

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.03.016

钢管轻集料混凝土组合界面黏结滑移性能

傅中秋,吉伯海,陈晶晶,彭昌宪

(河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:通过对 27 根钢管轻集料混凝土试件的推出试验,研究了钢管轻集料混凝土黏结滑移的发展过程及破坏机理,考察了影响钢管轻集料混凝土黏结强度的因素,并对其中的 4 个试件进行了反复推出试验,研究了循环荷载对黏结强度的影响.初次推出试验表明:养护方式和浇筑方式对钢管轻集料混凝土组合界面的黏结强度有一定的影响,钢管内壁越粗糙,黏结强度也越大,轻集料混凝土强度对黏结强度影响不大;在试件的参数范围内,黏结强度随长细比和径厚比增长而降低.反复推出试验的结果表明:初次推出的承载力最大,同一方向推出次数增加,钢管轻集料混凝土的黏结破坏荷载和黏结强度均会降低.

关键词:钢管轻集料混凝土;推出试验;黏结强度;黏结滑移

中图分类号: TU399 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)03-0317-06

钢管混凝土结构是一种由钢管和混凝土 2 种材料结合在一起的组合结构形式,充分发挥了钢材受拉性能高和混凝土受压性能好的优点.国内外对其进行了广泛的研究,已经形成了钢管混凝土结构的计算体系,并大量应用于工程实际^[1].钢管轻集料混凝土是将钢管混凝土中的核心混凝土替换为自重轻 20%~30% 的轻集料混凝土,其自重较轻.研究表明,钢管轻集料混凝土有着比钢管普通混凝土更好的受力性能^[2-5].

2 种不同材料的组合界面对构件的整体受力性能有一定的影响^[6],钢管混凝土中钢管和混凝土之间的黏结强度直接影响 2 种材料能否共同协同工作^[7].以往大部分的研究都是假设钢管与混凝土之间应变是完全连续的,而实际上中柱轴压、长柱轴压、压弯和纯弯构件存在比较明显的滑移^[8].自 1975 年 Virdi 等^[9]的研究之后,国内外陆续进行了一些关于钢管混凝土界面黏结性能的试验研究,但相对钢管混凝土其他方面的研究,黏结性能的研究较少,并且对某些方面的结论还存在问题和分歧^[10],而对于钢管轻集料混凝土的界面黏结性能研究则更少.

目前关于钢管混凝土截面黏结滑移的试验研究方法有推离试验和推出试验 2 种^[8].推离试验能比较好地模拟使用状态下的受力变化规律,但不能测出极限状态下的黏结强度.推出试验能测得黏结强度变化全过程^[11-13],目前研究大多采用这种方法.本文通过对 27 根钢管轻集料构件的推出试验,研究了钢管轻集料混凝土的界面黏结性能,可为进一步研究钢管轻集料混凝土提供依据.

1 试验概况

1.1 材料性能和试件参数

轻质混凝土骨料为页岩陶粒,其堆积密度为 814 kg/m^3 ,筒压强度 8.5 MPa ,1 h 吸水率 6%;水泥为普通硅酸盐水泥;细骨料为中砂,细度模数 2.6,表观密度为 $2\,600 \text{ kg/m}^3$;矿粉为钟山牌 S95 矿渣微粉;减水剂为 JM-B 型萘系高效减水剂(粉状),主要成分为 β -萘磺酸亚甲基高级缩合物;水为普通自来水.

试验共采用了 3 种不同强度标号的轻集料混凝土:CL30、CL40、CL50.为测得轻集料混凝土的抗压强度和弹性模量,不同配比的混凝土各准备了 1 组 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 的立方体试块及 1 组 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 的棱柱体试块.混凝土的配合比和相应力学参数见表 1.

收稿日期:2008-06-23

基金项目:江苏省自然科学基金(BK2008359);江苏省“六大人才高峰”2007 资助项目(B类)(07-F-011)

作者简介:傅中秋(1983—)男,江苏溧水人,博士研究生,主要从事组合结构桥梁理论研究.

