

斜交条件下预制拼装地道结构设计研究

钱文斐, 李忻轶, 姜 炯

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 以上海 S7 公路一期工程斜交条件下的下穿地道为例, 对纵缝采用凸凹榫接头的预制拼装体系与封闭框架的现浇工艺体系进行结构受力对比, 结果发现, 设计中通常假定凸凹榫处采用铰接进行模拟存在不合理之处。因此, 从方便工程设计的角度出发, 提出预制拼装斜交地道结构体系的受力计算模型可考虑利用封闭框架体系的等效计算模型, 但需将凸凹榫位置处的内力值适当提高 20%~30%。该研究成果已在依托工程成功应用, 可以为类似工程提供参考与借鉴。

关键词: 斜交条件; 预制拼装地道; 凸凹榫接头; 等效计算模型

中图分类号: U453

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)03-0198-05

0 引言

目前, 对于桥梁^[1]、综合管廊^[2]、沉管隧道^[3]、矩形盾构隧道^[4]等正交条件下的矩形箱型结构已开展了大量的预制拼装工艺研究并付诸于工程实践中。本文以上海 S7 公路一期工程为例, 针对斜交条件下预制拼装地道结构进行分析研究, 以期对矩形箱型结构预制拼装工艺的进一步拓展提供借鉴。

1 工程概况

上海 S7 公路一期工程为上海市预制拼装示范工程, 预制拼装化率超过 95%。其中联杨路下穿 G1501, 共有 2 处地道, 分别为 NE 匝道、SE 匝道。

工程所处地形较为平坦, 场区浅层存在软土、厚填土、明浜等不良地基地质现象, 对设计施工存在一定影响。自上而下主要岩土层分布情况如下: ①₁ 层填土、②层黄-灰黄色黏土、③层灰色淤泥质黏土、④层灰色淤泥质黏土、⑤₁ 层灰色黏土、⑥层暗绿-黄色粉质黏土。场地内地下水类型有潜水及承压水, 地下水位随气候、季节及环境影响而变化。勘察期间, 地下水位埋深为 0.58~3.10 m, 高程为 4.25~0.06 m, 承压水对本工程无影响。

本文拟以 NE 匝道为例, 对斜交条件下预制拼装地道结构受力情况进行分析研究。NE 匝道地道斜交角度为 67°, 垂直于轴线方向的结构宽度为 16.0 m,

其中结构净空宽度为 14.6 m, 侧墙厚度为 0.7 m; 结构高度为 6.25 m, 其中结构净空高度为 4.85 m, 顶、底板厚度均为 0.7 m。

NE 匝道地道平面、横断面、剖面见图 1~图 3。

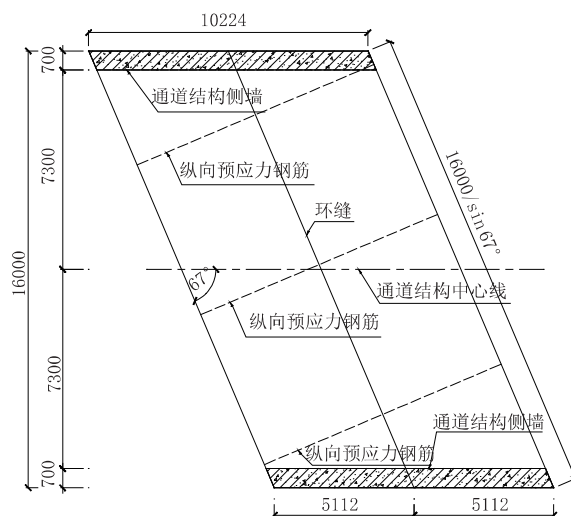


图 1 NE 匝道地道平面图(单位:mm)

