

加固堤防地基沉降与时间关系的探讨

Discussion on the Relationship between Settlement and Time of Reinforced Embankment Foundation

周健 郭炜 廖壮壮

Jian Zhou Wei Guo Zhuangzhuang Liao

扬州市勘测设计研究院有限公司 中国·江苏扬州 225100

Yangzhou Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225100, China

摘要: 以扬州市长江防洪能力提升堤防加固工程施工为研究背景, 针对江都区堤防加固过程中及后续运行期的沉降的话题进行研究讨论。首先对加固前的堤防沉降情况进行了解, 接着分析了现有堤防沉降计算中的重点难点, 并结合现有计算公式对标准断面进行试算, 最后将计算结果与实际地方管理经验对比, 提出了关于加固堤防的沉降计算方法, 及其沉降与时间的关系的相关探讨。

Abstract: Based on the construction of Yangzhou Yangtze River levee reinforcement project to enhance flood control capacity, the topic of settlement in the process of levee reinforcement and subsequent operation period in Jiangdu District was studied and discussed. Firstly, the settlement of the embankment before reinforcement is understood, then the key and difficult points in the calculation of the settlement of the existing embankment are analyzed, and the standard section is trial calculated in combination with the existing calculation formula. Finally, the calculation results are compared with the actual local management experience, and the calculation method of the settlement of the reinforced embankment and the related discussion on the relationship between the settlement and time are proposed.

关键词: 长江; 堤防工程; 沉降; 固结; 趋势分析

Keywords: Yangtze River; embankment works; settlement; consolidation; trend analysis

DOI: 10.12346/etr.v4i10.7225

1 引言

为了保障堤防的安全及正常使用, 设计时必须预留堤防最大沉降量及沉降差。堤防沉降研究的主体是土, 土作为散粒体结构材料, 由土粒、孔隙水和孔隙气体组成。因在一般堤防工程遇到的压力较小 (< 600 KPa), 土粒本身及孔隙水的压缩量极其微小、忽略不计, 故堤防的沉降过程, 可转换为在已自然压缩稳定的土体上受到附加应力(新筑堤防)作用下, 土内孔隙水、孔隙气逐渐排出, 土体积变小, 直至土体固结完成的过程。

随着现今社会生产生活节奏的加快, 水利工程项目对工程的总工期要求也在提高, 导致堤防加固工程中的堤顶道路施工等工序, 往往不能等到堤防初期沉降发生后再行实

施。因此, 对于堤防沉降计算随时间的发生量测算、加速沉降发生或减少总沉降量的措施研究就成为了一个十分重要的研究课题。

2 工程简介

为全面提升江港堤防防御洪潮能力, 彻底解决堤防及沿线建筑物安全隐患, 提升管理水平, 扬州市对其境内的长江堤防及沿线建筑物进行了除险加固。工程的建设内容包括堤防加固、沿线建筑物除险加固、完善全线堤顶道路、界牌界桩、巡查便道等管理设施等。即在现有工程的基础上, 通过堤防堤身加高培厚、堤坡防护、堤身堤基隐患处理加固堤防; 通过沿线建筑物拆建、加固处理, 消除险情; 通过完善防汛

【作者简介】周健(1994-), 男, 中国江苏南京人, 本科, 助理工程师, 从事土力学及地基沉降研究。

交通、监测等管理设施,使长江江港堤防防洪标准达到 100 年一遇,归江河道堤防达到 50~100 年一遇,管理按 2 级堤防标准达标,同时结合涵闸拆建,提高部分区域抽排标准到 20 年一遇。

扬州市长江江港堤防及归江河道堤防总长约 198 km。

3 工程的重难点分析

3.1 培厚堤防的沉降计算的问题

常规的堤防沉降计算是在现状地面的基础上,将新筑堤防概化为等腰梯形荷载计算其对堤基各土层的附加应力,利用分层总和法计算堤基的沉降量。本次工程大多数堤防均为在现状堤防的基础上向某一侧培厚堤防,附件应力不均匀,堤基条件也不是平整地基土层,这为堤防沉降计算中的应力计算带来了问题。

3.2 沉降在不同时期发生量的问题

利用分层总和法计算堤基的沉降量为堤防的最终沉降量,它的发生自新筑堤防加载开始,直至堤基土体在新筑堤防作用下,土体固结完成。沉降发生的时间跨度从堤防分层碾压施工,直到工程运行若干年后沉降稳定,其间各阶段的沉降发生量对工程的工程设计、施工工序、施工措施和管护措施影响巨大且深远。受堤基土的各土层渗透性、孔隙率及饱和度等自然条件多变的限制,以及施工工序及工艺不同的影响,堤基沉降与时间的关系往往难以采用太沙基单向固结理论准确推算。

