



软土地基上的重力式沉箱结构选型

朱圣文, 黄云峰

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 对软土地基上的重力式沉箱结构, 从提高地基承载力的角度分析增加基床厚度(基床下部换填)、振冲碎石桩处理、增加沉箱宽度等措施对结构方案的影响, 并推荐合理的方案。同时分析基础换填、碎石桩地基处理设计需重点关注的问题及解决方法, 供设计参考。

关键词: 软土地基; 重力式沉箱结构; 基础换填; 碎石桩

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0061-05

Selection of caisson structures on soft ground

ZHU Sheng-wen, HUANG Yun-feng

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: To increase the foundation's bearing capacity of caisson structures on soft ground, we analyze the influences of various measures including increment of bed's thickness (replacement of foundation), vibro-flotation gravel pile, increment of caisson's width on the structure, and recommend the reasonable scheme. We also discuss problems to be paid attention to and relevant solutions to serve as reference for the engineering design.

Keywords: soft ground; caisson structure; replacement of foundation; vibro-flotation gravel pile

目前, 在深厚软土上建设重力式结构越来越多, 特别是大型港口工程, 水平荷载和竖向荷载均较大, 结构基床底面设计应力大, 偏心作用明显, 天然地基承载力不满足要求, 需结合地基处理对结构选型进行优化。本文结合某港实际案例对该类重力式结构选型、地基处理相关参数选用进行比较分析。

1 地质条件

场区地质剖面见图1。主要地层物理力学指标见表1。

场地-27.0 m 以上均为软土层, 其中③₁粉质黏土层为可塑, 局部硬塑状态, ③₅黏土层为可塑-硬塑状态, ④₂强风化片麻岩岩石节理裂隙很发育, 岩芯呈碎块状。

表1 主要软土层物理力学指标及地基容许承载力

土层	天然状态土的物理性指标		塑性指数 I_p	液性指数 I_L	固结(0.1~0.2)		固快		地基容许承载力/ kPa
	含水率 $W/\%$	孔隙比 e_o			压缩系数 a_v/MPa^{-1}	压缩模量 E_s/MPa	粘聚力 C/kPa	摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	
粉质黏土③ ₁	26.36	0.76	15.68	0.4	0.29	6.75	41.91	16.24	200
黏土③ ₅	28.99	0.82	18.11	0.35	0.29	6.84	52.27	13.92	220

收稿日期: 2016-03-10

作者简介: 朱圣文(1966—), 男, 高级工程师, 从事港口、桥梁工程设计工作。

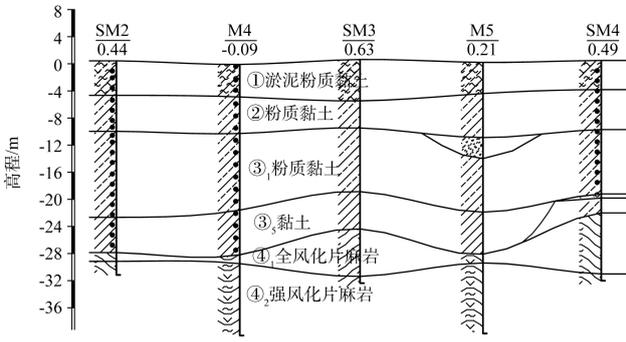


图1 地质剖面图

2 方案分析

2.1 方案 A: 换填

上部为常规沉箱结构。为满足地基承载力要求，抛石基床下换填 4.5 m 厚开山石。墙前换填宽度暂按 1.5d 取值 (图 2)。

换填宽度的确定：目前公路桥涵、建筑地基设计规范中对换填尺寸有较为明确的描述——换填宽度 $b' \geq b + 2d \tan \theta$ (b 为基础宽度， d 为换填深度， θ 为换填材料的压力扩散角，基础前后应力扩散宽度相同)，该计算公式没有考虑水平力产生的偏心荷载作用对基础应力扩散宽度的影响；现行港口工程重力式码头设计规范虽明确指出当基床

