

引用本文:戴绍斌,郑小林,黄俊,等:组合方形灌浆套筒连接性能试验[J]. 建筑科学与工程学报,2020,37(2):43-61.

DAI Shao-bin, ZHENG Xiao-lin, HUANG Jun, et al. Experiment on Behavior of Composite Square Grout-filled Pipe Splice[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2020, 37(2): 54-61.

DOI:10.19815/j.jace.2019.01041

组合方形灌浆套筒连接性能试验

戴绍斌^{1,2}, 郑小林¹, 黄俊^{1,2}, 李玉博¹, 刘轩¹

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070;

2. 武汉理工大设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430070)

摘要:针对套筒加工工艺、材料、成本等问题,提出了一种由标准无缝方形钢管与带肋钢筋以及螺旋箍筋通过组合拼装而成的新型组合方形灌浆套筒。利用该组合方形套筒,制作了 9 个 7.5 倍~12.5 倍直径锚固长度的接头试件,通过轴拉试验对接头拉伸性能和工作机理进行研究。结果表明:所有试件均在接头外钢筋某处断裂,接头抗拉强度与连接钢筋抗拉强度标准值的比值均大于 1.10,满足规程 JGJ 107—2010 中对 I 级接头单向拉伸强度要求,当试件的锚固长度达 $7.5d$ (d 为连接钢筋直径)即可满足条件;套筒内腔中四角嵌入的焊接钢筋以及螺旋箍筋对套筒的约束机理和应变分布有重要的影响,嵌入的焊接钢筋能承担接头传过来的部分拉力,从而降低方形钢管表面的应力,同时焊接钢筋表面的横肋能有效增加套筒内壁与灌浆料之间的黏结力;箍筋能进一步约束灌浆料从而提高接头的整体性;套筒表面应变基本均匀分布,不会出现因套筒截面加工变形导致应变反转等现象。

关键词:方形钢管;螺旋箍筋;组合套筒;锚固长度;黏结强度

中图分类号: TU375.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2049(2020)02-0054-08

Experiment on Behavior of Composite Square Grout-filled Pipe Splice

DAI Shao-bin^{1,2}, ZHENG Xiao-lin¹, HUANG Jun^{1,2}, LI Yu-bo¹, LIU Xuan¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China;

2. Design & Research Institute Co., Ltd of Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: Considering the problems of sleeve processing technology, materials, cost and etc., a new type of combined square grouting sleeve was proposed. The sleeve was assembled by standard seamless square steel pipe, ribbed steel bar and spiral stirrup. Using the combined square sleeve, nine joint specimens with a diameter of 7.5 times to 12.5 times the anchor length were fabricated, and the tensile properties and working mechanism of the joint were studied by the axial incremental tension test. The results show that all the test pieces are broken off somewhere outside the joint, and the ratio of the tensile strength of the joint to the standard value of the tensile strength of the steel bar is greater than 1.10, which satisfies the requirements for the tensile strength of the joint of I grade in JGJ 107—2010. The condition can be satisfied when the anchor length of the piece reaches $7.5d$ (d is diameter of connecting steel bar). The welded

收稿日期: 2019-05-17

基金项目: 湖北省建设科技计划项目(20171103); 武汉市城乡建设委员会科技计划项目(201812);

“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAJ03B03)

作者简介: 戴绍斌(1965-),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,工学博士, E-mail: dsb123@whut.edu.cn.

steel bars embedded in the four corners of the sleeve cavity and the spiral stirrups have an important influence on the confinement mechanism and strain distribution of the sleeve. The embedded welded steel bars can bear part of the tensile force transmitted from the joint, thereby reducing the stress on the surface of the square steel pipe. The transverse rib on the surface of the welded steel bar can effectively increase the bonding force between the inner wall of the sleeve and the grouting material; the hoop can further restrain the grouting material to improve the integrity of the joint; the surface strain of the sleeve is evenly distributed, and the strain inversion caused by deformation of the section processing does not appear.