表 1 轻集料混凝土配合比及力学性能

强度等级	每立方米混凝土中各成分质量/kg						f_{ck}/GPa	弹性模量 /GPa	密度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
	水泥	陶粒	砂	矿粉	水	减水剂			
CL30	460	670	650		203.5		28.71	19.50	1.847
CL40	387	645	643	43	150	3.8	30.71	23.84	1.888
CL50	450	650	650	50	125	6.8	37.38	24.83	1.949

注： f_{ck} 为轻集料混凝土的轴心抗压强度。

试验采用 Q235 直缝焊接钢管,钢材的强度由拉伸实验确定,每种厚度钢管各截取一段制成标准试件,1 组 3 个,按国家标准 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》规定的方法进行.空钢管按所要求的长度加工,两端磨平以减小试件倾斜所导致的荷载偏心.轻集料混凝土浇筑时,钢管上端留 50 mm 不浇筑,成型时用直径为 5 cm 的振捣棒振捣密实,部分试件采用手工振捣密实,养护 10 d 后,用水泥浆将柱底部抹平.试件基本数据见表 2,其中 A 组试件为不同轻集料混凝土强度对比,B 组试件为不同养护方式对比,C 组试件为不同浇筑方式对比,D 组试件为不同表面状况对比,E 组试件为不同长细比对比,F 组试件为不同径厚比对比.

表 2 试件基本数据及试验结果

Table 2 Basic data and test results of specimens

试件 编号	钢管尺寸/mm			长细比 ($4L_0/D$)	径厚比 (D/t)	f_{ck}/MPa	黏结破坏 荷载/kN	黏结强度 τ/MPa	试件 编号	钢管尺寸/mm			长细比 ($4L_0/D$)	径厚比 (D/t)	f_{ck}/MPa	黏结破坏 荷载/kN	黏结强度 τ/MPa
	D	t	L_0							D	t	L_0					
A-1-a	114	4	350	12.28	28.5	28.71	169.5	1.45	C-5-c	114	4	350	12.28	28.5	28.71	147.1	1.26
A-1-b	114	4	350	12.28	28.5	28.71	162.9	1.40	D-6-a	114	4	350	12.28	28.5	28.71	291.7	2.50
A-1-c	114	4	350	12.28	28.5	28.71	163.5	1.40	D-6-b	114	4	350	12.28	28.5	28.71	273.4	2.35
A-2-a	114	4	350	12.28	28.5	30.71	181.6	1.56	D-6-c	114	4	350	12.28	28.5	28.71	289.8	2.49
A-2-b	114	4	350	12.28	28.5	30.71	181.8	1.56	E-7-a	114	4	490	17.19	28.5	28.71	318.4	1.95
A-2-c	114	4	350	12.28	28.5	30.71	167.2	1.43	E-7-b	114	4	490	17.19	28.5	28.71	370.4	2.27
A-3-a	114	4	350	12.28	28.5	37.38	161.7	1.39	E-7-c	114	4	490	17.19	28.5	28.71	336.1	2.06
A-3-b	114	4	350	12.28	28.5	37.38	165.3	1.42	E-8-a	114	4	780	27.37	28.5	28.71	380.2	1.46
A-3-c	114	4	350	12.28	28.5	37.38	158.4	1.36	E-8-b	114	4	780	27.37	28.5	28.71	362.0	1.39
B-4-a	114	4	350	12.28	28.5	28.71	145.8	1.25	E-8-c	114	4	780	27.37	28.5	28.71	400.4	1.54
B-4-b	114	4	350	12.28	28.5	28.71	150.1	1.29	F-9-a	114	2.5	350	12.28	45.6	28.71	184.5	1.53
B-4-c	114	4	350	12.28	28.5	28.71	145.2	1.25	F-9-b	114	2.5	350	12.28	45.6	28.71	174.2	1.45
C-5-a	114	4	350	12.28	28.5	28.71	148.0	1.27	F-9-c	114	2.5	350	12.28	45.6	28.71	177.7	1.47
C-5-b	114	4	350	12.28	28.5	28.71	153.9	1.32									

