



深厚软土区大水深条件下筑斜坡堤 对桩基的影响研究

王光健, 胡小波, 贾 涛, 龚济平
(中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对深厚软土区、大水深条件下进行港口扩建工程时新建码头桩基位于斜坡堤内且临近既有码头结构带来的不利影响进行研究。依托马来西亚沙巴港扩建工程, 选取典型不利断面, 采用 Plaxis 软件建立精细有限元模型, 重点研究斜坡堤施工对桩基的影响机制及优化控制措施。通过对比两种主要施工方案发现, 桩基施工时机对新建码头桩基影响至关重要, 选择在斜坡堤填筑完成并经历一定固结后再进行桩基施工能显著降低桩基的弯矩和水平位移, 同时研究斜坡堤填筑时施工间歇期的影响, 通过对比, 确认 45 d 间歇期为较优的时间, 能够较好地平衡工期和减少对桩基的不利影响。对临近既有码头的基槽开挖方案研究表明, 控制基槽开挖深度(8 m)可以平衡好基槽自身稳定性和对既有结构的影响; 通过控制桩基施工时间、施工间歇期、基槽开挖深度, 可以有效地保障新建与既有桩基的安全, 并控制工程成本。

关键词: 深厚软土地基; 斜坡堤; 位移控制; 既有码头结构; 基槽开挖

中图分类号: U656.2+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)09-0222-11

Impact of sloping breakwater construction on pile foundations under deep water conditions in deep soft soil areas

WANG Guangjian, HU Xiaobo, JIA Tao, GONG Jiping

(CCCC Third Harbor Scientific Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: This paper investigates the adverse impacts associated with new wharf piles constructed within a sloping breakwater in close proximity to existing wharf structures during port expansion projects under conditions of deep soft soil deposits and significant water depth. Taking the Sabah Port expansion project in Malaysia as a case study, a representative critical cross-section is selected, and a detailed finite element model is built by Plaxis software. Analyzing the influence mechanism of sloping breakwater construction on pile foundations and exploring optimized control measures is focused on. Comparative analysis of two primary construction schemes reveals that the timing of pile installation is crucial for the new wharf piles. Constructing the piles after the breakwater fill placement is complete and has undergone a certain period of consolidation significantly reduces pile bending moments and horizontal displacements. The effect of construction intervals during breakwater filling is also examined. Through comparative research, a 45-day interval is confirmed as a preferable duration, effectively balancing project schedule demands with minimizing adverse effects on the piles. Furthermore, research on the dredging scheme near the existing wharf indicates that controlling the dredging depth(8 m) effectively balances the stability of the dredged trench itself with the impact on the adjacent existing structure. The findings provide valuable insights for constructing sloping breakwaters near existing structures. By controlling the pile installation timing, implementing construction intervals, and regulating dredging depth, the safety of both new and existing pile foundations can be effectively ensured, while also controlling project costs.

Keywords: deep soft soil foundation; slope breakwater; displacement control; existing wharf structure; foundation trench excavation

收稿日期: 2024-12-18

作者简介: 王光健 (1979—), 男, 高级工程师, 从事水运工程设计与施工管理。

在临近既有结构的深厚软土区大水深条件下进行斜坡堤和新建码头建设,往往面临着以下方面的困难:1)因为筑堤高度较高、附加应力较大、软土层较厚,斜坡堤自身的稳定性较差;2)在该条件下,由于斜坡堤的沉降和位移较大,其滑动面影响的范围较大,在水平向对既有结构的推挤作用较明显;3)由于在堤身结构上新建码头结构,堤身结构的沉降和位移对新建桩基的竖向受力和水平向受力都将产生不利影响^[1-4]。为了减小这种不利影响,通常的做法是尽量将斜坡堤往后移,确保与既有结构保持足够的安全距离,其次,新建码头桩基待固结完成后再施工^[5-10]。然而本文所依托的项目由于建设单位对陆域场地使用面积要求较高,堤顶前沿线的位置不得不往前靠,且由于工期限制,新建码头的桩基施工也必须尽早开工。因此,选择合理的斜坡堤换填、填筑以及新码头的桩基施工方案,成为影响本工程成本及工期的关键因素。

1 工程概况

马来西亚沙巴(Sabah)港区位于东马来西亚南部,是东南亚航线最重要的港口之一。由于业务发展的需要,建设单位沙巴港口有限公司(SPSB)拟对该港口杂货码头和陆域堆场进行改扩建。改扩建的主要方案是把原有的堆场陆域向海测推进至靠近原有码头的方向,对原有码头结构进行接长。并在新的陆域前沿线新建1座码头,总体走向与老码头平行,并与老码头结构相连。扩建方案总体平面布置见图1。

斜坡堤的西北向靠海侧为既有码头结构,该码头为梁板结构,有12排桩基,其中10排为预应力高强混凝土(PHC)1000B型直桩,其余2排

为该型斜桩。既有码头结构的距斜坡堤前沿挡墙的距离为43.38 m,中间拟增加1座平行的码头与既有码头相连接,形成1个大的码头,新建码头结构采用4跨梁板式结构,跨距8.3 m,由于新建码头结构桩基正好位于斜坡堤主要滑动面范围内,设计方案采用4排直径1 200 mm的钢管桩。建设单位要求施工不能对其产生安全影响,且不影响其正常的运营。最内侧的桩基距斜坡堤顶前沿线为40 m。新建码头桩基采用抗弯能力较好的钢管桩。根据设计方案,陆域的前沿的护岸采用了重力式斜坡堤,在既有码头结构后方的B断面,原泥面高程约为-12.0 m,堤身-2.0 m以下为充填袋装砂,-2.0 m以上采用中粗砂回填至设计高程4.18 m,施工期考虑施工期间沉降补偿,后方陆域施工期堆填至8.0 m,堤身以下采用换填+塑料排水板进行地基处理。主要工序为:先开挖基槽至-20.0 m,基槽坡比1:3,然后采用中粗砂回填至-13.0 m,再铺设1层土工织物,然后继续回填至-12.0 m,回填完成后采用平板驳进行水上塑料排水板施工,后续进行堤身及护面施工。断面B的设计方案见图2。



