

目前世界最大跨度波形钢腹板 PC 箱梁桥

——安威川大桥的设计特点

张建勋¹, 赵谔笛² 编译

(1. 郑州市交通规划勘察设计院, 河南 郑州 450008; 2. 新疆建设职业技术学院)

摘要:日本安威川大桥是一座横跨一级河道安威川和茨木—龟冈线县道的大跨径波形钢腹板 PC 箱梁桥。该桥主跨 179 m, 主梁最大高度达 11.5 m。该文通过非线性有限元分析法和模型试验手段对桥梁的抗剪强度进行了测试研究, 验证了波形钢腹板对高腹桥的适用性。文中对比了 4.8 m 标准节段和 6.4 m 长节段两种悬臂施工方法的特点, 强调了设计中应注意的事项以及悬臂施工的具体步骤, 并对大跨径波形钢腹板 PC 箱梁桥的扭转性能和悬臂施工的屈曲风险两个关键问题进行了重点论述。

关键词:波形钢腹板; 快速施工; 剪切屈曲; 横向屈曲

1 概述

日本新名神(名古屋至神户)高速公路安威川特大桥位于大阪府茨木市的北部, 横跨一级河道安威川和茨木—龟冈市县道。上行线(即左幅)采用 8 跨预应力混凝土箱梁桥(4 孔波形钢腹板组合箱梁+4 孔预应力混凝土组合箱梁); 下行线(即右幅)采用 5 跨波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥。左幅桥梁最大跨度

179.0 m(图 1), 是目前世界上最大跨径的波形钢腹板预应力混凝土组合箱梁桥, 其主梁最大高度为 11.5 m, 横断面图见图 2。针对现有设计方法能否适用于如此高的波形钢腹板组合箱梁问题, 设计组通过非线性有限元分析法和缩尺模型试验对波形钢腹板的抗剪承载力进行了测试。结果表明: 现有设计方法具有一定适用性。波形钢腹板按两种悬臂方法施工: 第一种方法适用于右幅 P2 墩, 将节段长度划为 6.4 m, 使用特殊移动挂篮; 第二种方法适用于标准段, 将节段设置

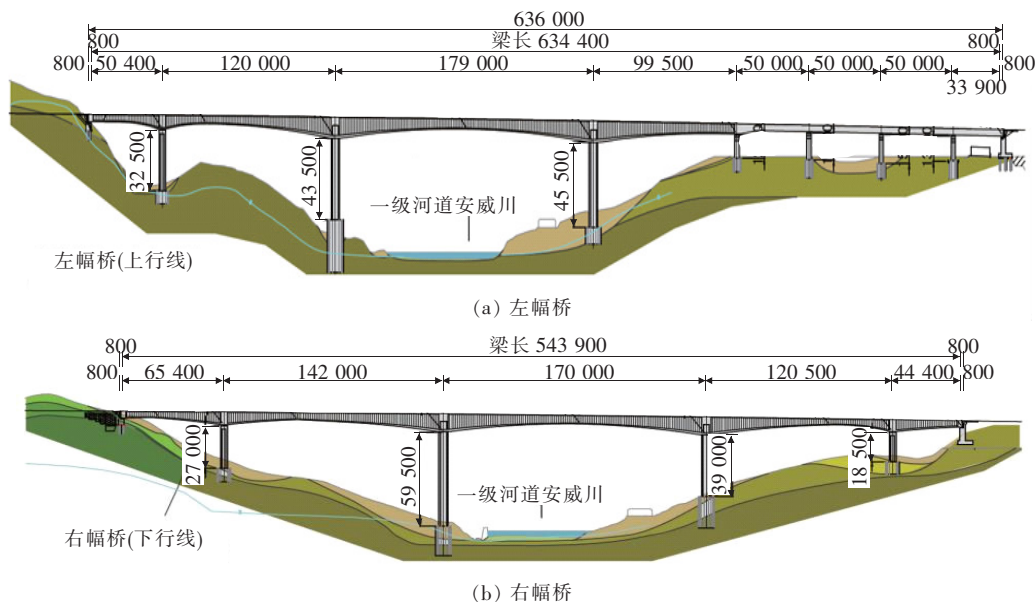


图 1 桥梁立面图(单位:mm)

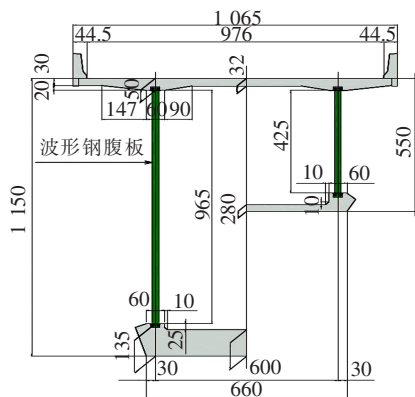


图 2 桥梁横断面图(单位:cm)

