

均布荷载下钢纤维混凝土叠合梁抗剪性能试验研究

徐礼华 崔苗

(武汉测绘科技大学城市建设学院,武汉市珞喻路39号,430070)

摘要 本文通过1根叠合梁的试验,分析了均布荷载作用下钢纤维混凝土叠合梁的抗剪性能,提出了无腹筋和配箍筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力的计算公式。研究结果表明,钢纤维的掺入改善了叠合梁的抗剪性能,提高了斜截面受剪承载力。

关键词 均布荷载;叠合梁;钢纤维混凝土;抗剪性能

分类号 TU311

近20年来,钢纤维混凝土的研究和工程应用在国内外得到了迅速发展。我国以赵国藩教授为首的一批学者作了大量试验研究和理论分析,其中空军工程学院的章文纲、程铁生教授对钢筋钢纤维混凝土整浇梁的抗剪性能作了深入、全面的研究。然而,对钢纤维混凝土叠合构件抗剪性能的研究,国内外尚未见诸文献。为填补这一研究领域的空白,并促进钢纤维混凝土叠合构件的推广应用,有必要对其抗剪性能进行研究。

本文通过试验研究均布荷载作用下钢纤维混凝土叠合梁的抗剪性能,并探讨其斜截面受剪承载力的计算公式。

1 试验简介

试验梁共1根,其中掺钢纤维的7根,不掺钢纤维的(对比梁)4根。设计原则是保证试件产生斜截面破坏。受拉主筋用II级螺纹钢筋,钢纤维选用剪切型,混凝土强度等级为C₂₅。试件尺寸与配筋

