

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201904010

增强型混凝土永久模板— 钢构架混凝土短柱轴压力学性能有限元分析

石 剑

(中铁四局集团第二工程有限公司,江苏 苏州 215131)

摘要:基于 ABAQUS 有限元数值模拟结果,探讨增强型混凝土永久模板—钢构架混凝土短柱和现浇钢构架混凝土短柱、现浇 RC 短柱的轴压力学性能,得出结论:增强型混凝土永久模板—钢构架混凝土短柱在轴压破坏过程中,主筋应变明显滞后于现浇 RC 短柱,承载力有较大幅度提高,增强型混凝土薄板有效参与工作;给出了该类型短柱的轴压承载力计算公式。

关键词:永久模板;钢构架;短柱;ABAQUS

中图分类号:TU375 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2019)04-0051-04

增强型混凝土永久模板—钢构架混凝土短柱(以下简称“新型短柱”)采用增强型混凝土薄板作为柱的永久性施工模板,钢构架作为柱的受力钢骨架,增强型混凝土薄板和钢构架均在工厂预制,运至施工现场后先吊装钢构架,然后在钢构架上组装增强型混凝土薄板,最后浇筑柱核心混凝土。

该类型柱与现浇 RC 柱相比,工业化程度高,精度和质量均容易得到保证。同时,可以省去大量的模板和大量的现场支模、钢筋绑扎工作,经济并能较大幅度缩短工期。

本文在已有试验研究^[1-2]证明预制的增强型混凝土薄板可以与现浇混凝土良好黏结、形成共同工作整体的基础上,采用 ABAQUS 2019 有限元软件对“新型短柱”轴压力学性能进行仿真模拟分析,同时推导出其轴压承载力计算公式。

采用碳纤维织物网增强(编号为 T-9-BGH)。模型具体尺寸及配筋见图 1。

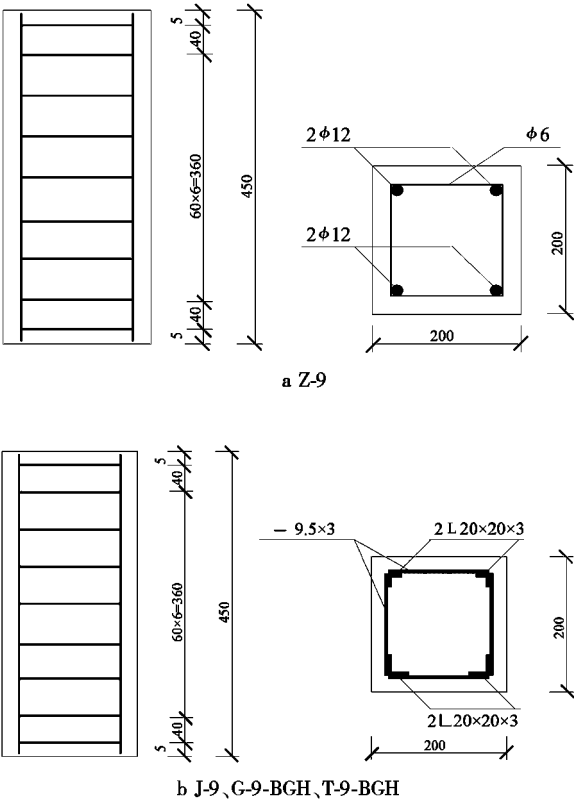


图 1 模型尺寸及配筋
Fig 1 Model size and reinforcement

1 计算模型

1.1 模型尺寸及配筋

本次仿真分析设计了 3 种类型短柱,分别为现浇 RC 短柱(编号为 Z-9)、现浇钢构架短柱(编号为 J-9)和“新型短柱”,其中“新型短柱”又根据混凝土永久模板采用的增强材料不同分为两种,一种采用钢板网增强(编号为 G-9-BGH),另一种

1.2 材料特性

钢筋采用 HPB300 热轧光圆钢筋,现浇混凝土强度等级为 C30,角钢、钢板条、钢板网钢材型号为 Q235,永久性模板混凝土强度等级为 C45。

混凝土本构模型按现行《混凝土结构设计规范》GB50010—2019 中所推荐的混凝土损伤弹塑性本构关系曲线^[3],钢材均为理想的弹塑性二折线模型^[4-5],碳纤维网采用线弹性模型。

