

城市轨道交通装配式地下车站新型构件连接方案的抗剪及抗震性能分析

周华海

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430061, 武汉)

摘 要 [目的] 为了进一步推广地下装配式结构在城市轨道交通工程中的应用, 应对城市轨道交通车站明挖装配式出入口施工的关键技术(尤其是新型构件连接方案)进行研究。[方法] 设计了由 2 块尺寸相同的不等边 C 形标准构件(有 2 道横向裂缝)拼接而成的城市轨道交通车站装配式出入口结构, 基于此结构提出了一种新型的构件连接方案。通过模型试验及数值模拟, 研究了该新型连接节点的抗剪性能和抗震性能, 得出了不同受力条件下的荷载-位移曲线、抗剪形态、抗震耗能及延性等指标, 验证了该新型连接节点的可靠性。[结果及结论] 装配构件的截面抗剪承载力远高于传统现浇截面抗剪承载力; 型钢的存在可以充分保证试件的抗剪能力; “承插接口+型钢插板”是一种可靠的连接方式, 其各项性能与现浇试件相比大致相当; 型钢插入长度的变化对接缝处裂缝及其最大承载力的影响很小, 建议选用的型钢插入长度等与构件厚度一致。

关键词 城市轨道交通; 地下车站; 装配式结构; 新型构件连接方案; 抗剪承载力; 抗震屈服能力

中图分类号 U231.4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.04.027

periments and numerical simulations, the shear and seismic performance of the new connection node is studied. Under different loading conditions, various performance indicators, such as load-displacement curve, shear behavior, seismic energy dissipation, and ductility are obtained to validate the reliability of the new connection node. [Result & Conclusion] The shear bearing capacity of the prefabricated component sections is significantly higher than that of traditional cast-in-place sections. The presence of section steel can ensure the shear resistance capacity of the specimen. The 'socket interface + section steel insert plate' is a reliable connection method, with its various performances roughly equivalent to those of the cast-in-place specimens. Changes in the insertion length of the section steel have minimal impact on cracks at the joint and their maximum bearing capacity. It is recommended to choose a steel insertion length that is consistent with component thickness.

Key words urban rail transit; underground station; prefabricated structure; new component connection scheme; shear bearing capacity; seismic yield capacity

Shear and Seismic Performance Analysis of New Component Connection Schemes for Urban Rail Transit Prefabricated Underground Stations

ZHOU Huahai

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430061, Wuhan, China)

Abstract [Objective] To further promote the application of underground prefabricated structures in urban rail transit projects, research on key technologies (especially new component connection schemes) is conducted for the entry/exit construction of open-excavation prefabricated urban rail transit stations. [Method] A prefabricated entry/exit structure for urban rail transit stations is designed, consisting of two same-sized unequal C-shaped standard components spliced together (with two transverse cracks). Based on this structure, a new type of component connection scheme is proposed. Through model ex-

为了进一步推广装配式结构的技术应用, 促进装配式结构的产业化, 本文对城市轨道交通车站明挖装配式出入口施工的关键技术进行研究。明挖装配式车站出入口具有体量小、断面尺寸小、施工周期短等特点, 在环保节能、绿色施工、现场吊装等方面具有明显的优势。

预制拼装技术在管廊应用上较为普遍, 技术也日臻成熟^[1-2]。但将该技术应用到防水要求更高、纵向走向变化较大的城市轨道交通车站出入口时, 往往会遇到较多问题, 主要包括防水渗漏、地下水渗漏问题, 以及土方开挖、支撑架设等施工对预制构件性能造成的影响。明挖装配式车站出入口可充分利用综合管廊成熟的施工经验, 但需克服综合管廊的上述问题。本文对明挖装配式车站的连接节点方案进行重点讨论, 提出了一种新型构件连接方案, 并通过模型试验和数值模拟, 研究该方案下连接节点的

抗剪和抗震性能,用以验证新型装配式连接节点的可靠性。

1 采用装配式节点的新型构件连接方案

为便于对装配式节点的连接方案进行研究,本文设计的城市轨道交通车站装配式出入口结构的标准断面由2块尺寸相同的不等边C形标准构件拼接而成,这2块标准构件间因拼接形成2道横向接缝,如图1所示。

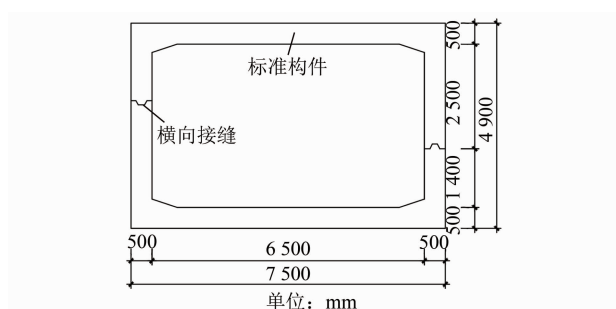


图1 城市轨道交通车站装配式出入口结构的标准断面
Fig. 1 Standard section of prefabricated entrance and exit structure for urban rail transit stations

