

Comparison between Different RC Joint Shear Capacity Calculation Methods

Muhan Li

School of Water Conservancy Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi
Email: 405535951@qq.com

Received: June 30th, 2019; accepted: July 15th, 2019; published: July 22nd, 2019

Abstract

Shearing capacity formulas of RC Joint from codes of different countries are compared. The advantages and disadvantages, safety of different formulas and the applicability of the various formulas are analyzed by comparing 20 experimental results of joints existed. The results show that according to rectangular column, GB50010-2010 calculation is larger for exterior joint shear, but close to interior joint shear. ACI318M calculation is safe for both, but with higher safety reserve. AIJ calculation tends to be unsafe for both.

Keywords

Code, Joints, Shearing Capacity, Calculation Method

节点受剪承载力计算方法的类比初探

李牧翰

太原理工大学水利科学与工程学院, 山西 太原
Email: 405535951@qq.com

收稿日期: 2019年6月30日; 录用日期: 2019年7月15日; 发布日期: 2019年7月22日

摘要

对比国内外三部混凝土规范中计算框架梁柱节点受剪承载力的公式, 通过已有的40个节点试验结果的对比, 分析各规范公式的优缺点、安全性以及适用性。结果表明: 对于矩形柱节点, GB50010《混凝土结构设计规范》对边节点受剪承载力的估计偏大, 对中节点受剪承载力计算值与试验值较为吻合; ACI318M《美国房屋建筑混凝土结构规范》对边节点和中节点的计算方法偏安全, 安全储备较高; AIJ《钢筋钢筋混凝土结构计算标准及解说》对边节点和中节点的计算方法偏不安全。

关键词

规范, 节点, 受剪承载力, 计算方法

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

钢筋混凝土梁柱节点作为连接 RC 结构传力的枢纽, 梁、柱、板上的荷载全部汇交于此, 受力非常复杂, 设计计算具有较大难度。尤其是节点的设计计算方法, 计算参数多, 受力模型复杂, 工程设计应用十分不便, 导致很多设计人员在工程应用中对节点的承载力设计计算问题不知所措, 无法选择适合的计算模型。

为了使工程技术人员更好地掌握节点受剪承载力计算方法, 理解掌握我国节点设计的基本方法, 本文采用类比法进行分析探索, 即对国内外规范针对节点受剪承载力的设计计算方法进行横向类比, 研究不同节点承载力计算方法的原理和参数影响规律, 通过不同的方法计算出的试验结果对比分析节点计算模型的特点和存在差异。本文对 GB50010-2010《混凝土结构设计规范》(以下简称 GB50010 规范)、ACI318M《美国房屋建筑混凝土结构规范》(以下简称 ACI 规范)、AIJ《钢筋钢筋混凝土结构计算标准及解说》(以下简称 AIJ 规程)中的节点受剪承载力的计算公式进行对比分析。基于 20 个节点的试验结果, 对比分析不同规范计算方法的优缺点, 为节点设计工程应用提供参考。通过计算分析和验证, 得出不同节点承载力计算公式的特点和局限性, 为节点承载力设计和工程应用提供依据。

2. 国内外规范关于节点受剪承载力的计算方法

2.1. GB50010 规范的计算公式

梁柱节点的受剪承载力应按下述规定计算[1]:

1) 9 度设防烈度的一级抗震等级框架

$$V_j \leq 0.9\eta_j f_t b_j h_j + f_{yv} A_{svj} \frac{h_{b0} - a'_s}{s} \quad (1)$$

2) 其他情况

$$V_j \leq 1.1\eta_j f_t b_j h_j + 0.05\eta_j N \frac{b_j}{b_c} + f_{yv} A_{svj} \frac{h_{b0} - a'_s}{s} \quad (2)$$

式中: A_{svj} 为核心区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋各肢的全部截面面积; h_j 为框架节点核心区的截面高度, 可取验算方向的柱截面高度 h_c ; b_j 为框架节点核心区的截面有效验算宽度。此处, b_0 为验算方向梁截面宽度, b_c 为该侧柱截面宽度; η_j 为正交梁对节点的约束影响系数; h_{b0} 、 h_b 分别为梁的截面有效高度、截面高度, 当节点两侧梁高不相同, 取其平均值; a'_s 为梁纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离。