图1 马来西亚沙巴湾杂货码头现状
Fig.1 Current situation of Sabah Bay grocery terminal in Malaysia

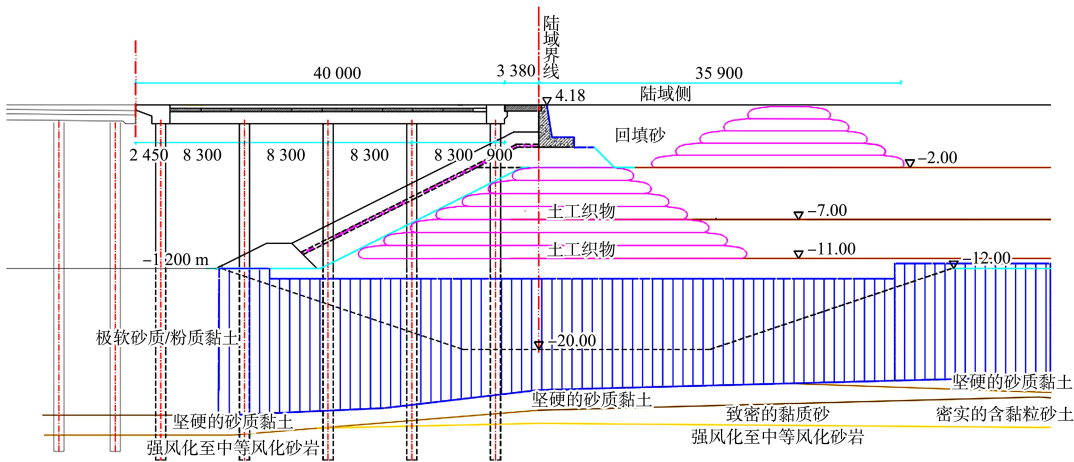


图 2 沙巴港口扩建工程断面 B 设计方案 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 2 Design scheme for section B of Sabah Port expansion project (dimension: mm; elevation: m)

2 工程地质条件

根据本工程提供的 30 个地质钻探孔显示, 大部分区域顶层均为标贯击数 $N < 2$ 击的松软淤泥, 厚度约 12 m; 第 2 层为砂层, 厚度 1~3 m, 局部无砂层; 下卧层为砂岩和泥岩, 标贯击数 $N > 50$ 击。

根据靠近码头桩基位置的 BH23 地质钻孔资料表明, 基岩描述为: 非常弱到强、浅灰色、淡黄色灰色、微风化到中度风化、轻微到高度裂缝的砂岩, 以及非常弱、深灰色、微风化到中度风化、中度裂缝的页岩。断面 B 位置地层剖面见图 3。

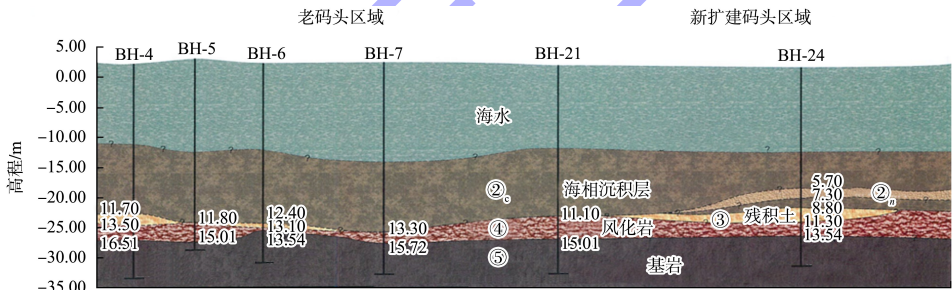


图 3 断面 B 地质剖面

Fig. 3 Geological profile of section B

根据原位取样的颗粒分析试验表明, 该项目所在地的地层表层 12 m 的淤泥主要颗粒组分为黏粒、粉粒和砂粒, 其中 10 m 以内的地层黏粒含量约为 20%、粉粒含量约为 70%、砂粒含量约为 10%。10~12 m 的淤泥质软土中, 黏粒含量为 25%, 粉粒含量为 15%, 砂粒含量为 60%。因此表层 10 m 的地层其工程特性更差。

除了上述钻孔取样外, 还有一定量的原位试验孔, 在断面 B 处的 VST5 探孔深度 2~12 m 布置 6 个点位, 其十字板抗剪强度-深度曲线见图 4。峰值强度均值为 14.5 kPa, 重塑土强度均值为 7.81 kPa, 灵敏度均值为 1.88。根据灵敏度的指

标划分, 该区域土层灵敏度较低。

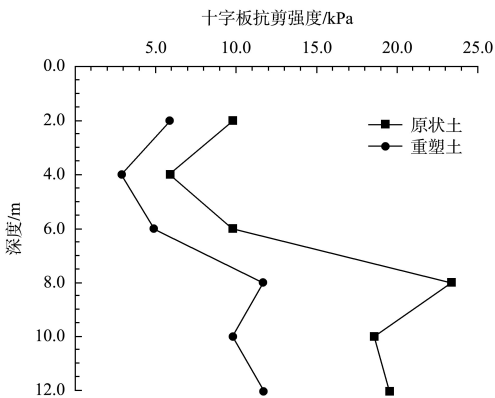


图 4 VST5 探孔十字板抗剪强度-深度曲线
Fig. 4 Vane shear strength-depth curves of VST5 probe hole