注:(a) D 为钢管外径, t 为钢管壁厚, L_0 为混凝土与钢管的接触面长度;(b)黏结强度为抗剪黏结强度, $\tau=N_u/(\pi L_0 D_0)^{[11-13]}$,其中 N_u 为峰值点或荷载-滑移曲线拐点所代表的荷载值, D_0 为钢管内径;(c)浇筑方式除 C 组为手工振捣外,其余均为机械振捣;(e)养护条件除 B 组为密封养护外,其余均为自然养护;(d)表面状况 A、B、C 组为无锈,D、E、F 组为有锈。

1.2 加载装置及仪表布置

试验在河海大学结构工程实验室进行.加载架为 5 000 kN 大型四柱压力机的加载台架,采用 3 000 kN 油压千斤顶加载,荷载由 500 kN 压力传感器测量.试验用位移计 2 个,借助磁力表座分别置于钢管柱下端的固定板上,用以测定钢管与核心混凝土的相对位移.试验全过程采用 TS3890 拟动态应变仪和计算机组成的数据自动采集系统对各传感器实行连续的数据采集.

加载前先预加 1~2 kN 的荷载,使千斤顶、钢板、试件之间挤压紧密,然后卸载.试验时,根据估计的推出荷载进行分级加载,每级加载量约为预计极限荷载的 1/20,加载 2~3 min 后,缓慢增加加载速度.当钢管与核心混凝土之间开始出现明显的非线性滑动后,采用缓慢连续加载,直至混凝土出现一段明显的滑移过程时,开始卸载.为充分了解试件发生黏结破坏后的残余黏结性能,对其中的 4 个试件在初次推出试验后,将试件倒置,重新加载(相当于反向)至钢管与核心混凝土之间滑移达最大值,然后卸载.重复上述过程,共进行 4 次,即反复推出试验.试验的加载与测量装置如图 1 所示.

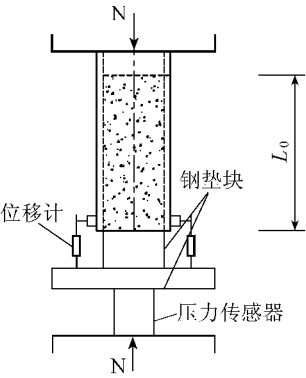


图 1 试验装置

Fig. 1 Loading and measurement system

1.3 试验破坏过程及现象

试验开始时缓慢加载,加载端出现了明显的滑移,位移计的读数变化较大.加载到黏结破坏时,可以听到突然脆性的响声.随着荷载的增加,位移计读数不断加大,响声也逐渐增多.当达到最大值后一段时间,荷载变化不明显,而此时位移计读数仍在增加,说明钢管和核心混凝土之间的相对滑移仍在继续.再加载一段时间,荷载开始减小而位移仍在增大,直至核心混凝土被推出,位移达到试验所能测得的最大值.试验结束后观察发现,混凝土有明显的滑移,端部有压碎的现象,试件 F-9 的钢管空隙端出现明显的鼓曲,而其他试件均没有.

2 初次推出试验结果分析

2.1 界面黏结破坏机理分析

钢管轻集料混凝土组合界面的黏结力与钢管和普通混凝土之间的黏结力^[11-12]一样,也是由 3 部分组成:(a)水泥凝胶体与钢管接触表面之间的化学胶结力,一般很小,在不大的应变下即足以产生使胶结力破坏的局部滑移,该胶结强度与混凝土的性质有关;(b)粗糙不平的钢管内表面与混凝土之间的咬合力,主要源于混凝土凸齿的抗剪切能力,取决于钢管表面的粗糙程度和混凝土的抗剪强度;(c)钢管与混凝土接触面之间的摩擦力,与接触面的摩擦系数和法向压力的大小成正比.摩擦系数是由钢管和混凝土接触面的粗糙程度决定的,而法向压力是指钢管对混凝土的约束作用.钢管对混凝土的约束作用是由于混凝土在纵向荷载作用下发生了横向应变,受到钢管约束产生的.

由于黏结力的存在,混凝土通过与钢管的接触面,将纵向力传递给钢管,钢管受到混凝土横向挤压,使得钢管处于双向受力状态,这将引起钢管对混凝土的约束作用减弱^[14],使得产生摩擦力的法向应力减小.由于钢管内径不可能绝对均匀,即钢管存在宏观偏差^[9],混凝土从内径大的钢管段向内径小的钢管段移动时,钢管的约束作用增大,也会导致摩擦力的增大.摩擦力要在钢管与混凝土发生滑移后才得以显现,在钢管与混凝土发生明显的滑移之前,黏结力主要由化学胶结力和咬合力组成.

