侧向位移，减小了瞬时沉降。图 2 也是一个断面部分时间的水平位移曲线，但有围堰，淤泥厚度、填土高度等其他条件与图 1 断面相同。从图 2 与图 1 的比较发现，有围堰的侧移量远小于没有围堰的侧移量。围堰也改变了侧向变形的图形形状，分别对有围堰和没有围堰时最大水平位移与平均水平位移的关系进行统计，发现它们具有极强的线性规律，如图 3，有围堰时斜率较小，说明围堰也使水平位移随深度趋于均匀化。

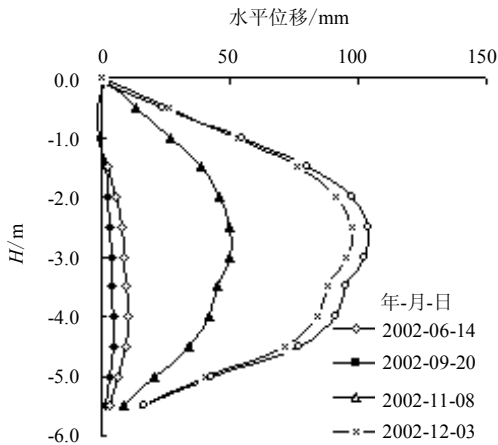


图 2 水平位移图(有围堰)
Fig.2 Lateral displacement profiles (with embankments)

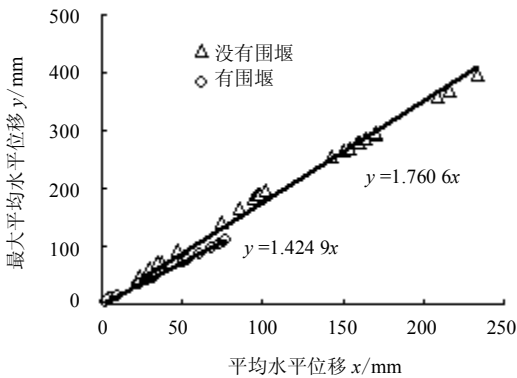


图 3 最大水平位移与平均水平位移关系曲线
Fig.3 Relationship of largest lateral displacements and average lateral displacements

围堰还减小了沿断面方向的差异沉降, 由全断面实测值可知: 路基沿断面的沉降曲线为锅底形, 许多内陆高速公路中心处的沉降为平均沉降的 1.5 倍, 图 4 为一断面处(该断面两侧均有围堰)的全断面沉降曲线, 中心处的沉降为平均沉降的 1.1 倍 (l 为围堰到路基的距离 (m))。

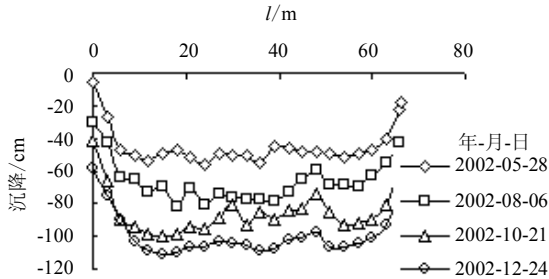


图 4 全断面沉降图
Fig.4 Settlement profiles

在一般情况下, 路基长度方向远远大于宽度方向, 其变形属于平面应变。围堰对路基侧移的影响随着其离路基距离的增大而迅速减小。考虑极限情况, 假设路基土体被完全挤出, 由于最大水平位移与平均水平位移之比小于 2, 水平位移将不超过路基宽度, 因此可认为, 当围堰距离路基超过路基宽度时, 将几乎失去作用。为了定性分析围堰对侧移量的影响, 选取其他参数相近(如淤泥厚度、填土高度等)的断面进行分析(这里统计的断面围堰到路基的距离最大为 20 m, 最小为 4 m), 发现其影响趋于正切关系, 如图 5 所示, 图中 M 为没有围堰时的路基侧移量, 用正切曲线拟合这一影响系数, 表达式如下:

$$\alpha = m/M = \arctan l/1.529 \quad (3)$$

式中 α 为围堰影响系数。

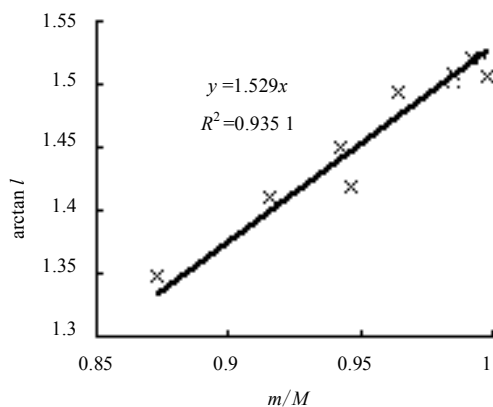


图 5 围堰对水平位移的影响图
Fig.5 Relationship of lateral displacements and embankment

3.2 潮汐对瞬时沉降的影响

潮汐对软基加固处理有明显影响, 文献[4]对该类地区孔压的修正方法进行了探讨。潮汐对瞬时沉降的影响主要表现在潮汐的变化会引起路基中水位的变化, 由于填土后软基将发生沉降, 因此位于水位以下部分填土将会增大, 从而改变了附加荷载。

通过对埋在路中的水位管进行全天候的监测, 并与当地提供的相应地点的潮汐数据比较, 发现道路中心水位变化与潮汐变化有密切关系, 但幅值明显比潮汐小, 峰值的出现也不同步。以上现象是由围堰及排水砂垫层的渗透速率决定的, 当涨潮到达峰值时, 引起的水位升高较小, 潮水越过峰值而开始下降后, 路中水位还会升高, 但是由于海面水位已经降低了, 因此路中水位不可能升到潮水的最大值, 便开始下降; 同理, 路中水位也不可能降到潮水的最小值。由于软土向砂垫层排水, 实际上路中平均水位要高于平均潮水位, 如图 6。

