

环形钢筋互插带托板湿接缝疲劳性能试验

邹宇¹, 刘超¹, 石雪飞²

(1.四川公路桥梁建设集团有限公司勘探设计分公司, 四川 成都 610041; 2.同济大学, 上海市 200092)

摘要:为简化桥面板湿接缝现浇作业,提出一种环向钢筋互插带托板湿接缝。由于桥面板主要承受往复受车辆荷载,以试验方法对该湿接缝的疲劳性能进行研究,在疲劳试验各主要时刻停机进行了静载试验研究。试验发现,疲劳加载过程中构件的刚度基本未发生变化,且未产生明显裂缝;对比疲劳试验过程中的静载试验结果,发现构件的刚度并未发生明显变化;疲劳加载后进行的静载试验与对照组试验相比,均在湿接缝与预制桥面板之间的交界面处发生破坏,且构件的强度并未发生明显的变化。

关键词: 环向钢筋;湿接缝;免模板;桥面板;疲劳试验

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)05-0135-04

1 概述

配筋现浇湿接缝是桥面板常见的连接形式^[1],常用于钢混组合桥、预制T梁和小箱梁桥中。为满足工业化建造的要求,本文提出了一种带托板的环向钢筋湿接缝结构,并于生产过程中在混凝土底部设置预制托板的形式作为湿接缝浇筑的底模板。这种连接方式既需要考虑环形钢筋的合理构造,又需要解决托板的合理结构尺寸。

桥面板结构直接承担车轮荷载的往复作用,其疲劳应力较为明显^[2]。针对疲劳荷载作用下混凝土桥面板的疲劳性能,学者们进行了大量的试验研究。樊素^[3]对公路桥梁进行试验研究,发现我国中小跨径公路桥梁耐久性大大降低,存在潜在的安全事故风险。Schliffli等^[4]对混凝土桥面板进行了疲劳试验,讨论了跨中挠度、钢筋和混凝土表面应变随加载次数变化的趋势。Lijuan Cheng^[5]通过试验对混凝土强度、加载频率和加载幅度等参数进行分析。杨勇等对FRP-混凝土组合桥面板^[6]和钢板-混凝土组合桥面板^[7-8]疲劳性能进行了试验研究、黄侨等^[9]对GFRP-混凝土组合桥面板的疲劳性能进行了试验研究,发现在疲劳荷载作用下,GFRP-混凝土组合桥面板表现出了良好的变形恢复能力。冯仲仁等^[10]通过试验发现钢纤维混凝土试件的疲劳强度比普通混凝土提高了20%左右。唐先习等^[11]研究了铰接板桥在疲劳荷载作用下的挠度变化规律。田启贤等^[12]

通过试验发现,超高性能混凝土-钢正交异性桥面体系受力状态良好。大量的试验研究表明,桥面板的疲劳性能较好,在疲劳荷载作用下基本没有出现刚度和强度下降的现象。而目前的疲劳主要是针对桥面板进行的,对湿接缝疲劳性能的研究较少。

为研究使用环形钢筋搭接的湿接缝的疲劳性能,对其进行了疲劳试验,讨论疲劳作用对接缝性能的影响。针对接缝在使用过程中主要承担的疲劳应力循环情况,确定合理的疲劳应力幅值和疲劳循环次数,采用弯曲疲劳加载模式,利用疲劳助动器进行疲劳加载,以检验试件的疲劳特性与疲劳寿命。

2 试验方案

2.1 试件设计

本试验所用混凝土为C50,钢筋为HRB400。其中,预制板面中①号钢筋直径为12 mm,②号钢筋直径为16 mm,托板中③号钢筋直径为6 mm。试件如图1所示。

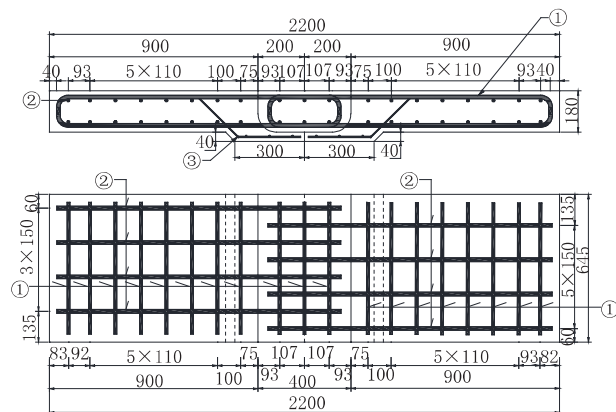


图1 试件示意图(单位:mm)

