

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.018

日本大跨径波形钢腹板 PC 矮塔斜拉桥 ——生野大桥设计与施工

张建勋¹, 赵请笛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:生野大桥是一座7跨波纹钢腹板PC矮塔斜拉桥,位于日本兵库县神户市和高津交界处的新名神(名古屋至神户)高速公路上。大桥全长606 m,主跨188 m,是日本最大跨度的波形钢腹板矮塔斜拉桥。为加快桥梁施工进度,该桥采用了多种特殊施工措施。如:在P6号墩顶处顶推法施工、超大型挂篮悬臂法施工、预制混凝土防撞护栏施工等。该桥主塔斜拉索采用37S15.2钢绞线拉索双排布置方案;为解决尾流驰振引起的拉索振动问题,通过风洞试验分析,选取摩擦型阻尼器作为拉索减震装置。

关键词:波形钢腹板;矮塔斜拉桥;顶推施工;超大型挂篮;预制护栏

1 前言

波形钢腹板箱梁桥和矮塔斜拉桥由法国学者在20世纪80年代提出,但其大量发展和应用主要集中在日本。日本在1993年修建了第一座波形钢腹板箱梁桥——新开桥之后,近20年内又相继修建了百余座波形钢板箱梁桥。1994年日本修建了第一座矮塔斜拉桥——小田原港桥,迄今为止,已修建了50余座此类桥梁,并将其推广到菲律宾、老挝以及中国台湾等国家和地区。2003年日本率先将两项桥梁结构技术结合,设计并建成了世界上第一座波形钢腹板矮塔斜拉桥——日见(Himi)桥。

波形钢腹板能降低主梁自重、增大桥梁跨径、减小地震反应;良好的折皱效应,使施加在主梁上的预应力有效地作用于箱梁顶底板上,不被腹板吸收,从而充分发挥预应力的导入效率。同时,合理的施工工艺可有效缩短施工工期。矮塔斜拉桥的核心设计思想是使主梁内预应力通过索塔内索鞍转向形成大偏心体外预应力,其与波形钢腹板箱梁的组合充分发挥两者结构形式的技术优点。日本生野大桥结合波形钢腹板箱梁的“轻”和矮塔斜拉桥“索”的优势,提出了超大悬臂节段施工法,有效缩短了工期;通过预制主梁并将其顶推至墩顶,实现了桥墩和主梁平行施工的目标,使工期进一步缩短。该文综合多种文献资料对日本生野大桥的结

构设计及施工要点进行介绍。

2 桥梁概况

生野大桥位于日本兵库县神户市与高津交界处的新名神高速公路上,是一座7跨波形钢腹板PC矮塔斜拉桥,跨径布置为(96.2+188.0+103.0+39.0+39.0+71.0+66.2)m。桥梁全长606 m,其中,靠近终点的3孔采用了矮塔斜拉桥结构(图1)。主跨为188 m,跨中及左侧端支点梁高4.5 m,中支点梁高7.0 m,桥面以上塔高28 m,采用梁墩分离、塔梁固结体系,该桥是日本目前最大跨径的波形钢腹板预应力混凝土矮塔斜拉桥。

大桥与现有铁路交角约15°,主跨需188 m方能跨越现有铁路运营线。为减少铁路营线运上空施工设备移动频率,加快施工进度,该桥采用了波形钢腹板超大型挂篮悬臂法施工;全桥共计7跨,靠近起点的4跨为单箱双室预应力混凝土箱梁桥,靠近终点的3跨为单箱三室波纹钢腹板预应力混凝土箱梁结构(图2)。为大幅度减少上部结构施工周期,将主梁悬臂施工节段由原设计的4 m改为8 m(超大挂篮建造)。此外,为减轻上部结构重量,混凝土箱梁更改为波纹钢腹板箱梁。同时,拉索使用高强预应力环氧树脂涂层钢绞线,从而减少了拉索数量。

