

钢纤维混凝土薄壁箱形梁纯扭试验研究

程火焰¹, 祝明桥¹, 周亦唐²

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍钢纤维混凝土薄壁箱形梁的纯扭试验方法、过程与结果, 以及分析纯扭试件破坏特点和钢纤维对混凝土裂缝开展的影响; 提出有关钢纤维混凝土薄壁箱梁构件受扭破坏的解析计算方法; 比较出抗扭强度的理论计算值与试验实测值与的相符合程度较好。

关键词: 钢纤维; 薄壁箱梁; 纯扭试验

中图分类号: U488. 213 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2004)06- 0095- 04

Experimental Study on Steel Fiber Reinforced Concrete Thin- Walled Box Beam in Pure Torsion

CHENG Huo-yan¹, ZHU Ming-qiao¹, ZHOU Yi-tong²

(1. Faculty of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China;

2. Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: The experimental method program and results of steel fiber reinforced concrete thin- walled box beam in pure torsion are reported. The failure code of pure torsion member and the affection of steel fiber in concrete cracking are studied. The analysis calculation method of its torsional failure is presented. Compared with the experimental results, the calculating results are in agreement with the theoretical prediction.

Key words: steel fiber; thin- walled box beam; pure torsional experiment

0 引言

钢纤维混凝土薄壁箱形梁由于其具有整体刚度大、翼缘板伸臂长、抗裂性好、外形美观等特点, 又能广泛用于跨径较大、曲线梁和异形桥梁结构. 特别适应我国高等级公路、铁路、城市道路、城市高架桥和大型立交枢纽的广泛兴建. 国内对外对混凝土构件抗扭性能做了许多试验研究和理论分析^[1-3]. 但对钢纤维混凝土薄壁箱形梁纯扭的试验研究与理论成果并不多见, 并多为采用钢纤维混凝土矩形梁进行纯扭试验, 再从数据与理论上推导出有关钢纤维薄壁箱形梁抗扭强度计算方法^[4-6]. 这种推导中必然包含许多假设, 由此可能产生理论成果与实际效果的较大误差. 本文重点介绍了钢纤维薄壁箱梁的纯扭试验方法, 分析钢纤维对纯扭构件开裂裂缝的影响和特点. 并进行理论计算值与试验实际值的比较分析, 结论是两者符合较好. 此研究方法结论可供更为深入的试验研究、理论分析和工程实践而参考和积累资料.

1 试验概况

1.1 试件设计

针对我国目前混凝土薄壁箱形截面构件在城市立交桥、高等级公路桥梁等应用中, 多采用宽顶板、窄底板、长悬臂、斜腹板的截面形式, 跨度多在 20~ 40 m 之间, 高跨比为 1/15~ 1/18, 宽跨比为 0.05~ 0.35, 上宽比下宽为 0.4~ 0.6; 按 1:5 的比例进行试件设计, 取计算长度 $L = 4\ 500\text{ mm}$; 高跨比 = 1/15, 高 $H = 300\text{ mm}$, 宽跨比 = 0.22, 得上宽 $B_{\text{上}} = 1\ 000\text{ mm}$, 根据上宽/下宽 = 0.4, 得下宽 $B_{\text{下}} = 400\text{ mm}$. 截面尺寸如

收稿日期: 2003- 11- 11.

第一作者简介: 程火焰(1969~), 男, 硕士, 讲师. 主要研究方向: 道路与铁道工程. E-mail: hnxtdhy@126.com.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图1所示。

材料: 钢筋采用 I 级普通钢筋(考虑破坏时, 钢筋有明显屈服, 试件破坏模型明确); 混凝土采用 C40~C60 等级(考虑混凝土薄壁箱形截面多采用高强混凝土). 对截面受扭配筋设计如图 1 所示, 纵向钢筋采用 $8\Phi 10$ 和 $3\Phi 12$; 箍筋采用 $\Phi 10@120$ mm. 钢纤维采用熔抽型, 长细比为 31.75, 掺入量为体积率 1.5%.

试件制作: 试件钢筋骨架一次绑扎成型; 混凝土分为底腹板、面板和两端头三次浇筑成型; 为了保证两端加载受压时不会发生破坏, 则只预留直径为 100mm 圆孔以便电线引出, 其余全部用混凝土捣实.

