



菲律宾 ATI 驳船码头水工结构设计创新

林 岳¹, 张海荣¹, 刘功鑫², 吴开锐²

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290;

2. 中交二航局第三工程有限公司, 江苏 镇江 212000)

摘要: 以位于强震区采用高桩结构的菲律宾 ATI 驳船码头工程为例, 介绍了该项目应用装配式预制混凝土 U 形槽结构、密排桩式挡浪墙结构、三角撑式单桩钢结构系缆墩等水工结构设计创新, 解决了预制结构现浇节点钢筋搭接冲突问题, 提出了一种适应强震区的特殊挡浪结构和一种新型钢结构码头改扩建方案, 可为类似工程的设计提供参考。

关键词: 强震区高桩结构; 预制混凝土 U 形槽结构; 密排桩挡浪墙; 三角撑式系缆墩

中图分类号: U656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0056-04

Design innovation of marine structure of ATI Barge Terminal in Philippines

LIN Yue¹, ZHANG Hairong¹, LIU Gongxin², WU Kairui²

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China;

2. CCCC Second Harbor Engineering Ltd. No. 3 Branch, Zhenjiang 212000, China)

Abstract: Taking the ATI Barge Terminal project in Philippines with pile supported structure in strong seismic area as an example, this paper introduces the design innovations of marine structures such as the prefabricated U-type concrete channel structure, close-piled type wave wall, and triangle brace type single pile steel mooring dolphin, which solve the conflict problem of reinforcing bar at the cast-in-place joints of prefabricated structures. A special wave retaining structure adapted to strong earthquake area and a new steel structure wharf expansion scheme are proposed, which can provide reference for similar engineering design.

Keywords: pile supported structure in strong seismic area; precast concrete U-type channel structure; close-piled type wave wall; triangle brace type mooring dolphin

1 工程概况

菲律宾 ATI 驳船码头项目位于菲律宾甲米地马尼拉湾南部 Tanza 区, 建成后可为 ATI 马尼拉南港和甲米地经济腹地提供集装箱中转服务。项目水域部分包括长 140 m、宽 33 m 的码头平台, 400 m 长的引桥, 疏浚至 -3.9 m 的航道和港池等内容。其中码头采用高桩梁板结构, 钢管桩直径 1 m、排架间距 6.6 m, 典型结构断面见图 1。

项目位于全球三大地震带之一的环太平洋

地震带上, 为典型强震频发区域。根据菲律宾建筑规范 NSCP (National Structural Code of the Philippines 2015)^[1] 项目位于地震 ZONE 4 区域, 水工结构 75 a 和 475 a 重现期对应的地震基岩峰值加速度分别为 0.24g 和 0.40g, 抗震设计要求较高。项目在实施过程中遇到了一系列挑战, 部分问题通过对水工结构的设计创新逐一解决, 本文针对 3 个创新点进行总结, 包括装配式预制混凝土 U 形槽结构、密排桩式挡浪墙结构和三角撑式单桩钢结构系缆墩。

