

文章编号: 1673-5196(2019)01-0145-04

施工缺陷对 RC 框架梁柱节点受力性能的影响

王亚楠¹, 李志扬¹, 胡新煜², 杨若庸¹, 杜永峰³

(1. 西安工业大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710021; 2. 西安工程大学 教务处, 陕西 西安 710021; 3. 兰州理工大学 西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 通过建立带有箍筋缺失的施工缺陷的 RC 框架梁柱节点的数值分析模型, 对比研究箍筋缺失对梁柱节点力学性能的影响。结果表明, 在荷载作用下, 无缺陷节点的应力主要集中于梁端部, 而箍筋缺失节点的应力则向节点核心区集中; 与无缺陷节点相比, 箍筋缺失节点的横向变形显著增大, 节点核心区的约束能力明显降低; 通过对比力-位移关系曲线可知, 箍筋缺失节点的承载能力有所减小。

关键词: 施工缺陷; 箍筋缺失; 梁柱节点; 力学性能

中图分类号: TU312; TU375 **文献标志码:** A

Influence of construction defect on stress performance of RC framed beam-column joint

WANG Ya-nan¹, LI Zhi-yang¹, HU Xin-yu², YANG Ruo-yong¹, DU Yong-feng²

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China; 2. Xi'an Engineering University, Office of Academic Affairs, 710021, China; 3. Western Engineering Research Center of Disaster and Protection Mitigation in Civil Engineering, the Ministry of Education, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: The effect of stirrup missing on mechanical performance of beam-column joint was compared and investigated by means of building up a numerical analysis model for the joint of a RC framed beam-column with construction defect of stirrup missing. The result shows that the stress of the beam-column joint without construction defect will concentrate on the end of the beam, but the stress of beam-column joint with construction defect will concentrate on the joint core area under external loading in both foregoing cases. Compared with the joint without construction defects, the transversal deformation of the joint with stirrup missing will significantly increase, and the restrictive ability of the joint core area will reduce greatly. It can be known by contrasting force vs displacement curves that the bearing capacity of the stirrup missing joint will decrease to some extent.

Key words: construction defect; stirrup missing; beam-column joint; mechanical performance

钢筋混凝土框架结构是中国建筑工程中应用最为广泛的结构形式之一, 当遭遇外部荷载时, 梁柱节点部位的受力情况将变得非常复杂^[1-3]。国内外多次地震灾害的调查结果表明, 梁柱节点处的损伤是导致钢筋混凝土框架结构发生严重震害的主要原因, 该部位一旦发生严重破坏将导致整个建筑物的倒塌。在实际工程的施工过程当中, 梁柱节点核心区纵向钢筋和箍筋交错分布, 致使钢筋绑扎、混凝土浇筑、振捣及养护等施工工序的开展存在一定的难

度, 容易出现混凝土振捣不密实、混凝土强度不足、配箍不足以及箍筋移位等施工缺陷^[4], 会很大程度地危害到结构自身安全。因此, 研究施工缺陷对 RC 框架梁柱节点力学性能的影响十分必要。

Park 等^[5]根据节点弯矩-转角关系, 采用 OpenSees 对 2 个梁柱外节点试验进行数值分析, 分析结果与试验结果符合较好。解琳琳^[6]在 OpenSees 中选用纤维截面来定义基于力的非线性梁柱单元, 并应用该梁柱单元模拟了柱受低周反复荷载作用时的滞回性能。欧晓英等^[7]运用 OpenSees 中的 Bond-SP01 材料模型, 结合零长度截面单元模拟节点钢筋的黏结滑移, 使用有限元分析方法确定不同锈蚀程度

收稿日期: 2017-10-03

基金项目: 国家自然科学基金(51578274)

作者简介: 王亚楠(1986-), 男, 山西运城人, 博士。

Bond-SP01 模型的参数.张沛洲和欧进萍^[8]应用 OpenSees 对钢筋混凝土框架的拟静力倒塌试验开展了数值模拟研究.李振宝等^[9]利用 ABAQUS 在没有考虑钢筋与混凝土之间滑移的情况下,就 45° 方向地震作用对钢筋混凝土梁柱节点的损伤机理进行研究.方自虎等^[10]提出了一个新的针对受循环荷载作用钢筋混凝土的梁柱节点单元.王立成等^[11]使用 ABAQUS 中的混凝土损伤塑性模型和强化的钢筋双折线模型,分析了不同加载速率下钢筋混凝土梁柱节点的力学性能.