Key words: square steel pipe; spiral stirrup; composite sleeve; embedded length; bond strength

0 引 言

自 20 世纪 60 年代末 Yee 发明灌浆套筒连接以来,众多学者已经开展了大量的研究工作,开发了各种形式的灌浆套筒。灌浆套筒接头的受拉性能由钢筋-灌浆料-套筒之间的黏结强度决定。已有的试验研究表明,约束灌浆料的劈裂变形能有效提高钢筋与灌浆料之间的黏结强度^[1-2]。钢筋套筒灌浆连接正是建立在这一原理之上,通过合理的套筒形式对填充灌浆料进行约束,从而增加钢筋黏结强度,减少锚固长度,以达到便于应用的目的。各学者都在致力于用各种方法来增强这三者之间的黏结强度,方法基本为在套筒内壁增加剪切键,有车削螺纹、内壁凸起、套筒端部束口,也有采用螺旋箍筋约束等。Ling 等^[3-5]通过试验研究了采用不同约束构造方式设计制作的 6 类灌浆套筒,并对 THS 和 WBS 两种类型套筒连接的性能进行了对比,相比 WBS 中由肋产生的非均匀约束应力,由 THS 斜套筒壁产生的均匀约束应力的约束效果要比 WBS 好。Einea 等^[6]将 4 根小直径钢筋嵌入光圆钢管内,再辅以不同的端口约束形式设计并制作了 4 种不同形式的灌浆套筒,通过对灌浆套筒接头试件进行轴向拉伸试验,得出在合适的约束条件下锚固长度可以减少到 7 倍直径。Rahman 等^[7]采用 2 个钢板插入并焊接到矩形钢管的 2 个端部,以钢板作为剪切键增强套筒与灌浆料之间的黏结强度,以此制作了 9 个灌浆套筒接头试件,在轴向拉伸作用下研究了灌浆强度、主筋埋置长度和套管尺寸对该矩形套筒连接性能的影响。最后建议 200 mm 的锚固长度,这明显高于现有一般套筒的锚固长度;造成这一现象的主要原因是以钢板作为剪切件高度过高,破坏灌浆料的整体性,且非均匀布置的剪切件导致受力不均匀。Rahman 等^[8]在螺旋箍筋内侧焊 4 根钢筋,并以此进行了对接灌浆接头拉伸试验,试验表明焊接钢筋

和螺旋箍筋的存在能显著增加黏结强度,螺旋箍筋作为一个重要的约束条件对灌浆料进行约束,焊接钢筋作为一个重要的桥连机制来抵抗拉力。同时发现减小螺旋箍筋的间距对增加黏结强度作用不大,提供最大的黏结强度时螺旋箍筋的间距约为 25 mm。郑永峰等^[9-11]采用普通无缝钢管通过冷滚压工艺加工而成一种新型套筒,通过单向拉伸试验研究其约束机理,发现套筒变形段内壁环肋相互挤压的径向分力能有效地限制灌浆料的劈裂变形,对灌浆料起到良好的约束作用。随后各类型套筒已经商业化,所有权问题再加上复杂的加工工艺造成目前市面上使用的套筒价格始终居高不下,这是影响装配式建筑成本的因素之一。因此,找到一种有自己版权且适合一定使用条件的廉价套筒成为现阶段的任务之一。本文提出了组合方形灌浆套筒(Composite Square Grout-filled Pipe Splice, CSGPS),该套筒只需要简单的切割焊接,极大地简化了加工方法,加工的原材料普遍且容易获得,故能极大地控制成本,便于推广。

1 试验概况

1.1 试验设计

采用 Q235B 普通方形钢管、螺旋箍筋和 $\Phi 8$ HRB400 带肋钢筋制作了 9 个组合套筒,首先将 $\Phi 8$ 钢筋与螺旋箍筋焊接在一起,然后将焊接完成后的组合体放进方形钢管中并与钢管内壁点焊在一起,如图 1 所示;组合方形灌浆套筒构造见图 2,其中, t_g 为壁厚, l_a 为钢筋锚固长度, l 为方形管长度, d_b 为连接钢管直径。试件参数见表 1,其中 d 为连接钢筋直径。

