

文章编号:1673-2049(2017)04-0096-09

微型桩支撑引板的无缝桥试设计研究

付 巍, 庄一舟, 陈宝春

(福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350116)

摘要:为研究微型桩支撑引板的无缝桥受力性能,进行了这种新型无缝桥的试设计,采用 MIDAS/Civil 建立了考虑微型桩-土相互作用的全桥空间有限元模型,对比分析了试设计桥与原桥在恒载作用、汽车荷载作用、引板沉降下的受力行为,以及温度作用、收缩徐变效应、引板与接线路面间伸缩量下的受力行为;采用模态分析和地震时程分析方法研究了桥梁自振特性和地震响应。结果表明:竖向荷载作用下试设计桥的主梁边跨正弯矩减少,同时引板沉降减少;微型桩的约束作用会使主梁在升温、降温、收缩徐变作用下的轴力增大;试设计桥在地震荷载作用下位移反应减少,提高了桥梁的抗震性能;该研究成果可为微型桩支撑引板的无缝桥设计提供借鉴,对该新型无缝桥在实际工程中的应用和发展起到推动作用。

关键词:微型桩;无缝桥;试设计;有限元模型;桩-土相互作用;地震响应;时程分析

中图分类号:TU318

文献标志码:A

Trial-design Study on Jointless Bridge with Approach Slab Supported by Micro-piles

FU Cui, ZHUANG Yi-zhou, CHEN Bao-chun

(College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, Fujian, China)

Abstract: In order to study the mechanical behavior of jointless bridge with approach slab supported by micro-piles, trial-design of the new type structure was carried out, and the full bridge spatial finite element model considering micro-pile-soil interaction was built by MIDAS/Civil. The mechanical behaviors of the trial-design bridge and the original bridge under constant load, automobile load and approach slab settlement were compared and analyzed. The mechanical behaviors of the bridges under temperature, shrinkage and creep, and the expansion between approach slab and approach pavement were also analyzed. The natural vibration characteristics and seismic response of the bridge were studied by modal analysis and seismic time history analysis. The results show that the positive bending moment of the side span of the trial-design bridge main beam under vertical load decreases, while the settlement of approach slab decreases. The restraint effect of the micro-pile will increase the axial force of the main beam under the influence of temperature rise, temperature drop, and shrinkage and creep. The displacement response of the trial-design bridge under seismic loading is reduced, and the seismic performance of the bridge is improved. The study can provides references for the design of jointless bridge with approach slab supported by micro-piles, and can promote the development and application of this new kind of jointless bridge in the actual engineering.

收稿日期:2017-02-21

基金项目:国家自然科学基金项目(51278126);福建省自然科学基金项目(2013J01187)

作者简介:付 巍(1988-),女,山西大同人,工学博士研究生,E-mail:fucui1029@163.com。

Key words: micro-pile; jointless bridge; trial-design; finite element model; pile-soil interaction; seismic response; time history analysis

0 引言

无缝桥常用的桥型有整体桥、半整体桥和延伸桥面板无缝桥 3 种^[1-2]。整体桥要求桥台基础为柔性结构,而中国桥台基础以刚性扩大基础或混凝土桩基础为主,因此整体桥应用较少^[3-7]。据文献[8]统计,中国目前共有 40 座无缝桥,其中仅 4 座为整体桥。由此可见,半整体桥与延伸桥面板桥是中国无缝桥的主体。然而,在这 2 种桥型中,主梁和桥台并没有完全固接,整体性较差,抗震性能弱于整体桥。为此,提出在台后引板枕梁下增设了 1 排或数排混凝土微型桩的结构措施^[7-9]。微型桩一般是指桩径为 100~300 mm 且长细比大于 30 的小直径桩,已被广泛应用于建筑物纠偏、地基加固、边坡加固、输电塔等工程中^[10-13]。微型桩可以增强结构抵抗梁体纵桥向伸缩变形的能力,减小台后引板与路面之间接缝的伸缩量;在地震作用下,微型桩能通过桩-土相互作用消耗地震能量,达到减震效果。此外,微型桩的竖向支撑作用还能预防由于台后填土沉降造成的引板架空,缓解和消除桥头跳车的病害。

本文以某延伸桥面板桥为背景工程,进行微型桩支撑引板的无缝桥试设计;采用有限元数值分析,考虑微型桩-土互相作用,结合相应的桥梁规范,对试设计桥进行结构验算,并与原桥(未设置微型桩的延伸桥面板桥)的计算结果进行对比,为今后无缝桥在中国的发展和应用提供参考。

1 无缝桥试设计

1.1 工程概况

某桥设计荷载为公路-I 级,全长 96 m,桥宽 13 m,每跨 16 m,共 6 跨,每跨上部结构由 11 块钢筋混凝土空心板组成,各板之间采用铰缝连接,空心板和铰缝均采用 C30 混凝土浇筑,先简支后连续,连续段采用 C50 混凝土浇筑。下部结构为重力式桥墩、桥台以及明挖扩大基础。桥墩处采用双排普通板式橡胶支座,桥台处为四氟板式橡胶支座^[14]。桥梁总体布置如图 1 所示。

该桥采用延伸桥面板式桥台,将桥梁温度伸缩变形的主要部分通过台后引板传递到引板与路面相接处,从而取消桥台处的伸缩装置,如图 2 所示。

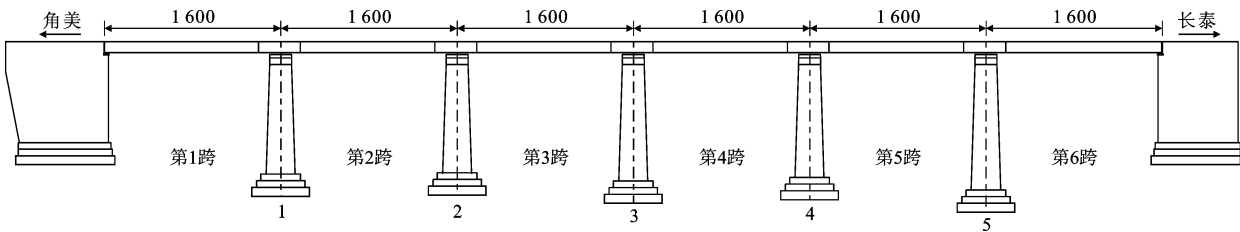


图 1 桥梁总体布置(单位:cm)
Fig. 1 General Layout of Bridge (Unit:cm)

