

# 预制节段式倒 T 形盖梁干接缝截面抗剪性能研究

黄本才, 黄宇辰\*, 张松

(中设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

**摘要:**为了更准确分析预制拼装盖梁干接缝截面的抗剪性能,以城市高架桥倒 T 形盖梁为对象建立分析模型,探讨了压应力、剪力键宽度与数量等因素对干接缝截面抗剪承载力的影响规律;基于此建立了抗剪承载力计算公式,并进行了数值验证与对比分析。结果表明:剪力键的抗剪承载力随着压应力增大而提高,且与剪力键宽度成正比关系,而剪力键数量的增加会导致剪力键受力不均匀;当剪力键发生破坏时,需考虑平接触面的分离效应;该文推导的计算公式可以较合理地反映各主要因素对接缝截面抗剪承载力的影响规律,更适用于跨高比较小的倒 T 形预制拼装盖梁。

**关键词:**倒 T 形; 预制拼装盖梁; 剪力键; 抗剪性能; 承载力计算

在中国建筑工程产业化的转变和“绿色建造”理念的倡导下,预制拼装桥梁由于具有施工便捷、质量稳定可靠、对交通及环境影响小等优势已在一些经济发展较快的城市桥梁中推广应用。

城市预制拼装桥梁的上部结构一般采用装配式小箱梁,下部结构为了同时考虑美观性及盖梁下净空要求,一般采用倒 T 形盖梁搭配矩形节段立柱;而倒 T 形盖梁尺寸较大,宜采用横向分段预制拼装的方案。现阶段装配式小箱梁与节段拼装立柱技术已比较成熟,而针对预制节段式倒 T 形盖梁技术的研究相对滞后。目前未见国外有关于预制拼装盖梁接缝抗剪性能的相关研究;在中国,2011 年,李国平针对不同接缝形式的预制节段拼装梁,基于接缝截面平衡条件建立了接缝截面抗剪承载力计算公式。但其在平衡条件中的假定仅适用于受压区高度较小的截面,而倒 T 形盖梁跨高比较小,受压区高度较大,平衡状态下接缝截面的剪应力与正应力一般为非均匀分布;2013 年,陈黎等以压应力与剪力键构造等参数对预制节段拼装梁的干接缝进行了抗剪性能试验研究,并提出了基于莫尔应力圆的抗剪承载力公式,结果表明该公式与试验结果吻合较好。但公式中抗剪承载力与压应力成正比,不能反映压应力较大时对混凝土抗剪强度的削弱效应;2017 年,沙丽新针对城市高架倒 T 形盖梁,对比分析了横向分段及竖向分层两种方案结构的受力性能,但

分析中针对的是胶接缝连接,且仅验证了两种方案的可行性,并未揭示预制拼装盖梁接缝区域的抗剪受力机理。采用干接缝连接的盖梁由于存在接触面和剪力键,其受力情况复杂,同时盖梁跨高比与剪跨比较小,接缝截面极限平衡状态与一般节段梁不一致,因此深入分析预制节段式盖梁干接缝截面的抗剪性能具有重要意义。

根据试验研究,Abaqus 能较精确模拟干接缝截面受力破坏过程,因此该文以城市高架桥倒 T 形预制拼装盖梁为对象,利用 Abaqus 平台建立分析模型,通过有限元数值模拟及理论分析对盖梁干接缝截面抗剪性能进行研究,为预制拼装盖梁设计提供参考。

## 1 干接缝截面抗剪性能参数研究

干接缝截面剪切破坏形态下的抗剪承载能力只包括由平接触面摩擦力、预应力的竖向分力以及剪力键提供的抗剪力,因此分析干接缝截面抗剪性能的关键是进行平接触面摩擦力与剪力键抗剪力的参数研究。

基于高架桥倒 T 形预制拼装盖梁常用的高深比为 3、尺寸为  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  的梯形剪力键,采用 Abaqus 针对压应力、剪力键宽度与数量等参数分别建立“Z”形干接缝局部有限元模型(部分模型见图 1)。模型中混凝土强度等级为 C40,辅助施加荷载的混凝

收稿日期:2020-11-11(修改稿)

