



基坑支护设计案例的数值模拟

姜兴良¹, 李建锋², 翟亚男³

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007;

2. 河海大学港口、海岸及近海工程学院, 江苏南京 210098; 3. 日照港建设监理有限公司, 山东日照 276826)

摘要: 工程中常用灌注型排桩作为基坑的支护结构, 常用计算工具为理正深基坑软件。万年复线船闸基坑支护结构不具备常规拉锚条件, 采用帽梁做成“L”形拉锚, 且基坑开挖底高程有较大变化, 其三维特性明显, 采用理正深基坑软件计算将不准确。基于 ABAQUS 软件, 模拟结构与土的相互作用, 并对计算成果进行分析, 对类似工程项目的设计具有借鉴意义。

关键词: ABAQUS; 基坑支护; 方案研究; 数值分析

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0149-06

Numerical simulation of supporting scheme for foundation pit

JIANG Xing-liang¹, LI Jian-feng², ZHAI Ya-nan³

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

2. College of Harbor Coast and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Rizhao Port Construction Supervision Co., Ltd., Rizhao 276826, China)

Abstract: In the engineering, the bored cast-in-situ soldier-pile is often used as the supporting structure of the foundation pit, and the solution program for a foundation pit called Lizheng is commonly used to design the supporting scheme. The supporting row of piles of the double-locks called Wannian can't be anchored as usual. Therefore, the supporting row of piles is restrained by an L-shaped cap-beam. Besides, the elevation of the button of the foundation pit varies greatly, which results in a more obvious spatial characteristic of the foundation pit. All the above indicate that Lizheng may not give an accurate solution to the supporting scheme. This paper simulates the mutual effect of the structure and soil based on software ABAQUS, and analyzes the calculation result, which may serve as reference for the similar engineering design.

Keywords: ABAQUS; supporting structure of foundation pit; research on scheme; numerical analysis

1 工程概况

拟建万年闸复线船闸位于已建万年闸南侧, 两线船闸平行布置, 中心线相距 89 m, 船闸等级为 II 级。在船闸上游导航段建有 2 座跨引航道国道桥, 其中新建成的 206 国道桥在设计时已考虑复线船闸基坑开挖对桥梁结构的影响, 不需支护。老 206 国道桥建成年代较早, 未考虑复线船闸建设对桥梁结构的影响。老 206 国道桥基础灌注桩距拟开挖基坑底边线 6 ~ 10 m, 而基坑开挖深度 7 ~ 15 m, 根据地勘资料判断, 应进行基坑支护。

支护区域各地层物理力学指标见表 1^[1]。

表 1 软土主要物理力学指标

层号	岩土名称	密度 $\rho/(t/m^3)$	压缩模量 E_s/MPa	固快试验	
				内聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1	素填土	1.82	4.3	47.9	22.0
3	黏土	1.89	5.0	50.4	22.5
4	黏土	1.90	5.5	56.9	23.3
5	黏土	1.90	5.4	46.9	21.8
6	粉质黏土	1.92	6.0	34.6	19.8
8	强风化页岩	2.00			
9	中风化页岩	2.00			

注: 页岩的变形模量根据风化程度取 20 ~ 40 GPa。

收稿日期: 2015-08-09

作者简介: 姜兴良 (1983—), 男, 工程师, 从事港航咨询设计审查及项目管理工作。

2 支护方案

工程中常用板桩作为基坑的支护结构，承受土和水产生水平压力。支护结构依靠板桩打入土内的水平阻力以及设在板桩上部的拉锚或支撑来保持支护结构的稳定性。板桩支护使用的材料有型钢、钢筋混凝土等，其中钢板桩由于强度高、连接紧密可靠、打设方便，应用最为广泛^[2]。

2.1 方案选择

支护结构的功能是保护老 206 国道桥基础灌注桩，对变位控制的要求较高。上闸首侧基坑深约 14.6 m，主导航墙侧基坑深约 7.3 m，基坑开挖深度较大；但场地周边不具备常规拉锚或设支撑的条件。因灌注桩具有刚度大、变形小、施工方便等特点，故本工程支护结构选择灌注型排桩的结构形式。

2.2 方案设计

根据支护处基坑开挖深度，选用 $\phi 1.2$ m 的 C30 钢筋混凝土灌注桩进行支护。为便于施工，灌注桩间设 10 cm 宽缝隙；该缝隙通过水泥搅拌土封闭(图 1)。桩顶通过钢筋混凝土帽梁进行连接，帽梁截面尺寸为 1.5 m × 0.8 m (宽 × 高)。通过理正深基坑软件测算了支护结构的抗倾覆稳定性、基坑底部的抗隆起、抗管涌稳定性及基坑的整体稳定性。

