

蝴蝶腹板梁的设计和施工

翻译: 张峰 关炳良 张枫林

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:日本正在建造一种叫做蝴蝶腹板桥的新型桥梁,即田久保川桥。该桥是一座高速公路桥,共10跨,其中最大跨度为87.5m。蝴蝶腹板结构是在箱梁腹板处使用厚度为150mm的蝴蝶型的预制板。腹板的组成材料是强度为80MPa的混凝土,拉应力区用单根的预应力筋加强。另外,这个150mm厚的腹板内没有用钢筋而是用钢纤维加强。该桥使用自由悬臂法施工。蝴蝶型腹板是在混凝土厂预制,重3.3t。这使得主梁的施工重量比普通混凝土腹板的箱梁轻。因此,悬臂施工的速度比传统的现场浇筑法快约50%。

关键词:预制板 纤维加固混凝土 重量轻 施工速度 少维修保养

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2015.01.009

1 简介

在地震易发国家如日本,减轻上部结构的重量是至关重要的。因此,波纹钢腹板桥被应用于很多项目。然后这些桥梁上钢-混复合结构中的钢需要特种机加工、钢之间的接缝需要现场焊接。而且维持结构在设计寿命内的耐久性需要一定的维修保养成本。

本文所述的新型的蝴蝶腹板被设计出来用以

解决复合桥梁的这类问题。它可以满足重量轻、少维修保养的要求并使降低施工成本成为可能。

在田久保川桥,世界上首次在主梁腹板上使用蝴蝶型混凝土预制板,作为更有效建造桥梁和降低施工成本的措施。蝴蝶腹板结构是箱梁腹板使用蝴蝶型预制板。至于作用于腹板上的剪切力,它的表现则类似于作用在一个双华伦桁架上(图1)。腹板的组成材料是混凝土,并且拉应力区用单根的预应力筋加强。

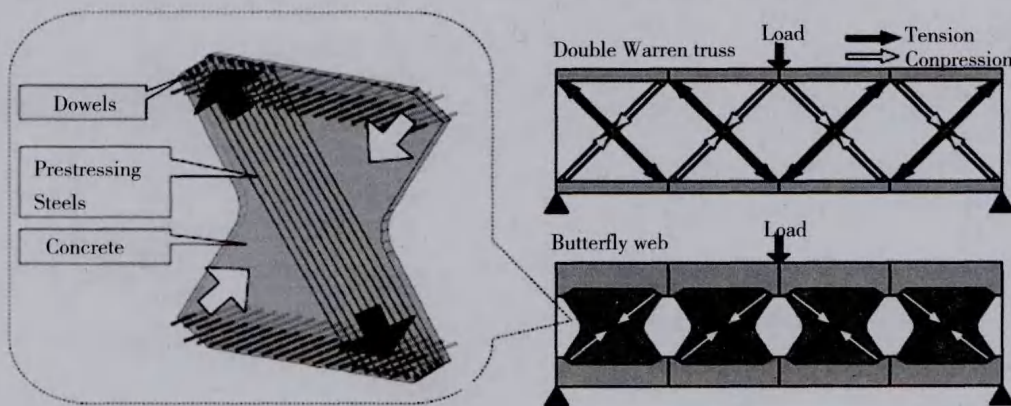


图1 蝴蝶腹板的结构性能

2 蝴蝶型腹板的设计

2.1 桥梁概要

田久保川桥位于日本宫崎县的日向市,是北九州和鹿儿岛之间东九州高速的一部分。该桥是一座10跨连续预应力混凝土桥,总长712.5m,最大跨度为87.5m。

2.2 施工材料

原文发表在Bridge Design & Engineering杂志第76期 (Issue No. 76)

蝴蝶型腹板由预制板组成。预制板是在工厂用具有80MPa特殊设计强度的高强纤维强化混凝土预制而成。钢纤维用来增强抗剪力(图2)。预制板内预应力筋的布置与作用在预制板上拉力方向一致。先张被作为预应力方法。预应力筋是直径为15.2mm、表面凹痕处理可增强与混凝土粘接力的钢绞线(图3)。预制板内没有加强钢筋,这使得预制板施工操作以及维修保养都更容易。