1.1 横向接缝的连接方案

横向接缝采用“承插接口+型钢插板”的连接方式,如图2所示。图2中:①横向接口上下采用型钢插板连接。②跨接缝沿纵向设置H型钢;H型钢上部埋入结构的长度为500mm,下部伸出长度为500mm;H型钢下部接口内预留型钢凹槽,采用上下插板的方式连接。③在预留型钢凹槽内预留注浆孔(每个断面上下各1个),从下侧孔注浆;当上侧注浆孔有浆液流出时,即判定为注浆完毕。

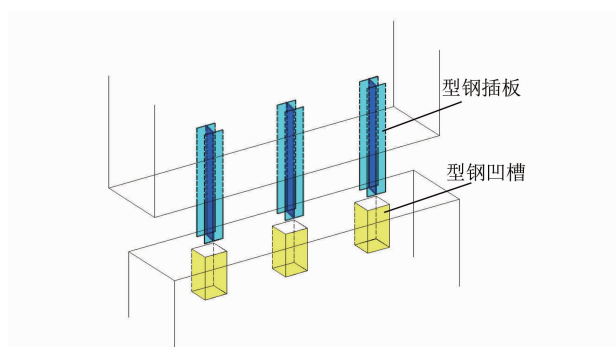


图2 横向接缝采用“承插接口+型钢插板”连接方式示意图
Fig. 2 Schematic diagram of using 'socket interface + steel insert plate' connection method for horizontal joints

1.2 纵向接缝的连接方案

纵向接缝采用“预应力+承插口+防水橡胶”的连接方式,如图3所示。其特点在于:纵向接缝采用

“承插口+预应力筋”组合拼接,接缝的刚度更加趋近于半刚性,这既能增加管廊对不均匀沉降地基的适应能力,也能使其受力性能更接近于现浇出入口结构的受力性能。

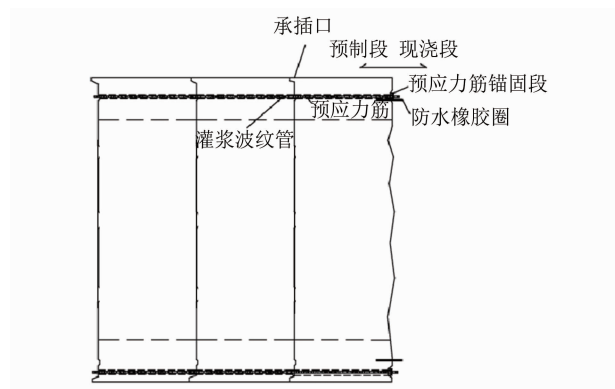


图3 竖向接缝采用“预应力+承插口+防水橡胶”连接方式示意图
Fig. 3 Schematic diagram of vertical joint using 'prestressed + socket + waterproof rubber' connection method

1.3 防水方案介绍

全预制装配式车站出入口的防水应结合实际覆土对不同截面密封垫的压缩情况,记录密封垫的力-位移曲线,得出密封垫的压缩性能。通过对密封垫的反复压缩,测试得到密封垫的回弹能力及承受反复压缩荷载的能力。本文基于盾构管片的尺寸,对采用的密封垫进行了适当优化。测试结果表明,密封垫的防水抗压能力指标值超过3.25 MPa,满足防水承压要求。

图4为纵向接缝防水方案剖面图。纵向接缝采用“预应力+承插口+防水橡胶”连接方式时,接缝处防水可采用“遇水膨胀胶条+楔形胶圈+注浆孔”方案,同时在接口两侧采用双组分聚硫密封胶封堵。

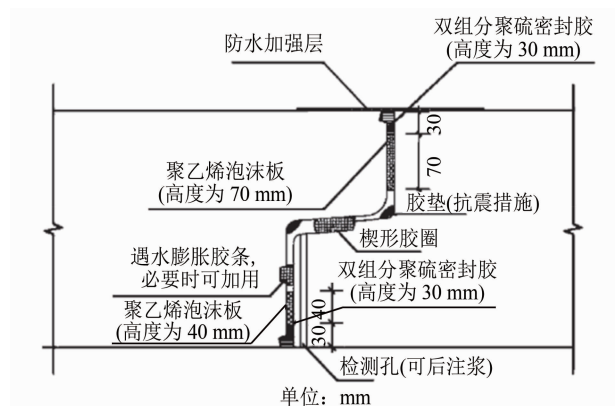


图4 纵向接缝防水方案剖面图
Fig. 4 Section diagram of longitudinal joint waterproofing scheme

2 新型节点连接方案抗剪性能研究

上述的新型节点连接方案能够充分发挥装配式施工的技术优势,实现了快速连接、免模板施工的功能。本文通过模型试验,着重对该新型节点横向接缝的连接方案进行分析验证,验证内容主要包括:

- ①研究装配式车站出入口结构横向接缝的抗剪力学性能,并采用数值分析法验证其节点受力的可靠性;
- ②研究装配式出入口车站结构横向接缝的抗震力学性能,并采用数值分析法验证横向接缝的耦合性能。

2.1 构件试验模型

采用与城市轨道交通车站出入口原型力学性质一致的材料(混凝土均采用 C50),按一定比例缩制成模型,并按照剪力等效原则计算得到等效构件的尺寸。然后进行试验测试,观测模型的应力、应变、位移及破坏等情况,用以推测车站出入口原型在剪力作用下的实际变化情况^[3-4]。车站出入口原型与缩尺模型的尺寸对比如表 1 所示。

表 1 车站出入口原型与缩尺模型的尺寸对比

Tab. 1 Comparison of dimensions between prototype and scaled model of station entrance and exit

项目	长度/ mm	宽度/ mm	高度/ mm	型钢插入 深度/mm	腹板厚 度/mm	翼缘厚 度/mm
出入口原型	500	250	250	500	11.0	15.0
缩尺模型	250	125	125	250	5.5	7.5

本文基于图 1 车站出入口结构构件的尺寸,制作了 3 个缩尺的抗剪试件(缩尺比例均为 50%)。这 3 个抗剪试件的编号分别为 JF-1、JF-2、JF-3,型钢插入长度分别为 250 mm、310 mm、375 mm。

采用双剪试验研究型钢插板对截面抗剪性能的影响。图 5 为该试验所需试件的制作现场图。与原结构设计图相比,抗剪试件增加了 40 mm 高度的凸台。此凸台可为试验提供有效的加载条件,且不会影响接缝的抗剪性能测试。

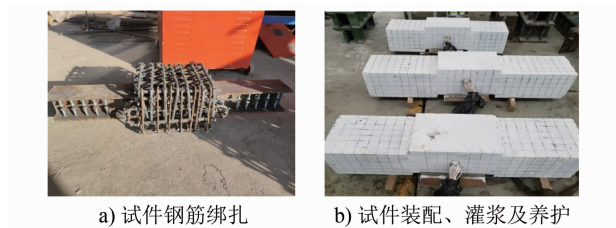


图 5 双剪试验所需试件的制作现场

Fig. 5 On-site production of specimens required for double shear testing

利用微机控制电液伺服压剪试验机(最大施加荷载为 1 000 t)对试件进行加载。首先预加载 100 kN,其目的是在消除各部件间隙的同时检查仪器设备是否正常工作。正式加载形式为位移控制加载,加载速度为 0.5 mm/min。为准确观测到裂缝出现时间,本次试验在试件位移分别加载至 0.08 mm、0.25 mm、0.50 mm、0.83 mm、1.67 mm、2.17 mm 及 2.83 mm 这 7 种情况下读取数据,并绘制了裂缝的时程变化曲线图。

3 个抗剪试件的加载过程均经历了开裂、屈服及破坏 3 个阶段,最终均在接缝处结合面混凝土大面积剥落、接缝处丧失抗剪能力时停止加载。试件 JF-1 的破坏形态如图 6 所示。其余 2 个抗剪试件也出现了与图 6 类似的沿接缝的剪切裂缝。



图 6 试件 JF-1 的破坏形态

Fig. 6 Failure mode of specimen JF-1

图 7 为 3 个抗剪试件的抗剪承载力-位移曲线。由图 7 可知:在加载过程中,这 3 个抗剪试件均表现出较为一致的受力历程,均经历了线性增长、缓慢增长及破坏 3 个阶段,3 条曲线的走势基本接近。试件屈服后,曲线继续缓慢上升,这表明试件的抗剪承载力仍在持续缓慢增加。试件加载后期未发生抗剪承载力突降的情况,这说明试件在混凝土完全退出工作时仍能保持足够的抗剪承载力^[5-6]。