从上述关于梁柱节点数值模拟研究的文献可以看出,现阶段针对完好节点或震损节点的数值模拟研究居多,而关于考虑施工缺陷影响的梁柱节点数值模拟研究则相对稀缺.考虑到梁柱节点处的施工缺陷在实际工程中经常发生,故亟待开展这方面研究.

1 数值分析模型的建立

1.1 工程概况与计算简图

以某 3 层 3 跨 RC 框架结构为例,选取中间层梁柱边节点进行数值模拟研究.图 1 所示为与该边节点相连接的梁、柱配筋图.节点核心区尺寸取为 400 mm×400 mm×500 mm,节点模型上下柱高均为 1 250 mm,左右梁长取 2 950 mm.

图 2 所示为文中在研究梁柱节点受力性能时采用的计算简图,梁取其跨度的 1/2,柱取层高的 1/2.

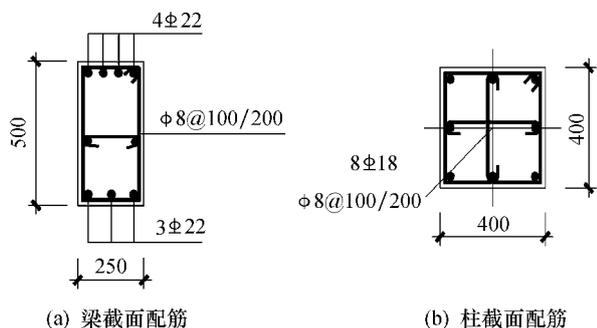


图 1 构件截面配筋图

Fig.1 Reinforcement of member section

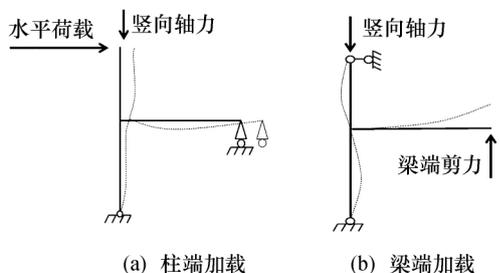


图 2 梁柱节点计算模型

Fig.2 Computation model of beam-column joint

1.2 数值分析模型的建立

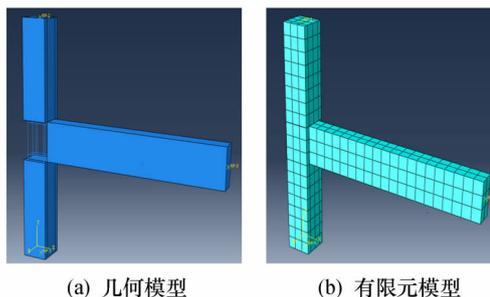
基于 ABAQUS 对考虑箍筋缺失影响的 RC 框架梁柱节点进行受力性能研究.其中,钢筋选用 T3D2 空间二节点桁架实体单元,本构关系为双线性理想弹塑性模型;混凝土选用减缩积分的空间八节点实体单元 C3D8R,本构关系采用损伤塑性模型,该模型通过材料膨胀角 φ 、偏心率 ϵ 、混凝土双轴极限抗压强度 f_{b0} 与单轴极限抗压强度 f_{c0} 之比、材料拉压子午面上的第二应力不变量之比 K_c 及材料黏性参数 μ 等指标的定义来确定材料的塑性性能,能够描述混凝土受力破坏过程中不可逆的损伤.文中相关参数的取值见表 1.

