

Plaxis Deformation in Soft Ground Seawall Study

Yao Sun, Degang Jin

Ningbo City Water Resources and Hydropower Planning and Design Institute, Ningbo
Email: 3881445@qq.com, nbjdg@hotmail.com

Received: Mar. 25th, 2013; revised: Apr. 18th, 2013; accepted: Apr. 29th, 2013

Copyright © 2013 Yao Sun, Degang Jin. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In the seawall filling design of concretion and drainage in the deep soft soil, some elements which are often regarded as important have to be considered such as settlement and stabilization of the levee, the stability safety factor during a construction period, the long-term stability safety factor, the settlement after construction and so on. It was combined the characteristics of the Plaxis program and its applications to the calculation of seawall settlement and contrasted actual data collected through the project site with calculation results in this paper. The deformation process of the soil under load is simulated very well via the Plaxis program and the calculation results can meet the project accuracy requirements as long as the soil model, the load step, boundary conditions and initial conditions are reasonable. It's available to predict the soft soil deformation via the Plaxis program.

Keywords: Plaxis Software; Seawall Soft Ground; Deformation

Plaxis 在软土地基海堤变形研究中的应用

孙 尧, 金德钢

宁波市水利水电规划设计研究院, 宁波
Email: 3881445@qq.com, nbjdg@hotmail.com

收稿日期: 2013 年 3 月 25 日; 修回日期: 2013 年 4 月 18 日; 录用日期: 2013 年 4 月 29 日

摘 要: 在深厚软土地基上进行海堤固结排水填筑设计时, 堤身的沉降与稳定、施工期间及长期的稳定安全系数和工后沉降等因素都是设计必须考虑的问题。本文结合 Plaxis 程序的特点以及其在计算海堤沉降方面的应用, 通过工程现场采集的数据与计算结果对比, 认为只要选择合理土体模型、加载步长、符合土体的边界条件以及初始条件, Plaxis 程序能够很好地模拟土体在荷载作用下的受力变形过程, 计算结果能够满足工程精度要求。可以用 Plaxis 程序来预测海堤软土地基的变形。

关键词: Plaxis 软件; 海堤; 软土地基; 变形

1. 引言

随着近十年大量的围垦项目上马, 海堤施工过程中失事的情况时有发生, 如何合理判断软土地基筑堤的稳定和有效指导海堤实际施工过程, 成为设计单位在施工设计的难点。围垦工程的海堤直接坐落在软土地基上, 致使地基土受到挤淤、排水固结, 产生了较大的沉降量。海堤沉降是一个复杂的过程, 它涉及到

地质勘察、地基处理、岩土环境、地基土的应力历史、海堤填土的性质、施工方案、填土速率等因素的影响。海基沉降也是工程质量的一个重要评价因子。当前计算海堤沉降基本上按照规范规定以分层沉降总和法为主, 辅以软土修正系数, 对工后沉降要求结合固结计算和类似工程经验等综合分析确定, 对不同的设计人员往往会产生较大的计算误差, 如何准确判断海积

软土在海堤荷载作用下的沉降变形往往是堤防建造和围海造地等重大工程中的关键环节,为研究海积软土的变形特性,在室内试验的基础和实测沉降的基础上,采用 Plaxis 有限元软件对实际的工程项目全过程施工的模拟,认为采用粘性土弹塑性模型对堤坝沉降变形进行平面应变情况的模拟,沉降模拟跟实测比较接近,并能很好地模拟工后沉降,能解决由经验判断产生的较大误差。

2. Plaxis 对海堤变形的分析过程

Plaxis 的研制开始于 1987 年,由荷兰的公共事业与水资源管理部委托 Delft Technical University 开发的,初始目的是为了进行建立在软土上的河堤分析。此后,Plaxis 一直不断发展,今天已经成为一种功能强大的专门针对岩土工程中变形与稳定计算的有限元分析软件^[1]。

2.1. 几何模型及材料属性

选取北仑七姓涂围垦工程的典型横断面(K5+000)