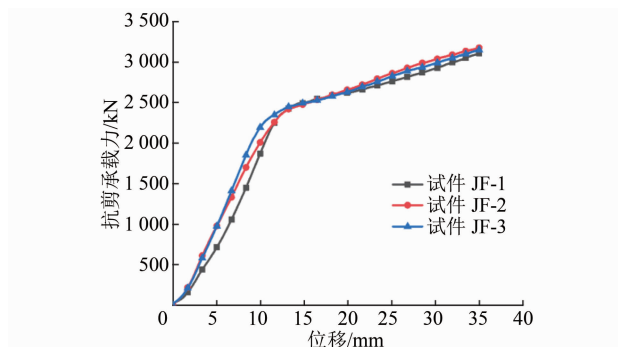


图 7 3 个抗剪试件的抗剪承载力-位移曲线

Fig. 7 Curves of shear bearing capacity to displacement of three shear specimens

进一步对图7中的试件 JF-3 进行分析,其荷载作用下的裂缝发展历程为:①位移加载至 11 mm 处时,曲线斜率发生急剧上升,此时裂缝集中于接缝处,混凝土尚未剥落。②当位移加载至 22 mm 处时,曲线进入缓慢增长阶段,此时接缝处混凝土开始出现微弱的滑移,混凝土开始剥落。③当位移加载至 35 mm 处时,因接缝处裂缝宽度过大,接缝处的混凝土完全滑移,裂缝快速迅速向四周扩展,此时曲线仍呈缓慢增长趋势,试件的抗剪性能完全由型钢提供。随着试件混凝土大面积剥落,试件发生剪切破坏。

按照现浇结构设计方法,构件的截面抗剪承载力为 537 kN。而基于图7计算得到装配式试件的截面抗剪承载力最小值为 1 544 kN,该值远大于传统现浇混凝土结构的抗剪承载力。

2.2 抗剪试验及数值模拟结果分析

2.2.1 单元选取及网格划分

本次采用有限元软件 ABAQUS 进行数值分析,其中:模型混凝土、型钢及钢套均采用六面体单元;钢筋均采用线单元。混凝土、型钢及钢套的指派单

元类型均为 C3D8R 实体单元,普通钢筋的指派单元类型为 T3D2 桁架单元。根据模型试验建立了同等尺寸和相同连接方式的有限元模型(见图8),对3组抗剪试件进行数值分析。

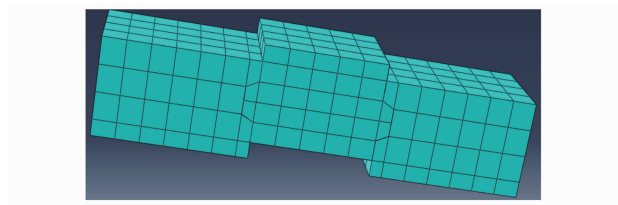


图8 试件的有限元模型

Fig. 8 Finite element model of specimen

2.2.2 边界条件设置及加载

按照试验过程设定 ABAQUS 中模型的边界条件。其中,模型的底座设置为完全固定,以模拟试件与地面之间在实际状态下的受力。将加载面耦合于一点,并进行荷载施加,模拟试验时加载面受到的是均布荷载。通过对3个抗剪试件模拟加载过程,得到了基于有限元模型的抗剪承载力-位移模拟曲线,将该曲线与实际试验得到的抗剪承载力-位移曲线进行对比,其结果如图9所示。

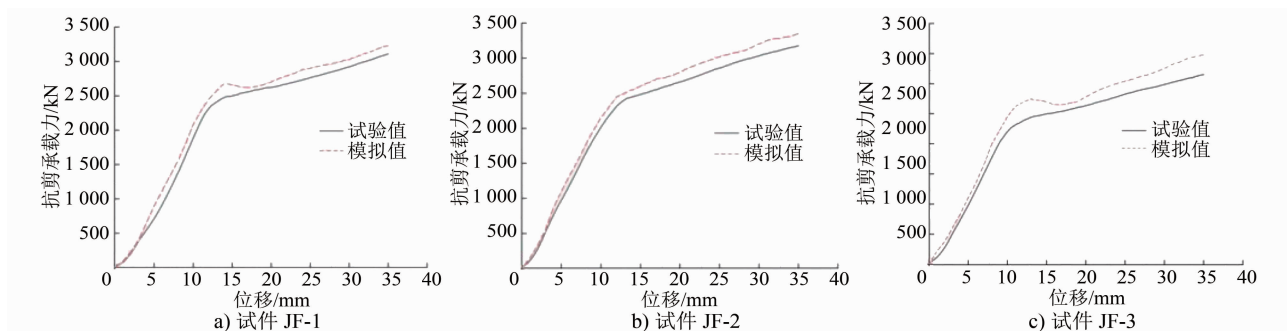


图9 3组抗剪试件抗剪承载力-位移曲线的模拟值与试验值对比

Fig. 9 Comparison between simulated and test values of shear bearing capacity to displacement curves for three sets of shear-bearing specimens

