

钢筋拔出试验中粘结破坏过程缺陷源定位分析

欧阳利军¹, 陆洲导¹, 吕海波², 赵艳林^{2,3}

(1. 同济大学结构工程与防灾研究所, 上海 200092; 2. 广西大学土木建筑工程学院, 南宁 530004;
3. 桂林工学院土木工程系, 桂林 541004)

摘要: 为确定声发射源定位技术在混凝土检测中的精度, 同时验证所采用的声发射检测参数值的合理性。通过3D定位法分析了混凝土中心拔出试件在粘结破坏过程中试件内部缺陷源发展情况。分析结果与实际情况相吻合, 所采用的声发射参数设置值使源定位获得了较高的精度。

关键词: 混凝土; 粘结破坏; 源定位

中图分类号: TU 112.2; TU 528

文献标识码: A **文章编号:** 1671-4431(2008)10-0073-04

Analyse on Source Location of Defects During Bond Damage Process in Pull-out Test

OUYANG Li-jun¹, LU Zhou-dao¹, LV Hai-bo², ZHAO Yan-lin^{2,3}

(1. Research Institute of Structural Engineering & Disaster Reduction, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. School of Civil Engineering & Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Department of Civil Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to know source location precision of AE technique and validate the rationality of the setting of AE detecting parameter value in concrete detection, inner defects in pull-out samples during bond damage was analyzed by 3D location method. Compared with practical results, reasonable analysis results were gained. Highly precise source location was gotten with detecting parameter value adopted in this paper.

Key words: concrete; bond damage; source location

无损检测方法的一个非常重要的目的就是发现了材料或结构中的缺陷, 而声发射检测技术的核心问题是由接收的信号反推到声发射源的问题, 即所谓的“反向源”或“逆源”问题。声发射信号处理的最终目的是了解声发射源的位置、源的性质和源的严重性程度^[1]。声发射源的位置是研究者们了解材料或结构损伤情况最为直观的途径, 也是近年来研究的热点问题。但是由于波形处理技术和声发射采集系统发展滞后, 声发射在混凝土结构中的源定位技术还处于初步发展阶段, 而且现阶段混凝土构件中的源定位精度还较低。作者采用3D时差定位方法研究了混凝土中心拔出试件粘结破坏过程中试件内部缺陷源的发展情况, 并分析了该试验中的时差定位精度, 为混凝土结构构件声发射源定位分析提供了依据。

1 粘结破坏过程中的声发射源及源定位方法

一般来说, 材料内部的声发射源的形式包括晶体结构变化、滑移变形、孪生变形、裂纹的形成和扩展、复

收稿日期: 2008-06-13.

基金项目: 国家自然科学基金(50578126).

作者简介: 欧阳利军(1982-), 男, 博士生. E-mail: ouyang9604@163.com

合材料中不同相界面的脱落等。在混凝土构件中,前3种源类型是不存在的,对于素混凝土结构,其内部的声发射源主要是由于裂纹的形成和扩展而形成的。在钢筋混凝土中,除了素混凝土中的源类型外,还包括钢筋与水泥基体间的粘结滑移形成的声发射源^[2]。

混凝土中心拔出试件在达到极限破坏之前发出的声发射信号主要由裂纹的出现和扩展引起,这些动态的缺陷不断以弹性波的形式向四周释放能量,形成了声发射源。由于混凝土属于脆性材料,受载时的裂纹出现和裂纹扩展发出的声发射信号具有典型的突发性。因而宜采用时差定位方法和区域定位方法^[3]。对于混凝土试件而言,不同的定位方法所定义的声发射源位置计算方法不一样。区域定位按传感器各监视各区域的方式或者记录按信号到达顺序的方式粗略确定声发射源的位置。在区域定位中,可以将传感器接受的一个撞击定义为一个事件。而时差定位通过对各个通道信号到达时间差、声发射在检测材料中的传播波速和传感器之间的距离等参数的测量经一定的算法运算,较精确地确定声发射源的位置。混凝土试件中的时差定位方法主要包括线定位、平面定位以及3D定位,所以在时差定位中,以2个以上的撞击来定义一个事件(动态缺陷)。文中的粘结破坏试验中宜采用3D定位法。

