

配箍筋缺口梁的抗剪承载力*

卢志红 王全凤 郭子雄

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 通过5根缺口梁的抗剪试验, 分析配箍筋缺口梁的受力状况, 探讨缺口梁的配筋原理, 并建立抗剪极限承载力计算公式. 可供工程设计和制定砼设计规范时参考.

关键词 抗剪承载力, 箍筋, 缺口梁

分类号 TU 375.1

工业厂房的跨度较大, 简支梁在靠近支座处的高度和配筋, 不需要与跨梁中相同. 因此, 为了配合支座处牛腿, 通常将梁端设计成缺口形状. 缺口梁端部的受力十分复杂, 其抗剪问题, 也很突出. 本文通过5根缺口梁的试验结果, 在研究缺口梁的破坏形态和受力状况等基础上, 建立了缺口梁的抗剪承载力计算公式. 同时分析了箍筋、纵筋弯起等不同的配筋构造细节.

1 试件与试验

试件设计如图1所示. 砼强度等级设计为C20. 由于试件的制作误差, 试件的实际参数列于表1. 试验加载情况如图2所示. 每根梁分别对两端进行试验, 这样可获得两批数据, 以节省试件制作费用.

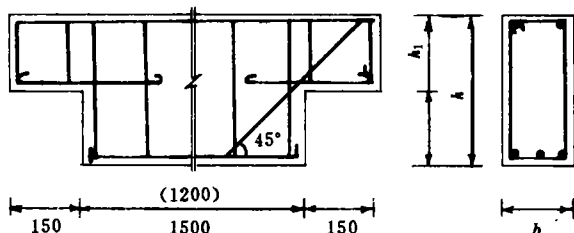


图1 试件配筋图

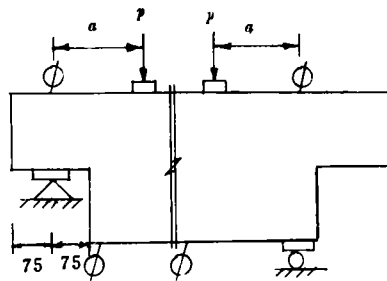


图2 试验加载图

缺口处箍筋和纵向弯起钢筋上的应变片, 贴在与缺口斜向成 45° 线相交的位置上. 在缺口处的纵筋和梁中间底部的纵筋, 同样贴有应变片.

* 本文1993-12-30收到; 工程建设国家标准规范重点科研计划和国务院侨办重点科研基金的资助项目

表 1 试件的实际参数^①

试件编号	试件尺寸/mm				砼强度/MPa	
	b	h	h_1	h_{10}	f_{cu}	f_c
B1.11	214	360	170	145	16.90	11.32
B1.12	214	360	164	139	16.90	11.32
B1.21	220	370	190	165	16.01	10.73
B1.22	220	370	160	135	16.01	10.73
B2.11	150	300	150	125	19.53	13.09
B2.12	150	300	150	125	19.53	13.09
B2.21	150	300	150	125	19.53	13.09
B2.22	150	300	150	125	19.53	13.09
B2.31	150	300	150	125	19.53	13.09
B2.32	150	300	150	125	19.53	13.09

① 试件缺口处所配腹筋情况: B1.11 为 $1\phi 8+1\phi 14$ (纵筋 90° 弯起); B1.12 为 $1\phi 6$; B1.21 为 $1\phi 8+1\phi 18$ (纵筋 45° 弯起, 且钢筋锚固破坏); B1.22 为 $2\phi 8$; B2.11 和 B2.12 为 $1\phi 6$; B2.21 和 B2.22 为 $2\phi 6$; B2.31 和 B2.32 为 $1\phi 6+1\phi 14$ (纵筋 45° 弯起); B2.32 发生缺口支座砼劈裂破坏. 钢筋实测屈服强度 f_y : $\phi 6$ 为 431.49 MPa; $\phi 8$ 为 333.23 MPa; $\phi 14$ 为 344.3 MPa; $\phi 18$ 为 414.8 MPa

2 试件结果分析

2.1 裂缝的产生及开展

出现在缺口处的第 1 条裂缝, 与缺口底边的夹角约为 $40\sim 45^\circ$. 裂缝越向上开展, 角度越趋平缓. 在加载至破坏荷载的 60% 左右时, 出现另 2 条裂缝. 加载将达到极限承载力时, 梁底部出现 1~2 条指向加载点的斜裂缝, 且裂缝越向上部越陡. 梁破坏时, 斜裂缝中、上部的砼均被压碎.

