

文章编号: 1005—0523(2005)01—0011—04

波形钢腹板 PC 组合箱梁简化计算及试验研究

万 水¹, 陈建兵², 袁安华¹, 喻文兵¹

(1. 东南大学 交通学院, 江苏 南京, 210096; 2. 苏州科技学院 土木系, 江苏 苏州, 215011)

摘要:通过对波形钢腹板 PC 组合箱梁模型梁的加载全过程试验, 分析了荷载—挠度变形特征、波形钢腹板和上、下混凝土翼缘板截面高度方向的应变分布以及破坏模态, 并根据能量原理探讨了波形钢腹板的褶皱效应及波形钢腹板组合箱梁的弯曲应变计算模式, 其模型计算结果与试验结果吻合较好。

关 键 词:波形钢腹板; PC 组合箱梁; 弯曲性能; 计算模型; 试验研究;

中图分类号: TU

文献标识码: A

0 引 言

波形钢腹板 PC 组合箱梁桥是 1975 年法国学者提出的一种新型钢—混凝土组合结构^[1,2] (见图 1 所示), 并于 1986 年建成了世界上首座波形钢腹板预应力组合结构的桥梁—Cognac 桥, 随后, 法国又修建了 Maupre 高架桥、Asterix 桥与 Dole 桥 3 座波形钢腹板 PC 组合箱梁桥, 在这种结构中, 采用了波形钢腹来代替传统的混凝土腹板, 降低了梁的自重。与传统的纵向加劲平面钢腹板相比, 波形钢腹板的剪切屈曲强度得到提高, 钢板厚度大大减少, 不需要设置纵向加劲肋来防止屈曲发生, 同时, 由于波形钢腹板的轴向能自由伸缩, 所以由上、下混凝土翼缘板的徐变、干缩产生的变形将不受约束, 从而避免了由于钢腹板的约束作用而产生的箱梁截面的预应力损失。日本对该类桥进行研究并参考了法国同类桥的设计计算方法后, 于 1993 年建成了新开桥, 并在日本得到了广泛的应用和发展, 已建成此类结构形式的桥梁 3 座, 在建设 9 座, 最大跨径已达到 142m^[3]。

国内对于波形钢腹板 PC 组合箱梁的研究刚刚

起步, 所以展开对波形钢腹板 PC 组合箱梁结构试验的研究, 对波形钢腹板 PC 组合箱梁桥在我国的应用具有重要的工程意义。笔者根据单箱单室波形钢腹板 PC 组合箱梁模型梁, 对其进行了加载试验研究和理论分析, 研究成果可为该类桥梁在我国的应用提供了可靠的、科学的理论依据。

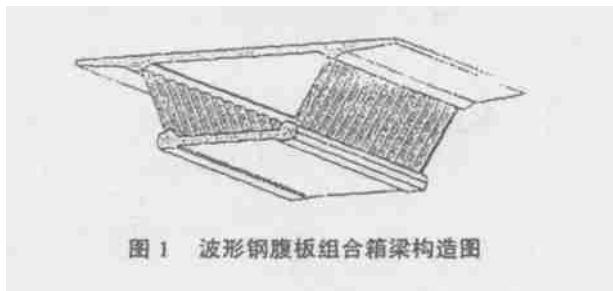


图 1 波形钢腹板组合箱梁构造图

1 模型梁试验

1.1 模型梁构造

模型试验梁计算跨径 7.5 m, 梁高 0.48 m, 底板宽 0.6 m, 顶板宽 1.8 m, 纵向设置 4 道横隔板, 端横隔板设于支座处, 作为体外预应力筋的锚固区, 中横隔板设于体外预应力筋转向处, 即为转向块。模型梁的具体尺寸见图 2 所示。波形钢板厚 3 mm, 波

收稿日期: 2004—07—12

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(50078014)

作者简介: 万 水(1960—), 男, 四川省万达县人, 博士, 教授, 主要从事结构振动及组合梁的研究。

高 38 mm,采用 A3 优质钢加工而成,其结构见图 3 所示.