表 1 CDP 模型材料塑性参数

Tab.1 Material plastic parameters of CDP model

$\varphi/(^\circ)$	ϵ	f_{b0}/f_{c0}	K_c	μ
30	0.1	1.16	0.666 7	5.0×10^{-4}

节点处的箍筋缺失是指,在施工过程中,节点箍筋受浇筑、振捣等施工工序的影响而引起的数量缺失或间距过小.图 3 所示为考虑箍筋缺失的 RC 框架梁柱节点数值分析模型,为了显示节点处的箍筋缺失,图中隐藏了节点处的混凝土部分.



(a) 几何模型 (b) 有限元模型

图 3 箍筋缺失节点的有限元模型

Fig.3 Finite element model of beam-column joint with stirrup missing

2 计算结果分析

文中采用位移加载模式,通过在柱端和梁端分别施加荷载,对带节点施工缺陷梁柱节点的受力性能进行数值模拟研究.

2.1 柱端水平加载

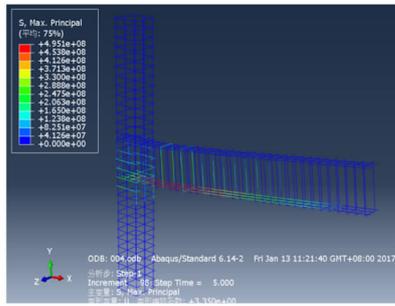
图 4 所示分别为完好节点和箍筋缺失节点处钢筋骨架的应力云图.对比可知,箍筋缺失节点在承受柱端水平推力时梁底靠近节点一端的纵向钢筋承受较大拉力,同时节点核心区内柱纵向受力钢筋已经进入塑性变形阶段;梁靠近节点一侧的上部纵向钢筋、节点核心区附近的柱纵向钢筋及水平箍筋的应力较完好节点均有所增大.总体来看,箍筋缺失将导致节点区域钢筋的应力分布发生改变.由梁柱节点

核心区的桁架机理可知,当节点核心区承受较大剪力时,核心区混凝土开裂之后,核心区剪力由框架柱的纵向钢筋和节点核心区内的水平箍筋共同承担;而在少箍的节点模型中,箍筋的缺失将导致节点内柱的纵筋单独承受核心区内的绝大部分剪力,从而使节点内框架柱的纵筋提前达到屈服。

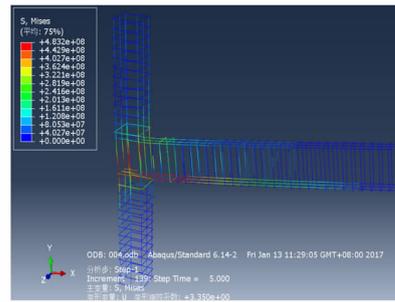
图5分别为完好节点和箍筋缺失节点处混凝土

部分的平面外变形云图.由图可知,该荷载作用下,完好节点处混凝土部分的平面外变形量为 0.237 mm,而箍筋缺失节点处混凝土部分的平面外变形量为 2.093 mm,约等于无缺陷节点的 9 倍.总体来看,箍筋对节点处混凝土的变形起到了有效的约束作用。

