

高潮位作用下施工期海堤抗滑稳定性研究

郭翔¹, 张发明¹, 孙梦雅², 刘海明^{2,3}

(1. 河海大学 工程地质与灾害研究所, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学 地质工程系, 江苏 南京 211100; 3. 香港科技大学 土木与环境工程系, 香港)

摘要: 为了研究高潮位作用下的海堤抗滑稳定性, 通过室内试验得到海堤的物理力学参数, 用极限平衡法与有限元强度折减法分析施工期海堤抗滑稳定性。研究发现: 某海堤受到高潮位作用, 在自重、降雨、波浪、地震等因素的影响下, 通过模拟和计算, 其迎水坡和背水坡均是稳定的, 不存在滑动破坏, 但是潮位的快速涨落使得海堤抗滑稳定性下降, 潮位越高对海堤的破坏影响越大; 同时, 在降雨与地震的作用下海堤抗滑稳定性均降低, 波浪对于堤身的影响是一个长效机制, 在研究中也着重关注。

关键词: 海堤; 高潮位; 稳定性分析; 极限平衡; 强度折减

中图分类号: U656.3

文献标识码: A

Study on the stability against sliding of seawalls in construction period under the action of high tide level

GUO Xiang¹, ZHANG Faming¹, SUN Mengya², LIU Haiming^{2,3}

(1. Engineering Geology and Disaster Research Institute, Hohai University, Jiangsu Nanjing 211100, China; 2. Department of Geological Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 211100, China; 3. Department of Civil and Environmental Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China)

Abstract: To research the seawalls stability against sliding under high tide level in construction period, limit equilibrium and finite element shear strength reduction methods were used to analyze the stability with the physical and mechanical parameters from indoor tests. Under the effect of self-weight, rainfall, wave and earthquake, a certain seawall under high tide level is stable for both upstream and downstream slopes from simulation results. However, the rapid changes of tide levels may lead to decreasing the stability of seawalls, and the higher the tide level, the bigger impact on seawalls. The rainfall and earthquake may also decrease the stability of seawalls. The long-effect mechanism of the wave to seawall stability should also be focused in the study.

Key words: seawalls; high tide level; stability analysis; limit equilibrium; strength reduction

我国是一个海洋大国, 有着 18 000 km 的海岸线, 滩涂资源较为丰富。在滩涂的开发中, 海堤的抗滑稳定性关系到整个围垦工程的安全, 更关系到人民群众的生命财产安全和社会经济的发展^[1]。现有文献中对于海堤稳定性的研究, 较少考虑潮位变动这一因素^[2-5]。基于此, 本文开展了高潮位作用下海堤在施工期的抗滑稳定性研究, 着重分析了潮位变动对抗滑稳定性的影响, 并考虑了波浪、降雨和地震等影响因素。

1 计算理论

海堤为土体结构, 其失稳滑动的滑裂面近似一圆弧, 计算采用极限平衡方法中的摩根斯坦-普赖斯法和有限元分析方法中的强度折减法。

摩根斯坦-普赖斯法考虑了多种形式的条间力函数, 导出了力的平衡和力矩平衡的微分方程式, 假定两相邻土条法向条间力和切向条间力之间存在着一个水平的函数关系, 进而由整个滑体来求解, 在实际工程中, 能够同时满足力和力矩的

平衡,因此可以求解出数学意义更为严格的安全系数^[6-7]。强度折减法将岩土体抗剪强度参数黏聚力 c 和内摩擦角 ϕ 同时除以折减系数 F ,得到一组新的黏聚力 c' 和内摩擦角 ϕ' 后对边坡稳定性进行数值分析,通过不断地增大折减系数,反复计算直至海堤达到临界破坏,此时得到的折减系数即为海堤的稳定系数^[8-9]。

2 工程概况

拟建海堤处于苏北滨海平原,属滨海相沉积地貌单元,由于海流和涨落潮的作用,仍在缓慢淤涨。本区均为第四系松散堆积物覆盖,高潮位时滩面位于水下。场地土类型为中软场地土,场地类别为Ⅲ类,属对抗震不利地段。拟建围堤工程地质条件较差,场地地面下 15 m 深度范围内第 1、2、3-1 层为液化土层,第 3 层为不液化土层,应采取抗液化措施。拟建场区无不良地质现象发育。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001),场区地震动峰值加速度为 0.15 g,相应地震基本烈度为Ⅶ度^[10]。