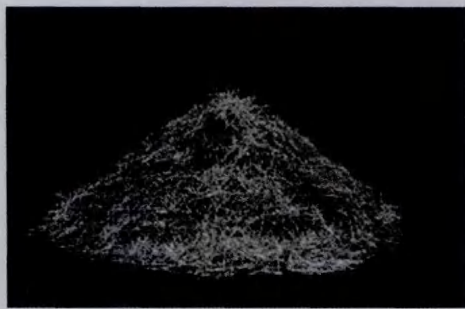


图2 钢纤维



图3 表面凹痕钢绞线

2.3 蝴蝶型腹板预制板的设计

根据箱梁的高度以及形成蝴蝶型缺口的尺寸,蝴蝶型腹板预制板设计为2.9m长,并按3m的间距进行安装(图4)。主梁的高度间于4m到4.5m。尽管高度不同,预制板的尺寸在整个桥上面都保持不变,以减少墩头附近腹板所抵抗的剪力。如上所述,在抗剪切力方面,蝴蝶型腹板的表现类似于双华伦桁架。剪切力分解为压力和拉力分别传递出去。图5是在FEM中预制板中拉应力强度的分布。拉应力区由预应力筋加强,预应力筋的数量取决于恒定载荷时不产生拉应力强度、设计载荷时不出现开裂。

结构中的压力由混凝土承受。腹板预制板的厚度为150mm,厚度的设计要能容纳上述的必须的预应力筋的数量,并能抵抗极限载荷下作用于受压一侧的压力。预制板上含有用于与上下桥面板结合的合板钉和钢筋。这些元素位于预制板的顶部和底部一个475mm区域内,会嵌在混凝土桥面板内。测试已确认嵌入了足够的长度使上述预应力筋的张拉力在预制板内有效。

2.4 主梁设计

图6是田久保川桥主梁的一个横截面。由预制板组成的蝴蝶腹板在纵桥向是非连续的,预制板相对比较薄。这导致腹板的刚度低于普通箱梁

的混凝土腹板。在恒载及车辆载荷的作用下,腹板上会产生更大的弯曲应力。因此,横向每3m间距安装了加劲肋板形成了预制板之间的连接,以抵抗腹板预制板的变形并减少应力强度。由于蝴蝶型预制板间是非连续结构,应力强度的传递变得复杂。因此事先做了测试和非线性分析来确认屈服强度并保证设计能提供所规定的抗剪能力。

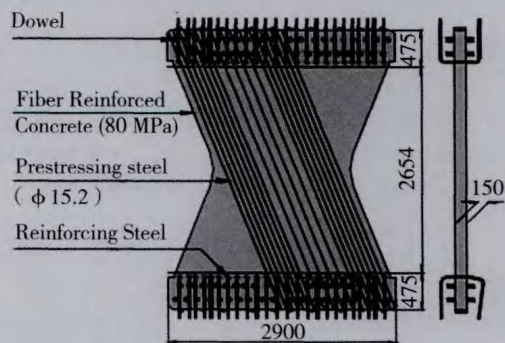


图4 蝴蝶腹板

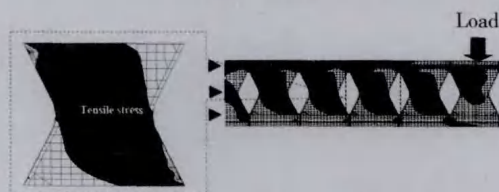


图5 拉应力分布

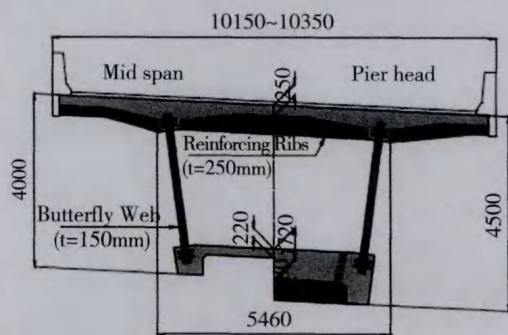


图6 主梁截面

3 施工

3.1 蝴蝶型腹板

腹板预制板是在离桥梁工地270km以外的工厂预制的,然后用卡车运至工地。该桥总共需要444块预制板。虽然预制板的外形和厚度已标准化,但是用于不同位置的预制板内按设计要求需要不同数量的预应力筋和合板钉。总共生产了13种不同型号的预制板。在工厂的加工通过同时生产4块同一型号的预制板来提高效率。生产阶段如图7、图8、图9所示。因预应力在生产阶段的早期施加,蒸汽养护被用来加速获得强度。