为 4.8 m,采用波形钢腹板与底板混凝土共同受力的架设方法。

2 截面剪切性能研究

2.1 数值分析结果与试验结果

通过非线性有限元分析和剪切屈曲试验,验证现有设计方案能否满足高梁波形钢腹板桥的受力要求。数值分析与试验结果的对比,如图 3 所示。试验载荷与挠度之间的关系与数值分析结果较为一致。以桥墩顶附近剪切屈曲参数约为 1.0 的非弹性区域梁段为试件,剪切屈曲强度的计算值和试验值分别约为现行设计方法屈曲强度的 1.75 倍和 1.89 倍,证明了此桥抗剪切屈曲的安全性。

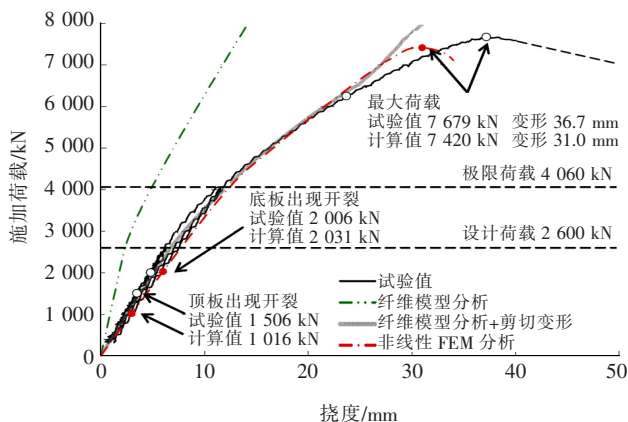
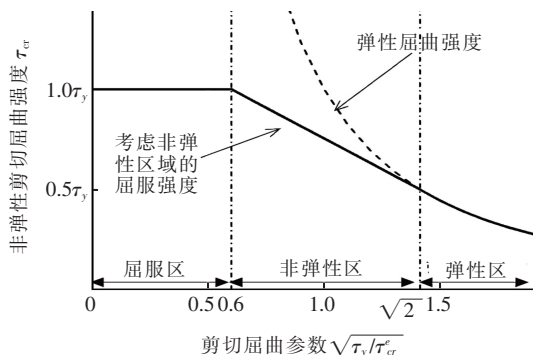


图 3 数值分析与试验结果对比

2.2 波形钢腹板的设计方法

波形钢腹板桥梁设计通常假定由波形钢腹板承担横截面中的全部剪切力,设计应确保在极限荷载下不发生局部屈曲、整体屈曲和合成屈曲。其中,合成屈曲强度由局部屈曲强度和整体屈曲强度的相关指数之和

表示。设计要确保每种剪切屈曲强度和剪切屈服应力均在安全范围内。剪切屈曲强度由弹性屈曲强度、剪切屈服应力和连接二者的非弹性屈服强度 3 部分组成,如图 4 所示。



注: τ_y 为剪切屈服应力; τ_{cr} 为弹性剪切屈曲强度。

图 4 剪切屈曲参数

2.3 波形钢腹板的结构设计

该桥波形钢板采用 SM490Y 和 SM570 两种钢材,考虑到经济性,采用变厚度钢板。支座中心剪力较小处使用 SM490Y 钢材;支座中心两侧剪力增大处使用 SM570 钢材。一般情况下,钢板厚度由非弹性区域屈服强度确定。为使钢板在非弹性区域优先屈服,剪切屈曲参数设置应小于 1.0。经计算,在梁高 11.5 m 的墩顶附近,使用 SM490Y 和 SM570 两种钢材对应的板厚分别为 25、42 mm,故该桥波形钢板选用 SM490Y 型钢材。

3 悬臂施工方法

3.1 悬臂施工方法的选取

该桥波纹钢腹板梁段采用两种悬臂施工方案进行施工。右幅 P2 墩各悬臂施工方案节段数量的对比见图 5。传统的悬臂施工法将右幅 P2 墩悬臂梁节段分为 20 个。若采用 4.8 m 等节段标准施工法,将节段数由 20 个降至 16 个,可缩短施工时间;若采用 6.4 m 等节段的新施工法,可将右幅 P2 墩悬臂梁节段数从 20 个大幅降至 12 个,能进一步缩短工期。