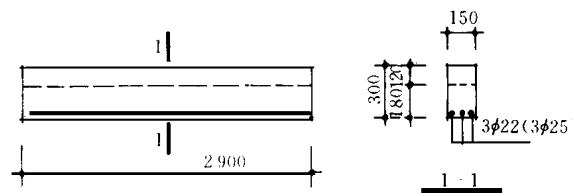


图1 试件尺寸与配筋图

Fig. 1 Details of Test Specimen

见图1,加载装置与测点布置分别如图2和图3所示,材料性能及有关参数见表1。

试验采用8点集中荷载作为等价均布荷载,加载分两阶段进行,第一阶段用砝码加载,分六级加载至设计荷载;第二阶段用两个同步液压千斤顶通过分配梁加载。

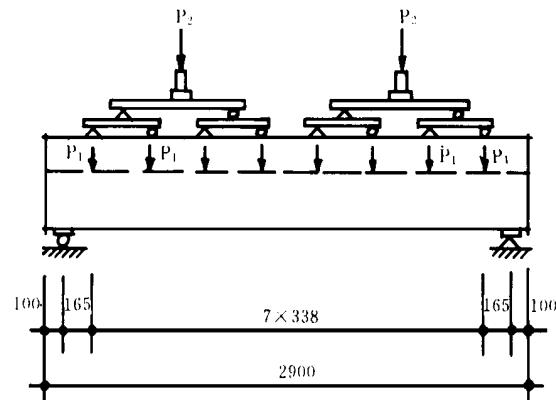


图2 加载装置示意图

Fig. 2 Test Rig Set-up

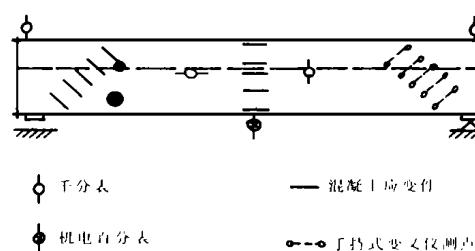


图3 测点布置示意图

Fig. 3 Test Point Lay-out

表 1 材料性能及有关参数表

Tab. 1 Test Beam Details

试件 编号	截面尺寸与 跨度 (mm)					$\frac{h_1}{h}$	$\frac{l}{h_0}$	纵向受力钢筋		混凝土强度 等级 N/m ²		钢纤维		箍筋		V_n / kN	
	b	h_1	h	h_0	l			A_s / mm^2	$f_y / N/mm^2$	d	f_{cu1}	f_{cu2}	l_f / df	$d_f / %$	$d_y / %$	$f_{fy} / N/mm^2$	
CB-1	155	178	305	274	2700	0.58	9.85	1140	368.5	0.026	829.0	20.0	—	0	—	—	94.88
CB-2	156	176	293	262	2700	0.60	10.31	1140	368.5	0.027	929.0	20.0	—	0	—	—	95.82
CB-3	156	177	300	269	2700	0.60	10.04	1140	368.5	0.027	229.0	20.0	—	0	—	—	95.35
CB-4	158	181	304	273	2700	0.60	9.89	1140	368.5	0.026	425.3	21.7	31.6	0.75	—	—	108.30
CB-5	158	183	303	272	2700	0.60	9.93	1140	368.5	0.026	825.3	23.8	31.6	1.00	—	—	117.48
CB-6	156	169	300	269	2700	0.56	10.04	1140	368.5	0.027	229.9	24.4	31.6	1.25	—	—	120.46
CB-7	154	185	308	277	2700	0.60	9.75	1140	368.5	0.026	728.0	22.1	31.6	1.50	—	—	121.68
CB-8	150	181	303	272	2700	0.60	9.93	1140	368.5	0.027	927.9	25.1	31.6	1.75	—	—	118.41
CB-9	158	182	300	269	2700	0.61	10.03	1472	383.2	0.034	631.2	25.0	—	0	0.239	235.0	142.89
CB-10	162	183	313	282	2700	0.58	9.57	1472	383.2	0.032	224.0	28.1	31.6	1.00	0.233	235.0	176.85
CB-11	151	188	319	288	2700	0.60	9.38	1472	383.2	0.038	726.3	26.4	31.6	1.50	0.250	235.0	185.83

2 试验结果分析

2.1 裂缝开展

2.1.1 垂直裂缝

第一阶段加载时,钢纤维混凝土叠合梁上未出现裂缝,而对比梁的跨中受拉边缘均出现了一条高度较小的垂直裂缝。这再次表明钢纤维的掺入提高了构件的开裂荷载。在第二阶段加载过程中,当加载到 8% 的破坏荷载时,钢纤维混凝土叠合梁的跨中受拉区出现了数条很细的垂直裂缝,其高度较小,扩展很慢。这是因为跨越裂缝的钢纤维承担拉力,限制了裂缝的扩展。

2.1.2 斜裂缝

在无腹筋钢纤维混凝土叠合梁上,斜裂缝从支座边缘的梁底或从离支座约 1/10 跨长处的梁底突然出现,随即较快地斜向延伸到叠合面,并沿叠合面产生一段水平裂缝,然后继续沿斜方向迅速上升,但斜裂缝的倾角变小。文献 [1] 指出,预应力混凝土叠合梁的叠合面处产生水平裂缝,但未分析原因。对此,作者认为:一是由于叠合层后浇混凝土的“应变滞后”作用,梁上斜裂缝开始发展较快,接近叠合面时发展缓慢甚至停滞;二是由于叠合梁二次受力,存在着预制梁受压区混凝土应力卸载影响,叠合面粘结滑移。试验表明,叠合面局部水平裂缝并没有降低叠合梁斜截面受剪承载力。

对未掺钢纤维的无腹筋叠合梁,从离支座约 1/10 跨长处的下部,斜裂缝一出现便无障碍地斜向上升,通过叠合面时斜裂缝的倾角发生变化,但

叠合面处没有产生明显的水平裂缝。这是由于斜截面开裂后,叠合梁因斜向劈开而迅速破坏,叠合面处的水平裂缝来不及发生与发展。

对配箍筋钢纤维混凝土叠合梁,斜裂缝发展过程与配箍筋普通钢筋混凝土叠合梁类似。但与对比梁相比,斜裂缝扩展比较缓慢,垂直裂缝的数目增多。

2.2 沿斜截面破坏特征与破坏形态

在对比梁上,当荷载达最大值时,斜裂缝从离支座约 1/10 跨长处一出现就迅速斜向延伸到叠合面以上,梁因斜向劈裂而失去承载力。破坏是很突然的。破坏时纵向主筋没有屈服,这是因为本文中所采用的试件是按剪切破坏设计的,纵向主筋数量偏大。

对无腹筋钢纤维混凝土叠合梁,当加载接近破坏荷载时,在离支座约 1/10 跨长处或支座边缘的梁底,斜裂缝突然出现,随即较快地斜向延伸到叠合面,并在叠合面产生一段水平裂缝。这时新的裂缝没有出现,梁还能继续承受荷载。当荷载达最大值时,梁因纵向主筋从支座滑脱或因剪压区混凝土压碎而破坏。这种破坏是比较突然的。破坏时梁的挠度增长很快,纵向主筋接近屈服。值得指出的是,当临界斜裂缝出现后钢纤维混凝土叠合梁之所以还能继续承受荷载,是因为跨越斜裂缝的钢纤维承受拉力,对斜裂缝的扩展起了控制作用。

