

文章编号: 1005-0523(2006)02-0012-03

波形钢腹板人行桥的有限元分析

孟文节¹, 万 水¹, 况小根²

(1. 常州市政工程设计院, 江苏 常州 213003; 2. 江西赣粤高速公路股份有限公司, 江西 南昌 330025)

摘要: 波形钢腹板 PC 组合箱梁结构恰当地分别利用了混凝土的高抗压强度和钢材的高抗剪能力, 提高了材料的使用效率, 具有广阔的应用前景. 本文对我国第一座波形钢腹板 PC 箱梁桥建立有限元模型, 分析了顶、底板和钢腹板的应力应变.

关键词: 波形钢腹板; PC 组合箱梁; 人行桥; 有限元分析

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

1 概述

长征桥位于淮安市, 跨越里运河, 桥与河道正交, 两侧分别连接河南路和漕运西路的人行道. 该桥为人行桥, 桥宽 7 米. 桥位处河面宽约 58 m 左右, 两岸均为石砌驳岸, 河岸顺直稳定. 根据河面宽度、通航条件, 及人行旋梯与两岸漕运西路和河南路的连接, 主桥设为三跨 18.5+30+18.5 m, 采用波形钢腹板 PC 组合连续箱梁桥的结构, 梁底标高 15.8 m (1956 年黄海高程).

长征桥采用倾角为 30 度的波形钢腹板突出结构的外型, 增强了结构的立体感, 较好的融入周围的环境, 也增大了桥面的宽度; 桥两端配以四个造型优美, 寓意“天天向上”的螺旋式转梯, 寓意积极向上, 符合当地的人文环境, 旋梯面向河中心展开, 减少了占用河岸两侧紧张的用地(图 1); 螺旋梯的台阶高度为 10 cm, 充分考虑了小学生的行走, 两侧有自行车坡道, 也便于推行. 波形钢腹板梁桥作为一种新结构, 充分利用施加在箱梁顶底板的预应力承受弯矩, 用波形钢腹板承受剪力, 充分发挥了各种材料的优势.

2 长征桥有限元建模

长征桥上部结构有限元模型如图 2 所示. 上顶板、下底板、横隔板和锚垫板用 solid45 实体单元, 钢腹板采用 shell63

壳单元来模拟, 为了充分考虑体外束和混凝土横隔板间力的传递, 真正模拟实际的施工, 因此体外预应力钢束也采用 solid45 实体单元. 体外预应力钢束和锚垫板粘合在一起, 锚垫板和端横隔板粘合在一起, 预应力通过锚垫板加到梁上. 在横隔板处, 预应力钢束和横隔板的连接采用耦合, 但在纵桥向(z 轴向)自由度不耦合, 以模拟预应力束在张拉过程中的滑移, 通过降温来模拟施加预应力.