较厚时，可在抛石基床以下采用换填方式来处理，但对于换填宽度的选取没有具体规定。实际应用时有的参照重力式码头设计与施工规范中对抛石基床的要求：基础前取 1.5d，基础后取 0.5d，有的对基床部分取 1.5d，换填部分根据换填材料的压力传递角选用，还有的根据上述情况确定宽度后再根据整体稳定计算结果进行优化。总之，换填宽度选用差异较大。笔者认为，换填宽度影响因素较多，主要影响因素为基底应力大小及基础受力偏心角、换填深度、换填材料特性、下卧土层特性等。如按公路桥涵和建筑地基设计规范取值，码头前沿地基换填宽度不足，基础偏于危险；如按重力式码头设计及施工规范中抛石基床规定取值，会导致码头前沿换填过大，计算的基床底部应力偏小。根据文献[1]研究成果，重力式码头墙前基底应力扩散角随基床厚度增加而减小，随基底应力增加而增加，当重力式码头基底应力 ≥ 450 kPa 时，建议换填宽度按以下选用：基床和换填总厚度 ≤ 3 m 时，墙前应力扩散角可取 1.5d；当基床和换填总厚度 > 3 m 时，墙前应力扩散角可取 1.0d，墙后均取 0.5d；当重力式码头基底应力 < 450 kPa 时，墙前应力扩散角可适当减小，可取 1.0d。

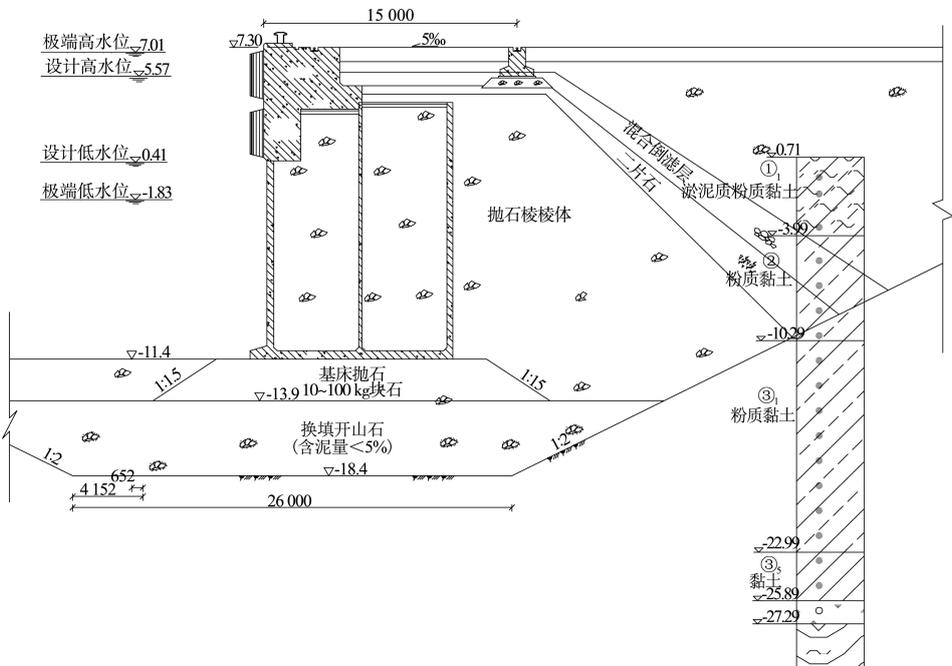


图2 方案 A 断面 (高程: m; 尺寸: mm)

2.2 方案 B: 振冲碎石桩

本方案上部结构与方案 A 相同。为满足地基承载力要求, 地基采用振冲碎石桩处理。碎石桩

直径 1.2 m, 间距 3.0 m。桩长 10 m。碎石桩设计范围: 在应力扩散线外取 2~3 排桩, 抛石基床前沿取 3 排, 后沿取 2 排, 桩长 11 m (图 3)。