2 试验准备及定位精度分析

混凝土材料中的声发射定位精度影响因素非常多,所以在进行检测前必须对检测环境下的源定位精度有大致地了解。文中采用RMT-201岩石与混凝土力学试验系统进行混凝土中心拔出试验,并用SAMOS-48型声发射仪监测整个试验过程。进行破坏试验前,在150 mm×150 mm×150 mm试件上固定4个R6型传感器,试件破坏过程中的缺陷源位置采用3D时差定位法算法计算得到,计算数据来自传感器接收到的4个以上的撞击。传感器布置方式见图1,前期试验确定的声发射参数设置如表1所示。

试验通过铅芯折断对试件在受载过程中的定位精度进行初步的预测。为了真实的模拟试件在加载时的环境,选择在试件预压过程中进行断芯,断芯角度为30°,断芯位置为试件正面和背面的几何中心,正面和背面各断芯5次,如图2所示。正面断芯位置坐标为(75 mm, 75 mm, 0 mm),背面断芯位置坐标为(75 mm, 75 mm, 150 mm)。

表1 试验确定的声发射参数设置

主要声发射信号参数	参数值
信号波速/(m·s ⁻¹)	5 000
信号衰减曲线	断芯试验确定
峰值定义时间/μs	150
撞击定义时间/μs	300
撞击闭锁时间/μs	500

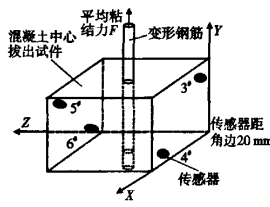


图1 传感器布置图

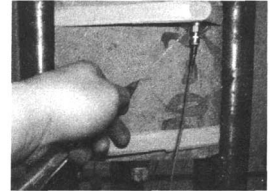


图2 预载过程中铅笔折断示意图

表2 源位置坐标精度分析

断芯次序	理论坐标/mm	采集系统计算坐标/mm	X轴误差/%	Y轴误差/%	Z轴误差/%	总误差/%
1	(75, 75, 0)	(69.72, 74.51, 26.56)	7.04	0.65	17.71	25.55
2	(75, 75, 0)	(70.25, 75.00, 28.29)	6.33	0.00	18.86	27.06
3	(75, 75, 0)	(67.01, 74.08, 27.39)	10.65	1.23	18.26	26.93
4	(75, 75, 0)	(70.25, 75.20, 27.90)	6.33	0.27	18.60	26.70
5	(75, 75, 0)	(69.90, 75.20, 26.23)	6.80	0.27	17.49	25.21
6	(75, 75, 150)	(74.38, 77.08, 127.50)	0.83	2.77	15.00	21.32
7	(75, 75, 150)	(70.33, 74.48, 130.80)	6.23	0.69	12.80	18.64
8	(75, 75, 150)	(71.79, 69.96, 127.20)	4.28	6.72	15.20	22.23
9	(75, 75, 150)	(71.98, 72.45, 129.00)	4.03	3.40	14.00	20.15
10	(75, 75, 150)	(72.00, 73.40, 131.30)	4.00	2.13	12.47	17.93

由表2中的数据可知,预压过程中拔出试件内部声发射源的定位精度较高,而且加载过程能够真实反映正式试验过程的噪声环境以及试件的受力状况,说明在该试验中的声发射检测受到的噪声干扰非常小。因而推知,拔出试件在受载过程中发生粘结破坏时,声发射检测系统能够较为准确地计算并显示出其试件内部

的缺陷源位置以及缺陷源的发展趋势。

3 缺陷源定位分析

从上述定位精度的分析可知,该试验过程中的声发射定位效果比较好。尤其是在 XY 面上的实际断芯位置和软件计算得出的源位置非常相近,所以可以通过声发射定位显示系统实时、较准确地判断肉眼不可见的试件内部 XY 投影面缺陷的位置以及缺陷发展的趋势,而且通过 ZX 投影面、ZY 投影面、3D 图也可以得出粗略的缺陷源的情况。