图 2 为典型的黏结滑移发展过程示意曲线,与钢管普通混凝土类似^[11-12].(a)在加载初期,钢管与核心混凝土界面的黏结力完全由胶结力构成,钢管与混凝土之间尚无相对滑动;(b)混凝土顶部有荷载的作用,底部没有接触约束,位移可自由发展,随着加载增大,试件两端局部范围内的钢管与核心混凝土之间胶结力开始破坏,出现微小滑动,而钢管表面凹凸不平所产生的咬合力开始发挥作用;(c)随着荷载的进一步增大,端部滑移开始增大并向中间段发展,此时胶结力只存在于中间尚无相对滑移的界面上,其他部位的黏结力由咬合力产生;(d)当胶结力和咬合力达到最大值时,达到黏结极限破坏荷载 N_u ;(e)当胶结力完全破坏时,钢管与核心混凝土在整个界面长度上发生相对滑移,同时在相对滑移较大的部位,咬合力也部分损失,由摩擦力和残余的咬合力开始承担钢管与核心混凝土之间的黏结力;(f)随着滑移的增大,咬合力最终全部失效,界面黏结力将开始全部或主要由摩擦力承担.

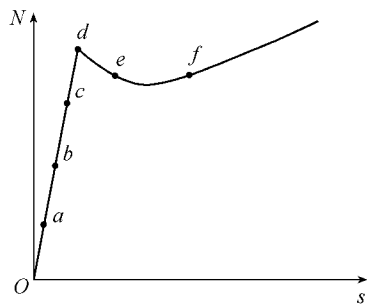


图 2 黏结破坏发展过程

Fig. 2 Development of bond slip

2.2 试验结果分析

如图 3 所示,在刚开始加载阶段,混凝土相对滑移呈线形增长趋势,且增长速度比较慢.当达到或接近极限破坏荷载后,相对滑移增长速度很快,此时试件的黏结强度已破坏.超过极限荷载后,随着荷载的减小,滑移仍快速增长.黏结-滑移曲线分为 2 类,一类是有明显峰值点,另一类是没有明显峰值点.试验实测初次推出荷载-滑移曲线见图 4.图中 N_u 为极限破坏荷载,取曲线峰值点或拐点.以往的文献中没有出现本次试验中的③⑥ 2 种下降情况^[11-13].本文根据试验可以将黏结-滑移曲线分为图 3 所示的 2 类 6 种情况.

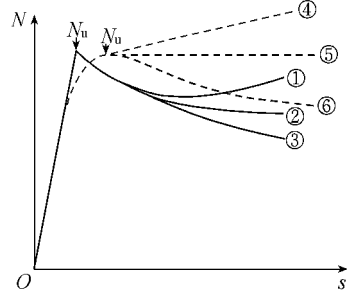


图 3 荷载-滑移曲线分析

Fig. 3 Analysis of load-slip curves

a. 曲线具有明显峰值点.由于滑移速度在宏观上仍属于低速度运动,故可以不考虑滑移的加速度.钢管与混凝土之间没有发生相对滑移时,承载力等于试件界面胶结力和咬合力之和,发生相对滑移后承载力等于摩擦力.当胶结力和咬合力之和大于初始摩擦力时,界面黏结破坏,初始摩擦力不足以平衡之前的承载力,曲线就会出现明显的峰值荷载点和之后的下