收稿日期: 2021-01-07

作者简介: 邹宇(1981—),男,本科,高级工程师,从事桥梁设计工作。

2.2 试验加载方式和测试内容

采用四点加载的方式进行疲劳加载,在预制板底设置简支边界。加载时通过分配梁在中部形成纯弯区,加载点与支点之间的间距为 550 mm。加载装置如图 2 所示。

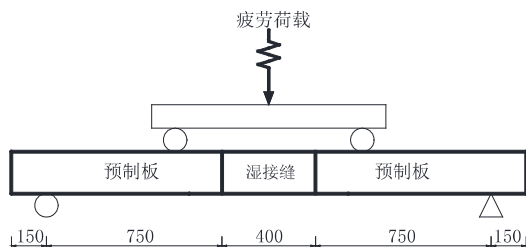


图2 加载示意图(单位:mm)

疲劳试验总体上分为疲劳试验和疲劳过程中的静载试验。

疲劳试验具体加载流程如下:

(1)疲劳前纯弯静力性能试验:加载幅值为 3.6 t,加载幅度为 0.72 t/级。

(2)50 万次(累计 50 万次)疲劳加载,加载幅值为 1.5~2.6 t,加载频率为 8 Hz。

(3)累计 50 万次疲劳加载后纯弯静力试验:加载幅值为 3.6 t,加载幅度为 0.72 t/级。

(4)50 万次(累计 100 万次)疲劳加载,加载幅值为 1.5~3.6 t,加载频率为 8 Hz。

(5)累计 100 万次疲劳加载后纯弯静力试验:加载幅值为 5.4 t,加载幅度为 0.72 t/级。

(6)100 万次(累计 200 万次)疲劳加载,加载幅值为 1.5~3.6 t,加载频率为 8 Hz。

(7)疲劳加载后的纯弯静力试验:加载幅度为 0.72 t/级,加载至出现裂缝后用位移控制加载,直至破坏。

为了测试疲劳加载过程中试件跨中处的挠度,在跨中和跨中附近处对称布置 6 个位移计。为了测试静载加载过程中湿接缝侧面混凝土应变和钢筋应变,在试件跨中沿高度等间距布置 3 个应变片,在跨中位置处底面每根受拉钢筋都布置 1 个应变片。

为了对比试件疲劳加载前后的受力情况,本试验设置对照组,对同样的构件进行静力加载。

3 试验结果

3.1 动挠度

本试验的采样频率为 100 Hz。由于数据过多,本文中给出 195 万~200 万次疲劳加载动挠度结果,如图 3 所示。图中红色框中为加载结束前几秒动挠

度数据,中间红线为耦合后的曲线。图 4 为试件跨中处动挠度与加载次数的曲线。动挠度包括最大动挠度、最小动挠度和挠度差。从图中可以看出,随着疲劳加载次数的增加,最大动挠度和最小动挠度均有增加的趋势,但是幅度很小;试件最大动挠度和最小动挠度差值基本未变。

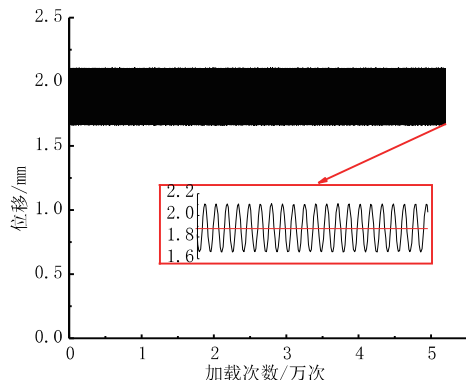


图3 加载 195 万~200 万次跨中动挠度测量结果

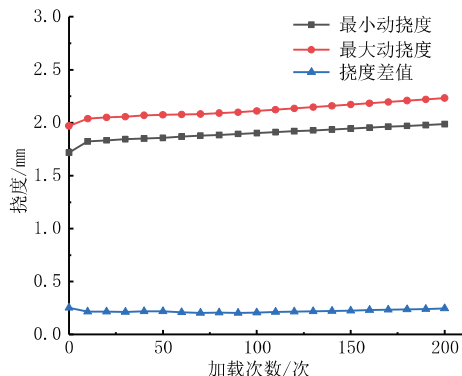


图4 加载过程中挠度与疲劳加载次数关系

在疲劳加载过程中,构件未产生明显裂缝,底部托板未出现掉落现象。

3.2 疲劳过程中的静载试验

在疲劳加载前、加载至 50 万次和 100 万次时,分别进行一次纯弯加载试验。所有静载试验跨中处挠度-荷载曲线如图 5 所示。从图中可以看出,3 次静载试验得到的试件跨中处挠度-荷载曲线基本一致。