4 对堤防沉降计算的探讨

4.1 培厚堤防的沉降计算

参考《海堤工程设计规范》条文说明 10.3.1~10.3.3:“一般旧堤完工后至今都有较长时间,旧堤堤身荷载引起的沉降已基本完成,因此旧堤加固一般只计算新增荷载产生的沉降。”故加固计算仅计算堤基沉降。

堤防的堤基的沉降计算公式采用:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i; S_i = \frac{a_{vi}}{1+e_{vi}} \Delta p_i H_i$$

其中每层土的压缩系数 a_{vi} 随应力增加在相应改变。因堤防沉降计算的分层总和法选用的是各自然土层在取出成样后,逐步加压测得 $e-p$ 曲线, a_{vi} 作为其切线数值为土层自身性质,不受其原本土层已受的荷载干扰,即老堤填筑前后堤基土的压缩系数是一致的。故笔者可以通过将时间点回溯,按现状一般地面高程上筑老堤,先行计算已发生的沉降量曲线;再按新的堤防断面(不计入老堤身的)计算将发生的沉降量曲线,对位相减,间接获得因堤防加高培厚造成的最终沉降,简图见图 1。

4.2 沉降与时间的关系

工程设计中,往往不仅需要估计堤基的最终沉降量,还需要预估达到某一沉降量所需的时间或者某个节点已产生

的沉降量,这些问题都需要研究堤基沉降和时间的关系,即土体的固结理论来解决。

4.2.1 堤防施工中的堤身土固结情况

土的干密度一般常在 1.4~1.7 g/cm³,土粒比重一般为 2.7 g/cm³,对应土体孔隙率在 48%~37%。根据江堤地质勘探资料,现状堤身土取样(回归自然方)检测的土体干密度在 1.40~1.48 g/cm³,压实土体孔隙率在 51.7%~45%。依据自然方和压实方间的转换系数 0.85,推测现状堤防的土体干密度在 1.64~1.75g/cm³,压实土体孔隙率在 39.2%~35.2%。现状堤防土体孔隙率见表 1。

堤防施工期采用机械分层压实,本次江堤整治中要求新筑堤防压实度不低于 0.93(即压实后的干密度/最大干密度 ≥ 0.93)。根据江堤施工标中第三方检测的压实度数据,现场碾压完成后的干密度在 1.65~1.7g/cm³,压实土体孔隙率在 38.8%~37%。对比新筑堤防和老地方的孔隙率如表 2 所示。

新筑堤防压实后现场检测的干密度,与推测的现状堤防接近,说明堤身土经过压实后的固结度与接近于老堤多年固结沉降结果,验证了旧堤加固在压实到位的情况下,只计算新增荷载产生的沉降的条文说明。

4.2.2 堤防施工期堤基沉降类比推测

堤防施工过程中,堤防分层填筑、逐级加载,堤基土在这一过程中也会开始先期固结。参考《软弱地基堤防工程施工过程中的沉降分析》^[1]一文中,基于 Biot 固结理论根据土体劲度和渗透性联立方程,采用软件模拟堤防分层填筑逐级上升并计算,其计算模型中堤防总高 7 m,地基土层渗透性在 0.1e-007cm/s,属于极微透水土层,理论上排水固结速度极慢,但最终计算成果显示施工期间最大沉降仍达 68.7 cm。

本次整治的江都段堤防堤基均为砂性土,地基土层渗透性在 1.8e-3cm/s 附近,属于中等透水土层,理论上排水固结速度相对更快,故推测其施工期间固结度更大。

4.2.3 运行期沉降理论计算

因沉降与时间的关系受多种变量影响,本节就本次江都段江堤整治选择其典型地质条件,按照平均固结度理论及平均固结度 U 与时间因数 T_v 的关系曲线^[2],计算典型地质条件下,堤基沉降期随时间发展的关系。本节按每层 0.5m 压实作业 15 天,试算特征断面下,应力最大位置的施工期堤防沉降。

特征断面及堤基地质概化如图 2 所示。

①堤身填土:亚黏土填筑,堤高 5m,容重 18.9kN/m³;