由图9可知:模拟值与试验值的曲线走向趋势基本相同;试件 JF-1 的模拟峰值为 3 230 kN,试件 JF-2 的模拟峰值为 3 350 kN,试件 JF-3 的模拟峰值为 3 480 kN;3个试件模拟峰值与试验峰值的差距均在 8%以内。

3 新型节点连接方案抗震性能研究

3.1 模型试验

为研究横向接缝上下采用凹凸承插接口连接的抗震性能,采用与上文一致的相似比设计方案,以 50%的缩尺比例对抗震试件进行设计^[7]。抗震试验制作了1个现浇试件(编号为 XJ)及2个装配式试

件(编号为 ZP-1、ZP-2)。其中:试件 ZP-1 的型钢连接长度为 750 mm;试件 ZP-2 的型钢连接长度为 500 mm。为避免混凝土劈裂,型钢、型钢凹槽外均套有箍筋。

抗震试验采用美国认证协会颁布的 ACI 374.1:2005《混凝土结构设计规范》中提出的层间位移角控制法进行加载,每级加载的位移量由位移角与墙高的乘积计算得出。加载前先进行 2 次预加载,2 次预加载的位移量均为 2 mm。在正式加载阶段,控制作动器施加不同位移角下的相应水平位移,每级均循环加载 3 次。当某一次加载循环的最大荷载小于整个加载过程峰值荷载的 85%,或产生不适

宜继续加载的较大变形时,停止加载^[8-9]。

加载初期侧墙底部便出现了水平裂缝。随着加载位移的不断增加,水平裂缝逐渐从底部发展至侧墙顶部。试件 ZP-1、试件 ZP-2 的裂缝发展速度较

试件 XJ 略慢。加载至最大量程时,3 组抗震试件根部的混凝土大量剥落,钢筋外露且明显弯曲,侧墙发生受弯破坏。3 个抗震试件呈现的具体破坏形式均为整体受弯破坏,如图 10 所示。

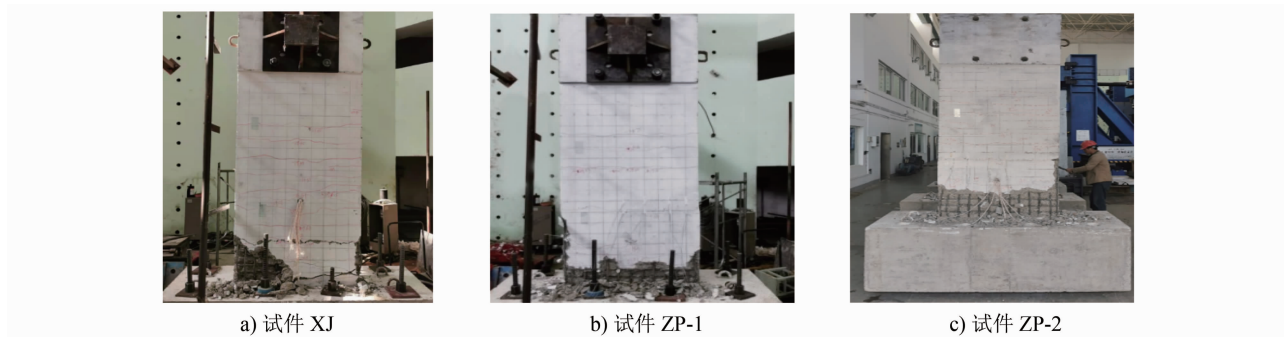


图 10 3 组抗震试件的破坏形态

Fig. 10 Failure modes of three sets of seismic specimens

3 组抗震试件地震力-位移的滞回曲线及骨架曲线如图 11 所示。由图 11 可以看出,试件屈服后,装配式试件的滞回曲线具有一定捏缩现象,经分析认为,这是由于接缝开合所致。各试件的骨架曲线走势基本接近,屈服后曲线接近水平,且略有上升趋势,这说明试件处于弹塑性阶段时,其承载力仍能稳步提升。

位移。试件在试验过程中各关键阶段的荷载值如表 2 所示。从表 2 可看出,由于接缝的影响,装配式试件各阶段的荷载值较现浇试件的荷载值小,但二者的差值不大;与试件 XJ 的荷载峰值相比,试件 ZP-1、试件 ZP-2 的荷载峰值分别下降了 2.5% 和 4.0%,两组装配式构件的荷载峰值降幅基本保持一致^[9]。