2 有限元建模

2.1 约束和边界条件

在设计组装过程中,钢构架为焊接,所以将作为一个整体,通过 Embedded 技术嵌入到混凝土单元中;“新型短柱”是由预制增强型混凝土薄板与现浇核心混凝土叠合浇筑而成,假定预制薄板与现浇核心混凝土之间黏结良好,在建模时,将这两者看作一个整体。在构件顶端位置设置参考点,加载点与柱底面区域设置为耦合作用。

2.2 单元选取和网格划分

本次分析,混凝土选用实体 C3D8R 单元,钢构架选用框架 T3D2 二节点桁架单元,碳纤维布采用 M3D8R 单元,混凝土与钢材、混凝土与碳纤维布均采用嵌入方式保证相互协同工作,并对“新型短柱”采用分离式建模。网格划分见图 2,钢骨架模型见图 3,增强材料建模图形见图 4。

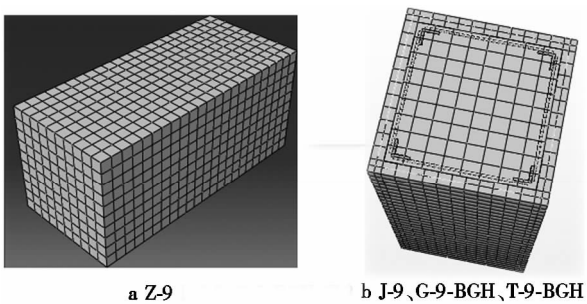


图 2 单元网格划分
Fig 2 The division of computation mesh

3 有限元计算结果分析

本次模拟,荷载—主筋应变模拟曲线见图 5,承载力结果见表 1。

根据图 5 和表 1,现浇 RC 短柱、现浇钢构架混凝土短柱、“新型短柱”的荷载—主筋应变曲线变化趋势基本一致。相比现浇 RC 短柱,现浇钢

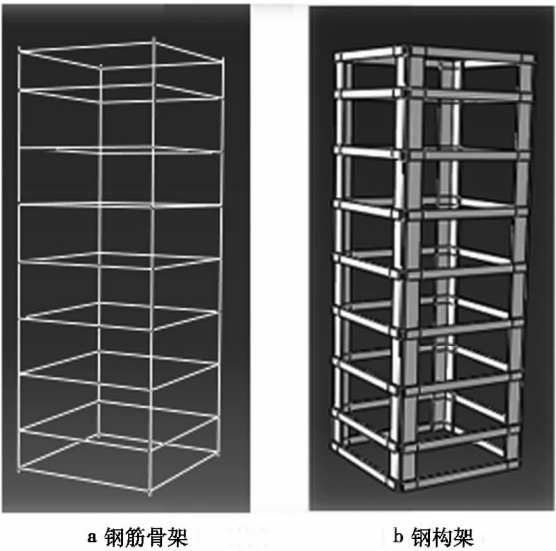


图 3 钢骨架建模
Fig 3 Steel skeleton modeling

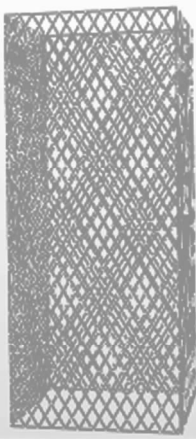


图 4 增强材料建模
Fig 4 Reinforced material modeling

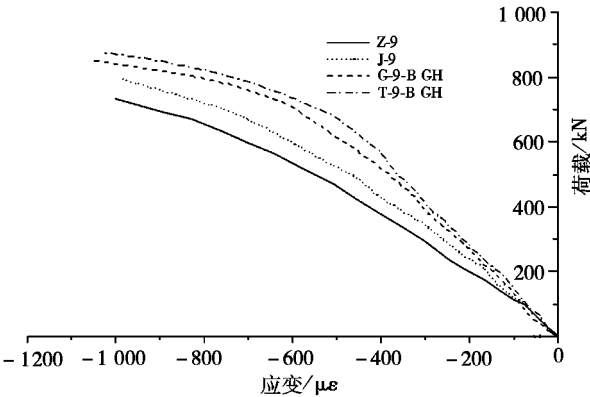


图 5 荷载—主筋应变关系图
Fig 5 Strain diagram of load-main bar

表 1 极限承载力模拟结果

Table 1 Simulation results of ultimate bearing capacity

编号	极限荷载/kN
Z-9	825.93
J-9	896.71
G-9-BGH	1 007.33
T-9-BGH	1 032.62

构架混凝土短柱的主筋应变稍有滞后,“新型短柱”的主筋应变有较大的滞后现象。现浇钢构架混凝土短柱和“新型短柱”的极限荷载均高于现浇 RC 短柱,相比现浇 RC 短柱,现浇钢构架混凝土短柱提高 8.6%,混凝土薄板采用钢板网增强的“新型短柱”提高 22.0%,混凝土薄板采用织物网增强的“新型短柱”提高 25.0%。