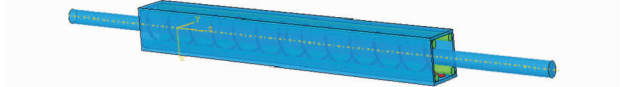


图 1 组合方形灌浆套筒

Fig. 1 Composite Square Grout-filled Pipe Splice

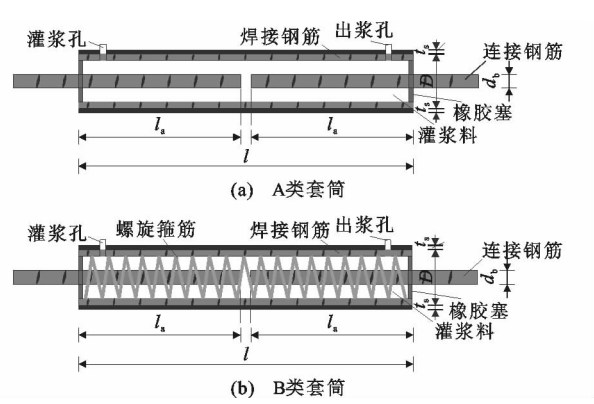


图 2 试件几何尺寸及构造

Fig. 2 Dimensions and Details of Specimens

1.2 材料性能

用于试件制作的钢管实测强度如表 2 所示。采

用 HRB400 级钢筋加工连接钢筋及焊接钢筋,螺旋箍筋采用 3 mm 线径弹簧钢,实测强度见表 3。灌浆料采用无收缩高性能灌浆料,水料比取 0.125,试块尺寸为 40 mm×40 mm×160 mm,待脱模后移入标养室,经过 28 d 养护后测定抗压强度。实测强度如表 4 所示。

1.3 试验装置及测量内容

在万能材料试验机(最大量程为 500 kN)上做单向拉伸试验,如图 3 所示,加载速率为 2 MPa·s⁻¹,当钢筋断裂或者从灌浆料中拔出时停止试验,通过万能试验机自带记录荷载以及位移的功能获得各个试件的荷载-位移曲线,另选取部分试件,在套筒一侧表面粘贴环向及轴向应变片;通过测量套筒表面的应变及荷载-位移曲线研究接头的性能。

表 1 试件参数

Tab. 1 Parameters of Specimens

试件编号	套筒类型	钢筋公称直径 d_m/mm	钢筋屈服强度 f_y/MPa	钢筋抗拉强度 f_u/MPa	钢筋锚固长度 l_a/mm	灌浆料强度 f_c/MPa	壁厚 t_g/mm	外径 D/mm
S-255-12	A	12	347	516	120(10d)	80.2	3	40
S-255-14	A	14	347	516	120(8.5d)	80.2	3	40
S-255-16	A	16	347	516	120(7.5d)	80.2	3	40
S-315-12	A	12	347	516	150(12.5d)	80.2	3	40
S-315-14	A	14	347	516	150(10.5d)	80.2	3	40
S-315-16	A	16	347	516	150(9d)	80.2	3	40
S-315-12-t	B	12	347	516	150(12.5d)	80.2	3	40
S-315-14-t	B	14	347	516	150(10.5d)	80.2	3	40
S-315-16-t	B	16	347	516	150(9d)	80.2	3	40

表 2 方形钢管材料性能

Tab. 2 Properties of Square Steel Pipe

套筒类别	型号	屈服应力 f_{sy}/MPa	极限应力 f_{su}/MPa	弹性模量 E_s/MPa
方形	Q235B	230	402	2.04×10^5

表 3 连接钢筋材料性能

Tab. 3 Material Properties of Spliced Bar

钢筋等级	钢筋直径 d/mm	屈服应力 f_{by}/MPa	极限应力 f_{bu}/MPa	伸长率 $\delta/\%$	弹性模量 $E_b/10^5 \text{ MPa}$
HRB400	8	335	500	20.3	2.01
	12	345	503	19.1	2.02
	14	343	510	17.8	2.01
	16	347	516	17.2	2.01
弹簧钢	3	786	985	6.8	2.06

表 4 高强水泥基灌浆料材料性能

Tab. 4 Properties of High Strength Cement-based Grouting

类别	水料比	28 d 抗压强度 f_m/MPa	28 d 抗折 强度/MPa	流动度/mm	
				初始	30 min
灌浆料	0.125	80.2	14.0	305	290



图 3 试验加载装置

Fig. 3 Test Loading Setup

2 试验结果

2.1 破坏形态

在整个试验过程中只出现 1 种破坏形态,即断裂破坏。对于套筒内部没有螺旋箍筋的试件,有的发出轻微的破裂声,那是灌浆料裂开的声音,随着荷

载的增加,慢慢趋于稳定,不再听到这种声音;对于套筒内部有弹簧的试件,整体性较好,在整个试验阶段无此现象。随着荷载继续增加,明显看到有钢筋颈缩现象,随后发出一声巨响,钢筋断裂,套筒端部灌浆料因钢筋断裂瞬间产生的应力波作用而脱落,出现锥形破坏,如图 4 所示。



