

城市富水区段大型地下结构工程数值及应用研究

潘升树¹, 谭智杰²

(1.重庆市江北区城市建设发展集团有限公司, 重庆 400000; 2.中机中联工程有限公司, 重庆 400039)

摘要:随着城市地下空间建设发展,地下工程实施期间对基坑边坡的变形及结构的稳定性要求极为严格,对其进行相关研究是必要的。基于观音桥北大道道路建设项目边坡防护工程,利用 Midas 数值模拟软件建立了支护桩框架模型,对框架架构进行有限元分析,根据数值分析结果,选取最不利的荷载组合对其进行稳定性验算。结果表明,该框架该框架各结构的正截面抗弯承载力、斜截面抗剪承载能力、裂缝宽度以及框架桩基的单桩轴向抗压承载力、正截面抗压承载力和裂缝宽度等均符合规范要求,为以后城市地下工程的修建积累了经验。

关键词: Midas; 地下结构; 基坑排桩支护

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2023)07-0076-03

0 引言

近年来,地下空间的综合利用引起了社会广泛关注,为适应地下空间综合化发展的趋势,大量学者围绕着地下空间结构的支护方式的安全性和经济性展开研究。其中,蒋宏鸣等^[1]针对深基坑双排桩支护的设计与变形进行了研究,得出支护结构变形与坑外地表、邻建筑物沉降的内在关系,证明支护方案的可行性与安全性。郑刚等^[2]研究了内撑式排桩支护基坑支护桩发生局部破坏时,土压力对支护结构内力的影响规律,揭示了基坑局部破坏在支护桩长度上的传递机制。江峰等^[3]将排桩结构应用于明挖基坑的支护,缩短了工期的同时确保了地铁车站基坑的稳定性。从现有文献来看,排桩支护作为一种较常见的基坑支护形式,为了深入研究排桩支护作为主要受力结构在地下结构工程的应用,本文基于观音桥北大道道路建设项目,利用 Midas 数值模拟软件建立了支护排桩框架模型,对框架架构进行有限元分析,验算稳定性并得出结论,为今后基坑排桩支护的研究提供思路的同时也为城市地下工程的修建积累经验。

1 工程概况

拟建场地位于重庆市观音桥商圈北大道,根据现场实际地形、地质情况等情况,同时考虑城市地下空间利用,该处拟建框架结构。框架结构宽 21.2m,长 144.2m,框架立面布置如图 1 所示,框架分为 3 层,地面为现有城市道路,负一层拟建车库及地下缩合管廊,

负二层为设备用房,负三层隧道。

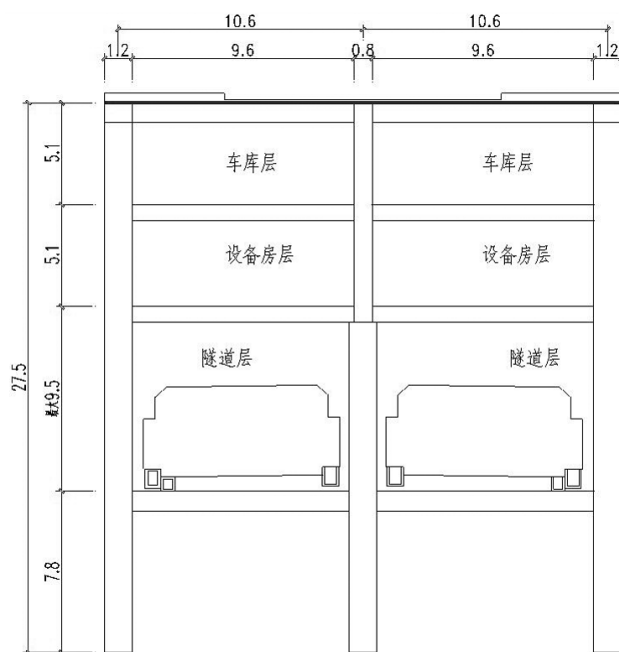


图 1 框架立面布置

2 框架有限元模型

2.1 框架模拟概况

本框架采用大型有限元分析软件 Midas Civil 2017 (授权版)建立模型,综合比选,选取图 1 所示的框架断面形式建模,考虑到框架各部分的物理特性,主横梁、次横梁、主纵梁和次纵梁以及桩基均采用空间梁单元模拟,楼板采用板单元模拟。

为较准确模拟结构受力并考虑到计算效率,在建

立有限元模型时,沿长度方向选取框架的3个节间进行建模,且每个单元划分不超过1.2m。考虑实际受力情况,楼板单元与各梁单元采用共节点的方式连接。根据地勘报告,计算出土对桩基不同方向的刚度,模型中将土对桩基的作用采用节点弹性支承模拟^[4]。整个模型共划分2115个节点,2748个单元,其中梁单元共划分1596个,板单元共划分1152个。有限元效果如图2所示。