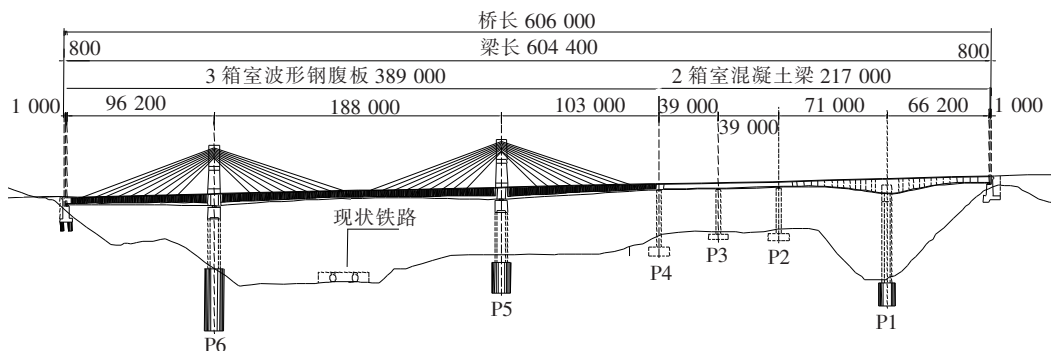


图 1 桥梁立面图(单位:mm)

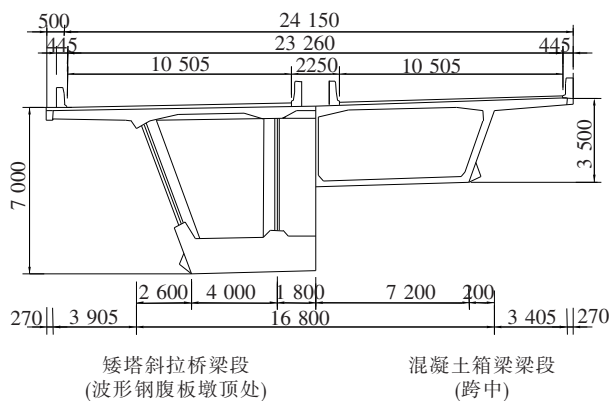


图 2 主梁横断面图(单位:mm)

对项目工期起制约因素的 P6 号墩的墩顶段与墩身同步施工,墩顶段主梁预先在 P6 墩一侧浇筑完成,待桥墩施工完成后,再将预制梁顶推至 P6 墩墩顶位置。为减轻顶推过程中的支架重量,仅提前施工了部分主梁,剩余主梁在主梁顶推至墩顶后就地浇筑。斜拉索钢束在桥塔索鞍中单根布置与张拉,这种布置形式不仅能提升小型千斤顶的工作性能,也可增强拉索的抗腐蚀性能和抗疲劳能力。每根钢绞线在使用期间均可单独更换,后期维护十分方便。

3 结构设计与分析

3.1 主梁设计

主梁选用单索面结构,如图 3 所示。桥梁设计宽度在通车之初为四车道 25.15 m,后期选用斜撑方案将其拓宽至 34.5 m。在设计阶段采用三维有限元分析法,模拟了在桥梁不同施工阶段,超大行程挂篮施工法对主梁的局部应力影响(图 4);并计算出斜拉索张拉轴向力的有效传递长度。与此同时,还使用三维梁格有限元模型分析了斜拉索张拉剪力的分配情况。

3.2 抗震设计

考虑到桥梁联长较长,且 P6 号桥墩附近有地破碎带,可能导致地震动相位差,故在公路桥梁规范抗震设计的基础上,利用能够反映破碎带的地基土体模型进行了地震响应模拟分析,如图 5 所示。

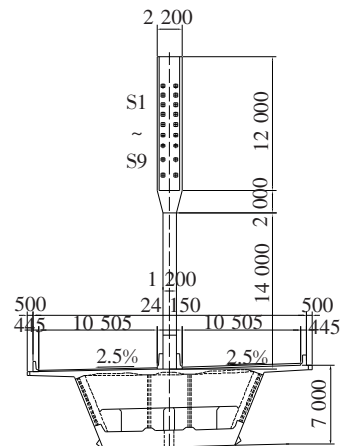
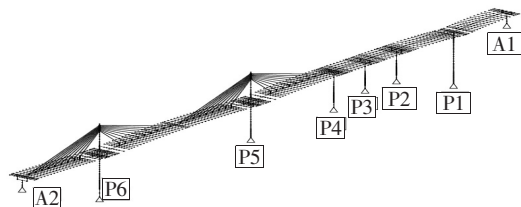
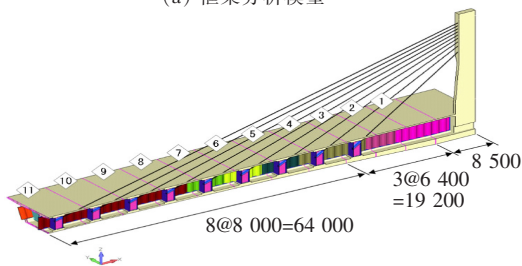