②地基下一层土:淤泥质壤土,厚 2m,渗透系数 3.0×10^{-5} cm/s, $C=10$ kPa, $\phi=9^\circ$,容重 18kN/m³,初始孔隙比 0.82,压实系数 3×10^{-3} kPa⁻¹;

③地基下二层土:重粉质砂壤土,厚 ≥ 21.5 m,渗透系数 1.8×10^{-3} cm/s, $C=8$ kPa, $\phi=18^\circ$,容重 19kN/m³,初始孔隙比 0.538,压实系数 2.3×10^{-4} kPa⁻¹;

土层的固结系数 $C_v = \frac{k(1+e_1)}{a_v \gamma_w}$ ；固结的时间因数 $T_v = \frac{C_v t}{H^2}$ ；查平均固结度 U 与时间因数 T_v 的关系曲线^[2] 的土层平均固结度 U 。

固结度 U 与时间因数 T_v 的关系见图 3。

代入不同的时间 t ，计算各时间节点沉降发生量如表 3 所示。

由表计算结果推测，因堤基土的渗透性较强，理论上大

部分沉降在堤防填筑初期已经发生。

4.2.4 实际运营中的堤防沉降

为验证堤防理论计算沉降猜想与实际运行中的沉降是否匹配，笔者咨询了现状堤防的管理人员，实际运行期间砂土堤基下堤防沉降量较小，符合计算显示的总体规律，但运行期间的实际沉降量要高于理论计算值。这可能是计算用经验图谱在较强渗透性土体的情况下，与堤防实际运行沉降结果的匹配度较低的原因。

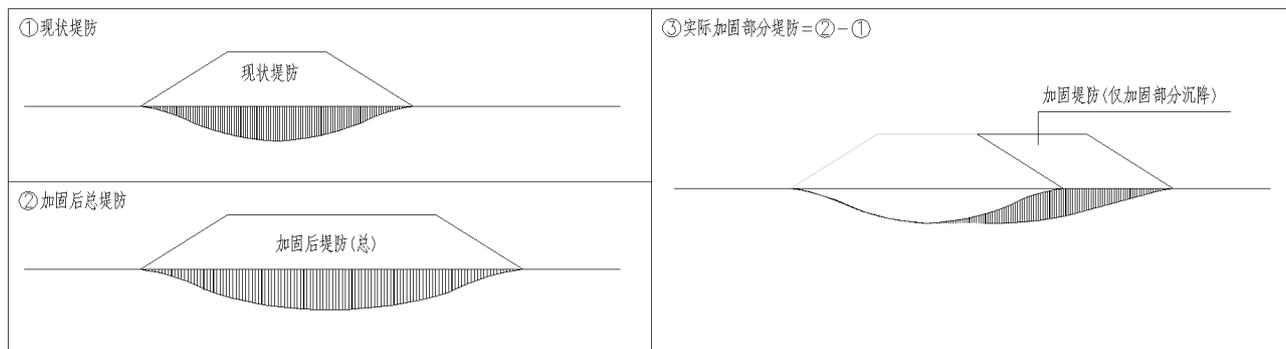


图 1 加固堤防地基沉降分布图

表 1 现状堤防土体孔隙率表（推测）

现状堤身土样		现状堤身土（推测）	
干密度 g/cm^3	孔隙率	干密度 g/cm^3	孔隙率
1.40~1.48	48%~45%	1.64~1.74	39.2%~35.5%

表 2 加固堤防与现状堤防间土体空隙率对比表

现状堤身土（推测）		新筑堤防压实土（现场检测）	
干密度 g/cm^3	孔隙率	干密度 g/cm^3	孔隙率
1.64~1.74	39.2%~35.5%	1.65~1.70	38.8%~37%

