

小剪跨比牛腿承载性能试验研究

陈礼和,袁明亮,赵玉新,李根鑫

(河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 为了分析小剪跨比钢筋混凝土牛腿在竖向荷载作用下的破坏情况,通过试验研究了不同剪跨比和混凝土强度对牛腿承载能力的影响,分析了牛腿纵筋的承载力-应变曲线和破坏形态.结果表明 在小剪跨比情况下,牛腿破坏形态大致可分为剪切破坏和斜压破坏 2 种破坏形态.混凝土强度的提高使钢筋混凝土牛腿受剪承载力增大而且基本呈线性关系.随着剪跨比的增大,牛腿的极限承载力明显下降.在荷载一定的情况下,裂缝宽度基本上随剪跨比的增大而增大,钢筋的应变值随剪跨比的减小而变小.

关键词 小剪跨比 牛腿 承载力

中图分类号 :TU375 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2008)04- 0550- 04

钢筋混凝土牛腿是支承吊车梁、托梁、墙梁和屋面梁等的重要结构构件.牛腿除承受较大的竖向力外,还承受由风荷载、地震荷载和结构位移作用等引起的水平拉力^[1-2].到目前为止,国内外学者已对钢筋混凝土牛腿的受力性能进行了一定的研究并建立了多种计算理论,主要有桁架理论^[3-7]、剪切理论、剪摩擦理论^[8]和经验公式法.其中对小剪跨钢筋混凝土牛腿(剪跨比 $a/h_0\leq 0.3$)的研究较少,在国内只有上海应用技术学院^[9-10]和原冶金工业部建筑研究院^[11]进行了钢筋混凝土牛腿在小剪跨比下的试验.而在水电站或抽水站等水工建筑物中的牛腿大部分属于小剪跨比范围,甚至有 $a < 0$ 的情况.因此,有必要对小剪跨比牛腿的承载性能进行研究.

笔者通过 12 个牛腿试件的试验研究,探讨了小剪跨比牛腿的承载能力和破坏形态.

1 试件设计和试验方法

1.1 试验目的

为了研究剪跨比 a/h_0 和混凝土强度等因素对小剪跨比钢筋混凝土牛腿承载能力和破坏形态的影响,本文进行了 5 个钢筋混凝土牛腿和 7 个素混凝土牛腿试验.

1.2 试件设计

为加载方便,采用对称的双牛腿加载方式.如图 1 所示,牛腿试件厚度 $b = 200\text{ mm}$,牛腿根部截面高 $h = 450\text{ mm}$,端高 $h_1 = 200\text{ mm}$, R_A 及 R_B 为试验时作用在牛腿上的 2 个集中力.钢筋混凝土牛腿试件配置了 4 12 的纵向受拉钢筋,配筋率为 0.54%,纵筋屈服强度为 378 MPa.按构造配置了 $\varnothing 6$ 、间距 100 mm 的箍筋,箍筋屈服强度为 272 MPa,如图 2 所示.由于试验主要考虑剪跨比 $a/h_0\leq 0.3$ 的情况,按现行混凝土结构设计规范不配置弯起钢筋,配筋牛腿试件的混凝土立方体抗压强度为 24.7 MPa.素混凝土牛腿试件的混凝土强度等级为 C20、C25 和 C30.此外,每个试件在制作时都预留了 6 个 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 的混凝土立方体试块,用于测试混凝土的立方体抗压强度.

1.3 试验方法和测试内容

试验采用静力加载方法.在 5 000 kN 压力试验机上加载,通过试验机的压力板在牛腿的对称位置实现 2 个同步的集中力,2 个集中力通过荷载传感器传至牛腿.加载点处选用 $200\text{ mm}\times 60\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 的刚性垫板.试验加载装置如图 3 所示.试验主要测试开裂荷载和极限荷载、各级荷载作用下纵筋和箍筋的应变、裂缝出现的位置

及最大裂缝宽度.在钢筋表面布置应变片,通过静态电阻应变仪测读出钢筋的应变,数据均由计算机自动采集.