下面以钢筋腐蚀程度为 1.15% 的中心拔出试件为例(极限粘结强度为 35.37 kN),重点分析试件在达到极限破坏之前,试件内缺陷源的发展情况。拔出试件采用直径为 20 mm 的 HRB335 变形钢筋(月牙纹);混凝土配合比为,水:水泥:砂:碎石=0.57:1:6.5:11.5。

由图 3 中试件缺陷源投影图可知,应力水平为 8.29% 时,中心拔出试件处于微滑阶段,根据 XY 和 YZ 投影图,缺陷源主要集中于试件上部(面 $Y = 110$ mm 附近),这些声发射源为粘结界面上端混凝土受钢筋变形肋的斜向挤压产生的微裂缝。实际上,拔出试件处于微滑阶段时,试件从上端开始破坏,粘结力还未传递到试件下部,因而在定位图上仅看到非常少的缺陷源。

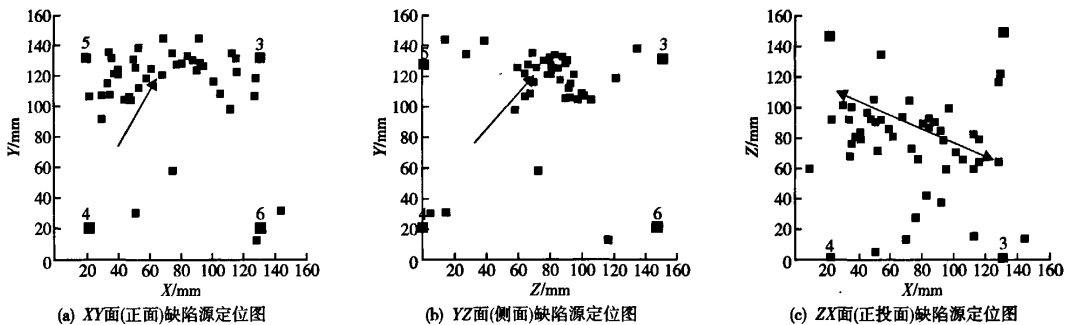


图3 应力水平为8.29%时(60 s)的源定位图

由图 4、图 5 中试件缺陷源投影图可知,应力水平在 14.74% 到 45.02% 之间时,中心拔出试件处于滑移阶段,此时粘结界面的化学胶着力基本丧失,试件下部开始出现较多缺陷,而且在 ZX 面上发现缺陷向变形肋的方向集中(图中箭头指向代表变形肋的分布方向),说明试件内大部分微裂缝是由变形肋与混凝土胶着力失效引起。

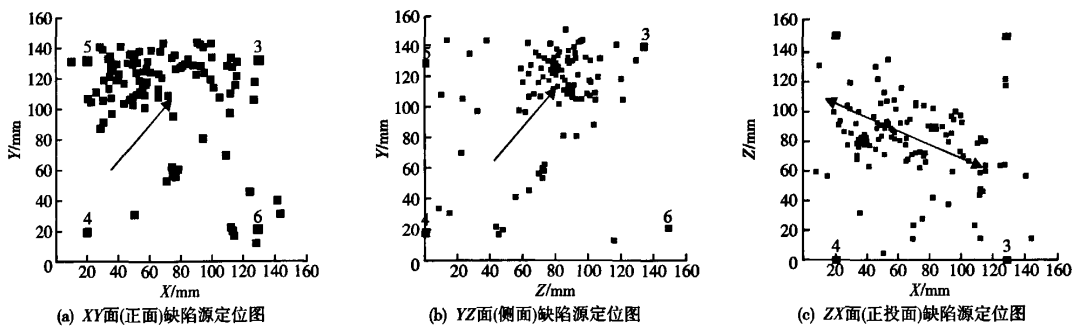


图4 应力水平为14.74%时(100 s)的源定位图

由图 6 中试件缺陷源投影图可知,当达到极限应力水平时,中心拔出试件处于劈裂段后期,试件下部开始出现较多裂纹,此时变形肋与混凝土的机械咬合力大幅度降低,同时在变形肋周边出现较多裂纹,在 ZX 面上仍可以看到变形肋的方向的缺陷较多(图中箭头指向代表变形肋的分布方向)。

