

深基坑组合支护结构受力性能及变形监测分析

张墨建

中铁十六局集团第一工程有限公司

摘要: 针对黄河冲积平原砂层、粉砂层不良地质条件下的临近既有构筑物的复杂场地中超大深基坑支护结构进行专项设计, 基于ANSYS有限元数值分析软件建立“土-结构”三维有限元实体模型进行稳定性计算分析, 通过对现场深基坑施工过程中变形监测数据与仿真模拟计算结果数据进行综合对比分析; 结果表明, 临近既有构筑物采用钻孔桩和钢板桩组合支护形式可以有效控制基坑施工过程的变形, 提高钢板桩及内支撑结构承载力稳定性; 基坑施工阶段变形监测数据小于仿真计算数据, 施工过程对基坑周围土体的扰动范围较小, 对公路桥梁不会产生不良影响, 满足安全施工要求, 为类似工程施工及设计提供依据。

关键词: 铁路工程; 深基坑工程; 仿真计算; 变形监测

引言

自我国开始修建高速铁路以来, 深基坑工程一直作为工程建设的重难点工程, 随着研究的深入深基坑的专项设计和计算已经形成了一套完整的体系, 土力学的理论研究达到新的层次, 处理复杂地质条件下的地基基础工程、地下工程也已经具备较高的技术水平^[1-6]。科技进步都要源于大量学者、科研工作者及工程技术人员对高铁技术呕心沥血的研究, 为我国高铁技术发展做出巨大贡献。

在铁路和轨道基础建设领域中, 尽管超大深基坑的支护设计和施工技术的研究已有大量成果^[7-10]; 然而, 铁路线路为带状分布, 跨越区域多, 地理环境和地质条件千差万别, 在施工过程中不能生搬硬套, 不能完全依靠经验, 还要基于理论基础针对具体

地质条件进行针对性的研究分析。

本文所依托的项目跨越黄河冲积平原, 地质为砂层和粉砂层, 地下水位较浅, 且一侧紧邻既有高速公路桥梁, 在施工时确保基坑施工过程安全的同时还要控制对既有构筑物不产生扰动, 因此, 需要对该基坑支护结构设计和施工工艺进行针对性研究分析。

一、工程概况

新建郑州至济南铁路黄河特大桥北岸引桥跨越京港澳高速公路采用无碴轨道(65+112+62.74)m预应力混凝土双线连续梁结构, 与京港澳高速斜交角度为39°, 起讫里程为: DK379+256.026~DK379+497.770, 桥面总宽为12.6m, 梁全长为239.74m。主墩承台尺寸为17.30m×17.30m×(4m+2m), 基坑开挖面积为441m², 基坑开挖深为6.5m左右。经勘察, 地质为粉砂层, 地下水位在原地面6.5m以下, 附近有一条水渠, 基坑开挖边线距既有高速公路桥梁净距为5m左右。

二、深基坑支护结构设计

上跨京港澳高速连续梁承台基坑危险性较大, 设计采用钻孔灌注桩和拉森IV型钢板桩支护, 基坑垂直开挖。钻孔灌注桩桩径为1.25m、桩中心间距为1.5m, 桩长为15m, 桩顶冠梁高度为1.0m、宽度为1.65m, 桩顶嵌入冠梁10cm, 冠梁顶面标高与承台顶面标高一致。钢板桩采用拉森IV型钢板桩, 每延米钢板桩抵抗矩W=2270cm³, 材质采用Q345bz, 钢板桩长度为15m。钢板桩内设置一层围檩及内支撑, 该围檩采用双拼I45a工字钢, 其材质均为Q235, 内外三道横撑采用直径450×10mm的钢管, 其材质均为Q235, 三道钢管支撑均匀分布, 间距为2.1m。