海堤边坡抗滑稳定性计算所使用的海堤横断面示意图如图 1:

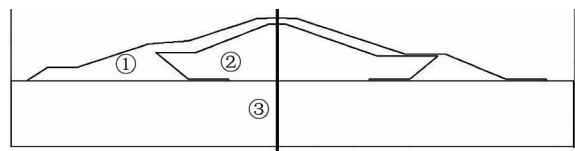


图1 海堤横断面示意图

Fig.1 Sketch map of cross section of seawall

3 物理力学性质与参数分析

海堤使用了吹填土管带,吹填材料和堤防地基的物理力学性质。因此,需要开展相关的物理力学试验对海堤的抗滑稳定性进行研究^[11]。砂土体的含水率通过烘干法获取。对于砂土体的孔隙率,在堤防地基的不同地层和深度,分别取样进行烘干试验。对于砂土体的密度,利用环刀法测定。颗粒分析试验采用筛分法和密度计法。取堤防地基不同岩性和深度的砂土体分别进行测定,其中,对轻粉质砂壤测定 11 组,轻粉质砂壤土夹粉砂 16 组,粉砂 76 组。为研究现场试样的力学性质,获取其强度参数,在取得现场土样后,在室内利用应变控制式直剪仪进行直剪试验。试验过程中,垂直压力分为 100、200、300、400 kPa。待排

水固结完成后,进行固结快剪,剪切速率控制在 0.24 mm/min。根据试验结果,可绘制出总应力抗剪强度曲线,并计算出相应的抗剪强度参数值 c 、 ϕ 。

通过对拟建区围垦堤防地基土的取样试验,结合国内外相似吹填土工程的研究成果和经验,分析比较后,可得出较为可靠的围垦堤防地基和吹填土物理力学参数,用于本文相关计算和工程建设的设计参考,相关参数如表 1 所示:

表 1 物理力学参数

Tab. 1 Physical and mechanical parameters

土体类型	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	孔隙比	压缩模量 /MPa	粘聚力 /kPa	内摩擦角/ $^{\circ}$
轻粉质砂壤土	1.85	0.884	4.94	11	15.2
轻粉质砂壤土夹粉砂	1.88	0.824	6.98	11	23.5
粉砂	1.90	0.779	9.45	9	31.0
吹填土(管袋)	1.85		6.62	17	23.5
吹填土(堤心)	1.85		5.72	11	23.5

4 高潮位作用下海堤抗滑稳定性分析

4.1 海堤抗滑稳定性摩根斯坦-普赖斯法分析

本节采用摩根斯坦-普赖斯法,对不同工况进行计算。计算时分为两部分,先分析迎水坡的稳定性(共分析了 12 种工况),再分析背水坡的稳定性(共分析了 5 种工况)。

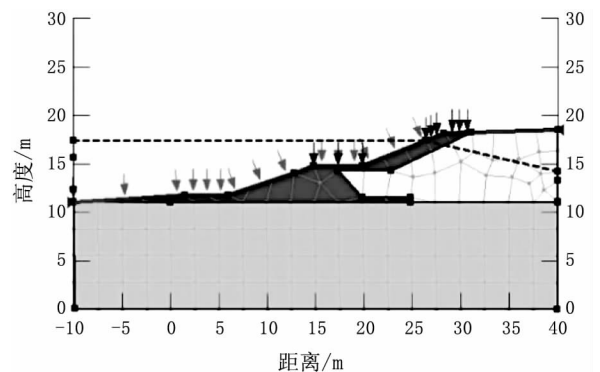


图2 历史最高潮位+自重+波浪力+降雨-slope模型

Fig.2 The highest tide level+dead weight+wave force+rainfall-slope model

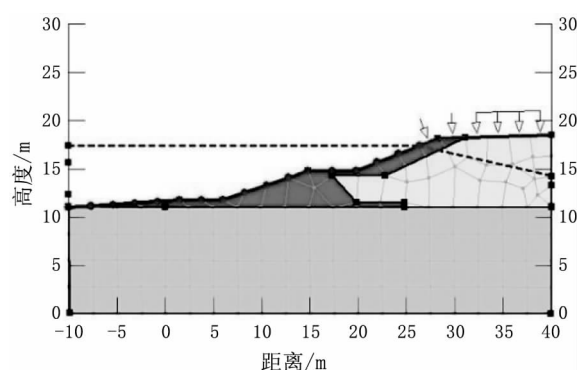


图3 历史最高潮位+自重+波浪力+降雨-seep模型
Fig.3 The highest tide level+dead weight+wave force+rainfall-seep model