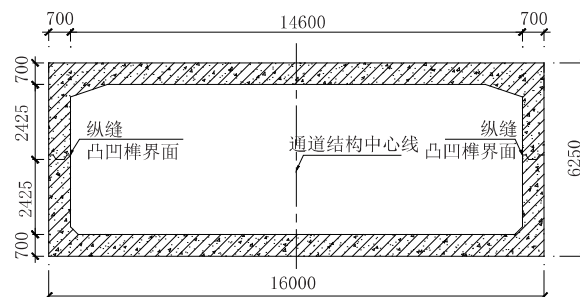


图 2 NE 匝道地道横断面(单位:mm)

为了便于预制节段制作、运输、吊装, 地道结构轴向与斜边平行分为 2 块, 横断面分为上下 2 块“C”型结构, 共形成 4 个单元, 单个单元的尺寸为 17.382 m ×

收稿日期: 2020-06-09

作者简介: 钱文斐(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事岩土工程、地下工程等领域的设计与研究工作。

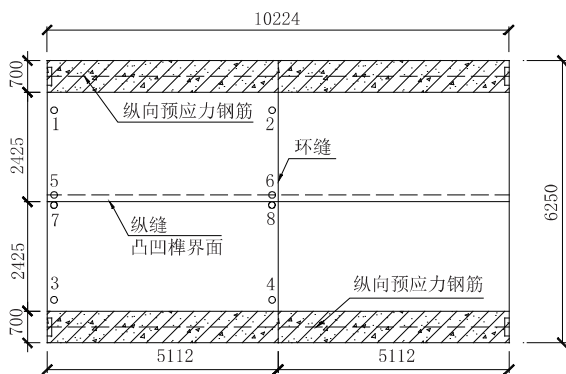


图3 NE 匝道地道剖面(单位:mm)

5.112 m × 3.125 m, 质量约 213.3 t。

对于纵向接缝,采用垂直于斜边的预应力钢筋形式;对于环向接缝,采用凸凹榫形式,与通常环向接头形式的不同之处在于其未设置竖向预应力钢筋;纵、环向接缝间均匀涂抹环氧拼缝胶。

纵向预应力钢筋接头大样图见图4,环向凸凹榫接头大样图见图5。

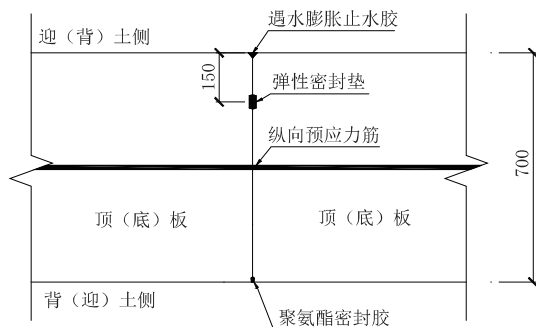


图4 纵向预应力钢筋接头大样图(单位:mm)

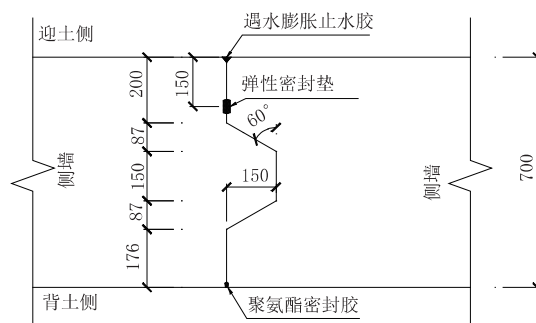


图5 环向凸凹榫接头大样图(单位:mm)

2 结构计算模型

对于预制拼装结构,需进行吊装、运输及运营3种工况下的受力分析。考虑到吊装、运输工况下受力分析相对简单,本次重点研究运营工况。采用三维实体单元模拟结构,针对环缝设置凸凹榫接头的预制拼装结构体系(以下简称“体系一”)与封闭框架的现浇结构体系(以下简称“体系二”)2种结构体系受力性能进行对比分析。

结构计算软件采用 Midas/Civil, 主体结构采用六面体实体单元(见图6),凸凹榫界面采用仅受压弹簧模拟,底板边界条件采用弹簧模拟,基床系数为20 000 kN/m³。