图 3 主塔处断面图(单位:mm)



(a) 框架分析模型



(b) FEM 分析模型

图 4 三维分析模型(单位:mm)

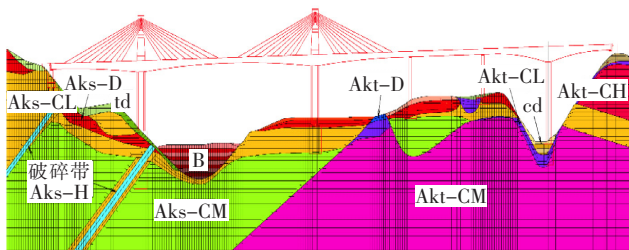


图5 基于土体的地震分析

3.3 中支墩顶推方案分析

通过三维有限元方法对中支墩顶推施工进行分析:按照顺序先后模拟了中支墩在施工完成前、顶推过程中和顶推完成时3种工况下结构体系的变化情况。

3.4 斜拉索的振动控制

两根37束15.2 mm斜拉索的双排平行布置,极易导致拉索产生尾流驰振。为此通过增大两排拉索间距、减小拉索截面等抑振措施进行改善。此外,针对拉索对减震性能的具体需求,组织了风洞试验,并在试验分析后选取了摩擦型阻尼器为拉索减震。

4 桥梁施工要点

因主梁跨越既有铁路运营线路,主跨架设工作需在铁路上方完成,这要求施工必须在严格周密的安全管理下完成作业。为加快上部结构施工进度,桥梁P5、P6墩采用超大挂篮悬臂施工法架设,从而使上部结构施工进度比原计划提前了8个月。

4.1 中墩的顶推施工法

由于中间P6墩施工处于全部施工工序的关键线路上,故采取了中间墩墩顶段主梁预制和桥墩同时施工的方案。桥墩施工完成后,在3 d内将主梁顶推20 m至中间墩墩顶,通过对中间P6墩的预制施工和顶推法架设,将施工工期缩短了2.5个月。箱梁部分底板和横隔板均在顶推完成后原地浇筑,将顶推施工中主梁预制节段重量减小至约15 000 kN。

4.2 超大挂篮悬臂施工

选用超大移动挂篮(20 000 kN·m)施工方案后,主梁的悬臂节段长度可达8 m,为原来长度的2倍,因而节段数可由原来的22个减少至11个,这一施工方案将工期提前了约3.5个月。因超大挂篮悬臂施工是在既有铁路运营线的上空进行,所以挂篮作业须在铁路运营关闭的2.5 h(01:30—04:00)内移动完成。

4.3 预制护栏施工

一般情况下,防撞护栏的施工常被安排在主梁完工之后,通过桥面移动吊车配合完成。为避免护栏施工时所用的机具、材料和设备等跌落在铁路上,对铁路运输造成重大影响和危害,该桥在超大挂篮悬臂施工期间,选用预制方式安装护栏。桥梁防撞护栏预制安装使工程进度提前了1.5个月。

5 结语

生野大桥上部结构施工于2017年12月完成,是日本首座采用中墩顶推施工的单索面波形钢腹板矮塔斜拉桥,也是该国首次采用索鞍结构和摩擦型阻尼器的桥梁。该桥采用多种新技术克服了技术要求高、工期紧、任务重以及在现有铁路上空施工等诸多不利因素。其中多项施工技术可为今后波形钢腹板组合结构桥梁的设计与施工提供参考借鉴。

参考文献:

- [1] Takeshi OSHIRO, Naoki MAEHARA, Manabu HOSOTANI, Hikari OHKUMA: Design and Construction of Extradosed Bridge with Corrugated Steel Webs that Realized Substantial Recovery of Progress—Ikuno Bridge—, National Report of Japan on Structural Concrete, The Fifth International Fib 2018 Congress Melbourne, Australia, 2018:91—94.
- [2] 新庄皓平, 細谷学等. 広幅員一面吊り長大エクストラード橋の斜材張力の主桁伝達に関する検討[C]. プレストレストコンクリート工学会第24回シンポジウム論文集, 2015.