作者简介:黄本才,男,硕士,高级工程师. E-mail:36991251@qq.com

\* 通信作者:黄宇辰,男,硕士,工程师. E-mail:jlchyc920712@yeah.net

土区域采用弹性模型(避免应力集中),键齿区域混凝土采用损伤塑性模型,材料应力—塑性应变曲线如图 2 所示,该模型采用各向同性弹性损伤结合各向同性拉伸、压缩塑性理论来表征混凝土的非线性行为,其塑性参数剪胀角取  $30^{\circ}$ ,曲线流动势偏移量为 0.1,双轴抗压与单轴抗压极限强度比取 1.16;接缝处采用基于有限滑移及弹性耦合的接触摩擦模型,切向摩擦系数取光滑混凝土面摩擦系数 0.4,材料强度均取标准值;压力沿 X 轴方向以均布力形式加载在模型侧面,然后对与模型顶面耦合的参考点施加 Z 轴负向集中力,并约束模型底面的 X、Y、Z 3 个方向自由度。

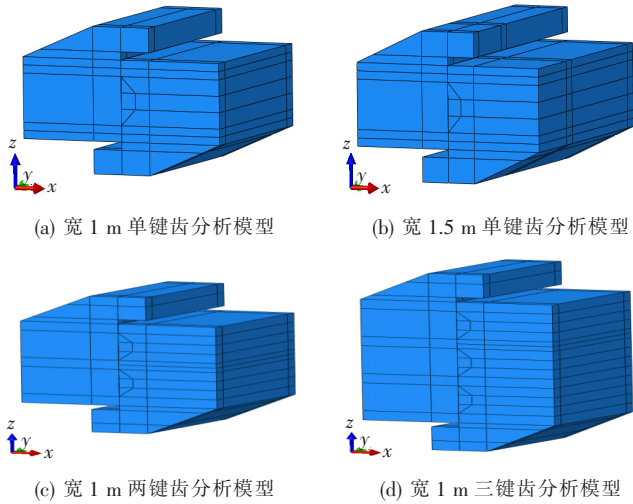


图 1 干接缝局部有限元模型

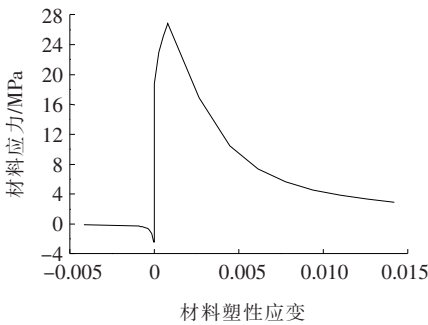


图 2 混凝土材料应力—塑性应变曲线

1.1 剪力键抗剪承载力的参数分析

为研究截面压应力、剪力键宽度与数量等参数对剪力键抗剪承载力的影响规律,在初始剪力键宽度为 1 m、数量为 1 键的模型中,保持剪力键高深比不变,分别调整剪力键宽度为 1、1.5、2、2.5 m 与剪力键数量为 1、2、3、4 键,并令压应力为 0~13 MPa 变化,对干接缝局部有限元模型进行分析,取键齿区域混凝土完全破坏时剪力键所受竖向合力为剪力键抗剪承载