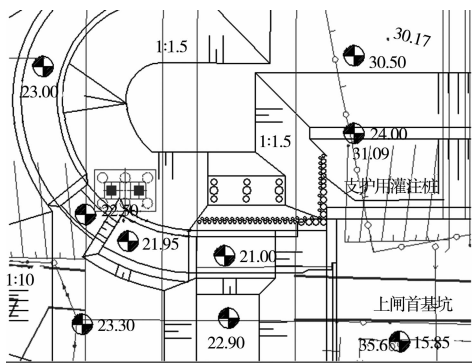


图 1 基坑支护平面 (单位: m)

3 复核计算

3.1 模型建立

利用 ABAQUS 程序，选取基坑支护区域建立数值模型。长度方向取桥墩承台长 3 倍，宽度方向取承台宽 4 倍，平面尺寸为 40 m × 22 m；竖向

取嵌入基岩 3 m。模型由基坑、支护排桩和桥墩 3 部分组成(图 2)。实体单元全部以六面体划分，共约 6 万个单元，计算模型见图 3。其中土体采用实体单元 C3D8R 模拟，本构模型采用摩尔库伦模型；桥墩的承台及 9 根桩基采用实体单元 C3D8R 模拟，材料按 C30 混凝土取线弹性模型，桥墩与土体之间建立表面接触；支护排桩采用梁单元 B31 模拟，材料按 C30 混凝土取线弹性模型，通过 EMBED 功能建立排桩与土体的相互作用^[3]。

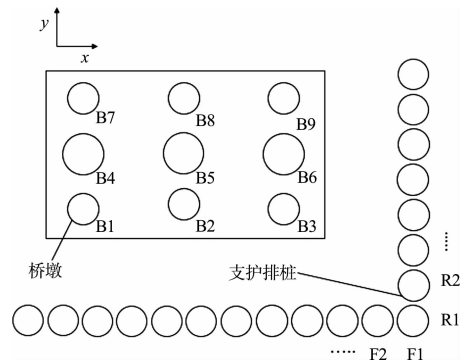
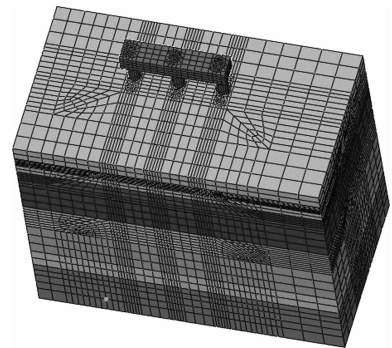
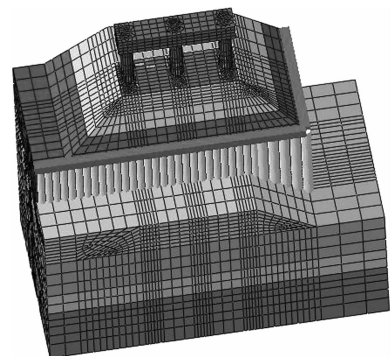


图 2 支护排桩与桥墩桩基编号



a) 基坑开挖前



b) 基坑开挖后

图 3 网格划分计算模型

过程模拟为: 1) 对地层进行地应力平衡; 2) 激活已建多年的桥墩, 建立桥墩 9 根桩基和承台与土层的接触; 3) 开挖桥墩承台以上的素填土层; 4) 沿桥墩承台 3 面向下放坡开挖; 5) 激活支护排桩与桩梁; 6) 沿支护排桩向下开挖至 21 m 高程; 7) 再沿前排桩放坡开挖至 15.85 m 高程。

3.2 计算成果

3.2.1 国道桥桩基位移

基坑土体卸荷会造成国道桥桩基发生变位。数值计算得到国道桥桩基的水平变位和桩基深度变化关系(图 4)。由于桩顶帽梁的锚拉作用, 桩基变位在深度方向呈现“鼓肚”形, 最大水平变位出现在桩顶以下 8 m 处, 随桩基深度加深逐渐变小, 在桩顶以下 19 m 处, 桩基变位减小为 0 mm。桩基 B3、B6、B9 的 X 向位移最大, 桩基 B1、B2、B3 的 Y 向位移最大。桩基 B9 处的基坑开挖高差最大且桩径小, 其水平变位最大; X、Y 向最大水平变形分别为 8.70、2.47 mm。