3 有限元模型的建立及参数选取

3.1 有限元模型的建立

通过对设计方案、项目特点、工程地质特点进行综合分析,认为断面 B 距离既有码头结构较近、原泥面较深、软土层厚度较大,为不利断面。因此选择该断面进行建模分析,对斜坡堤基槽开挖的稳定性、斜坡堤填筑过程的稳定性和

位移、斜坡堤对既有结构的影响、斜坡对新建码头结构的影响展开研究,为设计和施工方案的制定和优化提供依据。模型的选取和建立充分考虑边界对计算的影响,在临海侧和陆域侧都留有足够的距离至滑动面影响范围之外,模型的底面边界为相对硬层砂岩层。二维 Plaxis 分析模型见图 5。

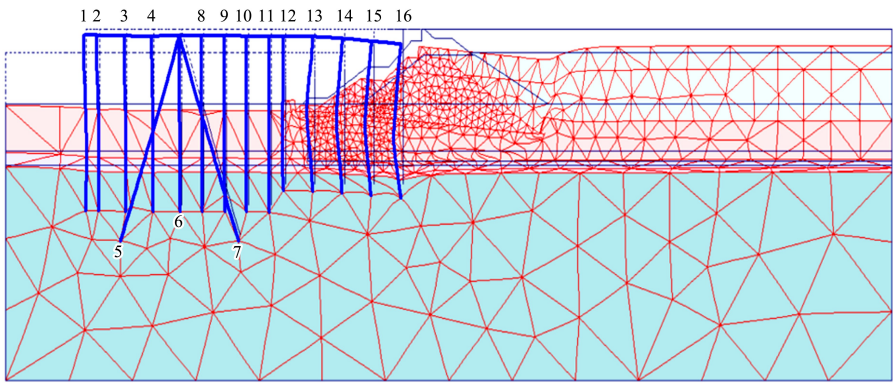


图 5 断面 B 二维分析模型
Fig. 5 Two-dimensional analysis model of section B

3.2 材料参数及本构模型

计算模型本构关系的选取考虑本构模型与土层的匹配性,其中表层软土层采用了软土不排水模型,将表层 10 m 以内黏粒和粉土为主的作为一

层,将 10~12 m 单独作为一个回填砂层和下伏砂层,选用的是摩尔-库仑模型,各土层的主要物理力学指标见表 1。

表 1 有限元模型材料物理力学参数
Tab. 1 Physical and mechanical parameters of finite element model materials

土层名称	本构模型 (材料类型)	饱和重力 密度 $\gamma_{\text{sat}} /$ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	初始 孔隙比 e_{int}	黏聚力 $c'_{\text{ref}} /$ kPa	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$	修正 压缩 指数	修正 膨胀 指数	杨氏模量 $E'_{\text{ref}} /$ MPa	泊松比 ν
软土层 1	软土模型(不排水 A)	14.0	2.26	1	20	0.099 91	0.026 64	—	0.30
软土层 2	软土模型(不排水 A)	15.5	1.40	1	20	0.052 48	0.026 64	—	0.25
密实回填砂	M-C 模型(排水)	20.0	0.50	1	36	—	—	10	0.20
砂岩	M-C 模型(排水)	22.0	0.50	200	45	—	—	100	0.20

4 斜坡堤对新建码头桩基的影响分析

4.1 施工方案比选分析

本项目存在软土层深厚、土层压缩性高、海堤填筑高等特点。虽然在设计方案中为了提高斜坡堤整体稳定性、减少沉降和位移,在海堤下部 8 m 进行了换填。但是为了控制工程成本,换填的深度和范围有限。因此在建设期斜坡堤仍将发生较大沉降和位移。这将不可避免地对斜坡堤的堤身

及临近的位置桩基施工带来影响。沉降对桩基产生的影响,从设计的角度主要考虑负摩阻力的影响,在负摩阻较大的区域考虑设计嵌岩桩。海堤位移对桩基的影响,不仅需要从设计的角度选择对抗弯能力,还需选择允许挠度较大的桩型;根据数值模拟的影响结果,在堤身上的 4 排桩基选择抗弯能力更好的钢管桩,对于其余临近区域的桩基,则采用具有一定抗弯能力的 PHC 桩。然而

仅从材料选择的角度提高其抗弯能力仍然不够，通过对项目特点的分析，其沉降和位移伴随着海堤的固结不断发生，如果能在桩基施工前，让斜坡堤进行一定时间的固结，选择合适的打桩时机，将对桩基的竖向和水平向的受力产生很大的益处。

根据上述分析，针对不同的施工方案对桩基

的影响展开分析。方案 1 先将斜坡堤回填至高程 -2 m，即设计低水位时开始采用打桩船对所有的桩基安装施工，桩基施工开始的时间为工程开始后的第 210 d，桩基施工完成后继续回填至 8 m，总施工工期 470 d，该方案的优点是所有的桩基都可以在水上施工，施工设备和工序较简单。施工工序见表 2。