由图 7 中试件缺陷源投影图可知,粘结滑移开始进入残余段,钢筋与混凝土出现较大的滑移,此时试件中出现非常多钢筋与混凝土的摩擦引起的声发射信号,这种信号分布于整个粘结段,使得缺陷几乎分布在整个试件,因而,试件下部出现的事件数与上部出现的事件数相差不大,变形肋与混凝土机械咬合破坏较少,混凝土粘结界面基本破坏。

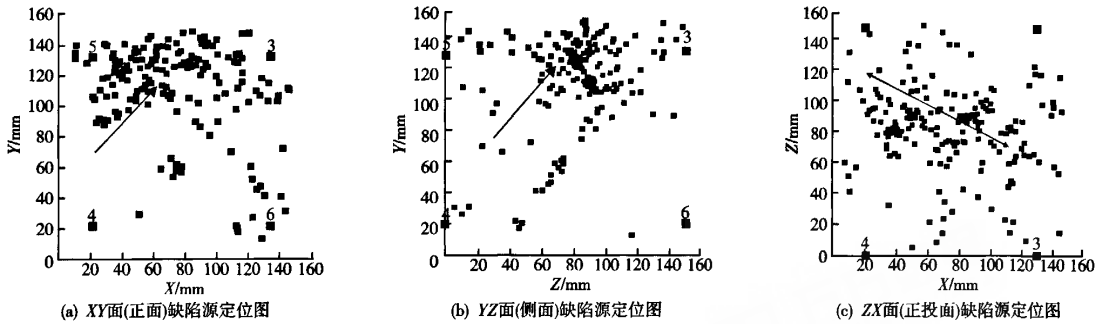


图5 应力水平为45.02%时(180 s)的源定位图

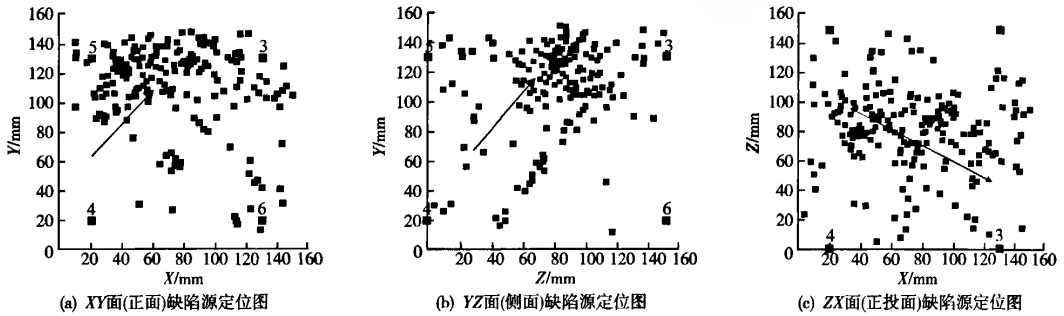


图6 达到极限应力水平时(276 s)的源定位图

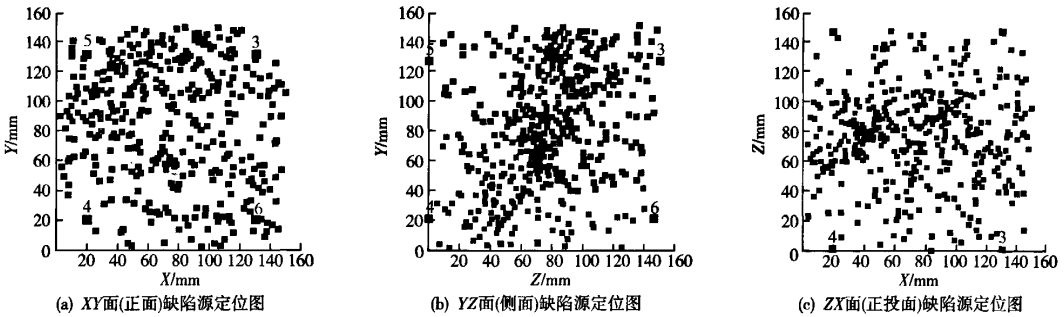


图7 粘结-滑移曲线残余段时(420 s)的源定位图

4 结论

a. 通过预压过程中10次断芯模拟源的定位精度分析得出:合理的声发射参数设置保证了试验过程中系统定位软件计算出的源缺陷位置坐标的准确性,铅芯折断模拟效果好。

b. 声发射定位软件可以识别出中心拔出试件不同粘结破坏阶段,缺陷源在试件内部的分布情况以及缺陷源的发展趋势,而且可以识别出钢筋变形肋的位置,很好地解释了试件内部缺陷源的特征,符合实际情况。

