

软土地基海堤填筑过程的数值模拟

金德钢

(宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波 315192)

摘要 针对深厚软土地基上进行海堤固结排水填筑设计时, 必须考虑堤身的沉降与稳定、施工期间及长期的稳定安全系数和工后沉降等问题, 利用岩土工程有限元软件 PLAXIS 对这些问题进行有效的数值模拟分析。七姓涂围涂工程数值模拟分析表明, PLAXIS 程序计算沉降成果较好, 与实测结果比较相符, 可用于施工单位在实际施工中优化施工方案, 达到缩短工期, 节约成本的目的。

关键词 海堤; 软土地基; 排水固结; 沉降稳定; 七姓涂围涂工程

中图分类号: TU447

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2012)S1-0053-03

随着近 10 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。以往设计单位往往凭借经验, 采用规范规定的计算方法, 对加荷过程进行近似模拟, 稳定计算成果基本可信, 略偏保守, 但沉降计算误差较大。规范采用分层总和法, 该方法简明实用, 一般情况下计算结果基本能满足要求, 但若填筑速度较快, 堤身荷载接近极限承载力时, 地基产生较大的侧向变形和非线性沉降, 此时沉降计算应考虑变形参数的非线性进行专题研究。

浙东沿海存在大量具有高含水量的深厚软土, 在此地基上填筑海堤, 将导致孔隙水压力的不断增大, 不排水建造过程将使有效应力维持在低水平。为了修筑过程的安全、缩短工期, 必须采用排水固结和其他的保证稳定性的措施。在固结排水期间, 超静水压力逐渐消散, 地基获得必要的抗剪强度, 施工过程得以继续。铺设土工织物能改善堤身的强度和应力分布, 有利于减少不均匀沉降, 提高整体稳定性。

剪应力水平法更符合海堤受力、变形的力学机制, 可同时计算海堤的稳定性和变形, 但这种分析方法在工程实践中应用还较少。传统刚体极限平衡法(抗滑、抗倾稳定计算)应用广泛, 方法成熟, 经验丰富, 还是目前规范推荐的方法。

本文针对在建工程实际施工过程进行模拟, 通过对实测沉降的对比分析, 提出合理的计算方法, 供广大水利工作者参考。

1 工程概况^[1]

七姓涂围涂工程位于北仑区梅山乡南部海域, 象山港口门区, 全岛陆域面积 26.9 km², 南北长约 5.3 km, 东西宽约 8.3 km, 东临佛渡水道和汀子港, 与佛渡岛相距约 2.3 km, 与六横岛相距约 5.6 km, 南濒象山港, 与象山大陆相距约 15 km, 西面为梅山港, 宽约 500 m, 对岸大陆为白峰街道上阳, 北面为郭巨海域, 与郭巨相距约 4 km。

工程于 2007 年 11 月正式开工建设, 围区总面积 904 hm², 经过 3 年多的施工, 目前各标段海堤石方填筑高程已基本已接近设计高程。海堤断面及观测设施埋设见图 1。

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 II 1 层淤泥质粉质黏土、II 2 层淤泥质粉质黏土、III 1 层淤泥质黏土、III 2 层淤泥质粉质黏土、IV 1 层粉质黏土和 IV 2 层黏土。

为有效指导施工, 本工程共设原位观测断面 3 个, 监测项目有渗压计、分层沉降及十字板原位测试, 在堤地基内海侧, 轴线处及外海侧分别相邻布置。本文以 5+000 断面为例进行分析, 2008 年 12 月到 2009 年 1 月埋设断面测斜管 2 套, 分层沉降管 3 套、孔隙压力计 24 只, 水位管 2 根, 做了该断面在初始加载情况下的十字板试验, 并预埋十字板预留管 3 根。

