



滑坡码头原址重建工程设计关键技术

徐俊, 夏军

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 滑坡码头原址重建工程应首先根据滑坡原因分析和土体滑移面判断结果进行码头后方岸坡地基处理; 明确工程设计边界条件, 包括通过扫海和海底地形测量反映水深变化情况和障碍物分布状况、合理确定滑坡后土壤指标参数、针对性的水下探摸和打捞方案; 最终确定岸坡地基处理采用碎石桩方案, 重建码头排架与原排架错开布置、桩基采用钢管桩方案。结果表明上述方案切实可行, 可为类似工程项目的建设 and 旧码头改造建设提供参考。

关键词: 滑坡; 地基处理; 码头重建; 桩基布置

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0118-04

Key technology of landslide pier reconstruction project design

XU Jun, XIA Jun

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: For the landslide pier redevelopment project, we shall at first carry out the ground treatment to the slope behind the pier based on the analysis of soil landslide; then confirm the boundary condition of engineering design, including variation of water depth and the distribution of obstacles by submarine topography, determination of the reasonable soil parameters, as well as typical submarine detection and salvage scheme; and finally choose gravel pile strengthening scheme for slope foundation, steel pipe pile for redevelopment pier, and evade the primary pile. The results show that the scheme is feasible, which can provide reference for the construction of similar projects and the old pier transform.

Key words: landslide; ground treatment; pier redevelopment; pile arrangement

1 项目背景

舟山中远船务修船基地位于浙江舟山六横岛北端, 是我国大型的船舶及海洋工程修造基地。由于工程地质条件复杂、后方场地超载使用等原因, 该基地1#码头于2007年8月11日发生滑移, 码头西侧150 m两个分段及引桥滑入海中^[1]; 7#码头于2008年4月9日发生滑移, 码头西侧75 m分段滑入海中^[2]。码头滑移后现状见图1和图2。

滑坡事故的发生对舟山中远船务有限公司生产经营造成了很大影响, 同时也对企业形象造成一定的负面效益。1#码头和7#码头工程是该公司目前仅有的2座30万吨级舾装码头, 承担着该公司所



图1 1#码头滑坡后现场照片



图2 7#码头滑坡后现场照片

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 徐俊(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程设计。

有30万吨级VLCC船舶的舾装任务。因此该两处码头的重建工程对企业效益、生产纲领和战略目标的完成都具有非常重要的意义。

2 关键技术

2.1 滑坡原因分析及滑移面判别

1) 滑坡原因分析。

两个码头倒塌均是由于码头后方海堤边坡失稳所导致, 结合现场调研和检测单位意见, 分析滑坡原因: ① 滑坡前期舟山地区均有连续暴雨天气, 集中的地表水和地下渗流对土体稳定非常不利, 土体开裂后水流加剧了土体的破坏和下滑。② 滑坡体处于山体之间, 沉积了较厚的流塑状软土, 承载力低、灵敏度高, 周围山体的爆破作业扰动致使土体强度锐减, 是产生滑坡的不利因素之一。③ 滑坡当时均处于当天的天文大潮的低潮位。④ 岸坡处堆载较大, 造成岸坡土体失稳。其中1#码头后方抛填大量块石, 且抛石边线距码头后沿线不足30 m (原设计为50 m); 7#驳岸后方有约1万 t钢板及废砂。

2) 滑移面判别。

根据上述滑坡原因分析及滑坡后地质勘察资料相关内容, 判别滑移面如下:

① 本工程所在范围地基表层②₁层淤泥质粉质黏土为高含水量、高压缩性、高灵敏度的软弱土层, 与其下③层粉质黏土层强度差异较大, 两者的接触面形成了较典型的软弱结构面。

② 根据滑坡前、后地质资料揭示的水下等深线图, 滑移面主要发生在第②₁层淤泥质粉质黏土层中, 其上部大部分土层滑走, 滑移后岸坡处水下泥面高程最大变化达15~16 m; 但②₁层以下的土层基本未受扰动。