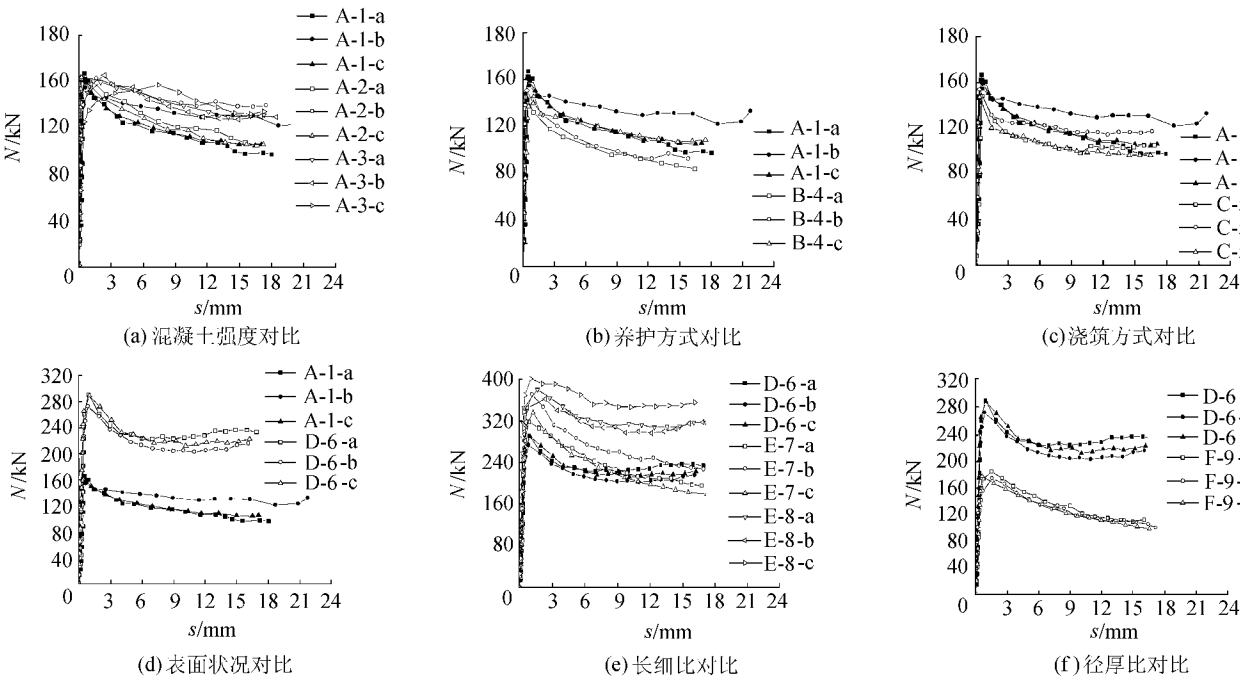


图4 初次推出荷载-滑移曲线

Fig. 4 Load-slip curves of the first push-out tests

降段.由于宏观偏差的存在,曲线在出现下降段之后,呈现3种不同的变化趋势.趋势①是由于钢管宏观偏差较大,摩擦力增大,导致荷载增大.趋势③是宏观偏差很小,并且混凝土与钢管接触面随着滑移摩擦,粗糙程度降低导致摩擦力减小,宏观偏差导致的摩擦力的增大不足以弥补粗糙程度降低导致的摩擦力的降低,从而荷载减小.趋势②是介于①和③之间的中间状态.

b. 曲线没有明显峰值点.当试件胶结力和咬合力之和小于初始摩擦力时,即界面黏结破坏后,荷载值等于初始摩擦力而继续增大,故曲线在拐点之后不出现峰值点和下降段.曲线在拐点之后同样有3种变化趋势,即钢管宏观偏差大,呈趋势④变化,反之呈趋势⑥变化,趋势⑤是④和⑥的中间状态.

2.3 影响黏结强度的因素分析

a. 混凝土强度.如图5所示,根据本次A-1、2、3等3组不同的轻集料混凝土强度试件试验结果,黏结强度没有呈现规律性变化,可见混凝土强度与钢管混凝土界面黏结强度关系不大.这与文献[8-10]对钢管普通混凝土界面黏结强度的研究结果一致.但文献[11]和[12]对钢管普通混凝土的研究结果是黏结强度随混凝土的强度增高而增大.