图 6 所示为完好节点与箍筋缺失节点的剪力-位移关系曲线对比.由图可知,与完好节点相比,箍筋缺失节点的抗剪承载力和变形能力均有所降低。



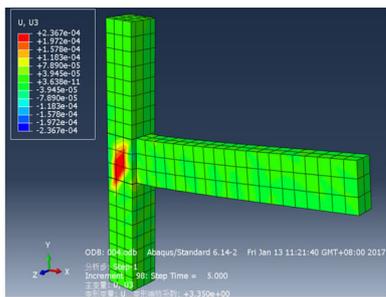
(a) 完好节点



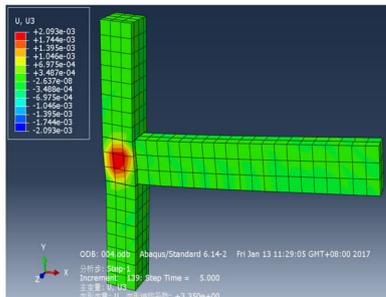
(b) 箍筋缺失节点

图 4 钢筋应力分布

Fig.4 Stress distribution of steel bar



(a) 完好节点



(b) 箍筋缺失节点

图 5 混凝土平面外变形云图

Fig.5 Nephogram of off-plane deformation of concrete

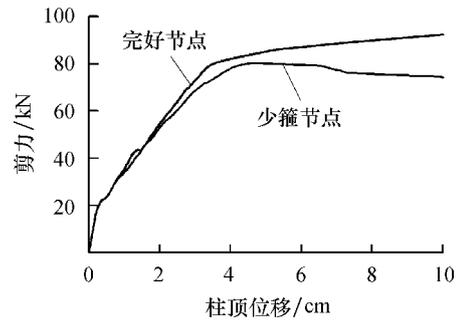
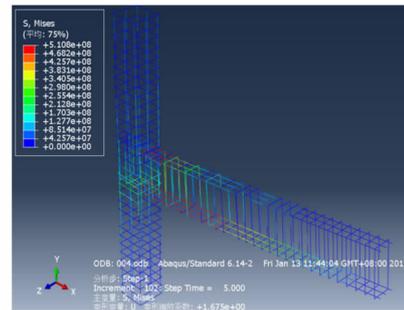


图 6 完好节点与箍筋缺失节点的力-位移关系

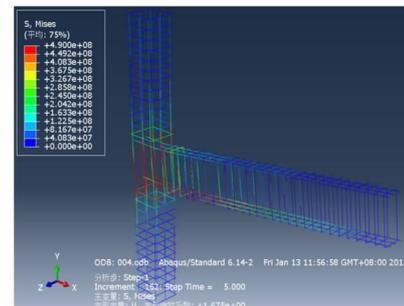
Fig.6 Relationship of force vs displacement for normal joint and stirrup missing joint

2.2 梁端竖向加载

图 7 所示分别为完好节点和箍筋缺失节点处钢筋骨架的应力云图.对比可知,完好节点在承受梁端荷载作用时,核心区钢筋的应力不大,梁靠近节点一侧纵筋承受较大拉力,符合强柱弱梁、强节点弱构件



(a) 完好节点



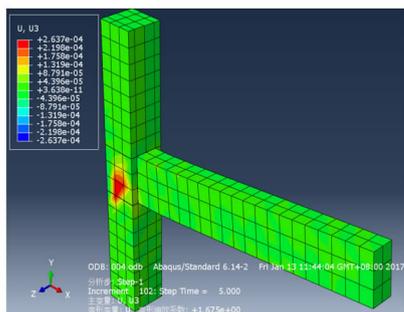
(b) 箍筋缺失节点

图 7 钢筋应力分布

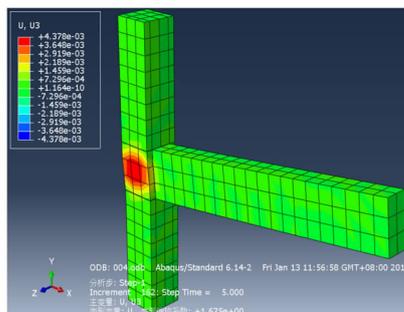
Fig.7 Stress distribution of steel bar

的概念设计要求;而箍筋缺失将导致节点钢筋应力的分布产生变化,主要是因为箍筋缺失节点核心区的混凝土失去了箍筋的约束作用,当剪力传入节点核心区时,完好节点中由箍筋承担的那部分剪力便转移至箍筋缺失节点核心区的梁柱纵筋上,从而使节点核心区内的梁、柱纵筋提前达到屈服,结构在节点处发生破坏。

