

文章编号:1673-2049(2005)03-0059-04

深肋组合扁梁肋部混凝土受力分析

张如杭,王元清,石永久,杨 璐

(清华大学 土木工程系,北京 100084)

摘 要:为了简化深肋组合扁梁理论计算模型,同时对中国现有的深肋压型钢板板型进行改进,通过有限元软件 ANSYS 对深肋组合扁梁的正、负弯矩区进行有限元分析,并利用现有的试验结果进行验证分析,得知深肋组合扁梁肋部混凝土在梁受力全过程中应变均很小,承担的荷载很小,因此在受力上可以忽略;同时揭示了深肋组合扁梁的部分受力特点,为深肋压型钢板选型提供力学参考。结果表明:在对深肋组合扁梁进行理论计算时可以忽略肋部混凝土的影响,同时在满足楼板承载力和构造要求下,可以进一步改进深肋压型钢板板型,减轻质量。

关键词:深肋组合扁梁;肋部混凝土;有限元分析;板型;弯矩;承载力

中图分类号:TU398.9

文献标志码:A

Stress distribution analysis of concrete in deep deck flange of composite slim beam

ZHANG Ru-hang, WANG Yuan-qing, SHI Yong-jiu, YANG Lu

(Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to simplify theoretical analysis model of composite slim beam with deep deck and improve the shape of deck in China at present, and through ANSYS software, finite element analysis (FEA) was used in the positive and negative moment zone. The conclusions that concrete in the deep deck was distributed little load and its stress was low were got, also an experimental result was dealt with. Parts of the stress characteristics were gained, which afforded proof to select the type of the deep deck and improved the shape of the deck. The results show that the concrete in deep deck will be neglected in theoretical analysis and the dimension of the deep deck will be ameliorated to reduce the amount of concrete in slim beam.

Key words: composite slim beam with deep deck; concrete in deck flange; FEA; deck shape; moment; load capacity

0 引 言

深肋组合扁梁是将混凝土楼板放在钢梁的下翼缘上,将钢梁嵌于混凝土楼板之中,利用钢梁与混凝土之间的粘结力实现了两者的共同工作,很好地发挥了两种材料的力学特性,并形成类似无梁楼盖的建筑效果,如图 1 所示。它的主要特点是:不再采

用剪力连接件,而是靠钢梁与混凝土之间的粘结力来保证两者的共同工作。相对于普通 T 型组合梁,深肋组合扁梁具有结构高度小、防火性能好的优点^[1~5],已在欧洲的多层建筑中得到了较多应用,并且近年来在中国的工程中也有所采用^[2]。它的经济梁跨为 5~9 m,而相应的结构高度仅为 280~320 mm;在不需要任何防火措施的情况下深肋组合

扁梁的耐火极限可达 1 h^[6,7]。

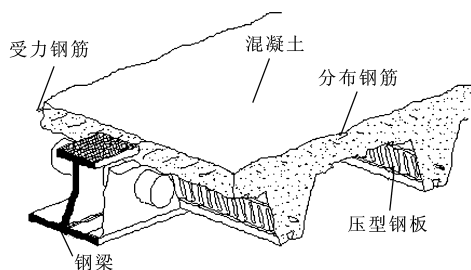


图 1 深肋组合扁梁

Fig. 1 Composite slim beam with deep deck

1 深肋压型钢板及其构造

为了减轻质量,深肋压型钢板的肋部应当尽量高而窄。但是,在施工阶段压型钢板要作为模板和浇灌混凝土的作业平台承担湿混凝土的质量及全部的施工荷载,为了满足其刚度和承载力的要求,肋宽又不能太小。同时,压型钢板板肋处混凝土(以下简称肋部混凝土)处也将布置楼板的纵向受力筋,这也限制了肋宽的尺寸。所以应该综合各方面的因素对深肋压型钢板的截面进行优化设计。目前深肋组合扁梁所采用的压型钢板高度通常在 200 mm 以上,国外有专门轧制的深肋压型钢板适用于这种楼盖,如英国的 SD225 和 RIBDECK210,肋宽比在 1/6 左右,如图 2(a)所示。中国目前还未有相关的压型钢板专用板型,正在尝试采用 MMR-238 型波纹屋面板[肋宽比为 1/3 左右,见图 2(b)]及其改进型来构造深肋组合扁梁^[2]。