2.2. ACI 规范的计算公式

梁柱节点核心区的受剪承载力应按下述规定计算[2] [3]:

$$V_j = \gamma f_c^{1/2} b_c h_c + 2nA_{sv1} f_{yv} \quad (3)$$

式中： f_c' 为核心区混凝土圆柱体抗压强度； b_c 为柱截面宽度； h_c 为柱截面高度； A_{sv1} 为单肢箍筋的截面积； f_{yv} 为箍筋的屈服强度； n 为核心区内箍筋的数目； γ 为核心区混凝土剪力折减系数，一般取0.3。

2.3. AIJ 规程的计算公式

梁柱节点核心区受剪承载力[4]：

$$V_j = M/d_b \quad (4)$$

$$M = V(V_c \times \zeta + \rho_{sv} \times f_{yv}) \quad (5)$$

$$V = [(b+h)/2] \times d_c \times d_b \quad (6)$$

$$V_c = \min(0.12f_c, 1.8 + 3.6f_c/100) \quad (7)$$

其中： V 为核心区混凝土有效体积； b_c 为柱截面宽度； h_b 为梁截面高度； d_c 为柱主筋间距离； d_b 为梁主筋间距离； V_c 为节点处混凝土的抗剪强度； f_c 为混凝土抗压强度； ζ 为节点形状系数，L形节点时取1，T形节点时取2，十字形节点时取3； ρ_{sv} 为节点核心区配箍率； f_{yv} 为箍筋的屈服强度。

2.4. 国内外规范计算方法对比分析

分析各个规范公式中的参数，得出表1如下。

Table 1. Influencing factors of various normative formulas

表 1. 各个规范公式的影响因素

因素	GB50010 规范	ACI 规范	AIJ 规程
混凝土强度	√	√	√
配箍率	√	√	√
轴压比	√	×	×
正交梁的空间约束效应	√	×	×

注：“√”代表公式已经考虑该影响因素，“×”代表公式没有考虑该影响因素。

由表1可知，三部规范均将节点受剪承载力分为混凝土和箍筋两部分贡献之和；ACI规范和AIJ规程均未考虑轴压比的影响，而GB50010规范和异形柱规程都将轴压比的有利作用考虑其中；ACI规范和AIJ规程均未考虑正交梁的空间约束效应，GB50010规范则引入正交梁对节点的约束影响系数 η_j 。

3. 节点受剪承载力计算及分析

3.1. 试验值与计算值

为进一步验证上述规范计算方法的计算结果，本文选取参考文献[5][6]中的20个节点试验结果(4个为边节点,16个为中节点),将文献中的试件参数[5][6]代入公式(1)~(7)中,得出节点受剪承载力计算值 $V_{u,c}$,在计算过程中,箍筋强度、混凝土强度取实测值,不考虑承载力抗震调整系数。根据平衡条件,节点受剪承载力试验值与极限剪力相等,即 $V_{u,t} = \frac{FL}{h_{b0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{b0} - a'_s}{H_c - h_{b0}} \right)$,其中 F 为梁端最大荷载, L 为梁端荷载作用点到节点的距离。将本文的计算值与参考文献试验值相除,得出比值。结果如表2所示。