2.2 荷载组合

根据《公路桥涵设计通用规范》,作用分类为永久作用、可变作用、偶然作用和地震作用。为了结构验算,将各种荷载进行组合,如表1所示。

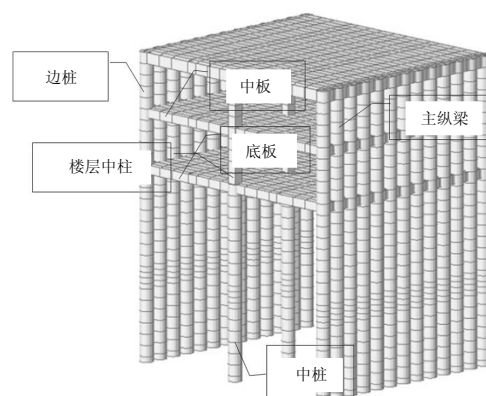


图2 有限元效果

表1 结构验算的荷载组合

组合名称	组合类型	荷载系数						
		自重	顶板铺装	中板小汽车荷载	底板消防水库	边桩侧土压力+水压力	车道荷载	电力通信管道
cLCB1	基本	1.2	1.2	—	1.2	1.2	—	1.2
cLCB2	基本	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	1.4	1.2
cLCB3	基本	1.0	1.0	—	1.0	1.0	—	1.0
cLCB4	基本	1.0	1.0	1.4	1.0	1.0	1.4	1.0
cLCB5	短期	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.7	1.0
cLCB6	长期	1.0	1.0	0.4	1.0	1.0	0.4	1.0
cLCB7	基本	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

2.3 结构静力计算

本文利用Midas软件针对基本组合类型(cLCB2)进行计算,本次结构内力计算结果如表2所示。

3 结构验算

根据Midas Civil计算出的内力结果,选取最不利的荷载组合。按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTGD 62—2004)要求分别对框架各结构进行了承载能力极限状态和正常使用极限状态的验算^[4],本文以顶板和主横梁的验算为例。

3.1 顶板验算

3.1.1 正截面抗弯承载力验算

$$\gamma_0 M_d \leq f_{cd} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s \left(h_0 - a'_s \right) + (f'_{pd} - \sigma'_{p0}) A'_p$$

$$(h_0 - a'_p); \quad (1)$$

$$x = \frac{f_{sd} \cdot A_s - f'_{sd} \cdot A'_s}{f_{cd} \cdot b}; \quad (2)$$

$$\sigma'_{p0} = \sigma'_{con} - \sigma'_1 + \sigma'_{l4}; \quad (3)$$

依据荷载组合中的基本组合,按式(1)~(式3)对顶板的正截面抗弯承载力进行验算,其正截面弯矩计算值 M_d 为117.296kN·m,数值模拟计算的弯矩 M_d 为61.5kN·m,判别偏心受压构件正截面承载力是否满足要求如式(4)所示。

表2 内力计算结果汇总

构件名称	组合类型	基本组合	频遇组合	准永久组合
主横梁(顶层)	V/kN	1041	—	—
	M _j /(kN·m)	2036	1449	1395
次横梁(顶层)	V/kN	538	—	—
	M _j /(kN·m)	765	522	492
主纵梁(顶层)	V/kN	608	—	—
	M _j /(kN·m)	602	364	312
次纵梁(顶层)	V/kN	258	—	—
	M _j /(kN·m)	164	82	68
主横梁(中、底层)	V/kN	430	—	—
	M _j /(kN·m)	821	656	549
次横梁(中、底层)	V/kN	224	—	—
	M _j /(kN·m)	327	261	259
主纵梁(中、底层)	V/kN	343	—	—
	M _j /(kN·m)	353	260	257
次纵梁(中、底层)	V/kN	111	—	—
	M _j /(kN·m)	84.6	69.8	69.6
边桩	F _j /kN	1813	1376	1317
	M _j /(kN·m)	4734	3885	3884
中桩	F _j /kN	2827	1923	1739
	M _j /(kN·m)	336	201	170
楼层中柱	F _j /kN	4722	3554	3354
	M _j /(kN·m)	92.5	58.7	55.7
顶层楼板	M _j /(kN·m)	61.5	27.5	18.4
	M _j /(kN·m)	7.2	6.1	6

$$AA = \begin{cases} \text{正截面抗弯满足要求 if } M_u > M_d \\ \text{正截面抗弯不满足要求 otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