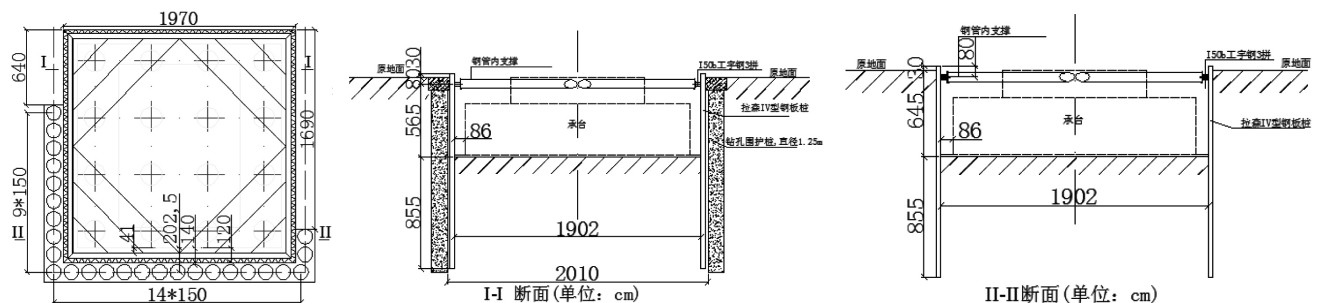


图1 深基坑支护设计平面与断面图(单位: cm)

三、支护结构受力计算

(一) 土压力理论计算模型

黄河特大桥北岸引桥所处地理环境为黄河冲击平原, 地质条件主要为粉土, 容重计算采用 $\gamma=19\text{kN/m}^3$, 摩擦角 $\phi=22^\circ$, 为安全考虑, 不考虑土体粘聚力。

主动土压力系数:

$$K_a = \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2) \quad (1)$$

被动土压力系数:

$$K_p = \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2) \quad (2)$$

对于本工程主要是粉土, 粉土主动土压力系数和被动土压力系数分别为:

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{22^\circ}{2}\right) = 0.455 \quad (3)$$

$$K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{22^\circ}{2}\right) = 2.20 \quad (4)$$

则粉土主动土压力系数 $K_a=0.455$; 被动土压力系数 $K_p=2.20$ 。

本工程中土压力计算采用考虑水渗流效应的水土合算法。防护桩与钢板桩在受到外侧土压力作用时, 防护桩与钢板桩有向内变形的趋势, 当防护桩与钢板桩变形较大, 外侧土体达到抗剪强度时, 这时外侧的土压力就是主动土压力, 主动土压力公式为:

$$p_a = (q + \gamma z) \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) - 2c \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad (5)$$

而防护桩与钢板桩内侧土体达到抗剪强度时, 这时内侧的土压力就是被动土压力, 被动土压力公式为:

$$p_p = (q + \gamma z) \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \quad (6)$$

(二) 基坑开挖工况分析

为了保证防护桩与钢板桩围堰在施工过程中满足设计要求和安全要求, 根据基坑施工特点, 将基坑施工过程划分为5个施工工况, 根据土压力理论计算公式(1)~(6)分别计算各工况下土压力值, 各工况描述及土压力如表1所示。

表1 基坑施工工况

工况	工况描述	主动土压力/kPa	被动土压力/kPa
工况一	钻孔桩及冠梁施工完成, 钢板桩合龙后开挖至地面以下1米, 安装围檩及内支撑	Min: 9.1, Max: 136.2	Min: 0, Max: 572.7
工况二	分层开挖至基坑底部, 开挖深度5.45米, 浇筑混凝土垫层	Min: 9.1, Max: 136.2	Min: 0, Max: 357.4
工况三	第一级承台施工完成	Min: 9.1, Max: 136.2	Min: 0, Max: 357.4
工况四	第二级承台施工完成	Min: 9.1, Max: 136.2	Min: 0, Max: 572.7
工况五	基坑分层回填并夯实, 拆除围檩及内支撑, 拔出钢板桩	Min: 9.1, Max: 136.2	Min: 0, Max: 572.7

(三) 基坑支护结构有限元模型建立

经分析钻孔防护桩与钢板桩围堰在施工过程中与土体之间存在相互作用, 钻孔防护桩与钢板桩围堰结构在受力计算时应建立防护桩、冠梁、钢板桩、围檩、内支撑和土层之间共同作用的三维整体有限元模型, 如图5-1所示。

