

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.03.011

软土地基上模袋砂围堤稳定性分析

周星德,王露健,吴利平,林荣庚

(河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:模袋砂围堤存在模袋与模袋之间及砂与模袋之间的摩擦,并具有模袋横纵向拉力相异的特点,为此,在三维有限元方法和试验结果的基础上,对模袋砂围堤的稳定性及其影响因素进行了仿真分析。研究表明:模袋砂围堤整体安全系数随着土工织物——模袋抗拉强度及袋内填充土体强度参数的增大显著增加;随着模袋充填厚度增大,围堰整体安全系数迅速降低并趋于稳定。
关键词:软土地基;模袋砂围堤;围堤稳定性;安全系数;三维有限元
中图分类号:TU447 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2014)03-0243-03

Analysis of stability of dykes with fabriform sand on soft foundation

ZHOU Xingde, WANG Lujian, WU Liping, LIN Ronggeng

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In dykes with fabriform sand, friction often exists between two adjacent geotextile bags and between a geotextile bag and the sand, and the transverse tension and the longitudinal tension of the geotextile bag are anisotropic. Based on these characteristics, a three-dimensional finite element method was used to simulate a dyke with fabriform sand, and the experimental data were adopted to analyze the stability of the dyke and its influencing factors. The results show that the integral safety factor increased significantly as the tensile strength of the geotextile bags and the filled soil strength increased. As the depth of the filled soil increased, the integral safety factor decreased rapidly at first, and then tended to become stable.

Key words: soft foundation; dyke with fabriform sand; dyke stability; safety factor; three-dimensional finite element

海堤工程是海涂围垦中重要的一环,其成败直接关系到人民生命财产的安全。近年来,海涂围垦工程正由高、中滩围涂向低滩围涂方向发展,海涂地基多属软土地基,而土工织物^[1-2]具有良好的排水、隔离及过滤作用,可以提高软土地基的稳定性。模袋砂围堤的特点是结构整体性能良好、软土地基处理简单经济、施工效率高等,具有较高的推广应用价值^[3]。由于模袋砂围堤的应用对象为临时围堰^[4-5],因此对其进行稳定性分析时,多不考虑土工织物——模袋的抗拉力、袋内填砂厚度及填充土体强度参数对围堰整体稳定性计算的影响,只是将其近似处理为具有单一材料特性的等效土体^[6-8]。

考虑土工织物拉力的模袋砂围堤研究目前还较少。唐洪祥等^[9]结合胜利油田现场路堤足尺破坏试验对土工织物补强软土地基的作用机理与整体稳定性进行了研究;谢开富等^[10]针对Low^[11]提出的软弱地基上无加筋土堤的稳定性分析方法提出了含加筋土堤的稳定性算法,并确定了最大加筋拉力;高峰^[12]研究了土工织物拉力对模袋砂围堤稳定性的影响。这些研究均采用了平面应变的方法,存在如下2个缺陷:(a)不能考虑模袋与模袋之间及砂与模袋之间的摩擦;(b)模袋横纵向拉力的各相异性对稳定性的影响。为此,本文采用三维有限元法进行仿真,以反映模袋砂参数对模袋砂围堤稳定性的影响。

1 工程概况

2008年12月江苏省政府通过了《江苏沿海滩涂围垦开发规划》,2009年6月国务院批准了《江苏沿海

开发战略》,规划到2020年形成新围垦面积1 804.77 km²,新筑围海围堤675.28 km,促淤导堤总长177.05 km。模袋砂围堤类似于模袋围堰,具有用土量少、抗冲刷能力强、施工工艺简单、造价低廉等特点。其基本原理是采用水力吹填的方法将砂水混合物灌入模袋中,砂料在模袋中泌水固结后形成较为密实的填筑体,与模袋组合构筑成定型的围堤。本文以条子泥设计的中隔断面为研究对象,其中,围堤顶宽8.6 m,高5 m,坡度为1:2,上游20年一遇高水位为2.64 m。

为了准确地计算模袋砂围堤的整体稳定性并对其影响因素进行分析,采用围堤所用模袋材料及软土地基的基本物理力学性质试验结果:袋内砂泥混合物的压缩模量为7.86 MPa,固结快剪时的黏聚力为4.3 kPa,摩擦角为20°,密度为1.79 kg/m³;地基为淤泥质粉质黏土,压缩模量为2.10 MPa,固结快剪时的黏聚力为7.1 kPa,摩擦角为9°,密度为1.60 kg/m³。模袋单位面积质量为0.2 kg/m²,厚2.71 mm,等效孔径0.07~0.5 mm,延伸率30%,纵向抗拉强度40 kN/m,横向抗拉强度6.2 kN/m,CBR顶破抗拉强度3 200 N。模袋与砂的摩擦角为17°,模袋之间的摩擦角为28°。