③ 虽然滑坡后码头后方岸滩坡度较缓, 但表层仍有一定厚度的软弱土层。根据DZ T0218—2006《滑坡防治工程勘察规范》附录E, 模拟已发生的滑坡, 假定危险滑动面仍在第②₁层土中, 上部土层按附加荷载考虑, 天然边坡稳定安全系数为1.03, 属于欠稳定状态。

因此重建码头之前, 须对码头后方岸坡进行地基处理, 以改善整个码头和岸坡区域软弱地基

土层的工程性质, 增大其抗滑移能力, 减小地基变形, 特别是侧向变形, 防止土体再次失稳对重建码头造成危害。

2.2 设计边界条件确定

原码头倒塌后会在周边水域覆盖层表面形成较多障碍物、碎石块并导致天然水深、土层性质的变化, 为尽量减少码头重建时桩基施工的不确定因素, 设计工作中须确定以下边界情况。

1) 通过扫海及水下地形测量, 了解该区域的实际水深情况、航行障碍物情况和滑坡前、后码头区域水深变化情况。码头倒塌区域扫海结果如图3、图4所示。

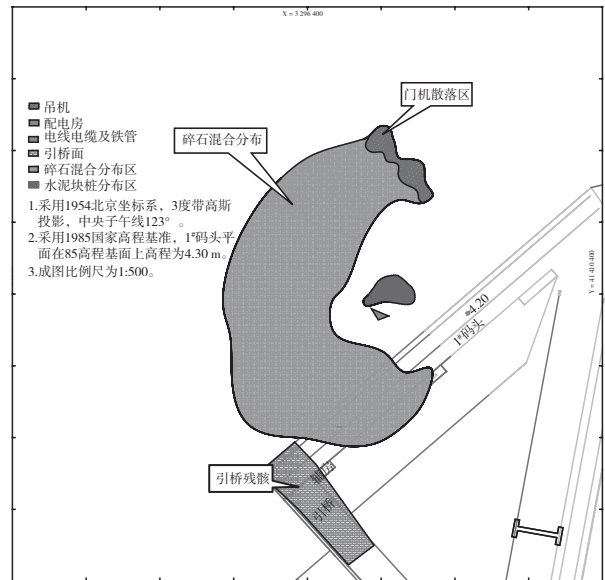


图3 1#码头扫海测量图



图4 7#码头扫海测量图

对扫海结果进行分析表明: 码头残骸与泥石混物流向为区域深槽方向, 符合流动规律。水

下探摸的结果反映，码头面整体解体后的混凝土碎块和海堤滑动带来的大量碎石分布在海底面表层，在码头重建区域形成了0.5~4.3 m厚的碎石黏土混合层。因此重建工程的桩基需要有较强的穿透能力和抗捶击能力。