2.2 钢筋的应变

由于试件制作的误差以及斜裂缝角度的变化, 所设计的箍筋上的应变片未能全部通过斜裂缝. 但通过斜裂缝的应变片上所测得的钢筋应变, 基本上都达到屈服点. 值得注意的是, 根据所测到的缺口处纵向钢筋的应变来看, 大部分试件缺口处的纵向钢筋都屈服了. 这说明缺口处的纵向钢筋, 对缺口处控制裂缝的开展及对极限承载力的影响, 是不可忽视的. 钢筋的剪力-应变曲线示于图 3(图中 f 为缺口处纵筋; d, D, e, E 为缺口处箍筋).

当箍筋离缺口边大于某一距离时, 其应变相对于缺口处箍筋的应变要小得多, 说明此处箍筋不能充分发挥作用. 箍筋应布置在靠近缺口的某一范围内, 这样, 不仅能提高构件在缺口处的极限抗剪承载力, 而且能抑制裂缝的扩展.

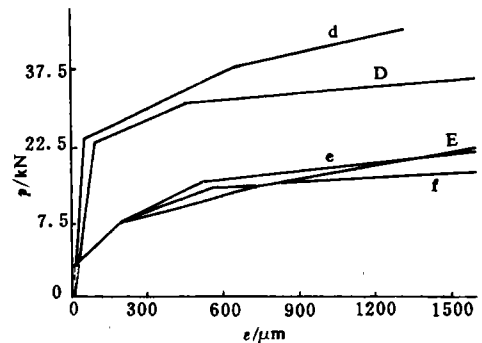


图 3 B2.11 中钢筋的剪力-应变图

2.3 配筋构造

由斜裂缝的开展情况、离缺口边不同距离的箍筋应变的情况来分析,箍筋应布置在靠近缺口的某一范围内.从本次试验情况分析,这一范围大约为 $2h_1/3$.在试件 B1.21 中,底部的一根纵向抗弯钢筋在缺口处成 45° 弯起.试件在缺口处达到极限承载力之前,发生弯起钢筋端部的锚固劈裂破坏.由于缺口梁端部腹筋配置较多,构造复杂,因此应特别注意细部构造措施.

3 缺口梁的抗剪承载力计算公式

由上述的裂缝和破坏形态,可以把缺口梁在达到极限承载力时的受力情况,用桁架机构模型来说明^[1,2].如图4所示,等效桁架的上弦杆由梁顶部受压区砼组成,下弦杆为梁的受拉纵筋,桁架的腹杆由平行于斜裂缝的砼压杆及受拉的箍筋所组成.由节点力的平衡条件得到 $V_u = V_c, T_1 = (V_c \cdot e) / Z_1$. 式中 V_u 为缺口梁极限抗剪承载力, V_c 为通过斜裂缝的箍筋的合力, T_1 为缺口处纵筋拉力的合力, e 为支座到箍筋合力作用点的距离.

由试验结果分析(表2),剪力并非全部由箍筋承担,砼也承担了一部分.这就是说,缺口梁的实际抗剪承载力可由两部分组成,即

$$V_u = V_c + V_s, \quad (1)$$

式中 V_c 为砼的抗剪承载力.为了与砼设计规范中抗剪公式相协调,设 $V_c = \beta_1 f_c b h_1$. 并假设通

表2 试验结果和计算过程

试件编号	V_u^*/kN	$f_c b h_{10}/kN$	$f_{yv} \cdot A_{sv}/kN$	λ	$g_1^{\text{①}}$	$g_2^{\text{②}}/kN$	V_u/kN	V_u/V_u^*
B1.11	58.77	351.26	33.57	3.38	—	—	—	—
B1.12	42.24	336.72	24.42	3.23	18.90	9.09	33.51	0.79
B1.21	65.00	389.50	33.52	2.83	—	—	—	—
B1.22	72.98	318.68	67.05	3.13	53.74	8.90	75.95	1.04
B2.11	34.75	245.44	24.42	2.00	23.76	8.59	33.01	0.95
B2.12	31.75	245.44	24.42	2.00	33.48	8.59	33.01	1.04
B2.21	55.22	245.44	48.84	2.00	38.47	8.59	57.43	1.04
B2.22	65.83	245.44	48.84	1.90	14.45	8.84	57.68	0.88
B2.31	75.73	245.44	24.42	1.87	—	—	—	—
B2.32	65.00	245.44	24.42	2.00	—	—	—	—

