

半整体桥梁近台端搭板的受力性能分析

庄一舟, 韩裕添, 吕骅昕, 田 伟

(福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350116)

摘要: 传统的有缝桥梁, 由于桥台伸缩缝的存在, 使搭板不受主梁伸缩、挠曲变形的影响, 然而半整体桥梁取消了桥台伸缩缝, 其需考虑上述影响. 为了分析半整体桥梁近台端搭板端部的内力影响程度, 首先应用 ABAQUS/MIDAS 建模, 得出端部水平力对搭板的内力影响最大; 其次提出影响系数的概念, 即搭板顺桥向任意截面的端部水平拉应力与竖向荷载作用产生的拉应力的比值; 最后分析了搭板顺桥向控制截面的影响系数. 结果表明: 半整体桥梁近台端搭板端部的水平力在内力计算中不容忽视, 搭板设计需综合考虑竖向荷载和端部水平力的叠加作用.

关键词: 半整体桥梁; 搭板; 影响系数; 叠加作用

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 03-0057-06

美国整体式桥台无缝桥梁的最普遍问题在于搭板的沉降和开裂. 幸运的是, 这些问题不会引起重大交通中断或降低桥梁的使用寿命. 在美国 31% 的州在搭板端部设置枕梁, 26% 的州让搭板直接放在填料上面, 而 30% 的州同时使用这 2 种方法. 有些州在背墙设置托臂(牛腿)支撑搭板, 另一些州用钢筋将搭板与桥台背墙连接, 而剩下的州将这 2 种方法组合使用. 由调查结果可知, 搭板与桥台背墙的连接部位, 以及搭板与填料的接触面是值得关注的研究领域^[1].

罗马尼亚在 20 世纪 60 年代初就开始采用整体式桥梁, 常采用混凝土桩作为基础, 桩顶固结于桥台中. 计算桩应力时温度和收缩材料等均被考虑在内. 台后填土要求用颗粒状的材料, 搭板直接搭接于桥台上. 罗马尼亚交通科技院研究表明, 整体式桥梁造价可便宜 30%, 而且可延长桥梁的寿命(Yen W P 等 2014 年在福州大学的学术报告). 亚洲总体上无缝桥的应用还不多, 目前发展较好的主要在日本. 日本在无缝桥梁应用方面, 主要以既有桥梁的无缝化改造为主. 我国从 20 世纪 90 年代开始, 由福州大学、湖南大学等单位开展了整体式和半整体等无缝桥的研究与运用. 湖南大学基于国

外的研究发展了半整体式桥台桥梁接线路面, 其设计的核心思想是: 取消主梁与桥台之间的伸缩缝, 通过梁体、桥台与台背填土的共同作用吸收释放梁的水平位移. 采用此型式桥台设计时必须设置桥头搭板, 目的是把梁体变形通过搭板传递到路面结构, 通过一定长度路面结构的细小裂缝吸收梁体变形^[2]. 而在半整体式桥台桥梁中(后面简称半整体桥梁), 搭板的近台端与主梁相连, 搭板会受到主梁伸缩、梁端弯曲变形等影响, 故搭板除了承受自重、车辆荷载等竖向荷载外, 还会受到主梁传递至搭板端部的荷载^[3-5].

目前文献中对半整体桥梁桥头搭板端部与主梁连接处荷载的种类、大小以及该端部荷载对搭板内力的影响探讨不多, 对其影响因素的分析不够全面. 笔者通过 ABAQUS 和 MIDAS 有限元程序, 探讨了半整体桥梁桥头近台端搭板端部的最主要荷载形式, 并分析其在半整体桥梁桥头搭板内力计算中的影响程度.