(a) 试件S-255-12,S-255-14,S-255-16



(b) 试件S-315-12,S-315-14,S-315-16



(c) 试件S-315-12-t,S-315-14-t,S-315-16-t



(d) 试件端口

图 4 试件破坏形态

Fig. 4 Failure Modes of Specimens

接头抗拉强度与连接钢筋抗拉强度标准值的比值均大于 1.10,符合《钢筋机械连接技术规程》^[12]中对Ⅰ级接头强度的要求;主要试验结果如表 5 所示。

由于所有接头都是断于钢筋,这表明黏结强度充足;但是由于锚固长度过长,黏结强度发展不充分,根据公式 $\tau=f_u/(\pi dl_a)$ 计算的平均黏结强度 τ 并不能代表真实的黏结强度,计算结果要比实际的黏结强度小,计算结果见表 5。

表 5 主要试验结果

Tab. 5 Main Experimental Results

试件编号	f_y/kN	f_u/kN	f_{iu}/f_{byk}	f_{iu}/f_{buk}	τ/MPa	破坏形态
S-255-12	57.8	68.40	1.48	1.18	>14.52	钢筋断裂
S-255-14	70.7	85.40	1.33	1.10	>15.54	钢筋断裂
S-255-16	94.7	115.20	1.37	1.12	>18.34	钢筋断裂
S-315-12	51.8	62.90	1.33	1.10	>10.77	钢筋断裂
S-315-14	72.9	87.15	1.37	1.10	>12.79	钢筋断裂
S-315-16	94.9	115.90	1.37	1.13	>14.88	钢筋断裂
S-315-12-t	58.2	69.20	1.49	1.19	>14.69	钢筋断裂
S-315-14-t	70.9	85.40	1.33	1.10	>12.53	钢筋断裂
S-315-16-t	95.4	116.60	1.38	1.14	>14.97	钢筋断裂

注: f_y 为屈服荷载; f_u 为极限荷载; f_{iu} 为峰值荷载对应的试件抗拉强度; f_{byk} 为连接钢筋屈服强度标准值; f_{buk} 为连接钢筋抗拉强度标准值。

2.2 荷载-位移曲线

试件的荷载-位移曲线如图 5 所示,断裂破坏试件的荷载-位移曲线形状与钢筋轴拉试验荷载-位移曲线相似。首先是荷载上升阶段,材料处于弹性阶段,荷载-位移曲线近似呈直线;随着荷载增加,在套筒中肋前灌浆料开始被压碎,微小裂缝产生。第 2 段为水平段,钢筋屈服。在第 3 段随着位移的增加,荷载也不断上升,但较平缓,类似于单根钢筋轴向拉伸的强化阶段。此时横肋前灌浆料挤压充分,不断被压碎并且范围持续扩大,裂缝得到充分开展并始终处于套筒的有效约束中。当到达某个点后,位移继续增加,荷载却急剧下降,随着一声巨响,接头外钢筋被拉断,整个过程类似于单根钢筋单向拉伸破坏形态。对增加螺旋箍筋的方形组合套筒灌浆接头试件,荷载-位移曲线在形状上与未配置螺旋箍筋试件相似,但是承载力明显高于未配置螺旋箍筋的试件,如图 5(c)所示;通过对比 2 类套筒弹性阶段的荷载-位移曲线可以看出,带螺旋箍筋的接头试件刚度有所提升,如图 5(d)所示,造成这种现象的原因是螺旋箍筋增加了对灌浆料的约束,使得接头的整体性更好。同时可以看出配置螺旋箍筋试件的极限位移明显较未配置螺旋箍筋试件的极限位移小,减小程度达 15%,表明通过配置螺旋箍筋提高对灌浆料的约束以增强试件的整体刚度是切实可行的。