力。图 3、4 为剪力键抗剪承载力随截面压应力、剪力键宽度与数量的变化规律。限于篇幅,图 5、6 仅给出

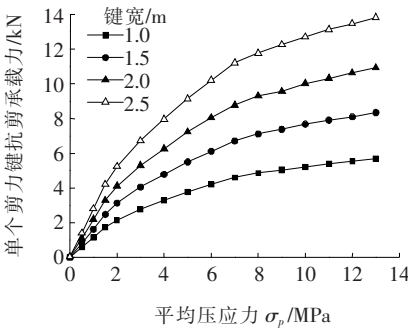


图 3 压力及键齿宽度对键齿抗剪力的影响

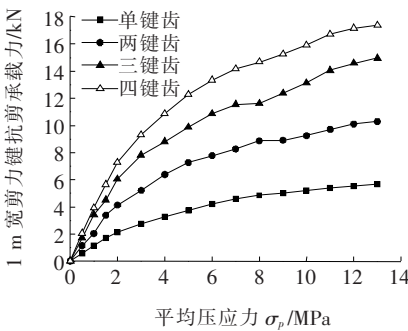


图 4 压力及键齿数量对键齿抗剪力的影响

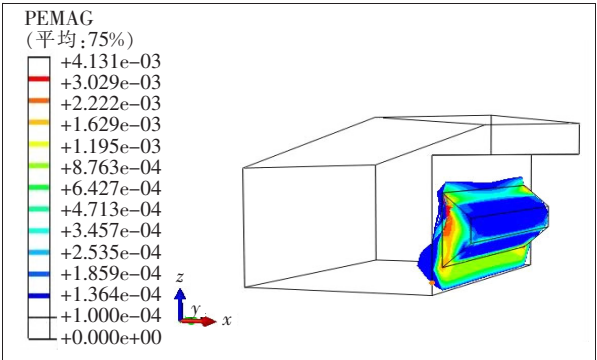


图 5 3 MPa 压应力下单键齿极限塑性应变图

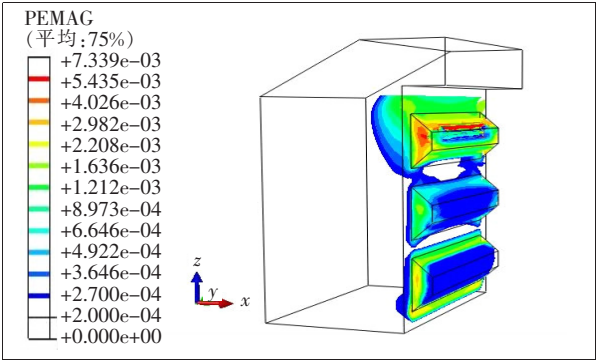


图 6 3 MPa 压应力下三键齿的极限塑性应变

了3 MPa压应力工况下宽1 m的单键齿、三键齿模型其极限状态塑性应变图以分析键齿破坏状态。

由图3~6可得到以下结论:① 1 m宽剪力键在压应力小于0.7 MPa时的抗剪承载力很小;随着压力逐渐增大,抗剪承载力逐渐提高,但提高幅度随压应力增大而减小;② 剪力键抗剪承载力与剪力键宽度基本成正比关系;③ 剪力键极限状态表现为键齿根部产生与竖向成小角度的贯通裂缝,多键齿下各剪力键承担的剪力较不均匀;④ 在0~13 MPa的压力范围下,两键齿、三键齿与四键齿的总抗剪承载力与单键齿抗剪承载力的平均比值为1.84、2.65、3.19,即两键齿与三键齿对剪力键总抗剪承载力的不均匀折减系数约为0.9,而四键齿的折减系数约为0.8。

## 1.2 平接触面摩擦抗剪承载力的参数分析

基于1.1节的分析结果,取键齿区域混凝土完全破坏时平接触面所受竖向合力为平接触面摩擦抗剪承载力,图7为平接触面摩擦抗剪承载力随截面平均压应力、剪力键数量的变化规律。

将图7与图4对比可得以下结论:① 当压应力小于4.0 MPa时,不同剪力键数量下平接触面摩擦抗剪承载力均接近于0 kN;当压应力大于4.0 MPa时,平接触面摩擦抗剪力随外压力增大、剪力键数量增多而增大;这主要是因为当剪力键发生破坏时,剪力键混凝土裂缝的开展产生较大局部变形使周围的平接触面有分离现象,导致切向摩擦力大幅降低;压应力越小分离现象越严重,而当压应力大于4 MPa时分离效应有较大程度减小;② 平接触面摩擦抗剪承载力相对剪力键抗剪承载力较小,最大值仅占剪力键抗剪承载力的15%左右。

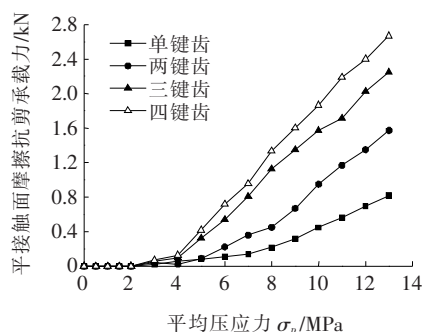


图7 压力及键齿数量对摩擦抗剪力的影响

## 2 干接缝截面抗剪承载力公式推导

干接缝截面的抗剪承载力包括平接触面摩擦力、

剪力键以及预应力提供的抗剪力,此处将根据上文的分析结果,推导干接缝截面抗剪承载力的计算公式。需注意,若在输出接缝截面轴力及剪力等设计内力值时考虑了预应力作用效应,则计算接缝截面抗剪承载力时应忽略预应力提供的抗剪力。