基于ANSYS有限元数值模拟计算软件环境中建立土-支护结构三维实体模型。其中, 钢板桩采用板单元模拟; 围檩、内支撑和加肋肋采用梁单元进行模拟; 土体、防护桩及冠梁采用三维实体单元模拟。土-支护结构三维有限元实体模型中总单元数为23412个, 其中, 土体单元16564个, 防护桩单元3591个, 冠梁单位890个, 钢板桩单元2142个, 围檩单元102个, 内支撑单元123个。有限元数值模型如图2所示。

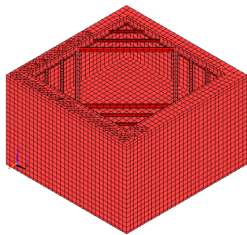


图2 土-支护结构有限元模型

(四) 基坑支护结构稳定性计算

基于有限元数值分析模型, 对深基坑支护结构在各施工工况下进行受力计算, 提取数值模拟计算结果如图3~图5所示。

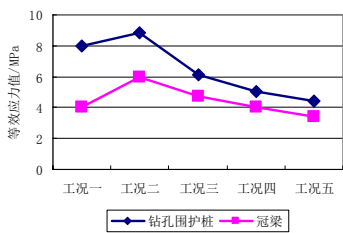


图3 钻孔围护桩及冠梁应力 (单位: MPa)

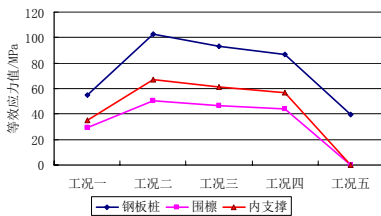


图4 钢板桩及内支撑应力 (单位: MPa)

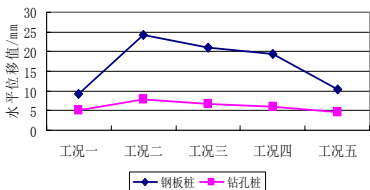


图5 钢板桩及钻孔桩水平位移 (单位: mm)

分析图3~图5中数据可知, 在每种工况下钢板桩及钢筋混凝土围护桩受力曲线一致; 图3和图4中基坑开挖至设计深度后, 钢筋混凝土围护桩单独受力最大值为8.87MPa, 钢板桩单独受力最大值为103MPa; 基坑开挖至设计标高后, 钢板桩水平位移最大值为24mm左右, 钢筋混凝土围护桩水平位移最大值为7.8mm左右。

四、变形监测

(一) 变形监测目的

本工程深基坑所处地理环境比较复杂, 基坑开挖面积较大, 基坑边缘距离较近高速公路桥梁基础较近, 为确保深基坑在施工过程中对既有结构物的变形进行控制, 施工时组织对基坑变形进行实时监控。

基于基坑变形监控量测明确各施工阶段地层及支护结构的动态变化, 及时掌握施工过程中支护结构所处的安全状态。根据有限元数值模拟计算结果, 结合施工过程中基坑变形监测数据, 及时掌握支护结构受力变化动态, 及时采取有效控制措施控制地表下沉和基坑周边土体水平位移, 以确保施工能正常进行。通过对深基坑施工过程的变形监控测量数据, 掌握黄河冲击平原粉质砂层地质工程条件下深基坑工程施工规律和特点, 为今后类似的深基坑开挖施工提供借鉴及依据。

(二) 变形监测内容

(1) 变形监测点的布设

基坑变形监测主要测量基坑周边土体水平位移和沉降量, 根据理论计算结果可知, 土体变形最终以土压力的形式传递至基坑支护结构, 为确保观测点布设后不受施工影响, 且可以有效反映基坑受力状态, 因此将测点布设在支护结构的围檩上; 沿基坑每边等间距布设3个测点, 具体布设形式如图6所示。