1 半整体桥梁桥头近台端搭板的受力分析

本文分析的半整体桥梁桥头节点构造形式如图 1 所示. 主梁通过滑动支座支承在桥台之上, 搭

板近台端支承在桥台背墙上,且两者之间铺设油毡使搭板能够在背墙端面自由滑动,远台端视土基的物理性状可选择自由搁置在台背土基中,也可在其下方浇筑土枕梁。半整体桥梁的主梁、搭板连接如图2所示。主梁与搭板通过联接钢筋相连,主梁、搭板界面通过涂刷二度沥青隔开,且在主梁搭板连接界面下部1/3高度内设置厚为2~3 cm的软木条,软木条横桥向与搭板同宽。搭板主梁界面上方铺设一层长1 m,且与搭板同宽的加筋土工格栅。在铺装层中与搭板主梁界面对应处切割1 cm宽度的假缝,假缝高度为铺装层厚度的1/3,并填筑沥青玛蹄脂填料^[6-8]。

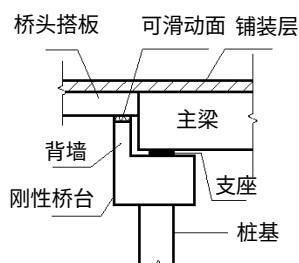


图1 延伸桥面板式桥头节点

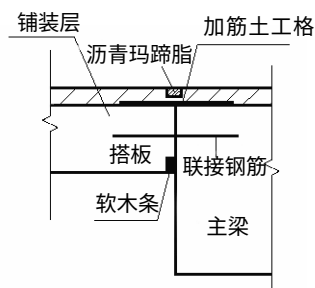


图2 主梁搭板连接示意图

由上述可知,半整体桥梁的桥台可看作刚性,主梁、搭板对其的扰动可忽略不计,故分析桥头搭板端部受力时可将下部结构简化为固定边界。半整体桥梁的搭板近台端支承在背墙(牛腿)上,远台端支承土基或枕梁上,与有缝桥梁相似。不同的是半整体桥梁的主梁与搭板通过联接钢筋相连在一起。有缝桥梁搭板的受力模式可以看作台后的简支板,而半整体桥梁的搭板因受主梁的影响,使之受力模式变得更为复杂。

将搭板与主梁界面截开,可知搭板端部有弯矩、剪力和水平力。弯矩和剪力主要由于边跨主梁和搭板所受竖向荷载产生,水平力主要由主梁受温度荷载发生伸缩所产生。其中,因半整体桥梁的

搭板是跨越桥台背墙,近台端搭板可视为简支背墙端面之上,又桥台相对于主梁搭板更为刚性,可看作固定边界。故搭板端部剪力完全由桥台背墙承担,对搭板几乎没有影响,在弯矩、剪力和水平力三者中可视为微小量。

从构造上得出,桥头处会在预割假缝处产生裂缝,并通过铺设加筋土工格栅和填筑玛蹄脂填料来减小裂缝对行车路面的影响,防止反射裂缝到桥面,其节点功能类似于铰接节点。节点虽有断开界面,但没有设计转动构造,界面两边并不能够大角度自由转动,所以其刚度处于固接节点与铰接节点之间。故搭板近台端会受到主梁传递的弯矩作用,但弯矩数值不大,具体对桥头搭板内力的影响程度还需进一步论证。搭板端部弯矩分为正弯矩和负弯矩。正弯矩是由桥台偶数跨主梁受竖向荷载产生,负弯矩是由桥台奇数跨主梁受竖向荷载产生。对于负弯矩,整体来看,可以抵消一部分竖向荷载产生的正弯矩,对搭板内力设计有利,但搭板近台端局部是否出现负弯矩过大而使上表面出现开裂值得商榷。正弯矩与搭板所受竖向荷载作用叠加使搭板底部产生拉应力,搭板内力计算时必将其考虑在内。

搭板近台端所受水平力,主要是由主梁在温度荷载作用下的伸缩变形产生,并通过联接钢筋和主梁搭板界面传递至搭板。由公路桥涵通用设计规范中混凝土温度变形计算公式可知^[9],主梁在温度荷载作用下的变形非常可观,若搭板边界约束作用较大,其在搭板端部产生的水平力也较大。