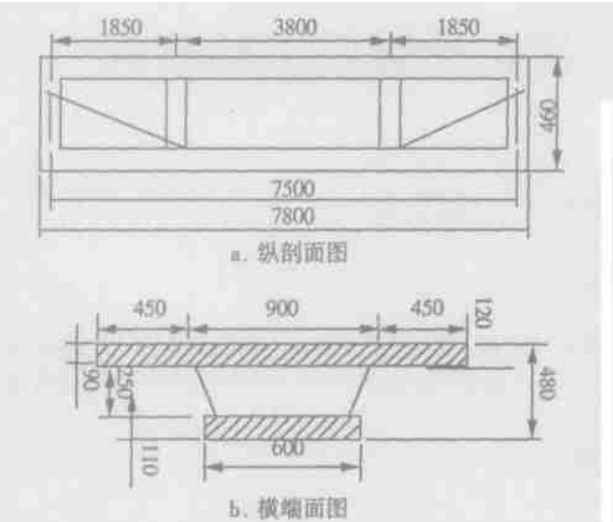


图 2 波形钢腹板 PC 组合模型箱梁构造图

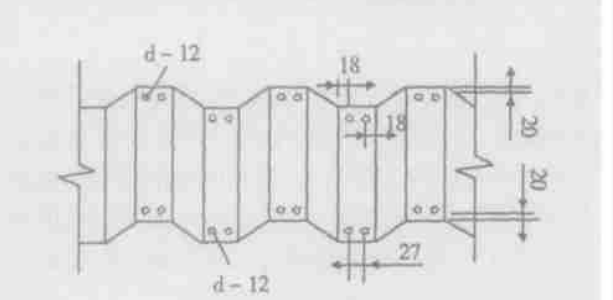


图 3 波形钢腹板立面图

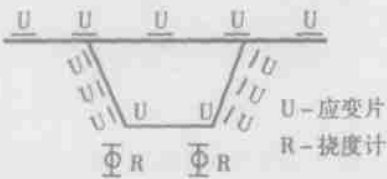


图 4 箱梁断面应变片及挠度计布置图



图 5 模型梁加载装置

1.2 材料强度

波形钢腹板的钢板弹性模量为 2.138×10^5 MPa,屈服强度为 347.163 MPa,极限强度为 512.2

MPa,极限延伸率为 33.33%.

混凝土的等级为 c40,砂石最大粒径为 12 mm,弹性模量为 3.4×10^4 MPa,抗压强度为 44.0 MPa.

预应力钢筋采用直径为 $\varnothing 15.2$ mm 的钢绞线,抗拉强度标准值为 1470 MPa.

普通钢筋采用 II 级钢筋.

1.3 测点布置

应变片分别布置在模型梁顶板、钢腹板和底板,主要观测断面为跨中和 1/4 截面,挠度计主要布置在模型梁跨中、L/4 跨及支点截面,见图 4 所示.

1.4 加载方案

试验是在露天进行,用千斤顶跨中单点对称加载,加载装置见图 5 所示.模型梁理论计算的弹性荷载为 $P=40$ kN,极限荷载为 80 kN.弹性范围内,分 5 kN,10 kN,20 kN,30 kN,40 kN 五级加载,测试各级荷载作用下控制测点的应变和变形.极限加载试验分 20 kN,40 kN,60 kN,70 kN,80 kN 五级加载,测试控制测点的应变和变形.

2 简化计算模型

2.1 波形钢腹板的轴向变形

当轴向力 P 作用在波形钢腹板的轴向时,由于薄钢腹板的褶皱效应,使钢腹板在轴向产生很大的变形,因而钢板的轴向弹性模量大大降低.设 E_0 为初始弹性模量, E_x 为有效弹性模量.取一个波长的波形钢腹板进行分析(见图 6).由卡氏定理求出在轴向力 P 作用下的波形钢板的轴向变形^[4].

$$\delta_1 = \frac{P}{6E_0I} \left(\frac{a^3}{2} + 3h^2b \right)$$

与波形钢板等长的平钢板,在轴向力 P 作用下轴向变形为 $\delta_2 = \frac{2p(b+d)}{E_sA}$,由 $\delta_1 = \delta_2$,可求得:

$$E_x = \frac{E_0(b+d)}{\frac{a^3}{2h^2} + 3b} \cdot \frac{t^2}{h^2} = E_0 \alpha \frac{t^2}{h^2}$$

式中:

$$\alpha = \frac{b+d}{3b + \frac{a^3}{2h^2}}$$

若取 $h=d$,则有 $\alpha = \frac{b+d}{3b+a}$.

对于本次模型试验梁所用波形钢腹板,其 $b=63$ cm, $d=50$ cm, $h=38$ cm, $t=3$ mm,代入上述公式可得 $\alpha=0.41$, $E_x=E_0/391$,即波形钢腹板的有效弹性模量 E_x 约为钢板初始弹性模量 E_0 的 1/391.