表 2 方案 1 施工工序
Tab. 2 Construction process of scheme 1

阶段	工序	沟槽段	陆侧区域 1	陆侧区域 2	施工步时间/d
初始阶段	0	-	-	-	-
	1	疏浚至-20 m	疏浚至-20 m	-	30
	2	回填至-11 m+铺设土工布 1	回填至-11 m+铺设土工布 1	回填至-11 m	15
	3	施工塑料排水板	施工塑料排水板	-	15
	4	回填至-7 m+铺设土工布 2	回填至-7 m+铺设土工布 2	回填至-7 m	30
固结期 1	5	-	-	-	45
	6	回填至-2 m+铺设土工布 3	回填至-2 m+铺设土工布 3	回填至-2 m	30
固结期 2	7	-	-	-	45
	8	施工桩	-	-	35
	9	回填至 2.5 m(临时围堰)	回填至 2.5 m	回填至 1.5 m,施工塑料排水板	30
固结期 3	10	-	-	-	45
	11	回填至 4.2 m(临时围堰)	回填至 4.2 m	回填至 4.2 m	20
固结期 4	12	-	-	-	45
	13	-	回填至 8 m	回填至 8 m	20
固结期 5	14	-	-	-	45
	15	-	超载 60 kPa	超载 60 kPa	20
使用期 2 a	16	-	-	-	730

方案 2 为将斜坡堤回填至 8 m，然后再开始进行桩基施工，桩基施工开始的时间为工程开始后的第 435 d，各工序之间设置 45 d 的间歇期，总工期仍为 470 d。该方案的优点为桩基开始的时间较

晚，前期固结沉降的时间较长。然而该方案靠陆侧的部分桩基不能在海上通过打桩船施工，必须通过陆侧采用搭设平台等方式进行吊打施工，施工组织上略微繁琐。方案 2 的施工工序见表 3。

表 3 方案 2 的施工工序
Tab. 3 Construction process of scheme 2

阶段	工序	沟槽段	陆侧区域 1	陆侧区域 2	施工步时间/d
初始阶段	0	-	-	-	0
	1	疏浚至-20 m	疏浚至-20 m	-	30
	2	回填至-11 m+铺设土工布 1	回填至-11 m+铺设土工布 1	回填至-11 m	15
	3	施工塑料排水板	施工塑料排水板	-	15
	4	回填至-7 m+铺设土工布 2	回填至-7 m+铺设土工布 2	回填至-7 m	30

续表3

阶段	工序	沟槽段	陆侧区域 1	陆侧区域 2	施工步时间/d
固结期 1	5	-	-	-	45
	6	回填至-2 m+铺设土工布 3	回填至-2 m+铺设土工布 3	回填至-2 m	30
固结期 2	7	-	-	-	45
	8	回填至 2.5 m(临时围堰)	回填至 2.5 m	回填至 1.5 m,施工塑料排水板	30
固结期 3	9	-	-	-	45
	10	回填至 4.2 m(临时围堰)	回填至 4.2 m	回填至 4.2 m	20
固结期 4	11	-	-	-	45
	12	-	回填至 8 m	回填至 8 m	20
固结期 5	13	-	-	-	45
	14	-	超载 60 kPa	超载 60 kPa	20
	15	施工桩	保持超载 60 kPa	保持超载 60 kPa	35
使用期 2 a	16	-	-	-	730

分别对方案 1、2 建模计算, 并分析在使用 2 后斜坡堤的沉降、整体位移以及桩基的水平位移。方案 1 工后 2 a 的总水平位移云图、工序 8 桩基水平位移、工后 2 a 新建码头总水平位移分别见图 6~8。

由图 7、8 可知, 方案 1 在桩基施工完成后(工序 8), 桩基的最大水平位移为 0.010 29 m, 即约 10.3 mm, 在全部施工完成 2 a 后(工序 16,

施工开始后的第 1 200 天), 桩基的最大水平位移约为 0.355 5 m, 即 355.5 mm, 从桩基施工完成后到施工完成 2 a 后, 总共发生水平位移约 345.2 mm。从工序 8~16, 斜坡堤的最大沉降值从 1.103 m 增加至 2.984 m, 增加了约 1.88 m, 该阶段沉降显著增加, 斜坡堤约 63% 的沉降发生在该阶段。

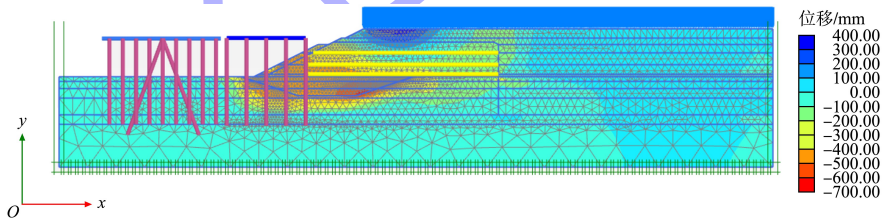


图 6 方案 1 工后 2 a 总水平位移云图

Fig. 6 Cloud map of total horizontal displacement after 2 years of construction for scheme 1