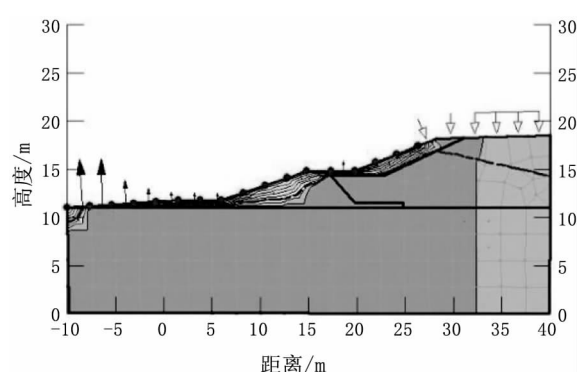


图4 历史最高潮位+自重+波浪力+降雨-模拟结果
Fig.4 The highest tide level+dead weight+wave force+rainfall-simulation result

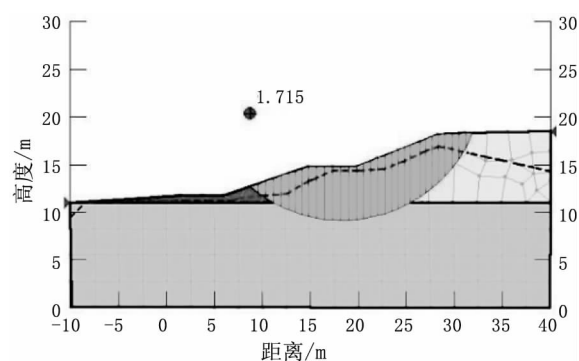


图5 历史最高潮位+自重+波浪力+降雨-最小稳定系数
Fig.5 The highest tide level+dead weight+wave force+rainfall-minimum stability coefficient

4.2 海堤抗滑稳定性强度折减法分析

本节使用强度折减法对海堤抗滑稳定性进行计算。在上节,已采用了极限平衡法对海堤迎水坡抗滑稳定性进行了计算并得到了各工况下的稳定系数,本节在计算迎水面的过程中,仅选取了其中的较为不利的工况——工况4、工况8、工况12。

在计算背水坡的过程中,仅选取其中的工况5。

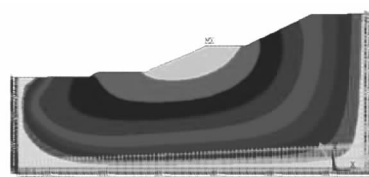


图6 迎水坡工况十二下模型水平方向位移云图
Fig.6 Horizontal displacement contour of working condition 12 of upstream slope

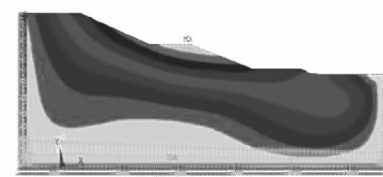


图7 背水坡工况五下模型水平方向位移云图
Fig.7 Horizontal displacement contour of working condition 5 of downstream slope

表2 迎水坡各计算工况下海堤最小稳定系数

Tab.2 Minimum stability coefficient of each calculation conditions of upstream slope

工况	考虑因素	极限平衡法下稳定系数	强度折减法下稳定系数
工况1	多年平均高潮位+自重	3.347	—
工况2	多年平均高潮位+自重+波浪力	2.055	—
工况3	多年平均高潮位+自重+波浪力+降雨	1.928	—
工况4	多年平均高潮位+自重+波浪力+降雨+地震力	1.379	1.400
工况5	20年一遇高潮位+自重	2.150	—
工况6	20年一遇高潮位+自重+波浪力	1.751	—
工况7	20年一遇高潮位+自重+波浪力+降雨	1.732	—
工况8	20年一遇高潮位+自重+波浪力+降雨+地震力	1.205	1.200
工况9	历史最高潮位+自重	2.131	—
工况10	历史最高潮位+自重+波浪力	2.114	—
工况11	历史最高潮位+自重+波浪力+降雨	1.715	—
工况12	历史最高潮位+自重+波浪力+降雨+地震力	1.121	1.100