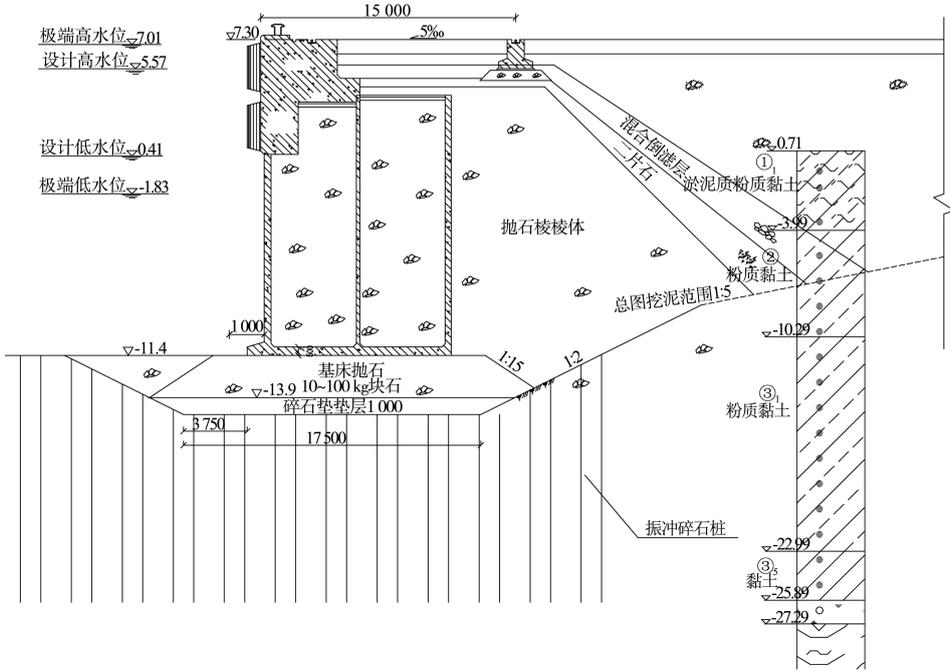


图 3 方案 B 断面 (高程: m; 尺寸: mm)

影响碎石桩处理后的复合地基承载力抗力系数 γ_R 的因素主要有面积置换率 m 、桩土应力比 n 以及原有地基的物理力学指标 C 、 φ 值。在其它条件不变的情况下, 分别计算 m 、 n 、 C 、 φ 各值与 γ_R 的关系, 形成 γ_R 与 m 、 n 、 C 、 φ 关系图(图 4~7)。根据文献[2] 计算碎石桩复核地基地桩土应力比 n 与原地基变形模量 E_0 的关系(图 8)。

桩间土强度有所降低, 需根据施工方法、置换率大小、土体软弱程度合理选用桩间土 C 、 φ 值。振冲器功率越大, 置换率越高, 土体越软, 降低幅度越大。对可塑状黏土, 可降低 10% [3]。

从图 4~7 中可以看出: 其它因素不变时, γ_R 与 m 、 n 、 C 近似成线性关系, 地基土 φ 值对抗力系数影响较为明显, 提高地基土的内摩擦角 φ , 能显著提高地基承载力。天然地基土质对桩土应力比影响较大: 天然地基变形模量越小, 土质越软, 桩土应力比越大, 处理效果越好。对地基土变形模量大于 10 MPa 时, 桩土应力比 < 2 , 碎石桩分担的应力不大, 处理效果不明显。

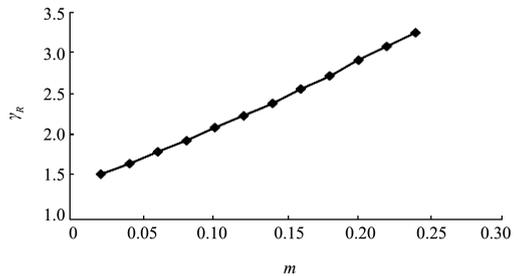


图 4 m - γ_R 关系

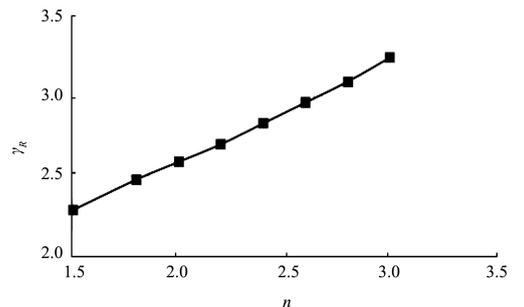


图 5 n - γ_R 关系

对采用碎石桩处理地基, 应注意: 对于水下碎石桩处理软土地基, 在面积置换率一定的情况下, 宜尽量增加桩径, 以减小振冲桩数量。对于黏土地基, 由于碎石桩的扰动、成桩后水的侵入,