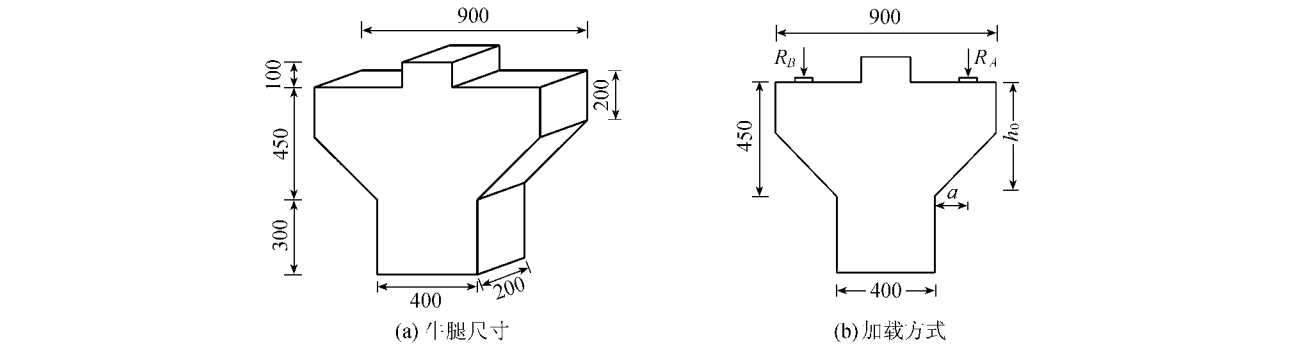


图 1 牛腿尺寸及加载方式(单位 :mm)
Fig.1 Sizes of corbel specimens and loading pattern

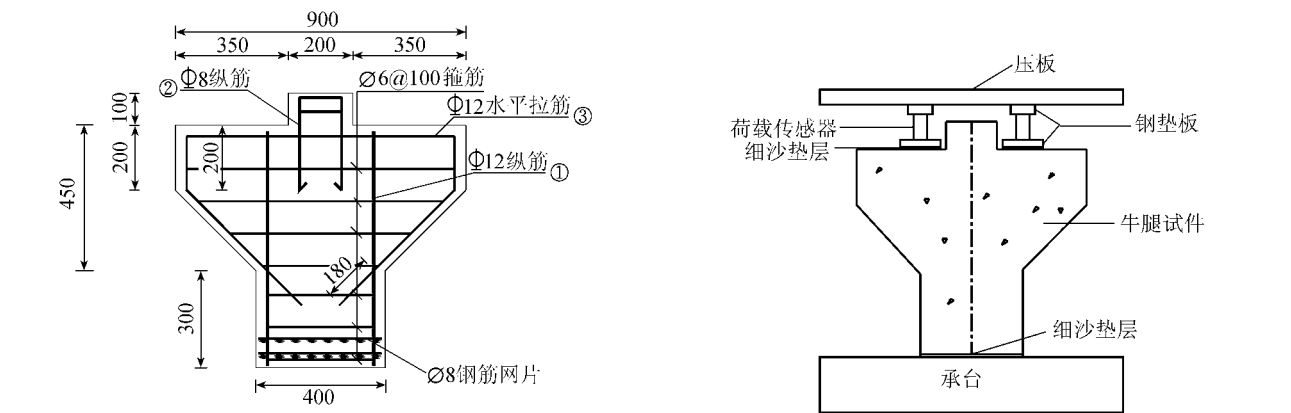


图 2 牛腿配筋(尺寸单位 :mm)

Fig.2 Reinforcement distribution of corbels

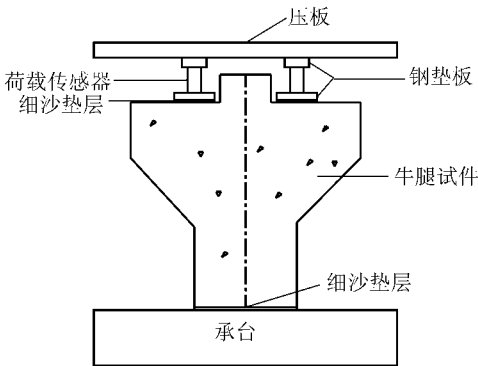


图 3 试验加载装置

Fig.3 Loading system

试验选用的主要设备有 5 000 kN 压力试验机 500 kN 荷载传感器 2 个 ;TS3890 静态电阻应变仪 1 台,用于采集数据 ;读数显微镜 2 个,用于观测裂缝宽度.荷载加载采用分级加载法,用荷载值控制加载.试件开裂以前,试验机每级加载 60 kN,反映在牛腿的支座反力上即每级增加 30 kN ;试件开裂以后,试验机每级加载 100 kN,反映在牛腿的支座反力上即每级增加 50 kN,直至牛腿破坏.