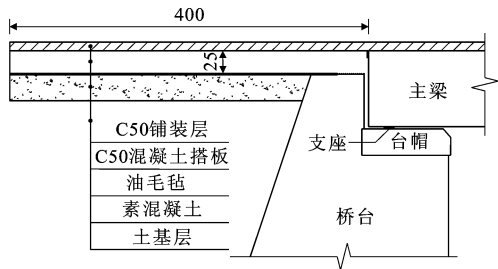


图 2 延伸桥面板式桥台示意(单位:cm)
Fig. 2 Schematic of Abutment of Deck Extension Bridge (Unit:cm)

1.2 试设计

试设计桥的上部结构、下部结构与原桥相同,仅在两侧引板下增设微型桩,每侧引板下布置 2 排,每

排 6 根,桩径 0.3 m,桩长 4 m,C40 混凝土,沿桩周等间距配置 6 根直径 10 mm 的 HRB335 主筋,配筋率为 6%;箍筋采用直径 6 mm 的圆形箍筋,间距 200 mm,桩顶 1 m 深度范围内加密间距为 100 mm。微型桩的布置如图 3 所示。

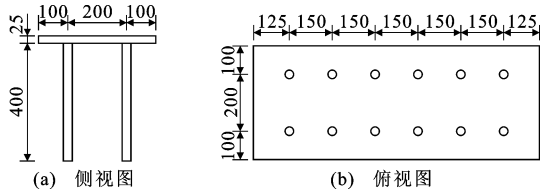


图 3 引板下微型桩布置(单位:cm)
Fig. 3 Layout of Micro-piles Under Approach Slab (Unit:cm)

采用基本组合进行设计计算:1.2(恒载)+1.0(收缩徐变)+1.4(汽车荷载)+1.12(人群荷载),恒载计算考虑了一期恒载(自重)和二期恒载(桥面铺装重)。计算结果表明,试设计桥承载力极限状态下正截面抗弯承载力验算和斜截面抗剪承载力验算均满足要求,并具有一定的安全储备。按照短期效应组合并考虑长期效应影响,计算得到1~6号主梁最大裂缝宽度分别为0.118 5,0.090 3,0.090 3,0.096 4,0.135 9,0.099 9 mm,若按照二类环境进行设计,在正常使用极限状态下桥台混凝土裂缝宽度不得超过0.20 mm^[15],故微型桩支撑引板的无缝桥的裂缝宽度验算满足要求。

2 有限元模型

采用 MIDAS/Civil 软件建立背景工程原桥和试设计桥的有限元空间梁格模型,见图 4。原桥模型共划分为 3 667 个单元和 2 812 个节点,试设计桥模型共划分为 3 859 个单元和 3 045 个节点。

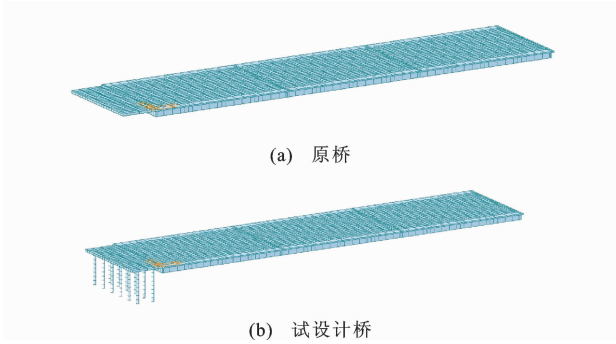


图 4 半跨有限元计算模型

Fig. 4 Finite Element Model for Half-span

上部结构采用梁格法模拟,用虚拟横梁连接主梁并释放虚拟横梁的梁端约束。主梁边界条件采用弹性连接中的一般类型模拟橡胶支座,支座底与桩底均采用固接。引板底面地基对引板的作用采用 1 组只受压的竖向线性弹簧和 1 组水平线性弹簧来模拟,引板下填土为密实性砂土,重度 $\gamma_d = 18 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$,水平基床系数取 $150 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-3}$,竖向基床系数取 $35 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[16]。微型桩周侧土为松散砂性土,重度 $\gamma_d = 17 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$,内摩擦角 $\varphi = 31^\circ$,微型桩周土体根据美国 API 规范^[17]提供的桩周土抗力-桩身侧向位移(p - y)曲线,采用非线性土弹簧来模拟,不同深度的桩周土抗力-桩身侧向位移曲线如图 5 所示。图 6 为有限元分析模型中土-结构互相作用示意。

