

梁柱配筋对混凝土局部受压承载力影响研究

王 英, 郑文忠, 李二航

(哈尔滨工业大学 土木工程学院, 150090 哈尔滨)

摘 要: 针对现行规范计算混凝土局部受压承载力时, 未考虑预应力框架节点处箍筋和梁柱纵筋影响的问题, 本文在计算混凝土局部受压承载力时, 引入了预应力框架节点处梁柱配筋的影响, 提出了框架节点处与锚垫板相交的箍筋和梁柱纵筋作为等效垫板的思想. 研究结果表明: 柱纵筋、梁纵筋和节点箍筋的等效新增的局部受压面积可取为3倍钢筋直径长度在垂直于预应力筋方向的投影面积. 基于分析结果, 给出了考虑梁柱配筋影响的局部受压面积和底面积的计算公式, 提出了考虑梁柱纵筋和箍筋影响的混凝土局部受压承载力计算方法.

关键词: 梁柱配筋; 局部受压承载力; 等效垫板

中图分类号: TU378.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2012)04-0007-05

Influence of reinforcement in columns and beams on local compression bearing capacity of concrete

WANG Ying, ZHENG Wen-zhong, LI Er-hang

(School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China)

Abstract: To perfect the calculation formula of concrete local compression bearing capacity for the current code, which has no considering the influence of longitudinal-steel in beam, longitudinal-steel in column and stirrup, the positive influence of steel in beams and columns in the local compression bearing capacity calculation, and the thought that reinforcement intersected with anchor plate in beams and columns can be regarded as equivalent plate are put forward. The analysis result shows that the equivalent new added local compression area of reinforcement in beams and columns in node can be taken as the projected area of 3 times of the diameter of steel bars in the direction of prestressed bars. Based on the analysis, the calculation formula of local compression area and calculated bottom area, and the calculation method of local compression bearing capacity considering the effect of longitudinal-steel in beam, longitudinal-steel in column and stirrup are put forward.

Key words: reinforcement in beams and columns; local compression bearing capacity; equivalent plate

针对预应力锚具下混凝土的局部受压问题, 国内外学者进行了大量的理论分析和试验研究^[1-6], 但是, 近些年的科学研究及工程实践表明, 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)^[7] (以下简称现行规范) 中有关混凝土局部受压承

载力的计算方法存在一些问题, 例如预应力混凝土框架节点区域, 为满足局压承载力的要求, 设计时需要在锚固区域配置大量的间接钢筋, 使得节点区域配筋过于密集, 混凝土难以浇筑密实, 影响施工效率和工程质量. 预应力混凝土框架节点外侧, 与预应力混凝土梁相交的柱和梁中的纵筋以及节点箍筋对混凝土局部受压承载力有一定的提高作用, 而在现行规范中未考虑梁柱纵筋和节点箍筋的影响.

本文研究了预应力混凝土框架节点处梁柱纵筋和节点箍筋对混凝土局压承载力的影响, 提出

收稿日期: 2011-06-05.

基金项目: 国家教育部长江学者奖励计划资助项目(2009-37); 教育部博士点基金资助项目(20092302110046); 哈尔滨工业大学“985工程”优秀科技创新团队建设项目(2011).

作者简介: 王 英(1968—), 女, 博士, 副教授;

郑文忠(1965—), 男, 博士生导师, 长江学者特聘教授.

通讯作者: 郑文忠, zhengwenzhong@hit.edu.cn.

了将位于锚垫板内侧的梁柱纵筋和节点箍筋作为等效垫板的思想. 通过对文献[8]用柱纵筋和箍筋代替局压影响区网片增强局部承压承载力的试验结果的分析,提出了考虑梁柱配筋影响的局压面积和计算底面积的计算公式,建立了考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的局部受压承载力计算方法.

1 考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的混凝土局压承载力计算方法

在预应力混凝土框架节点区域,与预应力梁相交的柱和梁中配置了大量的纵筋和箍筋. 文献[2]试验研究表明,采用柱中纵筋和箍筋代替局部受压钢筋网片实现局部承压是可行的,柱纵筋和箍筋对局部受压影响区域内混凝土的约束在受力变形时形成多轴受力状态,可以利用三轴应力状态下混凝土强度提高来解决局部受压强度不足的问题. 以此结论为基础进行推广,预应力混凝土框架节点外侧,与预应力混凝土梁相交的梁柱纵筋和节点箍筋能够提高混凝土局部受压承载力.