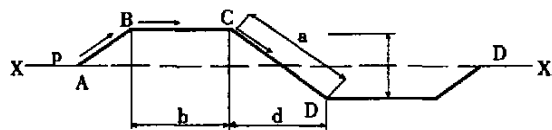


图6 轴向力作用下的变形

2.2 组合梁弯曲变形协调方程

由波形钢腹板轴向变形特性,可假定当梁弯曲变形时,弯曲计算中所用到的各截面几何特性可以不考虑钢腹板,也就是说弯矩仅由上、下混凝土板构成的断面的抗弯刚度来抵抗。

基于以上假定,设截面在外荷载弯矩 $m(y)$ 作用下,截面的整体挠度为 $\omega(y)$,截面转角为 $\omega'(y)$,上、下翼板的转角分别为 $\eta(y)$ 、 $\rho(y)$,并在上、下翼板中心轴建立局部坐标系 Z_u 、 Z_d ,如图7所示。

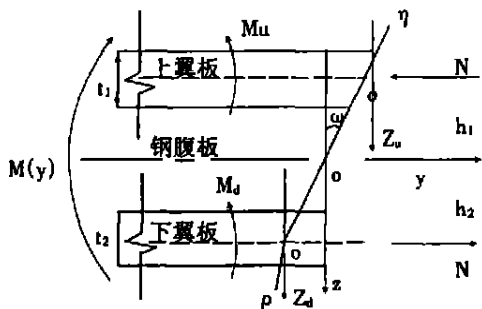


图7 截面转动位移模式

通过能量变分法推导出上、下翼板弯曲变形关系式^[5]。

$$\text{即} \begin{cases} \epsilon_u = (h_1 - \frac{t_1}{2}) \omega'' - z_u \eta' \\ \epsilon_d = -(h_2 - \frac{t_2}{2}) \omega'' - z_d \rho' \end{cases} \quad (1)$$

式中: $Z_u = Z + h_1$, $Z_d = Z + h_2$;

$$\omega'' = \eta' = \rho' = -\frac{M(y)}{E_c I};$$

t_1 、 t_2 —分别为上、下翼板厚度;

h_1 、 h_2 —分别为中性轴距上、下翼板中心的距离;

ϵ_u 、 ϵ_d —分别为上、下翼板的纵向应变。

由式(1)可知:上、下翼板的纵向应变具有线性相关规律。即在弯曲荷载作用下,上、下混凝土翼板满足梁理论的“平截面假定”。

2.3 简化模型

由于波形钢腹板沿梁轴向弹性模量较小,加之钢腹板本身截面积又很小,它基本上不能承受轴力,因此波形钢腹板对箱梁的抗弯贡献可忽略不计。根据组合箱梁的变形协调方程及文献^[2],将波

形钢腹板PC组合箱梁截面置换成图8所示断面,仅由上、下混凝土板构成。

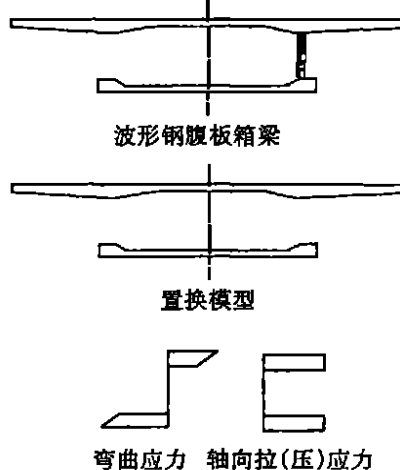


图8 波形钢腹板组合箱梁的弯曲计算模式

3 模型梁试验结果

3.1 截面应变分布

各级试验荷载作用下,跨中截面波形钢腹板和上、下混凝土翼缘板各测点纵向应变沿截面高度分布(见图9中实线表示),从图中可知,截面各测点纵向应变沿截面高度呈非线性规律,而且波形钢腹板上测点应变值很小,数值接近于零。如果不考虑钢腹板范围内的各测点,把上、下翼缘板的测点纵向应变相连(见图9中虚线所示)。从图中可以看出,在弹性范围内,各级试验荷载作用下波形钢腹板组合箱梁的上、下翼缘板纵向应变呈线性分布^[6]。

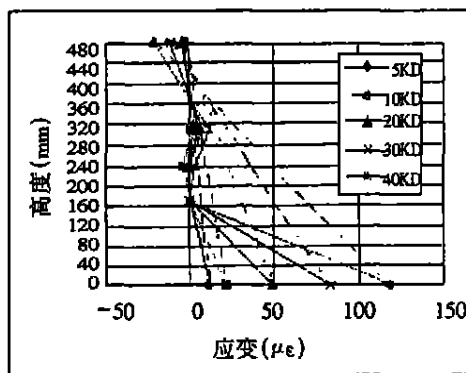
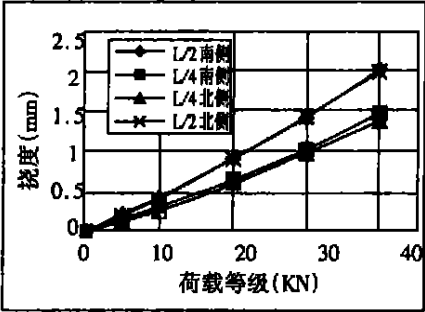