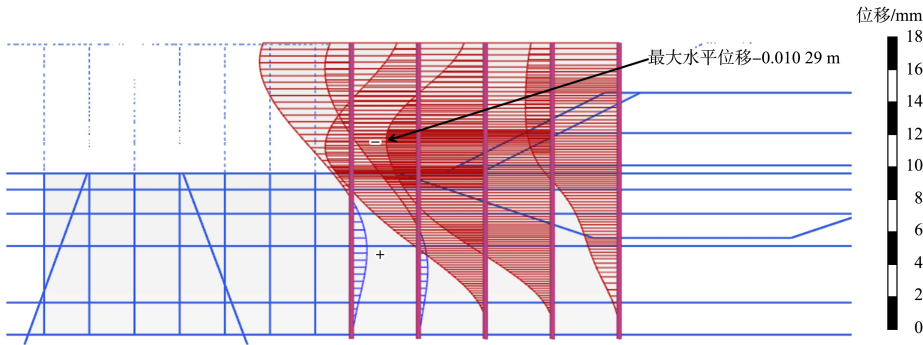


图 7 方案 1 工序 8 桩基水平位移

Fig. 7 Horizontal displacement of pile foundation in process 8 of scheme 1

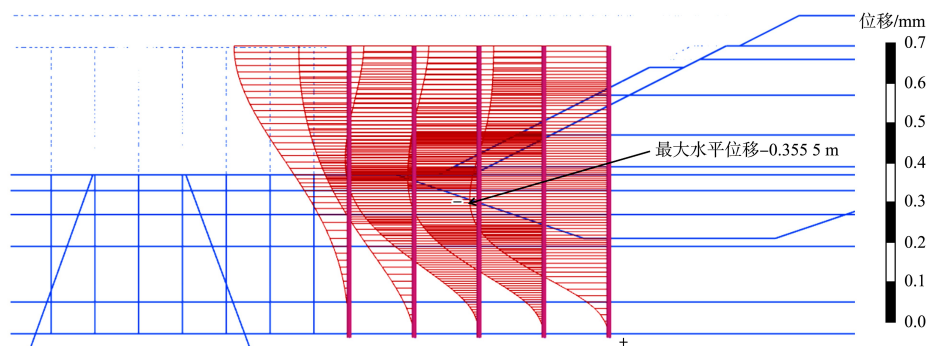


图 8 方案 1 工后 2 a 新建码头总水平位移

Fig. 8 Total horizontal displacement of newly built wharf after 2 years construction for scheme 1

方案 2 桩基施工完成后(工序 15)和工后 2 a (工序 16)新建码头桩基的水平位移分别见图 9、10。可以看出,方案 2 桩基施工完成后,新建码头桩基的最大水平位移为 0.021 3 m,即 21.3 mm,在斜

坡堤建成 2 a 后(工序 16)其总水平位移为 0.040 9 m,即 40.9 mm,该值显著低于方案 1 的水平位移。该阶段斜坡堤的沉降由 2.941 m 增加至 2.999 m,增加值约为 0.058 m,约占总沉降的 11.6%。

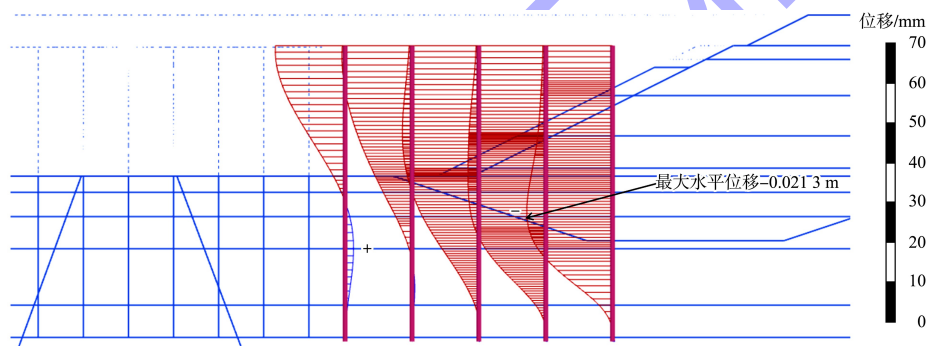


图 9 方案 2 工序 15 新建码头水平位移

Fig. 9 Horizontal displacement of newly built wharf in process 15 of scheme 2

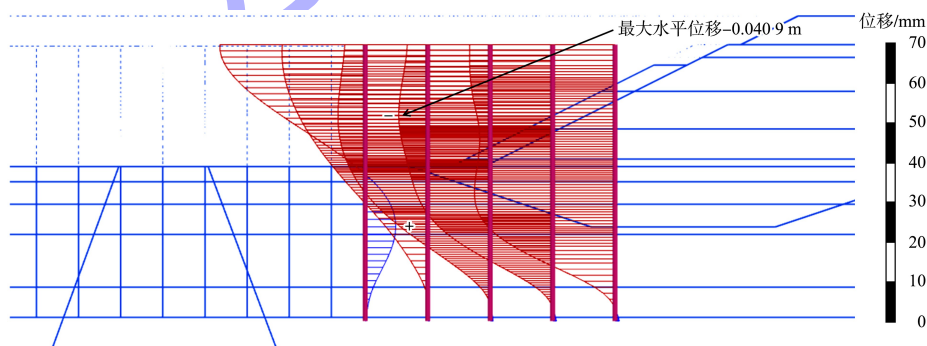


图 10 方案 2 新建码头桩基总水平位移

Fig. 10 Total horizontal displacement of pile foundation of newly built wharf of scheme 2

方案 1 桩基最大弯矩为 290 kN·m/m,同样在建成 2 a 后,方案 2 最大弯矩计算值为 36.42 kN·m/m,仅为前者的 12.6%,降幅高达 87.4%。由此可见,