表 2 各关键阶段 3 组抗震试件的荷载值

Tab. 2 Load values of three sets of seismic specimens in each critical stage

试件编号	开裂荷载/kN	屈服荷载/kN	峰值荷载/kN	极限荷载/kN
XJ	21.0	87.0	94.6	80.0
ZP-1	15.0	78.5	92.2	78.4
ZP-2	17.0	79.0	90.7	74.8

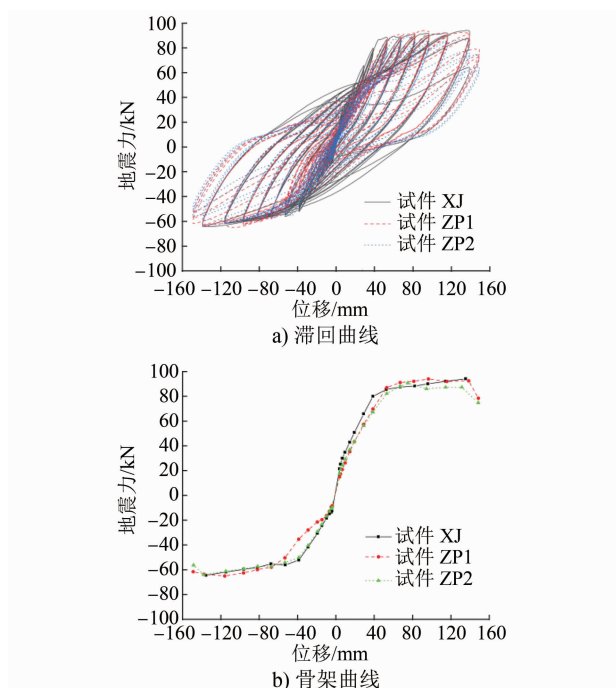


图 11 3 组抗震试件地震力-位移的滞回曲线及骨架曲线

Fig. 11 Hysteresis curves and skeleton curves of seismic force to displacement for three sets of seismic test specimens

采用 Park 法计算确定试件的屈服荷载及屈服

由表 2 进一步计算可得:①在开裂阶段,试件 ZP-1 和试件 ZP-2 的混凝土应变值均为 60×10^{-6} 左右。②试件 XJ 的开裂荷载为 21.0 kN,试件 ZP-1 和试件 ZP-2 的开裂荷载分别为 15.0 kN 和 17.0 kN;装配式试件的开裂荷载基本一致,均略低于现浇试件的开裂荷载。③ 3 个试件均在加载至 3.87 mm 时出现第 1 条裂缝,初始裂缝均位于在墙肢根部。④装配式试件横向接缝处的裂缝在位移加载至 9.68 mm 时产生,并在加载至 38.70 mm 时出现裂缝张开现象。⑤ 3 个试件混凝土主裂缝位置均在墙肢根部(此处也是最终破坏处),其中装配式试件横向接缝处的裂缝在加载初期较为明显,随着加载的进行,其底部裂缝宽度延伸较大。

3.2 抗震试验及数值模拟结果分析

3.2.1 单元的选取和网格的划分

设定软件 ABAQUS 侧墙模型中的混凝土单元采用 C3D8R 实体单元,普通钢筋的指派单元类型为 T3D2 桁架单元,仅考虑钢筋的轴向受力。装配式试件因存在拼缝区域,模型中需设置拼缝界面的接触关系,本文采用面-面接触的小滑移模拟方式。对于接触面的切向行为,采用经典的库伦摩擦模型,粗糙混凝土表面之间的摩擦因数取 0.6;对于接触面的法向行为,采用默认的硬接触方式。

3.2.2 模型加载

荷载分析步取单调递增水平荷载,并将试件极

限位移 139 mm 设置为各分析步加载的极限值。根据模型试验建立了同等尺寸和相同连接方式的有限元模型。对 3 组抗剪试件进行数值分析,得到 3 个抗震试件的地震力-位移曲线如图 12 所示。由图 12 可知:①试件 XJ 的峰值荷载模拟值和试验值分别为 94.7 kN 和 94.1 kN;试件 ZP-1 的峰值荷载模拟值和试验值分别为 102.2 kN 和 94.3 kN;试件 ZP-2 的峰值荷载模拟值和试验值分别为 99.3 kN 和 90.7 kN。②与峰值荷载试验值相比,试件 XJ、试件 ZP-1 和试件 ZP-2 的峰值荷载模拟值分别提高了 0.6%、8.3%和 9.5%;模拟曲线与试件骨架曲线的走向基本一致。