为考虑梁柱纵筋和节点箍筋对混凝土局部受压承载力的影响,可以把梁柱纵筋和节点箍筋作为等效垫板的. 位于锚垫板内侧的梁柱纵筋和箍筋的作用等效为垫板,当局部受压荷载通过梁柱纵筋和箍筋向预应力梁内部传递时,在一定长度

L 范围内,如图 1 所示,荷载通过钢筋按刚性角向预应力梁内传递. 基于此,考虑梁柱纵筋和节点箍筋的影响后,局压面积 A_l 增大,计算底面积 A_b 亦相应变化,使得现行规范中有关局部受压承载力公式的计算参数发生变化,但计算公式的形式不变. 故依据下述确定局压面积 A_l 和计算底面积 A_b 的计算方法,即可开展考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的混凝土局部受压承载力计算.

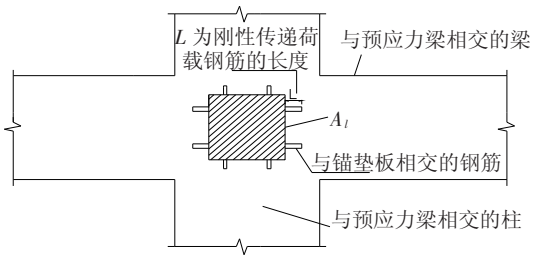
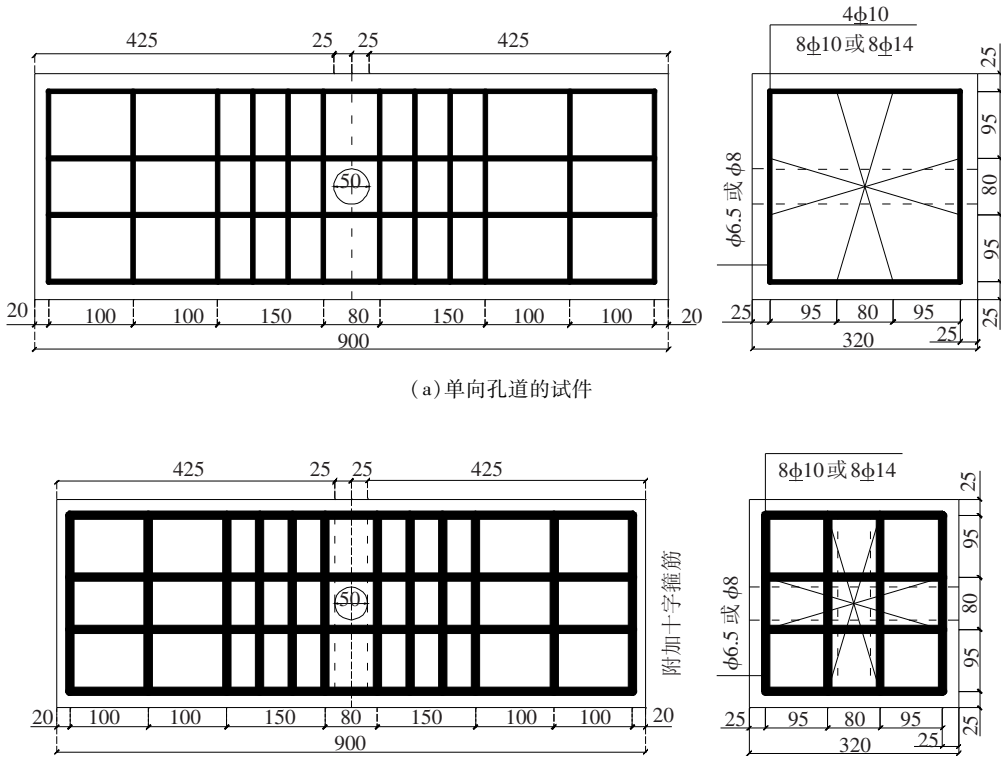


图 1 考虑梁柱纵筋和箍筋影响的局部受压面积

2 A_l 和 A_b 的计算方法

依据文献[8]的试验数据,研究可视为等效垫板的纵筋和箍筋的长度 L . 文献[8]开展了 12 个柱节点锚固区的局部受压试验,其中 5 个试件为单向孔道,用来模拟单向预应力混凝土框架的边柱;7 个试件为双向孔道. 试件尺寸均为 $320\text{ mm} \times 320\text{ mm} \times 900\text{ mm}$,试件概况见图 2.



