

增强型混凝土薄板柱永久模板施工受力特性有限元分析

史彪之

(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,分析在施工荷载作用下,不同约束条件对采用纤维织物网与钢板网联合增强的混凝土薄板柱永久模板的强度和刚度的影响,给出了工程应用建议。

关键词:永久模板;混凝土薄板;有限元分析;ABAQUS

中图分类号:TU755.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2019)04-0055-04

永久性模板,亦称为免拆模板,即在混凝土浇筑时作为模板,混凝土浇筑完成后成为结构构件的一部分,不予拆除。在工程中使用永久性模板具有节能环保、缩短工期等诸多好处,因此可以促进建筑工业化的发展^[1-3]。

本文利用 ABAQUS 有限元软件,主要分析在施工荷载作用下,采用纤维织物网与钢板网联合增强的混凝土薄板柱永久模板的受力特性,进而确定合理的模板纵向组装螺栓间距(永久模板通过焊接在柱钢筋笼上的组装螺栓进行组装)和模板的最优约束方式。

1 分析模型

1.1 计算模型

建模分析时,设定模板尺寸为 500 mm × 1 000 mm,板厚取 25 mm,织物网和钢板网保护层厚度均为 5 mm,横向两个螺栓离板边均为 50 mm,横向螺栓间距为 400 mm。模板受拉区为碳/玻纤正交织物网,受压区为钢板网。施加的荷载为柱核心混凝土浇筑时的垂直板面的均布荷载(经计算为 34.4 kN/m²)。计算模型见图 1。

1.2 模型编号及参数

有限元分析模型是在计算模型的基础上,建立改变边界条件和纵向螺栓间距 D 等因素的 6 个模型试件,模型的编号和具体参数见表 1。

1.3 材料特性

永久模板的基体为高性能细骨料混凝土,强

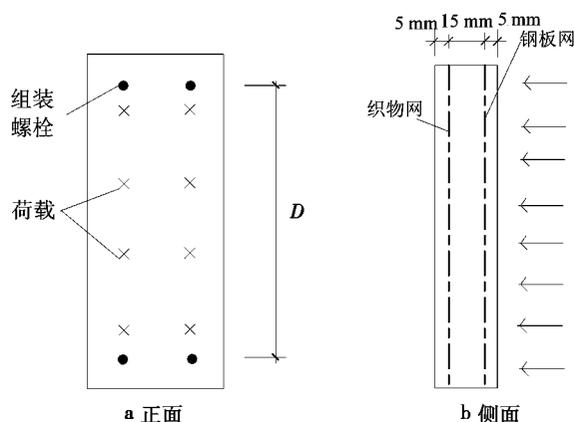


图 1 计算模型

Fig 1 Calculation model

表 1 模型件编号及参数

Table 1 Number and parameters of model

试件编号	边界条件	纵向螺栓间距/mm
B1-900	螺栓 4 点约束 B1	900
B1-700		700
B1-600		600
B1-500		500
B2-900	短边螺栓连线约束 B2	900
B3-900	4 条螺栓连线约束 B3	900

度等级取 C40(抗拉标准值为 2.39 MPa)。钢板网型号为 PB0.5(板厚 0.5 mm),不锈钢 304,方形孔(孔径 10 mm × 10 mm),抗拉强度取 50.41 MPa。织物网中纵向方向为碳纤维,横向方向为玻纤,方形孔(孔径 10 mm × 10 mm),纤维的性能参数见表 2。

收稿日期:2019-10-12

基金项目:江苏省高校自然科学基金项目(13KJB5600145);中国中铁集团引导课题

作者简介:史彪之(1983—),男,安徽凤阳人,工程师,主要研究方向为路基与桥梁工程。

表 2 纤维性能参数

Table 2 Fiber performance parameters

纤维类型	拉伸强度/MPa	弹性模量/GPa	截面积/mm ²	伸长率/%
碳纤维	2 091	231	0.45	2.0
玻纤	738	65	0.58	4.5

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^[4], 钢材均为理想的弹塑性二折线模型^[5-6], 碳纤维网采用线弹性模型。

2 有限元建模

2.1 创建部件

在创建模块时, 细骨料混凝土选择的是 8 节点线性缩减积分格式的 3 维实体单元(图 2a); 由于钢板网、碳纤维、玻纤的长度远大于它的直径, 且可忽略沿直径方向的应力, 因此钢板网(图 2b)、碳纤维、玻纤采用线单元。将碳纤维和玻纤合并成整体的织物网(图 2c)。