原桥动载试验测得基频为 8.60 Hz ^[14],有限元

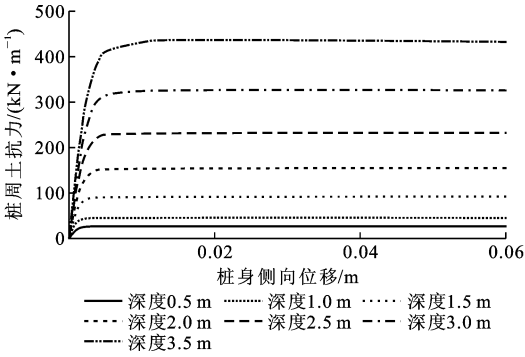


图 5 土弹簧 p - y 曲线

Fig. 5 p - y Curves for Soil Spring

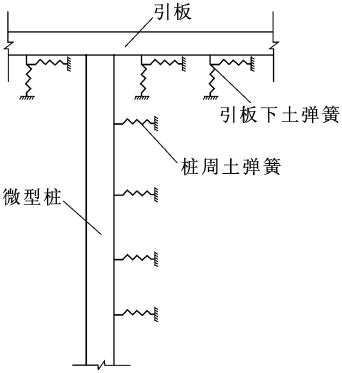


图 6 土-结构互相作用示意

Fig. 6 Schematic of Soil-structure Interaction

计算基频为 8.77 Hz ,二者之比为 0.98,说明该有限元模型较为准确,可以用来分析桥梁的受力性能。

3 竖向受力行为

3.1 恒载作用下主梁弯矩

主梁恒载作用下弯矩如图 7 所示。在恒载作用下,试设计桥桥台支座处主梁负弯矩较原桥增加,由 $82.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 增大到 $103.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$,增幅为 25.4%;第 1 跨跨中弯矩为 $358.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$,较原桥的 $372.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 减小 3.9%;第 2 跨支座处弯矩有所减少,第 2 跨跨中弯矩略有增加,第 3 跨与之基本相同。这说明微型桩的布置对边跨负弯矩影响较大,正弯矩次之,设计计算时需给予重视;越靠近桥梁跨中,影响越小,一般可以忽略不计。

3.2 汽车荷载作用下主梁弯矩

按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[18],考虑偏载和中载 2 种工况,计算主梁弯矩,如图 8 所示。由弯矩分布(图 9,10)可以发现,2 种工况下,试设计桥的第 1 跨边跨和跨中的弯矩均较原桥有所减少,在偏载作用下分别减少 5.3%,4.3%;在中载作用下分别减少 3.8%,5.8%。第 2 跨与第 3 跨弯矩变化不大。

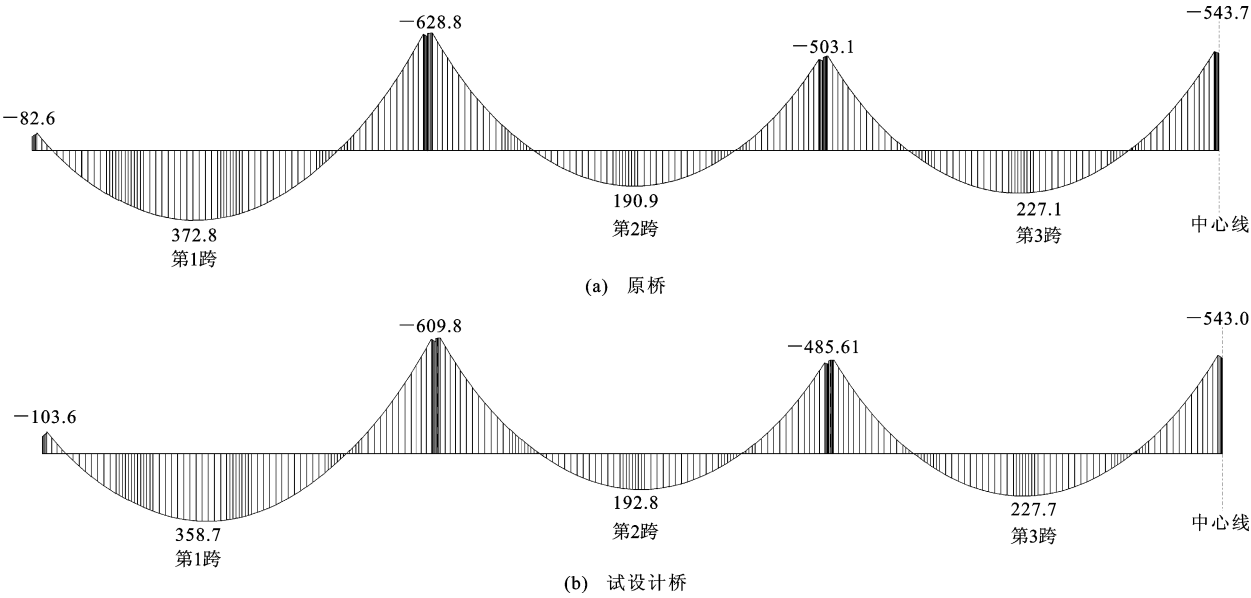


图 7 主梁恒载作用下的弯矩图(单位:kN·m)

Fig. 7 Bending Moment of Main Beam Under Constant Load (Unit:kN·m)

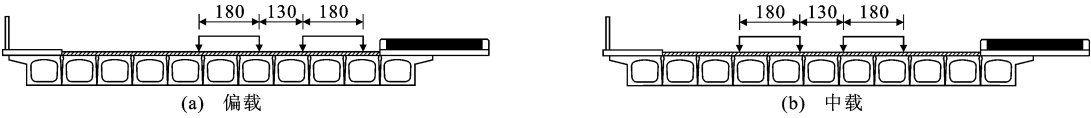


图 8 车辆荷载横向布置(单位:cm)

Fig. 8 Transversal Arrangement of Vehicle Load (Unit:cm)

