

基于有限单元法的海堤加固方案优化

张 言, 梅明荣, 王 寅

(河海大学 力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

摘 要: 通过建立某海堤工程的有限单元法模型, 运用 ANSYS 分析软件对单排桩加固的海堤进行了位移计算, 并对加固方案中排桩间距、插入深度和距离海堤的最小距离等问题进行了对比分析, 得到了该海堤加固工程的优化参数。结果表明排桩是满足稳定性要求的, 对以后的设计工作有一定的参考价值。

关键词: 海堤加固; 桩式离岸堤; 单排桩

中图分类号: TV871

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2013)03—0073—04

Seawall Reinforcing Scheme Optimization Based on Finite Element Method

ZHANG Yan, MEI Ming-rong, WANG Yin

(College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: Through the establishment of a seawall reinforcement engineering's finite element method model, the displacement of the seawall reinforced with single-rank piles is calculated by using ANSYS, then the row pile space, inserted length and the minimum distance between the single row pile and seawall et al are compared and analyzed, thereby obtaining the optimization parameters of the seawall reinforcement engineering. The results show that the single row pile could meet stability requirements, which would have a certain reference value for the design in the future.

Keywords: seawall reinforcing; offshore dike with piles; single-rank pile

海岸的安全关系着沿海工、农、渔业生产及人民生活, 海堤和护岸是传统的海岸防护形式^[1], 这两种海岸保护方式适用范围广, 但同时也存在着难以弥补的缺陷。相比传统的离岸堤^[2], 以单排桩为主体的桩式离岸堤是一种具有广泛应用前景的新型保滩促淤结构, 这种结构对加固海堤稳定性的实际效果是明显的^[3], 但采用桩加固以后, 桩及桩前滩地随即成了海堤遭受海浪冲击的前沿, 在海浪的不断冲刷作用下, 势必会淘空桩前海床, 破坏桩的初始状态, 造成桩前后受力的不平衡, 引起桩的大位移转动, 甚至倾覆失稳, 进而导致海堤的稳定性下降。因此, 必须对海堤的稳定性以及桩的稳定性进行讨论, 并对单排桩加固海堤稳定性的影响以及桩的设计进行分析。本文通过建立有限单元法模型, 运用 ANSYS 有限元分析软件计算分析了渤海某海堤单排桩加固方案能否满足稳定性要求, 对排桩的插入深度、布置位置和间距进行优化, 最终得到了加固方案优化后的设计参数。

1 有限单元法计算模型的建立

1.1 工程背景

渤海某海堤在长期海浪冲刷剥蚀作用下, 堤脚已被淘空(设计要求是冲刷 20 a, 冲刷高度不大于 5 m), 海堤高程不断降低, 部分海堤已经失稳破坏, 典型原状断面如图 1 所示。对该海堤的加固方案为在现有海堤堤脚前加宽加固, 并在加固断面边坡线与海底泥面线相交处顺海堤方向打入一排 $\Phi 500$ 、C80 的钢筋混凝土管桩, 在管桩与现有的海堤间抛填石块到高程 0.0 m, 再在其上采用 50 cm 厚的干砌石。同时还在管桩外侧抛填 1 m 厚的块石, 以防止管桩前冲坑的形成与发展, 如图 2 所示。

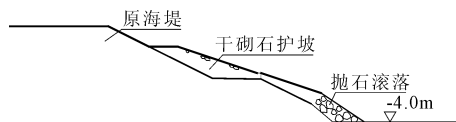


图 1 原海堤坍塌后的断面图

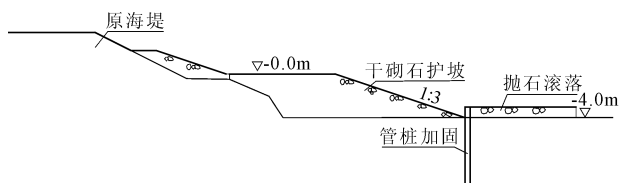


图 2 加固后海堤断面图

1.2 计算模型

本文根据工程的实际情况,建立了有限元仿真模型。以单根排桩作为计算对象,单排桩间距为 2 m,桩两侧各取半间距的土体宽度为 1 m。将桩划分为较密单元网格,并把单排桩周围土体的单元网格进行加密和过渡处理,堤身土体和混凝土管桩均采用八结点的六面体单元,具体单元网格如图 3 和图 4 所示。海堤的左右两边都采用水平约束,前后两面采用法向约束,底面采用全约束。同时,将自重应力场作为初始应力场。