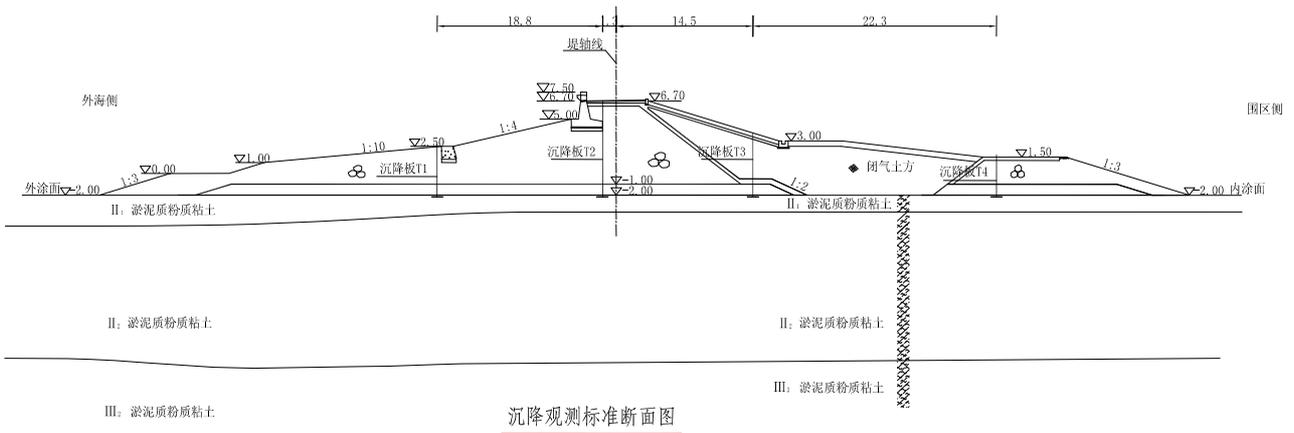


Figure 1. Seawall structure and settlement plate buried
图 1. 海堤结构及沉降板埋设图

进行研究。海堤顶宽 6 m, 高 9.5 m, 采用复式断面结构,基础处理采用塑料排水板,堤基采用天然地基^[2]。考虑海堤为非对称结构,为正确模拟此问题,采用内外堤脚外各取 40 m 作为边界,建立几何模型。海堤断面见图 1。对位移边界条件作如下假定:模型的左、右边界水平方向位移为零,竖直方向允许发生变形;下边界任意方向的变形为零。

2.2. 单元格划分

本文采用的是 15 节点单元,Plaxis 软件具有自动划分网格的功能,点击“划分”按钮就完成了网格划分过程。需要指出的是这对本文问题的特点,在“划分精度”中选择的是“中等粗糙程度”,这样不但可以得到较为理想的计算结果,而且计算所花费的时间不太长。图 2 为网格划分完的示意图。