对配箍筋钢纤维混凝土叠合梁,在剪弯区首先出现一系列弯曲垂直裂缝,然后斜向延伸,逐步形成一条临界斜裂缝。当荷载达最大值时,梁因剪压区混凝土压碎而丧失承载力。

试验表明,无腹筋对比梁的破坏形态属斜拉

破坏,如图4所示。无腹筋钢纤维混凝土叠合梁的破坏形态有两种:一种是介于斜拉破坏和剪压破坏之间的破坏,如图5所示;另一种是纵筋锚固破坏,其原因是纵筋锚固长度偏短,混凝土保护层厚度偏薄。配箍筋叠合梁(CB-9,CB-10,CB-11)沿斜截面发生剪压破坏,如图6所示。

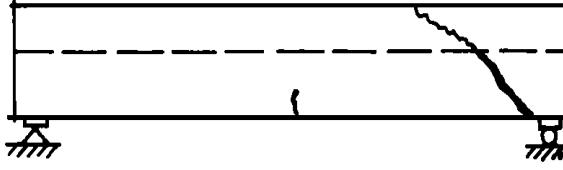


图4 无腹筋对比梁的破坏形态

Fig. 4 Failure Modes for Reinforced Concrete Composite Beams without Stirrups

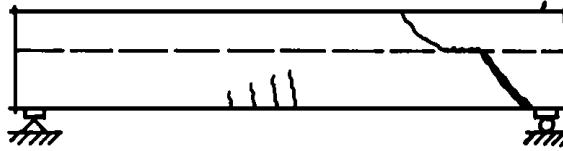


图5 无腹筋钢纤维混凝土叠合梁的破坏形态

Fig. 5 Failure Modes for SFRC Composite Beams without Stirrups

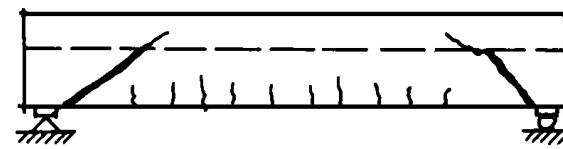


图6 配箍筋钢纤维混凝土叠合梁的破坏形态

Fig. 6 Failure Modes for SFRC Composite Beams with Stirrups

3 斜截面受剪承载力计算公式的建立

3.1 影响斜截面受剪承载力的主要因素

影响均布荷载作用下无腹筋叠合梁斜截面受剪承载力的因素很多,其中主要因素有跨高比,混凝土的强度等级以及纵筋配筋率。对配箍筋叠合梁其主要因素还有配箍率。对钢纤维混凝土叠合梁而言,众所周知还有钢纤维的类型、长径比和体积含量。为探讨钢纤维配筋对钢筋混凝土叠合梁斜截面受剪承载力的增强效果,本文只着重分析钢纤维的体积含量这一影响因素。图7表示无腹筋叠合梁斜截面受剪承载力与钢纤维含量之间的关系。

试验表明,当钢纤维体积含量不超过某一限

值(例如 $\phi = 0.02$)^[4,5],钢纤维混凝土的抗拉强度随着钢纤维体积含量的增大而提高,两者关系接近于线性关系。钢纤维混凝土叠合梁的斜截面受剪承载力也随着钢纤维体积含量的增大而提高,但提高的幅度不大,如图7所示。作者认为这是由于本次试验所用的钢纤维的长径比偏小所致。

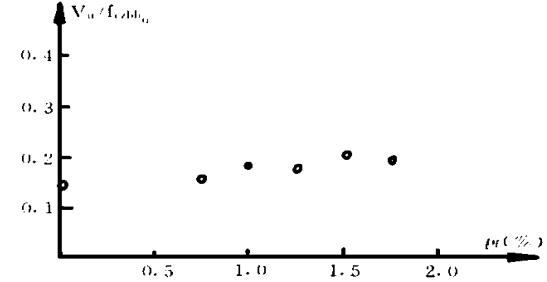


图7 $V_u / f_{c} b h_0 \sim \phi$ 关系曲线

Fig. 7 $V_u / f_{c} b h_0 \sim \phi$ Curve

3.2 无腹筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力计算公式

根据文献[2]和[3],将钢纤维作为叠合梁的一种抗剪配筋,按一般梁的计算方法,由叠加原理建立计算公式如下:

$$V_u = V_c + V_f \quad (1)$$

$$V_c = 1.5 f_c b h_0 / [2(l/h_0) - 5]^{[3]} \quad (2)$$

$$V_f = e_{u} b h_0^{[2]} \quad (3)$$

式中, V_u 为无腹筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力; V_c 为叠合梁斜截面上混凝土受剪承载力; l/h_0 为叠合梁的跨高比; f_c 为混凝土轴心抗压强度; e_u 为钢纤维抗剪强度增强值。

3.2.1 混凝土轴心抗压强度的取值

与整浇梁不同,叠合梁有预制部分和叠合部分两种混凝土强度等级。因此,计算叠合梁斜截面上混凝土受剪承载力时就存在混凝土轴心抗压强度的取值问题。本文参照文献[3],取混凝土轴心抗压强度的折算值,其公式为:

$$f_{c} = 0.3 f_{c1} + 0.7 f_{c2} \quad (4)$$

式中, f_{c1} 、 f_{c2} 分别为预制部分和叠合层混凝土轴心抗压强度; f_c 为混凝土轴心抗压强度折算值,用 f_c 代替式(2)中的 f_c 来计算 V_c 。

3.2.2 钢纤维抗剪强度增强值 e_u 的确定

根据文献[4],式(3)中的钢纤维抗剪强度增强值 e_u 不仅与钢纤维强度、长径比和体积含量等有关,而且还与纵向主筋强度、混凝土强度等级等因素有关。因此,用理论公式计算的 e_u 值与实际情况不完全吻合,必须借助试验数据,用 V_u 反算 e_u ,经数理统计找出影响 e_u 的主要因素,得出 e_u

的经验公式

首先用式(2)计算 3 根对比梁(*CB-1, CB-2, CB-3*)的斜截面受剪承载力,并与实测值比较,得到实测值与计算值之比的平均值为 1.498, $e=0.071, \sigma=0.047$

再根据无腹筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力的实测值 V_u 和以下两式

$$\begin{cases} V_c = 1.498 [1.5/2(l/h_0) - 5] f_c b h_0 \\ V_u = V_c + e_u b h_0 \end{cases} \quad (5)$$

反算 e_{uu} , 将结果列于表 2 分析影响 e_{uu} 的诸因素, 并参照文献 [5], 作者建议 e_u 的计算公式为:

$$e_u = T(l_f/d_f) d_f \quad (6)$$

表 2 e_u 计算表

Tab. 2 Test Results of e_u

梁号	V_c /kN	V_u /kN	e_u /N/mm ⁻²	$(l_f/d_f) d_f$
CB-4	101.32	108.30	0.162	0.237
CB-5	107.10	117.48	0.242	0.316
CB-6	110.24	120.46	0.244	0.395
CB-7	107.16	121.68	0.340	0.474
CB-8	108.34	118.41	0.247	0.553

根据本文试验数据, 经数理统计分析得到:

$$T = 0.646(\text{N/mm}^2) \quad e = 0.124 \quad \sigma = 0.192$$

将本文公式用于设计时, 根据现行《混凝土结构设计规范》GBJ10-89 规定, V_c 项偏安全取为 $0.07f_c b h_0$, f_c 取叠合层和预制部分的较低值。于是, 均布荷载作用下无腹筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力计算公式为:

$$V = 0.07f_c b h_0 + T(l_f/d_f) d_f b h_0 \quad (7)$$

式中, T 为钢纤维对叠合梁斜截面受剪承载力的综合影响系数, 单位为 N/mm^2 。对长径比较小的剪切型钢纤维, 取 $T=0.6(\text{N/mm}^2)$ 。5 根无腹筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力的实测值与计算值之比的平均值为 0.933, $e=0.038, \sigma=0.041$, 符合程度较好。

3.3 配箍筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力计算公式

设配箍筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力由 V_c 、 V_f 和 V_s 三部分组成:

$$V_u = V_c + V_f + V_s \quad (8)$$

式中, V_u 为配箍筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力; V_c 为叠合梁斜截面上混凝土受剪承载