1.3 计算参数

堤基和堤身土体选用邓肯 - 张非线性弹性模型^[4](简称 D - C 模型),其物理力学参数如表 1 所示。加固管桩为钢筋混凝土桩,采用线弹性模型材料,其弹模 $E = 3.8 \times 10^4$ MPa,泊松比 $\mu = 0.167$,重度 $\gamma = 24$ kN/m³。计算时将抛石和扭工块等所产生的荷载等效换算成均布荷载 $q = 30$ kN/m²,由于是

浸没在海水中,这里采用其浮重度进行计算。模拟海潮对海堤冲刷,桩前的海堤冲刷分成 5 次冲刷,每次冲刷 1 m。

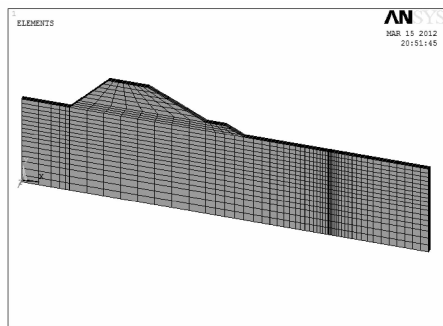


图 3 海堤整体网格图

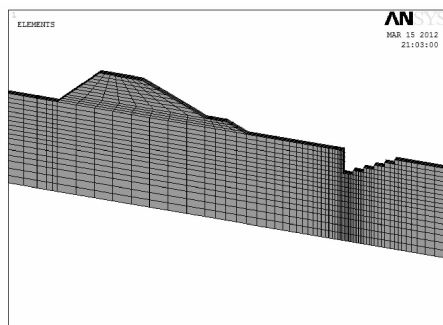


图 4 海堤冲刷后的网格图

表 1 D - C 模型土体其他材料参数

参数	c/kPa	F_{ai}	R_f	k	n	K_{ur}	N_{ur}	G	F	d
堤身	16	37	0.71	26.8	2.01	26.8	2.01	0.30	0.04	0.8
第一层	0	33	0.77	43.6	0.63	212.0	0.63	0.33	0.15	2.4
第二层	0	39	0.68	53.8	1.47	368.0	1.47	0.34	0.07	2.4
第三层	4	33	0.87	70.7	1.13	127.0	1.13	0.38	0.06	2.2
第四层	16	37	0.71	26.8	2.01	26.8	2.01	0.30	0.04	0.8

2 计算及成果分析

通用的 ANSYS 软件中没有模拟土质本构关系的邓肯 - 张模型^[5],为此本文运用 ANSYS 自有的 APDL^[6]语言进行二次开发,加入可以分析邓肯 - 张模型的计算模块,计算和分析如下:

2.1 单排桩的插入深度

分别计算 11 m ~ 19 m 不同插入深度桩对桩前海床逐渐冲刷淘空的变化情况,并以此分析总结出桩的设计插入深度。计算结果见图 5 和图 6。

由图 5 可以看出,当桩插入深度为 12 m ~ 19 m 时,其桩顶位移曲线非常接近,走势也都非常相似。而从图 6 中,当桩的插入深度为 13 m ~ 19 m 时,桩

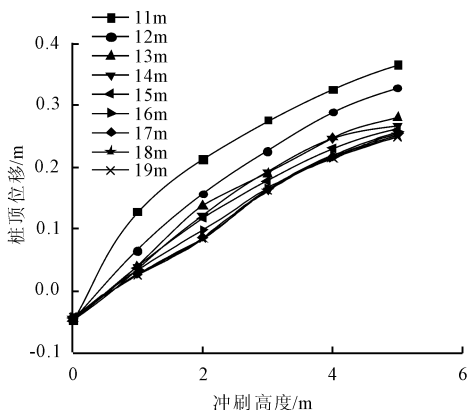


图 5 不同插入深度桩顶位移与冲刷深度曲线图

底的位移曲线走势相似,虽然位移值相差比较大,但是效果是一样的,结合工程的经济效益,认为单排桩

的合理插入深度为 14 m。该海堤加固工程对附近生产生活区域的安全至关重要,因此对排桩的插入深度增加 20%,单排桩的插入深度则为 16.8 m,取 17 m,即认为 17 m 插入深度时桩具有相当的安全储备。

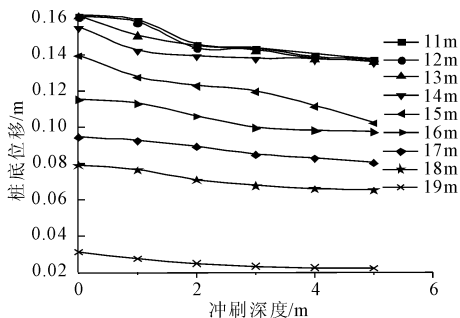


图 6 不同插入深度桩底位移与冲刷深度曲线图

2.2 单排桩距离海堤位置

以 17 m 插入深度桩作为本次计算的取值,这里的设计位置是指桩距离海堤的不同距离,分别取 2 m、4 m、7 m、10 m、14 m、17.5 m,计算结果如图 7 及图 8 所示。