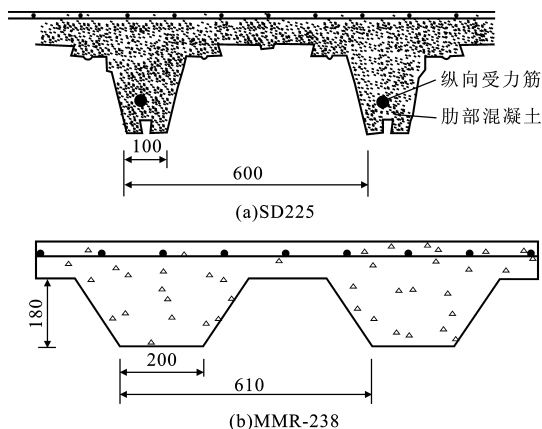


图 2 深肋压型钢板/mm

Fig. 2 Steel plate of press type with deep deck

由于深肋压型钢板的存在,导致深肋组合扁梁结构复杂,特别是混凝土部分形状特殊。肋部混凝土在梁长方向不连续,因此为了得到实际工程中实用的计算公式,简化计算模型是非常必要的^[8]。

在深肋组合扁梁楼盖中,肋部混凝土将起到次梁的作用,并用于放置楼板纵向受力筋,对楼板的承载力至关重要。但对于独立的单根深肋组合扁梁来说,肋部混凝土的位置是相对离散的,因此有必要分析一下其在梁中的受力状况。笔者采用有限元方法,并且综合已有的试验结果,分析深肋组合扁梁肋处混凝土的受力情况,从而揭示深肋组合扁梁的部分受力特点,为简化理论计算模型和优化压型钢板板型提供依据。

2 有限元建模

笔者利用通用有限元分析软件 ANSYS 对深肋组合扁梁进行数值模拟分析。

2.1 结构材料的模拟

在有限元模型中采用 SOLID65 模拟混凝土的受力。该单元为 8 节点 6 面体实体单元,其中包含有混凝土的三维强度准则,并且还具有弥散钢筋单元组成的整体式钢筋模型,可以模拟配筋混凝土和素混凝土的压溃、开裂等受力特征。采用 SOLID45 模拟钢梁,该单元也是三维 8 节点 6 面体单元,与 SOLID65 单元匹配使用。

2.2 材料本构关系

计算中混凝土的单轴受压应力与应变关系采用过镇海^[9]建议的模型

$$y = \begin{cases} \alpha x + (3-2\alpha)x^2 + (\alpha-2)x^3 & x \leq 1 \\ \frac{x}{\alpha(x-1)^2 + x} & x > 1 \end{cases}$$

式中: $y = \sigma/\sigma_0$, $x = \epsilon/\epsilon_0$, σ_0 、 ϵ_0 分别为混凝土峰值应力、应变。混凝土的屈服准则采用 DRUCKER-PRAGER 准则,强化法则采用各向同性强化,破坏准则选用 WILLAM-WARNKER 的 5 参数模型。

钢材的单轴本构关系均采用理想弹塑性模型,屈服准则采用 VON-MISES 准则,强化法则为各向同性强化。

2.3 模型的建立

组合扁梁的几何构造比较复杂,宜先采用 AutoCAD 软件完成几何建模,再将几何模型导入 ANSYS。对几何模型进行有限元网格划分需经过较详细的规划,合理地控制单元尺寸,特别是对混凝土 SOLID65 单元不宜划分过细,否则将对计算的收敛性产生影响。由于深肋压型钢板厚度很小,仅作为施工中的模板使用,在有限元模型中不需考虑压型钢板。钢梁的上、下翼缘和腹板通过与混凝土共用单元节点来实现它们的共同工作。

3 正弯矩区肋部混凝土受力分析

对于简支深肋扁梁采用 ANSYS 进行数值模拟分析,提取其中的肋部混凝土受力状况进行分析,并对比试验结果进行验证。

3.1 有限元模型的建立

简支深肋组合扁梁进行网格划分后的模型如图 3 所示。建模中还需注意,力和位移边界条件应尽量均匀地施加于梁端部。当荷载施加于混凝土上时,应尽量均匀地分配到各节点上,避免由于应力集中而导致局部的混凝土压溃破坏。

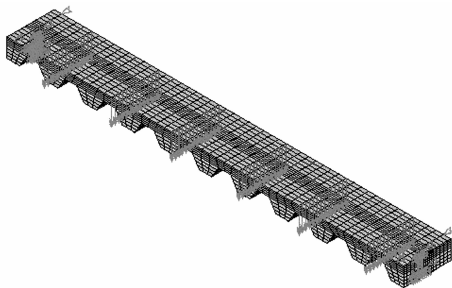


图 3 简支深肋组合扁梁完整有限元模型
Fig. 3 FEM of simply supported composite slim beam with deep deck