2.3. 初始条件定义

几何模型建立后,需要定义初始条件。初始条件包括初始孔压、初始应力和排水条件三部分。本工程

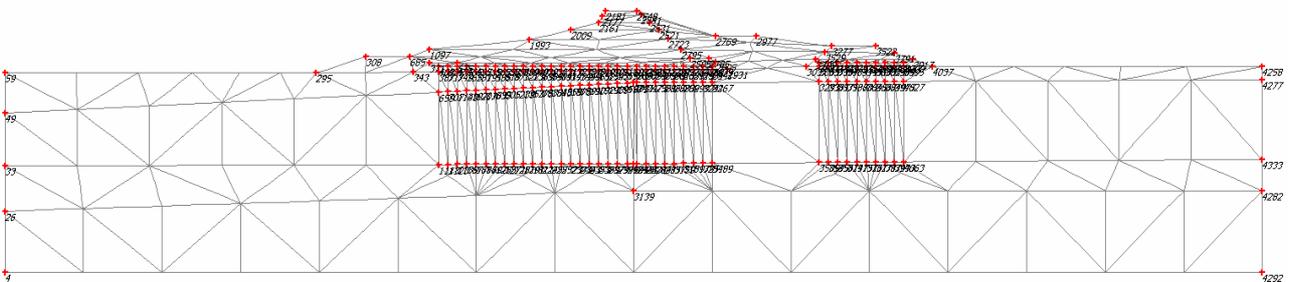


Figure 2. Meshing figure
图 2. 网格划分图

为围垦工程，初始计算水位采用平均潮位，水的容重取值为 $10.2 \text{ kN}\cdot\text{m}^3$ 。地下水位取为地基顶面高程。

1) 初始孔压是由地下水所产生的静孔压，除饱和土样含有初始孔压外，其余非饱和土没有初始孔压。图 3 为 Plaxis 程序计算所得的初始孔压分布图。

2) 初始应力是指原地基在未填筑海堤之前，由地基土自重和上覆水压力引起的应力情况。图 4 为 Plaxis 程序计算所得的初始应力分布图。

3) 排水条件。左右垂直边界由于假定没有自由水的流动，故应处于“固结关闭状态”；而对于底面边界，可发生水平向和垂直向的水的渗透和流动，所以此边界应处于“固结打开状态”。有限元分析中采用 PLAXIS 程序中的 Drain 单元来模拟地基中的塑料排水板，该单元呈线性^[1]。分析中与该单元相交的地基

中的结点超静孔隙水压力为零。

3. 工程算例

工程区海涂为第四系松散堆积物所覆盖，属海相或冲海相沉积，上部由黄灰或灰色淤泥质粉质粘土、淤泥、淤泥质粉质粘土、淤泥质粘土等组成，下部局部有卵石及粉质粘土^[2]。

经钻探揭露，工程堤基土主要有 4 个地质层、7 个亚层，分别为 II₁ 层淤泥质粉质粘土，II₂ 层淤泥质粉质粘土、III₁ 层淤泥质粘土、III₂ 层淤泥质粉质粘土、IV₁ 层粉质粘土和 IV₂ 层粘土^[2]。