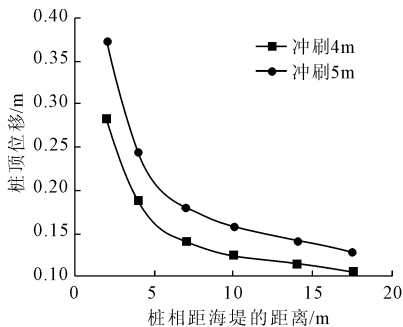


图 7 不同布桩位置桩顶位移曲线

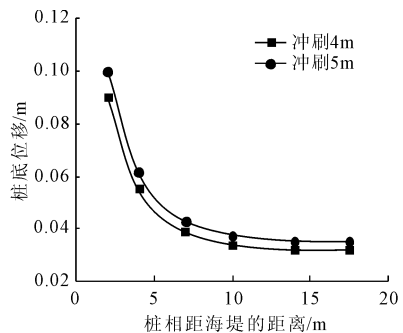


图 8 不同布桩位置桩底位移曲线

由图 7、图 8 可以看出,当桩相距海堤 7 m 以后,由于冲刷所引起的桩顶和桩底的位移逐渐趋于平缓;实际上,即便是 2 m 布桩位置与 17.5 m 布桩位置,在冲刷 4 m 深度情况下桩顶和桩底位移的差值也是很小的,分别为 18 cm 左右和 4 cm 左右,再次证明了在设计冲刷深度 4 m 条件下,插入 17 m 深度

的桩是稳定的。不过在冲刷深度 5 m 时,布桩距离小于 7 m 时,桩顶位移较大,桩底的位移还是比较小的,但是在大于 7 m 以后,都是趋于平缓的,因此,布桩位置距离海堤不能小于 7 m,不过从经济的角度来考虑,距离也不能太大。具体的布桩合理距离还需要结合波浪冲刷的相关理论来确定。

2.3 单排桩间距

前面只考虑一根单排桩作用下的稳定性分析,下面将考虑两根单排桩共同作用下的稳定性分析,桩的左右前后面都是法向约束,底面全约束。结合前面的结论,分析讨论桩与桩的距离为 2 m、3 m、4 m、5 m 情况下排桩的位移,计算结果如图 9 和图 10 所示。

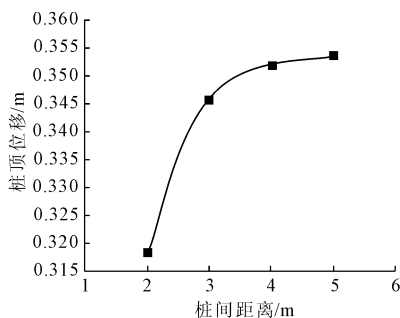


图 9 不同桩间距离条件下桩顶位移

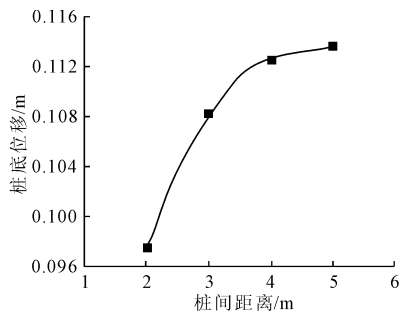


图 10 不同桩间距离条件下桩底位移

从图 9 和图 10 可以看出,随着桩间距离的增大,排桩的桩顶和桩底位移逐渐趋于平缓。排桩之间的距离在大于 3 m 时,桩顶位移和桩底位移没有显著增加的趋势,也就说明此时单排桩在 X 方向上位移敏感性随着桩间距离的增大而减小。所以,针对桩顶和桩底的位移变化趋势,排桩在横向间距的合理值为 2 m~3 m。

2.4 排桩安全裕度和荷载上限

在某设计单位施工方案中,单排桩的插入深度为 11 m,下面以 11 m 插入深度桩进行计算,分析该方案单排桩的安全裕度和荷载上限。不同的均布荷

载分别取 30 kN/m^2 、 35 kN/m^2 、 40 kN/m^2 、 50 kN/m^2 、 60 kN/m^2 、 70 kN/m^2 ，计算成果如图 11 所示。

