

文章编号: 1000 5013(2010) 05- 0566- 04

锈蚀钢筋钢纤维混凝土简支梁受剪承载力的试验

曾志兴, 胡智伟

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 在箍筋锈蚀情况下, 计算 6 根钢筋钢纤维混凝土梁斜截面的承载力, 探讨箍筋锈蚀对钢筋钢纤维混凝土梁受剪承载力的影响. 通过实验分析, 建立相应的斜截面承载力的计算公式. 研究表明, 钢筋钢纤维混凝土梁的斜截面破坏形态是由剪跨比决定的, 锈蚀程度只影响承载力的大小, 并不改变破坏形态; 随着钢纤维体积率的增加, 钢筋钢纤维混凝土梁的受剪承载力会有一定的提高; 钢筋钢纤维混凝土梁的斜截面承载力, 随着箍筋锈蚀率的增加而降低.

关键词: 钢纤维混凝土; 箍筋; 锈蚀; 受剪承载力

中图分类号: TU 375.102

文献标识码: A

钢筋锈蚀后, 混凝土构件的承载力计算是混凝土结构耐久性评估, 以及其剩余寿命预测的关键问题^[1-2]. 近年来, 国内外对钢筋锈蚀的混凝土受弯构件的研究集中在其正截面抗弯, 对其斜截面受剪承载力的研究甚少. 随着钢纤维混凝土在建筑工程领域的广泛应用, 钢纤维混凝土构件的耐久性研究显得更为迫切. 由于箍筋的直径和保护层厚度都较小, 箍筋对锈蚀更为敏感, 更容易导致斜截面的脆性破坏. 因此, 本文仅研究箍筋锈蚀的钢筋钢纤维混凝土梁的斜截面承载力, 并建立相应的计算公式.

1 试验部分

1.1 试件的制作

制作 6 根钢筋钢纤维混凝土梁^[3], 包括 2 根为未锈蚀的对比梁、4 根为箍筋锈蚀的梁. 为了保证构件的破坏是斜截面破坏, 梁配置足够的纵筋并采取了锚固措施, 试件制作时预留同条件养护的立方体混凝土试块. 当采用的钢纤维体积率 ρ 为 0. 5%, 1. 0% 时, 试块的混凝土强度实测值分别为 26. 0, 30. 2 MPa. 图 1 为试验梁配筋图.

1.2 快速锈蚀及加载

采用外加直流电对钢筋进行电化学锈蚀. 将试件浸泡在质量分数为 3% ~ 5% 的 NaCl 溶液中, 把连接钢筋的细钢筋与恒定直流电源的阳极相接, 而直流电源的阴极则与溶液中的不锈钢(或铜片) 相接, 通过 NaCl 溶液形成回路, 电解消耗阳极的钢筋. 根据文[4] 的控制通电时间, 可以达到预期的锈蚀效果.

由于实验仅进行箍筋锈蚀, 故需要对箍筋与纵筋进行绝缘处理. 即在箍筋与纵筋接触部位用环氧树脂与纱布包裹断开, 通电导线是在箍筋上部焊接一根直径较小的细钢筋. 加载装置如图 2 所示.

1.3 锈蚀率的计算

在构件加载完成后, 取出一段锈蚀的钢筋, 用盐酸清洗, 砂纸打磨后称量. 计算单位长度钢筋的质

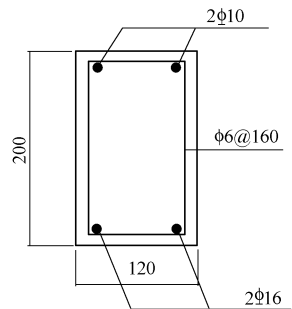


图 1 试验梁配筋图(mm)
Fig. 1 Reinforcement layout of beams(mm)

收稿日期: 2009 04 21

通信作者: 曾志兴(1967), 男, 教授, 主要从事混凝土结构耐久性的研究. E-mail: zhixing@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(E0740009); 福建省闽港人才合作项目(24020701); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划项目(07FJRC05); 福建省厦门市科技计划项目(3502Z20083038)

量损失, 然后除以锈蚀前单位长度的质量即得到锈蚀率(η). 通过试验, 构件 G-0.5-1, G-1.0-1, G-0.5-2, G-1.0-2 的实测箍筋锈蚀率分别为 7.93%, 6.54%, 14.11%, 18.10%.

2 结果及分析

2.1 锈蚀构件破坏特征

在加载的初期, 由于弯矩和剪力都比较小, 试件表现为弹性变形特征. 从荷载-挠度曲线可知, 挠度随荷载的增大呈线性增大, 此时的纵筋和箍筋的应力都比较小; 二从钢筋的应变曲线看, 钢筋的应变也是线性增长. 当荷载加载到一定程度, 试件在纯弯段内或集中力附近的位置出现第 1 条垂直裂缝. 随着荷载的继续增大, 垂直裂缝宽度变大, 在两端的剪跨段也陆续出现斜裂缝, 并不断向梁顶部和集中力作用点方向发展. 同时, 在垂直裂缝处梁的底面混凝土开裂, 并伴有轻微的响声.