2 模袋砂围堤稳定性分析

模袋砂围堤整体稳定性分析采用Abaqus软件。模袋砂的计算目前多采用MC准则,本文采用强度折减法,该法以不收敛为判别标准^[13]。Griffith等^[14]以迭代次数超过1 000次仍未收敛为失稳判据,计算的安全系数和极限平衡法十分接近;Dawson等^[15]假定当结点的失衡力与外荷载的比值超过310而导致数值计算不收敛作为破坏标准,其中隐含着必须以某一迭代次数作为收敛标准;Ugai^[16]指定迭代次数为500,超过该限值意味着破坏;本文以迭代次数超过1 000次仍未收敛为失稳判据。

为了研究模袋抗拉力、含砂强度参数以及袋内填砂厚度对模袋砂围堤整体安全系数的影响规律,以模袋横向抗拉强度、含泥砂黏聚力、充填袋层厚以及充填饱满度为变量计算围堤整体安全系数,计算结果见图1。

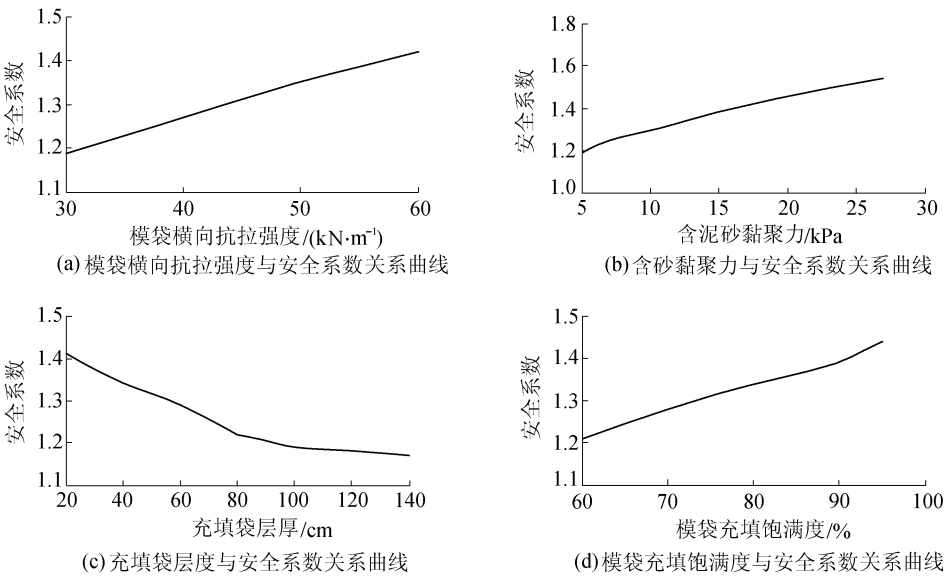


图1 模袋砂围堤整体安全系数计算结果

Fig. 1 Calculated safety coefficient of dyke with fabriform sand

从图1(a)可以看出,模袋横向抗拉强度对模袋砂围堤整体安全系数有明显影响,随着横向抗拉强度及黏聚力的增加,围堤整体安全系数近似呈线性增长,但考虑到随着模袋厚度的增加,费用显著上升,所以该方法不可行。从图1(b)可以看出,含砂黏聚力对模袋砂围堤安全系数的影响比较明显,当含砂黏聚力从5 kPa增大到27 kPa时,围堤整体安全系数从1.190增大至1.538,黏聚力的增加意味着土体抗剪强度的增大。对于一些整体安全系数较低的围堤,可通过添加水泥等固化剂的方法提高模袋砂抗剪强度,从而达到控制模袋砂围堤整体稳定性的目的。从图1(c)可以看出,随着充填袋层厚的增加,模袋砂围堤整体安全系数逐渐降低。当层厚在20~80 cm时,围堤整体安全系数下降较快,超过80 cm后,层厚对围堤整体安全系数的影响不明显。这是因为随着模袋内层厚的增加,含砂本身抵抗滑移能力显著降低,围堤整体安全系数随之减小。从图1(d)可以看出,模袋充填饱满度对围堤整体安全系数影响也很明显,随着充填饱满度的增加,围堤整体安

全系数增加明显,这是因为充填饱满度大则含砂密实,可提高模袋砂的黏聚力及摩擦角。在实际应用中应保持 90% 以上的充填饱满度。当模袋砂黏聚力为 27 kPa、充填袋层厚为 100 cm、充填饱满度为 90% 时,三维有限元计算的塑性区域见图 2。