海堤 5+000 断面的实际加荷和沉降过程线如图 2^[2]所示(T1~T4 沉降板), 具体数值见表 1。

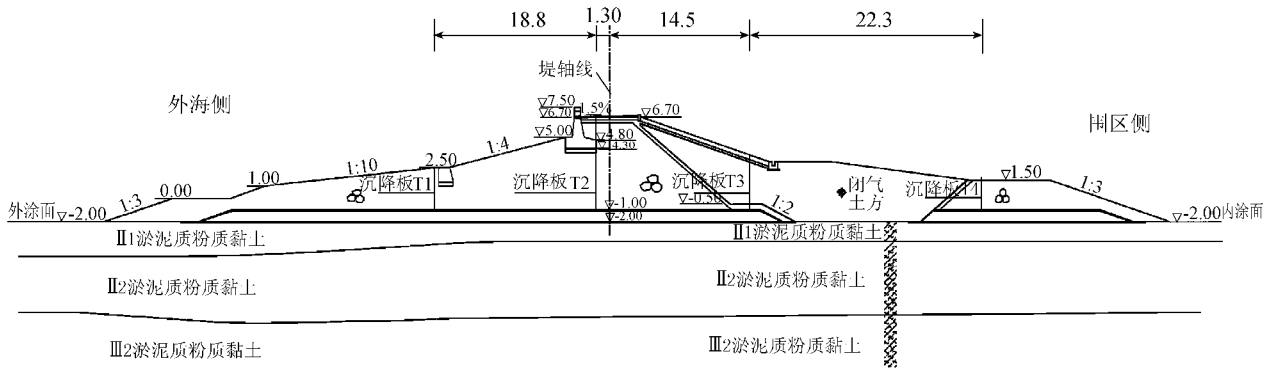


图1 海堤结构及沉降板埋设(单位:m)