1.2 加载装置设计

为保证试件处于纯扭状态, 必须在支座处保证试件的扭转中心一致, 设计成如图 2 所示的加载装置. 其中滚动支座、拉力杆、垫块与螺帽等自行设计, 工厂加工定做.

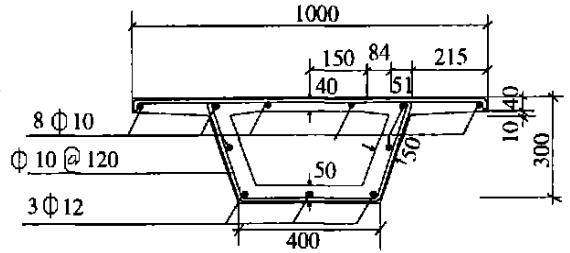


图 1 截面尺寸

Fig.1 Cross-sectional dimension and reinforcement

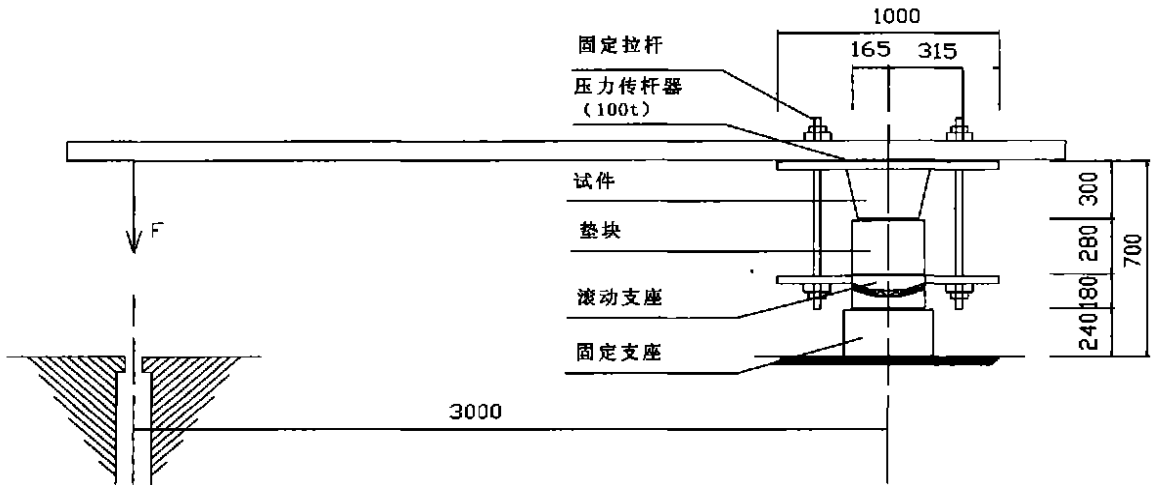


图 2 加载装置

Fig.2 Load-applying testing arrangement

1.3 试验过程

本试验在湖南科技大学结构试验室进行. 考虑到所加扭矩较大, 则需要外加的重物的配重较大, 持力架难以做到, 且又无合适的拉力传感器, 因此采用手动铁葫芦吊和钢丝绳利用实验室地沟进行加载. 所加荷载大小通过加力杆(由两根工字型钢焊接而成, 长为 4 000 mm, 宽为 220 mm, 高为 150 mm)下垫的压力传感器(额定荷载为 100 t)所接的电子称读数来控制.

本试验考虑到如在试件两端同时施加扭力矩, 所需要的试验设备难以满足; 同时, 两端的手动加载也难以保持协调一致, 且因两端为滚动支座, 试验安全性也可能得不到可靠保证. 因此, 本试验是采用一端加扭力矩, 另一端用两个千斤顶预加压力进行固定, 并由千斤顶下垫的压力传感器(额定荷载均为 30 t)进行试件所受力矩与外加扭力矩的校核. 试验采用分级加载制, 每级荷载为理论计算的极限荷载的 20%, 共分 10 级. 施加每级荷载后稳定 5 min 后记录并采集有关数据.