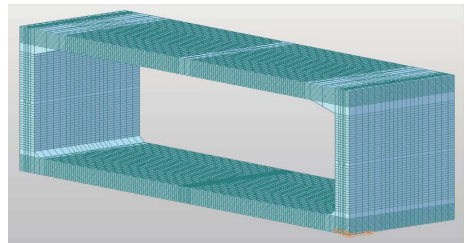


图6 三维实体单元计算分析模型

荷载基本组合条件下,荷载值分布情况见图7。

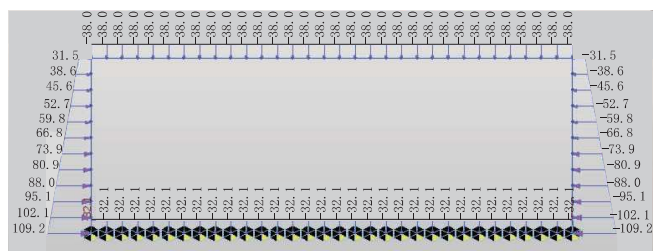


图7 荷载基本组合示意图

3 结构受力及变形

基于结构安全考虑,地道结构的顶、底板及侧墙均按受弯构件进行计算,计算出弯矩值即可进行配筋设计。根据软件后处理成果输出方式及参照现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)条文说明4.2.4,需将三维实体单元输出的正跨方向应力值转换为顶、底板斜跨方向弯矩值及侧墙正跨方向弯矩值。具体思路如下:

首先,根据式(1)算出侧墙正跨方向的弯矩值;然后,根据式(2)计算顶、底板斜跨跨中方向弯矩值;最后,根据式(3)计算顶、底板斜跨支座处弯矩值。

$$M = W \times (\sigma_+ - \sigma_-) / 2 \quad (1)$$

式中: M 为正跨方向弯矩值; W 为截面抗弯模量; σ_+ (σ_-) 为截面正跨方向最大正(负)应力值。

$$M_{\text{铰斜}} / M_{\text{铰正}} = K_1 \quad (2)$$

式中: $M_{\text{铰正}}$ 为顶、底板构件在铰接支撑边界条件下计算跨度为15.3 m(正跨方向)的跨中弯矩值; $M_{\text{铰斜}}$ 为顶、底板构件在铰接支撑边界条件下计算跨度为15.3/sin 67° m(斜跨方向)的跨中弯矩值。

$$M_{\text{固斜}} / M_{\text{固正}} = K_2 \quad (3)$$

式中: $M_{\text{固正}}$ 为顶、底板构件在固定支撑边界条件下计算跨度为15.3 m(正跨方向)的支座处弯矩值; $M_{\text{固斜}}$ 为顶、底板构件在固定支撑边界条件下计算跨度为15.3/sin 67° m(斜跨方向)的支座处弯矩值。