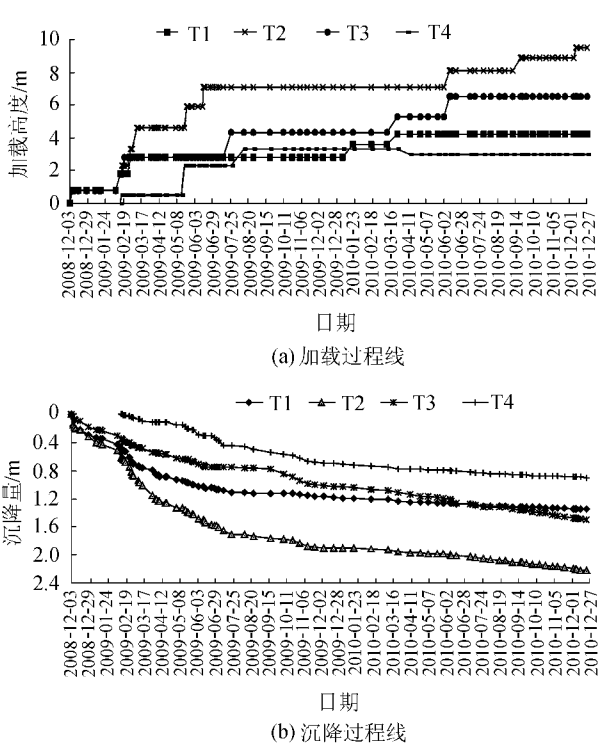


图2 实际加荷和沉降过程线

2 数值模拟程序

本次计算采用 PLAXIS 程序,该程序是荷兰 Delft 研究所开发的有限元计算程序,能很好地模拟施工步骤和复杂的工程地质条件,进行多步计算,尤

表2 计算采用的物理力学参数

地层	材料名称	天然密度/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	孔隙比 e_0	直 剪				渗透系数($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)		压缩模量/ MPa	泊松比 ν
				固结快剪		快剪		K_h	K_v		
				c/kPa	$\varphi(^{\circ})$	c/kPa	$\varphi(^{\circ})$				
堤身	抛石	18.0	0.5	0	38			1	1	30	0.20
	碎石	17.5	0.5	0	36			1	1	20	0.20
	闭气土	17.5	1.281	8	16			1.80×10^{-5}	6.48×10^{-6}	3.21	0.35
地基	Ⅱ 1	17.6	1.281	6	16.7	3.6	6.8	1.80×10^{-5}	6.48×10^{-6}	2.64	0.35
	Ⅱ 2	17.8	1.189	6.5	18.7	4.3	8.8	1.05×10^{-5}	2.12×10^{-6}	2.75	0.35
	Ⅲ 1	17.6	1.268	7.5	14.7	4.9	4.7	1.07×10^{-5}	9.20×10^{-8}	2.32	0.35
	Ⅲ 2	18.1	1.091	8	18.1	6.3	9.5	1.20×10^{-5}	1.53×10^{-6}	3.06	0.35
	Ⅳ 1	19.1	0.858	9.7	21.3	8.9	14.1	5.79×10^{-7}	3.13×10^{-6}	3.93	0.35
	Ⅳ 2	17.7	1.212	11	13.8	6.4	4.4	7.84×10^{-7}	9.93×10^{-7}	2.67	0.35

注 地基指标均采用快剪指标,不考虑剪胀角。

表1 2010年12月海堤沉降板情况及沉降^[2]

沉降板	与轴线 相对 位置/m	埋设时间	埋设 高程/m	前期 沉降/m	2010年12月 27 沉降板 沉降值/m	实际 总沉降/m
T1	-20.10	2008-12-03	-1.036	0.4300	1.349	1.7790
T2	-1.30	2008-12-03	-0.953	0.4520	2.219	2.6710
T3	14.50	2008-12-03	-0.923	0.3230	1.494	1.8170
T4	36.80	2009-02-14	-0.349	0.1490	0.895	1.0440

注 外海侧为负值。

其适合于变形和稳定分析。

计算采用堤身与地基计算参数见表2。

弹塑性 Mohr-Coulomb 模型包括 5 个输入参数,即表示土体弹性的 E 和 ν ,表示土体塑性的 φ 和 c ,以及剪胀角 ψ 。PLAXIS 程序采用的 Mohr-Coulomb 模型是对实际岩土性状的一阶近似,是一种理想弹塑性模型,能较好地反映软黏土的应力应变关系,模型参数简单,容易获得。稳定分析采用强度折减法^[3],安全系数 F 定义为土所具有的抗剪强度与维持土体平衡所需的最小抗剪强度之比。

$$F = \sigma \tan \varphi + c / \sigma \tan \varphi_r + c_r \quad (1)$$

式中: c 和 φ 是输入的实际强度参数; σ 是实际正应力分量; c_r 和 φ_r 是不断减小到恰好足够大而能保持土体平衡的抗剪强度参数。土体结构破坏时,增量位移等值线分布最密处即为最危险滑弧位置^[4],这显然有别于传统方法,得出的是一个结构整体稳定意义上的广义安全系数。

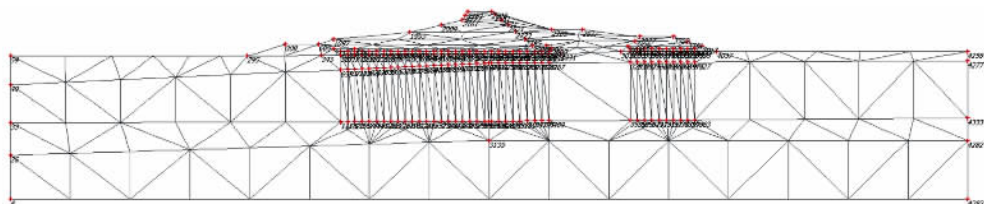


图3 PLAXIS 程序计算简图

A:-0.200 B:0.000 C:0.200 D:0.400 E:0.600 F:0.800 G:1.000 H:1.200
I:1.400 J:1.600 K:1.800 L:2.000 M:2.200 N:2.400 O:2.600 P:2.800

