

大轴力桩基托换中新旧混凝土结合面 抗剪性能试验分析

张立, 李青宁, 李琳, 王献伟

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 西安 710055)

摘要: 桩基托换的关键在于新旧混凝土结合面的连接方法和可靠性能。本文结合某城市地铁隧道穿越高架桥桩基主动托换工程, 提出了一种新型连接方式: 凿毛+钻孔植筋(植筋胶)+建筑胶喷面的连接形式。设计制作了 3 个试件, 结合面每 30 cm×30 cm 范围内植入一根钢筋, 部分试件梁部箍筋加强, 进行了重复静力加载试验。试验分析表明: 此连接方式具有较高的抗剪承载力, 最大可达 9.208×10^3 kN/m²; 提高新浇筑梁的箍筋配筋率对提高界面抗剪承载力有较大作用; 植筋在新旧结合面抗剪能力中起到了主要作用; 新旧混凝土交界面上植筋所受的力较大, 植筋两端受力较小; 此连接形式在大轴力桩基托换中使用是安全可靠的。

关键词: 桩基托换; 新旧混凝土结合面; 植筋; 抗剪性能; 箍筋加强

中图分类号: TU753.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)S1-0154-05

Experimental study on shear bearing capacity of bond-interface between new and old concrete in underpinning engineering of high-loaded pile foundation

Zhang Li, Li Qingning, Li Lin, Wang Xianwei

(College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: The core technology in pile foundation underpinning is the combination of old and new concrete surface connection method and performance. Based on the background of certain city tunnel crossing the viaduct pile foundation underpinning the engineering, this paper proposes a new mode of connection: rough surface+ planting bar drilling (adhesives) + Spray interface adhesive. The experimental designed three specimens, the boundary surface within the scope of basic guarantee every 30 cm×30 cm into a steel bar, and part of the beam specimen strengthening, has carried on the static loading test. Conclusion: the combined surface connection way has higher shear bearing capacity of up to 9.208×10^3 kN/m²; And improving the new casting beam of stirrup reinforcement ratio has a larger effect to improve the interface shear bearing capacity; Planting bar in the old and new combination has played a major role in surface shear capacity, the border between old and new concrete surface, namely in the middle of the bar has the greater force; Planting bar located in both ends has the smaller force. Results show that the connection form construction by rough surface+ planting bar drilling (adhesives) + Spray interface adhesive is safe and reliable using in large axial force of pile foundation underpinning.

Key words: pile foundation underpinning; bond-interface between new and old concrete; planting rebar;

收稿日期: 2015-11-10

基金项目: 国家自然科学基金(51078306); 国家自然科学基金青年基金(51408453); 高等学校博士学科点专项科研基金(20106120110004)。

作者简介: 张立(1991-), 男, 硕士生, 主要从事桥梁结构抗震分析及研究, (E-mail)641743922@qq.com。

李青宁(通信作者), 男, 博士生导师, (E-mail)lqn952@163.com。

shear bearing capacity; hooping strengthening

近年来,建筑业的发展形势有所变化,大规模的新建工程步伐减缓,已经进入新建与既有建筑物的现代化加固与改造并重的大环境中^[1]。国内外在既有建筑物的加固改造理论与技术应用方面也开始了大量的研究,并且取得了显著的社会效益和经济效益。工程实践中,大多数既有混凝土建筑结构的加固和改造工程,都会涉及到新旧混凝土连接的问题,新旧混凝土连接的方法和质量直接影响加固、改造后建筑物的承载能力和正常使用性能。因为新旧混凝土结合面在混凝土骨架联系上不能成为一个密实无间的整体,而且钢筋的布置很难达到贯通新旧建筑物主要受力区域。结合面成为一个结构物中的薄弱面^[2],必须通过可靠的连接来有效地传递和承担各种内力。由此可见,新旧混凝土界面的连接方法及其受力性能对既有建筑物的加固改造起着决定性作用。

桩基托换技术在近些年的既有建筑物改造工程中时有应用,尤其在国内外大、中型城市地铁建设中,是解决地铁与既有建筑物的空间冲突这一问题的行之有效的办法。对于托换结构来说,其核心的技术在于新旧混凝土结合面连接方法和性能。特别是在大轴力的桩基托换工程中,新旧混凝土结合面的抗剪性能直接影响到整个结构的承载能力和可靠度。

某城市地铁二号线扩建工程隧道穿越高架桥梁桩基,必须对既有承台和桩基进行的主动托换处理^[3]。以此为背景,在国内外学者研究的基础上,笔者提出了一种新型连接方式:凿毛+植筋+建筑胶的连接形式,并在试验的基础上对大轴力桩基托换新旧混凝土结合面抗剪性能进行了深入的研究。