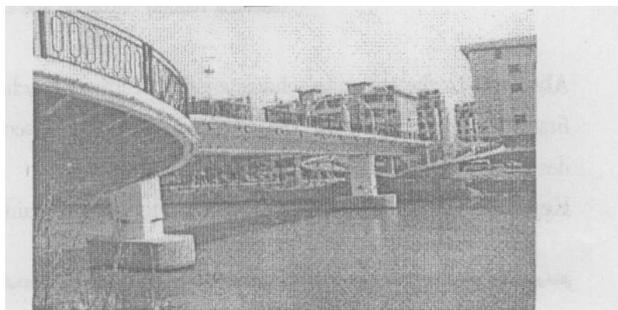


图 1 长征桥

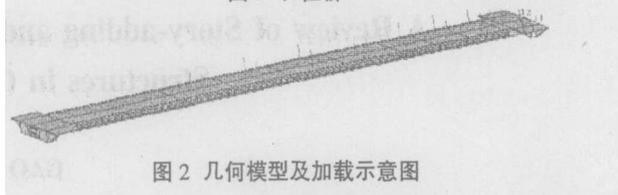


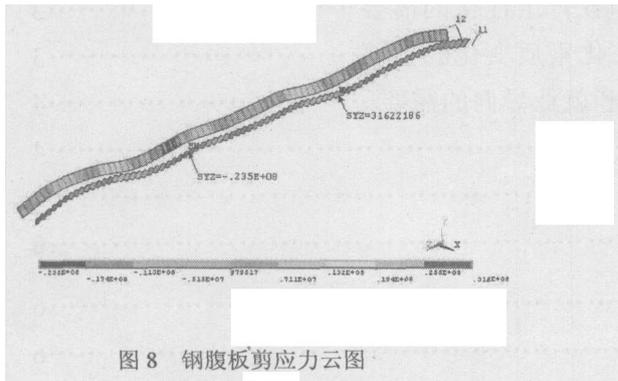
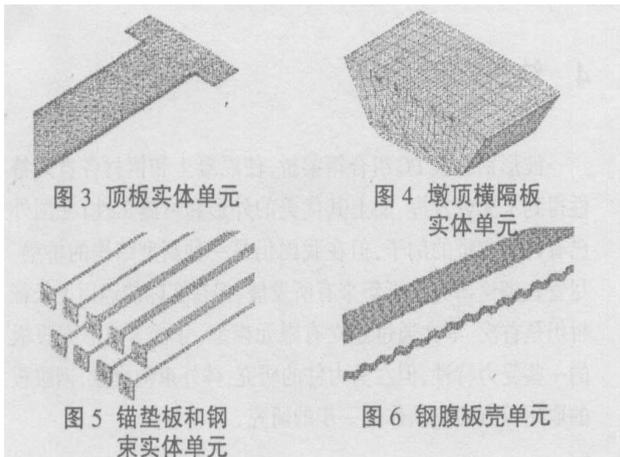
图 2 几何模型及加载示意图

整个模型采用实体单元在锚垫板、横隔板、体外预应力钢束和钢腹板处采用扫掠划分以减少单元数量, 由于上顶板和下底板因截面不规则, 采用自由划分. 全桥共有 94 188 个实体单元, 9 100 个壳单元(图 3-6).

收稿日期: 2006-01-13

基金项目: 国家自然科学基金(50078014)资助, 江苏省建设厅项目资助.

作者简介: 孟文节(1977-)男, 江苏常州人, 硕士研究生.
中国知网 <http://www.cnki.net>



支座用块单元来模拟,使模型和实际的结构相一致.约束中跨一端支座的 X、Y、Z 轴向位移和绕 Y、Z 轴的角位移,其他支座约束其 X、Y 轴向位移和绕 Y、Z 轴的角位移.

3.2 钢腹板剪应力

图 8 显示的是钢腹板剪应力沿纵桥向的变化云图.从图中可以看出,剪应力最大的地方出现在中跨离内支点较近的位置,这是因为内支点处有厚达 1.8 m 的横隔板,承担了绝大部分的剪力,相应的钢腹板承担的就小了,离开了内支点横隔板处的截面,钢腹板就承担了绝大部分的剪力.有限元结果显示钢腹板剪应力最大值不出现在支点处,而设计时采用了最大的支座处剪力,认为钢腹板承担了全部的剪应力,使得设计偏于安全.

预应力的施加:管道局部偏差对摩擦的影响系数 $k=0.003$,管壁间的摩擦系数 $\mu=0.25$.在计算预应力损失时,考虑了预应力筋和管道摩擦引起的预应力损失 σ_{s1} ;锚具变形、钢束回缩引起的预应力损失 σ_{s2} ;混凝土弹性压缩引起的预应力损失 σ_{s3} .因为试验时桥梁刚竣工一个月,时间较短不考虑其它损失,总的损失率按 15% 计入.