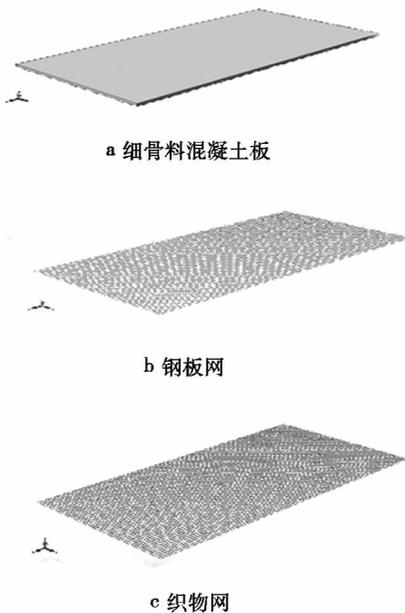


图 2 部件
Fig 2 Component

2.2 定义材料和截面属性

在 Property(特性) 模块中, 根据材性试验实测的数据, 定义细骨料混凝土、钢板网、碳纤维和玻纤的力学特性, 其中混凝土泊松比采用 0.2, 钢板网的泊松比采用 0.3, 碳纤维的泊松比采用 0.307, 玻纤的泊松比采用 0.22。

2.3 定义分析步/荷载/边界条件

本文分析步的设置与实际试验过程步骤一致: 第一步, 初始分析步: 定义混凝土模板的边界条件。将板面上 4 处螺栓设为固结约束(正反面都是), 即 6 个自由度全部约束, 并向后续分析步传递;

第二步, 纵向力加载: 为了模拟混凝土薄板永久模板在实际浇筑过程中的受力性能, 在放入钢板网的受压区施加面荷载。

2.4 定义相互作用

将钢板网和织物网内置于整个模型中。模拟中不考虑各种材料之间的相对滑移, 各接触面上只有力的传递, 而没有相对位移。

2.5 划分网格

因为本次模拟采用工程中的实际尺寸, 各部分网格划分如下: 混凝土薄板的网格大小为 25 mm(即种子尺寸为 0.025 m), 钢板网和织物网的网格大小为 25 mm(即种子尺寸为 0.025 m)。网格划分见图 3。

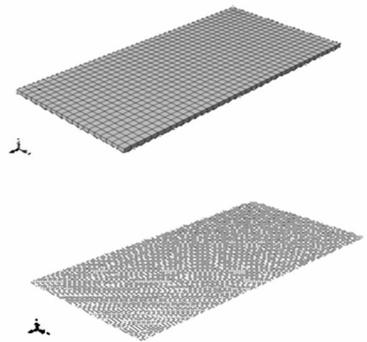


图 3 网络划分
Fig 3 The division of computation mesh

3 有限元模拟结果与分析

3.1 模拟结果

模拟得到的部分模型的应力云图见图 4, 模型跨中位置的峰值应力及峰值位移见表 3。

3.2 模拟结果分析

本次模拟分析主要是考察该类型永久模板强度和刚度能否满足要求, 强度方面主要是将模型跨中受拉区的峰值应力与细骨料混凝土开裂荷载($f_{ik} = 2.39 \text{ MPa}$) 进行比较, 以不开裂为目标, 刚度方面主要是将模型跨中峰值位移与规范规定的挠度限值($L/400 = 2.5 \text{ mm}$) 进行比较, 以不超限为目标。