图9 截面纵向应变沿高度变化曲线图

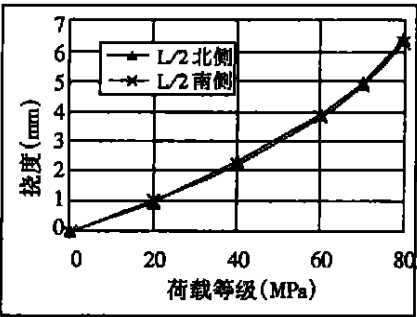
3.2 荷载—挠度关系

荷载等级与挠度变化关系曲线,见图10所示。图a表示设计荷载作用下跨中和L/4截面挠度变化曲线,图b表示极限荷载作用下跨中挠度曲线,从

图 a 中曲线可以看出,在设计荷载作用下,模型箱梁的挠度与荷载呈线性增长.从图 b 中可以看出,当荷载增加到约 55 kN 时,箱梁的挠度与荷载出现非线性增长,而此时的挠跨比约等于 1/2000(远小于《公路桥规》规定的 1/600),此后随着荷载增长,挠度曲线呈现明显的非线性特性.



a 设计荷载—挠度曲线



b 极限荷载—挠度曲线

图 10 荷载等级—挠度曲线图

3.3 裂缝分布和破坏特征

当荷载增长到约 50 kN 时,箱梁跨中底板产生横向裂缝(见图 11 所示),随着荷载的增长,裂缝向 1/4 跨和 3/4 跨处分布,同时在支座到 1/4 跨处底板



图 11 箱梁底板裂缝图

的两个侧面出现裂纹,且间距比较均匀,并逐渐变宽、加密,直至横向贯穿梁底.当荷载超过 80 kN 时,试验梁的挠度迅速增大,最终导致结构的破坏,其破坏形态与 Hamilton 和 Elgaaly 实验结果[3]一致.在极限加载过程中,波形钢腹板与翼缘板交界处未见裂缝,波形钢腹板也未出现屈曲破坏.

4 结 论

通过对波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁试验及计算模型的建立,可得以下结论:

- 1) 模型梁设计及加载试验过程是有效的、合理的,为进一步的试验打下基础.
- 2) 简化计算与试验结果是一致的,简化了计算的复杂性
- 3) 该类梁上、下缘的平均应变符合“平截面假定”.
- 4) 在弹性范围内,组合梁挠度值与荷载增长呈线性关系.
- 5) 波形钢腹板梁的设计时,极限抗弯承载力的计算可根据翼缘板的屈服应力确定.
- 6) 波形钢腹板在加载中的纵向应变值接近于零.

参考文献:

[1]蔡千典,冉一元.波形钢腹板预应力结合箱梁结构特点的探讨[J].桥梁建设,1994,(1):26~30.
[2]李宏江,万水,叶见曙.波形钢腹板 PC 组合箱梁的结构特点[J].公路交通科技,2002,(3):52~57.
[3]Elgaaly M, Seshadri A, Hamilton R M. Bending Strength of Beams with Corrugated Webs [J]. Journal of the Structural Division, ASCE, 1997, 126(3):772~782.
[4]刘磊,钱冬生.波形钢腹板的受力行为[J].铁道学报 2000(增刊),53~56.
[5]吴文清.波形钢腹板组合箱梁剪力滞效应问题研究[D].东南大学博士论文,2002,6.
[6]陈建兵,万水,喻文兵,袁安华.波形钢腹板 PC 组合箱梁弯曲性能理论分析与试验研究[J].武汉理工大学学报(交通版),2004(1):14~17.

(下转第 35 页)

Common Problems in Designing and Construction of Automatic Sprinkling Fire Extinguisher System

GUAN Xiao-tao

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: It has high effect to extinguish a fire with Automatic Sprinkling Fire Extinguisher system in many kinds of building. But, in practice, there were some mistakes in designing and construction of Automatic Sprinkling Fire Extinguisher system, which lead to no water out or lower effect to extinguish a fire. This paper gives some common problems and the way how to avoid them.

Key words: automatic sprinkling fire extinguisher system; sprinkler head; alarm valve; fire control pump

(上接第 14 页)

Experimental Study and Predigestion Calculate of Prestressed Concrete Box-Girder With Corrugated Steel Webs

WAN Shui¹, CHEN Jian-bing², YUAN An-hua¹, YU Wen-bing¹

(1. Transportation College, Southeast University Nanjing 210096, china; 2. Department of Civil Engineering, Suzhou Institute of Science and Technology, Suzhou, 215011, China)

Abstract: Prestressed concrete box-girder with corrugated steel webs are tested. The load-deflection and the failure model and the strain distribution along the height of composite section are analysed. The folding effect of corrugated steel webs and flexural strain computation model of composite box-girder are discussed by theory of the energy. The values predicted by the simplified calculation model are found to correlate well the measured data.

Key words: corrugated steel webs; pre-stressed concrete composite box-girder; bending capability; calculation model; experimental research