2 半整体桥梁近台端搭板的控制荷载分析

为判别搭板端部的控制荷载,利用 ABAQUS 建立单位宽度的主梁、搭板节点模型。其中模型基本参数假定为:主梁采用 16 m 空心板,梁宽 1 m,梁高 0.85 m。搭板长宽高分别为 8、1、0.3 m。主梁和搭板均采用 C30 混凝土,主梁搭板联接钢筋采用直径为 $\phi 32$ 的 HRB335 钢筋,横向间距为 10 cm。搭板下部地基土竖向以及切向基床系数分别取 10 000、12 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 。为判别端部负弯矩的影响,建立奇数三跨连续梁模型,且自桥台端第 1 跨、第 3 跨按照桥梁通规满布竖向荷载;为判别端部正弯矩的影响,建立偶数四跨连续梁模型,自桥台端第

2 跨、第 4 跨满布竖向荷载; 为判别端部水平力的影响, 建立偶数四跨连续梁模型, 全桥受降温 30 °C 的温降荷载。在温升作用下主梁和搭板的膨胀伸长, 使各截面产生压应力, 但混凝土的抗压性能远高于其抗拉性能, 且桥头假缝又能吸纳膨胀变形, 故不讨论温升荷载的工况。

主梁、搭板节点模型的主梁、搭板、软木条和主梁搭板界面均采用 C3D8R 实体单元, 联接钢筋采用 T3D2 单元, 搭板底部地基的竖向和切向作用采用两组弹簧单元进行模拟。三跨连续梁模型的主梁支座均采用滑动支座模拟, 四跨连续梁模型桥梁中心处支座采用固定支座, 其他处采用滑动支座。搭板近台端、远台端均视作简支于桥台牛腿和枕梁上, 采用滑动支座模拟。

2.1 搭板端部负弯矩分析

桥头搭板端部负弯矩主要是桥台端奇数跨主梁受到竖向荷载而产生, 越偏离桥台的桥跨, 其竖向荷载在搭板端部产生的负弯矩影响系数越小, 故忽略微小量, 仅考虑一、三跨竖向荷载影响, 建立三跨连续梁模型来模拟搭板受负弯矩情况, 图 3 和图 4 分别为奇数跨受荷载的挠曲变形图和负弯矩作用下桥头节点主拉应力云纹图。

自近台端开始标记搭板 1/16、2/16、3/16、4/16、

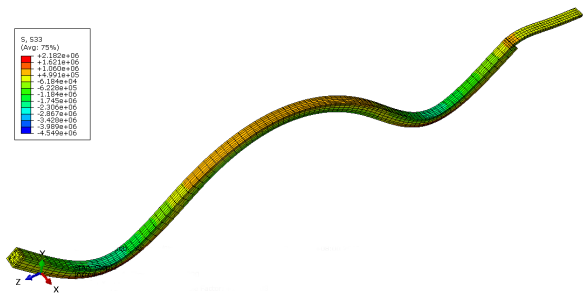


图 3 奇数跨受荷载时挠曲变形

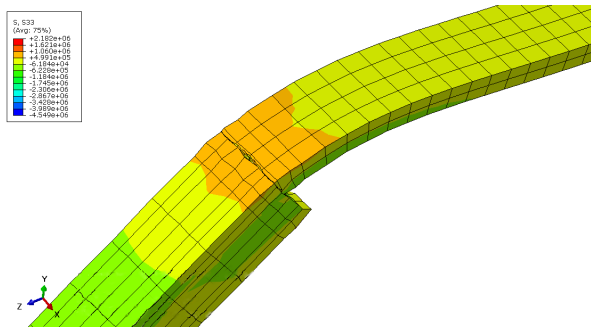


图 4 负弯矩作用下桥头节点云纹

3/8、4/8、5/8、6/8、7/8 处截面, 运算模型并提取以上截面的搭板上表面各点的最大拉应力, 并与混凝土抗拉强度相比, 计算各截面的最大拉应力与混凝土抗拉强度的百分比值(表 1)。