3 结果分析与讨论

考虑内支点处的最不利工况,分析时按一个边跨和中跨同时加载(图 2),加载集度为设计人群荷载 3.5 kN/m^2 ,分析结构在此工况的特性.为了便于说明,对各个数据提取截面命名如下:c、e 为中跨两个内支点, b1、b2、d1、d2、f1、f2 为边跨和中跨的 1/4 跨, b、d、f 边跨和中跨的跨中断面(图 7).

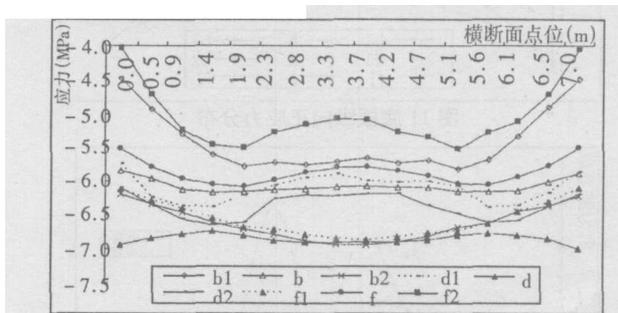
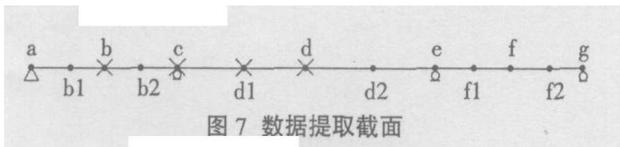


图 9 顶板纵向正应力分布

3.1 挠度

在载荷作用下,结构的挠度变化如图 8 所示,最大值为向上 3.7 mm,出现在非加载的边跨上,除了支座处挠度变化接近于零外,其他位置的总体挠度都向上,说明结构的承载能力很大,有足够的富裕量.

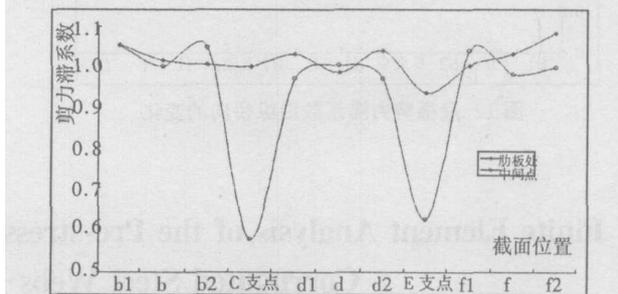


图 10 顶板剪力滞系数沿纵桥向的变化

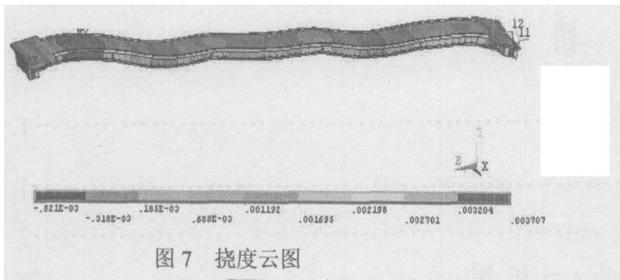


图 7 挠度云图

3.3 顶板纵向正应力

从图 9 可以看出,在预应力和载荷作用下,截面 b1、b、b2、d1、d2、f1、f2 的顶板纵向正应力呈负剪滞分布,中跨的跨中(截面 d)顶板纵向正应力呈正剪滞分布.以 d 截面为对称面,两边相对应位置的顶板,其纵向正应力的分布有较好的相似性,但没加载的一侧的值要大于加载一侧的值,这是因为载荷抵消了预应力的作用,减小了外荷载引起的附加弯矩.从剪力滞系数纵向变化(图 10)可以看出,除了在内支点处顶板中间和肋板位置的剪力滞系数相差比较大外,其余的相差不是很大.在内支点处由于存在较厚的横隔板,对顶板纵向正应力的分布有很大的影响;在加载的边跨,顶板肋板

处剪力滞系数变化幅度要比没加载的边跨相对小些.可见,边界的约束条件是发生负剪滞的内在因素,而外荷载的形式是发生负剪滞的外部条件.