方案 1 选择在斜坡堤尚有较大荷载未施加、较大的固结沉降未发生的情况下进行施工,将大幅地提高桩基的水平位移,对桩基的材料选择、抗弯

刚度、抗挠等性能指标提出更好的要求, 将增加桩基的材料成本。经过对材料成本、施工成本的

综合测算, 最终选择方案 2 进行桩基施工。方案 1、2 新建码头桩基弯矩分别见图 11、12。

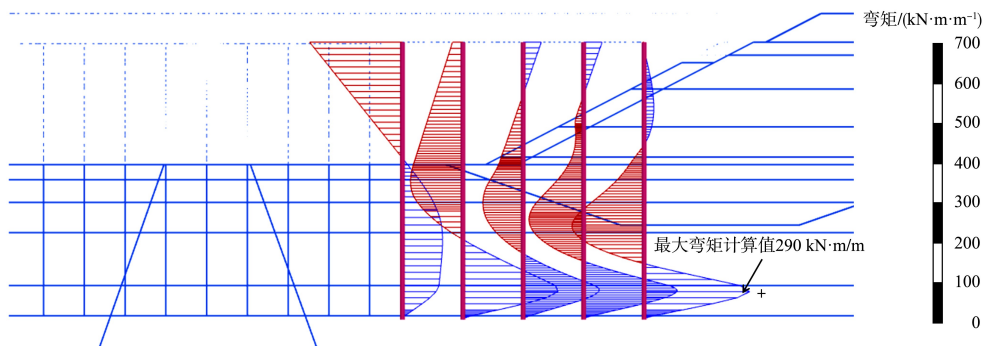


图 11 方案 1 新建码头桩基 (工序 16) 弯矩

Fig. 11 Bending moment of new wharf pile foundation (process 16) of scheme 1

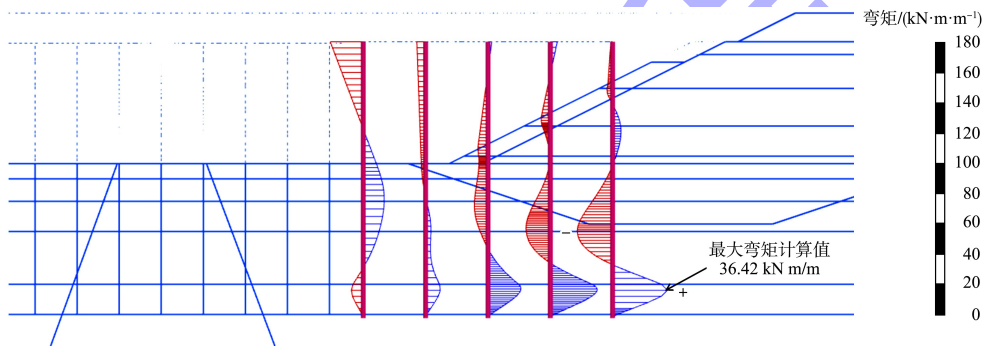


图 12 方案 2 新建码头桩基 (工序 16) 弯矩

Fig. 12 Bending moment of new wharf pile foundation (process 16) of scheme 2

4.2 施工间歇期的影响分析

由于新建码头的桩基在斜坡堤上施工, 海堤的沉降和位移将带动桩基的沉降和位移, 不仅对桩基材料和截面尺寸选择提出更高的要求, 也不利于其后期使用性能的发挥, 因此选择在斜坡堤沉降固结稳定后进行新建码头桩基的施工是有利的。然而造成工程成本上升的不仅有桩基因素, 工期的提高也将大幅影响工程总成本, 因此, 选择一个合理的施工工期, 既能在桩基施工前使斜坡堤尽量固结沉降, 把桩基的水平位移和弯矩控制在合理的范围, 又能把工期控制在经济的可控的范围, 是设计时必须权衡的因素。从前文可知, 方案 2 的工序 4~15, 每个施工步中间都设置了 45 d 的施工间歇期以使海堤固结, 一方面将尽可能地消除沉降, 另一方面能够提高土体强度, 有利于施工期的斜坡堤整体稳定性。对不同的工序

间歇期对斜坡堤的稳定及桩基水平位移的影响开展分析, 以便确定合理的间歇期。分别对间歇期 0、45、60、120 d 情况下进行分析得到其桩基最大水平位移, 见表 4。

表 4 不同间歇期条件下桩基水平位移
Tab. 4 Horizontal displacement of pile foundation under different intermittent conditions

间歇期时间/d	桩基最大水平位移/mm
0	103.10
45	40.55
60	37.01
120	28.26

由表 4 可知, 不设置施工间歇期, 至斜坡堤施工完成 2 a 后桩基的水平位移为 103.10 mm, 设置 45 d 工序间歇期时, 至斜坡堤施工完成 2 a 后, 新建码头桩基水平位移为 40.55 mm, 可见设置间

歇期后桩基水平位移显著减小,可有效改善桩基的受力状态。而将间歇期提高至 60 和 120 d 后,桩基最大水平位移分别减小至 37.01 和 28.26 mm,但是降幅明显减小。间歇期为 60 和 120 d 时,相比于 45 d 工序间歇期时的总施工时间分别增加 75 和 375 d,将造成整体施工成本较大幅度的上升。由此可见,将工序间歇期定为 45 d 比较合适。

5 斜坡堤对既有码头桩基的影响分析

5.1 基槽开挖对既有桩基的影响分析

断面 B 地层主要为海相沉降的极软粉砂质黏土,埋深在-25.5~-24.0 m,厚度为 12.0~13.5 m。根据对斜坡堤前期的稳定性分析结果,由于该深厚软弱层的存在,如果不进行换填,斜坡堤的整体稳定性无法达到设计要求。因此在方案论证阶段考虑了对斜坡堤主要的滑动面范围内采用中粗砂进行换填;从斜坡堤稳定和沉降的角度出发,加大换填深度有利于提高其抗滑稳定性,并减小工后沉降。然而由于斜坡堤距离既有码头结构较近,如果换填深度过大,无法保证换填时开挖基

槽 1:3 的坡比。

根据方案 2 的施工工序分析,在斜坡堤建设的过程中,有两个阶段可能会对既有码头桩基产生显著的影响,第 1 个阶段的换填过程中既有码头下方的软土层存在向基槽内滑移的可能,将对既有码头结构产生较大的水平推力,影响码头结构正常的运行。因此在基槽开挖方案的比选时,对换填深度 6、8、10 m 分别进行建模分析。计算结果表明,换填深度 6 m 时,斜坡堤的稳定性低于设计要求,无法保障斜坡堤建设及运营期的稳定性要求;换填深度 10 m 时,若要同时保障换填范围及基槽坡比,开挖线距离既有码头结构过近,将对既有码头结构产生向内的水平推移。因此综合考虑,选择了 8 m 的换填深度,即从原泥面-12.0 m 开挖换填至-20.0 m。在确定开挖深度以及新建码头的施工工序后,对斜坡堤及既有码头、新建码头进行整体建模分析。根据方案 2 的施工工序对其进行建模分析并得到计算结果,工序 1 基槽开挖后的水平位移云图见图 13,工序 1 既有码头桩基水平位移见图 14。