1.4 测点布置与试验数据采集

试件对称分成五个控制截面: 在箱梁体外的混凝土表面上共布置 122 片砼应变片, 中间控制截面分布 34 片, 其余 4 个控制截面各分布 22 片. 为了能更精确地反应出混凝土在受扭时的复杂应力, 多个测点的应变片布置为三相形式. 此外, 因为受扭构件的内力表现复杂, 为了能测试出薄壁混凝土在抗扭时体内的真实应变与应力, 特在箱梁的底板内表面中部各控制截面布置一组三相测点, 共计 15 片砼应变片. 在每个

控制截面上布置钢筋应变片 17 片: 其中, 11 根纵向钢筋上每根布置应变片 1 片, 每根箍筋上底板部与斜腹部各 1 片, 面板部均分 3 片, 钢筋应变片共计 85 片。

试验的混凝土应变采用 IMP(SI—35951B) 型多点数据采集仪与 Shiyang 系统软件自动采集; 钢筋应变通过电子应变仪记录; 试件受扭时产生的转角采用 JJ4 型光学倾角仪记录, 同时通过各控制截面底板下的百分表进行校核记录。

2 试验结果与分析

根据试验过程的记录与观察可发现: 钢纤维混凝土薄壁箱形梁纯扭试验与普通混凝土构件的纯扭试验的破坏形态基本相似。首先在箱梁中间部位的受拉一侧腹板上出现斜裂缝, 并以约但此时, 所加开裂扭矩约为极限扭矩 60%, 这比普通构件的开裂扭矩有明显的提高。这是因为掺加了钢纤维而使得开裂扭矩显著提高, 明显推迟了斜裂缝的出现。随着裂缝以与试件纵轴成约 45° 角的方向向两边延伸, 进而形成螺旋状裂缝(见图 3)。试件最终在另一侧受压面与顶板的混凝土被压碎而破坏。

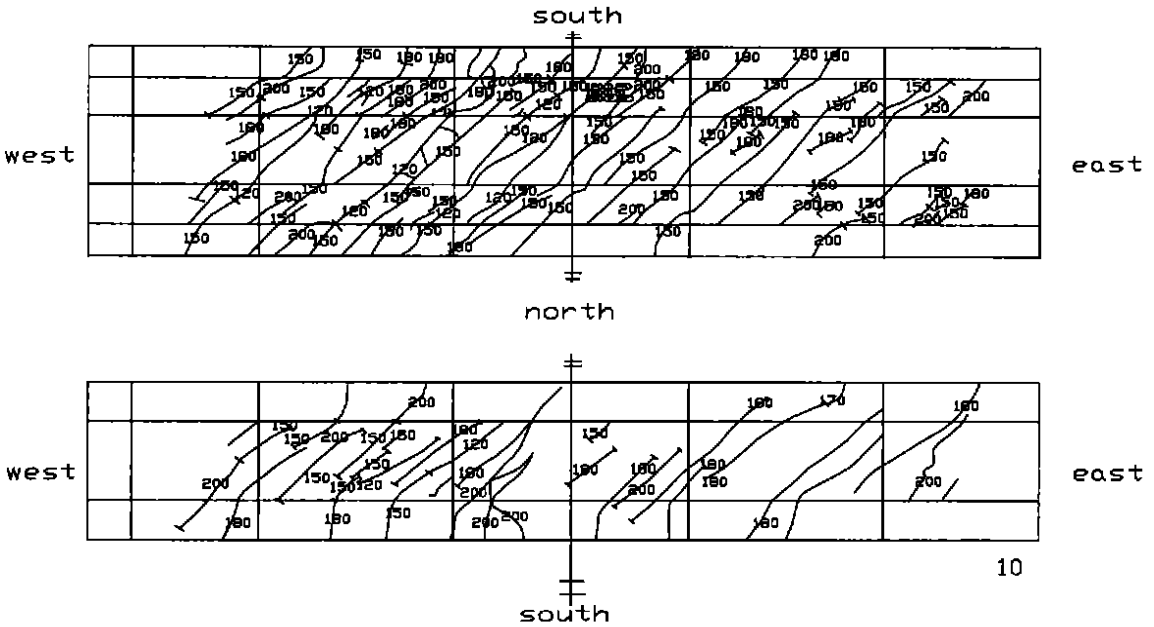


图 3 薄壁箱梁纯扭裂缝展开图(数值为加载等级)

Fig. 3 The unfolded diagram of cracks in pure torsion members(numerical loading grades)