### 2.1 剪力键抗剪承载力计算公式

参照相关试验研究,单排剪力键破坏时其根部区域的平均剪应力可取2.55倍的混凝土抗拉强度 $f_{tk}$ ;另由于剪力键抗剪承载力与剪力键宽度基本成正比关系,因此该文以此平均剪应力乘以剪力键根部截面面积( $b_k \times h_k$ )得到的抗剪力 $V_1 = 2.55 f_{tk} b_k h_k$ 为基准,同时增加一个反映压应力对抗剪承载力的影响系数 $\alpha_p$ 来确定单排剪力键的抗剪承载力 $V_{c1}$ 。即 $V_{c1}$ 计算公式为:

$$V_{c1} = 2.55 f_{tk} b_k h_k \alpha_p \quad (1)$$

为了归纳 $\alpha_p$ 的计算方法,根据1.1节得到的单排宽1 m的剪力键抗剪承载力(定义为 $V_0$ )随截面平均压应力 $\sigma_p$ 的变化规律(图4),将 $\sigma_p$ 除以混凝土轴心抗压强度 $f_{ck}$ 进行压应力的归一化,以考虑混凝土抗压强度的影响,并使 $\alpha_p = V_0/V_{c1}$ ,得出了 $\alpha_p/f_{ck}$ 随 $\sigma_p/f_{ck}$ 的变化规律曲线如图8所示。根据回归得到 $\alpha_p$ 的计算公式为式(2);另外考虑到 $\sigma_p$ 为0~0.7 MPa时,由于剪力键阴阳齿易发生滑移分离而导致剪力键抗剪承载力很小,因此当 $\sigma_p$ 小于0.7 MPa时,取 $\alpha_p = 0$ 。

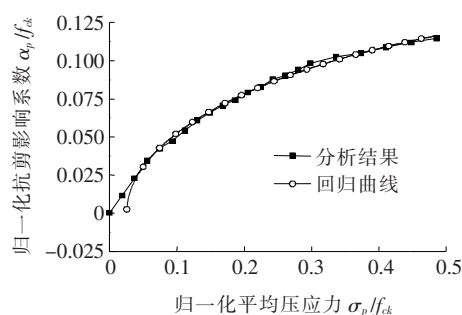


图8 剪力键抗剪承载力随平均压应力的变化规律

$$\frac{\alpha_p}{f_{ck}} = \sqrt{-0.001 + 0.03953 \frac{\sigma_p}{f_{ck}} - 0.0196 \left( \frac{\sigma_p}{f_{ck}} \right)^2} \quad (2)$$

在实际计算中,需根据接缝截面实际受力计算得到各排剪力键根部所受平均压应力,然后以式(1)计算每排剪力键的抗剪承载力,求和后乘以与截面剪力键数量 $n$ 有关的抗剪力折减系数 $\alpha_n$ ,即得到截面剪力键总抗剪承载力,根据1.1节分析结果并结合文献[6]可

偏安全确定  $\alpha_n$  取值, 即当  $2 \leq n \leq 3$  时,  $\alpha_n = 0.85$ ; 当  $4 \leq n \leq 5$  时,  $\alpha_n = 0.75$ ; 当  $n \geq 6$  时,  $\alpha_n = 0.65$ 。最终得接缝截面剪力键总抗剪承载力  $V_c$  计算公式如下:

$$V_c = 2.55 f_{tk} \times \sum_{i=0}^n (b_{ki} h_{ki} \alpha_{pi}) \times \alpha_n \quad (3)$$

式中:  $f_{tk}$  为混凝土的抗拉强度标准值;  $b_{ki}$ 、 $h_{ki}$  分别为第  $i$  排剪力键宽度和高度;  $\alpha_{pi}$  为第  $i$  排剪力键的平均压应力  $\sigma_{pi}$  对其抗剪强度的影响系数, 由式(2)计算, 当  $\sigma_{pi}$  小于 0.7 MPa 时, 取  $\alpha_{pi} = 0$ ;  $\sigma_{pi}$  为第  $i$  排剪力键根部所受平均压应力;  $n$  为剪力键总数量;  $\alpha_n$  为剪力键数量对其抗剪力的折减系数。