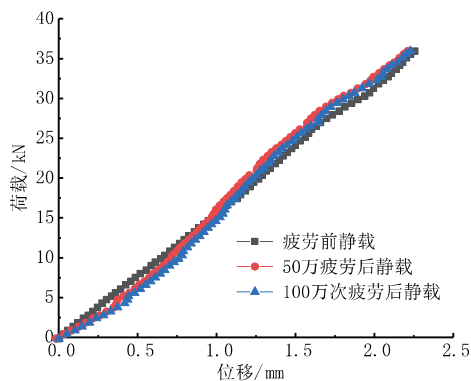


图5 疲劳加载前和加载中静载试验跨中挠度-荷载曲线

3.3 疲劳后静载试验

3.3.1 破坏形态与挠度

200万次疲劳加载之后进行加载破坏试验。加载过程中,挠度-荷载曲线如图6所示。破坏时构件情况如图7(a)所示。对照组构件破坏时情况如图7(b)所示。

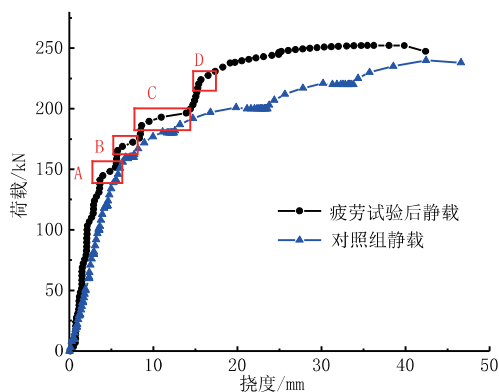
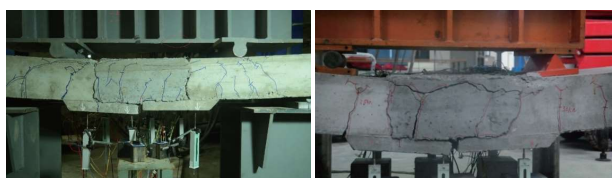


图6 疲劳后静载试验跨中挠度-荷载曲线



(a) 疲劳后静载

(b) 对照组

图7 试验构件破坏状态

加载破坏的过程大致为:当荷载加载至50kN时,湿接缝和预制桥面板交界处产生了裂缝。当荷载增加到140kN时,两个加载点正下方的下缘产生裂缝,裂缝发展迅速,试件跨中挠度增长迅速,即图6中A处。当荷载增加到160kN后,跨中处产生裂缝,加载点正下方附近也开始产生裂缝,且裂缝发展迅速,挠度有突增现象,即图6中B处。当荷载加载到180kN后,多条裂缝同时产生,发展较快,跨中处挠度迅速增大,即图6中C处。当荷载增加到240kN后,湿接缝和预制桥面板交界处裂缝迅速发展,跨中处顶面混凝土被压碎,构件破坏,主裂缝位于交界面处,如图7(a)所示,跨中处挠度持续增大,荷载不再增加,即图6中D处。此时跨中处位移为21.3mm,试件底部托板未脱落。

3.3.2 湿接缝侧面应变测量结果

加载过程中,应变片布置和测得结果如图8所示。

1~3号应变片位于湿接缝和预制桥面板交界处附近,4~6号应变片位于湿接缝跨中截面处。从图8中可以看出,在加载初期,湿接缝侧面应变随荷载线性增加。当荷载增加到80kN时,3号应变片测得应变值超过 $100\mu\epsilon$,认为开始出现裂缝;当荷载增加到

120kN时,湿接缝与预制桥面板交界处的3号应变片测得应变突变,说明此处裂缝突然增大,位于跨中处下侧的6号应变片测得应变值超过 $100\mu\epsilon$,认为此处产生了裂缝;当荷载增加到180kN时,2号和5号应变片测得结果由压应变突然转变为拉应变,而且迅速增大,说明裂缝向上发展至2号和5号应变片处。

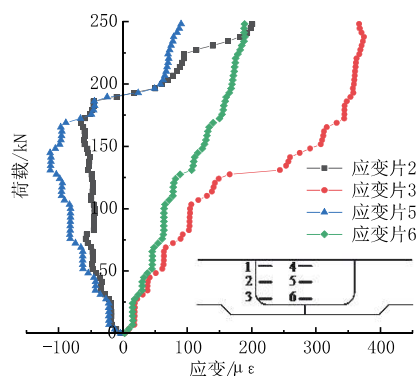


图8 疲劳后静载试验跨中处侧面应变-荷载曲线

4 结果分析

4.1 构件刚度分析

从图3中可以看出,在疲劳加载情况下,跨中处的动挠度一直处于一个平稳的范围内。最大动挠度和最小动挠度有略微增加,增幅在9%左右。最大动挠度与最小动挠度差值基本没有变化,说明在疲劳加载过程中,试件的抗弯刚度基本没有变化。