表3 背水坡各计算工况下海堤最小稳定系数
Tab.3 Minimum stability coefficient of each calculation conditions of downstream slope

工况	考虑因素	极限平衡法下稳定系数	强度折减法下稳定系数
工况1	多年平均高潮位+自重+降雨+地震力	1.422	-
工况2	20年一遇高潮位+自重+降雨	1.764	-
工况3	20年一遇高潮位+自重+降雨+地震力	1.316	-
工况4	历史最高潮位+自重+降雨	1.637	-
工况5	历史最高潮位+自重+降雨+地震力	1.197	1.200

通过表2、表3可以看出,海堤迎水坡与背水坡在上述工况下均是稳定的。摩根斯坦-普赖斯法得出的稳定系数与强度折减法得出的稳定系数稍有不同,但整体吻合。

5 结论

1)不同工况下,此海堤迎水坡和背水坡均是安全稳定的。相同工况下背水坡相比迎水坡稳定性好,这是由于背水坡不直接跟海平面接触,受到潮位和波浪的影响小。

2)潮位越高,其落潮后产生的渗流力越大(海堤内的水来不及排出),越容易使得堤身产生滑动破坏。潮位快速下降时,会在堤身内产生巨大的渗流力,越在坡脚位置,作用力越强,因此坡脚处极容易发生局部的破坏。

3)降雨影响了堤内孔隙水压力的大小和分布,即改变了浸润线的形状,增加了渗流力的作用,同时降雨会将海堤土逐渐由非饱和状态转化为饱和状态,从而增加了托浮力,导致了海堤破坏的发生。

4)地震使得海堤产生动荷载,使海堤土体处于反复的瞬时加荷和卸荷状态,可产生瞬时拉力,从而导致海堤破坏的发生。其他条件相同状况下,当有地震荷载作用时,海堤的稳定系数最小。

5)波浪对于海堤抗滑稳定性的影响是一个长效机制,其冲刷、掏蚀等破坏影响需要数年才能看出,总体来看波浪力对于海堤的影响是破坏性的。

参考文献:

- [1]陈吉余.中国围海工程[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [2]林奇,王伟.潮位涨落过程中海堤渗流及稳定性分析[J].人民长江,2011(2):83-86.
- [3]蔡正银,陈海军,张桂荣,等.波浪荷载作用下滩海人工岛工程稳定性评价[J].水力学报,2007(10):220-225.
- [4]邱大洪.海岸和近海工程学科中的科学技术问题[J].大连理工大学学报,2000(11):631-637.
- [5]谢清海.波浪作用与海堤外护坡适应型式分析[J].水利科技,2008(2):22-24.
- [6]Morgenstern N R, Price V E. The analysis of the Stability of General Slip Surfaces[J]. Geo-technique, 1965, 15(1):36-51.
- [7]陈祖煜.土坡稳定性分析通用条分法及其改进[J].岩土工程学报,1983,5(4):11-27.
- [8]王庆乐,周彬.基于强度折减法对水电站坝头边坡稳定性分析[J].河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(1):33-37.
- [9]何欢,付成华.强度折减法在边坡稳定性分析中的应用[J].河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(3):31-33.
- [10]GB18306-2001,中国地震动参数区划图[S].
- [11]袁俊平,韩春雷,丁巍,等.膨胀土边坡土工膜防护方案试验研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(4):6-10.

(责任编辑 王利君)

(上接第72页)

- [5]刘斌清,宋柳,王选仓.矿料级配对级配沥青稳定碎石性能影响研究[J].中外公路,2012(2):257-260.
- [6]王旭东,张蕾.基于最紧密嵌挤状态的沥青混合料油石比确定方法[C]//中国公路学会道路工程分会理事会换届会议暨第四届(2010)国际路面养护技术论坛,2010.
- [7]张晨晨.细集料干涉对沥青混合料性能的影响[D].重庆:重庆交通大学,2012.

- [8]杨瑞华,李宇峙,黄云涌.集料吸水率对沥青混合料最佳油石比的影响[J].长沙交通学院学报,2006(4):52-55.
- [9]孙长军.成型方法对粗集料断级配沥青混合料配合比设计的影响[C]//中国公路学会道路工程分会理事会换届会议暨第四届(2010)国际路面养护技术论坛,2010.

(责任编辑 王利君)