从钢筋的应变曲线上还可看到, 钢筋应力较底面为开裂前明显增大; 继续加载, 裂缝增多、变宽、高度增大, 挠度进一步发展且增长稳定. 荷载进一步加大, 当钢筋应变增大到一定阶段且荷载基本不增加的情况下, 挠度增长很快, 裂缝也增长很快, 荷载-挠度曲线出现明显的转折点. 随后, 随着剪跨段斜裂缝的增多变宽, 发生斜截面破坏.

2.2 挠度和裂缝宽度随荷载的变化

箍筋锈蚀构件的挠度(f)和裂缝宽度(d)随荷载(P)的变化曲线, 分别如图 3, 4 所示. 从图 3 可以看出, 钢筋锈蚀降低了梁的刚度, 影响构件的延性, 箍筋锈蚀对受弯构件的斜截面抗剪承载力有显著影响. 从图 4 可以看出, 在同一条件下, 未锈蚀构件的裂缝开展速度与裂缝宽度都比锈蚀构件的裂缝开展速度与裂缝宽度要小, 说明钢筋锈蚀影响构件的刚度和承载能力. 裂缝的发展及裂缝宽度随着钢纤维体积率的增大而明显减小, 裂缝宽度及增长速率随着锈蚀率的增大而略有增大.