荷载—主筋应变曲线变化趋势基本一致说明 3 种类型短柱的受力模式基本一致。现浇钢构架混凝土短柱比现浇 RC 短柱主筋应变稍有滞后、承载力略高,主要原因可能是钢构架对核心混凝土的横向约束采用的是钢板条,约束的范围比圆形的箍筋稍大,约束作用略好。相比现浇 RC 短

柱,“新型短柱”的主筋应变有较大滞后、承载力有较大幅度提高,说明增强网在混凝土薄板中的连桥作用明显,柱面层的应力可以通过增强网的连桥作用均匀分布,同时也增强了混凝土薄板对短柱核心混凝土的约束作用。“新型短柱”极限荷载提高的另一个原因是增强型混凝土薄板的基体标号较高,抗压强度较高。另外,采用纤维织物网增强相比采用钢板网增强,模型的主筋应变也略有滞后、极限荷载稍有提高,主要是因为织物网弹性模量远高于钢板网,因此其延缓混凝土裂缝开展的作用要好于钢板网。

4 “新型短柱”轴压承载力计算公式

根据上文有限元模拟分析,“新型短柱”轴压承载力计算与现浇 RC 短柱不同的地方在于,“新型短柱”轴压承载力计算要考虑增强型混凝土薄板对轴压承载力的贡献,包括强的细骨料混凝土薄板基体对承载力的贡献和薄板中的增强网通过对所围混凝土的约束对承载力的贡献两部分。约束模型见图 6。

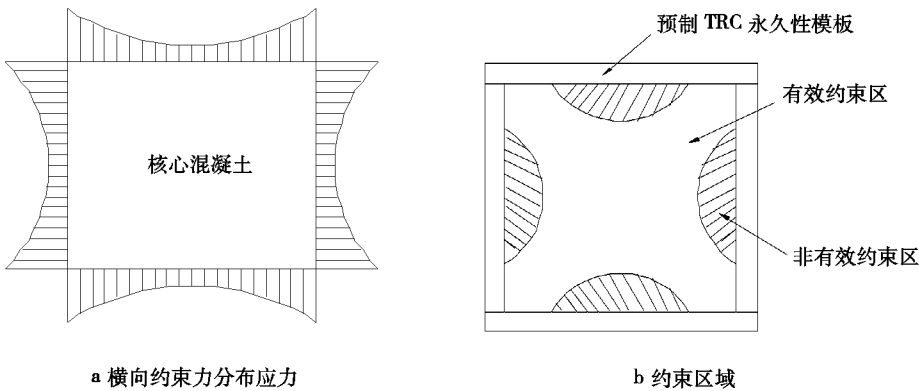


图 6 混凝土短柱约束模型

Fig 6 Constraint model of concrete short column

“新型短柱”轴压承载力的计算公式:

$$N = f_{cl}A_{cl} + f_{c2}A_{c2} + f_{cc}A_{cc} + f_{y1}A_{s1} + f_{y2}A_{s2} \quad (1)$$

式中: f_{cl} 、 f_{c2} 分别为预制薄板基体、预制薄板内表面与箍筋外表面之间的混凝土的抗压强度, N/mm^2 ; A_{cl} 、 A_{c2} 分别为预制薄板基体、预制薄板内表面与箍筋外表面之间的混凝土的截面面积, mm^2 ; f_{cc} 、 A_{cc} 分别为考虑箍筋和增强网双重约束的混凝土抗压强度和截面面积, mm^2 ; f_{y1} 、 f_{y2} 分别为增强网的屈服强度或极限强度和纵筋的屈服强度, N/mm^2 ; A_{s1} 、 A_{s2} 分别为增强网和纵筋的截面