1 试验设计

1.1 试验目的及方案

设计并制作托换梁与既有承台连接区域 1:1 局部节点模型,模拟真实抗剪面植筋等处理方法,在 2 000 t 长柱型压力机上进行渐进式重复加载静力试验。1)测试和分析连接区域凿毛+植筋+建筑胶连接面的抗剪性能;2)验证接头形式的可靠性及单位面积的结合面抗剪切能力;3)测试和分析既有承台与托换梁连接区域的剪切破坏形态;4)测试和分析既有承台与托换梁局部连接面的抗剪及抗滑移弹性极限承载能力、抗剪及抗滑移破坏极限承载能力。

该组试验共 3 个试件,编号分别为 J1-1、J1-2、J1-3。试件立面图如图 1 所示。

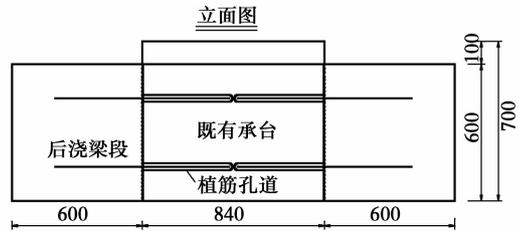


图 1 试件立面图

钢筋混凝土承台局部模型先预制(配筋与既有承台相同),待强度和弹性模量达到要求后,进行连接面凿毛+钻孔植筋(植筋胶)+建筑胶喷面接头处理。植筋采用 $\phi 25$ 钢筋,钻孔深度 420 mm,钻孔直径 30 mm,植筋胶采用建筑胶,基本保证每 30 cm \times 30 cm 范围内中心植入一根钢筋。然后绑扎两端梁部钢筋,其中箍筋布置形式如表 1 所示。为防止试件结合面出现受拉破坏,在梁部设计时,承台两侧面外设计外包梁,和两端梁部连为整体。外包梁和承台两侧接触面不做处理。

表 1 试件梁部处理一览表

试件编号	梁部箍筋间距/cm	箍筋型号	外包梁接触面处理方式
J1-1	6	$\phi 8$	不作处理
J1-2	6	$\phi 8$	不作处理
J1-3	6	$\phi 10$	不作处理

梁部钢筋绑扎完毕后进行 2 次浇筑梁体。梁-承台接头角度按照设计施工图为正交,混凝土等级分别为 C50 和 C35。承台局部长 84 cm,宽 50 cm,高 70 cm;二次浇筑梁局部构件长总长 204 cm,宽 80 cm,高 60 cm,承台外侧外包梁均宽 15 cm,如图 3 所示。



图 2 既有承台面植筋图



图 3 二次浇筑连接后试验模型

1.2 试验装置及测试系统

试验装置为天水红山制 2 000 t 微机控制电液伺服长柱型压剪试验机,主要由主机、伺服油源、微机测控系统三部分组成。此机采用微机程序运算,电液伺服闭环控制,使用高精度压力传感器,高精度的电子测量放大器,可实现对力控、位移控的平滑切换。加载精度为 50 kN,试验装置如图 4 所示。每个试件侧面、底部及结合面共使用 9 个百分表测定,梁体及承台的应变情况由电阻应变片(60 个)测定。如图 5 所示。每根植筋的三个点位(植筋入承台端、植筋结合面处即中点、植筋入梁段)的应力状况由电阻应变片测定并实时监控。试验加载过程中,采用精确压力传感器对荷载进行控制^[4],每个试件采用加载—卸载—再加载重复循环模式进行试验。加载步骤为:进行 150 kN 预加载反复荷载试验两次,以 200 kN 为一级施加反复荷载至 3 000 kN,然后以 100 kN 一级施加反复荷载至 3 500 kN,试件出现屈服采用变形控制,屈服时试件的最大位移值为 δ ,以 0.5δ 为一级进行加载,每一级反复 3 次,直到试件破坏。



图 4 试验装置



图 5 测点布置

1.3 试验过程及试验现象描述

试验加载初期,试件处于弹性阶段,与植筋应力相比,外包梁拉筋的应变增加较明显,且其值很小;当加载力为 500~600 kN 时,交界面两侧梁底出现 10 cm 长水平裂缝;随后原接缝面内、面外裂缝分别向外延伸发展;随着加载力增大,梁底出现多条裂缝并延伸,右支座 45 度处斜裂缝出现;继续加载左右支座处两侧均出现了多条斜裂缝并发展,梁底出现多条南北水平向贯通长的裂缝,裂缝宽度增大,主要的斜裂缝继续斜向延伸。采用位移加载时,梁底多条裂缝贯通,斜裂缝外侧出现与之大致平行的通长劈裂裂缝,开裂严重。位移增大,但荷载值达到峰值且出现下降,试件破坏严重,停止加载。试件最终裂缝情况如图 6~8 所示。