在疲劳加载前、加载过程中和加载后都进行了四点弯曲的静载试验。四次静载试验的跨中处挠度-荷载曲线基本一致,说明试件的弯曲刚度没有因为疲劳加载次数增加而发生变化。

4.2 试验现象分析

在所有疲劳加载过程中,构件均未出现明显的裂缝。

将疲劳后静载试验与对照组试验进行对比,可以发现两组试验都是先在湿接缝和预制桥面板之间产生裂缝,最终破坏时,主裂缝也位于该处。但在顶面处,对照组出现了剥离现象,而疲劳后静载试验中顶面混凝土被压碎。

在疲劳后静载试验中,开裂荷载为50kN,极限承载力为 $69.0\text{ kN}\cdot\text{m}$,破坏时挠度为21.3mm;在对照组试验中,开裂荷载为45kN,极限承载力为 $65.5\text{ kN}\cdot\text{m}$,破坏时挠度为25.3mm。对比可得,开裂荷载相差11%,极限承载力相差5.3%,破坏时挠度相差18.8%。

5 结 论

为研究环向钢筋湿接缝连接形式的合理构造和受力特点,本文对带显示托板的湿接缝桥面板试件进行疲劳试验,得到如下结论:

(1)在幅值为1.5~2.6 t,频率为8 Hz的循环疲劳荷载作用下,环向钢筋互插湿接缝的抗弯刚度基本不会降低,且无明显的裂缝。

(2)在200万次疲劳荷载作用后,构件的破坏形式未发生变化,仍在湿接缝与预制板交界面处发生破坏,其极限承载力未发生大的变化。

(3)在疲劳荷载作用下,托板未出现脱落的现象,说明钢筋网可以有效防止托板脱落。

参考文献:

- [1]卢汝生,成彤,王荣辉.桥梁结构疲劳特性分析发展历程与评定设计方法综述[J].公路交通技术,2004(3):49-52.
- [2] De Pannemaecker A, Fouvry S, Brochu M, et al. Identification of the fatigue stress intensity factor threshold for different load ratios

- R: From fretting fatigue to C (T) fatigue experiments[J]. International Journal of Fatigue, 2015:S0142112315002248.
- [3]樊素.公路钢筋混凝土疲劳试验及耐久性研究[J].公路工程,2016,41(4):274-278.
- [4] Schlfi M, Eugen B. Fatigue of existing reinforced concrete bridge deck slabs[J]. 1998, 20(11):991-998.
- [5] Cheng L. Flexural fatigue analysis of a CFRP form reinforced concrete bridge deck[J]. Composite Structures, 2011, 93(11):2895-2902.
- [6] 杨勇,刘玉擎,范海丰.FRP-混凝土组合桥面板疲劳性能试验研究[J].工程力学,2011,28(6):66-73.
- [7] 杨勇,周丕健,聂建国,等.钢板-混凝土组合桥面板静力与疲劳性能试验[J].中国公路学报,2009(4):78-83.
- [8] 杨勇,霍旭东,薛建阳,等.钢板-混凝土组合桥面板疲劳性能试验研究[J].工程力学,2011,28(8):37-44.
- [9] 黄侨,郑华凯,宋晓东. GFRP-混凝土组合桥面板的疲劳性能试验研究[J].公路交通科技,2019,36(5):57-63.
- [10] 冯仲仁,黄隆洋,郭蒙蒙,等.不同钢纤维掺入率的混凝土疲劳试验研究[J].中外公路,2018,38(2):269-272.
- [11] 唐先习,孙焕重,朱彦鹏,等.疲劳荷载作用下铰接板桥挠度试验[J].长安大学学报(自然科学版),2014(2):65-70.
- [12] 田启贤,高立强,周尚猛,等.超高性能混凝土-钢正交异性板组合桥面试验研究[J].桥梁建设,2019(S1):13-19.

(上接第103页)

害问题。STC层为永久性结构层,在运营中无需更换,仅需对铺装层定期翻修,而STC上的铺装层为普通沥青材料,价格低廉、施工便利,其运营维护成本远低于钢桥面上的铺装材料。另外,由于STC层厚度薄、自重轻,能适用于各种跨径的钢桥。

因此,为防患于未然,避免武汉至大悟高速公路中钢桥段的桥面系在运营中出现病害问题,并降低

桥面系的全寿命维护成本,采用钢-STC轻型组合桥面结构,可为类似钢桥建设提供借鉴。

参考文献:

- [1] DB43/T 1173—2016,钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面技术规范[S].
- [2] DJJTG/T A01—2015,超高性能轻型组合桥面结构技术规程[S].