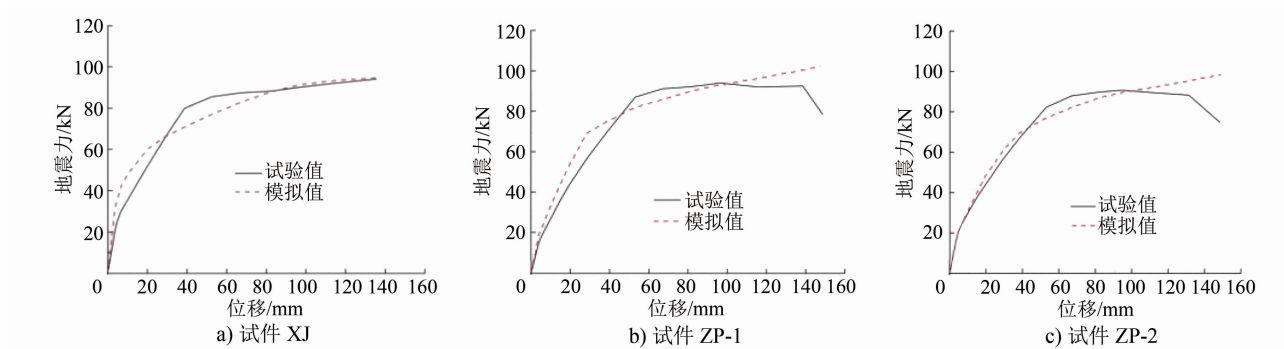


图 12 3 组抗震试件的地震力-位移曲线

Fig. 12 Load-displacement curves of seismic force to displacement for three sets of seismic test specimens

此外,模拟得到混凝土受拉损伤遍布受拉面,这与试验现场的水平贯通裂缝保持一致。试件 XJ 竖向钢筋受力较试件 ZP-1 和试件 ZP-2 明显变大,这主要是由于现浇试件仅靠竖向钢筋承担弯矩受力所致。试件 ZP-1 和试件 Z-P2 的型钢应力均约为 250 MPa。

4 结语

本文通过模型试验和数值模拟,研究了装配式轨道交通车站出入口新型连接节点的抗剪和抗震性能,得出了不同受力条件下的荷载-位移曲线、抗剪形态、抗震耗能及延性等指标,验证了新型连接节点的可靠性。主要结论如下:

1) 型钢的存在可以显著增加试件的抗剪能力和抗震屈服能力,且装配式试件的抗剪能力和屈服后的抗震性能更为优秀,可以应用到实际工程中。

2) 型钢插入长度的变化对接缝处裂缝及其最大承载力的影响很小,兼顾经济性要求,建议型钢的插入长度与构件厚度保持一致。

3) 本文提出的新型节点连接方案有较为优秀的受力性能,能较好地应用于城市轨道交通装配式

构件的连接方案中。本文的研究成果可为装配式构件的设计方案提供依据,并为采取此构造的工程提供相关技术支撑。

参考文献

- [1] 杨秀仁. 我国预制装配式地铁车站建造技术发展现状与展望[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(11): 1849.
YANG Xiuren. Development status of and outlook for construction technology for prefabricated metro stations in China[J]. Tunnel Construction, 2021, 41(11): 1849.
- [2] 王德超, 王国富, 乔南, 等. 预制装配式结构在地下工程中的应用及前景分析[J]. 中国科技论文, 2018, 13(1): 115.
WANG Dechao, WANG Guofu, QIAO Nan, et al. The application and prospect analysis of prefabricated construction in underground engineering[J]. China Sciencepaper, 2018, 13(1): 115.
- [3] 李兆平, 王臣, 苏会峰, 等. 装配式地铁车站结构接头混凝土裂缝及接缝变形规律试验研究[J]. 土木工程学报, 2015, 48(增刊1): 409.
LI Zhaoping, WANG Chen, SU Huifeng, et al. Experimental study on concrete cracks and joint deformation law of assembled subway station structure joint[J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(S1): 409.

(下转第 154 页)

均不变的情况下,既有地铁线路结构的稳定性因穿越方式的不同而有所差异,与一般下穿施工相比,采用盾构始发下穿时对既有地铁线路结构的影响较小。

3) 采用盾构始发下穿方式情况下,始发洞门与既有地铁线路结构间的竖向距离 d 不同时,对既有地铁线路结构稳定性的影响有较大差异。 $d=2.00\text{ m}$ 对既有地铁线路结构的影响较小,工程成本也较小。故建议在工程条件允许情况下,施工采用盾构始发下穿方式, d 取 2.00 m 。