(a) 单向孔道的试件

(b) 双向孔道的试件

图 2 局部受压试件 (mm)

试件的混凝土立方体抗压强度实测值 $f_{cu} = 32.1 \text{ N/mm}^2$, $f_c = 0.76f_{cu} = 24.4 \text{ N/mm}^2$, $f_t = 2.20 \text{ N/mm}^2$, $E_c = 3.064 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$.

试验采用 2 种加载方式:不加轴向压力,按等级施加局部受压荷载(每级施加荷载为 0.2 t)至试件破坏;先施加轴向压力到设计值,维持轴向压力不变,按等级施加局部受压荷载(每级施加荷载为 0.2t)至试件破坏. 试件的加载见图3. 局压

试件配筋与破坏荷载如表 1 所示.

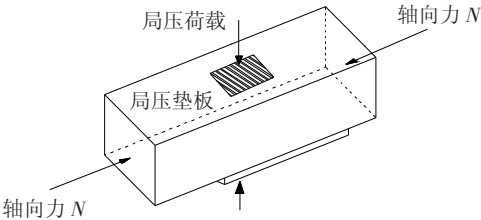


图 3 试件的加载

表 1 试件配筋与破坏荷载

试件编号	孔洞	柱纵筋		箍筋	配筋率/%		局部承压垫板/mm	轴力/kN	破坏荷载/kN
		角部	非角部		纵筋	箍筋			
ZKD1	单	Φ10	Φ10	2Φ6.5	0.92	0.73	140 × 140	无	1 894.0
ZKD2	单	Φ10	Φ10	4Φ6.5	0.92	1.46	140 × 140	1 200	2 603.0
ZKD3	单	Φ10	Φ10	2Φ8	0.92	1.10	140 × 140	800	2 250.0
ZKD5	单	Φ10	Φ14	2Φ6.5	1.52	0.73	140 × 140	1 000	2 391.5
ZKD6	单	Φ10	Φ14	4Φ8	1.50	2.20	140 × 140	800	2 734.6
ZKD4	双	Φ10	Φ14	4Φ8	15.0	1.65	140 × 140	无	1 942.0
ZKS1	双	Φ10	Φ10	2Φ6.5	0.92	0.73	120 × 120	1 200	1 292.5
ZKS2	双	Φ10	Φ10	4Φ6.5	0.92	1.46	120 × 120	无	912.0
ZKS3	双	Φ10	Φ10	2Φ8	0.92	1.10	140 × 140	1 200	2 284.5
ZKS4	双	Φ10	Φ14	4Φ8	1.50	2.20	140 × 140	800	2 390.6
ZKS5	双	Φ10	Φ14	2Φ8	1.50	1.10	140 × 140	800	2 140.2
ZKS6	双	Φ10	Φ14	2Φ6.5	1.50	1.10	140 × 140	1 000	2 255.0

试件中未设置钢筋网片,采用尺寸为 140 mm × 140 mm 和 120 mm × 120 mm 的垫板. 以 ZKD1 为例,来确定可作为等效垫板的钢筋长度.

ZKD1 设置尺寸为 140 mm × 140 mm 的垫板,垫板在 ZKD1 中的位置见图 4. 2 根纵筋和 2 根箍筋与垫板相交,直径分别为 10 mm 和 6.5 mm.