b. 养护方式.A-1和B-4试件分别为自然养护和密封养护的对比.如图5所示,自然养护的黏结强度明显高于密封养护,养护方式对钢管轻集料混凝土界面黏结强度有一定影响.对于混凝土而言,自然养护的干缩要高于密封养护.通常认为混凝土的干缩会使核心混凝土与钢管有脱离的趋势,从而降低黏结强度^[8,10-12].事实上干缩使得混凝土有脱离钢管的趋势,但并没有真正脱离,产生了混凝土与钢管之间接触面上的内部拉应力,其大小要小于胶结力.当荷载加上后,混凝土产生横向应变,有向钢管挤压的趋势,这于干缩的效果正好相反,荷载有一部分被干缩产生的内部应力抵消掉.在干缩没有导致混凝土与钢管真正脱离之前,混凝土干缩越大,抵消的荷载越多,从而使得试验测得的黏结强度越高.

c. 浇筑方式.A-1和C-5试件分别为机械振捣和人工振捣浇筑对比.由图5可知,机械振捣的试件黏结强度要高于手工振捣.机械振捣成型的试件混凝土的密实度好,可以保证钢管和混凝土共同工作,黏结强度较大.当混凝土在浇筑不密实的条件下,钢管与混凝土之间会存在缝隙,界面的黏结力降低,黏结强度也随之降低.

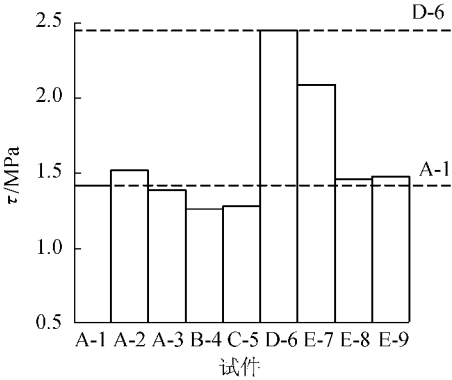


图5 试件的黏结强度比较

Fig. 5 Comparison among bond strengths of specimens

d. 表面状况.由图 5 可知,表面光滑的 A-1 组试件和表面粗糙未除锈的 D-6 组试件对比,表面粗糙有利于钢管黏结强度的提高.这是因为钢管表面越粗糙,咬合力“就越大,界面的摩擦力也相对越大,因而导致黏结破坏荷载和黏结强度均较大.

e. 长细比. D-6、E-7、E-8 等 3 组试件的长细比分别为 12.28、17.19 和 27.37.由图 4(e)可知,极限破坏荷载随长细比增大而增大,根据图 5,黏结强度随着长细比增大而降低.文献 [8-9] 对钢管普通混凝土长细比 4~12 的试件进行研究,结果是黏结强度随试件长细比的增加有增大的趋势,与本文试验研究的长细比范围不同.而文献 [11-12] 和文献 [15-16] 研究结果则是钢管混凝土的长细比对黏结强度影响不明显.

f. 径厚比. D-6 和 F-9 试件的径厚比分别为 28.5 和 45.6.图 5 表明,径厚比越大,黏结强度越低,结论与文献 [17] 一致.图 6 为文献 [8-9] 对钢管普通混凝土径厚比在 16.7~34.5 的研究结果,离散性比较大.在长细比从 25.5 变化到 35 时,黏结强度增大,从 35 变化到 35.5 时,黏结强度减小[8-9].但从图 6 可以看出,对应本文试验的 2 组长细比,其变化趋势与本文试验结果一致.由于本文试验试件钢管表面粗糙,故曲线整体高于文献 [8-9] 的曲线.

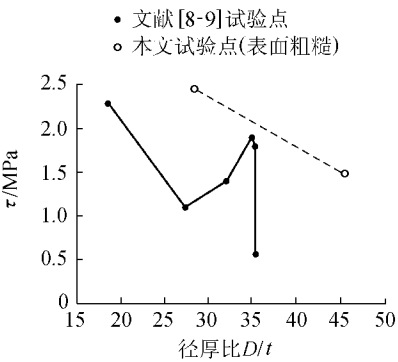


图 6 黏结强度-径厚比曲线
Fig. 6 $\tau \sim D/t$ curves

3 反复推出试验结果分析

图 7 为反复推出试验所测得的荷载-滑移曲线, n 表示第几次推出.由图 7 可以看出以下几个现象:

a. $n = 2, 3, 4$ 时的黏结破坏荷载均小于 $n = 1$ 的黏结破坏荷载,并且在黏结强度破坏之前, $n = 2, 3, 4$ 时的混凝土相对滑移速度要比 $n = 1$ 时快.这是由于初次推出试验时,钢管与混凝土接触面之间有较强的胶结力和咬合力,并承担了部分承载力,限制了滑移的自由增长,故黏结破坏荷载较大,滑移增长较缓慢.而后续的推出试验中,胶结力已不存在,咬合力很小,承载力主要靠摩擦力承担,其值比初次低,混凝土滑移速度也较初次大.界面胶结力和咬合力对钢管轻集料混凝土的黏结承载力和黏结强度影响很大.