水深测量结果表明：两个码头水深较倒塌前均有变深的普遍规律，码头前沿变化幅度在2~4 m。

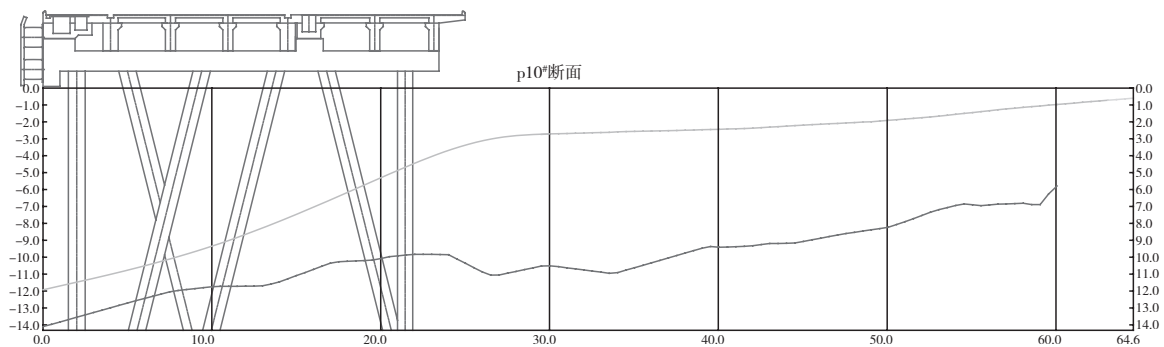


图5 1#码头水深变化示意

由于码头水深变化较大(原设计泥面为-12.8 m)，导致重建码头工程的桩基自由长度加长，要求桩基具有较强的抗弯能力。

2) 合理确定土壤指标参数，确定重建海堤合理的地基处理方案。

① 根据2.1节分析结论，②₁层以下的土层基本未受扰动。因此重建海堤施工期整体稳定计算时，被加固软土层原始抗剪强度指标采用十字板剪指标，其它土层采用三轴不排水剪强度指标。

② 根据天然地基稳定计算，无论深层还是浅层，海堤施工期最小安全系数仅0.6~0.7，远小于规范要求（实际上在堤身尚未填至设计高程时就已发生滑动破坏），因此必须进行地基处理。由于工程要求尽量缩短工期，加快施工速度，因此排水固结法无法满足分级加载的要求。对水泥搅拌法，因本工程前期发生滑动，部分回填的石料覆盖在泥面上，对水泥搅拌法的施工带来困难，另一方面根据滑动面位置，地基加固需穿透②₂粉质黏土层，目前的水泥搅拌法施工工艺无法满足深度要求。根据本工程特点，最终选用碎石桩地基处理方案。

③ 由于原海堤发生滑坡事件，根据《港口工程地基规范》要求，新建海堤整体稳定抗力分项系数应比原工程处于极限状态的抗力分项系数增

结合码头残骸和与泥石流向分析，应该是原土层上部淤泥质土层被冲走所致。图5为1#码头倒塌前后码头中部水深变化示意图，上面曲线为2006年5月泥面线，下面的为2007年8月所测泥面线。目前1#码头前沿天然水深在-15.5~-18.5 m，且大部分范围水深在-17.5 m以上；7#码头前沿天然水深在-18~-22.5 m。

大20%~30%。

3) 根据扫海结果确定针对性的水下探摸和打捞方案。

根据扫海资料，1#码头引桥整体坠落在原位的海底处，通过进一步水下探摸发现，引桥面板基本完整，局部有裂痕，中部区域断裂，区域位置与原引桥位置基本一致；7#码头后方堆场的1.6万t钢板主要散落在码头后方水域，原码头位置处也有部分钢板。针对上述情况确定水下探摸和打捞方案。

① 针对1#码头整体滑落的引桥面，采用水下分块切割后再进行打捞，基本可保证清除表层障碍物，满足重建工程沉桩要求。

② 针对7#码头散落的钢板先进行多次打捞，再在该水域进行磁力探测确定残留钢板位置为进一步打捞提供依据；考虑到深埋土中残留钢板对重建码头沉桩影响较大，再采用工程地质钻机按10 m×10 m网格状进行钻孔探摸，钻探深度要求泥面下不小于20 m，彻底清除码头区域的障碍物，确保桩基施工的可行性。

2.3 码头桩基设计

1) 桩基形式确定。

根据水下探摸和扫海测量结果，码头滑坡区域泥面有一层碎石混合黏土层和码头残留物，码

头前沿水深加大, 因此重建码头的基桩应具有较强的穿透、抗弯、抗剪能力和抗锤击能力。两个码头均采用了 $\phi 1\ 000$ mm钢管桩作为桩基基础, 其中1#码头东侧分段由于滑坡导致的土体移走较多, 覆盖层较薄, 桩基采用全断面直桩嵌岩结构形式。