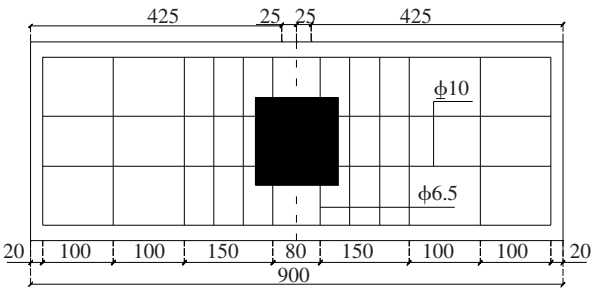


图 4 ZKD1 中局部受压垫板

按现行规范计算, $A_l = 140 \times 140 = 19\,600 \text{ mm}^2$. 考虑箍筋和纵筋的影响,与垫板相交的一定长度内的箍筋和纵筋作为等效钢板,增加了局部受压面积. 新增面积为 4 根钢筋中可作为刚性传递局部受压荷载的 4 段钢筋的纵向截面面积. 假设作为刚性传递局部受压荷载的钢筋长度 L 是钢筋直径的 n 倍,增加后的局部受压总面积 A'_l 的取值见图 5.

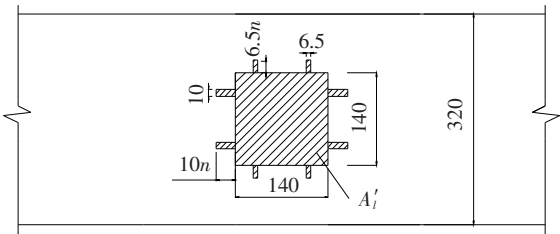


图 5 局部受压面积 A'_l 的取值

考虑箍筋和纵筋影响的局部受压面积 $A'_l = 140 \times 140 + 4 \times 6.5 \times 6.5n + 4 \times 10 \times 10n$. 考虑箍筋和纵筋影响的计算底面积 A'_b 可按照与局部受压面积同心和对称的原则确定. 新增局压面积 $\Delta A_l = d \times nd$, d 为钢筋直径,计算底面积的增量 $\Delta A_b = 3d \times nd$. 对应于上述的 A'_l , $A'_b = 320 \times 420 + 4 \times 3 \times 6.5 \times 6.5n + 4 \times 3 \times 10 \times 10n$, A'_b 的取值方法见图 6.

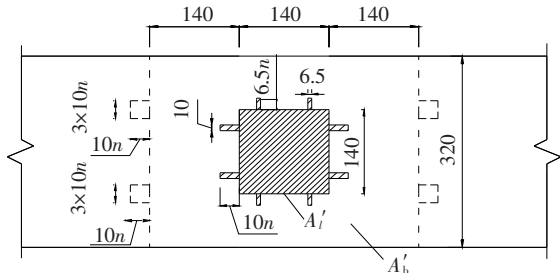


图 6 计算底面积 A'_b 的取值

文献[8]的试验考虑了轴向压力和开双向孔道对局压承载力的影响,引入了两个参数, ϕ 为轴向压力对局部承压极限荷载的提高系数, φ 为开双向预应力孔洞的情况下,另一方向孔洞对所计算方向局部承压极限荷载的降低系数. 综上可得考虑箍筋和纵筋影响的局压承载力的计算公式, $N_u = \phi\varphi\beta_c\beta'_l f_c A'_{ln}$,式中 $\beta'_l = \sqrt{A'_b/A'_l}$, A'_b 和 A'_l 均考虑了箍筋和纵筋的影响,由上式即可计算文献[8]中试件考虑箍筋和纵筋影响的混凝土局压承载力.

计算考虑箍筋和纵筋影响的混凝土局压承载力时,首先要确定 n 的取值. 经试算,当 $n = 3$ 时,计算得到混凝土局压承载力与实验值的吻合较好,见表2.