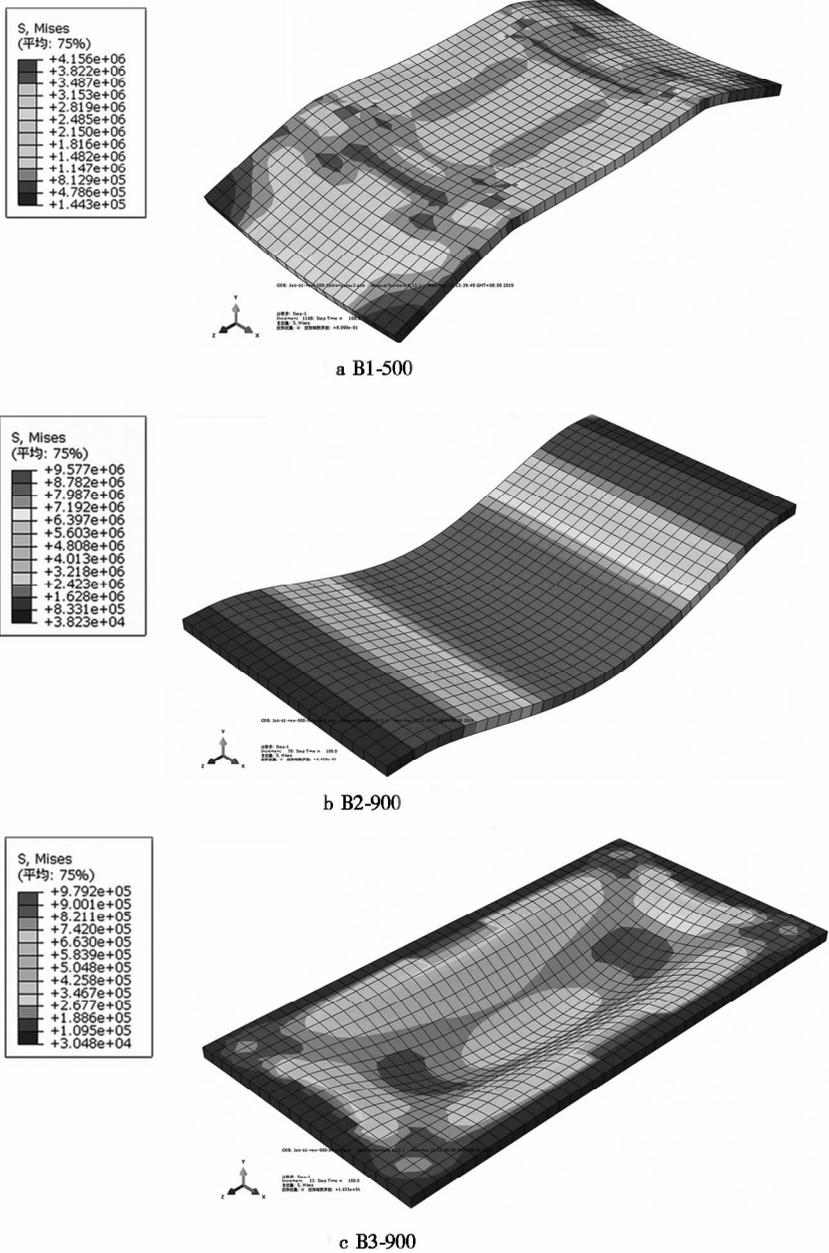


图 4 部分模型的应力云图

Fig 4 Stress nephogram of some models

表 3 模型跨中位置的峰值应力及峰值位移

Table 3 Peak stress and peak displacement at mid-span of the model

试件编号	峰值应力/MPa	峰值位移/mm
B1-900	5.475	22.03
B1-700	4.758	17.83
B1-600	2.789	8.42
B1-500	1.436	2.16
B2-900	9.577	19.85
B3-900	0.378	1.04

结合应力云图和表 3 可知:

直接采用螺栓 4 点约束的 B1 组模型,当纵向螺栓间距从 900 mm 逐渐减小到 500 mm 时,跨中位置峰值应力从 5.475 MPa 逐渐减小到 1.436 MPa,跨中位置峰值位移从 22.03 mm 逐渐减小到 2.16 mm,4 个模型中只有 B1-500 能够同时满足强度和刚度要求。另外,模型的最大应力均在螺栓约束处,且均远超细骨料混凝土开裂荷载;模型横向、纵向的边缘位置应力均大于跨中。

比较 B1-900、B2-900、B3-900 3 个试件可发

现,纵向螺栓间距 D 不变的条件下,采用不同的约束方式(边界条件),模拟结果相差较大。采用螺栓 4 点约束的模型 B1-900 跨中位置峰值位移最大,采用短边螺栓连线约束的模型 B2-900 跨中位置峰值应力最大,而采用 4 条螺栓连线约束的模型 B3-900 的峰值应力和位移均远小于前两种,且远小于细骨料混凝土开裂荷载和柱模板的挠度限值。

4 结论与建议

针对本次分析,得出如下结论与建议:

(1) 采用螺栓 4 点约束,随着纵向螺栓间距

的减小,混凝土薄板模型的跨中峰值应力与峰值位移均逐渐减小,当间距减小到 500 mm 时,强度与刚度均能满足要求;

(2) 采用螺栓 4 点约束,模型的最大应力均在螺栓约束处,且均远超细骨料混凝土开裂荷载;模型横向、纵向的边缘位置应力均大于跨中,因此实际施工时,建议对混凝土薄板的螺栓位置和边缘位置做特殊处理;

(3) 文中所述 3 种约束方式,采用 4 条螺栓连线约束最优,建议实际工程应用时采用该类型约束方式。

参考文献:

- [1] 咏梅. 活性粉末混凝土作永久性模板研究[D]. 北京:北京交通大学,2005.
- [2] 王彤. 永久模板与现浇混凝土叠合梁的试验研究[D]. 长春:吉林大学,2012.
- [3] 李传巍,华业武. 高层现浇框架采用预制钢筋混凝土永久性模板施工[J]. 建筑技术通讯,1981,10(1):21-23.
- [4] 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.
- [5] AGRAWAL 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.
- [6] KENT D C, PARK R. Cyclic load behavior of reinforcing steel[J]. Strain, 1973, 9(3):98-103.

Finite Element Analysis of Mechanical Characteristics of Reinforced Concrete Thin Slab Column Permanent Formwork Construction

SHI Biaozi

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

Abstract: Based on the ABAQUS finite element numerical simulation, the influence of different constraint conditions on the strength and stiffness of the concrete thin slab column permanent formwork reinforced by the combination of fiber fabric mesh and steel plate mesh under construction load is analyzed, and the engineering application Suggestions are given.

Keywords: permanent formwork; concrete sheet; finite element analysis; ABAQUS

(责任编辑:张英健)