1.4 试验方案

试验主要以剪跨比和混凝土强度为主要试验参数.设计制作了 5 个配筋牛腿试件(N01 ~ N05),混凝土强度不变,其中剪跨比 a/h_0 取 0,0.1, 0.2 和 0.3,以了解不同剪跨比对牛腿承载性能的影响 ;设计制作了 7 个素混凝土牛腿试件(SN01 ~ SN07),取剪跨比为 0,混凝土强度等级为 C20, C25 和 C30,以了解不同混凝土强度对牛腿承载性能的影响.试验参数见表 1,试件截面尺寸 $b \times h = 200\text{ mm} \times 450\text{ mm}$.

2 试验结果与分析

2.1 破坏形态

由试验观察到的配筋牛腿的破坏形态大致可分为剪切破坏和斜压破坏 2 种破坏形态,如图 4 所示.

剪跨比 $a/h_0 \leq 0.2$ 的配筋牛腿发生剪切破坏.其破坏特征是 :当加载到极限荷载的 20% ~ 40% 时,一般在加载板内侧至牛腿与下柱交点连线方向上出现微裂缝,其开展很小 ;当加载到极限荷载的 40% ~ 60% 时,在截面腹部出现数条短小裂缝.随着荷载的继续增大,裂缝上下延伸,裂缝宽度变大,最后连成一片,构件沿该裂缝破坏.

表 1 牛腿试件基本试验参数

Table 1 Basic experimental parameters of corbels		
试件	混凝土立方体强度 /MPa	剪跨比
N01	24.7	0
N02	24.7	0.1
N03	24.7	0.2
N04	24.7	0.3
N05	24.7	0
SN01	23.0	0
SN02	23.0	0
SN03	23.0	0
SN04	28.7	0
SN05	28.7	0
SN06	19.6	0
SN07	19.6	0

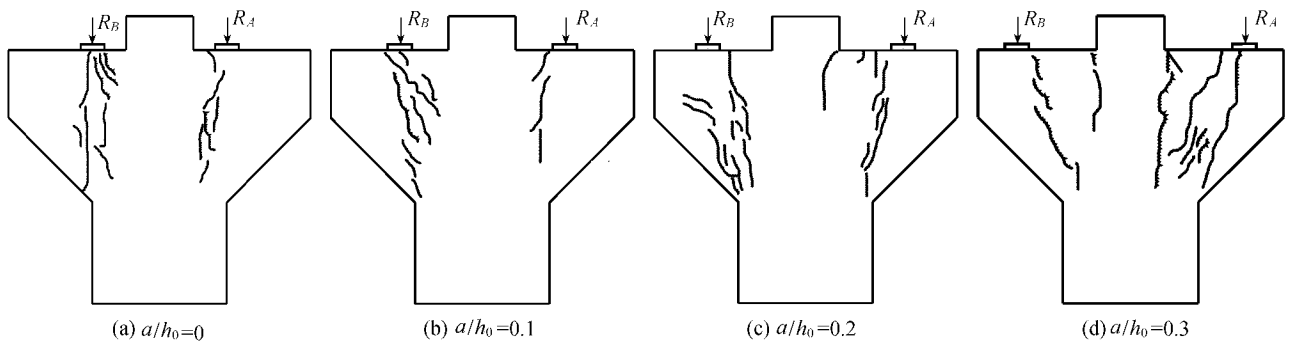


图4 配筋牛腿破坏形态

Fig.4 Failure modes of reinforced concrete corbels

剪跨比 $a/h_0=0.3$ 的配筋牛腿发生斜压破坏.其破坏特征是:当加载到极限荷载的 20% ~ 30% 的荷载时,在上柱与牛腿顶面相交处出现第 1 条裂缝;当加载到极限荷载的 40% ~ 60% 的荷载时,在牛腿垫板内侧附近出现第 2 条主裂缝.随着荷载的继续增大,出现第 3 条斜裂缝,形成斜向压力带,最后纵向钢筋达到屈服,斜裂缝开展,混凝土斜向压力带内的应力逐渐增加,直至达到棱柱体抗压强度,构件破坏.