3.4 底板纵向正应力

图 11 给出了底板各个截面上的纵向正应力沿横向的变化.在预应力和外荷载作用下,底板各个截面上的混凝土仍处于受压状态,整个结构有足够的承载能力.在截面 b1、d1、d2、f2 的顶板其纵向正应力呈正剪滞分布,而在截面 b、b2、d、f1、f 的顶板其纵向正应力呈负剪滞分布,对称位置的截面大致呈现出相同的剪力滞现象,有很好的相似性.底板剪力滞系数沿纵桥向的变化如图 12 所示,剪力滞系数在中跨的 1/4 跨变化最大.

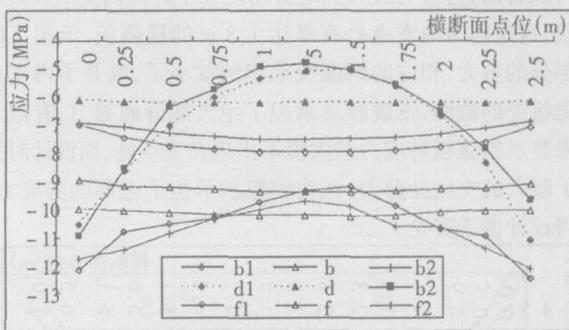


图 11 底板纵向正应力分布

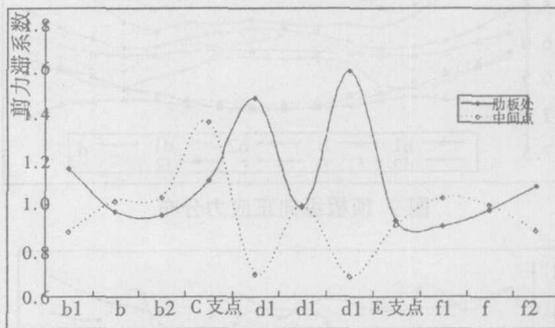


图 12 底板剪力滞系数沿纵桥向的变化

4 结语

波形钢腹板 PC 组合箱梁桥,使混凝土和钢材各自的特性得到了充分发挥,加上其优美的外形和可施工性,在国外已有许多实桥的例子,但在我国仍是一种新型结构的桥梁.尽管在理论研究上近年来有所发展,但在实际的运用上长征桥仍是首次.本文通过建立有限元模型,分析了波形钢腹板的一些受力特性,但在剪力件的研究,体外束的设置,钢腹板的取用等方面仍须作进一步的研究.

参考文献:

- [1] 万水. 波形钢腹板预应力组合箱梁受力特性试验研究[J]. 黑龙江工程学院学报, 2003(3).
- [2] 郭金琼. 箱形梁设计理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [3] 张士铎, 王文州. 桥梁工程结构中的负剪力滞效应[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] 王文涛. 刚构—连续组合梁桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.
- [5] 叶先磊, 史亚杰. ANSYS 工程分析软件应用实例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

Finite Element Analysis of the Pre-stressed Concrete Box-girder Footbridge with Corrugated Steel Webs — Long March Bridge

MENG Wen-jie¹, WAN Shui¹, KUANG Xiao-gen²

(1. Transportation College Southeast University, Nanjing 210096, Jiangxi GANYUE Expressway Co., Ltd. Nanchang 330025, China)

Abstract: The concrete highly compressive strength and ultimate shear capacity of steel in the Pre-stressed Concrete Box-girder bridge With Corrugated Steel Webs, which increases the usage efficiency of material, have the vast and applied foreground in the future. A finite element model of the bridge has been established, which is the first Pre-stressed Concrete Box-girder bridge With Corrugated Steel Webs in China. The strain and stress has been got through the model.

Key words: corrugated steel webs; PC composite box-girder; footbridge; finite element analysis