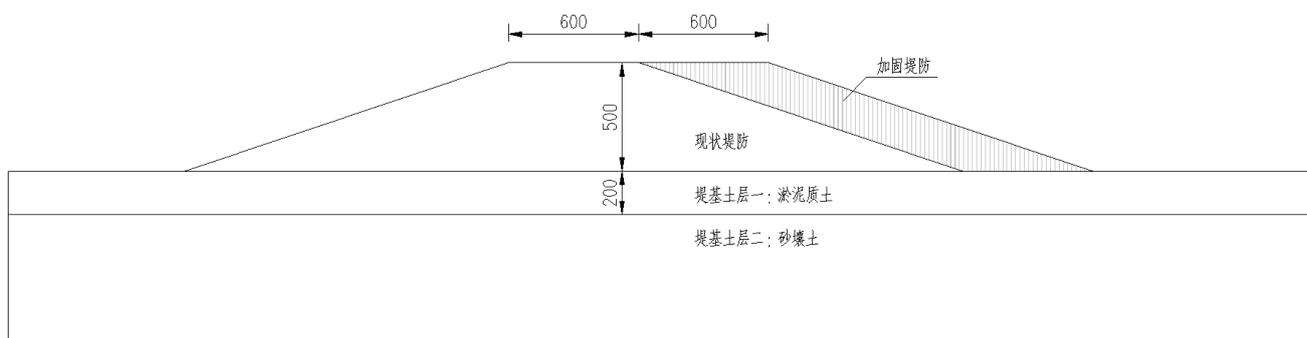


图 2 试验计算特征点标准断面图

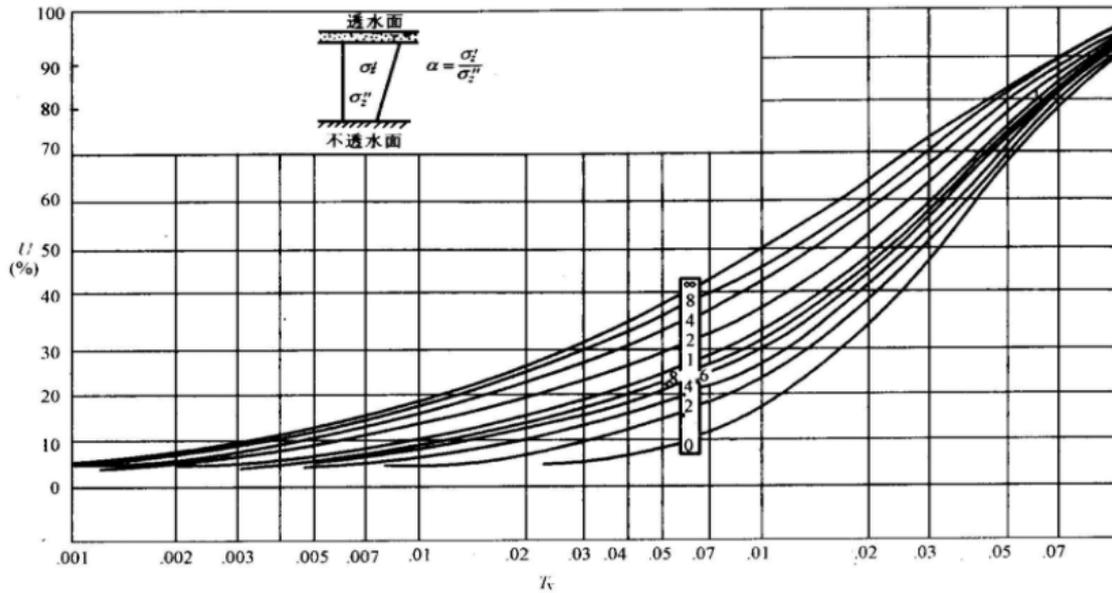


图3 固结度 U 与时间因数 Tv 的关系曲线图

表3 计算断面堤防沉降量与时间关系表

最终沉降量 mm	各时段沉降量 mm					
	1h	2h	3h	6h	12h	1d
199.75	31.87	35.88	44.33	59.40	135.12	163.46
	2d	10d	30d	180d	1a	10a
190.63	190.63	196.42	197.11	199.75	199.75	199.75

5 结论

堤防加固工程作为基础民生工程，在当前建设中国特色社会主义现代化的大的时代背景下，正在由达标建设向提质改造进行转变。堤防沉降的堤防整治工程中固有的疑难问题，一直是影响堤防建设效果和投资的关键点^[3]。通过对沉降的空间、时间不均匀研究，可便于在时间、空间及投资三个变量中寻找合适的平衡点，实现降本增效。

结合本次对于砂土地地区堤防沉降的复核计算及堤防管理经验，可知堤防初期沉降发生量与堤基土壤的透水性关系密

切。在堤身高度较低，堤基透水性较好条件下堤防设计中，预留沉降计算存在一定的优化空间，建议读者在后续的设计中可予以考虑。

参考文献

- [1] 戴兆婷,张兴其.软弱地基堤防工程施工过程的沉降分析[J].科技资讯,2006(22):77-78.
- [2] 卢延浩.土力学[M].南京:河海大学出版社,2005.
- [3] 毛明立.真空堆载联合预压加固堤防软土地基沉降预测研究[J].低碳世界,2016(34):114-115.