为了方便比较,在 ANSYS 中建了一根与上述分析等尺寸,但去掉肋部混凝土的深肋组合扁梁模型,在其他条件如端部约束、荷载条件等完全相同的情况下进行分析。网格划分后的模型如图 4 所示。

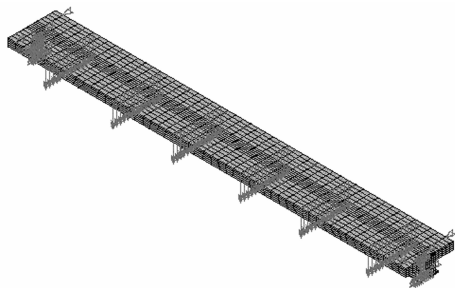


图 4 简支深肋组合扁梁去肋有限元模型
Fig. 4 FEM of simply supported composite slim beam with deep deck of amputated flange

3.2 有限元结果分析

在完整模型中提取压型钢板板肋处的混凝土在极限应力状态下的 VON-MISES 应力,如图 5 所示。从图 5 可知:深肋组合扁梁极限承载力状态下,肋部混凝土应力还是很很小,最大 VON-MISES 应力不足 5 MPa,因此能分担的荷载很小。

在完整模型与去肋模型下,简支深肋组合扁梁的荷载与挠度关系如图 6 所示。从图 6 可知:两个

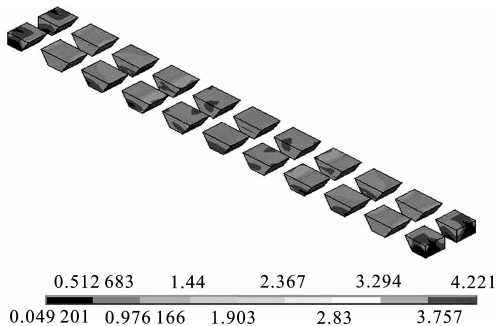


图 5 肋部混凝土 VON-MISES 应力/MPa

Fig. 5 VON-MISES stress of concrete in deck flange

模型的荷载与挠度关系曲线几乎完全重合。这说明:对于简支深肋组合扁梁,压型钢板板肋处的混凝土对梁的弹性刚度和承载力影响很小。在满足楼板承载力和构造要求下,可以进一步改进深肋压型钢板板型,以减轻楼板质量。

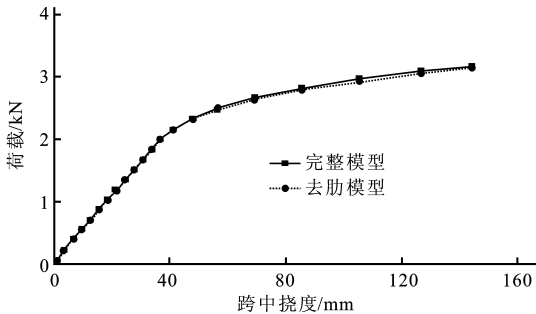


图 6 是否去肋时简支梁荷载与挠度关系比较

Fig. 6 Comparison of simply supported beam of relationship of load and deflection with flange amputated or not

3.3 试验验证^[2,10]

简支梁试验采用的尺寸大小和加载方式与有限元完整模型相同。图 7 中的应变片 2-1、2-2、2-3 布置在肋部混凝土处。

从试验量测结果表明:应变片 2-1、2-2 监测了板肋部分受拉区混凝土的应变,在整个加载过程中,这两处的应变均未超过 50×10^{-6} ,按实测弹性模量换算,这两处的拉应力小于 1 MPa,即使是处于受压区的应变片 2-3 量测到的应变值也未超过 100×10^{-6} 。从而直接验证了在简支深肋组合扁梁中,板肋部的混凝土分担的荷载很小,可以忽略不计;同时也验证了有限元结果的合理性。