收稿日期: 2022-12-23

作者简介: 林岳 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水工结构设计。

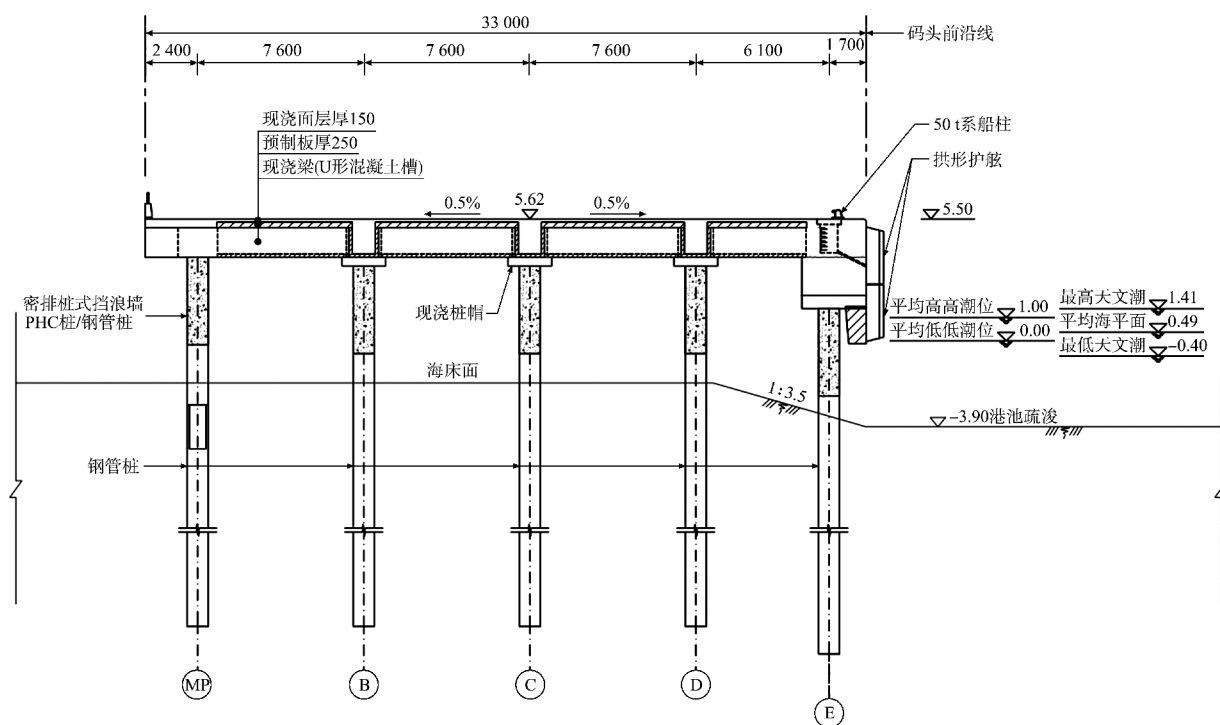


图1 码头结构典型断面 (尺寸: mm; 高程: m)

2 水工结构设计创新

2.1 装配式预制混凝土 U 形槽结构

在项目实施过程中,将原方案的现浇梁结构变更为预制结构,采用装配式施工提高工程质量。常规的装配式结构设计一般采用预制叠合面板和预制梁结构,而预制梁结构需要具有一定长度的外伸锚固钢筋,导致在高桩梁板结构节点处纵横梁的锚固钢筋、桩芯混凝土的锚固钢筋在3个方

向上易产生冲突。强震区高桩结构应满足强梁弱柱设计^[2-3]，所以纵横梁的钢筋较非震区项目直径更粗、数量更多；且桩芯混凝土钢筋的锚固需向上延伸较长的距离，节点处纵横梁和桩芯混凝土钢筋互相穿插，钢筋冲突的问题更加严重。若采用传统的整体式预制梁结构，将导致节点处难以进行钢筋位置调整和预制件的安放，现场施工容错率非常低，极大地增加了施工难度(图2)。

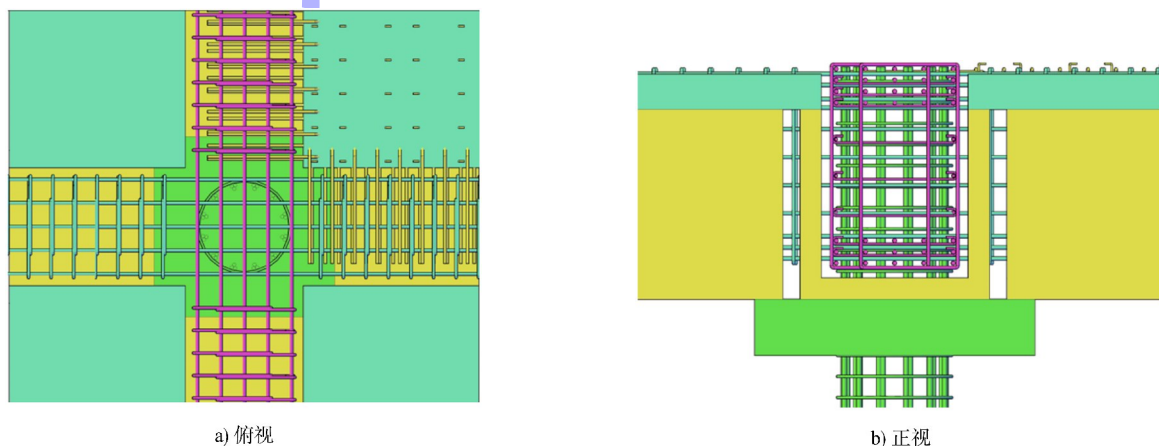


图 2 节点钢筋

综上,通过采用装配式预制混凝土 U 形槽结构作为现浇纵横梁模板的设计方案(图 3、4),具

有以下特点: 1) U 形槽不考虑使用期的抗弯强度, 纵向钢筋无需进行外伸锚固, 对现浇节点的

施工影响减少; 2) U 形槽内部纵横梁采用现浇, 有效增加了现场施工处理节点处钢筋冲突的灵活性; 3) 在节点处通过设置桩帽或采用其他支撑方式搭接 U 形槽; 4) 节省纵横梁的施工模板, 并可利用 U 形槽搭设上方面板的预制部分; 5) 槽内现浇梁结构的钢筋保护层厚度可适当降低; 6) U 形槽结构通过增加短筋和保留吊筋, 增强结构的整体性。