表 1 负弯矩作用下搭板上表面最大拉应力

搭板各截面	最大主应力/MPa	比值/%	搭板各截面	最大主应力/MPa	比值/%
1/16	1.063	76	4/8	0.124	9
2/16	0.857	61	5/8	0.073	5
3/16	0.651	47	6/8	0.041	3
4/16	0.414	30	7/8	0.021	1
3/8	0.228	16			

从表 1 可看出, 在搭板端部负弯矩作用下, 搭板近台端处的上表面拉应力较大, 但都未达到混凝土的开裂应力。其中在 1/16、2/16、3/16、4/16 处的拉应力分别为 C30 混凝土抗拉强度(1.39 MPa)的 76%、61%、47%、30%。在远台端的搭板应力较小, 均在混凝土抗拉强度的 20% 以下。搭板上表面拉应力均未达到混凝土的开裂应力, 即不会出现开裂现象, 且模型中未考虑钢筋骨架中上层钢筋的受拉作用, 低估了搭板抵抗负弯矩能力。故综合上述分析可知, 在端部负弯矩作用下搭板上表面的拉应力水平不高, 不会出现开裂现象, 即端部负弯矩作用对搭板内力计算影响不大。

2.2 搭板端部正弯矩分析

桥头搭板端部正弯矩主要是桥台端偶数跨主梁受到竖向荷载作用产生, 越偏离桥台的桥跨, 其竖向荷载在搭板端部产生的负弯矩影响系数越小, 故忽略微小量, 仅考虑二、四跨竖向荷载, 建立四跨连续梁模型来模拟搭板端部受正弯矩情况。

同时, 建立单位宽度的搭板模型, 施加汽车荷载及搭板自重, 计算得出搭板在竖向荷载下的应力情况。自近台端标记搭板 1/16、2/16、3/16、4/16、3/8、4/8、5/8、6/8、7/8 处截面, 提取上述模型中各截面的搭板下表面各点的最大拉应力, 并计算各截面正弯矩作用产生的拉应力与竖向荷载作用产生的拉应力的百分比值(表 2)。

从表 2 可以看出, 在端部正弯矩作用下, 搭板下表面的拉应力均较小, 搭板近台端拉应力水平在 10^{-1} MPa, 远台端拉应力水平在 10^{-3} MPa。而搭板在竖向荷载作用下的搭板下表面最大拉应力均

在 4 MPa 水平以上. 自搭板近台端 1/16 和 2/16 截面处由正弯矩作用产生的搭板底面拉应力与竖向荷载产生的应力百分比分别为 37.7%和 15.4%, 其他各截面百分比均未达到 10%. 且正弯矩产生的搭板底面拉应力是自搭板近台端逐渐减小的, 而竖向荷载产生的应力是呈两头小、中间大状态, 若考虑控制截面的正弯矩产生拉应力与竖向荷载产生拉应力的比值仅为 3.7%. 故可判断: 搭板端部正弯矩在搭板下表面产生的拉应力很小, 对搭板内力计算基本无影响.

表 2 正弯矩作用下搭板下表面最大拉应力

搭板各截面	正弯矩产生应力/MPa	竖向荷载产生应力/MPa	比值/%
1/16	0.165	0.438	37.7
2/16	0.131	0.853	15.4
3/16	0.108	1.68	6.4
4/16	0.074	2.514	2.9
3/8	0.026	3.759	0.7
4/8	0.012	4.425	0.3
5/8	0.008	3.716	0.2
6/8	0.003	2.543	0.1
7/8	0.001	0.873	0.1

2.3 搭板端部水平力分析

桥头搭板端部水平力主要是由主梁在温度荷载作用下的伸缩变形而产生. 在温升荷载作用下主梁膨胀伸长, 温升荷载作用下主梁膨胀伸长, 使搭板处于受压状态并搭板各截面产生压应力. 而混凝土的抗压性能远高于其抗拉性能, 且胀缝能够很好地吸收膨胀变形, 故不考虑压应力对搭板的影响. 而主梁在温降荷载作用下收缩, 使搭板产生拉应力, 影响搭板内力计算故需考虑. 为比较搭板端部正弯矩与端部水平力对搭板内力计算影响, 对应的建立四跨连续梁模型来模拟搭板受水平力情况.