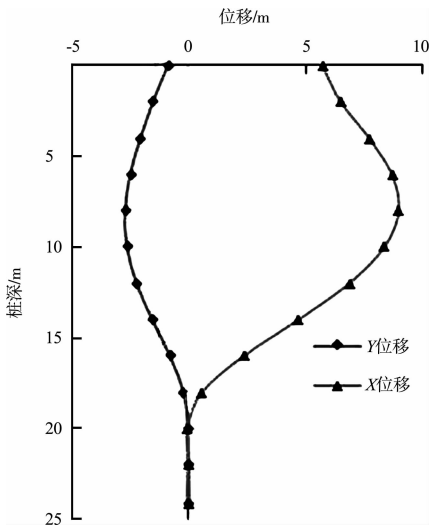


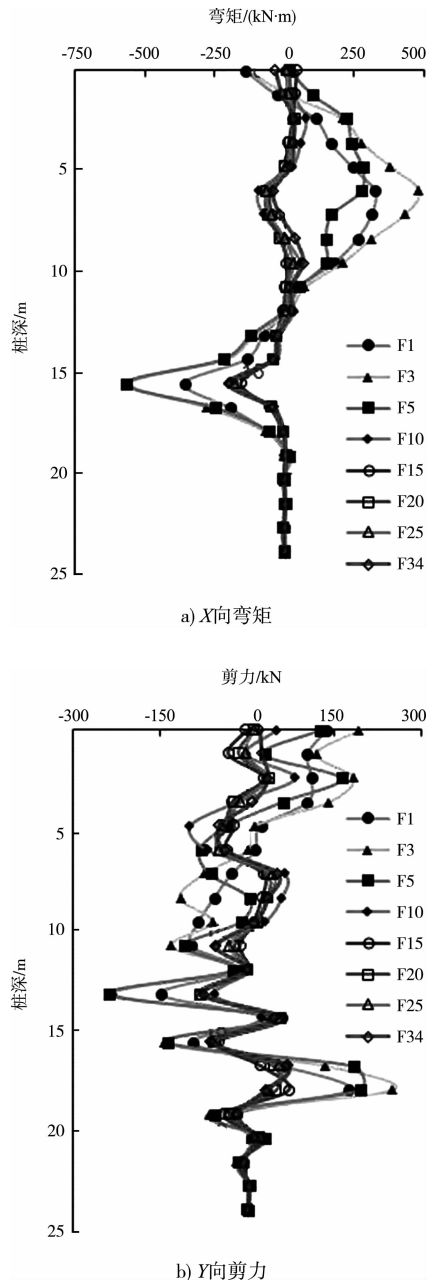
图 4 国道桥桩基 B9 水平位移

3.2.2 支护结构排桩内力

数值计算得到排桩结构内力和桩基深度变化关系(图 5~6)。排桩结构弯矩随桩基深度增加呈现反“S”形: 灌注桩上部受帽梁约束, 外侧受拉, 最大弯矩为 648.87 kN·m; 下部受被动区土

体约束, 内侧受拉, 最大弯矩为 -1 163.88 kN·m。灌注桩上部剪力变幅较小, 都在 300 kN 以内, 下部被动土压力区剪力较大, 最大值达到 600 kN; 灌注桩的轴力基本是压力, 在 613.60 kN 以内。

灌注桩 F5~F34 的弯矩变化趋势与其他桩基不同, 在桩上部出现了弯矩先增大后减小再增加的趋势, 甚至出现了负弯矩, 这是由于灌注桩 F5~F34 外侧基坑的开挖深度较其他灌注桩小, 该部分土体发挥了对灌注桩的约束作用。



b) Y向剪力

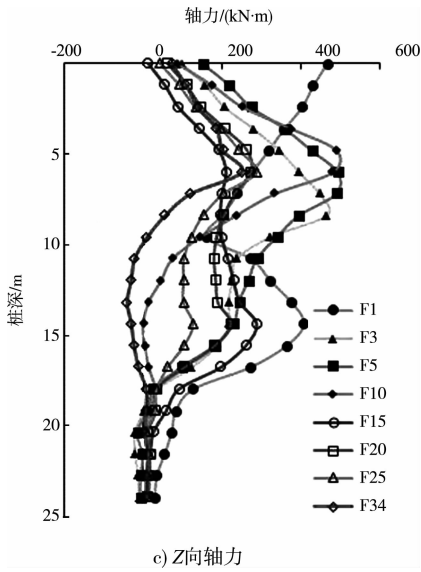


图5 沿 X 向布置排桩内力随桩深变化

3.2.3 支护结构排桩位移

数值计算得到支护排桩的水平位移和桩基深度变化关系 (图 7~8)。由于排桩顶部受到帽梁约束、下部受到被动区土体约束, 灌注桩在深度方向的水平位移呈现中间大两边小的纺锤形。由于沿帽梁方向与垂直帽梁方向刚度不同且基坑开挖深度与排桩的位置关系不同, X 向与 Y 向的桩顶位移差异较大。