参考文献

[1] 沈功田,耿荣生,刘时风. 声发射源定位技术[J]. 无损检测, 2002, 24(3): 114-117.
 [2] 陈兵,姚武,吴科如. 声发射技术在混凝土研究中的应用[J]. 无损检测, 2000, 22(9): 387-390.
 [3] 国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材编审委员会. 声发射检测[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
 [4] Sagaidak A I, Elizarov S V. Acoustic Emission Parameters Correlated with Fracture and Deformation Processes of Concrete Members[J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(3): 477-482.
 [5] 沈功田,耿荣生,刘时风. 声发射信号的参数分析方法[J]. 无损检测, 2002, 24(2): 72-77.

钢筋拔出试验中粘结破坏过程缺陷源定位分析

作者: [欧阳利军](#), [陆洲导](#), [吕海波](#), [赵艳林](#), [OUYANG Li-jun](#), [LU Zhou-dao](#), [LV Hai-bo](#), [ZHAO Yan-lin](#)

作者单位: [欧阳利军, 陆洲导, OUYANG Li-jun, LU Zhou-dao](#) (同济大学结构工程与防灾研究所, 上海, 200092), [吕海波, LV Hai-bo](#) (广西大学土木建筑工程学院, 南宁, 530004), [赵艳林, ZHAO Yan-lin](#) (广西大学土木建筑工程学院, 南宁, 530004; 桂林工学院土木工程系, 桂林, 541004)

刊名: [武汉理工大学学报](#) **ISTIC|PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY](#)

年, 卷(期): 2008, 30(10)