图 8 所示分别为完好节点和箍筋缺失节点处混凝土部分的平面外变形云图.由图可知,在该荷载作用下,完好节点处混凝土部分的平面外变形量为 0.264 mm,而箍筋缺失节点处混凝土部分的平面外变形量为 4.378 mm,约等于完好节点的 17 倍.说明节点处的箍筋可以有效约束核心区混凝土的变形,与柱端加载结果一致。



(a) 无缺陷节点



(b) 箍筋缺失节点

图 8 混凝土平面外变形云图

Fig.8 Nephogram of off-plane deformation of concrete

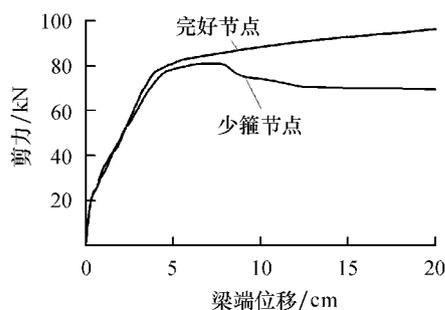


图 9 完好节点与箍筋缺失节点的力-位移关系

Fig.9 Relationship of force vs displacement for normal joint and stirrup missing joint

图 9 所示为完好节点与箍筋缺失节点的剪力-位移关系曲线对比.由图可知,与完好节点相比,箍筋缺失节点的抗剪承载力和变形能力均有所降低。

3 结论

利用 ABAQUS 有限元分析软件,对完好节点和箍筋缺失节点的受力性能进行初步研究,主要得到以下结论:

- 1) 与完好节点相比,在梁端或柱端荷载作用下,箍筋缺失节点处钢筋的应力分布发生了明显改变.完好节点的应力主要集中于梁端部,而箍筋缺失节点的应力则向节点核心区内部集中。
- 2) 与完好节点相比,在相同荷载作用下,箍筋缺失节点的变形明显增大。
- 3) 与完好节点相比,箍筋缺失节点的承载能力和变形能力均有所降低。

致谢:本文得到西安工业大学校长基金(XAG DXJJ15021)和大学生创新创业训练项目(1070214 045)的资助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 唐九如.钢筋混凝土框架节点抗震设计 [J].工业建筑,1988 (3):44-50.
- [2] 唐九如.钢筋混凝土框架节点抗震研究的新进展 [J].工程抗震,1989(4):39-43.
- [3] 吴相豪.在役钢筋混凝土梁斜截面抗剪可靠度评估方法 [J].中国安全生产科学技术,2007,3(2):20-22.
- [4] 林 锋.某框支层梁柱节点施工空洞缺陷的原因分析及加固处理 [J].重庆建筑,2015,14(7):48-51.
- [5] PARK S, MOSALAM K M. Analytical model for predicting shear strength of unreinforced exterior beam-column joints [J].ACI Structural Journal,2012,109(2):149-160.
- [6] 解琳琳,叶献国,种 迅,等.OpenSEES 中混凝土框架结构节点模型关键问题的研究与验证 [J].工程力学,2014,31(3):116-121.
- [7] 欧晓英,林 迟,张沛洲,等.基于 OpenSees 的锈蚀 RC 结构底部节点性能研究 [J].计算力学学报,2013,30(3):429-436.
- [8] 张沛洲,欧进萍.基于纤维模型的钢混框架结构拟静力试验数值模拟 [J].建筑结构,2013,43(18):64-69.
- [9] 李振宝,刘春阳,马 华.45°方向地震作用下 RC 空间梁柱节点破坏机制研究 [J].北京工业大学学报,2011,37(7):1005-1011.
- [10] 方自虎,洪博恺.基于 8 节点平面单元的 RC 梁柱节点单元 [J].力学季刊,2016,37(4):769-776.
- [11] 王立成,秦 全,范国玺,等.考虑应变率效应钢筋混凝土梁柱节点受力性能有限元分析 [J].建筑结构学报,2014,35(增刊 1):131-136.