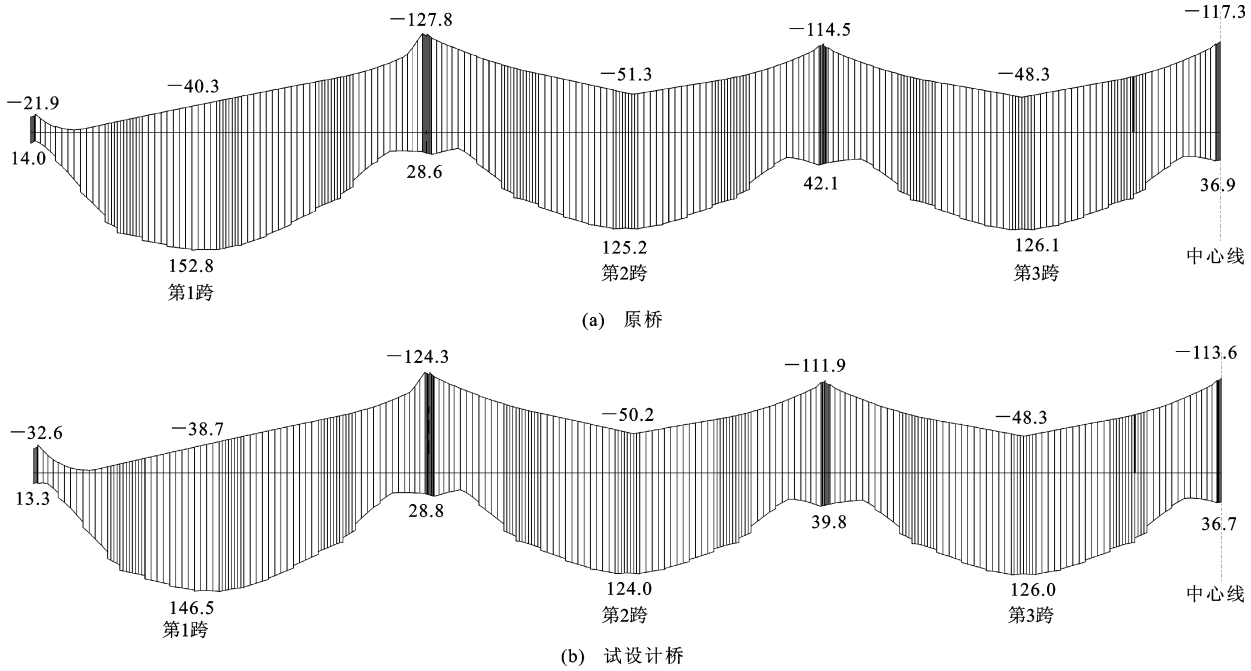


图 9 主梁偏载作用下的弯矩图(单位:kN·m)

Fig. 9 Bending Moment of Main Beam Under Eccentric Load (Unit:kN·m)

3.3 引板沉降

图 11 为考虑恒载和汽车荷载作用下台后引板的沉降。试设计桥引板末端最终沉降值为 0.77

mm,较原桥的 1.35 mm 减少了 43.0%。此外原桥引板沉降随着引板到桥台边缘距离的增加,近似呈线性增加,而试设计桥在微型桩位置处沉降值的增

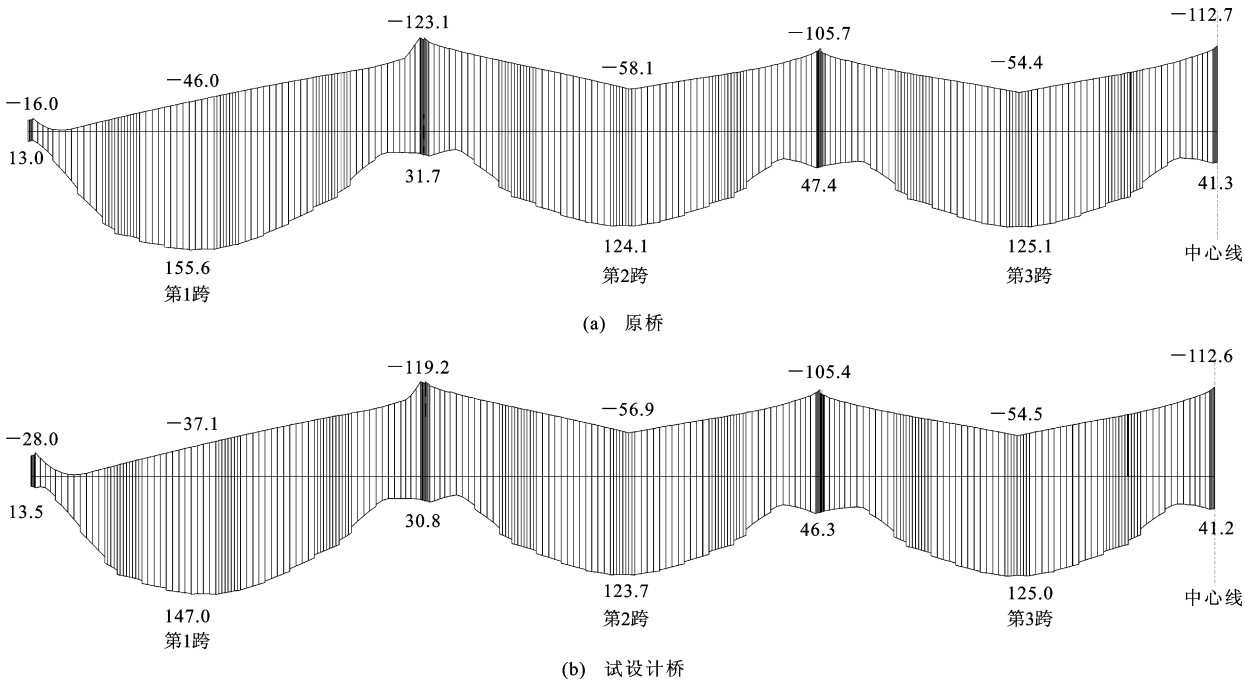


图 10 主梁中载作用下的弯矩图(单位:kN·m)

Fig. 10 Bending Moment of Main Beam Under Symmetric Load (Unit: kN·m)

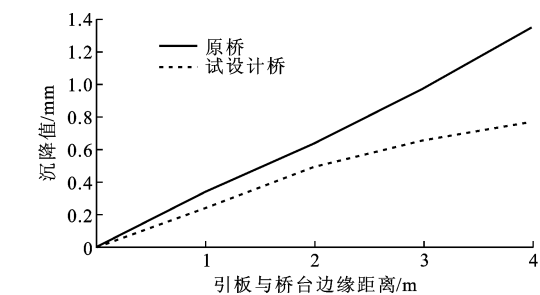


图 11 引板沉降

Fig. 11 Settlement of Approach Slab

加速率减少,可以看出通过在台后引板下布置微型桩可以有效减小台后引板的沉降。

4 纵桥向受力行为

无缝桥梁结构设计与有缝桥的最大不同在于纵桥向变形对结构受力的影响。有缝桥的纵桥向伸缩量可以通过预留伸缩量来调节。对于无缝桥而言,梁体纵桥向变化都将影响整个桥台乃至台后土体的受力;桥台、台后填土也将限制梁体的胀缩变形,并在梁体中引起纵向力,对于本文新型延伸桥面板无缝桥,主梁温度变化所受的约束主要来自于引板与其下土体的摩阻力和微型桩的约束,因此准确计算出具体的变形量,确定最大允许变形量是非常必要的。