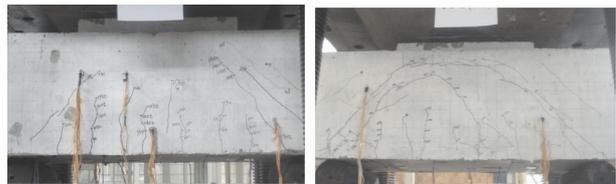


图 6 J1-1 南、北侧裂缝情况

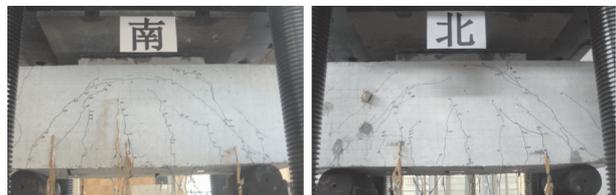


图 7 J1-2 南、北侧裂缝情况



图 8 J1-3 南、北侧裂缝情况

2 试验结果及其分析

2.1 托梁与既有承台连接区域 1:1 局部节点模型荷载-剪切滑移曲线

在上部荷载作用下,承台底的剪切滑移过程曲线如下图 9 所示。

由图中可以看出:在加载初始阶段,各个试件的荷载-剪切滑移曲线基本呈线性关系,试件处于弹性阶段,试件初始刚度较大,变形量很小,在 100 t 力作

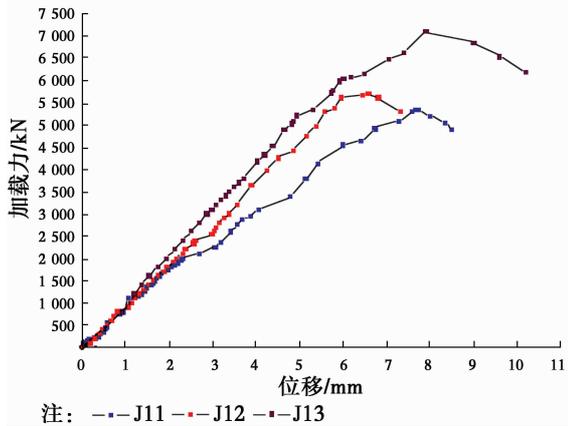


图 9 荷载-剪切滑移曲线

用下,位移值约 1.0 mm;在 200 t 作用下时,位移约为 2.1 mm。此后,随着加载力的增大,加载力和位移关系曲线斜率变小,但变小的幅度不大,说明时间在屈服前后仍有较大的刚度。在加载力达到峰值时,试件出现了破坏,承台底位移增大较快。

从试件的最大承载力来看,3 个试件的承载力均较大。试件 J1-1、J1-2 的承载力相差不大,试件 J1-3 的承载力明显高于前两个试件。

2.2 1:1 局部节点模型承载能力及破坏形态分析

对 3 个试件的承载能力及裂缝情况进行分析对比,并结合试验过程现象可得如表 2 所示结果。

表 2 试件承载力及破坏形式表

试件编号	开裂荷载/t	极限承载力/t	破坏形式
J1-1	50	534.3	劈裂破坏
J1-2	50	570.7	劈裂破坏
J1-3	60	711.5	劈裂破坏

由表 2 可以得出:新旧混凝土界面作用有拉、压、弯、剪等复杂应力,其中以剪应力作用为主。试件出现较多的贯穿整个界面的斜裂缝,故试件的整体性较好^[5]。相同处理的试件 J1-1、J1-2 的开裂荷载均为 50 t,极限承载能力相差不大,平均值为 552.5 t。此结合面连接方式(凿毛+植筋+建筑胶)抗剪切能力按面积换算最大可达 $9.208 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$;在试件 J1-3 中,增加新浇筑梁段的箍筋配筋率时,试件较前两个试件裂缝推迟出现,极限承载能力达到 711.7 t,经换算后单位面积达 $1.186 \times 10^4 \text{ kN}$,提高了 28.8%,说明此种连接方式下交接面的抗剪切能力较大且和梁部配筋有密切关系,在一定程度上提高新浇筑梁的箍筋配筋率对提高界面抗剪承载力有较大作用。

按试件的构造尺寸、加载点和支座位置判断知,该试件属于深梁。深梁的剪切破坏形式分为两种:斜压破坏和劈裂破坏^[6],如图 10 所示。结合试验过程中各个试件裂缝的发展情况及最终破坏裂缝走向、宽度可得出结论:J1-1、J1-2、J1-3 的破坏形式为劈裂破坏。