建立单位宽度的搭板模型, 施加汽车荷载及搭板自重, 计算得出搭板在竖向荷载下的拉应力情况. 自主梁梁端标记搭板 1/16、2/16、3/16、4/16、3/8、4/8、5/8、6/8、7/8 处截面, 提取受端部水平力搭板模型和受竖向荷载搭板模型的上述各截面的下表面的最大拉应力, 并计算各截面水平力作用产生的拉应力与竖向荷载作用产生的拉应力的百分比值(表 3).

表 3 平力作用下搭板下表面最大拉应力

搭板各截面	水平力产生应力/MPa	竖向荷载产生应力/MPa	比值/%
2/16	2.373	0.853	2.78
3/16	2.102	1.68	1.25
4/16	1.857	2.514	0.74
3/8	1.521	3.759	0.41
4/8	1.21	4.425	0.27
5/8	0.914	3.776	0.25
6/8	0.692	2.523	0.28
7/8	0.325	0.873	0.37

从表 3 可以看出, 在端部水平力作用下, 搭板下表面的拉应力水平较高. 搭板自近台端拉应力逐渐减小, 其中搭板近台端拉应力水平在 2 MPa 以上, 远台端拉应力水平在 0.1 MPa 以上. 搭板在竖向荷载作用下, 其下表面拉应力基本在 1 MPa 水平上, 其应力分布呈两头小、中间大状态, 故端部水平力作用产生的搭板底面拉应力与竖向荷载产生的拉应力比值自近台端呈先减小后增大趋势, 近台端其比值为 5.77, 远台端为 0.37, 若考虑端部水平力作用和竖向荷载作用下的最大拉应力比值, 其值为 1.01. 故可得出结论: 搭板端部水平力作用下搭板下表面产生的拉应力水平较高, 对搭板内力计算影响较大.

综上分析可得出结论: 搭板端部荷载中, 端部水平力作用对搭板内力计算的影响最大, 是最主要因素, 搭板内力计算中端部弯矩、剪力作用可忽略不计. 建议在实际工程中在搭板底面铺设油毛毡或塑料纸, 减少端部水平力对搭板内力的影响.

3 端部水平力对搭板内力的影响程度分析

3.1 影响系数的概念

从上述分析可知, 端部水平力是影响搭板内力的最主要因素. 为评估搭板端部水平力对搭板内力计算的影响程度, 提出影响系数. 其定义为: 搭板顺桥向的任意截面的端部水平拉力产生的拉应力与竖向荷载作用产生的拉应力的比值. 表达式为 ζ_p / ζ_m , 式中 ζ_p 为搭板端部水平力 P 在任意界面产生的拉应力, ζ_m 为任意截面弯矩 m 截面产生的最大拉应力.

3.2 长 16 m 有限元模型算例

以 16 m 空心板连续梁桥为算例, 用 MIDAS 分

别建立桥梁长度为 16、32、48、64、80、96 m 的有缝桥梁和对应的半整体式桥台桥梁计算模型。

主梁为宽 1 m, 高 0.85 m 的 16 m 跨空心板, 桥宽 12 m (横桥向 12 匹空心板拼接)。搭板长 8 m, 高 0.3 m, 宽 12 m。主梁和桥头搭板均选用 C30 混凝土材料。有限元采用梁格法进行建模, 主梁、搭板均采用三维梁单元, 横向通过虚拟横梁相联系。支座采用一般滑动支撑进行模拟, 使得主梁可沿纵桥向自由伸缩。搭板底面与地基的作用用一组竖向线性弹簧和一组水平线性弹簧来模拟。

求解竖向线性弹簧和水平线性弹簧刚度对应的竖向、水平向基床系数取值(表 4)。半整体桥梁主梁的伸缩变形只对上部结构产生影响, 并通过支座剪切变形予以吸收, 对桥台、桩基等下部结构基本没有影响。故模型只需建立上部结构、支座、台后土基的边界作用, 下部结构可简化为固定边界如图 5 所示。