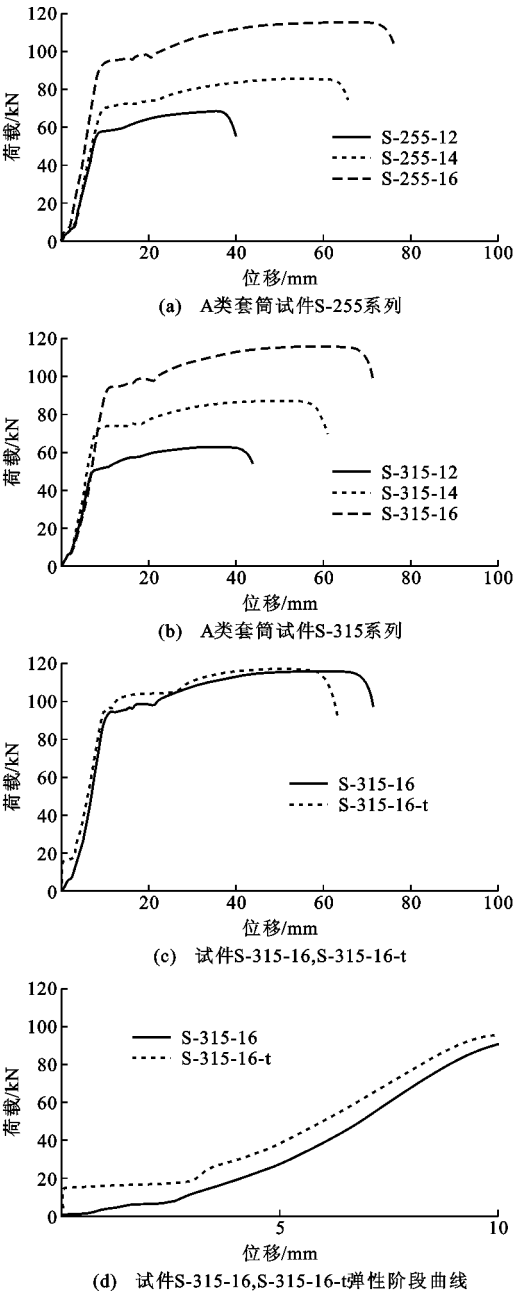


图5 试件荷载-位移曲线

Fig. 5 Load-displacement Curves of Specimens

2.3 套筒应变分布规律

分析试件 S-315-12 的表面应变,图 6 为不同荷载 N 下沿套筒表面长度方向的环向应变分布,图 7 为不同荷载 N 下沿套筒表面长度方向的轴向应变分布。通过应变值可知轴向应变和环向应变分别为拉应变和压应变,统一表现出沿套筒中线呈对称的趋势,峰值点出现在套筒中点,中点两侧逐渐减小;曲线基本都呈线性变化关系,没有明显的转折或由拉转压的趋势,不会出现类似变形套筒受拉之后在变形段部分应变复杂的现象,也从侧面反映该套筒传力简单明确,这是截面完整带来的优势,为套筒的

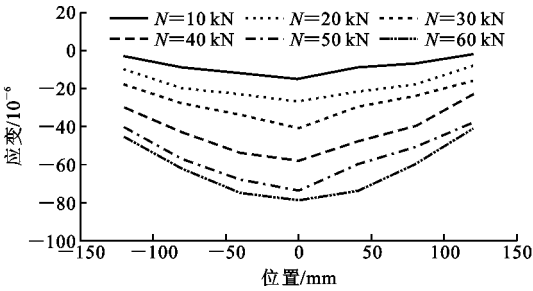


图6 试件 S-315-12 荷载-套筒环向应变曲线
Fig. 6 Load-sleeve Circumferential Strain Curves of Specimen S-315-12

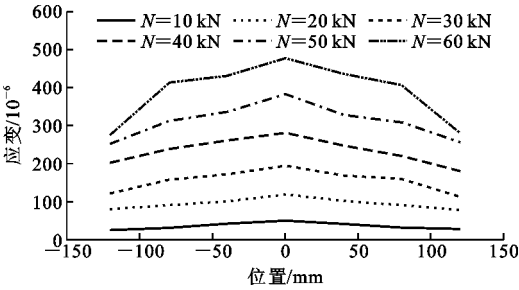


图7 试件 S-315-12 荷载-套筒轴向应变曲线
Fig. 7 Load-sleeve Axial Strain Curves of Specimen S-315-12

应用提供了保证。通过对比方形钢管与现有的其他类型套筒表面的应变值大小发现,方形钢管表面的应变较其他类型套筒小,这主要是因为组合套筒中嵌入的焊接钢筋参与受拉,分担了传过来的部分拉力。

3 组合灌浆套筒连接工作机理

套筒灌浆连接、插入式预留孔箍筋约束灌浆搭接连接^[13]以及套筒约束浆锚搭接连接^[14]是目前应用于装配式建筑中钢筋连接主要的 3 类湿连接方式,其中第 1 类连接方式是通过钢筋-灌浆料-套筒之间的黏结实现力的传递,钢筋受力后通过灌浆料与钢筋之间的黏结力传递给套筒,然后通过套筒反向传给另一端钢筋,因此对套筒本身的材料性能要求较高。插入式预留孔箍筋约束灌浆搭接连接搭接长度通常较大,而预留孔直径一般较小,钢筋不易对位插入,无疑增加了施工难度。结合前 2 类连接方式,有学者提出了套筒约束浆锚搭接连接^[14],通过力学试验研究了该连接方式的破坏机理及受力特点,接头受拉后,通过灌浆料直接将一部分拉力传递给另一端钢筋,再通过套筒将另一部分拉力传递给钢筋,正是由于这样的机理,该连接方式对套筒本身的要求不高,可以采用普通钢制作套筒。