3.1 顶板

体系一的顶板顶、底面正跨方向应力分布见图8、图9。

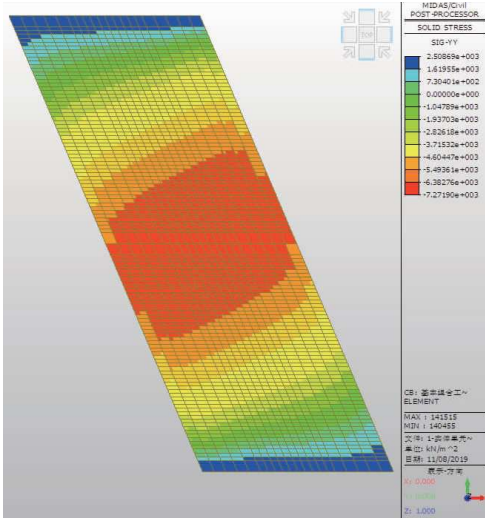


图8 顶板顶正跨方向应力云纹图

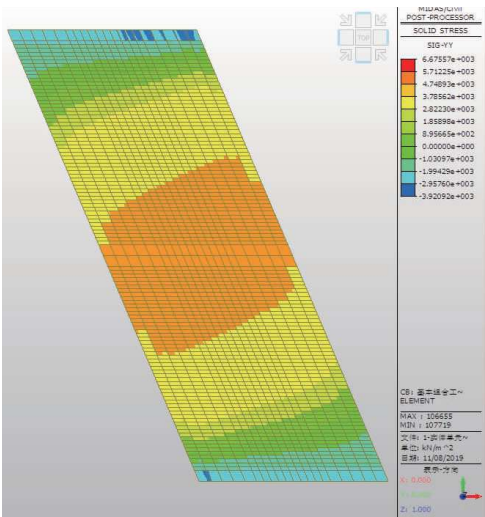


图9 顶板底正跨方向应力云纹图

体系二的顶板顶、底面正跨方向应力分布见图10、图11。

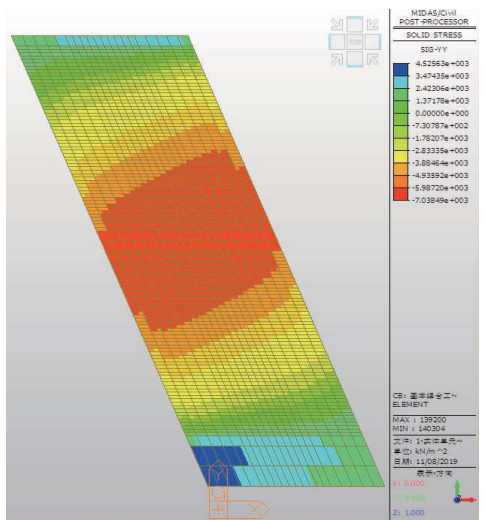


图10 顶板顶正跨方向应力云纹图

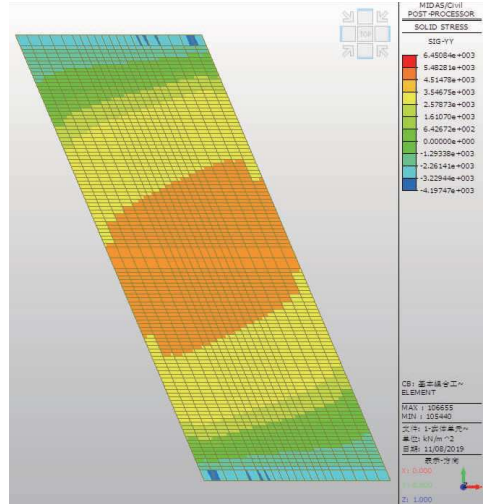


图11 顶板底正跨方向应力云纹图

顶板顶、底关键位置的应力差值见表1。

表1 顶板顶、底正跨方向应力差值一览表

结构体系	关键位置应力差值 /kPa		
	锐角处	钝角处	跨中处
体系一	5 030	6 271	13 948
体系二	5 534	6 774	13 489
体系二 / 体系一	1.10	1.08	0.97