同时还发现: 在箱梁受拉面的腹部斜板的裂缝与试件纵轴成约为 41° 角; 而在腹部另一受压面斜板的裂缝与试件纵轴的倾角约为 45° 角。分析其原因, 这是钢纤维增强混凝土强度机理的作用体现: 钢纤维较好地发挥了其抗拉性能, 协助纵筋和箍筋分担部分扭矩, 从而提高了试件的抗扭刚度, 也减小裂缝宽度; 虽然钢纤维对混凝土抗压强度也有一定的增强作用, 但相比对抗拉强度的增强作用则小得多。因此拉面裂缝倾角要小于压面裂缝倾角, 压面裂缝倾角则反应了普通混凝土试件受扭破坏的典型特征。箱梁的顶板和底板的裂缝与试件纵轴倾角均约为 40° 角。

3 抗扭强度计算与分析

3.1 开裂扭矩 (Tcr) 计算

由主拉应力超过钢纤维混凝土抗拉强度的破坏机理, 混凝土中钢纤维的存在改善了纯扭构件的变形性能。构件刚度加大, 极限变形增加, 延性较大提高, 因此, 开裂扭矩与极限扭矩都有一定程度的提高, 并且提高幅度与钢纤维的体积含量正相关。根据文献[1, 2], 结合本文所研究试件特点, 并考虑到混凝土的弹塑性特性, 可得开裂扭矩计算公式:

$$T_{cr} = \varphi_i (1 + 101 \lambda) W_t \tag{1}$$

式中: φ 为考虑混凝土弹塑性性质的刚度折减系数, 据文献[1] 取值为 0.62; f_t 为混凝土的抗拉强度, 据参

考文献取 f_t 值为(f_{cu} 为混凝土立方体抗压强度):

$$f_t = 0.21f_{cu}^{2/3} \quad (2)$$

λ_f 为钢纤维含量的特征参数,其计算公式为:

$$\lambda_f = V_f \cdot \frac{l_f}{d_f} \quad (3)$$

式中: V_f 为钢纤维的体积掺量; l_f/d_f 为钢纤维的长细比; W_t 为构件截面抗扭塑性抵抗矩,其计算式为:

$$W_t = \frac{b_h^2}{6}(3h_h - b_h) - \frac{(b_h - 2t_w)^2}{6}[2h_w - (b_h - 2t_w)] + h_f^2(b_f - b_h) \quad (4)$$

3.2 极限扭矩(T_u)计算

据《钢筋混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)中所新增加:箱形截面钢筋混凝土纯扭构件承载力计算公式模式.它是在矩形截面受扭承载力公式的基础上,对混凝土抗扭项乘以壁厚修正系数 α_h ,而本文对文献[2]的计算公式的系数进行修正,取确定极限扭矩计算公式为:

$$T_u = 0.57\alpha_h f_t (1 + 1.1\lambda_f) W_t + 1.35\sqrt{\xi}(A_{st1} \cdot f_{yv} \cdot A_{cor}/S) \quad (5)$$

式中:箱形截面壁厚系数 α_h 与箱形截面抗扭塑性抵抗矩 W_t 的计算公式如下.其中, W_t 的计算值:截面的塑性抗扭截面模量(W_{tw})与两边悬翼缘的抗扭塑性抵抗矩(W_{tf})两者之和.

$$\alpha_h = \frac{2.5t_w}{b_h} \quad (6)$$

式中: t_w 为箱形截面壁厚; h_h 和 b_h 分别为箱形截面的长边、短边尺寸; h_w 为箱形截面的腹板高度; h_f 和 b_f 分别为箱形截面的翼缘厚与宽度; ξ 为受扭纵筋与箍筋强度比值.

4 理论分析与试验结果的比较

根据上述计算方法,对试验试件的抗扭强度进行理论计算,相关参数数据见表1.对其结果与实际试验的结论进行比较分析,比较结果见表2.结果发现:两者所得开裂扭矩(T_{cr})与极限扭矩(T_u)相吻合程度较好,由以上计算方法所得结论比较符合实际情况.因此,对于钢纤维混凝土薄壁箱形梁的抗扭强度计算,该计算和试验方法有一定的实践分析与理论研究的参考价值.