4.1 温度作用

计算中桥梁基准温度设为 0℃,整体升温 20

℃,整体降温 20℃。由于结构具有对称性,仅给出升温作用下主梁内力计算结果,如图 12,13 所示。由图 12,13 可以看出,在台后引板下布置微型桩后对桥梁上部结构轴力的影响要显著大于对弯矩的影响。试设计桥升温作用下跨中主梁轴力第 1 跨为 -152.8 kN,第 2 跨为 -180.0 kN,第 3 跨为 -192.5 kN,比原桥的 -26.7, -51.7, -64.1 kN 分别增大约 4.7 倍、2.5 倍和 2.0 倍。

试设计桥桥台支座处主梁弯矩由 -9.6 kN·m 变为 24.0 kN·m,造成弯矩符号改变的主要原因为引板下布置的微型桩约束了温度作用下主梁的纵向变形。第 2 跨与第 3 跨改造前后主梁弯矩的变化不明显。

升温作用下试设计桥主梁两端的位移为 8.13 mm,较原桥的 9.48 mm 减少了 14.2%。可以看出引板下布置微型桩可作为纵桥向的弹性约束,增加了主梁和台后引板在温度作用下梁体纵桥向伸缩变形的抵抗力,明显减小台后引板与路面接缝的伸缩量。

4.2 收缩徐变效应

同温度变形,无缝桥的混凝土收缩徐变变形也会因受到结构约束而产生纵桥向的次内力。本文在分析时对桥梁施工全过程进行了精细化模拟,并考虑成桥后 3 650 d 的收缩徐变作用效应。有关计算结果如图 14,15 所示。

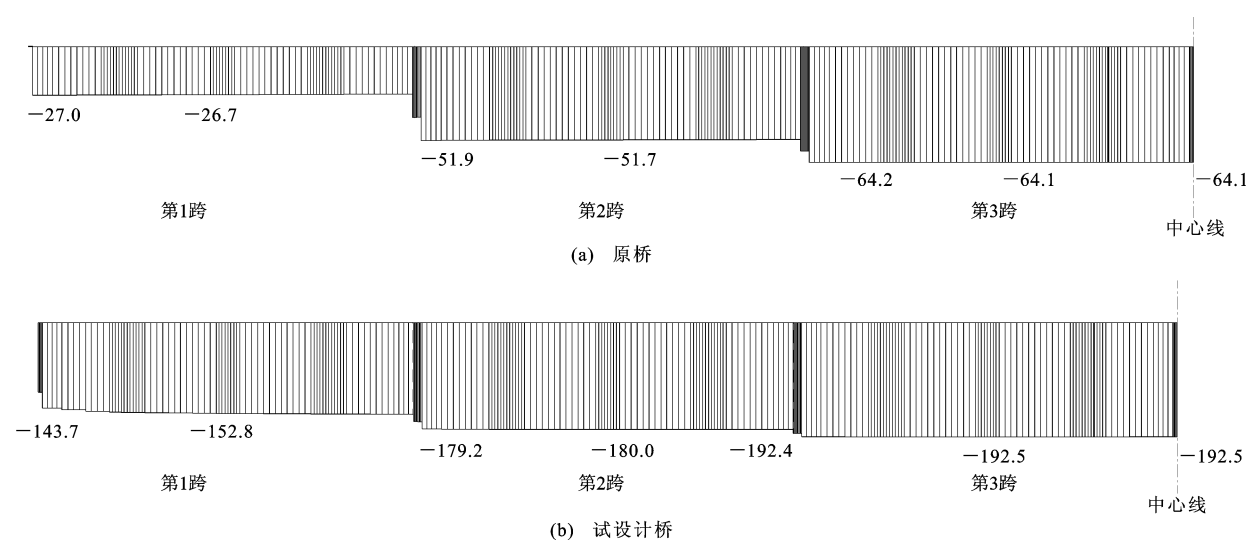


图 12 主梁整体升温作用下的轴力图(单位:kN)
Fig. 12 Axial Force of Main Beam Under Overall Rising Temperatures (Unit: kN)