由图8~图11和表1可知:2种体系下,顶板顶、底正跨方向应力分布形态相近,且应力差值相差不大,即弯矩值相差不大,2种体系下的差值范围为3%~10%。

3.2 底板

体系一的底板顶、底面正跨方向的应力分布见图12、图13。

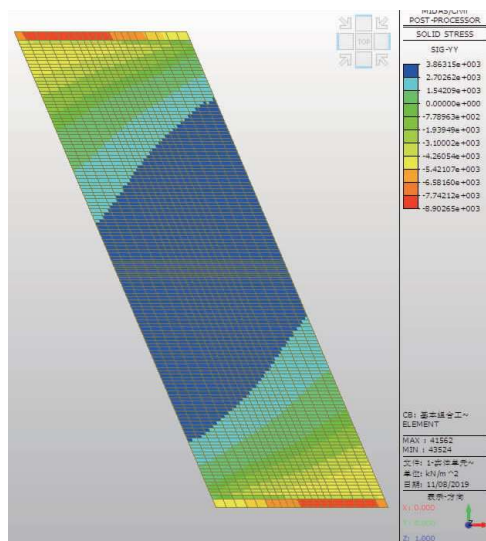


图12 底板顶正跨方向应力云纹图

体系二的底板顶、底面正跨方向应力分布见图14、图15。

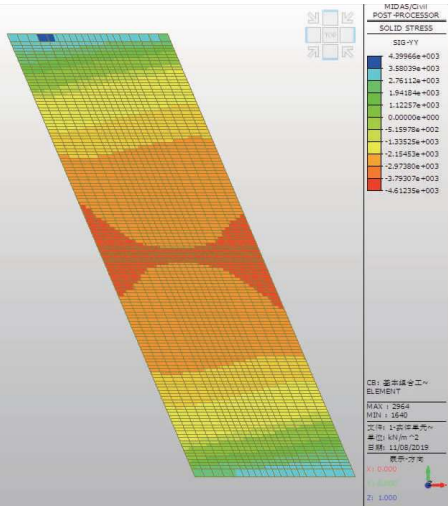


图 13 底板底正跨方向应力云纹图

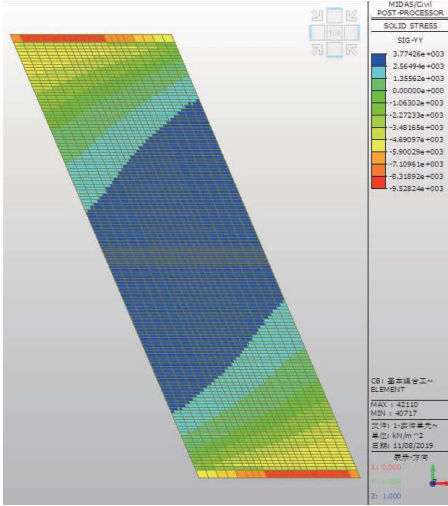


图 14 底板顶正跨方向应力云纹图

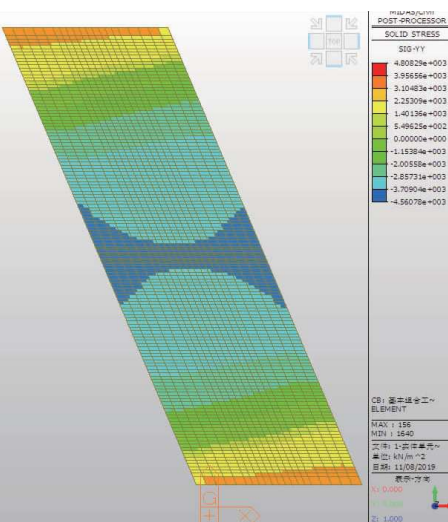


图 15 底板底正跨方向应力云纹图

2 种体系下,底板顶、底关键位置应力差值见表 2。

由图 12~ 图 15 和表 2 可知:2 种体系下,底板顶、底正跨方向应力分布形态相近,且应力差值相差不大,即弯矩值相差不大,2 种体系下的差值范围为 5%~13%。

结构体系	关键位置应力差值 /kPa		
	锐角处	钝角处	跨中处
体系一	11 970	7 473	749
体系二	12 673	8 462	787
体系二 / 体系一	1.06	1.13	1.05