## 2.2 平接触面摩擦抗剪承载力计算公式

根据 1.2 节分析结果, 要推导平接触面摩擦抗剪承载力  $V_m$  的计算公式, 需考虑剪力键周围平接触面的分离效应; 为此, 基于 Abaqus 建立了增大平接触面积的单排剪力键局部模型, 以研究剪力键剪切破坏时平接触面分离面积与正应力的关系; 由于压应力越大则分离效应越小, 为偏保守地计算分离面积, 仅给出 1.0~6.0 MPa 范围内的压应力对平接触面分离面积的影响规律如图 9 所示。

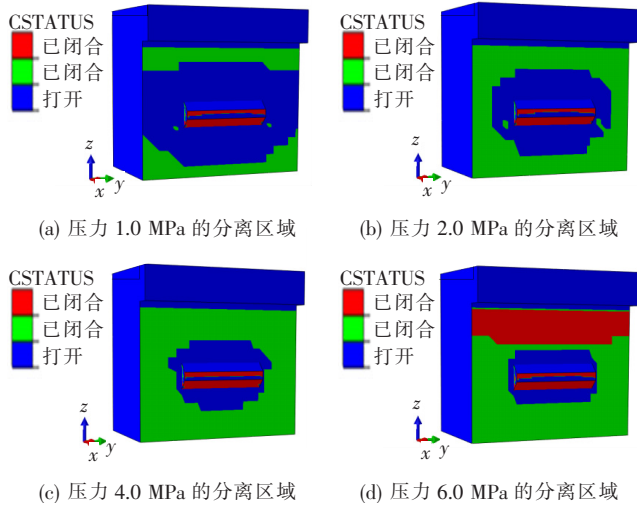


图 9 不同压力下剪力键破坏时平接触面的分离面积

由图 9 可知: 随着压应力的增大, 剪力键破坏时发生分离的平接触面面积逐渐减小, 减小的幅度也逐渐降低; 分离区域的截面总高度从 4 倍剪力键高度减小到 2 倍, 宽度从截面全宽减小至 1 倍键深。为简化同时偏安全地计算, 该文拟在受压区平均压应力大于 1.0 MPa 时, 平接触面分离面积统一取 2 倍剪力键总高度乘以截面全宽; 而当受压区平均压应力小于 1.0 MPa 时, 忽略平接触面摩擦提供的抗剪承载力。

在上述接触分离效应的分析基础上, 考虑倒 T 形

盖梁在接缝剪切破坏时接缝截面压应力近似为三角形或梯形分布而进行受压区高度  $x$  的等效, 推导出平接触面摩擦抗剪承载力  $V_m$  的计算公式应符合如下规定:

混凝土等效受压区高度  $x$  首先应按式计算:

$$\frac{M_k (y'_n - 1.5x)}{I_n} + \frac{N_p}{A_n} = 0 \quad (4)$$

若经式(4)计算得  $1.5x > (h_w + h_f)$ , 则以式(5)按压应力梯形分布计算混凝土等效受压区高度  $x$ :

$$x = \frac{2}{3} (h_f + h_w) \frac{3N_p I_n + M_k A_n (y'_n - 2y_n)}{2N_p I_n + M_k A_n (y'_n - y_n)} \quad (5)$$

