

桥梁荷载下跨谷拱桥岩质桥基岸坡稳定性分析

李陈啸

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 在桥梁荷载影响下, 跨谷拱桥岩质桥基岸坡的稳定性直接影响桥梁的安全。从当前情况看, 多数桥梁基岸岩体节理出现裂隙, 给行车安全带来严重影响, 对桥梁荷载下的岸坡稳定性进行评价非常重要。文中以佛山一环高速公路西线上桥梁为例, 分析荷载作用下跨谷拱桥岩质桥基岸坡的稳定性。

关键词: 桥梁; 跨谷拱桥; 岩质桥基岸坡稳定性

中图分类号: U447

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0166-03

伴随着高速公路建设量的增加及建设规模的扩大, 部分地区受地形影响开始建设大跨度拱桥。桥梁运行期间, 较大的荷载多由拱座传至基岩, 严重影响岸坡的稳定性。需从桥梁荷载对岸坡形状、位置的影响等出发评估岸坡的稳定性, 为日后桥梁岸坡加固提供可靠依据。

1 工程概况

佛山市一环高速公路全长 100 km, 其中一环西线长 20 km。佛清从公路的先行段和一环高速公路共线, 由罗南大桥、桂丹立交、G321 西立交、同济大桥、官窑立交等桥梁组成, 总长 12.5 km。其中季华路互通式立交跨线桥位于高速公路西线, 横跨佛山市季华路西延线, 主桥截面连续箱梁为单箱双室截面, 根部梁高 2.5 m, 顶部宽 19.68 m, 底部宽 13.68 m。腹板厚 45~75 cm, 外侧采用直腹板, 箱梁顶厚 28 cm, 底板厚 25~50 cm。按照单向预应力对箱梁进行设计, 每个腹板采用 6 束 17 根钢绞线, 设计荷载为 I 级。上部结构采用 C50 砼; 下部结构为双柱式桥墩, 间距 11 m, 直径 140 cm。桥台为座板式, 由 6 个 D150 cm 的桩基础组成, 后台设置搭板和耳墙。连续梁使用盆式支座, 桥台和共同墩的盖梁采用板式橡胶支座。为进一步了解佛山一环西线情况, 于 2016 年 5 月对该跨线桥进行荷载试验。

2 桥梁荷载下岸坡稳定性计算

2.1 计算模型

根据佛山地区的地质、地形建立模型, 尺寸为长 175 m、高 200 m、宽 80 m, 为六面体模型。为更好地模拟桥梁基岩、拱座的关系, 使用接触模型。

2.2 拱座—基岩接触模型参数选取

在三维情况下, 拱座—基岩接触面之间表现为切向滑动、粘结, 当 $\tau_1^2 + \tau_2^2 < \tau_{crit}^2$ 时, 桥梁基岩—拱座是粘结、不滑动的; 当 $\tau_1^2 + \tau_2^2 = \tau_{crit}^2$ 时, 桥梁基岩—拱座是滑动的。其中: τ_1 表示基岩—拱座的应力分量; τ_2 为剪应力在节理面上的分量; τ_{crit} 表示基岩—拱座的抗剪度, 计算公式为:

$$\tau_{crit} = \tau_0 + F \tan \varphi$$

式中: τ_0 为法向力等于零时的抗剪度; F 为基岩—拱座之间的接触压力; φ 为基岩—拱座之间的摩擦角度。

为得到拱座—基岩抗剪强度和摩擦角的准确值, 进行不同法向力的剪切试验。使用与拱座砼一致的配比, 下方基岩为中风化灰岩, 试验期间保持法向力不变、切向力增加, 直到破坏胶结面。试验结果见图 1。通过对不同法向力下胶结面峰值应力的分析, 得到拱座—基岩的接触参数 φ 为 45° , τ_0 为 1.037 MPa。

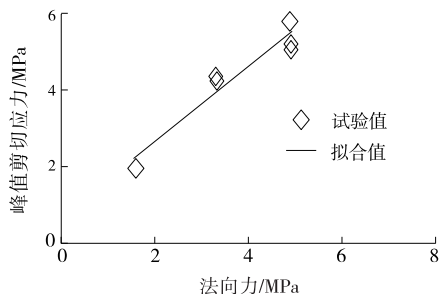


图 1 拱座—基岩剪切试验结果

2.3 岩体材料模型参数选取

分析佛山地区的地质勘察资料, 岩体层理的分布状况是影响岸坡稳定性的主要因素。使用节理材料进行模拟, 假设该模型的岩体节理小于整个模型

厚度,且相互连接。通常情况下,岩体由节理、岩块组成,其弹塑性行为可选用合适准则描述。

一般来讲,节理受力后表现为张开和闭合,当和节理面相垂直的压应力 ≤ 0 时,节理面不具备弹性,且处于张开状态;当压应力 > 0 时,缝隙多会闭合。岩体作为性能不同的材料参与到模型的计算中,必须保证滑动摩擦满足下式:

$$F_a = \tau_a - p_a \tan \varphi_a - c_a = 0$$

式中: τ_a 为剪应力在节理面上的分量; p_a 为作用在节理面上的压力; φ_a 为节理体系中的内摩擦角; c_a 为粘聚力。

考虑层理、竖向节理的影响,建立模型时仅需录入岩体节理的角度。估算节理材料岩块力学参数时,参照三轴试验结果(见图2)。根据图2,施工现场的灰岩有着较高的强度,为岩块弹塑性参数的明确奠定了基础。一般来讲,岩体节理面参数无法在试验中得出,需根据节理面结合度、岩体坚硬度,结合岩体分级标准确定节理面的摩擦破坏参数。

