

文章编号: 1673- 0062(2009) 04- 0098- 04

变截面叠合结构力学特性数值模拟

孙 冰¹, 曾 晟², 石建军¹

(1. 南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001; 2 南华大学 核资源与核燃料工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 为了探讨不同预制板截面高度与叠合后截面总高度比例对叠合结构力学特性的影响, 利用 ABAQUS 软件对比例为 0.6 和 0.5 和 3/7 的叠合板进行有限元分析. 模拟结果表明, 该比例的变化对后浇层受压混凝土的“应变滞后”和钢筋的“应力超前”等叠合结构的典型力学性能具有重要影响. 本文的研究为叠合结构的设计和工程应用提供了理论基础.

关键词: 叠合结构; 变截面; 数值模拟

中图分类号: TU 375 **文献标识码:** A

The Numerical Simulation on Mechanical Properties of Composite Structure with Variable Cross- section

SUN Bing¹, ZENG Sheng², SHI Jian-jun¹

(1. School of Urban Construction, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China

2. School of Nuclear Resources and Nuclear Fuel Engineering, University of South China,
Hengyang Hunan 421001, China)

Abstract The proportion of the height of pre- cast slab to the total height of composite slab has important influence on the mechanical properties of composite structure, for which the composite slabs(the proportion is 0.6 and 0.5 and 3/7 respectively) was simulated based on ABAQUS to analyze the specific influence. The results show that the change of the proportion has important influence on the typical properties of composite structure such as strain hysteresis of the compressed concrete, stress excess of tensile steel and so on. The study provides theoretical basis for the design and engineering application of composite structure.

Key words composite structure; variable cross- section; numerical simulation

国外学者过去曾对叠合结构进行了大量的研究, 但主要研究一次受力的情况^[1]. 国内近年开

始对于二次受力的情况进行研究, 得到在二次受力条件下表现出受拉钢筋应力超前、叠合层受压

收稿日期: 2009- 10- 15

作者简介: 孙 冰 (1979-), 女, 河南平顶山人, 南华大学城市建设学院讲师, 博士研究生. 主要研究方向: 岩土及结构工程.

混凝土应变迟后、“超前”和“迟后”在第 2 阶段加载过程中趋于缓解^[2-3]。叠合结构的两阶段制造和二次受力对其力学特性具有决定性的影响,而预制板截面高度与叠合后截面总高度比例是影响两阶段制造和二次受力的关键参数。王秀格等通过改变高度比例试验研究了预应力叠合梁受弯性能^[4]。从实验中获得的数据虽然可靠、准确,但实验数量多、周期长、投入大,且由于受到场地、设备、试验数目和试验经费的限制,对叠合结构进行大量的模型试验研究是有难度的,因此许多力学特性仅仅有定性的分析,没有定量的结论。在试验的基础上对叠合结构进行从施工到破坏全过程的非线性有限元分析、深入探索叠合板在复杂的施工过程及受力条件下力学性能具有重要意义。本文基于 ABAQUS 大型有限元分析软件, α 分别采用 0.6、0.5 和 3/7 进行数值模拟试验。研究表明, α 的变化对后浇层受压混凝土的“应变滞后”和钢筋的“应力超前”等叠合结构的典型力学性能具有重要影响。

1 有限元模型

本文采用改变后浇混凝土厚度,实现变预制板截面高度与叠合后截面总高度比例进行叠合板非线性有限元分析,材料参数见文献[5]。由于预制板截面高度占叠合后截面总高度的比例对叠合结构的力学性能具有重要影响,在设计时,首先必须设计合理的 α 值。为了更好地研究符合规范^[6]规定的“二次受力”的叠合板的力学性能,本文取 $\alpha = 0.6、0.5$ 和 $3/7$ 基于 ABAQUS^[7-8] 进行数值试验并比较分析三者的结果。

叠合板的有限元模型见图 1 (以 $\alpha = 0.6$ 为例)。新旧混凝土单元种类,均为 20 节点三维空间六面体二次单元 (C3D20),新旧混凝土之间的虚拟空气单元也为 C3D20 单元其拓扑描述同新混凝土单元,钢筋采用三维线性插值梁单元 (B31)。钢筋与混凝土之间以及新旧混凝土之间采用弹簧单元作为连接单元。模型的计算方法见文献[9]。

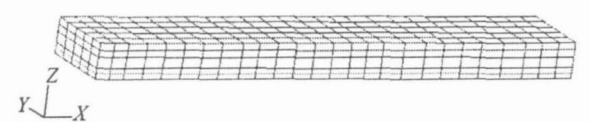


图 1 有限元模型

Fig. 1. Finite element model

2 结果与讨论

2.1 受压区混凝土的应变特征

α 改变而预制板没有改变,一阶段荷载 F_1 作用下,预制板受压区混凝土的荷载—应变关系曲线 (图 2) 基本重合而基本上是线性的。二阶段荷载 F_2 作用下后浇层混凝土受压的荷载—应变关系曲线如图 3 三曲线均呈现非线性且斜率均在逐渐减小,表明构件的刚度在逐渐减小。虽然三曲线的变化趋势呈现出许多相似性,但由于截面比例的不同也使构件的力学特性产生明显的差异,如 α 越小曲线斜率越大,但曲线斜率相对来说下降也比较快,非线性特性也相对表现的更为明显。