(1) 当翼缘位于受拉区的 T 形截面且  $x < h_w$  时

$$V_m = \mu \sigma_n (b_w x - A_{kw} - h_{pw} b_w) \quad (6)$$

$$\sigma_n b_w x = N_p \quad (7)$$

(2) 当翼缘位于受拉区的 T 形截面且  $x \geq h_w$  时

$$V_m = V_f + V_w \quad (8)$$

$$V_f = \mu \sigma_n [b_f (x - h_w) - A_{kf} - h_{pf} b_f] \quad (9)$$

$$V_w = \mu \sigma_n [b_w h_w - A_{kw} - h_{pw} b_w] \quad (10)$$

$$\sigma_n [b_w x + (x - h_w) (b_f - b_w)] = N_p \quad (11)$$

(3) 当翼缘位于受压区的 T 形截面且  $x < h_f$  时

$$V_m = \mu \sigma_n (b_f x - A_{kf} - h_{pf} b_f) \quad (12)$$

$$\sigma_n b_f x = N_p \quad (13)$$

(4) 当翼缘位于受压区的 T 形截面且  $x \geq h_f$  时

$$V_m = V_f + V_w \quad (14)$$

$$V_f = \mu \sigma_n (b_f h_f - A_{kf} - h_{pf} b_f) \quad (15)$$

$$V_w = \mu \sigma_n [b_w (x - h_f) - A_{kw} - h_{pw} b_w] \quad (16)$$

$$\sigma_n [b_w x + h_f (b_f - b_w)] = N_p \quad (17)$$

$$h_{pf} =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^g 2h_{ki,f}, \text{ 剪力键间距大于剪力键高度} \\ h_{k1,f} + h_{kg,f} + d, \text{ 剪力键间距小于剪力键高度} \end{array} \right. \quad (18)$$

$$h_{pw} =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^j 2h_{ki,w}, \text{ 剪力键间距大于剪力键高度} \\ h_{k1,w} + h_{kj,w} + d, \text{ 剪力键间距小于剪力键高度} \end{array} \right. \quad (19)$$

式中: 若计算得  $V_f$  或  $V_w$  小于 0 时, 应取  $V_f = 0$  或  $V_w = 0$ ; 另外, 当  $\sigma_n < 1.0$  MPa 时, 应直接令  $V_m = 0$ ; 式(4)~(19)中:  $N_p$  为接缝截面预应力钢束永存应力提供的轴向分力合力;  $M_k$  为接缝截面的弯矩标准组合值;  $\mu$  为光滑混凝土接触表面之间的摩擦系数, 取 0.4;  $\sigma_n$  为接缝截面等效受压区平均压应力;  $b_f$ 、 $b_w$  分别为 T 形截面翼缘、腹板的有效宽度;  $h_f$ 、 $h_w$  分别为



T形截面翼缘、腹板的平均厚度; $h_{pf}$ 、 $h_{pw}$  分别为等效受压区高度范围内剪力键破坏时发生分离的平接触面计算高度; $x$  为接缝截面等效受压区高度; $A_n$  为接缝净截面积; $I_n$  为接缝净截面抗弯惯性矩; $y'_n$ 、 $y_n$  分别为接缝净截面重心轴至较大、较小受压区边缘的距离; $A_{kf}$ 、 $A_{kw}$  分别为等效受压区高度范围内剪力键根部截面面积和,计算公式为  $A_{kf} = \sum_{i=1}^k (b_{ki,f} h_{ki,f})$ 、 $A_{kw} = \sum_{i=1}^j (b_{ki,w} h_{ki,w})$ ;  $b_{ki,f}$ 、 $b_{ki,w}$  分别为等效受压区高度范围内第  $i$  排剪力键宽度; $h_{ki,f}$ 、 $h_{ki,w}$  分别为等效受压区高度范围内第  $i$  排剪力键高度; $g$ 、 $j$  分别为等效受压区高度范围内的剪力键数量; $d$  为等效受压区高度范围内存在多排剪力键时最外侧剪力键根部的间距。

综上所述,当接缝截面轴力及剪力等内力输出值考虑了预应力效应时,预制拼装盖梁干接缝截面抗剪承载力  $V$  的计算公式总结如下:

$$V = V_c + V_m = 2.55 f_{tk} \times \sum_{i=0}^n (b_{ki} h_{ki} \alpha_{pi}) \times \alpha_n + V_m$$

(20)

其中: $V_m$  的计算方法详见式(4)~(19),式中符号意义和规定同前述。

3 干接缝截面抗剪承载力公式验证

为验证式(20)的正确性,选取某桥宽为 26 m 的主线高架桥倒 T 形预制拼装盖梁实例,基于 Abaqus 建立有限元模型,盖梁采用 C40 混凝土,相应截面尺寸、接缝构造及预应力布置如图 10 所示,钢束均为  $12\phi^{*}15.2$ 。另外,模型在接缝截面翼缘从上至下布置 4 排高深比为 3、尺寸为 10 cm×10 cm 的梯形剪力键;材料本构与接缝参数与第 1 节一致,上部单片箱梁恒载下支座反力取 792 kN,材料强度均取标准值。