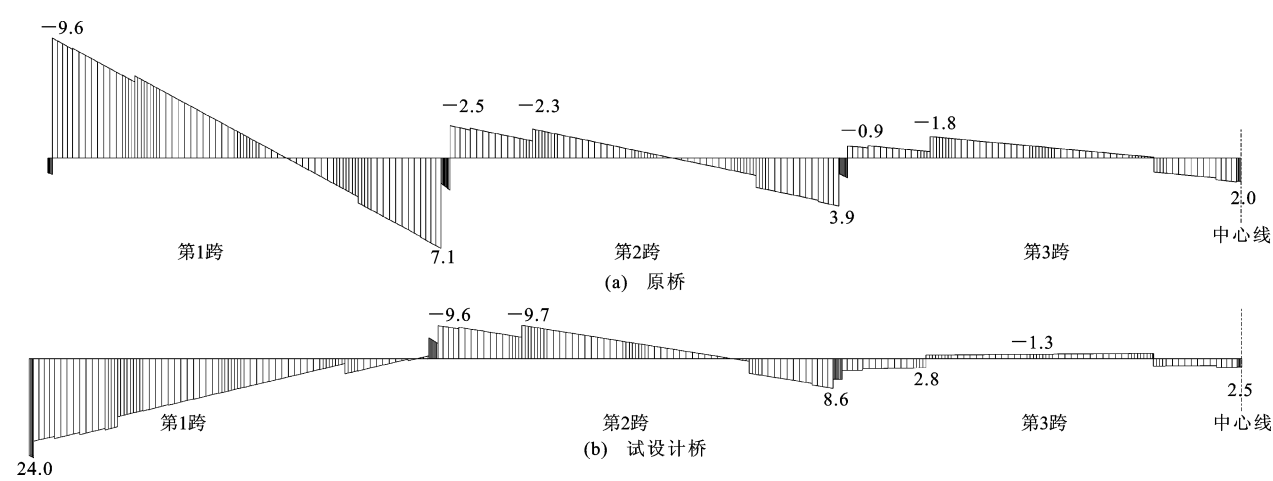


图 13 主梁整体升温作用下的弯矩图(单位:kN·m)
Fig. 13 Bending Moment of Main Beam Under Overall Rising Temperatures (Unit: kN·m)

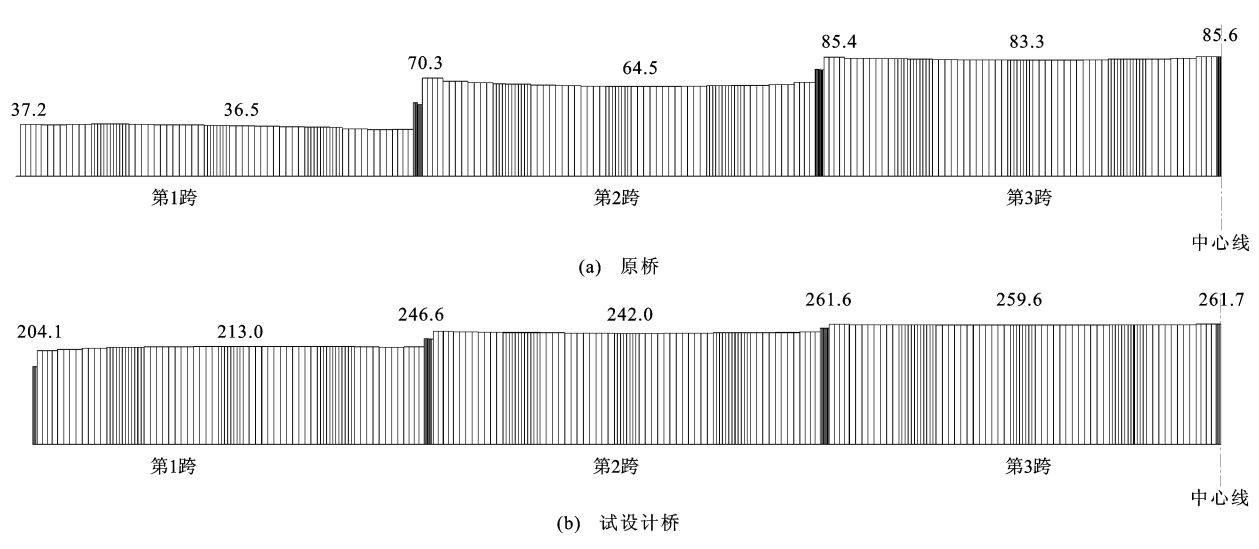


图 14 主梁收缩徐变作用下的轴力图(单位:kN)
Fig. 14 Axial Force of Main Beam Under Shrinkage and Creep (Unit: kN)

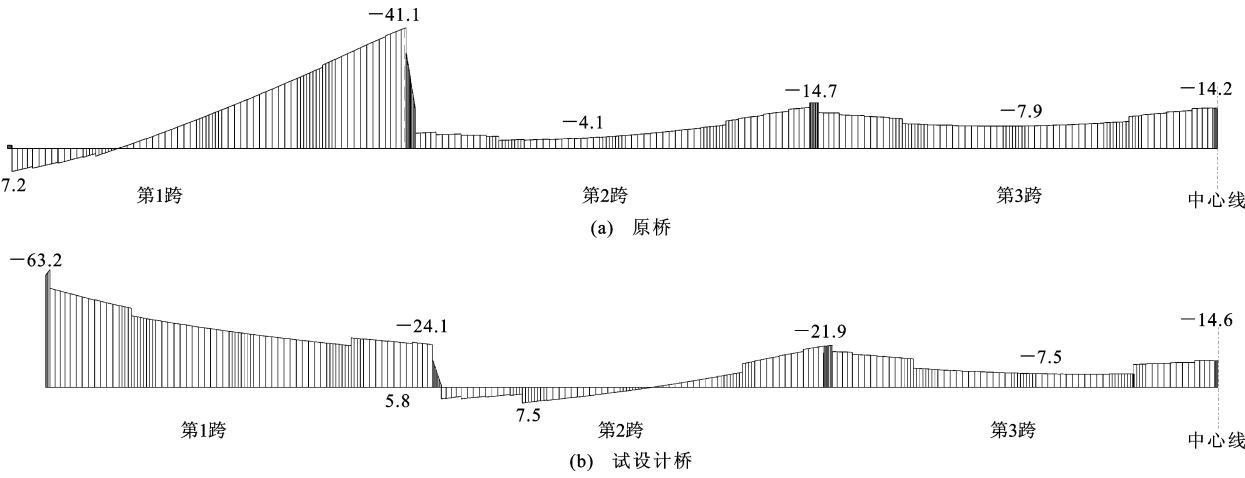


图 15 主梁收缩徐变作用下的弯矩图(单位:kN·m)

Fig. 15 Bending Moment of Main Beam Under Shrinkage and Creep (Unit: kN·m)

试设计桥在收缩徐变作用下跨中主梁的轴力第 1 跨为 213.0 kN,第 2 跨为 242.0 kN,第 3 跨为 261.7 kN,比原桥的 36.5,64.5,85.6 kN 分别增大了约 4.8 倍、2.7 倍和 2.1 倍。以第 3 跨跨中为例,收缩徐变产生的拉应力为 0.24 MPa,占 C50 混凝土抗拉强度设计值 1.83 MPa 的 12.8%,应引起设计注意。