3.1. 海堤堤身及地基相关参数

堤身与地基地质指标见表 1。

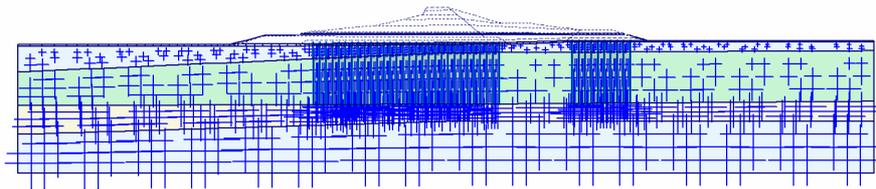


Figure 3. Initial pore pressure distribution
图3. 初始孔压分布图

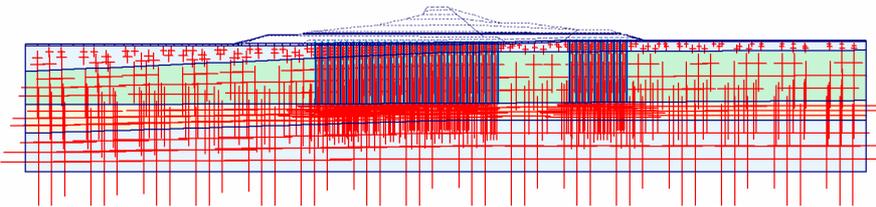


Figure 4. The initial stress distribution
图4. 初始应力分布图

Table 1. The levee foundation geological indicators table
表1. 堤身与地基地质指标表

地层	材料名称	天然重度 KN/m ³	孔隙比e ₀	直剪				渗透系数cm/s		压缩模量Mpa	泊松比
				C固	φ固	C快	φ快	Kh	Kv		
堤身	抛石	18.0	0.5	0	38			1	1	30	0.2
	碎石	17.5	0.5	0	38			1	1	20	0.2
	闭气土	17.5	1.281	8	16			1.80E-05	6.48E-06	3.21	0.35
地基	II ₁	17.6	1.281	6	16.7	3.6	6.8	1.80E-05	6.48E-06	2.64	0.35
	II ₂	17.8	1.189	6.5	18.7	4.3	8.8	1.05E-05	2.12E-06	2.75	0.35
	III ₁	17.6	1.268	7.5	14.7	4.9	4.7	1.07E-05	9.20E-08	2.32	0.35
	III ₂	18.1	1.091	8	18.1	6.3	9.5	1.20E-05	1.53E-06	3.06	0.35
	IV ₁	19.1	0.858	9.7	21.3	8.9	14.1	5.79E-07	3.13E-06	3.93	0.35
	IV ₂	17.7	1.212	11	13.8	6.4	4.4	7.84E-07	9.93E-07	2.67	0.35

3.2. 计算结果分析

本实例计算中，海堤实际加荷填筑土过程分为八级。本次计算堤坝土石方加载均按实际加荷过程进行模拟计算。

海堤 5+000 断面的实际加荷过程线如图 5:(T1-T4 沉降板)^[3]。

1) 图 6 为分步填土过程 T1、T4 实测水平位移变化过程图。图 7 为计算最终海堤水平位移等值线图，

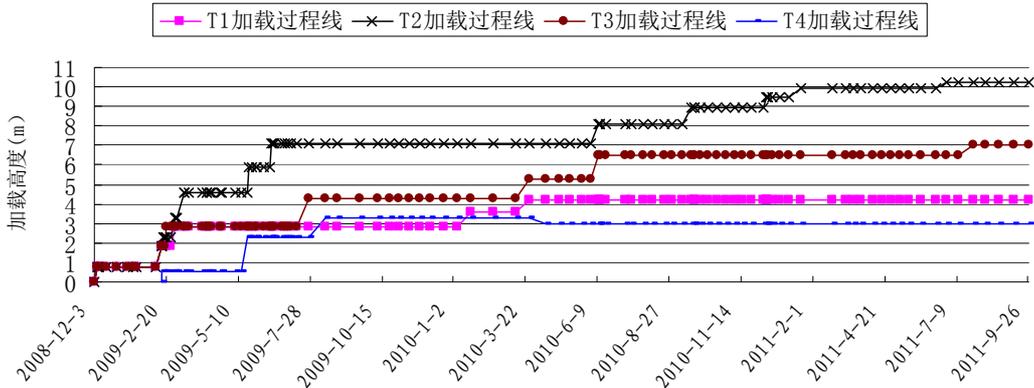


Figure 5. The actual loading process line
图5. 实际加荷过程线

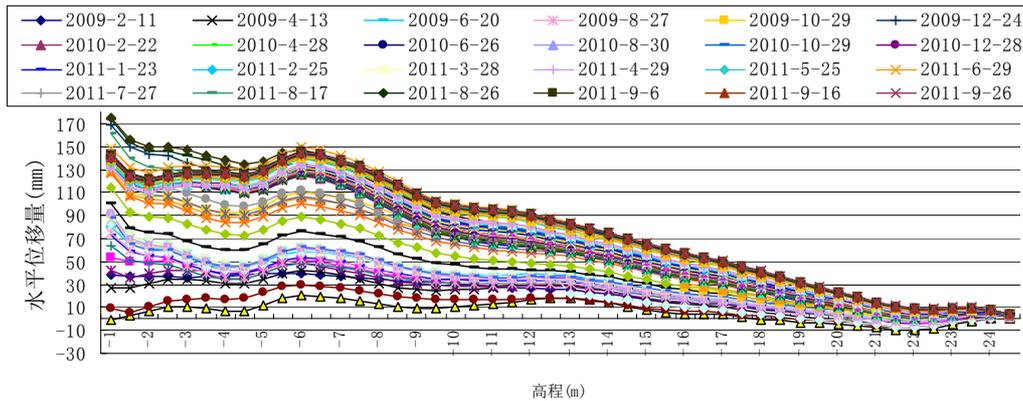


Figure 6. T1 and T4 level displacement observed during the process of change [3]
图6. T1, T4实测水平位移变化过程图^[3]