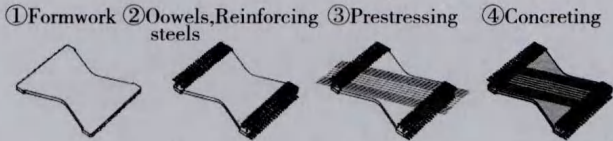


图7 蝴蝶腹板预制板的加工阶段

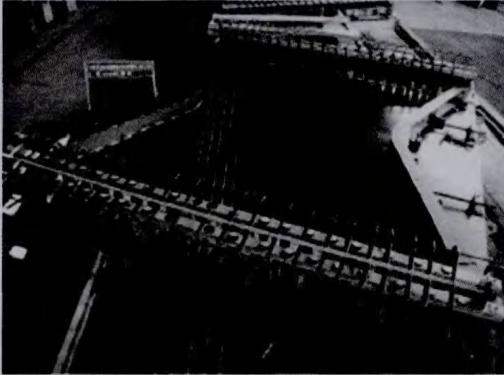


图8 先张



图9 混凝土浇筑

3.2 悬臂施工

田久保川桥上使用的是悬臂施工法，如图10和图11所示。每一片蝴蝶腹板预制板重约3.3t，这让主梁的施工重量轻于传统混凝土腹板的箱梁，因此施工节块可长达6m，相当于桥的每一侧两块预制板的长度。于是该桥的每一跨若采用普通混凝土箱梁需要8个节块，用蝴蝶型腹板则仅需要5个节块。节块数的减少使施工周期显著缩短。另外由于蝴蝶腹板在纵向是非连续的，就不需要对邻近的腹板进行连接，这也提高了施工效率。

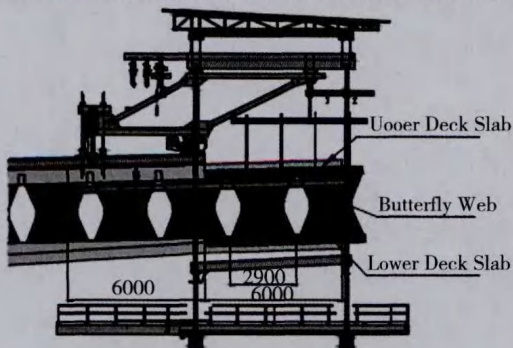


图10 挂篮



图11 悬臂施工

蝴蝶型预制板用卡车运至工地后再用吊机吊上桥面（图12），然后运至悬臂的桥面末端挂篮的位置。在挂篮内预制板被竖起并按要求定好位，然后浇筑顶部和底部桥面板完成主梁的施工。图13为预制板被放入挂篮内。图14为跨中合拢。合拢使用了一个挂篮，合拢后进行体外索的张拉。



图12 预制板安装

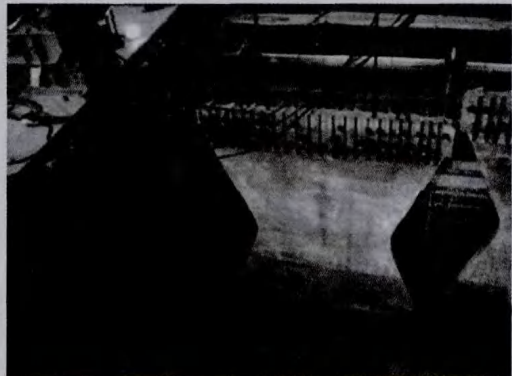


图13 挂篮内的预制板



图14 跨中合拢

4 持续性

蝴蝶型腹板的使用意味着桥梁上混凝土的使用少于普通混凝土腹板的箱梁结构。普通箱梁与蝴蝶腹板箱梁对比如表1所示。资料2中所做的尝试性计算显示桥梁的上部结构减少了186t的二氧化碳排放量(表2)。