图 7 显示: 沿 X 向布置的支护排桩 Y 向位移较大, 最大值约为 11.86 mm。沿 X 向布置的支护排桩, 支护结构左侧部分土体内外高差较小, 支护结构右侧部分受到帽梁 Y 向约束, 故呈现出“F1~F15 灌注桩的 Y 向位移不断增大、F15~F34 灌注桩 Y 向位移则不断减小”的特征。

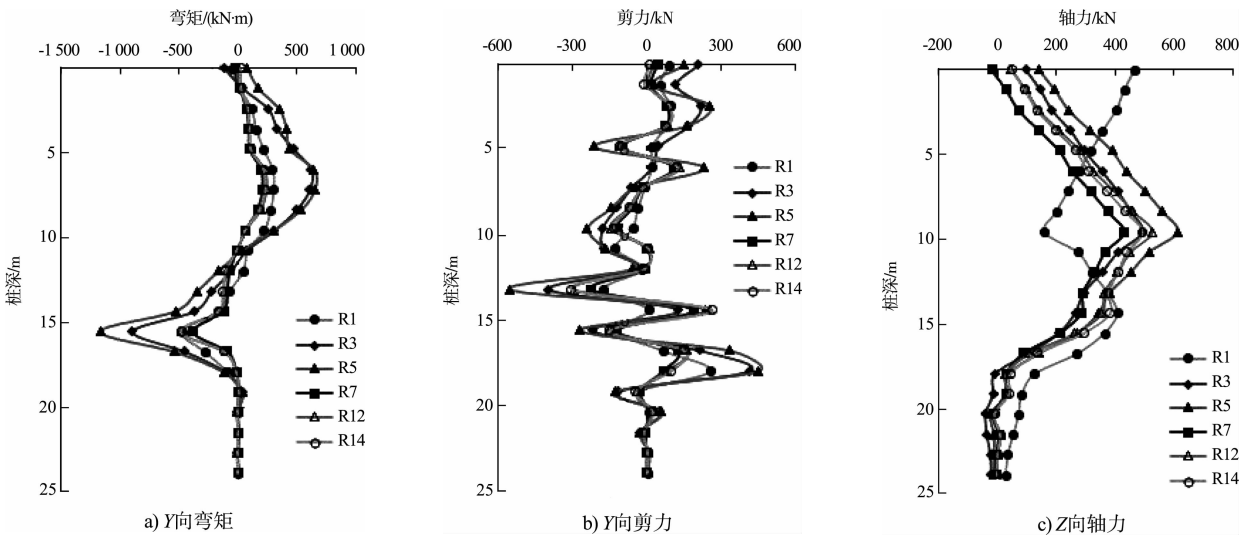


图6 沿 Y 向布置排桩内力随桩深变化

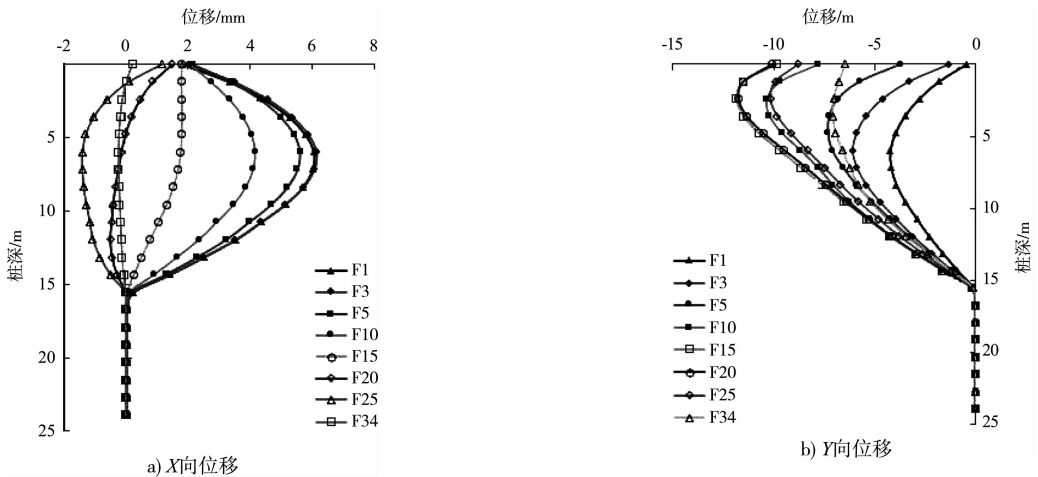


图7 沿 X 方向布置的支护排桩水平位移

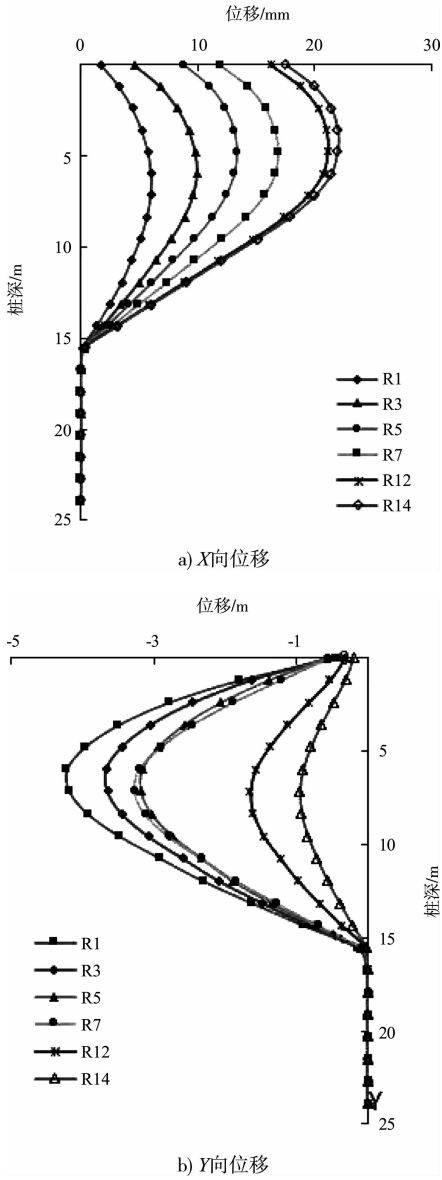


图 8 沿 Y 方向布置的支护排桩水平位移

图 8 显示: 沿 Y 向布置的支护排桩 X 向位移较大, 最大值约为 21.94 mm。沿 Y 向布置的支护排桩 X 方向为临空面, 而 Y 向有帽梁约束, 故呈现出“R1 ~ R14 灌注桩的 X 向位移不断增大”的特征。

3.2.4 支护结构帽梁内力

图 9、10 是帽梁的内力图。计算显示轴力在帽梁两侧边缘发生应力集中, 最大轴力突变到 3 500 kN 左右; 帽梁竖直面内的弯矩在 500 kN·m 以内, 水平面内弯矩较大, 最大弯矩发生在排桩转角处, 约 2 230 kN·m; 与弯矩相似, 竖向剪力较小, 最大