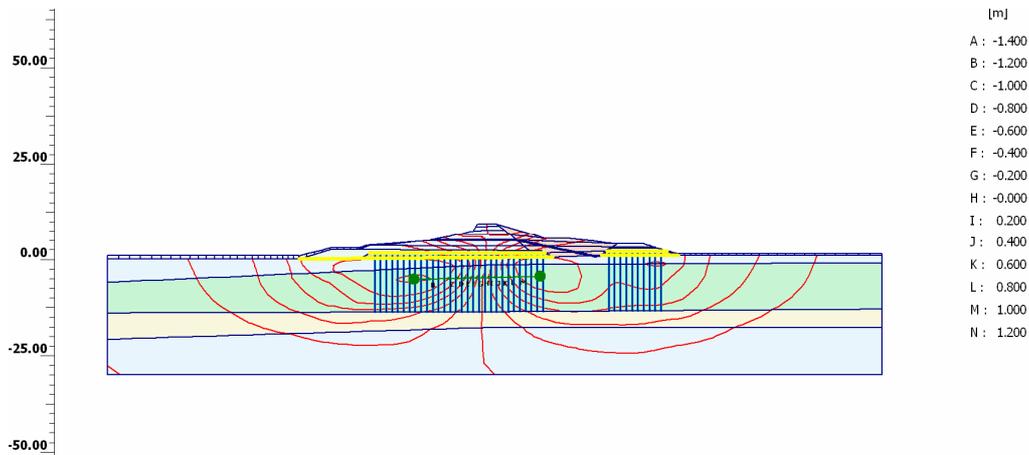


Figure 7. Horizontal displacement contour map of the completion of the simulation
图7. 模拟计算完工时水平位移等值线图

从计算所得的结果看。实测水平位移相对较小，实测 T1、T4 最大水平位移为 0.17 m，而计算水平位移达到 0.85 m，相同计算点计算结果相差接近 5 倍。

2) 图 8 为海堤完工后总应力分布图。可看出在填土荷载作用下，原水平地面的总应力在海堤中心处最大，沿横向逐渐减小，但在大堤范围内变化并不明显。在堤脚处，原地面的总应力并不为零，说明填土荷载对原地表的影响范围并不只在填筑宽度范围内。

3) 通过计算堤基中不同深度的沉降，可以了解地基中一些特殊点的沉降，如土体分层点，地下水位点等等。还可根据每层的沉降相减得到每层自身的沉降，以了解这一层的压缩量，以及这一层在总沉降中的比例，最终更好地分析路基某一层压缩特性。在计算中可根据实际观测情况取每层土的界限作为分层沉降计算点，通过实测值检验计算的准确性，分析出每层土的压缩特性。本次计算以 T2 为代表，1 h~9 h 磁杯高程分别为 -5.42、-8.99、-11.83、-14.77、-17.75、-19.73、-21.54、-23.72、-25.52 m，计算与实测点完全对应，以便检验计算成果的合理性。图 9 为实测分层沉降过程图，图 10 为计算 9 月 25 日沉降等值线图。

计算 2011 年 9 月 25 日最终成果与实测成果对比如表 2。

3.3. 计算值与实测值对比

对比结果表明，PLAXIS 程序计算最终沉降成果与实测值误差极少。究其原因，在计算过程中，PLAXIS 程序能完全模拟加荷过程，由表 3 可看出应用 Plaxis 计算的海堤沉降值与实测值极为接近。但水平位移计算结果相对不尽人意，绝对数值不大，相对误差接近 5 倍。总体上说 Plaxis 计算分层沉降是可以参考的，从地基沉降特性上看，分层沉降最大的位置应该在硬壳层以下的下卧层中，这一层软土承载力低，固结压缩模量小，Plaxis 计算值和实测值都在这方面有较好的反应，表 2 很好地显示出第二层土(软土层)的沉降量最大，但分层沉降深度 10 m 以下部份计算误差相对较大。