通过对比计算结果,可以看出顶底板所有单元的正截面抗弯承载力均符合要求。

3.1.2 斜截面抗剪承载力验算

斜截面抗剪承载力验算如式(5)~式(9)所示。

$$\gamma_0 V_d \leq V_{cs} + V_{sb} + V_{pd} + V_{pd,ex}; \quad (5)$$

$$V_{cs} = 0.45 \times 10^{-3} \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 b_{h0} \sqrt{(2+0.6P)} \sqrt{f_{cu,k}} (\rho_{sv} f_{sv} + 0.6 \rho_{pv} f_{pv}); \quad (6)$$

$$V_{sb} = 0.75 \times 10^{-3} f_{sd} \sum A_{sb} \sin \theta_s; \quad (7)$$

$$V_{pd} = 0.75 \times 10^{-3} f_{pd} \sum A_{pb} \sin \theta_p; \quad (8)$$

$$V_{pd,ex} = 0.75 \times 10^{-3} f_{pe,ex} \sum A_{ex} \sin \theta_{ex} \quad (9)$$

依据荷载组合中的基本组合,按式(5)~式(9)对顶板的斜截面抗剪承载力进行验算,其斜截面抗剪承载力为 677.36kN,数值模拟计算的结果为 194.3kN,不难看出,顶板的斜截面抗剪承载力均符合要求。如式(10)所示。

$$AA = \begin{cases} \text{斜截面尺寸满足要求 if } V_d > V \\ \text{斜截面尺寸不满足要求 otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

3.1.3 裂缝宽度验算

裂缝宽度验算如式(11)~式(12)所示。

$$W_{cr} = C_1 C_2 C_3 \frac{\sigma_{ss}}{E_s} \left(\frac{c+d}{0.36+1.7\rho_{te}} \right) \quad (11)$$

$$\sigma_{ss} = \frac{M_s \cdot 10^6}{0.87 \cdot A_s \cdot h_0} \quad (12)$$

依据荷载组合中的基本组合,按式(11)~式(12)对顶板的裂缝宽度进行验算,其最大裂缝宽度 W_{tk} 为 0.07mm,判别是否满足裂缝宽度是否满足要求如式(13)所示。

$$AA = \begin{cases} \text{裂缝宽度满足要求 if } W_{tk} < 0.2 \\ \text{裂缝宽度不满足要求 otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

通过对比计算结果,可以看出顶底板所有单元的裂缝宽度均符合要求。

3.2 主横梁(顶板)验算

3.2.1 正截面偏心受压承载力验算

按式(1)~式(3)对主横梁(顶板)的正截面抗弯承载力进行验算,其正截面弯矩计算值为 M_u 为 2796,数值模拟计算的弯矩 M_d 为 2036,通过对比计算结果,可以得出主横梁所有单元的正截面抗弯承载力满足要求。

3.2.2 斜截面抗剪承载力验算

如上述步骤,按式(5)~式(9)对主横梁(顶板)的斜

截面抗剪承载力进行验算,其斜截面抗剪承载力为 2426kN,数值模拟计算的结果为 1041kN,不难看出,主横梁(顶板)的斜截面抗剪承载力均符合要求。

3.2.3 裂缝宽度验算

依据荷载组合中的基本组合,按式(11)~式(12)对主横梁的裂缝宽度进行验算,其最大裂缝宽度 W_{tk} 为 0.189mm,通过对比计算结果,可以看出主横梁所有单元的裂缝宽度符合要求。

4 结语

随着城市地下空间建设发展,大型城市地下结构综合体的兴建越来越多,本文利用了 Midas 对基坑排桩支护结构进行了有限元分析,并选取最不利的荷载组合对其验算。结果表明,该框架各结构的正截面抗弯承载力、斜截面抗剪承载力、裂缝宽度以及框架桩基的单桩轴向抗压承载力、正截面抗压承载力和裂缝宽度等均符合规范要求。在边坡施工完成后,经过了一个雨季的考验,没有发现边坡明显变形,坡脚区域无变形现象,说明边坡在加固后比较稳定。设计方案可以保证该高边坡的稳定,进一步证实该设计方案是切实有效的,为今后基坑排桩支护的研究提供思路的同时也为城市地下工程的修建积累经验。

参考文献

- [1] 蒋宏鸣,刘春林.深基坑双排桩支护的设计与变形监测研究[J].岩土工程技术,2022,36(2):87-92.
- [2] 郑刚,雷亚伟.局部破坏对钢支撑排桩基坑支护体系影响的试验研究[J].岩土工程学报,2019,41(8):1390-1399.
- [3] 江峰.排桩结构在明挖地铁站基坑支护中的应用与稳定性分析[J].建筑技术开发,2021,48(9):5-7.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范(2015年版):GB 50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015:34-97.
- [5] 中华人民共和国交通运输部.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTG 3362—2018[S].北京:人民交通出版社,2018:24-77.

作者简介:潘升树(1977—),男,汉族,湖南浏阳人,硕士研究生,高级经济师,主要从事规划管理、项目管理及城市综合开发建设等工作。

谭智杰(1976—),男,汉族,湖南隆回人,本科,高级工程师,主要从事设计管理及结构、岩土设计工作。