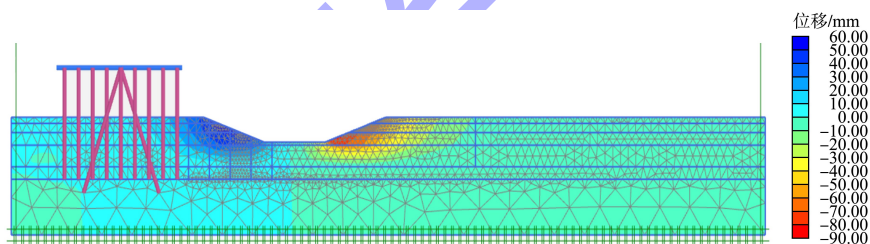


图 13 工序 1 基槽开挖后水平位移云图

Fig. 13 Horizontal displacement cloud map after excavation of foundation trench in process 1

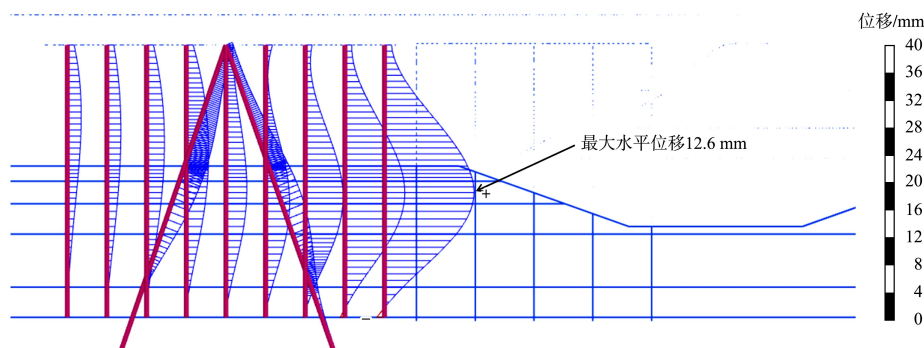


图 14 工序 1 既有码头桩基水平位移

Fig. 14 Horizontal displacement of existing wharf pile foundation in process 1

由图 13、14 可知, 根据该基槽开挖方案, 基槽开挖后基槽最大水平位移为 83 mm, 既有码头结构向内的最大水平位移发生在第 11 排桩, 其值为 12.6 mm, 最外侧的第 1 排桩水平位移为 1.1 mm。根据 PHC1000B 型桩基的能力曲线, 其允许挠度为 $3‰$, 允许水平位移为 25 mm, 因此该基槽开挖方案对既有码头桩基结构不会产生显著影响, 在安全范围之内。

5.2 筑堤对既有桩基的影响分析

在基槽开挖换填完成后, 根据设计方案及施工方案 2, 开展逐级填筑。在该过程中, 由于附加应力的增加, 斜坡堤以下的土体逐渐沉降和发生水平位移, 对既有码头产生推挤作用, 随着固结沉降的发生, 其值越来越大, 在工序 16 (完工 2 a

后), 新建及既有桩基的位移计算结果见表 5。

表 5 各工序既有桩基最大水平位移计算结果
Tab. 5 Calculation results of maximum horizontal displacement of existing pile foundation in each process

工序	新建码头桩基水平位移/mm	既有码头桩基水平位移/mm
4	-	20.67
6	-	28.13
8	-	32.93
10	-	33.91
12	-	41.42
14	-	47.22
15	20.99	45.44
16	40.55	38.77