3.2 悬臂钢束设计

该桥的悬臂钢束由 12 束 15.7 mm 的高强度 PC 钢束组成。在悬臂法施工中,波型钢腹板的抗剪承载力是控制因素。为提高腹板刚度,需在波形钢腹板内侧增设内衬混凝土,由此,钢束的用量也将增加。随着主桥跨度的增加,悬臂钢束在顶板中的布置成了问题。

大,综上所述,设计组采用了方案 2;设置 3 道横隔板,不同方案的横断面变形如图 10 所示。

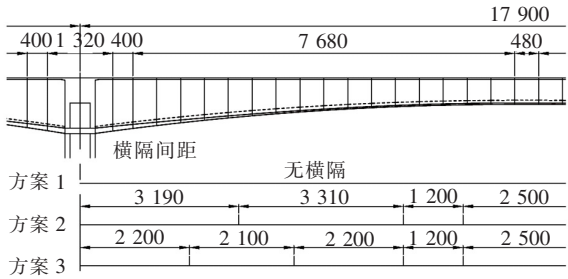


图 9 横隔板方案对比研究(单位:cm)

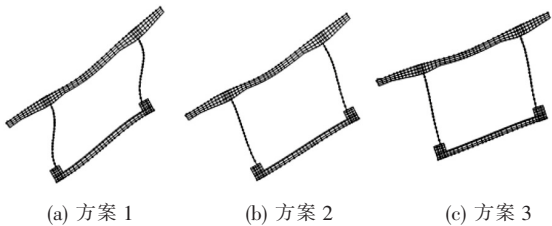


图 10 横断面变形(活荷载下)

4.2 悬臂施工的横向屈曲研究

该桥主梁高度大且悬臂较长,悬臂施工时,存在横向变形的风险。因此,采用非线性有限元分析方法,验证了横隔板在施工前的横向抗屈曲性能的安全性。

设计组以桥梁实际的腹板厚度和钢板类型为参数,将左幅 P6 墩右侧最大悬臂状态下的梁段作为对象,进行了建模分析(图 11)。初始荷载包括结构自身重力、悬臂状态下的预应力荷载、挂篮荷载和风荷载,见表 1。

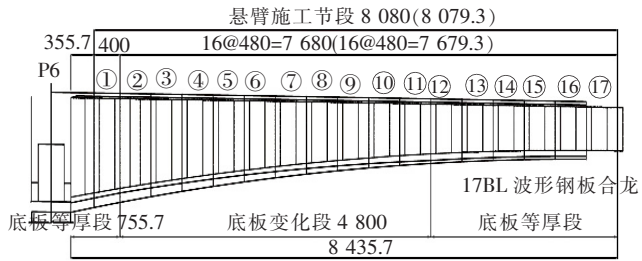


图 11 分析模型(侧面图)(单位:cm)

为验证悬臂施工期间结构的横向屈曲状态,设计组分析了在初始载荷的基础上,分别逐级增加垂直荷载和横向荷载两种工况(表 2)。结果表明:当垂直荷

表 1 荷载工况

荷载类别	单位	荷载值	备注
① 自重			结构自身重力
② 预应力荷载	kN/处	2 150	在每个阶段上施加集中力
③ 挂篮荷载	kN	1 350	16BL 阶段前施加面荷载
④ 风荷载	kN/m ²	1.6	施工面荷载

表 2 加载步骤

工况	步骤 1 荷载	步骤 2 荷载
1	①+②+③+④	①+③
2	①+②+③+④	④

载约为自重和挂篮重量之和的 4.4 倍、横向荷载约为设计风速的 8.8 倍时(风速约为 350 m/s),波形钢腹板均未发生横向屈服。由此确定,悬臂施工期间,即使没有横隔板,结构也足够安全。

5 结语

安威川大桥是目前世界上最大的波形钢腹板箱梁桥,其跨度和主梁高度在同类型桥梁中均居世界第一。因此,在设计阶段,该桥在施工和使用期的安全性问题就已经过充分考量。新的快速施工法能为未来的施工方案提供更多选择,该文可为今后同类型桥梁的设计和施工提供参考和借鉴。

参考文献:

[1] 增添彻,高桥章,妹尾佳,等.世界最大支間長を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計—安威川橋 プレストレストコンクリート[C]. 预应力混凝土工程师协会第 24 届研讨会论文集,2015.

[2] 横田敏弘,佐沟纯一,上杉泰佑,等.新名神高速道路 安威川橋の計画と設計[C]. 预应力混凝土工程师协会第 23 届研讨会论文集,2014.

[3] 刘海燕.日本新名神高速公路上的安威川大桥[J]. 世界桥梁,2018(2).

[4] 张巍.波形钢腹板 PC 梁桥施工期局部应力分析[J]. 中外公路,2017(3).