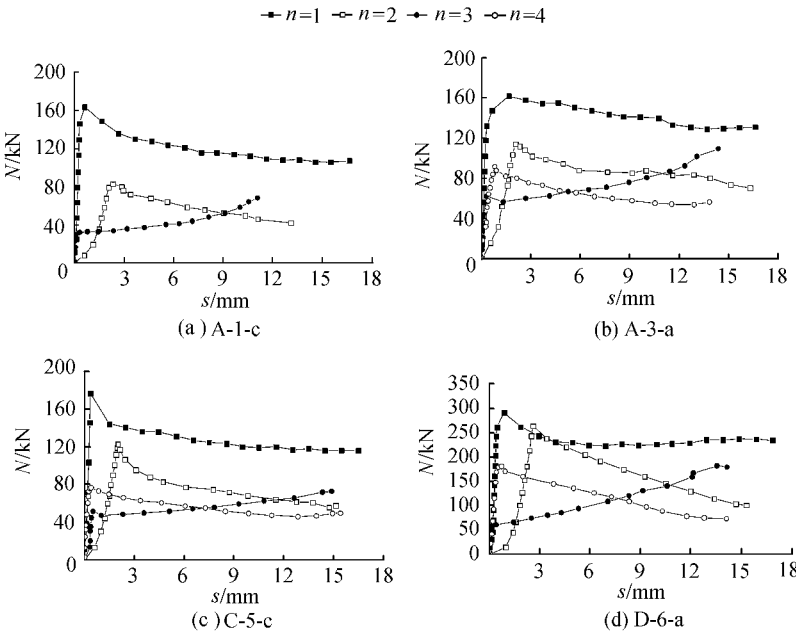


图 7 反复推出荷载-滑移曲线
Fig. 7 Load-slip curves of repeated push-out tests

b. 在同一方向上, n 越大,黏结破坏荷载越低.这是由于在同一方向上,随着推出次数的增多,混凝土与钢管的接触面之间摩擦,导致粗糙程度逐渐降低,破坏荷载值和黏结强度也逐渐减小.

c. 在破坏点之后,同一方向,即 $n = 1$ 与 $n = 3$ 及 $n = 2$ 与 $n = 4$ 的推出的荷载-滑移曲线有逐渐接近的趋势.钢管的宏观偏差会影响破坏点之后的荷载-滑移曲线走向,这是由于钢管内径不严格均匀导致摩擦力变化引起的.这种摩擦力增大较多,大于原有的摩擦力时,则会导致曲线向上发展趋势,当增大程度不足以抵消由于接触面粗糙度减小而导致的摩擦力损失时,曲线则成向下发展趋势.宏观偏差越大,荷载-滑移曲线在破坏点后,越会有向上发展的趋势.对于同一个试件,钢管的宏观偏差是固定的,在同一方向的前一次滑移导致接触面粗糙程度降低,接触面粗糙引起的摩擦力减小.相对于接触面粗糙引起的摩擦力减小,钢管的宏观偏差所引起的效用呈增大趋势,这导致后一次推出试验曲线向前一次接近的趋势.

4 结 论

- a. 钢管轻集料混凝土初次推出试验的荷载-滑移曲线呈现出有明显峰值点和无明显峰值点2种.当钢管与轻集料混凝土接触面的胶合力及咬合力之和大于摩擦力时,曲线有明显峰值点,反之则无.
- b. 养护方式和浇筑方式对钢管轻集料混凝土的黏结强度有一定的影响.自然养护的黏结强度高于密封养护,机械振捣浇筑的黏结强度高于手工振捣.
- c. 轻集料混凝土强度对黏结强度影响不大,钢管内壁越粗糙,黏结强度也越大;在本文试件的规格范围内,黏结强度随长细比和径厚比增长而降低.
- d. 反复推出试验中,初次推出的黏结破坏荷载和黏结强度最大.同时,随着同方向推出次数的增加,钢管轻集料混凝土的黏结破坏荷载和黏结强度均会降低.