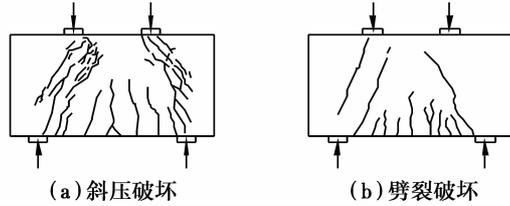


图 10 深梁的剪切破坏

2.3 1:1 局部节点模型植筋性能分析

对植筋的受力性能提取并选择具有代表性的不同植筋部位的值进行处理,得到植筋不同部位的荷载-应变曲线,如图 11 所示。

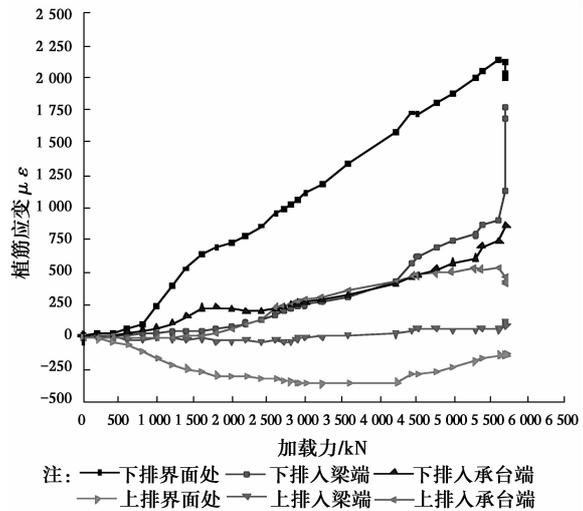


图 11 植筋荷载-应变曲线

由图 11 可以得出:植筋的部位不同所受的力不同,且同一根植筋的不同部位受力差别较大。新旧混凝土交界面上,即植筋的中部所受的力较大;而位于梁段内和承台段内的植筋,即植筋的两端受力较小。新旧交接面上,下排植筋的受力最大,呈受拉受剪状态;上排植筋的应变为负值,呈受压受剪状态。对下排界面处植筋应变分析得,试件在前几级加载阶段,试件由混凝土(凿毛+界面胶)和植筋协同工作共同抵抗外部荷载,随着荷载不断增加,混凝土逐渐达到其极限抗剪承载力,界面处出现裂缝后,混凝土逐渐退出工作^[7],这时试件的抗剪切和抗滑移能力主要由植筋来体现,并经植筋将力传递到局部梁

体。故钢筋应变在裂缝出现后变化幅度增大,达到或接近钢筋屈服应变。

3 结 语

1) 在大轴力桩基托换中,新旧混凝土界面区作为受力的薄弱面,采用新型连接方式(凿毛+植筋+建筑胶)具有较高的抗剪承载力。试件出现较多的贯穿整个界面的斜裂缝,说明试件的整体性较好。此种界面连接方式是安全可靠的。

2) 该新型结合面连接方式抗剪切能力按面积换算最大可达 $9.208 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$;在一定程度上提高新浇筑梁的箍筋配筋率对提高界面抗剪承载力有较大作用。本文对新旧结合面的抗剪性能研究结果也可在一般的加固改造工程中应用。

3) 植筋在新旧结合面抗剪能力中起到了主要的作用,尤其是在界面混凝土抗剪作用失效时,界面处植筋提供了较大的抗剪作用,并协同其他构件整

体受力。在加载力较大时,整体刚度退化较小。

参考文献:

- [1] 王焱. 浅谈对已有建筑的加固改造[J]. 科学与财富, 2013(4):49.
- [2] 高剑平, 潘景龙. 新旧混凝土结合面成为受力薄弱环节原因初探[J]. 混凝土, 2000(6):44-46.
- [3] 高俊合, 张澍曾, 柯在田, 等. 大轴力桩基托换梁-柱接头模型试验[J]. 土木工程学报, 2004(9):62-68.
- [4] 柯在田, 高岩, 张澍曾. 深圳地铁大轴力桩基托换模型试验研究[J]. 中国铁道科学, 2003(5):15-22.
- [5] 邢强. 新旧混凝土界面的连接方法及受力性能研究[D]. 西安:西安科技大学, 2012.
- [6] 叶见曙. 结构设计原理[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.
- [7] 张晓光, 陈泽超, 刘星, 等. 新旧混凝土结合面抗剪性能现场试验研究[J]. 结构工程师, 2010(6):70-75.

(编辑 张 芊)