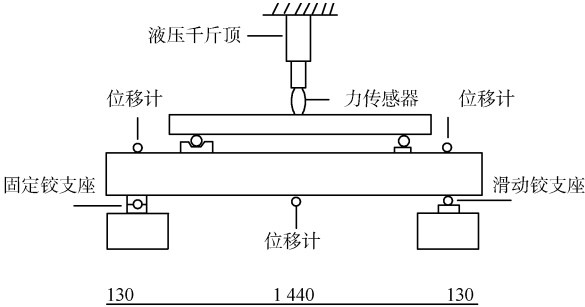


图 2 加载装置
Fig.2 Loading setup

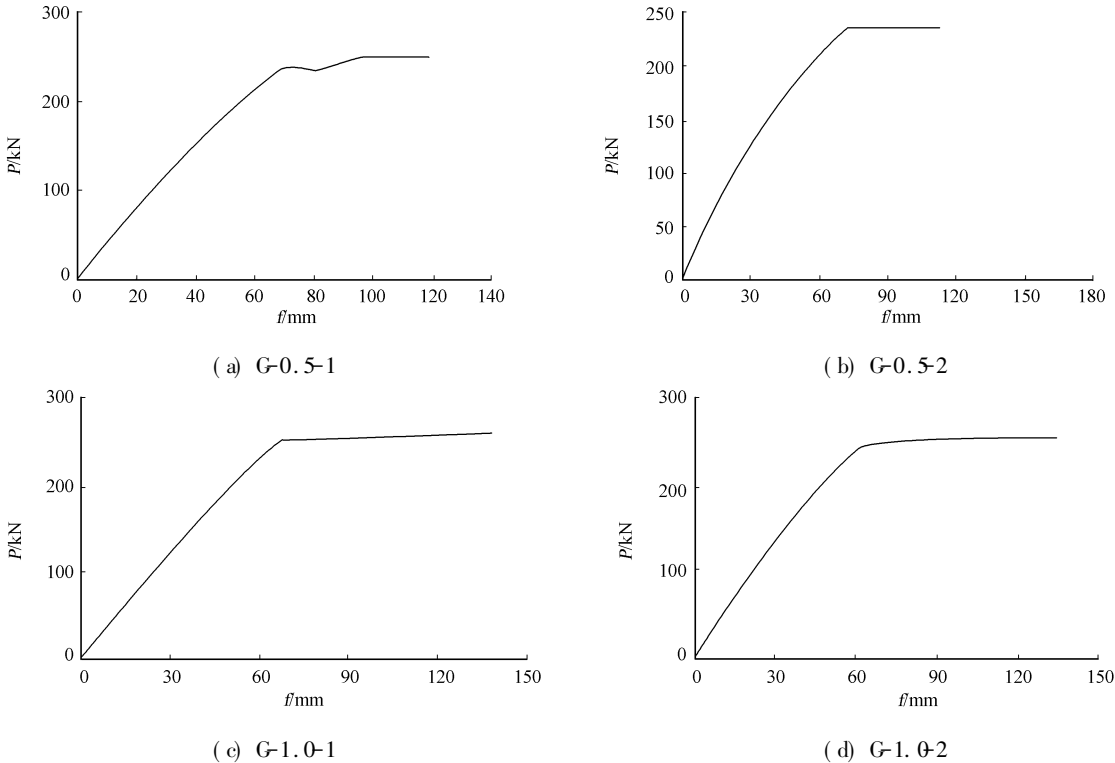


图 3 箍筋锈蚀构件的荷载-挠度曲线

Fig.3 Load-deflection curves of beams with corroded stirrups

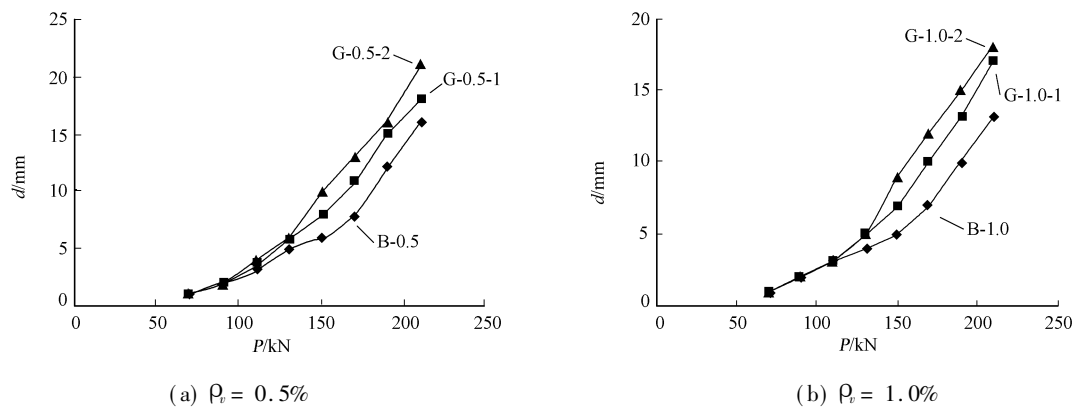


图 4 箍筋锈蚀构件荷载-裂缝宽度曲线

Fig. 4 Load-crack width curves of beams with corroded stirrups

2.3 试验梁抗剪承载力分析

构件的破坏形态均为剪切破坏,其极限荷载(P_u)及开裂荷载(P_{cr}),如表 1 所示.由表 1 可见,箍筋锈蚀构件的极限荷载均比未锈蚀构件的极限荷载小,且极限荷载的降低程度随锈蚀率的增大而增大.相对于钢纤维体积率为 0.5% 的构件,钢纤维体积率为 1.0% 的构件的极限荷载降低程度要小得多.

究其原因,主要是由于钢纤维的数量增多,在一定程度上承担了一部分本来钢筋应该承担的应力,使钢筋锈蚀率对构件承载力的影响有所降低.随着钢纤维体积率的增加,各构件的极限承载力也都有不同程度的提高.

表 1 构件的极限荷载及开裂荷载

Tab. 1 Cracking load and ultimate load of beams

试件	$\eta/\%$	P_{cr}/kN	P_u/kN
B-0.5	0	38	256
B-1.0	0	43	264
G-0.5-1	7.93	37	247
G-0.5-2	14.11	34	235
G-1.0-1	6.54	40	220
G-1.0-2	18.10	38	200

3 斜截面受剪承载力计算^[5-6]

在国内外的 大量研究中,提出了两种抗剪强度计算的回归公式.其一是将钢纤维混凝土看作是一种复合材料,以钢纤维混凝土的抗拉强度作为指标进行计算;另一种是将钢纤维作为混凝土的一种配筋,按迭加原理建立计算公式,即在普通钢筋混凝土无腹筋梁抗剪承载力的基础上,叠加钢纤维的抗剪作用.规范 CECS 38: 1992《钢纤维混凝土结构设计施工规程》^[7]就是以第 2 种回归方式,建立钢纤维混凝土受弯构件的抗剪承载力的计算公式.即

$$V_{fc} = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c b h_0 + \frac{1.7}{\lambda - 0.3} \frac{l_f \rho}{d_f} b h_0.$$

(1)

上式中: V_{fc} 为钢筋钢纤维混凝土无腹筋构件斜截面抗剪承载能力的设计值; λ 为剪跨比,当 $\lambda < 1.4$ 时,取 $\lambda = 1.4$;当 $\lambda > 3.0$ 时,取 $\lambda = 3.0$; l_f 为钢纤维的长度; ρ 为钢纤维体积率; d_f 为钢纤维的等效直径.