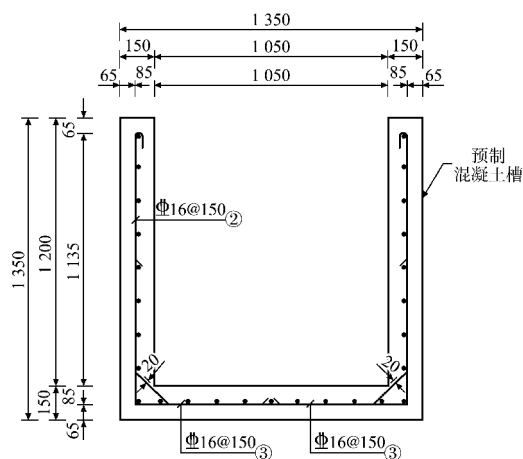


图3 U形槽结构配筋 (单位: mm)



图4 U形槽现场安装

2.2 密排桩式挡浪墙结构

由于水流流速基本平行于泊位轴线, 因此掩护效果主要受波浪影响。考虑到当地石材价格较高, 而钢结构则存在海水腐蚀耐久性问题, 因此相较于传统的抛石堤或钢管(板)桩挡浪结构, 采用与码头主体结构相结合的密排 PHC 桩作为挡浪墙结构较为经济合理。该方案将直径 1.0 m 的 PHC 桩以中心间隔 1.1 m (净间距 0.1 m) 均匀布置在码头结构最后一排的钢管桩排架之间, 通过密排桩结构进行波浪掩护(图 5)。密排桩结构的透浪系数和掩护效果参考文献[4-5]的物模验证。



图5 码头后侧挡浪墙及系缆墩

通过三维整体有限元地震反应谱分析发现, 当密排桩与上部结构采用传统刚性连接时将导致节点处地震响应的弯矩过大, 不利于结构抗震。受 ASCE/COPRI 61-14 中桩与上部结构特殊连接形式的启发(图 6), 通过在 PHC 桩顶将传统钢筋笼改为交叉式的主筋锚固方式, 使 PHC 桩与上部结构形成近似铰接的连接方式, 降低节点处的地震响应弯矩(图 7), 并在桩顶设置橡胶垫圈防止结构晃动出现局部开裂。

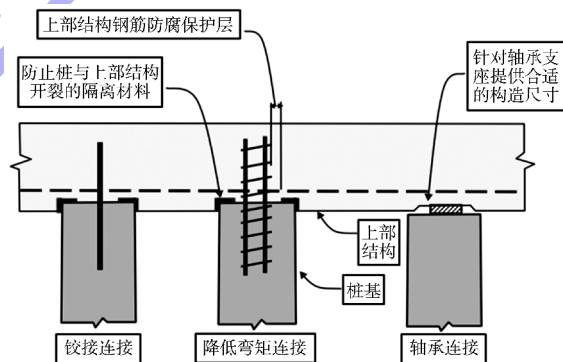


图6 桩与上部结构特殊连接

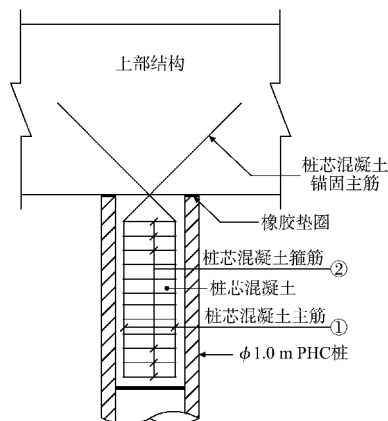


图7 PHC 桩头处理

密排桩式挡浪墙结构的特点包括: 1) 通过采用密排 PHC 桩作为挡浪结构进行波浪掩护, 可有效解决当地石材价格较高以及海水腐蚀耐久性的问题; 2) PHC 挡浪结构与码头主体结构设计为铰接形式, 既可利用码头主体结构抵御外部荷载, 又可有效释放结构中聚集的能量利于结构抗震。