表2 试件局部受压承载力计算值与实测值

试件 编号	破坏荷载/kN			等效钢筋 网片量 ρ_v / %
	试验值 N_u^t	计算值 N_u^c	试验值 / 计算值	
ZKD1	1 894. 0	1 201. 2	1. 577	12. 3
ZKD2	2 603. 5	2 066. 1	1. 260	21. 9
ZKD3	2 250. 0	1 790. 4	1. 257	17. 1
ZKD5	2 391. 5	2 008. 4	1. 191	19. 0
ZKD6	2 734. 6	1 843. 2	1. 484	23. 7
ZKD4	1 942. 0	1 238. 3	1. 568	12. 9
ZKS1	1 292. 5	1 296. 3	0. 997	14. 2
ZKS2	912. 0	753. 6	1. 210	5. 20
ZKS3	2 284. 5	2 039. 2	1. 120	17. 6
ZKS4	2 390. 6	1 832. 7	1. 304	19. 0
ZKS5	2 140. 2	1 832. 7	1. 168	15. 6
ZKS6	2 255. 0	1 968. 2	1. 146	17. 2

建立等效钢筋网片量 ρ_v 为横坐标, $\frac{N_u^t}{\phi\varphi\beta'_c\beta'_l f_c A'_{ln}}$ 为纵坐标的坐标系,将计算结果绘于图7. 取试验数据的下包线,得 $\frac{N_u^t}{\phi\varphi\beta'_c\beta'_l f_c A'_{ln}} = 1$,即 $n = 3$ 时,考虑箍筋和纵筋影响的局部受压承载力计算值为试验值的下限值.

将此思想进一步推广,得出考虑预应力混凝土框架节点外侧的梁柱纵筋和节点箍筋影响的局部受压面积 A'_l 和计算底面积 A'_b 的计算方法.

1) 理清预应力混凝土框架梁柱节点处的梁柱纵筋和节点箍筋的配置情况,确定与锚垫板相交的梁柱纵筋和节点箍筋的直径以及数量.

2) 设与锚垫板相交的钢筋直径为 d_i ,在锚垫板一侧该钢筋作为等效垫板的刚性长度为其直径的3倍,即 $3d_i$,因锚垫板两侧分别为 $3d_i$,故该钢

筋引起的局部受压面积增量为 $2 \times 3d_i$ 长度的钢筋纵向截面面积,即 $6d_i \times d_i$. 局部受压面积的总增加量为所有与锚垫板相交的梁柱纵筋和节点箍筋引起混凝土局部受压面积增量的总和,即 $\Delta A_l = \sum_{i=1}^m (6d_i \times d_i)$,式中 m 为与锚垫板相交的梁柱纵筋和节点箍筋的数量,考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的局部受压面积 $A'_l = A_l + \Delta A_l$.

3) 考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的 A'_b 按照计算底面积与局压面积“同心、对称”的原则确定. 1根与锚垫板相交的钢筋引起的计算底面积增量为 $6d_i \times 3d_i$ (锚垫板单侧为 $3d_i \times 3d_i$,两侧总计 $6d_i \times 3d_i$),计算底面积的总增加量为所有与锚垫板相交梁柱纵筋和节点箍筋引起计算底面积增量的总和,即 $\Delta A_b = \sum_{i=1}^m (6d_i \times 6d_i)$,考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的计算底面积 $A'_b = A_b + \Delta A_b$.

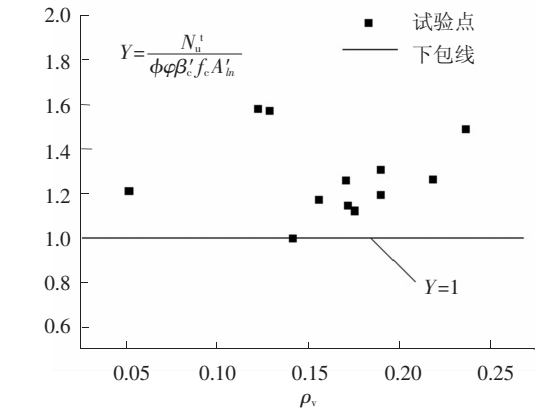


图7 试验点、下包曲线

3 局部受压承载力的计算

综上所述,考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的局部受压承载力计算公式为

$$N_u = \phi\varphi\beta_c\beta'_l f_c A'_{ln}. \tag{1}$$

若锚固区域内配置对提高局部受压承载力有利的间接钢筋,则局部受压承载力计算公式中应引入间接钢筋的贡献量,即

$$N_u = (\phi\varphi\beta_c\beta'_l f_c + 2\alpha\rho_v\beta'_{cor}) A'_{ln}. \tag{2}$$

式中: $\beta'_l = \sqrt{\frac{A'_b}{A'_l}}$, A'_l 、 A'_b 和 A'_{ln} 均考虑了梁柱纵筋和节点箍筋的影响,其计算方法如上节所述.