弯矩计算结果显示桥台处主梁由 7.2 kN·m 的正弯矩变为 -63.2 kN·m 的负弯矩,但第 1 跨另一端由原来的 -41.4 kN·m 减少到 -24.1 kN·m。第 2 跨主梁由负弯矩转变为同时受正、负弯矩,但第 3 跨改造前后收缩徐变效应对主梁弯矩基本没有影响。微型桩对收缩徐变作用下边跨主梁的影响要大于中跨主梁的影响。

4.3 变形

桥梁基准温度设为 0℃,整体升温 20℃作用下试设计桥引板与接线路面之间的伸缩量为 9.87

mm,较原桥的 10.27 mm 减小了 3.9%。

5 抗震性能计算

5.1 自振特性

应用第 2 节有限元计算模型,采用子空间迭代法,计算了原桥和试设计桥的前 10 阶振型,将其频率和振型特征列于表 1,由表 1 可知:前 5 阶的频率相差较大,最大的为 1 阶频率,说明通过在引板下布置微型桩增加了全桥的刚度。此外振型的出现次序也不相同,原桥的 1 阶振型为纵向平移,而试设计桥的 1 阶振型为对称侧弯,可以看出在地震时试设计桥不容易落梁。

5.2 时程分析

试设计桥与原桥抗震设防类别均为 B 类。原型场地条件为 II 类,特征周期 T_g 为 0.4 s,选取适用于 II 类场地的 Taft 波与 El Centro 波,同时根据设计加速度反应谱生成 1 条人工波。计算得到的相关

表 1 原桥和试设计桥前 10 阶自振特性

Tab. 1 The First 10 Order Natural Vibration Characteristics of Original Bridge and Trial-design Bridge

阶次	原桥			试设计桥		
	周期/s	频率/Hz	振型特征	周期/s	频率/Hz	振型特征
1	0.114 0	8.773 6	1 阶纵向平移	0.097 5	10.261 3	1 阶对称侧弯
2	0.107 6	9.295 2	1 阶对称竖弯	0.096 3	10.384 8	1 阶纵向平移
3	0.098 0	10.205 0	1 阶反对称竖弯	0.092 5	10.811 2	1 阶反对称侧弯
4	0.095 9	10.430 0	1 阶对称侧弯	0.090 3	11.070 0	1 阶对称竖弯
5	0.094 6	10.573 7	1 阶反对称侧弯	0.088 6	11.284 4	1 阶反对称竖弯
6	0.087 5	11.430 5	2 阶对称竖弯	0.085 9	11.641 3	2 阶反对称侧弯
7	0.083 7	11.942 2	2 阶反对称竖弯	0.082 6	12.105 8	2 阶对称竖弯
8	0.079 0	12.650 7	2 阶反对称侧弯	0.078 7	12.710 6	2 阶反对称竖弯
9	0.073 9	13.540 3	扭转	0.074 2	13.472 1	扭转
10	0.072 5	13.801 2	3 阶对称竖弯	0.072 6	13.773 4	3 阶对称竖弯

系数均小于 0.1,满足《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008)^[19]中的规定,地震波波形如图 16 所示。选取峰值加速度分别为 0.10g,0.15g和0.20g进行时程分析,最终取 3 组计算结果的最大值,如表 2 所示。由表 2 可以看出,由于受到微型桩的约束,试设计桥的主梁梁端位移均小于原桥,在 0.10g,0.15g 和 0.20g 的峰值加速度下分别减少 26.2%,25.2%和 24.2%,通过引板下布置微型桩显著减少了无缝桥梁的位移响应。

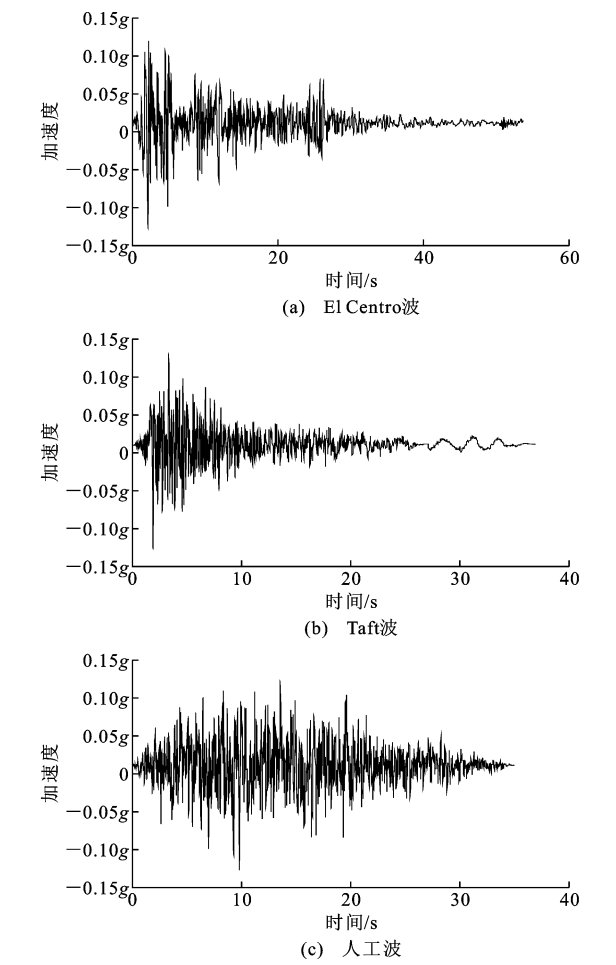


图 16 输入地震波

Fig. 16 Input Earthquake Waves

表 2 地震响应对比

Tab. 2 Comparison of Seismic Response

峰值加速度	试设计桥主梁 位移 Δ_1 /mm	原桥主梁位移 Δ_2 /mm	$\Delta_1\Delta_2^{-1}/\%$
0.10g	3.29	12.26	26.84
0.15g	7.13	28.31	25.19
0.20g	8.92	36.84	24.21