参考文献:

- [1] 韩林海. 钢管混凝土结构:理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [2] 吉伯海, 王晓亮, 马敬海, 等. 钢管高强轻集料混凝土短柱轴压性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2005, 26(5): 60-65.
- [3] 吉伯海, 陈甲树, 王晓亮, 等. 受荷方式对钢管轻集料混凝土短柱轴压性能的影响[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2006, 36(4): 590-595.
- [4] 吉伯海, 胡正清, 陈甲树, 等. 圆钢管轻集料混凝土构件抗弯性能的试验研究[J]. 土木工程学报, 2007, 40(8): 35-40.
- [5] 吉伯海, 周文杰, 王晓亮. 钢管轻集料混凝土中长柱轴压性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(5): 118-123.
- [6] 袁广林, 刘林, 闫玉红. 高温后钢筋黏结滑移力学性能试验[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2008, 38(3): 358-362.
- [7] 钟善桐. 钢管混凝土中钢管与混凝土的共同工作[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34(1): 6-10.
- [8] 姜绍飞, 韩林海, 乔景川. 钢管混凝土中钢与混凝土黏结问题初探[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(2): 24-28.
- [9] VIRDI K S, DOWLING P J. Bond strength in concrete filled steel tubes[J]. IABSE Periodica, 1980(3): 125-139.
- [10] 刘永健, 刘君平, 郭永平, 等. 钢管混凝土界面黏结滑移性能[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2007, 27(2): 53-57.
- [11] 薛立红, 蔡邵怀. 钢管混凝土柱组合界面的黏结强度(上)[J]. 建筑科学, 1996(3): 22-28.
- [12] 薛立红, 蔡邵怀. 钢管混凝土柱组合界面的黏结强度(下)[J]. 建筑科学, 1996(4): 19-23.
- [13] 刘永健, 池建军. 钢管混凝土界面抗剪黏结强度的推出试验[J]. 工业建筑, 2006, 36(4): 78-80.
- [14] 王刚, 王福建, 徐叶琴. 界面滑移的钢管混凝土力学特性试验研究[J]. 江南大学学报:自然科学版, 2004, 4(4): 398-402.
- [15] SHAKIR K H. Push-out strength of concrete-filled steel hollow sections[J]. The Structural Engineer, 1993, 71(13): 230-233.
- [16] SHAKIR K H. Resistance of concrete-filled steel hollow tubes to push-out forces[J]. The Structural Engineer, 1993, 71(13): 234-243.
- [17] ROEDER C W, CAMERON B, BROWN C B. Composite action in concrete filled tubes[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1999, 125(5): 477-484.

Mechanical behaviors of bond slip at interface of lightweight aggregate concrete for steel tubes

FU Zhong-qiu, JI Bo-hai, CHEN Jing-jing, PENG Chang-xian

(College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the push-out tests on 27 lightweight aggregate concrete-filled steel tubes (LACFST), the development of bond slip and the failure mechanism of the lightweight aggregate concrete were studied, and the factors affecting its bond strength were investigated. The repeated push-out tests of four of the specimens were conducted, and the effect of the cyclic load on the bond strength was studied. The first time push-out test results indicate that the curing and concrete-pouring ways have a certain effect on the bond strength of the lightweight aggregate concrete-filled steel tube interfaces: the rougher the inner surface condition of the steel tubes is, the larger the bond strength is. The strength of the lightweight aggregate concrete has little effect on the bond strength. Within the specifications of test specimens, the larger the slenderness ratio and the diameter-thickness ratio are, the lower the bond strength is. The repeated push-out test results show that the bearing capacity of the first time push-out tests is the largest. The failure load and bond strength of the lightweight aggregate concrete for steel tubes will decrease with the increase of the push-out time in the same direction.

Key words: lightweight aggregate concrete for steel tubes; push-out test; bond strength; bond slip