面积, mm^2 。

上式中 f_{cc} 根据 Mander^[6] 等人的研究,按式 (2) 计算。

$$f_{cc} = f_c + 4.1f_1 \quad (2)$$

其中, f_c 为无约束混凝土的抗压强度, N/mm^2 ; 取 $f_c = 0.8f_{cu}$, f_{cu} 为混凝土立方体抗压强度, N/mm^2 ; f_1 为混凝土受到的静水围压, N/mm^2 , 按以下方法计算。

假设箍筋和预制薄板中钢板网屈服 (如是织物网则是达极限强度) 并且箍筋对混凝土的约束

应力均匀分布,增强网对混凝土的约束力按网格孔径点分布,如图 7 所示,则由力平衡条件可得到箍筋和增强网对混凝土的等效约束应力为:

$$f_1 = \frac{2f_{yv}A_l + nF}{aS} \tag{3}$$

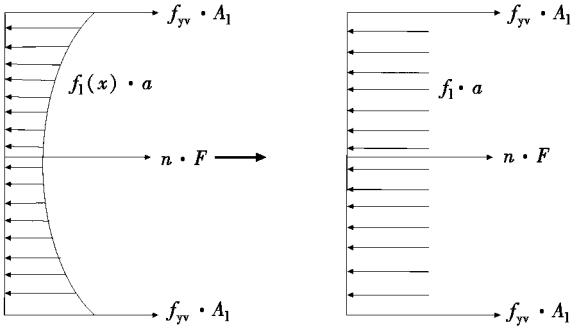


图 7 矩形截面箍筋和增强网约束等效示意
Fig 7 Equivalent indication of rectangular cross-section stirrups and reinforcement mesh constraints

参考文献:

[1] 荀勇,孙伟. 碳纤维织物增强混凝土薄板的界面粘结性能试验[J]. 东南大学学报(自然科学版),2005,35(4):593-597.
[2] 支正东,陈贺,荀勇,等. 织物增强磷酸镁水泥基混凝土薄板与老混凝土界面粘结性能试验研究[J]. 建筑结构,2017,47(15):70-75.
[3] 刘劲松,刘红军. ABAQUS 钢筋混凝土有限元分析[J]. 装备制造技术,2009(6):69-70.
[4] AGRAWL G L, TULIN L G, GERSTLE K H. Response of doubly reinforced concrete beams to cyclic loading[J]. Journal of ACI,1965,62(7):823-836.
[5] KENT D C , RARK R. Cyclic load behavior of reinforcing steel[J]. Strain,1973,9(3):98-103.
[6] MANDER J B, PRESTLY M J N, PARK R. Theoretical stress-strain model for confined concrete[J]. Journal of Structural Engineering,1988,114(8):1804-1826.

Finite Element Analysis of Axial Compressive Properties of Reinforced Concrete Permanent Template-steel Frame Concrete Short Column

SHI Jian

(The Second Engineering Co. ,Ltd. of CTCE Group, Suzhou Jiangsu 215131, China)

Abstract:Based on the finite element simulation results of ABAQUS, the axial compressive properties of reinforced concrete permanent formwork-steel frame concrete short column, cast-in-situ steel frame concrete short column and cast-in-situ RC short column were investigated. It is concluded that in the process of axial compression failure of reinforced concrete permanent formwork steel frame concrete short columns, the strain of main reinforcement obviously lags behind that of cast-in-place RC short columns, the bearing capacity is greatly improved, and the reinforced concrete thin plates effectively participate in the work. The calculation formula of the bearing capacity of the short columns under axial compression is given.

Keywords:permanent formwork; steel frame; short columns; ABAQUS

(责任编辑:张英健)

其中, S 为箍筋间距,mm; f_{yv} 为箍筋屈服强度, N/mm^2 ; A_l 为单肢箍的截面面积, mm^2 ; a 为约束区混凝土尺寸,mm; F 为增强网单肢的抗拉力, N ; n 为箍筋间距内增强网的肢数。

5 结论

- (1)现浇 RC 短柱、现浇钢构架混凝土短柱、“新型短柱”的荷载—主筋应变曲线变化趋势基本一致,说明 3 种类型短柱的轴压受力模式基本一致;
- (2)“新型短柱”在轴压破坏过程中,主筋应变明显滞后于现浇 RC 短柱,承载力有较大幅度提高,说明增强型混凝土薄板有效参与工作;
- (3)推导出“新型短柱”的轴压承载力计算公式。