① $g_1 = f_c b h_{10} / (V_u^* - f_{yv} \cdot A_{sv})$; ② $g_2 = \beta_1 f_c b h_{10}$

过斜裂缝的箍筋达到屈服,即 $V_s = f_{yv} \cdot A_{sv}$, 式中, f_{yv} 为箍筋抗拉强度, A_{sv} 为通过斜裂缝的箍筋总面积(根据对箍筋应变实测结果,可近似取 $2h_1/3$ 范围内的箍筋的总面积), f_c 为砼的轴心抗压强度. 即得

$$V_u = \beta_1 f_c b h_{10} + f_{yv} \cdot A_{sv}. \quad (2)$$

现对有关尺寸变量进行分析,取 $\beta_1 = 1/(\alpha_0 + \alpha_1 \lambda)$, 其中 $\lambda = a/h_{10}$. 将此式代入式(2)化简,并对

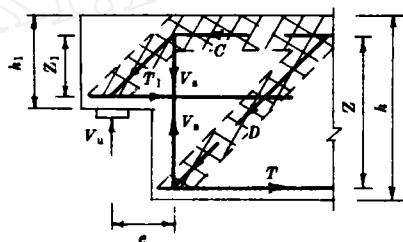


图4 桁架模型

试件, B1. 12, B1. 22, B2. 11, B2. 12, B2. 21, B2. 22 的试验结果进行回归分析, 得到经验回归系数为 $\alpha_0 = 13.79$, $\alpha_1 = 7.02$, 则得 $\beta_1 = \frac{0.14}{\lambda + 1.96}$. 将 β_1 式代入(2)得

$$V_u = \frac{0.14}{\lambda + 1.96} f_c b h_{10} + f_{yv} \cdot A_{sv}, \quad (3)$$

式(3)即为配箍筋缺口梁的抗剪极限承载力计算公式. 计算过程及结果见表2. 按式(3)的计算值 V_u 与试验值 V_u^e 之比的平均值 $\bar{X} = 0.96$, 其均方差 $\sigma = 0.095$. 离散系数 $\bar{V} = 0.099$. 又由 $T_1 = V_u^e / Z_1$, 得缺口处所需的纵向钢筋总面积 A_{sT1} 的计算公式为 $A_{sT1} = T_1 / f_y$. 即

$$A_{sT1} = \frac{V_u^e}{f_y Z_1}, \quad (4)$$

式中 f_y 为缺口处纵向钢筋的屈服强度, Z_1 为 T_1 至受压区砼合力中心的距离.

4 结论

(1) 缺口梁的抗剪承载力, 由砼和抗剪钢筋两部分组成.

(2) 缺口梁端部的箍筋应布置在靠近缺口边的 $\frac{2}{3}h_1$ 范围内, 以便箍筋能充分发挥作用.

(3) 若采用梁底部纵向钢筋弯起的配筋形式, 应注意弯起钢筋的锚固问题.

(4) 缺口处的纵筋, 对于抑制裂缝开展, 以及保证将其承担的拉力传递到“桁架”节点上, 起着重要的作用. 因此, 必须保证其伸入梁内有足够的锚固长度. 更为详细的构造要求将在今后的试验中进一步探讨.

林雨生、陈治平、尤晋青、杨伟、龚顶平、黄镇国等同志参加部分实验工作, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- 1 帕克 R, 波利 T 著. 钢筋混凝土结构(上). 秦文钺译. 重庆: 重庆大学出版社, 1986. 177~192
- 2 莱昂哈特 F, 门尼希 E 著. 钢筋混凝土结构配筋原理. 程积高译. 北京: 水利电力出版社, 1984. 120~123

Shear Bearing Capacity of Notched Concrete Beams with Stirrup

Lu Zhihong Wang Quanfeng Guo Zhixiong

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract Based on shear test taken on 5 notched concrete beams, the authors analyse the force conditions of notched beam with stirrup; and inquire into the principle of reinforcement in notched beam; and work out a formula for computing the limiting shear bearing capacity. The conclusion may serve as a reference for engineering design and the preparation of concrete design specifications.

Keywords shear bearing capacity, stirrup, notched beam