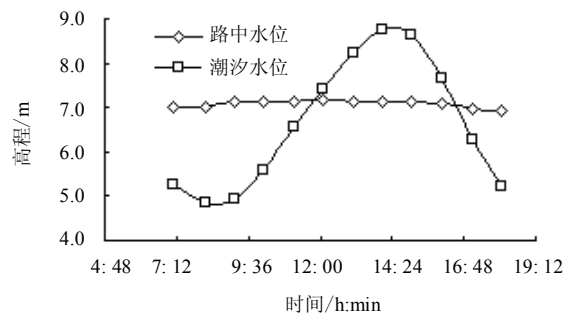


图 6 水位与潮汐
Fig.6 Relationship of water level and tide

由于加载过程中地基沉降必然导致实际填土高度大于测量高度, 因此实际填土高度为实测地表高程差值加上地基发生的沉降量。同时由于部分加载填土可能会低于水位线, 因此对水位线以上的附加荷载计算时取天然重度, 对水位线以下的附加荷载计算时取浮重度。水位线的确定可根据实际测得的水位取算术平均值。最终得到附加荷载计算式:

$$P = \gamma_s h_1 + (\gamma_s - \gamma_w) h_2 \quad (4)$$

式中 P 为附加荷载(kPa); γ_s 为填土重度(kN/m^3); γ_w 为水重度(kN/m^3); h_1 为潮汐修正后水位线上填土高度(m); h_2 为潮汐修正后水位线下填土高度(m)。

3.3 瞬时沉降计算

由前面对瞬时沉降定义可知, 推导瞬时沉降计算公式可以从水平侧移入手。张诚厚等根据沪—宁高速公路的实测资料统计分析, 提出水平侧移与附

加荷载、软基厚度、荷载有效宽度成正比,与初始弹性模量成反比^[5],即

$$m = \frac{\beta PHL}{E_0} \quad (5)$$

式中 β 为综合系数; H 为软土厚度(m); E_0 为初始弹性模量(kPa)。

应用以上关系式,考虑两侧围堰的影响有:

$$m_1 + m_2 = \frac{\beta PHL}{E_0} (\arctan l_1 + \arctan l_2) / 1.529 \quad (6)$$

式中 m_1 , m_2 分别为内、外侧水平侧移面积(m²); l_1 , l_2 分别为内、外围堰到路基距离(m)。

p 取经潮汐修正后的附加荷载,由实测数据(部分数据见表 2)根据式(6)反算得 $\beta = 0.36$ 。

表 2 实测数据表
Table 2 Measured data

断面序号	淤泥深度/m	填土高度 /m	内围堰宽度 /m	外围堰宽度 /m	填土完成时沉降量 /m	填土完成时内侧移面积 /m ²	填土完成时外侧移面积 /m ²
1	5.9	1.9	11.6	15.0	0.171	0.19	0.21
2	5.7	2.0	12.0	17.8	0.134	0.21	0.19
3	6.4	1.8	14.1	14.3	0.119	0.22	0.23
4	6.3	1.6	18.4	14.6	0.078	0.19	0.18
5	5.8	2.4	无围堰	18.5	0.144	0.23	0.19
6	5.8	1.6	无围堰	15.7	0.118	0.22	0.14

中心处瞬时沉降为平均瞬时沉降的 1.1 倍,即

$$S_d = 1.1 \bar{S}_d \quad (7)$$

$$S_d = 1.1 \frac{m_1 + m_2}{L} \quad (8)$$

$$S_d = 1.1 \frac{\beta PH}{E_0} (\arctan l_1 + \arctan l_2) / 3.058 \quad (9)$$

$$S_d = 0.129 \frac{(\arctan l_1 + \arctan l_2)(\gamma_s h_1 + (\gamma_s - \gamma_w) h_2) H}{E_0} \quad (10)$$

4 结 论

根据厦门一海滩地区软基处理实测数据,主要就围堰和潮汐对瞬时沉降的影响进行了深入分析,建立了适合该类地区的计算公式。影响瞬时沉降的因素还有很多,如加载方式和加载速率,在这里所用到的数据基本都可简化为匀速加载,为了解决本地区特有的问题,没有考虑加载方式和加载速率,以及软基本身的尺寸效应问题,由于路基宽度相差不大,这里同样忽略了路基宽度的影响。同时由于只有一侧有围堰的断面较少,没有将该类问题单独分析,如果将其和两侧有围堰的情况分开考虑将更符合实际情况。因此,今后在这些方面还应该进行深入探讨。

参 考 文 献

- [1] 廖红建, 苏立君, 白子博明, 等. 次固结沉降对压缩时间曲线的影响研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(5): 536—540.
LIAO Hong-jian, SU Li-jun, SHIRAOOK Hiroaki. Research on influence of secondary consolidation on compression time curve[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2002, 23(5): 536—540.
- [2] 折学森. 软土地基沉降计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [3] 马传明, 蔡鹤生. 珠江三角洲地区高速公路软基瞬时沉降计算方法探讨[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2002, 27(2): 212—216.
MA Chuan-ming, CAI He-sheng. Calculation method of instant settlement of freeway soft foundation in Zhujiang delta area[J]. **Earth Science — Journal of China University of Geosciences**, 2002, 27(2): 212—216.
- [4] 林开球. 海堤下软基超孔隙水压力值的修正方法[J]. 岩土力学, 1994, 15(3): 59—64.
LIN Kai-qiu. A method for revising measurement value of excess pore water pressure in soft foundation under sea embankment[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1994, 15(3): 59—64.
- [5] 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.