结合之前的研究,对于本文提出的组合方形套

筒,通过方形钢管四角的钢筋参与受拉,改变了之前由套筒本身单一受拉的传力方式。接头受拉后,拉力从一端钢筋传递给灌浆料,再通过灌浆料传递给焊接钢筋和方形钢管,焊接钢筋和方形钢管同时参与受拉,再通过灌浆料传递给另一端钢筋(图 8),改善了传力方式,降低了对制作套筒本身的材料要求。值得注意的是,根据《钢筋连接用灌浆套筒》(JG/T 398—2012)^[15]中规定的套筒材料机械性能:屈服强

度 $f_y \geq 355$ MPa,抗拉强度 $f_u \geq 600$ MPa,有人认为该要求太过苛刻。郑永锋等^[9-11]利用市场上现有并常用的低合金无缝钢管(Q345 与 Q390)冷滚压而成的新型变形灌浆套筒亦无法满足该要求,所以通过寻找新型传力方式的套筒结构形式以降低套筒本身材料限制的思路是可行的。此外,由于该套筒是由各部分焊接组合而成,内腔没有车削、冷压造成的螺纹或凸起,整个截面完整,没有薄弱部位。

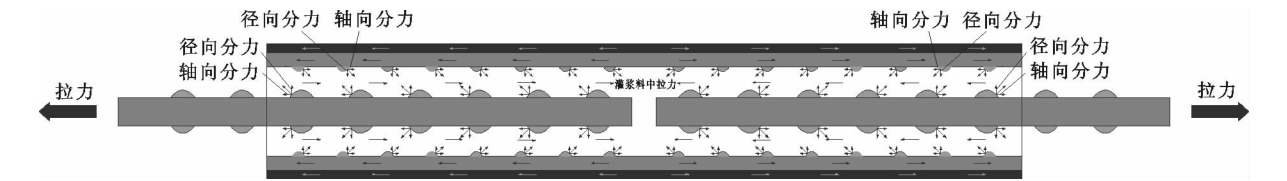


图 8 组合灌浆套筒传力机制

Fig. 8 Force Transfer Mechanism of CSGPS

当接头受拉时,套筒是一个有效的的约束条件,由楔入钢筋造成的灌浆料劈裂变形受到套筒的约束。取一个肋间距范围内的灌浆料,灌浆料受到的作用力有钢筋对灌浆料的挤压应力 P 、滑移面上的摩擦应力 μ_p ,如图 9 所示(β 为滑移面切向与钢筋纵向的夹角);将 P 和 μ_p 分别沿纵向和径向分解,二者的纵向分量之和形成黏结应力 τ ,径向分力即为内压力 δ_p ^[16]。

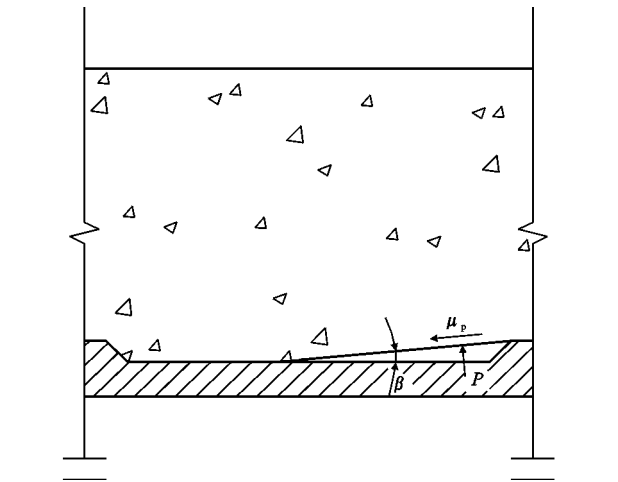


图 9 钢筋-灌浆料作用机制

Fig. 9 Mechanism of Rebar-grout Material

组合方形灌浆套筒内嵌的焊接钢筋横肋-灌浆料之间存在较大的机械咬合作用,且连接钢筋与灌浆料之间的接触面积远小于组合方形套筒内腔与灌浆料之间的接触面积,所以套筒-灌浆料之间的黏结破坏在本试验中不起控制作用。组合套筒约束了灌浆料的劈裂变形,能明显提高钢筋与灌浆料之间的黏结强度^[1-2],黏结破坏模式将转为拔出或断裂破