4 负弯矩区肋部混凝土受力分析

与简支梁分析方法相同,悬臂深肋组合扁梁也建立有限元的完整、去肋模型,如图 8 所示。

悬臂梁的结果如图 9、10 所示。由图 9、10 可知:悬臂梁的肋部混凝土应力很小,两个模型的荷载

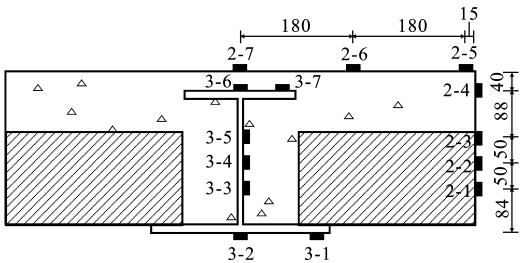


图 7 截面测点布置/mm

Fig. 7 Distribution of measuring points in section

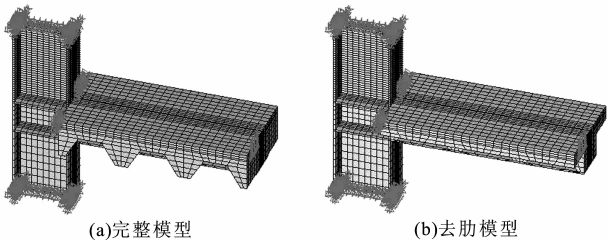


图 8 悬臂深肋组合扁梁有限元分析模型

Fig. 8 FEA models of cantilever composite slim beam with deep deck

与挠度关系曲线基本重合。因此与简支梁相同,肋部混凝土对悬臂组合扁梁的受力性能影响很小,可以忽略不计。在满足构造的情况下,可以优化深肋压型钢板板型,减小楼板质量。

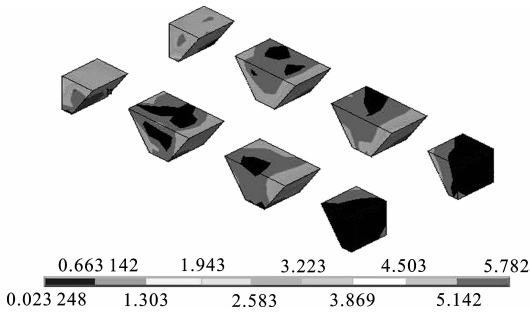


图 9 板肋处混凝土 VON-MISES 应力/MPa

Fig. 9 VON-MISES stress of concrete in deck flange

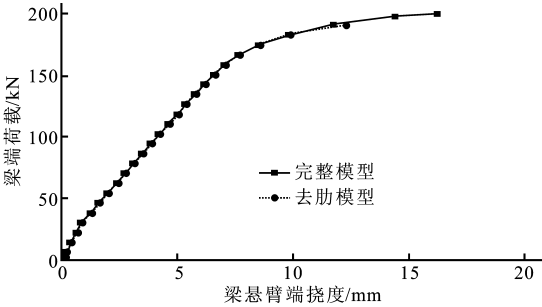


图 10 是否去肋时悬臂梁荷载与挠度关系比较

Fig. 10 Comparison of cantilever beam of relationship of load and deflection with flange amputated or not
与悬臂梁完全相同,框架深肋组合扁梁的肋部

混凝土承担荷载很小,完整模型和去肋模型有限元分析得到的荷载与挠度关系曲线完全重合。

5 结 语

(1)无论是简支、悬臂还是框架梁,压型钢板板肋部混凝土在梁的受力全过程中,应变均很小,所承担的荷载很小,因此可以忽略不计。

(2)深肋组合扁梁肋部混凝土在扁梁组合楼盖中将起到次梁的作用,但对单根组合扁梁的受力影响很小,因此在简化组合扁梁理论模型时,可以不考虑肋部混凝土。

(3)中国现有的 MMR-238 型板可以进一步改进,以使深肋组合扁梁的构造和受力更加合理。

参考文献:

[1] 石永久,王元清,陈宏,等. 钢—混凝土组合扁梁受力性能的有限元分析[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 13(4): 417—420.

[2] 李秋喆. 简支深肋组合扁梁抗弯刚度和承载力研究[D]. 北京:清华大学土木工程系, 2005.

[3] 李秋喆,石永久,王元清,等. 组合扁梁楼盖受力性能分析[J]. 钢结构, 2004, 19(2): 27—31.

[4] SHI Yong-jiu, LI Qiu-zhe, WANG Yuan-qing. Structural behavior of composite slim beam [A]. The Eighth International Symposium on Structural Engineering for Young Experts[C]. Beijing: Science Press, 2004. 712—718.

[5] 王元清,石永久,陈全,等. 钢—混凝土组合扁梁承载力性能的试验研究[J]. 土木工程学报, 2005, 38(4): 12—17.

[6] LAWSON R M, BODE H, BREKELMANS J W P M, WRIGHT P J, MULLETT D L. Slimflor and slim-deck construction: European developments [J]. The Structural Engineer, 1999, 77(8): 22—30.

[7] 石永久,李秋喆,王元清,等. 正弯矩区组合扁梁承载性能分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(11): 1 550—1 553.

[8] 王元清,张如杭,石永久,等. 负弯矩区组合扁梁的受力性能分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2005, 21(3): 181—184.

[9] 过镇海,时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.

[10] 石永久,李秋喆,王元清,等. 简支深肋组合扁梁受弯性能试验研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2005, 21(4): 315—319.