4. 结论

应用 Plaxis 有限元软件计算海堤堤基变形和实际基本符合，尽管有一些误差，但这与岩土工程的复杂

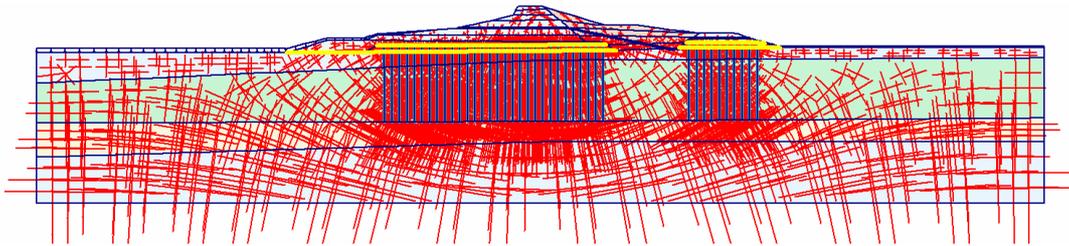


Figure 8. Total stress distribution
图8. 总应力分布图

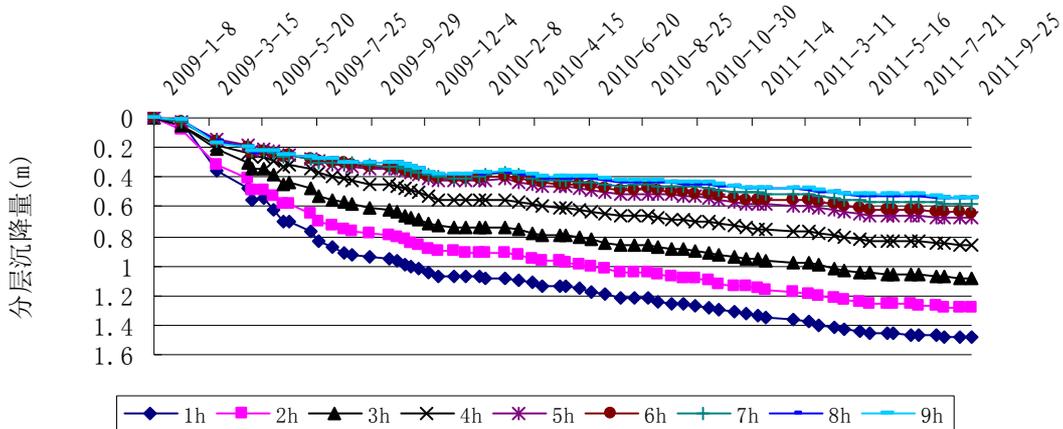


Figure 9. T2 measured layered process of settlement [3]
图9. 为T2实测分层沉降过程图^[3]