坏。通过对比试件 S-315-16 与 S-315-16-t,带螺旋箍筋接头的刚度有所增加,滑移明显减小,套筒中螺旋箍筋对进一步约束灌浆料,增加黏结强度,提高接头整体性有明显作用,最终能实现预期的破坏^[17-23],组合套筒约束示意图 10(a),(b)。箍筋的作用能有效改善 Ling 等^[3-5]提到的非均匀约束问题,在环向箍筋的作用下,这种不均匀的约束将通过箍筋均匀地扩散到灌浆料中去,提供更为合理的约束^[24]。

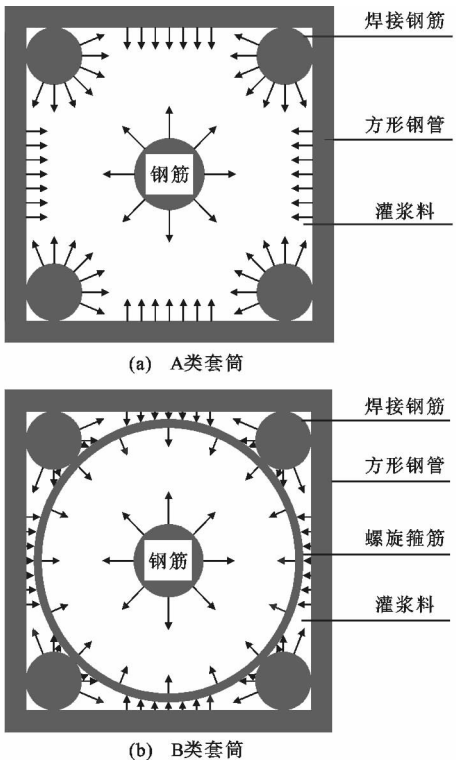


图 10 组合灌浆套筒约束示意图

Fig. 10 Confinement Diagram of CSGPS

由于该组合套筒没有经过任何的车削或冷加工,保证了截面的完整性,沿套筒长度方向每个截面都没有变化,造成套筒表面轴向应变皆为拉应变;受泊松效应的作用,所有截面的环向应变皆为压应变,不会出现由压转拉的现象,从而有利于在反复拉压作用下的后期性能。

4 结 语

(1)钢筋锚固长度为 $7.5d$ 时,组合灌浆套筒接头的抗拉强度与钢筋抗拉强度标准值之比大于 1.1,表现出良好的承载力。

(2)套筒内腔构造形式将影响接头的传力机制、应变分布以及约束机理,套筒内壁与灌浆料之间的黏结主要取决于内壁焊接钢筋与灌浆料之间的作用;由于组合套筒内腔没有经过任何形式的外加工,截面完整,所以沿套筒长度方向的轴向和径向应变均匀分布,与其他变形套筒表面的应变有很大区别。

(3)螺旋箍筋能明显增强对灌浆料的约束作用,从而提高接头的整体刚度,建议应用配置螺旋箍筋的组合套筒即 B 类套筒。

(4)当锚固长度为 $7.5d$ 时,接头断于钢筋,此时计算出来的黏结应力小于极限黏结应力,可以进一步减少锚固长度或者增加待连接钢筋的直径以便研究其极限黏结强度,并确定其合适的锚固长度。

参考文献:

References:

- [1] MALVAR L J. Bond of Reinforcement Under Controlled Confinement[J]. ACI Materials Journal, 1992, 89(6): 593-601.
- [2] MOOSAVI M, JAFARI A, KHOSRAVI A. Bond of Cement Grouted Reinforcing Bars Under Constant Radial Pressure[J]. Cement and Concrete Composites, 2005, 27(1): 103-109.
- [3] LING J H, RAHMAN A B A, IBRAHIM I S, et al. Behaviour of Grouted Pipe Splice Under Incremental Tensile Load[J]. Construction and Building Materials, 2012, 33: 90-98.
- [4] LING J H, RAHMAN A B A, IBRAHIM I S, et al. Feasibility Study of Grouted Splice Connector Under Tensile Load[J]. Construction and Building Materials, 2014, 50: 530-539.
- [5] LING J H, RAHMAN A B A, IBRAHIM I S, et al. Tensile Capacity of Grouted Splice Sleeves[J]. Engineering Structures, 2016, 111: 285-296.
- [6] EINEA A, YAMANE T, TADROS M K. Grout-filled

Pipe Splices for Precast Concrete Construction[J]. PCI Journal, 1995, 40(1): 82-93.