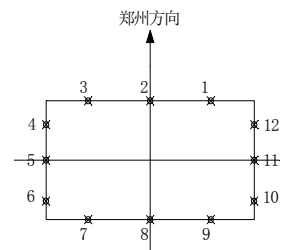


图6 基坑周边变形观测点布置图

(2) 监测频率

该基坑工程监测频率应能系统反应监测对象所测项目的重要变化过程, 而又不遗漏其变化时刻为原则; 基坑工程的监测工作, 应贯穿与基坑工程施工的全过程, 即基坑施工监测工作从工程施工前初始监测数据为开始, 直至工程完成为止。

该基坑开挖深度为5.5m左右, 水平开挖断面面积为440m²左右, 为超过一定规模的危险性较大工程, 对基坑变形观测根据施工工况进行确定, 即当基坑开挖深度≤5m时, 观测频率为1次/2d; 当开挖深度5m<h≤10m时, 观测频率为1次/d; 承台混凝土浇筑后≤7d, 观测频率为1次/2d; 承台混凝土浇筑后时间为7d~14d时, 观测频率为1次/3d; 为能够更好地掌握基坑变化情况, 及时对基坑变形进行控制, 本工程决定加强观测频率, 即从基坑开挖起每天至少进行1次观测, 并详细记录变形观测数据, 直至基坑回填钢板桩拔除。

(3) 基坑变形观测数据分析

根据基坑在施工过程受力变化特征可知, 基坑施工从工况一至工况二(即从开始开挖至设计基底高程)时监测数据变化最明显, 提取并统计工况一至工况二施工阶段中基坑周边布设的12个观测点在基坑施工过程的监控量测数据, 选取具有代表性的2#测点、5#测点、8#测点及11#测点进行变形统计分析, 统计分析数据表如图7、图8所示。

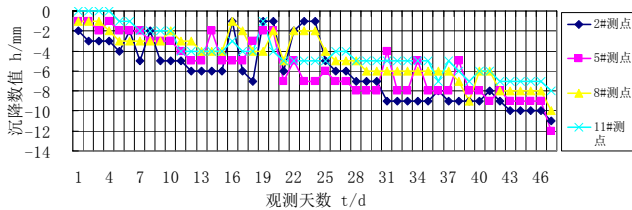


图7 基坑周边地表沉降时程曲线 (h-t)

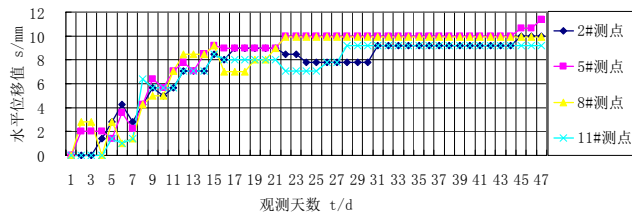


图8 基坑周边地表水平位移时程曲线 (s-t)

分析图7中基坑周边沉降时程曲线图可知, 基坑开挖完成第1天至第15天基坑周边沉降最大值为6mm, 第16天至25天沉降产生突变, 经分析该时间段基坑周边土体产生土体应力重分布所致, 之后周围土体沉降趋于稳定状态, 在第47天时最大沉降值为12mm, 临近既有高速公路处的沉降最大值为8mm; 分析图8中基坑周边水平位移时程曲线图可知, 基坑开挖完成第1天至第15天基坑周边水平位移呈逐渐增大趋势, 在第16天至第25天受土体应力重分配影响其水平位移产生突变, 之后水平位移趋于稳定, 四周水平位移最大值为10mm, 小于有限元计算结果。

五、结论

(1) 根据跨京港澳高速连续梁深基坑支护结构设计和结构稳定性计算, 结合现场实际施工工况可知, 在砂层或粉砂层地质条件下, 该钻孔灌注桩与钢板桩组合支护可以有效控制基坑变形, 提高钢板桩、内支撑结构的承载能力, 降低对临近既有构筑物的影响。

(2) 根据基坑施工过程中其变形监测数据可知, 各项实测数据与有限元计算结果数据相吻合, 验证了该有限元数值模型与实际地质情况和施工阶段划分情况相符合, 土场的地质参数设定与实际勘察结果相吻合, 同时该类设计、计算及施工方法可指导类似工程施工。