从图 2 和 3 可知后浇层混凝土受压呈现“应变滞后”现象, α 不同“应变滞后”程度不同。由于 F_1 为预制截面所承受,后浇层受压区混凝土仅承受 F_2 在叠合截面上产生的压应力,其应变将小于同条件下承受全部荷载的整浇板混凝土受压应变,这一特征通常称为“受压混凝土应变滞后现象”,这种压应变滞后值并非常数,随着叠合板的塑性应力重分配而不断减小。叠合板纵向受拉钢筋应力超前和后浇混凝土压应变滞后是相互依存的,应力应变差值的大小均随 α 的减小而增大,也即 α 越小“应变滞后”现象越明显。

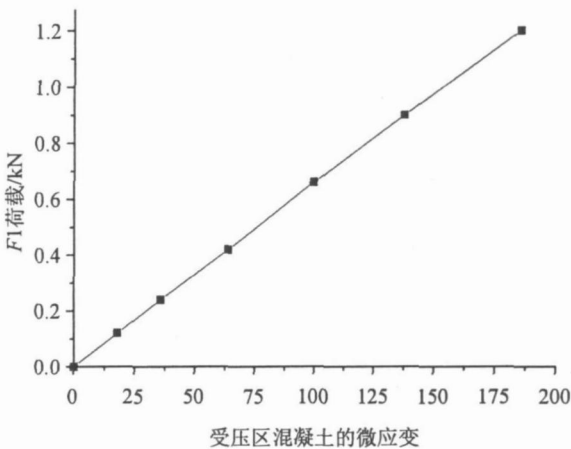


图 2 第一阶段加载预制板受压混凝土荷载—应变曲线

Fig. 2 The loading-strain curve of the prefabricated slab compressed concrete in the first stage loading

2.2 纵向受拉钢筋的应力与应变变化特征

1) 钢筋的应变变化特征

从 4图中可以看出, F_1 作用下, 三曲线重合且呈直线分布, 说明此阶段钢筋没发生非线性变形; F_2 加载初期曲线发展趋势及数值均变化不大, 但随着荷载的增加, 非线性特性越来越明显, 三曲线的差别也越来越明显. 从整个 F_2 加载过程看, 相同荷载作用下 $\alpha = 0.6$ 曲线的斜率小于 $\alpha = 0.5$ 斜率, $\alpha = 0.5$ 的斜率又小于 $\alpha = 3/7$ 的斜率, 说明在相同荷载的作用下, α 越大构件的应变值越大. 从曲线斜率的变化来看, 三条曲线的斜率均呈下降趋势且 α 越大下降越快, 说明构件的刚度在不断减小 α 越大刚度下降越快.

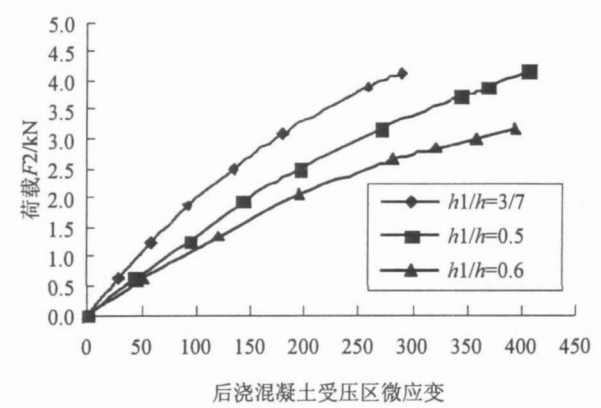


图 3 第二阶段加载叠合板受压区混凝土荷载—应变曲线

Fig 3 The loading- strain curve of the combined slab compressed concrete in the second stage loading

2) 钢筋的“应力超前”现象

从 5图中可以看出, 在 F_1 作用下三曲线的变化特征与图 4相似. 由材料力学可知, 当叠合板的预制截面高度不变时, 叠合板的纵向受拉钢筋应力将随着外部 F_1 荷载的增加而增大, 因该预制截面的极限承载力不变, 也即钢筋应力将随着 F_1 与预制截面极限承载力比值的增加而增大. 另一方面, 由于叠合板的预制截面高度小于整浇板截面高度, 使其纵向受拉钢筋应力大于整浇板纵向受拉钢筋应力. 尽管在相同的 F_2 作用时, 纵向受拉钢筋应力增值比相同荷载作用下整浇板的纵向受拉钢筋应力增值小, 但两次荷载作用下叠合板纵向受拉应力仍大于整浇板的钢筋应力. 分析表明, 叠合板的“二次受力”使其纵向受拉钢筋产生“应力超前”现象. 结合关于叠合板受压区混凝土的应变可知, 叠合板纵向受拉钢筋应力超前和后

浇混凝土压应变滞后是相互依存的, 应力应变差值的大小均随 α 减小而增大.