保持盖梁使用阶段下的恒载及接缝最不利车辆荷

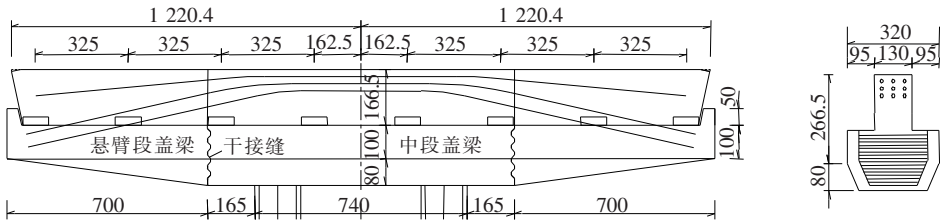


图 10 预制拼装盖梁构造尺寸(单位:cm)

载等作用工况不变,此时接缝截面的  $M_k$  为 412 kN·m、 $N_p$  为 18 802 kN;随后在悬臂段接缝截面施加 Z 轴负向的位移荷载以模拟接缝截面的剪切效应,直至接缝区域发生完全剪切破坏;为保证破坏状态为接缝截面剪切破坏,将接缝截面左右 40 cm 外的其他区域混凝土设定为弹性材料。图 11 为盖梁接缝区域发生破坏时的塑性应变分布图及最大剪力,则盖梁接缝截面能承受的极限剪力为 20 050 kN。

由  $M_k$  与  $N_p$  根据式(5)得到接缝截面等效受压区高度  $x$  为 3 412 mm,计算得受压区范围平均压应力  $\sigma_n$  为 2.51 MPa,同时得到各排剪力键根部的平均压应力  $\sigma_p$  如表 1 所示,则经式(14)可得  $V_m$  为 2 177 kN;此时查询模型结果得平接触面在极限状态下的真实摩擦力合力为 2 337 kN,与计算所得  $V_m$  相差 6.8%,进一步验证了  $V_m$  计算公式能较准确且保守地计算平接触面摩擦抗剪承载力。

结合平均压应力  $\sigma_p$  并根据式(3)得到各排剪力键的抗剪承载力亦示于表 1,求和计算得总抗剪承载力为 21 705 kN,同时需考虑 4 排剪力键折减系数  $\alpha_n =$

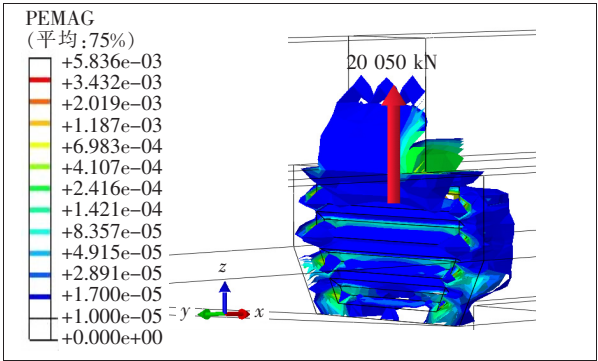


图 11 接缝截面剪切破坏时的塑性应变及最大剪力

表 1 各排剪力键抗剪承载力计算结果

剪力键	平均压应力 $\sigma_{pi}$ /MPa	剪力键高度 $h_{ki}$ /mm	剪力键宽度 $b_{ki}$ /mm	压应力影响系数 $\alpha_{pi}$	剪力键抗剪承载力/kN
第 1 排	2.46	300	2 400	1.33	5 861
第 2 排	2.49	300	2 400	1.34	5 908
第 3 排	2.51	300	2 200	1.35	5 445
第 4 排	2.54	300	1 800	1.36	4 490

0.75,最终得剪力键总抗剪承载力  $V_c$  为 16 278 kN。则接缝截面总抗剪承载力  $V=V_c+V_m=18\,455$  kN,比接缝截面的极限剪力值 20 050 kN 降低约 7.9%。因此,该文提出的接缝截面抗剪承载力计算公式与实际分析结果较吻合,可适用于实际工程。