力; V_f 为叠合梁斜截面上钢纤维受剪承载力; V_s 为叠合梁斜截面上箍筋受剪承载力。根据上述推导, 参照文献 [5], 建议均布荷载下配箍筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力计算公式为:

$$V = 0.07f_c b h_0 + T(l_f/d_f) d_f b h_0 + 1.5f_y(A_{sv}/S)h_0 \quad (9)$$

式中 T 为钢纤维对叠合梁斜截面受剪承载力的综合影响系数, 单位 N/mm^2 。对长径比较小的剪切型钢纤维, $T=0.6\text{N/mm}^2$ 。

将式(8)和(9)用于设计时, 适用条件仍按现行《混凝土结构设计规范》GBJ10-89 的规定。

4 结 论

1) 钢纤维的掺入控制了叠合梁斜裂缝的扩展, 改善了叠合梁的抗剪性能

2) 采用钢纤维作为叠合梁的抗剪配筋, 它能承担斜截面上的部分拉应力, 从而提高了叠合梁斜截面受剪承载力。

3) 本文提出的公式(8)和(9)可分别用于计算均布荷载下无腹筋和配箍筋钢纤维混凝土叠合梁斜截面受剪承载力。

参 考 文 献

- 梁书亭, 潘国华, 彭天明. 预应力混凝土简支叠合梁在均布荷载下的抗剪性能. 工业建筑, 1991(1)
- Mansur M A, ASCE M, Ong K C G, Paramasivam P. Shear Strength of Fibrous Concrete Beams Without Stirrups. Journal of Structural Engineering, 1986, 112(9)
- 中国建筑科学研究院. 钢筋混凝土结构设计与构造. 1985.
- 徐礼华. 配筋钢纤维混凝土叠合梁正截面强度与变形试验研究: 学位论文]. 武汉: 武汉工业大学, 1991
- 章文纲, 程铁生, 王威龙. 钢纤维钢筋混凝土梁抗剪性能的研究. 钢纤维混凝土结构设计与施工规程专题研究报告, 1990.
- Narayanan R, Darwish I Y S. Shear in Mortar Beams Containing Fibers and Fly Ash. Journal of Structural Engineering, 1988, 114(1)
- Batson G, Jenkins E, Spatney R. Steel Fiber as Shear Reinforcement in Beams. Journal of the American Concrete Institute, 1972, 69(10)

Experimental Study on the Shear Behaviour of SFRC Composite Beams Subjected to Uniformly Distributed Load

Xu Lihua Ding Shimiao

(School of Urban Studies, W TU SM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract In this paper, the shear behaviour of steel fibre reinforced concrete (SFRC) composite beams subjected to uniformly distributed load is analyzed, and the formulas for calculating the shear capacity of SFRC composite beams is proposed by testing 11 members. The test results show that adding steel fibre improves the shear behaviour of composite beams.

Key words steel fibre; composite beams; steel fibre reinforced concrete; shear behaviour

(上接第 165 页)

由于 DATCLK 信号在照排机输出的过程中是连续不断地发出的,若漏掉一个 DATCLK 或误判一个 DATCLK 将使输出图片整个错位。解决此类问题的方法有多种。如在硬件上采取一定的措施确保 DATCLK 能被正确地识别,或在软件设计上以线为单位输出,这样即使在某条线内出现错误,也只会影响本条线的一部分输出点阵。

社, 1991.

- 2 周明德.微型计算机硬件软件及其应用.北京: 清华大学出版社, 1989.
- 3 沈美明. IBM-PC 汇编语言程序设计.北京: 清华大学出版社, 1991.
- 4 肖冬荣.微型计算机实时控制的抗干扰.武汉: 湖北科学技术出版社, 1983.

参 考 文 献

1 戴梅萼.微型计算机技术及应用.北京: 清华大学出版

The Output Control Interface Design for Laser-typersetter

Su Guangkui Zhu Xinyan Zhang Yinzhou

(School of Information Engineering, W TU SM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract Based on having analyzed the working principle of the laser-typersetter, this paper describes a design of the control interface between a computer and a laser-typersetter. Some problems, such as the speed matches, the storage of graphical data, are discussed in detail. In the control process, the graphical data are stored in the high memory. To solve the speed difference between a computer and a laser-typersetter, the multi-buffering technique is used in the design. By using these methods, the whole graphical data can be delivered continuously. The basic ideal and implementing methods for data buffering, data delivering, data separating and data transforming are also discussed in this paper.

Key words layer-typersetter; output control; circuit design for the interface