2) 桩基布置及实施。

① 通过收集原码头打桩资料、竣工资料等, 初步确定码头滑移后残留桩基位置, 提出相关的物探要求对原码头残留桩基位置进一步确认。

② 将重建码头排架与原排架错开布置以尽量避免桩基相碰。利用“三维空间桩基仿真分析软件”布置桩位, 严格控制重建码头桩基与原码头残余桩基之间的间距, 从理论上保证桩基施工的可行性。

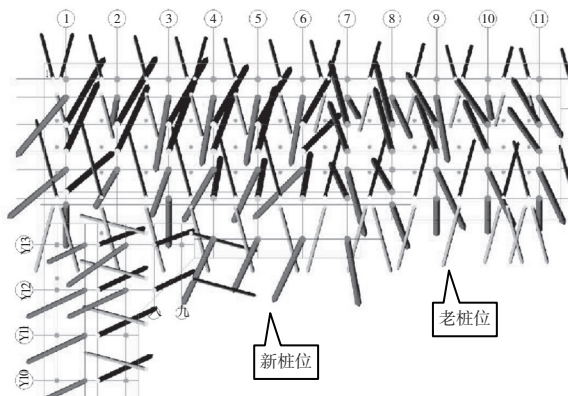


图6 三维空间桩基布置(局部)

③ 设计代表全程跟踪整个桩基施工过程, 要求桩基施工前先利用直径较小的钢护桩在沉桩范围内进行压桩试插, 并根据送桩情况及时调整桩位; 在压桩试插均不理想的情况下再在局部沉桩范围内进行小规模清理。

目前, 2个工程均已完工, 除个别桩基桩位调整较大外, 基本上按照设计桩位完成施工, 实施效果很好。

3 结语

1) 2个码头倒塌均是由于后方海堤边坡失稳所导致, 土体滑移面位于表层软弱土层与其下层力学指标较好土层之间的软弱结构面处; 滑移

面上部大部分土层滑走, 滑移面以下土层基本未受扰动; 滑坡后天然边坡属于欠稳定状态。因此重建码头之前, 必须对码头后方岸坡进行地基处理, 防止土体再次失稳对重建码头造成危害。

2) 重建海堤施工期整体稳定计算时, 被加固软土层原始抗剪强度指标采用十字板剪指标, 其它土层采用三轴不排水剪强度指标, 采用碎石桩地基加固方案, 并且要求新建海堤整体稳定抗力分项系数应比原工程处于极限状态的抗力分项系数增大20%~30%。

3) 通过扫海了解重建码头水域障碍物分布情况, 采取针对性的水下探摸和打捞方案。主要包括: 障碍物水下分块切割、打捞, 再利用磁力探测确定残留钢板位置并进一步打捞, 最后利用工程地质钻机按 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 网格状进行钻孔探摸, 钻探深度要求泥面下不小于20 m, 彻底清除码头区域的残留钢板, 确保桩基施工的可行性。

4) 重建码头的基桩选用具有较强穿透、抗弯、抗剪能力和抗锤击能力的 $\phi 1\ 000$ mm钢管桩, 局部采用全断面直桩嵌岩结构形式; 重建码头排架与原排架错开布置, 利用“三维空间桩基仿真分析软件”布置桩位, 严格控制重建码头桩基与原码头残余桩基之间的间距; 桩基施工前先利用直径较小的钢护桩在沉桩范围内进行压桩试插, 并根据送桩情况及时调整桩位; 在压桩试插均不理想的情况下再在局部沉桩范围内进行小规模清理, 确保桩基施工可行。

到目前为止, 本工程是唯一在原码头滑移倒塌区域原址重建的工程项目, 工程建设在关键技术上的突破对于指导类似工程项目建设 and 旧码头改造建设具有重要意义和参考作用。

参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 中远船务舟山修船基地工程1#泊位重建及修复工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2008.
- [2] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 舟山中远船务7#码头修复及重建工程[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)