3 结 论

- a. 虽然模袋横向抗拉强度提高可显著增加围堤整体安全系数,但随着模袋厚度的增加,费用显著上升,所以该方法不可行。
- b. 含砂黏聚力对模袋砂围堤整体安全系数的影响比较明显,对于一些整体安全系数较低的围堤,可通过添加水泥等固化剂的方法提高模袋砂抗剪强度,从而达到控制模袋砂围堤整体稳定性的目的。
- c. 模袋砂充填袋层厚最好小于 80 cm,否则,含砂本身抵抗滑移能力显著降低,围堤整体安全系数随之减小。
- d. 充填饱满度的增加可明显提高模袋砂围堤整体安全系数,在实际应用中应该保持 90% 以上的充填饱满度。

参考文献:

[1] 陈松,陈志坚. 软土地基上大型沉井基础安全监控模型[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(1):87-92. (CHEN Song, CHEN Zhijian. Monitoring model for safety of large caisson foundation in soft soil[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(1): 87-92. (in Chinese))

[2] 邱双,王智远. 有纺土工织物在软土地基中的应用[J]. 水利水电科技进展,2012,32(增刊1):49-50. (QIU Shuang, WANG Zhiyuan. The application of woven geotextiles on soft ground[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(Sup1): 49-50. (in Chinese))

[3] 羊炜. 软土地基上模袋围堰稳定分析方法研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.

[4] 江泓达,江越进,王付德. 模袋砂围堰在淤泥基础上的应用[J]. 人民珠江,2005(3):64-65. (JIANG Hongda, JIANG Yuejin, WANG Fude. The application of cofferdam with geotextile bags on silt foundation[J]. Pearl River, 2005(3): 64-65. (in Chinese))

[5] SHIN E C, KANG J K, OH Y I. Stability analysis of stacked geotextile tubes used in temporary dike construction[C]// Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Hamza M, Alexandria, Egypt: The Academia and Practice of Geotechnical Engineering, 2009: 1546-1549.

[6] SUBHA V, HUBERT H G, ZAAQ V D. Coir geotextile for slope stabilization and cultivation: a case study in a highland region of Kerala, South India[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2012, 47/48: 135-138.

[7] HOCINE O, ANDREAS K. Core made of geotextile sand containers for rubble mound breakwaters and seawalls: effect on armour stability and hydraulic performance[J]. Ocean Engineering, 2011, 38(1): 159-170.

[8] BORRERO J C, MEAD S T, MOORES A. Stability considerations and case studies of submerged structures constructed from large, sand filled, geotextile containers[C]// JANE M S, PATRICK L. Proceedings of the Coastal Engineering Conference. Shanghai China: [s. n.], 2010.

[9] 唐洪祥,王海清. 土工织物补强软基的作用机理与整体稳定性分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(12): 1879-1884. (TANG Hongxiang, WANG Haiqing. Sliding resistance mechanism and whole stability analysis for reinforced soft foundation of embankment with geofabric[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(12): 1879-1884. (in Chinese))

[10] 谢开富,俞玉良. 软弱地基上加筋土堤的稳定性分析[J]. 重庆交通学院学报, 1997, 16(2): 101-107. (XIE Kaifu, YU Yuliang. Analysis of the stability of reinforced embankments on soft ground[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 1997, 16(2): 101-107. (in Chinese))

[11] LOW B K. Stability analysis of embankments on soft ground[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 115(2): 211-227.

[12] 高峰. 滨海软基上模袋围堰稳定性分析及沉降预测研究[J]. 岩土力学, 2011, 31(4): 1233-1237. (GAO Feng. Analysis of stability and settlement prediction of cofferdam with geotextile bags on seaside soft foundation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 31(4): 1233-1237. (in Chinese))

[13] 聂守智. 基于有限元强度折减法的边坡稳定性数值研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.

[14] GRIFFITHS D V, LANE P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. Geotechnique, 1999, 49(3): 387-403.

[15] DAWSON E M, ROTH W H, DRESCHER A. Slope stability analysis by strength reduction[J]. Geotechnique, 1999, 49(6): 835-840.

[16] UGAI K A. Method of calculation of total of safety of slopes by elasto-plastic FEM[J]. Soils and Foundations, 1989, 29(2): 190-195.

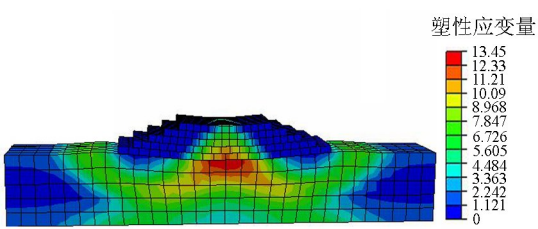


图 2 三维有限元计算的塑性区域
Fig. 2 Plastic zone calculated with three-dimensional finite element