3.3 侧墙

体系一的侧墙临、背土侧正跨方向应力分布见图 16、图 17。

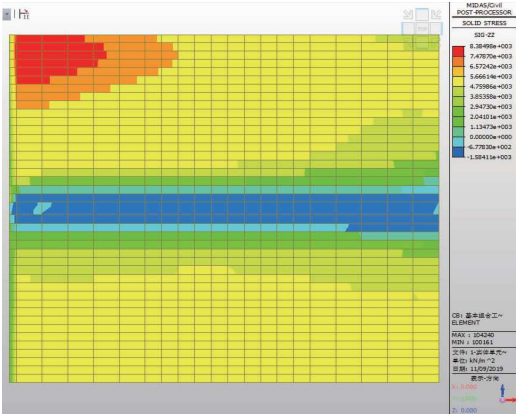


图 16 侧墙临土侧正跨方向应力云纹图

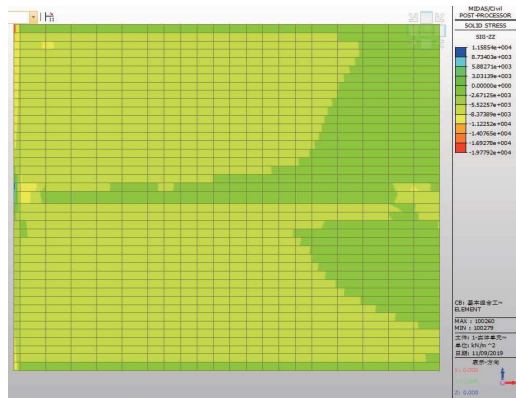


图 17 侧墙背土侧正跨方向应力云纹图

体系二的侧墙临、背土侧正跨方向应力分布见图 18、图 19。

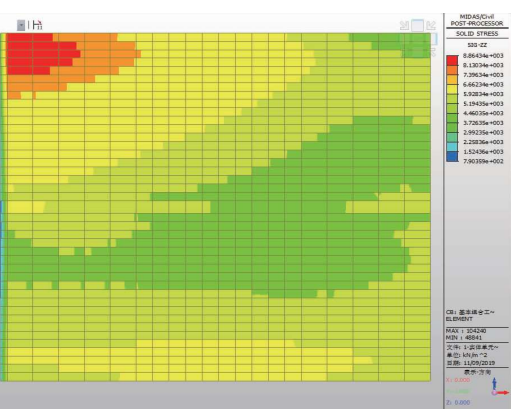


图 18 侧墙临土侧正跨方向应力云纹图

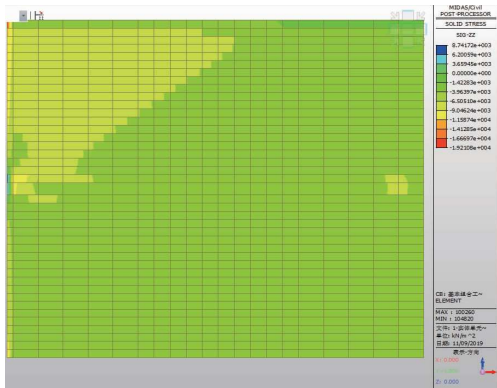


图 19 侧墙背土侧正跨方向应力云纹图

2 种体系下,侧墙迎土侧、背土侧关键位置应力差值见表 3,点 1~点 8 的具体位置见图 3。

由图 16~图 19 和表 3 可知:2 种体系下,侧墙临土侧、背土侧正跨方向应力分布有一定的差别,侧墙与顶、底板交接处点 1~点 4 的应力差值(即弯矩值)相差范围为 3%~11%,在凸凹榫位置附近点 5~点 8 的应力差值(即弯矩值)相差范围为 7%~22%。

3.4 凸凹榫处应力

体系一凸凹榫处最大主应力绝对值(见图 20)在临土侧基本为拉应力,其分布范围约占 1/4,最大值为 -6 331.6 kPa;而在背土侧基本为压应力,其分布范围约占 3/4,最大值为 12 481.1 kPa。

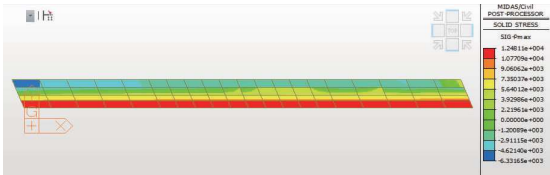


图 20 凸凹榫处最大主应力绝对值云纹图

体系二相同位置处最大主应力绝对值(见图 21)在临土侧基本为拉应力,其分布范围约占 1/2,最大值为 -5 885.8 kPa;而在背土侧基本为压应力,其分布范围约占 1/2,最大值为 3 215.1 kPa。