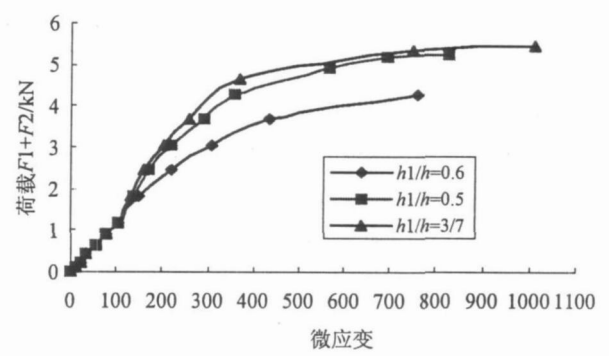


图 4 “二次受力”叠合板钢筋的荷载—应变曲线
Fig 4 The loading- strain curve of the rebar in the tow stage loading

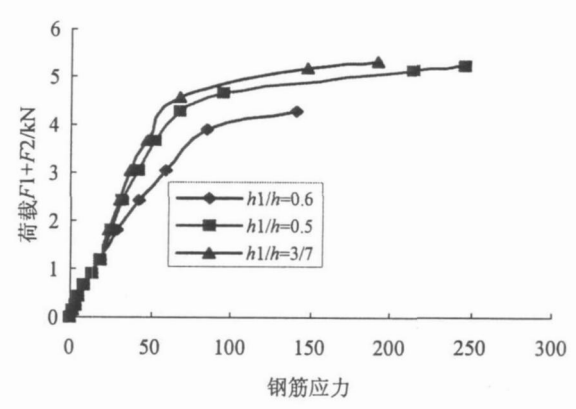


图 5 “二次受力”叠合板钢筋的荷载—应力曲线
Fig 5 The loading- stress curve of the rebar in the tow stage loading

3 结论

从对比分析结果可知 对叠合构件的力学特性以具有重要影响:

- 1)混凝土受压应变不仅存在“应变滞后”且越小“应变滞后”现象越明显.
- 2)钢筋的应力变化呈现“应力超前”现象, 而且纵向受拉钢筋应力超前和后浇混凝土压应变滞后是相互依存的, 应力应变差值的大小均随 α 减小而增大.
- 3)在设计制作叠合板时, 一定要根据实际情况合理、严格控制.

参考文献:

[1] Evans R H, Parker A. S Behavior of Prestressed Concrete

Composite Beams[J]. ACI Journal Pro, 1955, 51(9): 24– 30

[2] 黄赛超, 陈振富, 周旺华. 混凝土叠合梁跨中截面的内力转移性能 [J]. 中南大学学报, 1996, 27(4): 405 – 409

[3] 薛伟辰, 杨云俊. 混凝土叠合梁受力性能与设计方法研究进展 [J]. 混凝土与水泥制品, 2008(1): 44– 48

[4] 王秀格, 乔 兰, 尚自端. 预应力叠合梁受弯性能的试验研究 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版) 混凝土与水泥制品, 2008, 27(1): 71– 74

[5] 石建军, 孙 冰, 杨晓锋, 等. 新型组合板的实验研究 [J]. 南华大学学报 (自然科学版), 2004, 9(3): 24 – 26

[6] 中华人民共和国建设部. GB 50010 – 2002 混凝土结构设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社. 2002

[7] 庄 茁. ABAQUS/Standard 有限元软件入门指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998

[8] 庄 茁. ABAQUS/Explicit 有限元软件入门指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998

[9] 孙 冰, 丁德馨, 曾 晟, 等. 钢筋混凝土叠合结构二次受力过程数值分析 [J]. 华中科技大学学报 (城市科学版), 2008, 25(4): 260– 263

(上接第 94 页)

适用于一维链式构件的计算, 其计算过程都是矩阵的依次乘法^[4- 5], 特别适合电算, 因此相对于其它方法更加方便, 适合在实际工程中进行推广.

参考文献:

[1] 张 伟, 付大喜, 何海英. 高墩稳定性计算 [J]. 公路交通技术, 2006(3): 55– 57

[2] 朱慈勉, 张伟平. 结构力学 [M]. 北京: 高等教育出版

社, 2009

[3] 刘庆潭. 材料力学教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006

[4] 朱晓玲, 刘庆潭, 刘东海. 考虑自重条件下变截面高墩的弹性稳定性 [J]. 南华大学学报 (自然科学版), 2007, 21(4): 97– 99.

[5] 刘庆潭, 倪国荣. 结构分析中的传递矩阵法 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.