Side view A Section	Slip (Superstructure)	Processing steel	Block length
	13500mm (340')	28% (1.00)	3.0-4.0m (10.0-13.0m)
	13500mm (340')	23% (0.83)	4.0m (13.0m)

(上接第28页)

5 工程应用

2014年7月圈梁移动台车在贵州省山区天文台索网架设工地开始安装并运用到索网架设中,该台车有效的为索网分区架设用施工导索提供锚固及转向。移动台车的斜坡设计能让运索小车顺利的从其上经过,而不影响索网架设的立体作业。图38和图39是已安装固定好在天文台圈梁上的移动台车,图40是利用圈梁移动台车架设好的部分索网。现在索网架设工程正按计划进行中,预计将在2015年上半年完成整个索网架设工程。

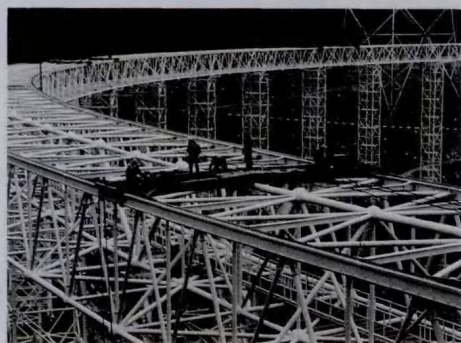


图38 移动台车现场施工图1

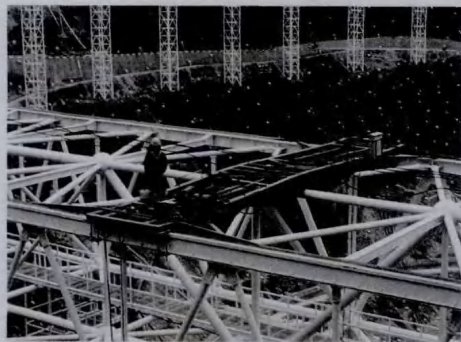


图39 移动台车现场施工图2

表2 二氧化碳释放(上部结构)

	CON(Cast-in-situ)		CON(Precast panel)		Reinforcing steel		Prestressing steel		Total		
	volume	CO2	volume	CO2	quantity	CO2	quantity	CO2	CO2	ratio	
Box Girder	602m ³	1770.5t		0.0t	1247.8t	957.1t	287.3t	579.8t	3107.4t	1.00	
Butterfly Web	5021m ³	1476.2t	552m ³	234.1t	1177.5t	903.2t	232.8t	307.8t	2921.2t	-186.1t	0.94

5 结论

除能减轻主梁的重量,蝴蝶腹板结构由于具有需要更少施工节块数量等优势,对加快施工周期有着实质的贡献。由于上部结构减轻,桥墩和基础也可以按比例缩小。相对于使用传统结构,桥梁对于环境的冲击更小。此外,由于腹板预制板是在工厂以工业生产工艺生产的高质量产品,并且不使用加强钢筋,其维护保养更加容易。该结构使施工成本和维修保养成本都有显著的降低。



图40 安装好的部分索网

6 结论

天文台圈梁移动台车从当初设计成空间桁架结构改进成现在的平面式桁架结构,这不仅节省了大量的材料,而且力学性能也得到极大的改善,有利于运索小车从其上通过使立体交叉作业成为可能,这既降低了工程造价,又保证了工程施工的安全质量。天文台圈梁移动台车成功的运用在索网架设工程中,标志着欧维姆公司对预应力工程中的特种结构件的设计和应用能力又有了质的飞跃,为以后承担更复杂的大型工程打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 哈尔滨工业大学理论力学教研室编. 理论力学[M]. 高等教育出版社, 2002.
- [2] GB/T1591-2008, 低合金高强度结构钢[S].
- [3] GB 50017-2003, 钢结构设计规范[S].
- [4] 龙驭球、包世华 主编. 结构力学[M]. 高等教育出版社, 2000.