参考文献

- [1] 孙会良, 胡盛斌, 肖鹏飞, 等. 地铁曲线接收段盾构近距离斜穿既有车站施工风险控制: 以南宁轨道交通 5 号线下穿既有 1 号线广西大学站为例[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(7): 1206.
SUN Huiliang, HU Shengbin, XIAO Pengfei, et al. Construction risk control of a metro shield tunnel in a curved receiving section obliquely crossing an adjacent existing station: a case study on Nanning Rail Transit Line 5 crossing underneath Guangxi University Station on existing Line 1[J]. Tunnel Construction, 2021, 41(7): 1206.
- [2] 刘士海, 贺美德, 刘继尧. 新建隧道斜交下穿既有盾构隧道的变形分析[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(1): 263.
LIU Shihai, HE Meide, LIU Jiyao. Deformation analysis on the existing shield tunnel obliquely crossed by new tunnel[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(1): 263.
- [3] 许有俊, 孟贞, 李志成, 等. 盾构隧道近距下穿既有地铁车站沉降控制措施研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(6): 1044.
XU Youjun, MENG Zhen, LI Zhicheng, et al. Study on settlement control measures for shield tunnel closely crossing underneath existing subway station[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science), 2018, 49(6): 1044.
- [4] 张庆闯, 戴志仁, 时亚昕, 等. 新建隧道近接穿越既有运营地铁隧道关键技术[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(6): 58.
ZHANG Qingchuang, DAI Zhiren, SHI Yaxin, et al. Key technologies for newly-built tunnel tunnelling through operated tunnel[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(6): 58.
- [5] 李世辉. 新建车站零距离穿越既有地铁车站的施工保护措施及效果分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(4): 81.
LI Shihui. Protection measures and effect analysis of new station construction crossing the existing subway station at zero distance[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(4): 81.
- [6] 江华, 张晋勋, 江玉生, 等. 新建盾构隧道近距离下穿既有车站诱发结构变形特征研究[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(1): 159.
JIANG Hua, ZHANG Jinxun, JIANG Yusheng, et al. Characteristics of existing station deformation induced by the approaching construction of a new underlying shield tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(1): 159.
- 收稿日期:2021-09-30 修回日期:2022-01-05 出版日期:2024-04-10
Received:2021-09-30 Revised:2022-01-05 Published:2024-04-10
• 通信作者:麻凤海,教授, xkb@vip.163.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- (上接第 149 页)
- [4] 高林, 郭凯旋, 肖娴, 等. 预制装配式型钢混凝土剪力墙试验对比研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2020(4): 59.
GAO Lin, GUO Kaixuan, XIAO Xian, et al. Comparative study of experiments on the prefabricated section steel concrete shear walls[J]. China Concrete and Cement Products, 2020(4): 59.
- [5] 淡浩, 吴体, 肖承波, 等. 预制混凝土构件结合面抗剪性能试验及分析[J]. 建筑科学, 2020, 36(3): 100.
DAN Hao, WU Ti, XIAO Chengbo, et al. Test and analysis on shear behavior of precast component interface[J]. Building Science, 2020, 36(3): 100.
- [6] 杨勇, 陈阳, 张锦涛, 等. 部分预制装配型钢混凝土构件斜截面抗剪承载能力试验研究[J]. 工程力学, 2019, 36(4): 109.
YANG Yong, CHEN Yang, ZHANG Jintao, et al. Experimental study on the oblique section shear capacity of partially prefabricated steel reinforced concrete(PPSRC) members[J]. Engineering Mechanics, 2019, 36(4): 109.
- [7] 米鹏, 谭平, 张亚飞, 等. 装配式容差剪力墙及其推复性能分析[J]. 土木工程学报, 2021, 54(5): 46.
MI Peng, TAN Ping, ZHANG Yafei, et al. Pushover analysis of the precast tolerance concrete shear wall[J]. China Civil Engineering Journal, 2021, 54(5): 46.
- [8] 杜修力, 刘洪涛, 路德春, 等. 装配整体式地铁车站侧墙底节点抗震性能研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(4): 38.
DU Xiuli, LIU Hongtao, LU Dechun, et al. Study on seismic performance of sidewall joints in assembled monolithic subway station[J]. China Civil Engineering Journal, 2017, 50(4): 38.
- [9] 张锡治, 李军委, 李福林, 等. 接缝处理方式对复合齿槽连接预制剪力墙抗震性能的影响[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2021, 54(6): 575.
ZHANG Xizhi, LI Junwei, LI Fulin, et al. Effect of joint treatment on the seismic performance of prefabricated shear wall with composite alveolar[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2021, 54(6): 575.
- 收稿日期:2022-10-19 修回日期:2023-04-10 出版日期:2024-04-10
Received:2022-10-19 Revised:2023-04-10 Published:2024-04-10
• 作者:周华海,高级工程师,18075532@qq.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license