引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [沈功田, 耿荣生, 刘时风](#) [声发射源定位技术](#) [期刊论文] - [无损检测](#) 2002(03)
2. [陈兵, 姚武, 吴科如](#) [声发射技术在混凝土研究中的应用](#) [期刊论文] - [无损检测](#) 2000(09)
3. [国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材编审委员会](#) [声发射检测](#) 2005
4. [Sagaidak A I, Elizarov S V](#) [Acoustic Emission Parameters Correlated with Fracture and Deformation Processes of Concrete Members](#) 2007(03)
5. [沈功田, 耿荣生, 刘时风](#) [声发射信号的参数分析方法](#) [期刊论文] - [无损检测](#) 2002(02)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [欧阳利军, 吕海波, 赵艳林, 宋玉峰, Ouyang Lijun, L\(u\) Haibo, Zhao Yanlin, Song Yufeng](#) [混凝土-钢筋粘结破坏过程的凯塞效应研究](#) - [工业建筑](#) 2009, 39(2)
 通过直流电腐蚀得到7种不同腐蚀程度的混凝土中心拔出试件, 并对这些试件进行粘结破坏试验, 同时采用声发射仪监测试验过程, 声发射仪监测前通过模拟加载和断芯试验以确定适合拔出试件的检测参数值. 通过对试件粘结破坏过程的事件数进行分析, 验证了混凝土粘结破坏初期的声发射过程具有不可逆性.
2. 会议论文 [郭永昌, 李丽娟, 刘锋, 付赣清](#) [混凝土梁粘贴碳纤维布粘结破坏机理分析](#) 2002
 对碳纤维布加固混凝土的构件发生粘结破坏的两种破坏模型进行了理论分析, 其破坏主要是因为界面间产生应力集中, 且破坏总是发生在混凝土保护层. 对各种参数进行分析, 得到了影响破坏发生的主要因素. 通过对模型的计算分析, 得到了两种不同的破坏形式下的最大粘结剥离应力, 对抑制粘结破坏发生具有实际指导意义.
3. 学位论文 [詹建敏](#) [压型钢板-混凝土组合楼板抗剪性能试验研究](#) 2002
 压型钢板-砼组合楼板作为一种组合结构, 能充分利用钢材耐拉, 砼抗压的材料特性, 其刚度大、延性好, 并具有良好抗震性能, 施工简便且工期短, 有较高的经济效益等优点, 而被日益广泛地采用. 但由于中国在这方面的应用及研究起步较晚, 对其结构受力性能还不太了解, 故在楼板中多将压型钢板作为楼板的非组合结构, 或将压型钢板用于工业建筑的墙板、屋盖体系中, 并且关于组合楼板的设计方法, 中国的规范还没有明确的规定. 尤其该省在这方面的研究还刚刚起步. 为进一步探讨组合楼板的受力性能, 该文就福建省常用的板型YX-76-344-688制作了六块组合楼板, 采用两点加载的简支方法, 对组合楼板在发生水平剪切粘结破坏时的受力性能及破坏机理进行研究. 通过试验, 对组合楼板裂缝的产生与发展、钢板与砼的应力应变及其极限承载力进行测试. 并对试验结果进行分析, 研究了几个主要因素: 剪跨、钢板厚、抗剪钢筋间距、板高、栓钉对承载力的影响. 最后在理论上进行了一定的探讨, 建立适应于该省该板型压型板抗剪切粘结破坏的公式. 该公式计算的结果与试验结果吻合得较好, 可为设计人员参考使用.
4. 期刊论文 [吴刚, 吕志涛](#) [外贴FRP加固混凝土梁粘结破坏机理的试验研究](#) - [工业建筑](#) 2004, 34(z1)
 本文在7根外贴FRP加固混凝土梁试验研究的基础上, 对外贴CFRP加固混凝土梁后可能发生的粘结破坏进行了重点研究, 指出了粘结破坏包括端部粘结破坏和非端部粘结破坏, 并分析比较了两种粘结破坏的破坏特征、破坏机理及影响参数等.
5. 期刊论文 [黄华, 刘伯权, 刘卫铎, Huang Hua, Liu Boquan, Liu Weiduo](#) [聚合物砂浆与混凝土抗拉粘结性能研究](#) - [工业建筑](#) 2009, 39(4)
 高强不锈钢绞线网-渗透性聚合物砂浆加固技术是近年来兴起的新型加固工艺. 对该加固技术的研究表明: 加固层发生剥离破坏是其主要破坏方式之一, 如何保证加固层与混凝土界面的粘结性能是加固成败的关键. 通过243个测点的正拉粘结强度试验, 分析聚合物砂浆与混凝土界面粘结抗拉性能, 阐述混凝土强度、界面粗糙度、龄期、修补方位对正拉粘结强度的影响, 最后提出正拉粘结强度的计算模型.
6. 期刊论文 [杨勇新, 岳清瑞](#) [碳纤维布与混凝土粘结破坏面特征](#) - [工业建筑](#) 2003, 33(9)
 碳纤维布加固混凝土结构技术的关键问题之一是粘结界面的粘结性能如何. 试验结果表明, 不同受力状态下粘结界面的破坏特征不同, 粘结强度不同. 通过对粘结破坏面特性的分析, 解释了不同受力状态下粘结强度不同的原因, 对碳纤维布与混凝土的粘结性能有了深入理解.
7. 期刊论文 [黄华, 刘伯权, 刘卫铎, Huang Hua, Liu Boquan, Liu Weiduo](#) [聚合物砂浆与混凝土抗剪粘结性能研究](#) - [工业建筑](#) 2009, 39(4)
 通过24个测点的剪切粘结强度试验, 分析聚合物砂浆与混凝土界面粘结抗剪性能, 阐述混凝土强度、界面粗糙度、修补方位对剪切粘结强度的影响, 最后提出剪切粘结强度的计算模型.
8. 会议论文 [邓国专, 郑山锁, 田微, 张亮, 查春光](#) [型钢混凝土结构粘结滑移性能物性参数的理论分析](#) 2005
 基于空腹式型钢混凝土粘结滑移性能的拉拔、推出、推拉反复及短柱轴压试验研究结果, 对表征型钢混凝土结构粘结滑移性能的性能参数进行了理论分析. 把型钢混凝土结构视为一种型钢(增强体)与混凝土(基体)的纤维增强复合材料, 根据能量释放原理提出了型钢与混凝土之间粘结滑移计算的力学模