3.1 有腹筋梁的斜截面承载力

有箍筋梁的抗剪承载力,包括混凝土所承受的剪力、钢纤维所承受的剪力和腹筋所承受的剪力.由钢纤维混凝土的受力破坏及传力机制可知,上述 3 个部分的剪力应该具有某种相关关系,应在大量的试验数据的基础上回归公式.但目前还不具备这个条件.为了与现行规范相衔接,在假定钢纤维与腹筋不存在组合效应的前提下,根据无腹筋梁的抗剪承载力的计算公式,可直接写出有箍筋钢筋钢纤维混凝土梁的抗剪承载力的计算公式.即

$$V = V_c + V_f + V_s,$$

(2)

$$V_{fc} = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c b h_0 + \frac{1.7}{\lambda - 0.3} \frac{l_f \rho}{d_f} b h_0 + 1.25 \frac{f_{yv} A_{sv}}{s} h_0.$$

(3)

3.2 仅箍筋锈蚀梁的斜截面承载力

通过实验中对于仅箍筋锈蚀的钢筋钢纤维混凝土梁的斜截面抗剪承载力数据的归纳回归,得出箍

筋锈蚀率对梁斜截面抗剪承载力的影响。因此, 参照式(2), (3), 可得仅箍筋锈蚀钢筋钢纤维混凝土构件斜截面承载力的计算公式为

$$V_k = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c b h_0 + \frac{1.7}{\lambda - 0.3} \frac{l_f \rho}{d_f} b h_0 + (1 - 1.702 \eta_k) 1.25 \frac{f_{yv} A_{sv}}{s} h_0$$

(4)

式(4)中: γ 为箍筋锈蚀对箍筋抗剪强度影响的降低系数, $\gamma = 1 - 1.702 \eta_k$, η_k 为箍筋锈蚀率。

为了与现行国家标准 GB 50010- 2002《混凝土结构设计规范》^[8] 相对应, 引入计算公式为

$$V = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 (1 + \beta_k \lambda) + (1 - 1.702 \eta_k) \frac{f_{yv} A_{sv}}{s} h_0$$

(5)

式(5)中: 钢纤维对斜截面混凝土抗剪承载力的影响系数 β_k 可通过试验确定。当钢纤维混凝土强度在 CF20~ CF40 之间时, 可取 $\beta_k = 0.9$ 。

4 结论

研究仅箍筋锈蚀的钢筋钢纤维混凝土梁的斜截面承载力, 通过分析并结合国内外的研究成果, 建立表达形式与现行规范相适应的, 钢筋钢纤维混凝土梁在箍筋锈蚀情况下的斜截面承载力的计算公式。

由于未考虑钢纤维的锈蚀对构件斜截面承载力的影响, 建议对钢纤维锈蚀的影响进行研究, 归纳出更准确的钢筋锈蚀对梁斜截面承载力的影响系数。

钢纤维可以阻裂及分担一定的拉应力^[9], 需要研究钢纤维体积率与钢筋的等代关系。因此, 有必要取多个锈蚀率进行研究, 提出剪力更为准确的回归公式。

参考文献:

[1] 金伟良, 赵羽习. 混凝土结构耐久性[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[2] 牛荻涛. 混凝土结构耐久性与寿命预测[M]. 北京: 科学技术出版社, 2003.

[3] 宋小雷. 锈蚀钢筋混凝土梁静力及疲劳性能试验研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2008.

[4] 仲伟秋, 贡金鑫. 钢筋电化学快速锈蚀试验控制方法[J]. 建筑技术开发, 2002, 29(4) : 28-30.

[5] 徐善华, 牛荻涛. 锈蚀钢筋混凝土简支梁斜截面抗剪性能研究[J]. 建筑结构学报, 2004, 25(5) : 98-104.

[6] 霍艳华. 锈蚀钢筋混凝土简支梁受剪承载力研究[J]. 工业建筑, 2006, 36(S1) : 910-912.

[7] 中国工程建设标准化协会标准. CECS 38: 1992 钢纤维混凝土结构设计 with 施工规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.

[8] 中华人民共和国建设部. GB 50010- 2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

[9] 曾志兴, 宋小雷, 孙艳秋. 钢纤维陶粒轻骨料混凝土受拉性能试验[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2009, 30(2) : 208-210.

Experimental Research on Shear Capacity of Steel Fiber RC
Simple Beams with Corroded Stirrup

ZENG Zhi-xing, HU Zhi-wei

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: On condition of the corroded stirrup, the shear force carrying capacity of 6 steel fiber reinforced concrete (RC) simple beams is calculated, so as to discuss the effect of corroded stirrup on the shear capacity. Based on the experimental results, the formula to calculate the shear capacity is put forward. It's indicated: the failure mode of oblique section is decided by the shear-to-span ratio, the corrosion degree only influences the shear capacity, doesn't change the failure mode. With increasing the steel fiber ratio per unit volume, the shear capacity of steel fiber RC beam increases; and with increasing the corrosion degree of stirrup, the shear capacity decreases.

Keywords: steel fiber reinforced concrete; stirrup; corrosion; shear force carrying capacity

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)