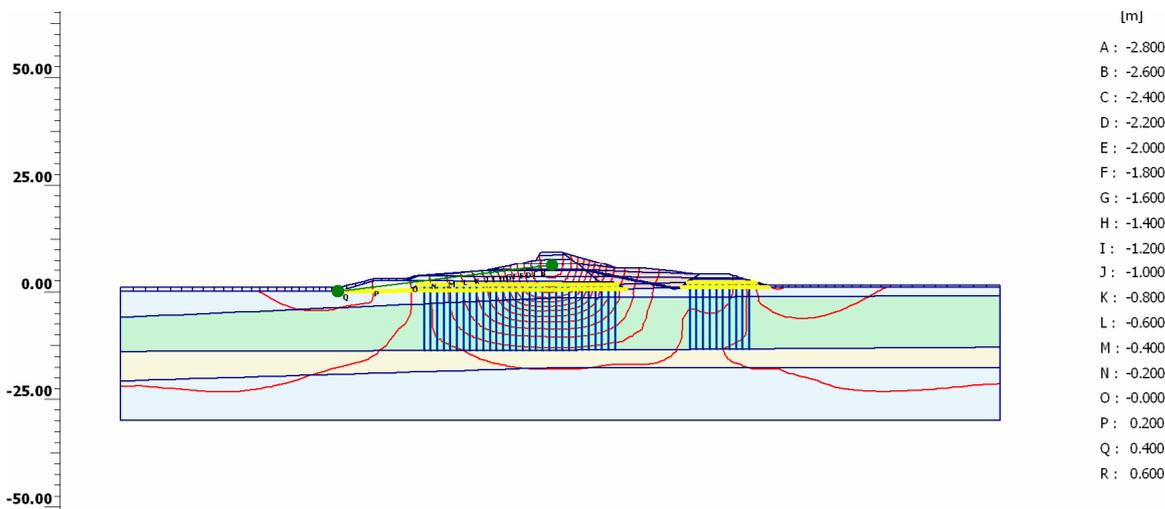


Figure 10. The settlement contour map on September 25
图10. 计算9月25日沉降等值线图

Table 2. Comparative analysis of stratified settlement of T2 (axis) on September 25
表2. 9月25日T2(轴线)分层沉降对比分析表

深度	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h
实测值	1.487	1.287	1.087	0.857	0.677	0.642	0.577	0.547	0.537
计算值	1.423	1.193	0.964	0.664	0.355	0.313	0.304	0.245	0.111

备注：分层磁环、埋设为9 h底部至1 h上部。

Table 3. Comparative table of the seawall calculate the final settlement with the measured settlement, October 2011 [4]
表3. 海堤计算最终沉降与实测沉降对比表, 2011年10月份^[4]

桩号	沉降板	与轴线相对位置	埋设时间	埋设高程	前期沉降	2011年9月25 沉降板沉降值	实际总沉降	计算值
5+000	T1	-20.10	2008-12-3	-1.036	0.4300	1.349	1.7790	1.75
	T2	-1.30	2008-12-3	-0.953	0.4520	2.219	2.6710	2.74
	T3	14.50	2008-12-3	-0.923	0.3230	1.494	1.8170	1.80
	T4	36.80	2009-2-14	-0.349	0.1490	0.895	1.0440	1.05

注：外海侧为负值。

性相比,是可以接受的。所以只要选择合理土体模型、加载步长、符合土体的边界条件以及初始条件,用Plaxis 来预测软土地基海堤变形可以达到工程精度要求。Plaxis 有限元软件计算岩土问题关键是土体力学模型的选取。Plaxis 软件自带几种土体模型,而且软件本身还可以自己添加新的土体力学模型,这就大大方便了工程应用。

1) PLAXIS 程序更适合模拟施工实际过程,适合施工单位在实际施工中优化施工方案,在深厚软土地基上采用固结排水法填筑海堤,采用 PLAXIS 程序计算沉降成果较好与实测比较相符,最大沉降量两者计

算成果相差不大,在工程设计中可以采用有限元方法进行计算^[5]。

2) PLAXIS 程序在模拟水平位移时相对误差较大,有待进一步完善软土模型。

3) 对分层沉降分析采用 PLAXIS 程序时,上部计算成果相对精确,下部计算误差相对较大,计算模型还有待进一步完善。

参考文献 (References)

[1] Introductory version of Plaxis code. Construction of a road embankment. PLAXIS BV, Delft, 2000.

- [2] 北仑区梅山七姓涂围涂工程初步设计报告[R]. 宁波市水利水电规划设计研究院, 2006.
- [3] 北仑区七姓涂围涂工程原位观测项目海堤沉降专题报告[R]. 南京水利科学研究所, 2011.
- [4] 北仑区梅山七姓涂围涂工程海堤沉降量分析报告[R]. 宁波市水利水电规划设计研究院, 2011.
- [5] 金德钢. 软土地基海堤填筑过程的数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(S1): 53-55.