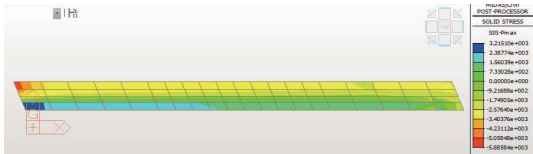


图 21 相同位置封闭框架体系最大主应力绝对值云纹图

表 3 侧墙迎、背土侧正跨方向应力差值一览表

结构体系	关键位置应力差值/kPa							
	点 1	点 2	点 3	点 4	点 5	点 6	点 7	点 8
体系一	26 848	9 962	13 837	12 510	14 619	13 070	10 181	9 804
体系二	27 785	11 049	15 203	13 736	13 611	10133	11 129	8 611
体系二/体系一	1.03	1.11	1.10	1.10	0.93	0.78	1.09	0.88

综上可知:(1)2 种体系相同位置临土侧结构单元最大主应力均呈现拉应力,而背土侧结构单元均呈现压应力,从而产生弯矩作用;(2)凸凹榫与封闭框架体系相同位置临土侧拉应力比值为 1.08,背土侧压应力比值为 3.88。

3.5 凸凹榫接缝处张开值

进一步研究体系一凸凹榫接缝处的张开值。凸凹榫接缝处节点位移见图 22 和表 4。

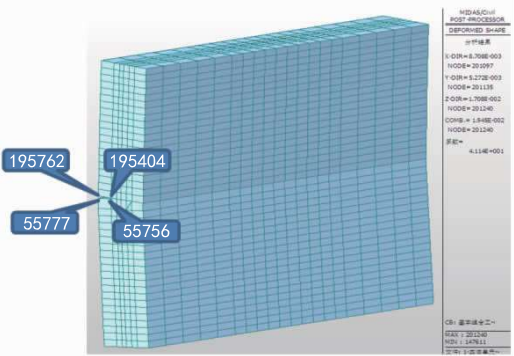


图 22 凸凹榫处位移

表 4 凸凹榫处节点位移一览表 mm

节点编号	D_x	D_y	D_z
55756	7.483	3.317	-15.637
55777	7.674	3.408	-15.751
195404	7.485	3.492	-15.459
195762	7.700	3.571	-15.311

通过以上计算分析得出:结构侧墙凸凹榫处发生了向临土侧的位移,接缝处最大张开值为 0.44 mm(节点 195762 与节点 55777 在 Z 方向上的位移 D_z 之差值,即 $-15.311 - (-15.751)=0.44$),接缝处张开值与现场观测结果基本一致。

4 结 语

(1)对于斜交条件下预制拼装地道纵缝采用凸凹榫接头的结构体系,顶板、底板、边墙(除凸凹榫位置外)关键位置处的弯矩值与封闭框架体系下的差别不大,差值基本在 13%以内。

(2)工程设计通常假定凸凹榫处采用铰接边界条件模拟,这样计算的结果为凸凹榫处不承受弯矩,且

另外,项目部综合考虑天气、弃土场、长臂挖掘机及电动抓土机出土效率等因素,积极与土方外运单位进行沟通,充分利用正常时间、周末、节假日(尤其是早晚高峰时间,根据机械挖土效率计算此时段需要提前预备的渣土车数量),并在作业空间上合理安排2台挖机同时出土。倘若支撑架设受阻时,根据实际情况,随时调整外运的开始时间及外运时间的长短。