型,同时基于试验得到的基准粘结滑移本构关系和粘结应力的分布规律,从理论上推导了试件加载端外加荷载与相对滑移量的关系,给出了粘结滑移破坏的理论依据.基于型钢与混凝土协同受力的主要缺陷是它们之间的粘结面易发生剪切粘结破坏这一重要试验研究结论,采用塑性极限理论建立了分析粘结滑移破坏机构的数学模型,推导了型钢与混凝土之间粘结强度的数学表达式,并对影响型钢与混凝土粘结性能的主要物性参数进行了理论分析,提出了最小混凝土保护层厚度、配箍率和型钢锚固长度的计算模型与方法.研究成果为型钢混凝土结构的设计计算理论研究奠定了基础,并且为型钢混凝土结构的有限元分析提供了理论依据.

9. 学位论文 [章萍 反复荷载下钢筋与高性能混凝土粘结本构关系的试验研究](#) 2003

钢筋混凝土结构在荷载下的滞回特性与钢筋、混凝土间的粘结性能密切相关.粘结退化是使节点区强度丧失、刚度退化及变形增加的主要原因.反复加载的粘结性能与单调加载时有着本质的区别.然而,目前国内外在这方面还只进行了有限的研究.近年来,高强、高性能混凝土在土木工程领域开始推广使用,高强、高性能混凝土与钢筋的粘结性能较之普通混凝土表现出了明显不同的特点.因此,深入开展反复荷载下钢筋与高强、高性能混凝土粘结的研究工作具有重要的理论意义和应用价值.该文开展了钢筋与高性能混凝土在单调和反复荷载下粘结本构关系的试验研究,分析了单调及反复加载的粘结机理.认为粘结作用的转变过程与混凝土内部挤压、开裂变形的发展程度密切相关:反复荷载下粘结性能的退化其实是混凝土本身材料性能的退化.在混凝土内添加纤维后,推迟并约束了混凝土内部裂缝的发展进程,从而显著地提高了粘结性能,增加了粘结强度、耗能能力,改善了粘结延性,延缓了反复荷载下粘结性能的退化.由单调及反复加载的粘结试验结果得到了等幅加载损伤因子 $d<u>$ 和整体损伤因子 $D<u>$ 以及它们之间的转换关系,在此基础上得到了单调及反复加载的粘结本构关系.理论计算的 τ - s 滞回曲线和试验得到的 τ - s 滞回曲线符合的较好.该文建议将单调加载的滑移是否达到了 $2.5S<u>$ (对应于单调加载的极限粘结强度),或反复加载的整体损伤是否达到0.15作为判断试件是否达到粘结破坏的准则.结合地震作用的特点,认为在进行结构的抗震设计时,钢筋与混凝土的粘结锚固应按折减的极限粘结强度进行设计,并建议将折减系数取为0.85.

10. 会议论文 [王玉良,王铁成,姜维山 剪切粘结破坏SRC柱后变形性能影响因素分析](#) 2007

在试验结果的基础上,从混凝土强度、含钢率、配箍率、剪跨比、轴压比等方面研究含H型钢混凝土柱剪切粘结破坏的后变形性能,并探讨诸因素对剪切破坏及变形性能的影响.分析表明:为保证良好的后变形能力,混凝土强度等级不宜低于C30,随着型钢的含量增多、配箍率的增大,柱的后变形性能越好,剪跨比越大,柱的韧性越好,轴压比的大小对剪切破坏柱的后变形性能的影响不大.在此基础上,建立了含钢量、配箍率与抗震等级的关系,提出了对应于不同抗震等级的合理含钢量和最小配箍率限值.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_whgydxxb200810019.aspx

下载时间: 2010年5月27日