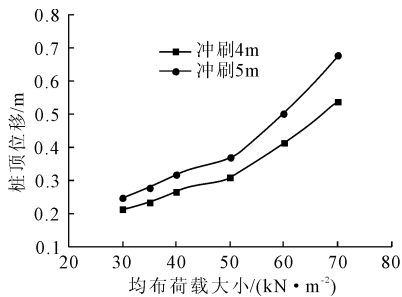


图 11 不同均布荷载桩顶位移曲线(11 m 插入深度桩)

由图 11 可以看出,在荷载为 50 kN/m^2 时,出现了拐点,其后荷载的增加产生的桩顶位移增幅较大,认为 50 kN/m^2 为其临界点,即为荷载上限值,远大于设计的 30 kN/m^2 的荷载值,认为 11 m 插入深度桩在该设计荷载下具有足够的安全度,桩是稳定的。所以排桩插入深度为 17 m 时,桩是稳定的,并且是偏安全的。

3 结 语

本文通过建立有限单元法计算模型,运用 AN-

(上接第 14 页)

(3) 在其他条件相同情况下,动轴向应变随着振动频率的增加,达到 5% 的应变所需的振次增多;动轴向应变与动孔压之间存在一定的关系,但各自的变化发展方向不是一致的。

(4) 在其他条件相同情况下,振动频率越高,达到液化所需要的振动时间急剧减少,较高频率比较低频率的动荷载作用更能迅速地使饱和砂土达到某一变形、孔压和强度发挥水平,也使饱和砂土产生液化的可能性显著增大。

参考文献:

- [1] 曹振中.汶川地震液化特征及砂砾土液化预测方法研究[D].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2010:1-14.
- [2] 李兆焱.基于巴楚地震调查的液化判别方法研究[D].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2012:1-24.
- [3] 丰土根.饱和砂土不排水动力特性及多机构边界面塑性模型研究[D].南京:河海大学,2002:25-71.
- [4] Bhatia S K, Soliman A F. Frequency distribution of void ratio of granular materials determined by an image analyzer[J]. Soils and Foundations, 1990, 30(1):1-16.
- [5] Peacock W H, Seed H B. Sand liquefaction under cyclic

SYS 有限元分析软件,对海堤加固方案进行了数值模拟和优化,得到如下结论:单排桩的插入深度取 17 m 时,可以满足工程的稳定性要求并具有相当的安全储备;排桩距离海堤的位置不能小于 7 m,从减少工程投资的角度考虑,距离也不宜太大,具体的布桩合理距离还需要结合波浪冲刷的相关理论来确定;在平行于海堤方向,单排桩间距的合理取值为 2 m ~ 3 m,这样既可以保护排桩之间的土体不被破坏,又能使单排桩的位移保持在合理的范围之内。

参考文献:

- [1] 夏益民.海岸稳定工程措施研究[J].海洋工程,1991,9(4):45-58.
- [2] 季小强,陆培东,喻国华.离岸堤在海岸防护中的应用探讨[J].水利水运工程学报,2011,(1):35-43.
- [3] 龚崇准,陈美发,朱宏伟,等.桩式离岸堤促淤促淤工程消浪效果试验研究[J].海洋工程,2001,19(4):72-77.
- [4] 吴官胜.单排桩加固海堤设计的安全稳定性评估方法研究[D].河海大学,2005:37-42.
- [5] 邹 坤,吴胜发. Ansys 中 Duncan - Chang 模型的实现及验证[J].山西建筑,2008,34(11):152-153.
- [6] 博弈工作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [7] loading simple shear conditions[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1968, 94 (SM3): 689-708.
- [6] 顾小芸.海洋工程地质的回顾与展望[J].工程地质学报,2000,8(1):40-45.
- [7] 郭 莹,贺 林.振动频率对饱和砂土液化强度的影响[J].防灾减灾工程学报,2009,29(6):618-623.
- [8] 张建民,王稳祥.振动频率对饱和砂土动力特性的影响[J].岩土工程学报,1990,12(1):89-97.
- [9] 王星华,周海林.砂土液化动稳态强度分析[J].岩石力学与工程学报,2003,22(1):96-102.
- [10] 周海林,王星华.动三轴实验中的饱和砂土孔隙水压力分析[J].铁道学报,2002,22(1):93-98.
- [11] 郭 文,李 强,王汝恒.振动频率对饱和砂卵石土动模量和动阻尼比影响的试验研究[J].四川建筑科学研究,2007,33(6):113-115.
- [12] 张建民,魏刚文.振动频率对饱和砂土有效抗剪强度指标的影响[J].陕西机械学院学报,1989,5(4):339-348.
- [13] 林 奇.振动频率对土动力特性影响的试验研究[D].上海:上海交通大学,2011:13-70.
- [14] 邵生俊,谢定义.饱和砂土动力学基本特性及其应用途径的研究[J].西安理工大学报,1999,15(3):34-38.