ϕ 为轴向压力对混凝土局部受压破坏荷载的提高系数, φ 为开双向孔洞时,另一方向孔洞对所计算方向局部受压破坏荷载的降低系数. 轴向压力对局部受压承载力有一定的提高作用,而开双向空洞对局部受压承载力有一定的削弱作用,但

轴向压力对局部受压承载力的提高作用大于开双向孔道的削弱作用^[8]. 故实际工程设计时可暂不考虑 ϕ 和 φ 对局部受压承载力的影响,作为预应力混凝土局部受压承载力的安全储备.

考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的混凝土局部受压承载力计算公式为

$$N_u = (\beta_c \beta'_{fc} + 2\alpha_p \beta_{cor}) A'_{ln}. \tag{3}$$

式中: $\beta'_l = \sqrt{\frac{A'_b}{A'_l}}$, $\beta_{cor} = \sqrt{\frac{A_{cor}}{A'_l}}$, A'_l 、 A'_b 和 A'_{ln} 均考虑梁柱纵筋和节点箍筋的影响.

近年来,哈尔滨工业大学预应力与防护结构研究中心在许多预应力混凝土框架的工程实践中,包括绥芬河青云市场套(扩)建工程、哈医大第一临床医院实验楼套建增层改造工程、哈工大动力楼增层套建工程、设叠层游泳池的哈工大游泳馆、长春解放大路体育馆预应力混凝土框架以及七台河体育馆等,均应用了梁柱纵筋和节点箍筋作为等效垫板的思想,以考虑梁柱纵筋和节点箍筋对混凝土局压承载力的影响. 工程实践证明,考虑梁柱纵筋和节点箍筋对混凝土局部受压承载力的影响,可减少间接钢筋的配置和工程造价,有利于节点处混凝土浇筑密实,提高了施工效率,保证了施工质量.

4 结 论

1)为考虑预应力框架节点处梁柱纵筋和节点箍筋对混凝土局部受压承载力的影响,提出了将与锚垫板相交的梁柱纵筋和节点箍筋视为等效垫板的思想. 通过对相关试验数据分析得出:视为等效垫板的梁柱纵筋和节点箍筋的长度可取为 3 倍其钢筋直径,新增局部受压面积取为 3 倍钢筋直径长度范围内的纵向钢筋截面面积.

2)提出了考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的局部受压面积和计算底面积的计算方法,给出了考虑梁柱纵筋和节点箍筋影响的局部受压承载力计算公式.

3)本文研究成果暂限于非抗震设防区工程预应力锚下局压承载力计算.

参考文献:

[1] YETTRAM A L, ROBBINS K. Anchorage zone stresses in axially post-tensioned I-section members with end-blocks[J]. Magazine of Concrete Research, 1971, 23 (74): 37 - 42.

[2] IBELL T J, BURGOYNE C J. Experimental investigation of behaviour of anchorage zones [J]. Magazine of Concrete Research, 1993, 45(165): 281 - 291.

[3] GALE L, IBELL T J, WILLIAMS C. Analysis of doubly loaded end blocks in FRP-prestressed concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 2006, 58(8): 547 - 563.

[4] 郑文忠, 张吉柱. 密布预应力束锚具下混凝土局部受压承载力计算方法[J]. 建筑结构学报, 2004, 25 (4): 60 - 65.

[5] 赵军卫, 郑文忠. 预应力混凝土局压承载力计算及端部间接钢筋的配置问题[J]. 工业建筑, 2007, 37 (11): 47 - 52.

[6] 郑文忠, 赵军卫. 考虑孔道及核心面积影响的混凝土局压承载力试验研究[J]. 建筑结构学报, 2008, 29(5): 85 - 93.

[7] 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.

[8] 张大长, 吕志涛. 用柱中纵筋和箍筋代替锚固区网片局部承压的研究[J]. 建筑结构, 1999, 29(8): 3 - 6.

(编辑 赵丽莹)