参考文献

[1]李庆伟,陈龙华,程金明.北京某深基坑监测实例分析[J].施工技术,2008,37(9):30-32.
 [2]胡志红.深基坑围护结构施工技术在桥梁工程中的应用[J].中国高新技术企业,2010,144(9):169-170.
 [3]卫建军,孙利亚.双排桩支护结构的应用研究[J].中国安全生产科学技术,2011,7(7):154-158.
 [4]付培帅,王曙光,唐小微,刘强.ABAQUS在深基坑设计及施工中的应用[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):161-165,182.
 [5]何明.基于Midas GTS NX软件的基坑支护数值模拟研究[J].研究成果,2017,(10):19-20.
 [6]周均立.临近供能管沟的超大深基坑支护设计与施工实践[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2017,49(3):401-407,415.
 [7]宋晓凤,姚爱军,张剑涛等.深基坑开挖对邻近既有地铁隧道及轨道结构的影响研究[J].施工技术,2018,47(5):122-127.
 [8]郑汉钦.监测技术在深基坑工程中的应用研究[J].赤峰学院学报(自然科学版),2019,35(1):103-105.
 [9]鲁爱民.地下结构与内支撑支护体系的换撑及拆除协同施工的研究[J].铁道建筑技术,2019(02):75-78.
 [10]柴元四.基于现场监测的地铁车站深基坑安全控制研究[J].铁道建筑技术,2019(03):127-132.

(上接第11页)

官方作用, 编制出一部融合各项规划法规的全方面规划法律, 并以此作为唯一标准进行城乡规划指导工作。以立法的形式, 确定“最高上位规划”在“多规合一”背景下的城乡规划工作中的指导作用, 实现社会经济发展、城乡建设规划、土地分类利用、自然环境保护等方面的统一管理。

实行技术性规范与管理型规范的同步发展, 在“多规合一”背景下, 要将多项规定整合为一, 需要大量数据分析、图像描绘、矢量测量等专业技术, 以及制度设定、规划调整、区域划分等管理技术。只有做好将技术型规范与管理型规范的协调工作, 才能保证各地在进行改革任务的同时, 探索“多规合一”发展所需的技术标准规范, 完善相关战略引导, 实现技术衔接。此外, 还要加强对管理技术人才与专业技术人才的水平培养, 不仅要具备强大的技能水准, 更要拓宽知识面, 了解城乡规划的工作进程, 对城乡规划过程中可能遇到的问题有一定的认识与个人理解。政府要定期进行组织相关人员进行培训工作, 提高工作人员的专业水平及管理水平能力, 保证“多规合一”城乡规划的高效进行。工作人员也要注意日常生活工作中的经验积累, 对城乡规划建设情况及政策要求变化要有大致上的了解, 通过各方面完善

自己的工作细节^[3]。

三、结束语

伴随着居民生活水平的不断提高, 以及城乡经济发展差距的不断缩小, 实现在“多规合一”背景下的城乡规划发展已成为必然趋势。在实际规划工作中, 要意识到城乡规划发展是一个长期过程, 它不是一蹴而就的, 要做到有的放矢, 逐步实现城乡规划。对于部分特殊地区, 要因因地制宜、因时制宜, 制定符合当地经济社会发展状况的规划制度, 避免出现全覆盖式城乡规划编制, 失去规划意义。

参考文献

[1]章黎东,张瑜,高璟.同济大学建筑与城市规划学院 助力乡村振兴战略 绘就水库美丽新貌[J].上海农村经济,2020(03):22-23.
 [2]张蕾,朱卿莹,于婧.信息化时代背景下人文地理与城乡规划专业教学改革的探讨[J].教育教学论坛,2020(12):143-144.
 [3]曾维军,李建华,张建新,等.专业认证背景下城乡规划专业RS与GIS一体化综合实践教学体系构建[J].教育教学论坛,2020(12):277-279.