4 干接缝截面抗剪承载力设计计算公式

式(20)用于设计时应在设计内力中考虑结构重要性系数,并将受拉区预应力钢束作为结构抗力,同时把材料强度标准值转换为设计值;因此,可得干接缝截面抗剪承载力设计计算公式如(21)~(23)。式(21)中系数 0.95 为考虑剪切破坏为脆性破坏而参照现行桥梁规范取的计算强度折减系数,而式(23)中的系数 0.8 为考虑预应力钢束受力不均匀的折减系数。

$$\gamma_0 V_d < 0.95(V_{cd} + V_{pd} + V_{md}) \tag{21}$$

$$V_{cd} = 2.55 f_t \times \sum_{i=0}^n (b_{ki} h_{ki} \alpha_{pi}) \times \alpha_n \tag{22}$$

$$V_{pd} = 0.8 \sum A_{pd} \sigma_{pd} \sin \theta \tag{23}$$

式中: $\gamma_0$  为结构重要性系数; $V_d$  为作用基本组合下接缝截面剪力设计值; $V_{cd}$  为剪力键抗剪承载力设计值; $V_{pd}$  为接缝截面预应力钢束合力设计值的竖向分力; $V_{md}$  为平接触面摩擦抗剪承载力设计值; $f_t$  为混凝土的抗拉强度设计值; $A_{pd}$  为预应力钢束的截面面积; $\sigma_{pd}$  为预应力钢束的永存预应力; $\theta$  为预应力钢束与梁轴线的夹角;另外, $V_{md}$  的计算公式与  $V_m$  一致,其余符号意义与计算公式同前述。

为了比较式(21)~(23)与文献[2]、文献[3]、美国 AASHTO 规范的公式在计算结果上的差异,表 2 给出了前述算例在施工阶段下分别由 4 种公式计算的接缝截面抗剪承载力设计值,其中接缝截面在基本组合下的弯矩设计值为 26 123.3 kN·m,剪力设计值为 8 477.5 kN。

表 2 各公式计算的接缝截面抗剪承载力设计值对比

公式出处	接缝截面抗剪承载力设计值/kN	与该文推导公式计算结果的比值
该文推导	15 589	1.00
文献[2]	16 862	1.08
文献[3]	19 957	1.28
美国 AASHTO 规范	27 673	1.77

由表 2 可知:该文推导的设计公式计算结果较小,且与文献[2]推导的公式结果较为接近,相差 8%左

右,但在分析时发现当文献[2]的计算公式应用于跨高比较小的盖梁时,某些作用组合效应下迭代计算易产生无解,有一定局限性;而文献[3]与美国 AASHTO 规范的公式计算结果偏大,这主要是由于其公式中均认为剪力键压应力与剪力键抗剪承载力成正比,对于剪压区高度及正应力较大的盖梁,会高估剪力键抗剪承载力。

5 结论

(1) 剪力键在压应力小于 0.7 MPa 时的抗剪承载力很小;随着压应力逐渐增大,抗剪承载力逐渐提高,而剪力键抗剪承载力与剪力键宽度成正比关系;另外剪力键数量的增加会导致剪力键受力不均匀,使总抗剪承载能力降低。

(2) 当剪力键发生破坏时,裂缝的开展会使剪力键周围的平接触面分离,导致切向摩擦力大幅降低,压应力越小分离现象越严重。

(3) 建立了干接缝截面抗剪承载力计算公式,并进行了数值分析验证,该公式可以较合理地反映各主要因素对接缝截面抗剪承载力的影响。

(4) 与其他文献及美国规范提出的干接缝截面承载力设计公式对比后发现,该文建立的设计公式计算结果较小,与文献[2]推导公式的计算结果接近,通用性较好,更适用于跨高比较小的预制拼装盖梁。

参考文献:

[1] 葛继平,梅德磊,闫兴非,等. 预制拼装盖梁施工方式对比分析[J]. 应用技术学报,2018(1).

[2] 李国平. 预制节段式预应力混凝土梁接缝截面抗剪承载力计算方法[C]. 第十一届后张预应力学术交流会议论文集,2011.

[3] 陈黎. 预制节段式混凝土桥梁干接缝抗剪性能研究[D]. 广东工业大学硕士学位论文,2013.

[4] 沙丽新,李国平. 典型城市高架倒 T 盖梁预制装配化设计关键技术研究[J]. 中国市政工程,2017(3).

[5] 张沛. 既有钢筋混凝土柱后接梁连接的抗剪承载力试验研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文,2007.

[6] CECS 43—1992 钢筋混凝土装配整体式框架节点与连接设计规程[S].

[7] 王志刚,余顺新,陈亚莉. 桥梁快速建造技术[J]. 中外公路,2018(4).

[8] TURMO J, RAMOS G, APARICIO A C. Shear Behavior of Unbonded Post-Tensioned Segmental Beams with Dry Joint[J]. ACI Structural Journal, 2006, 103(3), 409—416.