表1 理论计算相关数据参数

Tab.1 Data parameter of theoretical calculation

参数	砼立方体抗压强度 f_{cu}/MPa	钢纤维特征参数 λ_f	截面塑性抵抗矩 W_t/mm^3	截面壁厚系数 α_h	抗扭纵筋与箍筋强度比 ξ	$A_{st1}f_{yv}A_{cor}/s$ /N·mm
数据	61.93	0.476	16 968 000	0.417	1.528	35 370 000

表2 理论计算结果与试验实际数据比较

Tab.2 Experimental data and the calculated values

试件	理论计算 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$		实际测试 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$	
	T_{cr}	T_u	T_{cr}	T_u
数据	52.69	69.39	51.58	71.43

5 结束语

- 1) 本文介绍的钢纤维混凝土薄壁箱形梁纯扭试验研究方法以及装备有一定的参考价值;
- 2) 对试件受纯扭产生的裂缝特点进行分析,钢纤维对混凝土的抗拉增强作用明显高于对抗压的作用;
- 3) 为反映钢纤维对混凝土的阻裂与延裂的作用,本文所采用的钢纤维混凝土薄壁箱形梁的抗扭强度修正计算方法,所得结论与实测数据吻合较好,该方法可供相关工程设计与理论研究参考.

(下转第107页)

2.5 原水温度

原水硒浓度 $50 \mu\text{g/L}$, 固定三氯化铝投量 120.0 mg/L 不变, pH 值调节在 $6.5 \sim 7.0$ 之间, 试验原水温度调节在 $5 \sim 30^\circ\text{C}$ 之间. 搅拌时间 15 min , 沉淀时间 30 min . 不同原水温度时硒去除效果见图 6. 温度会对水的粘滞性、杂质离子的热运动、 AlCl_3 的水解、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的溶度积、沉淀的形成、沉淀的成长以及沉淀对杂质离子的吸附等产生影响, 但这种影响是十分复杂和微小的. 试验研究结果表明, 铝硒共沉淀除硒适宜的原水水温范围很宽, 原水温度在 $5 \sim 30^\circ\text{C}$ 之间变化, 而去除硒保持较高的去除率 ($89.37\% \sim 95.45\%$).

3 结论

通过铝硒共沉淀体系除硒影响因素研究, 得到如下结论:

AlCl_3 作为沉淀剂铝硒体系共沉淀除硒时, AlCl_3 投加量在 40 mg/L 左右. 搅拌时间在 $5 \sim 10 \text{ min}$ 之间为宜, 最长不能超过 15 min . 除硒合适的 pH 值在 $5.5 \sim 8.5$ 之间, 最佳 pH 值在 $6.5 \sim 7.5$ 中性范围内. 铝硒体系共沉淀除硒所适宜的原水浊度范围、原水水温范围均很宽.

参考文献:

- [1] 陈冠荣. 化工百科全书: 第 17 卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 109~ 124.
- [2] Rege, Mahesh A, et al, Selenium reduction by a denitrifying consortium[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1999, 62(4): 479~ 484.
- [3] 施永生, 王琳, 等. 铝硒共沉淀体系去除水中硒的研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2002, 27(增刊): 27~ 30.
- [4] 薛华. 分析化学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994. 20~ 201.
- [5] 许保久. 给水处理理论与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 150~ 215.
- [6] 严熙世. 给水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 254~ 285.

(上接第 98 页)

参考文献:

- [1] 吴炎海, 郑作樵. 高强度砼纯扭构件强度、刚度研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 1992, 20(2): 58~ 64.
- [2] 徐艳秋, 许克宾. 钢筋混凝土构件纯扭极限强度计算[J]. 北方交通大学学报, 1999, 23(1): 42~ 46.
- [3] 姚丽娜. 钢筋混凝土受扭构件的破坏机理分析[J]. 佛山大学学报, 1997, 15(4): 23~ 27.
- [4] 林旭健. 钢纤维高强砼构件纯扭试验[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 89~ 91.
- [5] 刘伟庆, 卢卫红, 等. 配筋钢纤维混凝土纯扭构件性能的试验研究[J]. 南京建筑工程学院学报, 1994, (3): 39~ 45.
- [6] 王岗, 原明昭. 钢纤维砼纯扭构件的抗裂强度[J]. 福建建筑, 1999, (1): 23~ 25.
- [7] 中华人民共和国建设部发布. 混凝土结构设计规范(GB50010—2002)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [8] 赵国藩, 彭少民, 黄承逵, 等. 钢纤维混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.