6 结 语

(1)试设计桥梁总体受力与原桥相差不大,结构

受力满足设计要求。

(2)在恒载作用下,试设计桥的第 1 跨跨中弯矩、第 2 跨支座处弯矩均有所减少;在汽车荷载作用下,第 1 跨边跨和跨中弯矩也均有所减少;台后引板的沉降减小。

(3)试设计桥在收缩徐变作用下轴力显著增大,桥台处主梁由正弯矩受力转变为负弯矩受力,在设计时应加强主梁负弯矩配筋。试设计桥在升温作用下微型桩对桥梁上部结构轴力的影响要显著大于对弯矩的影响。同时,主梁纵向位移减少 14.2%,验证了微型桩作为纵向约束的作用。

(4)与原桥相比,试设计桥刚度提高,前 5 阶频率有明显增大,更不容易发生落梁。由于受到微型桩的约束,在峰值加速度为 0.10g,0.15g 和 0.20g 的地震波作用下,试设计桥主梁梁端位移均小于原桥,表明微型桩有助于提高其抗震性能。

参考文献:

References:

[1] 陈宝春,庄一舟,BRISEGHELLA B. 无伸缩缝桥梁 [M]. 北京:人民交通出版社,2013.
CHEN Bao-chun, ZHUANG Yi-zhou, BRISEGHELLA B. Jointless Bridges[M]. Beijing:China Communication Press,2013.

[2] THIPPESWAMY H K,GANGARAO H V S,FRANCO J M. Performance Evaluation of Jointless Bridges [J]. Journal of Bridge Engineering, 2002, 7 (5): 276-289.

[3] CIVJAN S A,KALAYCI E,QUINN B H,et al. Observed Integral Abutment Bridge Substructure Response[J]. Engineering Structures, 2013, 56: 1177-1191.

[4] BURDETTE E G, HOWARD S C, TIDWELL J B, et al. Lateral Load Tests on Prestressed Concrete Piles Supporting Integral Abutments[J]. PCI Journal, 2004,49(5):70-77.

[5] AROCKIASAMY M,BUTRIENG N,SIVAKUMAR M. State-of-the-art of Integral Abutment Bridges; Design and Practice[J]. Journal of Bridge Engineering, 2004,9(5):497-506.

[6] WHITE H, PETURSSON H, COLLIN P. Integral Abutment Bridges: The European Way[J]. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2010,15(3):201-208.

[7] 付 鑫,樊争辉,庄一舟,等. 无缝桥引板微型桩-土共同作用试验研究[J]. 福州大学学报:自然科学版, 2017,45(2):179-184.

- FU Cui, FAN Zheng-hui, ZHUANG Yi-zhou, et al. Study on Micropile Under Approach Slab and Soil Interaction in Jointless Bridge[J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 2017, 45(2): 179-184.
- [8] CHEN B C, FU C, BRISEGHHELLA B, et al. Investigation and Analysis of Jointless Bridges in China[R]. Fuzhou: Fuzhou University, 2016.
- [9] 陈宝春, 付 鑫, 庄一舟. 减小桥台跳车的搭板构造: 中国, CN201520502272. 1[P]. 2015-11-18.
CHEN Bao-chun, FU Cui, ZHUANG Yi-zhou. A Type of Slab to Reduce Bumping at Abutment: China, CN201520502272. 1[P]. 2015-11-18.
- [10] 苏媛媛, 张占民, 刘小丽. 微型抗滑桩设计计算方法综述与探讨[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增 1): 223-228.
SU Yuan-yuan, ZHANG Zhan-min, LIU Xiao-li. Computation Methods of Anti-sliding Micropiles: An Overview[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 223-228.
- [11] 苏荣臻, 郑卫锋, 鲁先龙, 等. 软土地区杆塔基础微型桩抗拔特性试验研究[J]. 电力建设, 2008, 29(12): 23-25.
SU Rong-zhen, ZHENG Wei-feng, LU Xian-long, et al. Experiment on Uplifting Characters of Micropiles of Tower Foundations in Soft Soil[J]. Electric Power Construction, 2008, 29(12): 23-25.
- [12] 曲 进, 孙剑平, 高 翔. 循环荷载下劲性微型桩单桩模型试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(增 2): 329-333.
QU Jin, SUN Jian-ping, GAO Xiang. Model Test Study of Single Stiffened Micropile Under Cyclic Load [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(S2): 329-333.
- [13] 李运富. 微型桩水平承载特性的现场试验与有限元数值分析[J]. 交通标准化, 2014, 42(17): 87-91.
LI Yun-fu. Field Test and Finite Element Numerical Analysis of Mini Pile's Horizontal Bearing Performance [J]. Transportation Standardization, 2014, 42(17): 87-91.
- [14] 董桔灿, 许 震, BRISEGHHELLA B, 等. 某多跨简支空心板梁桥无缝化改造设计与施工[J]. 中外公路, 2015, 35(4): 170-174.
DONG Ju-can, XU Zhen, BRISEGHHELLA B, et al. Integral Transformation Design and Construction of Multi-span Hollow Slab Simply-supported Bridge[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2015, 35(4): 170-174.
- [15] JTG D62—2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
JTG D62—2004, Code for Design of Highway Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridges and Culverts[S].
- [16] JTG D63—2007, 公路桥涵地基与基础设计规范[S].
JTG D63—2007, Code for Design of Ground Base and Foundation of Highway Bridges and Culverts[S].
- [17] API RP 2A-WSD, Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: Working Stress Design[S].
- [18] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
JTG D60—2015, General Specifications for Design of Highway Bridges and Culverts[S].
- [19] JTG/T B02-01—2008, 公路桥梁抗震设计细则[S].
JTG/T B02-01—2008, Guidelines for Seismic Design of Highway Bridges[S].