2.2 牛腿承载力与裂缝宽度

不同剪跨比下配筋牛腿的最大裂缝宽度与竖向荷载的关系见表 2.从表 2 可以看出,荷载一定的情况下,裂缝宽度随着剪跨比的增大而增大.这说明剪跨比对裂缝的开展有着很明显的影

2.3 纵向钢筋的应变

试件主拉钢筋的实测承载力-应变曲线如图 5 所示.从图 5 可以看出,加载初期基本呈直线而且比较陡.这说明荷载和变形为成正比关系,尽管荷载增加较快,但钢筋变形较小.当承载力-应变曲线发生转折时,曲线向横坐标轴倾斜,这主要是由于混凝土开裂的同时将一部分荷载转移给钢筋,使得钢筋的应力-应变增大.

表 2 不同剪跨比配筋牛腿在各级荷载下的裂缝宽度

Table 2 Crack widths of reinforced concrete corbels of different shear span ratios under different loads

荷载/kN	最大裂缝宽度/mm				
	N01	N02	N03	N04	N05
200	0.10	0.1	0.15	0.2	0.10
300	0.17	0.2	0.25	0.5	0.15
400	0.30	0.35	0.45		0.30
500	0.40	0.45			0.40

从图 5 还可以看出,纵向钢筋的荷载-应变曲线随着 a/h_0 的减小变得越来越陡.这说明在相同的荷载作用下,钢筋的应变随着 a/h_0 的减小而变小.由此可见, a/h_0 的变化会影响裂缝的出现和开展.

试验结果表明,小剪跨牛腿的裂缝与支承面几乎垂直.从而可以推断,在小剪跨比情况下,在牛腿内设置弯起钢筋并不能充分发挥作用.

2.4 主要影响因素

2.4.1 剪跨比

剪跨比反映了截面上正应力和剪应力的相对比值,在一定程度上也反映了截面上弯矩与剪力的相对比值,它对牛腿的斜截面受剪破坏形态和极限承载力 V_u 有着极为重要的影响. $V_u/(f_t b h_0)$ 与剪跨比 a/h_0 的关系见图 6, f_t 为混凝土抗拉强度.根据试验数据通过软件 origin7.0 可近似拟合出 $V_u/(f_t b h_0)$ 与剪跨比 a/h_0 关系式: $V_u = (3.7 - 4a/h_0)f_t b h_0$.从图 6 可以看出,剪跨比在 0 ~ 0.2 之间极限承载力变化不

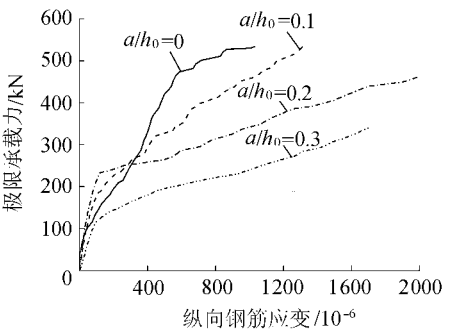


图5 实测承载力-应变曲线

Fig.5 Relationship between carrying capacity and strain

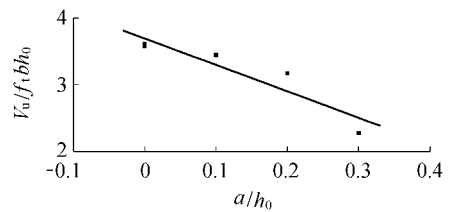


图6 极限承载力与剪跨比的关系

Fig.6 Relationship between ultimate carrying capacity and shear span ratio

大,而剪跨比从 0.2 到 0.3 极限承载力变化显著,主要是由于牛腿的破坏形态由剪切破坏转为斜压破坏.因此,剪跨比对牛腿的极限承载力和破坏形态有着明显的影响.