表 4 平、竖向基床系数 ^[10] $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$		
地基土分类	水平系数	竖向系数
流塑粘性土	3 000~15 000	5 000~10 000
软塑粘性土和松散粉性土	15 000~30 000	10 000~20 000
塑粘性土和稍、中密粉性土	30 000~150 000	20 000~40 000
硬塑粘性土和密实粉性土	150 000 以上	40 000~100 000
松散砂土	3 000~15 000	10 000~15 000
稍密砂土	15 000~30 000	15 000~20 000
中密砂土	30 000~100 000	20 000~25 000
密实砂土	100 000 以上	25 000~40 000

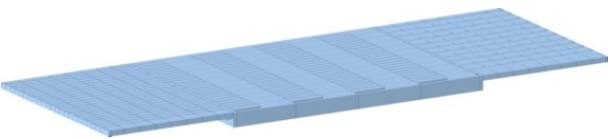


图 5 6 m 桥长有限元模型

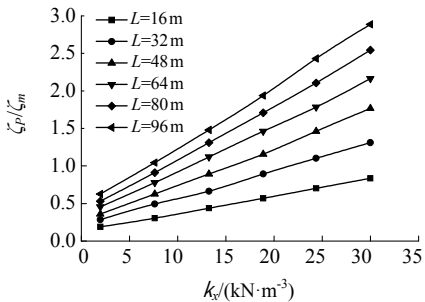


图 6 水平基床系数影响系数关系

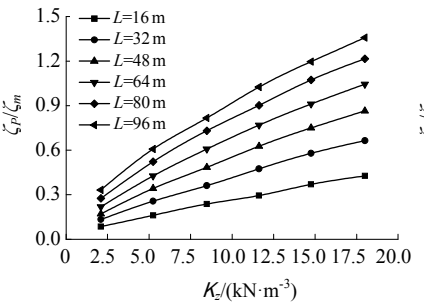


图 7 竖向基床系数影响系数关系

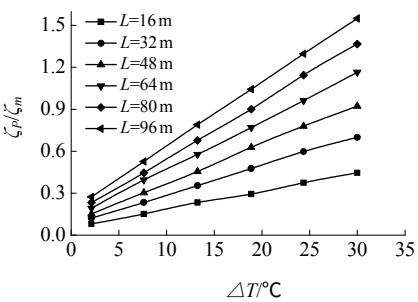


图 8 荷载影响系数关系

半整体桥梁搭板所受的荷载包括: 均布荷载、车辆荷载和端部水平力。均布荷载由搭板自重和搭板上部铺装层自重产生; 车辆荷载按桥涵《通规》规定横桥向布置 3 辆汽车, 纵桥向按最不利荷载位置布置(取通规中汽车后轴重)。端部水平力由主梁伸缩产生对搭板的力, 故计算模型中需输入搭板的间接荷载、温降荷载, 温降荷载施加对象为主梁。

3.3 有限元计算结果分析

将搭板沿顺桥向均分 8 等份, 得到 7 个截面。自近台端至远台端对 7 个截面依次编号 1~7。

先假设搭板内力的影响系数的最敏感参数变量为桥梁长度、温降荷载、台后地基水平向基床系数和竖向基床系数。桥梁长度变化取值为 16、32、48、64、80、96 m, 温降荷载变化取值为 5、10、15、20、25、30 °C; 水平向基床系数变化取值为 3 000、6 000、9 000、12 000、15 000、18 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$; 竖向基床系数变化取值为 5 000、10 000、15 000、20 000、25 000、30 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