4 基坑开挖的效果与启示

以 A-1 坑实施效果分析,基坑开挖到底垫层浇筑完成后,围护变形量控制在了 0.14% 以内(见图6)。

通过疏干工艺,使坑内土体形成固结,增加了土体强度,进而有效抑制了被动土的变形。同时,软土排水后强度增加也有利于挖机行走和挖土,提高基坑开挖效率。例如砂质粉土夹粉砂土在降水后的强度就有了很大提高,致使挖机工作能力增强,土体无支撑暴露时间减少。尤其是东坑盖板区域,在有限的作业空间内,降水效果的好坏将直接影响盖板区域挖土效率的高低。

采用轴力补偿技术的深基坑精确化变形控制,有利于根据反馈情况对钢支撑轴力进行实时动态调整。以围护体的变形控制为主,以支撑的轴力控制为辅,尽可能减小所施加的钢支撑轴力对基坑位移的影响,同时保证钢支撑与混凝土支撑的协调性以及支撑自身与围护体的安全性。

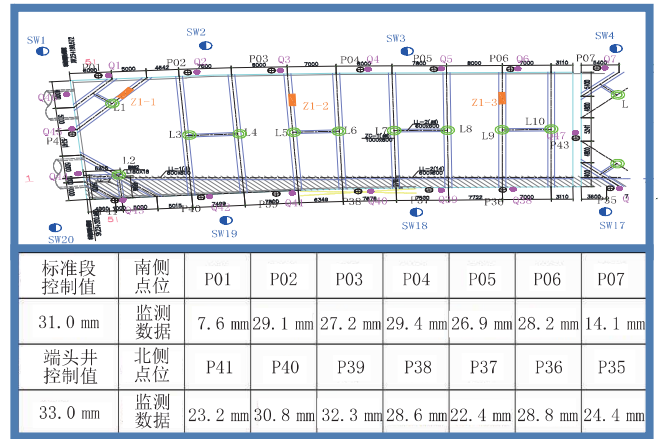


图6 变形监测

5 结 语

基坑的开挖不仅要关注基坑的施工质量,更要关注开挖的安全,所以对复杂基坑方案的精确化选择和实施尤为重要。通过浦东南路车站东坑的降水抽灌一体化,同时考虑中坑、西坑的科学开挖土方和支撑体系的施工方案,使得土体本身在开挖过程中得到了良好的位移控制,达到了控制基坑变形及保护环境的目的,为工程顺利实施提供了保证,并取得了良好的经济效果。

参考文献:

- [1] 孙九春,胡向东,白廷辉.地铁基坑钢支撑轴力伺服系统设置方式研究[J].地下空间与工程学报,2019(增刊1):195-204.
- [2] 陈凯.基坑开挖对邻近防汛墙安全影响分析[J].施工技术,2016(5):174-178.
- [3] 顾晓卫,王达,张霄.复杂小场下的狭长深基坑分块施工探讨[J].施工技术,2017(4):181-184.

(上接第 202 页)

水平向位移值较大。而本次研究成果为凸凹榫处由于拉、压应力可以产生弯矩,且水平位移值仅为铰接条件下的 40%(按铰接计算,水平位移值为 18.2 mm)。这说明对于凸凹榫接缝采用铰接进行模拟存在不合理之处。

(3)为了方便工程设计中的结构计算分析,体系一的受力计算模型可考虑利用体系二的等效计算模型,但需将凸凹榫位置处弯曲值进行适当提高,为安全起见,可考虑提高 20%~30%。

(4)本研究成果已运用于上海 S7 公路一期工程

中,并取得了良好的经济效益及社会效益。整个工程已于 2019 年 10 月 18 日全线通车。本研究成果可以为类似工程提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 周良,闫兴非,李雪峰.桥梁全预制拼装技术的探索与实践[J].预应力技术,2014(6):15-17.
- [2] 胡翔,薛伟辰,王恒栋.上海世博园区预制预应力综合管廊接头防水性能试验研究[J].特种结构,2009(1):109-113.
- [3] 孟民强.浅谈沉管法隧道接头处理[J].广东造船,2012(1):102-104.
- [4] 蒋首超,刘仁勇,柳猷,等.矩形盾构管片接头抗剪试验研究[J].建筑施工,2015(1):114-117.