值约 425 kN, 而水平剪力较大, 最大值在 850 kN 左右。

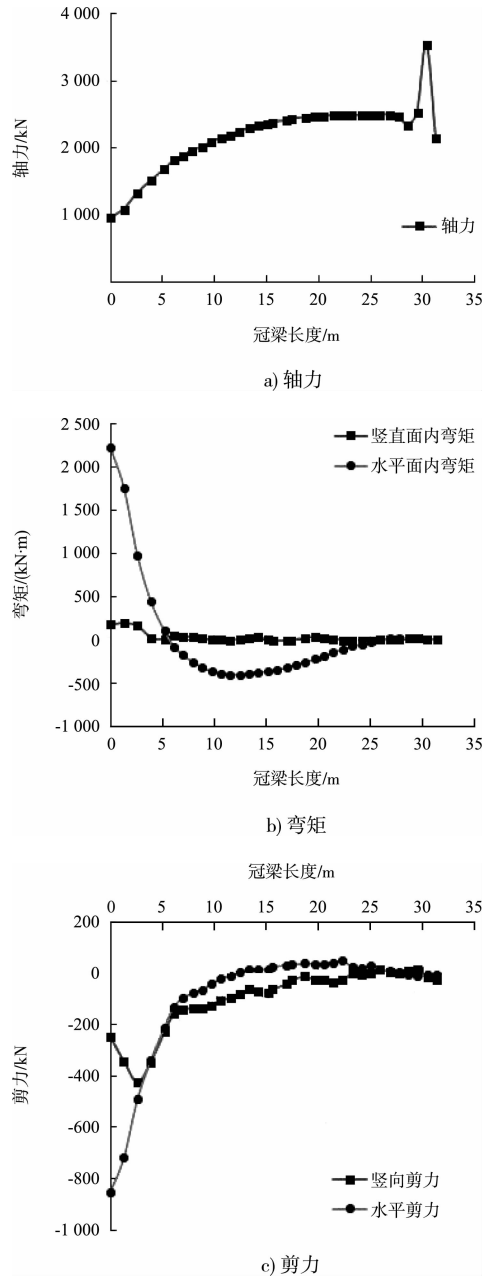
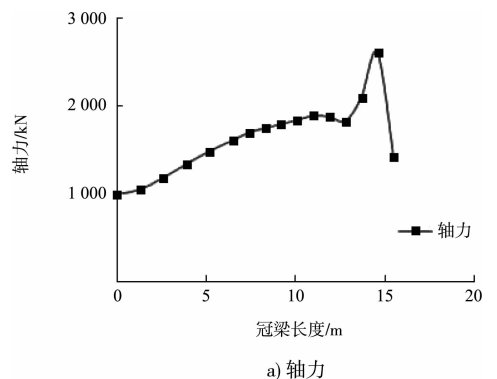


图 9 X 向帽梁内力



a) 轴力

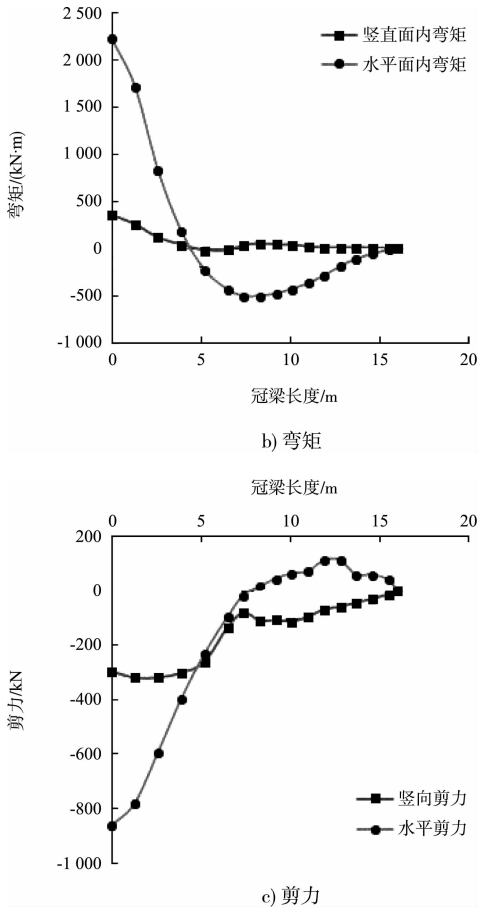


图 10 Y向帽梁内力

(本文编辑 郭雪珍)

4 结论

1) 本工程支护结构三维特性明显, 利用 ABAQUS 软件建模分析结构与土的相互作用是必要的。

2) 计算显示国道桥桩基位移小于 10 mm, 支护排桩内力、位移可控, 应加强转角处帽梁设计。

3) 工程施工过程中应加强位移监测、与计算数据进行对比分析, 以指导施工。

参考文献:

- [1] 山东正元建设工程有限责任公司. 枣庄市京杭运河万年闸复线船闸工程岩土工程勘察报告[R]. 济南: 山东正元建设工程有限责任公司, 2014.
- [2] 江正荣. 建筑施工计算手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] Simula. ABAQUS Analysis Users Manual[M]. Pawtucket: Karlsson & Sorenson Inc, 2002.

· 消 息 ·

一航局承建的天津港环球滚装码头汽车库工程交工验收

日前, 一航局承建的天津港环球滚装码头多层汽车库工程交工验收。此工程是华北地区目前容量最大的多层汽车车库。

工程包含停车楼和办公区两部分, 总建筑面积为 $10.6 \times 10^4 \text{ m}^2$, 建筑面积为 $2.15 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。停车楼共 5 层, 最多可同时容纳 3 400 余辆汽车。项目投入使用后, 将有效提升天津港滚装码头汽车库的仓储能力。

(摘编自《中国交通建设网》)