根据有缝桥梁和对应的半整体桥梁有限元模型, 分别计算不同参数组合情况下搭板各截面弯矩和水平力产生的搭板底面拉应力, 并据此计算各截面的搭板内力的影响系数。参数组合取以下 3 种: (1)温降荷载为 20 °C, 竖向基床系数为 20 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$, 水平向基床系数变化范围为(3 000、18 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$); (2)温降荷载为 20 °C, 水平向基床系数为 12 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$, 竖向基床系数变化范围为(5 000、30 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$); (3)水平向基床系数为 12 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$, 竖向基床系数为 20 000 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$, 温降荷载变化范围为(5、30 °C)。通过求解各参数组合下, 搭板各截面处的影响系数, 得出端部水平力对搭板内力计算的影响程度。取控制截面 1 和 4 的数据, 并绘制不同参数下控制截面的影响系数变化规律, 如图 6~8 所示。

由图 6~8 可见,在不同温降荷载作用下,搭板端部水平力的搭板控制截面的影响系数值范围为(0, 1.6),且呈线性增长.在不同水平向基床系数作用下,搭板端部水平力的控制影响系数值分布范围为(0, 1.5),基本呈线性增长.在不同竖向基床系数作用下,搭板端部水平力的控制截面搭板的内力影响系数值分布范围为(0, 3),呈线性增长.搭板端部水平力控制截面搭板的内力影响系数随主梁长度的增大而增大,且增长速率呈增大趋势.

4 结语

通过有限元 ABAQUS 和 MIDAS 计算分析,可得到如下结论:(1)半整体桥梁桥头近台端搭板端部所受各种荷载中,端部水平力作用对搭板内力计算的影响最大;内力计算时,搭板端部弯矩、剪力的贡献作用可忽略不计.(2)温降荷载、主梁长度和水平向基床系数对搭板端部水平力的控制影响系数程度相当,但竖向基床系数对搭板端部水平力的控制影响系数的影响较大,故设计时需合理选择回填材料.

参考文献:

[1] AASHTO. AASHTO-LRFD bridge construction speci-

cations[M]. Washington D C: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998:22-32.

[2] 陈志新. 无缝桥梁加筋接线路面温度变形性能研究与施工要点分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.

[3] Greimann L F, Wolde-Tinase A M. Design model for piles in jointless bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1988, 114(6):1354-1371.

[4] Greimann L F, Pe-Shen Y, Wolde-Tinase A M. Nonlinear analysis of integral abutment bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1986, 112(10):2263-2280.

[5] Murat D. Simplified model for computer-aided analysis of integral bridges[J]. ASCE, Journal of Bridge Engineering, 2000, 15(3):240-248.

[6] 陈朝慰. 无伸缩缝桥梁桥台与主梁的结点构造及受力性能研究[D]. 福州: 福州大学, 2003.

[7] 杜永超. 半整体式全无缝桥梁的适应性及在弯桥上的研究与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2011.

[8] 王天利. 半整体式桥台无缝桥梁研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.

[9] 中华人民共和国交通运输部. 公路水泥混凝土路面设计规范(JTG D40-2011)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011:45-48.

[10] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥涵地基与基础设计规范(JTG D63-2007)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007:75-85.

Research: Mechanical Behavior of Approach Slab Near Abutment in Semi-integral Bridge

ZHUANG Yi-zhou, HAN Yu-tian, LÜ Hua-xin, TIAN Wei
(College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: The expansion joint exists in the traditional joint bridge abutment, so the approach slab is not affected by the expansion and deflection deformed and with main girder. However the semi-integral bridge does not use the expansion joint of bridge abutment, therefore the resultant effects is needed to take into consideration. In order to analyze the loading force in approach slab near the abutment in semi-integral bridge, the ABAQUS is used and the MIDAS is adopted. It concludes that the greatest impact on the approach slab near the abutment is the horizontal end force. In this work, the concept of influence coefficient is introduced, which involves the ratio of tensile stress between the horizontal force in approach slab and the vertical loads. The influence coefficient in each section of an approach slab is analyzed. The research results show that the end horizontal force in approach slab near the abutment of a semi-integral bridge should not be ignored in the calculation of internal forces in approach slab, and the approach slab design needs taking into consideration both the vertical loading and the side effect from the end horizontal force in slab.

Key words: semi-integral bridge; approach slab; influence coefficient; additive effects

(责任编辑 史小丽)