- [7] RAHMAN A B A, HONG T K, IBRAHIM I S, et al. Influence of Rectangular Steel Splice-sleeve for Precast Concrete Connection[J]. Jurnal Teknologi: Sciences & Engineering, 2015, 77(12): 45-54.
- [8] RAHMAN A B A, MAHDINEZHAD M, IBRAHIM I S, et al. Bond Stress in Grouted Spiral Connections[J]. Jurnal Teknologi: Sciences & Engineering, 2015, 77(23): 49-57.
- [9] 郑永峰, 郭正兴, 曹江. 新型灌浆套筒的约束机理及约束应力分布[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2015, 47(12): 106-111.
ZHENG Yong-feng, GUO Zheng-xing, CAO Jiang. Confinement Mechanism and Confining Stress Distribution of New Grouting Coupler for Rebars Splicing[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2015, 47(12): 106-111.
- [10] 郑永峰, 郭正兴. 变形灌浆套筒连接性能试验研究及有限元分析[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(3): 94-102.
ZHENG Yong-feng, GUO Zheng-xing. Experimental Study and Finite Element Analysis on Behavior of Deformed Gout-filled Pipe Splice[J]. Journal of Building Structures, 2016, 37(3): 94-102.
- [11] ZHENG Y F, GUO Z X. Parametric Study on a Novel Grouted Rolling Pipe Splice for Precast Concrete Construction[J]. Construction and Building Materials, 2018, 166: 452-463.
- [12] JGJ 107—2010, 钢筋机械连接技术规程[S].
JGJ 107—2010, Technical Specification for Mechanical Splicing of Steel Reinforcing Bars[S].
- [13] 姜洪斌, 张海顺, 刘文清, 等. 预制混凝土插入式预留孔灌浆钢筋搭接试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(10): 18-23.
JIANG Hong-bin, ZHANG Hai-shun, LIU Wen-qing, et al. Experimental Study on Plug-in Filling Hole for Steel Bar Lapping of Precast Concrete Structure[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2011, 43(10): 18-23.
- [14] 余琼, 许志远, 袁炜航, 等. 两种因素影响下套筒约束浆锚搭接接头拉伸试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2016, 48(12): 34-42.
YU Qiong, XU Zhi-yuan, YUAN Wei-hang, et al. Experimental Study of Grouted Sleeve Lapping Connectors Varied in Two Factors Under Tensile Load[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2016, 48(12): 34-42.
- [15] JG/T 398—2012, 钢筋连接用灌浆套筒[S].

- JG/T 398—2012, The Grouting Coupler for Rebars Splicing[S].
- [16] 赵卫平,肖建庄.带肋钢筋与混凝土间粘结滑移本构模型[J].工程力学,2011,28(4):164-171.
ZHAO Wei-ping, XIAO Jian-zhuang. On Bond-slip Constitutive Model Between Ribbed Steel Bars and Concrete[J]. Engineering Mechanics, 2011, 28(4): 164-171.
- [17] JANSSON P O. Evaluation of Grout-filled Mechanical Splices for Precast Concrete[R]. Lansing, Michigan Department of Transportation, 2008.
- [18] COOGLER K L, HARRIES K A, GALLICK M. Experimental Study of Offset Mechanical Lap Splice Behavior[J]. ACI Structural Journal, 2008, 105(4): 478-487.
- [19] LIM C T. The Effect of Pitch Distance of Steel Spiral Reinforcement to the Performance of Grouted Sleeve Connector Under Direct Tensile Load [R]. Kuala Lumpur; University of Technology Malaysia, 2010.
- [20] SOROUSHIAN P, CHOI K B, PARK G H, et al. Bond of Deformed Bars to Concrete; Effects of Confinement and Strength of Concrete[J]. ACI Materials Journal, 1991, 88(3): 227-232.
- [21] LOH H Y. Development of Grouted Splice Sleeve and Its Performance Under Axial Tension [R]. Kuala Lumpur; University of Technology Malaysia, 2008.
- [22] UNTRAUER R E, HENRY R L. Influence of Normal Pressure on Bond Strength[J]. ACI Journal Proceedings, 1965, 65(5): 577-585.
- [23] ROBINS P J, STANDISH I G. The Influence of Lateral Pressure upon Anchorage Bond[J]. Magazine of Concrete Research, 1984, 36(129): 195-202.
- [24] LEE G S. Parametric Studies of Sleeve Connector Using Steel Pipe With Spiral Steel for Precast Concrete Connection [R]. Kuala Lumpur; University of Technology Malaysia, 2008.