既有码头各排桩基水平位移见图 15, 弯矩见图 16。

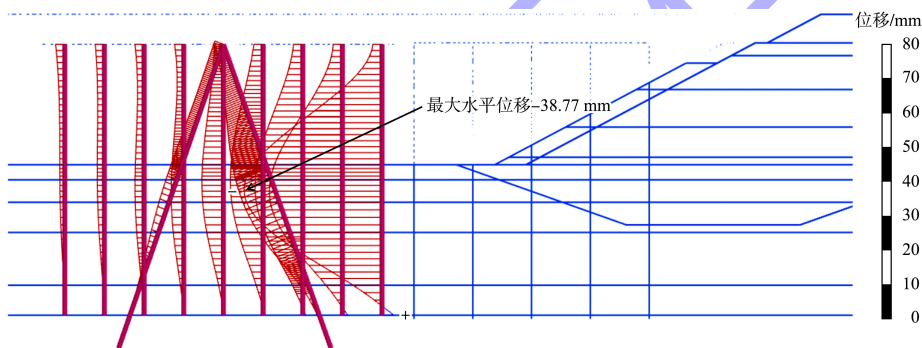


图 15 工序 16 既有码头桩基水平位移

Fig. 15 Horizontal displacement of existing wharf pile foundation in process 16

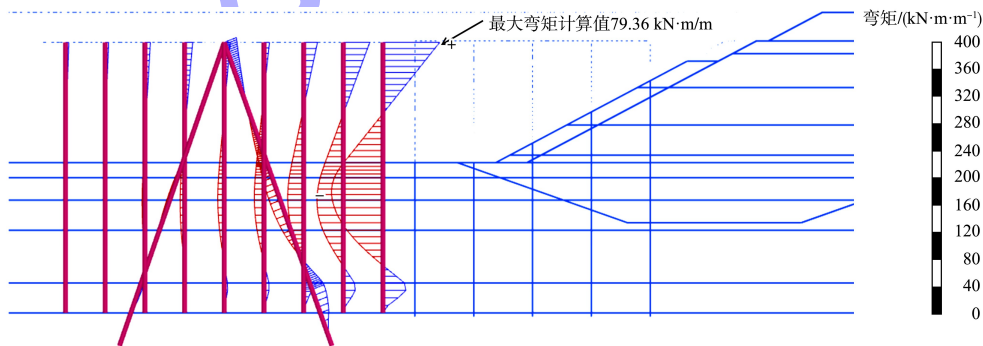


图 16 工序 16 既有码头桩基弯矩

Fig. 16 Bending moment diagram of existing wharf pile foundation in process 16

由表 5、图 15 和 16 可知, 距离码头前沿线最近的桩基水平位移最大, 约为 38.77 mm, 其余各排桩基随着距离斜坡堤距离的变化逐渐减小, 其最大弯矩值为 79.36 kN·m/m, 根据该型桩的能力

曲线图, 根据该开挖换填及海堤填筑方案, 可有效控制斜坡堤建设对既有码头桩基结构水平位移的影响, 能够确保对既有码头的桩基影响控制在安全的范围内。由此可见, 本文采用控制基槽开

挖深度、增设土工织物、控制填筑速度、合理安排桩基施工工序等多种手段与措施保障斜坡堤自身的安全、减少对既有结构的影响、减小对新建结构的影响是合理的。

6 结论

1) 基槽开挖换填深度同时对斜坡堤及既有码头桩基结构的稳定性、位移产生影响,选择合适的换填深度既要综合考虑施工期对既有桩基的不利影响,又要考虑有利于后期斜坡堤的稳定性、沉降、对新建桩基的影响,还要考虑换填的成本,本文经过多重因素综合考虑的换填深度是比较合理的。

2) 在斜坡堤上进行桩基施工,施工时机的选择不仅影响施工机械设备及施工组织,还对桩基的截面尺寸选择及材料选择产生巨大的影响。本文通过对不同工序的数值模拟计算,得到在该大水深厚软基条件下,更有利于桩基施工及安全的方案,即在斜坡堤填筑完成后再进行桩基施工,该方案是合理的。

3) 对于海堤填筑工程,设置合理的填筑间歇期不仅有利于通过固结提高海堤自身的稳定性,对于后续桩基施工也是有利的;填筑间歇期的长短应该通过多个方案的计算比选确定,在超过必要的时间后,其边际效应是递减的。

参考文献:

- [1] 郑辉,李春阳.某斜坡式海堤工程对临近桥梁桩基位移的影响[J].水运工程,2018(4):63-68.
ZHENG H, LI C Y. Effect on pile displacement of bridge near slope seawall project [J]. Port & waterway engineering, 2018(4): 63-68.
- [2] 王晓阳,邓会元,戴国亮.滩涂围垦区大面积填土对临近新建桥梁桩基影响研究[J].中国水运,2018(1):190-192.
WANG X Y, DENG H Y, DAI G L. Research on the impact of large area filling in mudflat reclamation area on the pile foundation of adjacent new bridges [J]. China water transport, 2018(1): 190-192.
- [3] 詹敏杰.高填土对软土下桩基框架结构堤防的影响研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
ZHAN M J. Study on the high-filling's influence on the pile frame structure embankment on the soft soil [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016.
- [4] 姜建芳,占川,张超杰.新建海堤及吹填造陆对桥梁桩基影响数值分析[J].人民长江,2015,46(S2):100-103.
JIANG J F, ZHAN C, ZHANG C J. Numerical analysis of the impact of new seawalls and land reclamation on bridge pile foundations [J]. Yangtze River, 2015, 46 (S2): 100-103.
- [5] 傅志霖.高集海堤复杂地质条件下的桩基施工技术[J].施工技术,2018,47(S4):258-259.
FU Z L. Pile foundation construction technology under complex geological conditions of Gaoji seawall [J]. Construction technology, 2018, 47(S4): 258-259.
- [6] 林舟.宁德东湖塘大桥桩基施工振动对金马海堤稳定影响及对策分析[J].水利科技,2020(1):29-32.
LIN Z. Analysis of the influence and countermeasures of pile foundation construction vibration on Jinma seawall stability of Donghutang Bridge in Ningde [J]. Hydraulic science and technology, 2020(1): 29-32.
- [7] 江泊洧,俞演名,宁顺理.深厚软基区海堤填筑下穿对既有桥梁桩基的影响[J].工程科学与技术,2020(7):108-116.
JIANG J W, YU Y M, NING S L. Influence of sea embankment underpass on the pile foundation of existed expressway bridge in deep soft soil area [J]. Advanced engineering sciences, 2020(7): 108-116.
- [8] 王美茹.深水防波堤设计方法初探[J].港工技术,2010,47(3):1-7,41.
WANG M R. Preliminary exploration of design methods for deepwater breakwaters [J]. Harbor engineering technology, 2010, 47(3): 1-7, 41.
- [9] 崔赛飞.海堤与桥梁交叉时的相互作用及影响研究[J].低温建筑技术,2015(2):99-101.
CUI S F. Study on the interaction and influence of seawall and bridge intersection [J]. Low temperature architecture technology, 2015(2): 99-101.
- [10] 张恒,陈大伟,欧阳礼捷.海洋软土修正剑桥模型在海堤工程的应用[J].水运工程,2018(11):33-37.
ZHANG H, CHEN D W, OUYANG L J. Application of marine soft soil modified Cambridge model in sea dike project [J]. Port & waterway engineering, 2018 (11): 33-37.

(本文编辑 王璁)