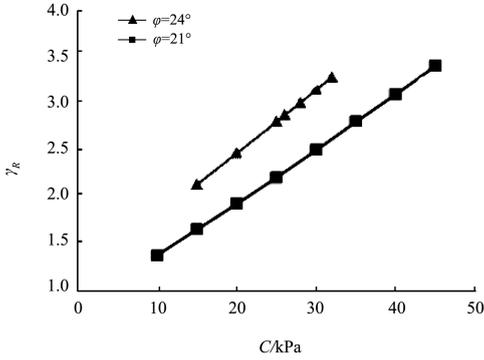


图6 C- γ_k 关系

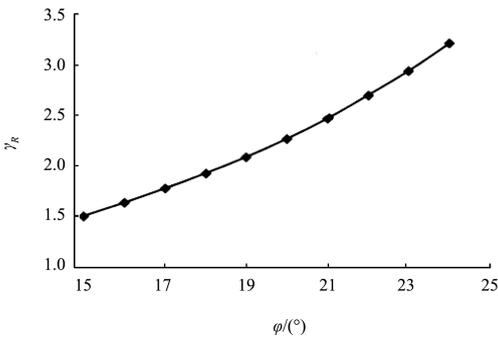


图7 ϕ - γ_k 关系

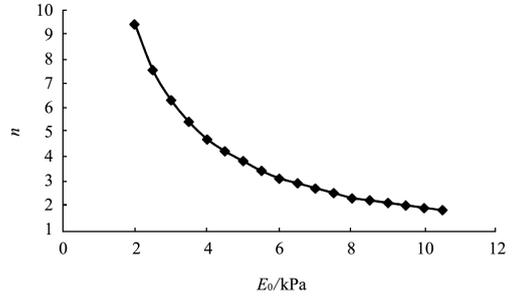


图8 地基变形 E_0 -桩土应力比 n 关系

2.3 方案C: 宽沉箱结构

为减小设计地基应力, 降低基础工程量, 采用宽沉箱结构(图9)。

沉箱宽度增加可显著减小基床顶面应力, 特别是由于沉箱宽度增加、门机后轨直接作用在沉箱上, 使沉箱基底应力更加均匀, 基床应力为269~370 kPa, 此时需换填基床厚度5.2 m。通过调整前面2个仓隔填石高度, 可进一步降低、调匀基底应力, 基床应力变为264~288 kPa, 此时基床厚度减小为3.8 m。

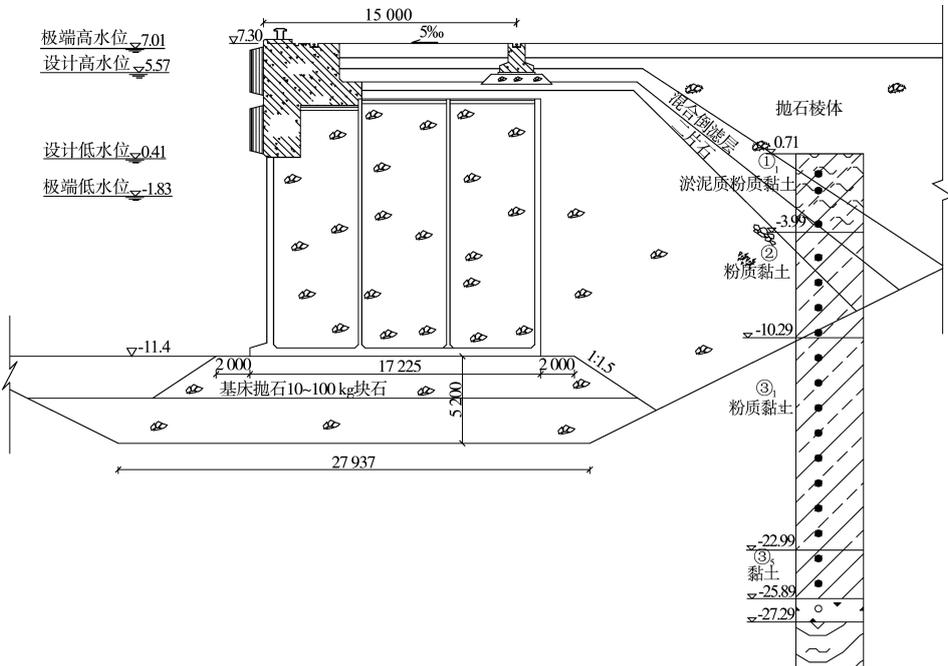
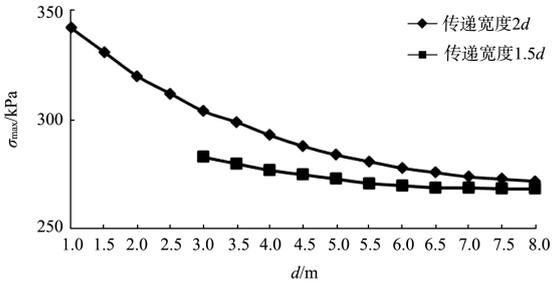