2.4.2 混凝土强度

混凝土强度是影响钢筋混凝土牛腿极限承载力的重要因素.由试验结果得到的混凝土强度与牛腿的极限承载力的关系如图 7 所示.从图 7 可以看出,牛腿试件的极限承载力随着混凝土立方体强度的增大而提高,而且两者关系基本呈线性关系.根据试验数据通过软件 origin7.0 可近似地拟合出混凝土强度与牛腿的极限承载力的关系式: $V_u = 1.22f_t b h_0$.

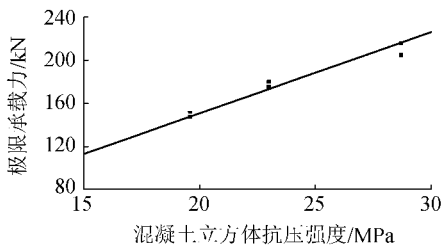


图 7 极限承载力与混凝土立方体抗压强度的关系

Fig.7 Relationship between ultimate carrying capacity and compressive strength of concrete

3 结 论

- a. 剪跨比对钢筋混凝土牛腿的极限承载力有着显著影响,随着剪跨比的增大,牛腿的极限承载力明显下降,根据试验数据可近似地拟合出 $V_u/(f_t b h_0)$ 与剪跨比 a/h_0 的关系式: $V_u = (3.7 - 4a/h_0)f_t b h_0$.
- b. 混凝土强度的提高使钢筋混凝土牛腿受剪承载力增大,增大幅度与混凝土强度基本呈线性关系,根据试验数据可近似拟合出混凝土强度与牛腿极限承载力的关系式: $V_u = 1.22f_t b h$.
- c. 在荷载一定的情况下,裂缝宽度基本上随剪跨比的增大而增大,钢筋的应变随着剪跨比的减小而变小.
- d. 在小剪跨比情况下,配筋牛腿破坏形态大致可分为剪切破坏和斜压破坏 2 种破坏形态.

参考文献:

[1] GB 50010—2002,混凝土结构设计规范[S].
[2] SL/T191—96,水工混凝土结构设计规范[S].
[3] 刘华新,邢颖,刘舰,等.拉-压杆模型法在牛腿配筋设计中的应用[J].辽宁工学院学报,2005,25(1):37-39.
[4] 吴晖,刘维亚.拉-压杆模型法在钢筋混凝土构件设计中的应用[J].建筑结构,2007,37(7):34-37.
[5] 周屺.压杆-拉杆模型在混凝土结构设计中的应用[J].世界桥梁,2002,2(2):1-7.
[6] LIANG Q Q, STEVEN G P. Performance-based optimization for strut-tie modeling of structural concrete[J]. Journal of Structural Engineering,2002,128(6):815-823.
[7] 苏三庆,丰定国.钢筋混凝土牛腿中水平钢筋作用及设计方法[J].西安冶金建筑学院学报,1990,22(2):127-137.
[8] ACI318—05,Building code requirement for structural concrete[S].
[9] 袁保禄.小剪跨比钢筋砼空腹牛腿强度计算[J].上海应用技术学院学报:自然科学版,2002,2(2):76-79.
[10] 张思洲,袁保禄.小剪跨比钢筋砼牛腿在竖向静力作用下的强度计算与配筋率[J].青岛理工大学学报,1990,11(3):1-11.
[11] 李建华.小剪跨牛腿的性能和承载能力[J].工业建筑,1989(12):1-12.

Experimental study on carrying capability of corbels of small shear span ratio

CHEN Li-he, YUAN Ming-liang, ZHAO Yu-xin, LI Gen-xin
(College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to analyze the failure mechanisms of the reinforced concrete corbels of small shear span ratio under a vertical load, the effects of shear span ratio and concrete strength on the carrying capacity of reinforced concrete corbels were studied through experiments. The curve of carrying capacity-strain and failure modes was analyzed. The results indicate that the failure modes of reinforced concrete corbels of small shear span can be classified into two types: shear failure, and diagonal compression failure. The carrying capacity of the reinforced concrete corbels increases with the increase of the concrete strength and the decrease of shear span ratio, showing linear relations. The crack width and steel strain increase with the increase of shear span ratio at a given load.

Key words: small shear span ratio; corbel; carrying capacity