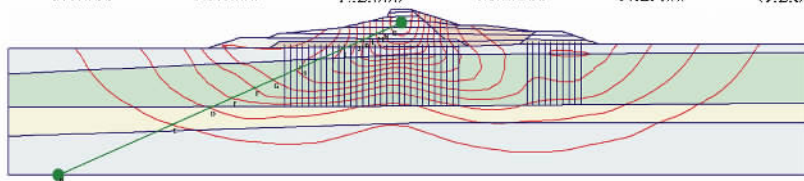


图4 PLAXIS 程序计算沉降等值线(单位: mm)

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。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。堤身填料和淤泥土均假定为 Mohr-Coulomb 材料。

3 结果分析

本次计算完全根据实际加荷过程,分层按照填筑顺序和厚度双重控制,以石方领先,土方随后的实际过程控制,采用表 1 的地基指标参数,地基按照排水板、土工织物加筋结合砂垫层的实际情况进行分析计算,内外侧地基各延伸 50 m 作为控制边界。PLAXIS 程序计算简图见图 3,PLAXIS 程序计算沉降成果见图 4,沉降板 T1、T2、T3、T4 验证点沉降值分别为 1.75 m、2.74 m、1.79 m、1.05 m,工后 5 a 沉降 3.39 m。

分层加荷稳定分析成果见表 3。

表 3 PLAXIS 程序稳定计算成果

加荷	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	第 5 级	第 6 级	第 7 级	第 8 级
安全系数	1.619	3.237	2.329	1.874	1.533	1.366	1.325	1.335
F_{smin}								

本次计算与原设计采用的理正岩土 5.6 版计算的成果以及工程实际监测沉降成果对比见表 4。

表 4 计算成果对比分析

沉降板	离轴线距离	实测沉降值 ^[5]			原设计计算值 ^[1]			PLAXIS 计算值(总沉降)
		前期沉降	不含前期沉降	含前期合理取值	前期沉降	不含前期合理取值	含前期	
T1	20.10	0.4300	1.349	1.7790	0.40	1.903	2.303	1.75
T2	1.30	0.4520	2.219	2.6710	0.40	2.372	2.772	2.74
T3	14.50	0.3230	1.494	1.8170	0.40	2.051	2.451	1.80
T4	36.80	0.1490	0.895	1.0440	0.40	1.506	1.906	1.05

对比结果表明,理正岩土程序高估了施工期堤身的沉降,而 PLAXIS 程序计算成果与实测值误差极小。究其原因,在计算过程中,理正岩土程序不能完

全模拟加荷过程,而 PLAXIS 程序能够完全模拟加荷过程。工后沉降分析中,理正岩土程序对无加荷过程的固结度计算尚有些欠缺,而 PLAXIS 程序在无荷载情况仍会考虑软土的变形问题,结果较符合实际。在稳定计算中 PLAXIS 程序在任何一级加荷过程中都可对水位进行修正,更能符合实际施工过程,对实际施工过程最危险状况可以进行预判,更适合模拟海堤的施工过程。

4 结 论

a. 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,与实测结果比较相符,建议在工程设计中可采用有限元方法进行计算。

b. 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,达到缩短工期,节约成本的目的。

c. 对工后沉降分析建议采用 PLAXIS 程序,它可以按照任意完工和竣工时间进行预设计算预留沉降值,达到经济合理的目的。

参考文献:

- [1] 北仑区梅山七姓涂围涂工程初步设计报告[R]. 宁波:宁波市水利水电规划设计研究院, 2006.
- [2] 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:南京水利科学研究所, 2011.
- [3] 郑颖人,赵尚毅,张鲁豫.用有限元强度折减法进行边坡稳定分析[J].中国工程科学, 2002, 4(10): 59-63.
- [4] 宋二祥.土工结构安全系数的有限元计算[J].岩土工程学报, 1999, 21(2): 4-10.
- [5] 北仑区梅山七姓涂围涂工程海堤沉降量分析报告[R]. 宁波:宁波市水利水电规划设计研究院, 2011.

(收稿日期: 2011-09-15 编辑:熊水斌)