Table 2. Calculated and tested values
表 2. 计算值与试验值

节点类型	试件编号	截面形状	试验结果[5] [6]	GB50010 规范		ACI 规范		AIJ 规程	
			$V_{u,t}/\text{kN}$	$V_{u,c1}/\text{kN}$	$V_{u,c1}/V_{u,t}$	$V_{u,c2}/\text{kN}$	$V_{u,c2}/V_{u,t}$	$V_{u,c3}/\text{kN}$	$V_{u,c3}/V_{u,t}$
边节点	BJD1	矩形	294.22	184.34	0.63	127.66	0.43	257.43	0.87
	BJD2	矩形	369.49	187.60	0.51	129.68	0.35	259.89	0.70
	BJD4	矩形	299.18	350.68	1.17	191.05	0.64	343.59	1.15
	BJD6	矩形	301.18	375.47	1.25	212.52	0.71	348.02	1.16
	BJD7	矩形	344.19	400.42	1.16	216.26	0.63	369.86	1.07
	J1	矩形	539.61	595.75	1.10	281.45	0.52	668.55	1.24
	J2	矩形	580.66	628.00	1.08	262.59	0.45	640.55	1.10
中节点	J3	矩形	418.33	466.20	1.11	251.22	0.60	566.23	1.35
	J5	矩形	683.09	671.63	0.98	337.16	0.49	718.16	1.05
	J6	矩形	680.88	641.71	0.94	300.69	0.44	651.18	0.96
	J8	矩形	688.20	655.59	0.95	337.72	0.49	672.50	0.98
	J11	矩形	656.06	648.88	0.99	351.00	0.54	683.86	1.04
	J12	矩形	657.28	604.97	0.92	347.18	0.53	637.50	0.97
	J13	矩形	814.76	726.77	0.89	354.74	0.44	732.45	0.90
	J14	矩形	815.28	675.05	0.83	350.71	0.43	685.59	0.84
	J15	矩形	912.16	704.94	0.77	345.09	0.38	716.19	0.79
	J16	矩形	911.34	694.29	0.76	347.48	0.38	677.95	0.74
	J17	矩形	862.22	695.19	0.81	311.67	0.36	690.51	0.80
	J18	矩形	934.22	767.59	0.82	330.05	0.35	708.74	0.76
J19	矩形	775.63	673.95	0.87	290.38	0.37	640.48	0.83	

3.2. 计算结果分析

根据表 2 得出的数据, 将同一规范公式得出的计算值与试验值的比值进行统计分析, 结果见表 3。

Table 3. Statistical results of the ratio of calculated values to experimental values
表 3. 计算值与试验值比值的统计结果

项目	GB50010 规范		ACI 规范		AIJ 规程	
	边节点	中节点	边节点	中节点	边节点	中节点
平均值	0.9433	0.9226	0.5515	0.4519	0.9914	0.9565
方差	0.1207	0.0135	0.0228	0.0056	0.0388	0.0320

对于边节点, 由表 2 可知, 通过 ACI 规范得出的计算值全部小于试验值, 即 ACI 规范安全性高。对于 BJD1 和 BJD2, GB50010 规范和 AIJ 规程的计算值小于试验值; 而对于节点 BJD4, BJD6, BJD7, 计算值大于试验值, 由此可见, GB50010 规范和 AIJ 规程对边节点的受剪承载力的估计偏高。

对于中节点,由表2、表3数据可得,GB50010规范对J1-3三个节点试件的计算值大于试验值,这是由于三个节点在试验过程中节点核心区混凝土未破坏。其余试件的计算值均小于试验值,表明GB50010规范偏安全。同理,ACI规范偏安全。而由AIJ规程得出的计算值中,有5个大于试验值,且比值的方差偏大,即结果离散性较大,说明AIJ规程偏不安全。GB50010规范和ACI规范得出的结果离散性小,表明计算方法较为可靠。从安全储备上看,由GB50010规范得出的比值平均值高达0.9226,而ACI规范得出的比值平均值则为0.4519,由此可见,GB50010规范的安全储备偏低,而ACI规范的安全储备偏高。

4. 结论

本文通过20个矩形柱节点的试验结果,验证并分析国内外三部规范节点受剪承载力计算方法的安全性及特点,研究得出以下结论:

- 1) GB50010规范对边节点受剪承载力估计偏大,对中节点受剪承载力的计算值与试验值较为吻合,但安全储备偏低。
- 2) ACI规范对边节点和中节点的计算方法偏安全,但安全储备较高;并且未考虑轴压力和正交梁的空间约束效应对节点受剪承载力的有利作用。
- 3) AIJ规程对边节点和中节点的计算方法偏不安全,得出的计算结果离散性较大。并且未考虑轴压力和正交梁的空间约束效应对节点受剪承载力的有利作用。

参考文献

- [1] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] McCormac, J.C. and Brown, R.H. (2016) Design of Reinforced Concrete. Wiley, Hoboken.
- [3] (2014) ACI318-14. Buildings Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute (ACI), Detroit.
- [4] AIJ 日本建筑学会. 钢筋混凝土结构计算标准及解说[M]. 冯乃谦, 等, 译. 北京: 原子能出版社, 1997, 1958.
- [5] 陈诚. 钢筋混凝土框架边节点抗震性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [6] 傅剑平, 张川, 陈滔, 等. 钢筋混凝土抗震框架节点受力机理及轴压比影响的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(3): 67-77.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org