图9 方案C断面 (高程: m; 尺寸: mm)

从图10可以看出, 当基床厚度大于4 m后, 通过增加基床厚度降低基床底应力的方法效果不

明显, 特别是基床厚度超过3 m、前趾应力按45°传递时基床应力降低更小。

图 10 基床厚度 d 与基床底部应力变化

2.4 方案比较分析

方案 A 与方案 B 上部结构相同, 不同之处为地基处理方式。方案 A 采用换填, 基础开挖量和换填量较大, 施工相对简单, 施工质量控制容易。方案 B 采用振冲碎石桩处理地基, 特别是水下施工, 施工质量较难控制。基础部分造价比较, 方案 A 增加 2 500 元/延米(基床块石单价较高)。

方案 C 与方案 A 相比, 通过增加沉箱宽度减小基底应力, 从而减小基床工程量。主要优点是门机前后轨均位于沉箱顶, 前后轨沉降差小, 使用期维护量小。两个方案每延米造价基本相当。

3 结语

1) 从方案比较看, 3 个方案投资相差不大。方案 C 投资与方案 A 相当, 方案 B 投资略小; 从施工难易及施工质量可靠性考虑, 方案 A、C 施工相对简单, 施工质量可靠性易于保证; 从使用期维护工作量考虑, 方案 C 门机前后轨差异沉降小维护工作,

量小。综合比较, 方案 C 较好。对于软土地基上的重力式沉箱结构, 结合门机后轨位置, 采用宽沉箱结构较为合理。

2) 采用换填法处理地基, 换填宽度取值取决于基底应力传递角度。港口工程相关规范没有明确说明。换填宽度与基础底部应力大小及分布、换填深度密切相关。当基础底部应力较大(≥ 450 kPa), 基床厚度 ≤ 3 m 时, 换填宽度可参照重力式码头基床宽度确定方法选用; 基床厚度 > 3 m 时, 如果仍参照该规范选用, 会造成基础底宽增大, 使投资增加, 而按该宽度计算的基床底部应力小于实际应力。建议当换填深度超过 3 m 时, 前趾下基床应力按 45° 传递。

3) 采用振冲碎石桩处理重力式码头基础软土地基时, 由于成桩时对地基的扰动、成桩后水的侵入, 桩间土强度有所降低, 选用桩间土 C 、 φ 时均适当降低; 处理效果与地基土质特性有关——地基土越软, 桩土应力比越大, 处理效果越好。

参考文献:

- [1] 关兴. 重力式码头暗基床应力扩散特征分析[J]. 水运工程, 2014(8): 66-70.
- [2] 刘杰, 张可能. 碎石桩复合地基桩土应力比及承载力计算[J]. 工程勘察, 2002(6): 10-12.
- [3] 高炳鑫, 贾宏程. 振冲碎石桩复核地基在仪征 15 万 m^3 超大型油罐地基中的应用[J]. 石油化工建设, 2005, 27(2): 18-20. (本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中交水运规划设计院有限公司中标滨州港海港港区 EPC 总承包项目

日前, 中交水运规划设计院有限公司中标滨州港海港港区二港池散货堆场及服务区工程 EPC 总承包项目, 合同额为 2.41 亿元。

滨州港海港港区二港池散货堆场及服务区工程新建吹填围堰 2 513.4 m, 直立式护岸 140 m, 陆域形成面积约为 0.34 km^2 。吹填工程量约 225.18 万 m^3 , 疏浚工程量约 9.04 万 m^3 。

滨州港位于山东省北部, 地处环渤海经济圈和黄河经济带的交汇处, 是黄河三角洲高效生态经济区开发建设的重点区域。