2.3 三角撑式单桩钢结构系缆墩

项目实施后期, 设计船型发生变更、船长加长导致原码头泊位长度不足, 通过在现有码头结构基础上额外增加一个系缆墩, 即可以较小的代价满足系泊需求。为进一步节省造价, 提出采用三角撑式的单桩钢结构系缆墩方案, 其结构见图 8。该方案充分利用码头主体结构共同承受外荷载, 有效节省了工程造价^[6-9]。

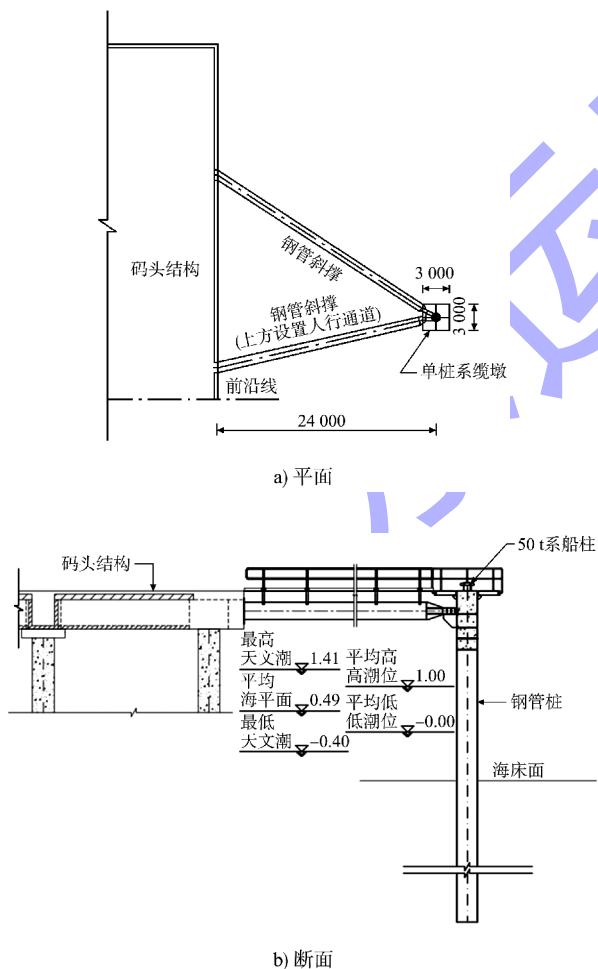


图 8 三角撑式单桩钢结构系缆墩 (尺寸: mm; 高程: m)

3 结语

1) 结合项目特点的水工结构设计创新可有效提高工程质量、节省工期和节约造价。

2) 菲律宾 ATI 驳船码头水工结构设计创新有效解决了强震区装配式高桩梁板结构设计及其现浇节点的钢筋冲突、强震区密排桩式挡浪墙的结构设计、已建码头的设计船型变更加长等。经实践验证具有施工可行性, 对类似工程具有一定的参考价值。

3) 预制混凝土 U 形槽结构可在节点配筋较为复杂的装配式高桩梁板码头结构中进行应用和推广; 密排桩式挡浪墙结构及其桩头处理可应用于强震区的类似结构中; 三角撑式钢结构系缆墩的结构方案可应用在码头改扩建中。

参考文献:

- [1] NSCP. National Structural Code of The Philippines 2015[S]. Manila: Association of Structural Engineers of the Philippines, Inc., 2016.
- [2] PIANC. Seismic Design Guidelines for Port Structures [S]. Brussels: PIANC, 2001.
- [3] American Society of Civil Engineers. Seismic Design of Piers and Wharves: ASCE/COPRI 61-14 [S]. Reston: American society of civil engineers, 2014.
- [4] 周明奎, 张先波. 排桩式防波堤透浪效果试验研究[J]. 中国港湾建设, 2018, 38 (10): 45-47.
- [5] 孙晓帆, 闻学, 刘鹏飞. 低透空率桩基防波堤消浪效果研究[J]. 水运工程, 2022 (5): 14-20.
- [6] 邵晓, 邱大洪, 全成才, 等. 一种创新的码头结构新形式: 整体箱板式高桩码头结构设计与施工技术[J]. 水利水运工程学报, 2009 (4): 143-150.
- [7] 黄泽宪. 国电福州江阴电厂煤码头工程的设计创新[J]. 水运工程, 2011 (10): 58-62.
- [8] 俞武华. 河港大水位差直立式集装箱码头设计创新技术[J]. 水运工程, 2011 (11): 71-77.
- [9] 宋兰芳, 王伟, 卢永昌. 广州港南沙港区粮食及通用码头结构创新设计[J]. 水运工程, 2011(11): 94-99.

(本文编辑 赵娟)