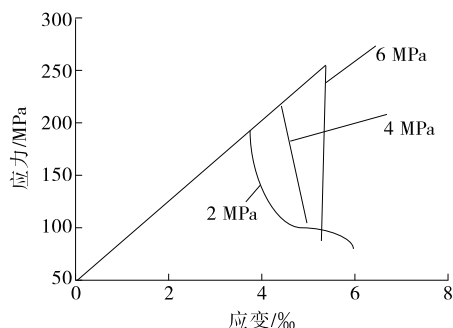


图2 灰岩三轴试验结果

2.4 计算工况

根据桥梁的地质情况,计算时考虑岸坡的顺层节理、垂直卸荷节理对稳定性的影响。当前多使用强度折减法对桥梁荷载下的岸坡稳定性进行评价,实际计算时需折减岩块和节理材料的力学参数。从自然状态下的岸坡稳定性和承担桥梁荷载后的岸坡稳定性两方面进行分析。

3 岸坡稳定性分析

3.1 自然岸坡稳定性分析

考虑节理影响时,必须了解折减中的岩质边坡塑性发展规律与均质土质边坡的区别。分析得知,贯通的塑性破坏区形成前,除在应力较集中的区域形成突出的塑性区外,边坡顶也会在垂直节理的影响下形成塑性区。当岩体的节理材料受到屈服性破

坏后,潜伏在滑动面上的应力会受到破坏,并和塑性区相互连接,最终形成整片的塑性贯通区。对整体塑性贯通区进行分析,可得在岩体节理材料影响下其滑动面多以折线形呈现。分析极限状态下岸坡位移场分布情况,发现滑动区多表现为折线形。另一方面,折减期间坡脚位移、等效塑性应变的变化规律与折减系数的变化规律类似,折减系数为2.50时,塑性应变、位移会在短时间内快速增大。由此可见,自然状态下的岸坡稳定性为2.50。

3.2 桥梁荷载下的岸坡稳定性分析

拱桥运行中,拱座受到的水平、竖向荷载多来源于拱肋,致使拱座一基岩处于受压状态。分析法向应力分布情况,当拱座后部、拱座一基岩接触面较大时,法向应力可达2.998 MPa,从而稳定胶结面。此外,荷载作用还会使基岩一拱座应力处于集中状态,从顺桥梁方向的剪应力分布状况来看,第一级台阶底部的剪应力较大,通常为0.70 MPa;从重力方向上的分布状况来看,基岩胶结面周围的剪应力最大,为0.1 MPa。当基岩一拱座之间的剪应力明显小于抗剪强度时,多处于粘结状态。

桥梁荷载作用下,若拱座一基岩胶结面多处于粘结状态,则不会产生巨大滑动,只会在拱座拐角处轻微张开或滑动,整个胶结面较稳定。荷载由拱座传至基岩,会增加拱座后部的基岩应力。从拱座后部基岩最小、最大应力分布情况来看,受桥梁荷载影响,拱座转角出现压应力集中现象且最大高达2.05 MPa,拱座周边围岩出现拉应力集中现象且最大达0.50 MPa,间接导致节理破坏、张开,影响岸坡的稳定性。

另一方面,受桥梁荷载的影响,处于强度折减状态的材料破坏多产生于拱座底部,原因为该部位拉应力集中,而且会逐渐转移至岩体内部。随着折减系数的增大,处于拱座底部的塑性区通常会和坡脚发展来的贯通区形成一种新的潜在滑动面,这种滑动面多会破坏拱座下的基岩,给岸坡稳定性带来严重影响。从荷载作用下岸坡位移场分布情况来看,拱座下方塑性贯通区的岩体位置移动较频繁,且移动距离较大。对荷载作用下强度折减过程中的塑性应变、坡脚位移进行分析,发现拱座下方的塑性区多处于局部贯通状态,从某种程度上降低了岸坡的稳定性,这种情况下岸坡系数为2.30。

3.3 边坡岩体破坏模式

(1) 自然状态下的破坏模式。对天然状态下边

坡岩体位移趋势进行分析,发现坡面、裂缝处的岩体移动最大,随着位置的不断移动,越向内部移动越小,多分布在变坡点周边。由于缝隙的存在,裂隙前坡体受后坡体影响后降低,故自然状态下的边坡较稳定,但岩体存在崩塌的可能。对边坡岩体位移率进行分析,发现桥墩后方的位移速率最大,缝隙接近桥墩一侧次之,边坡面最小。可见,边坡从坡后向前位移率变小,边坡较稳定。

(2) 桥梁荷载作用下的破坏模式。对荷载作用下的位移趋势进行分析,发现位移量由荷载下的岩体位移导致,不包括自然状态下的岩体变形。桥梁荷载影响下,底部岩体位移较大,约为自然状态下的50%,沿着陡倾节理水平向下位移,其深度为边坡内30 cm。受裂缝影响,荷载对裂缝至前倾岩体所产生的影响不大,多分布在岩体基础附近。桥梁荷载作用增强了岩体的运动趋势,其对岩体破坏度、位移有着一定影响,裂缝的存在并未对岸坡稳定性产生影响。对边坡岩体位移速率进行分析,发现荷载作用下的分布规律类似于自然状态,位移速率多集中于桥墩后方,裂缝至坡前侧位移速率逐渐减少,说明岩体位移速率集中于桥墩后侧,由坡后方至前方位移速率减小。

4 结论

强度折减期间,自然状态下的岸坡除在应力较集中的区域形成突出的塑性区外,边坡顶也会在垂

直节理的影响下形成塑性区,使滑动面以折线形呈现。在桥梁荷载作用下,应力多集中于拱座底部,使强度折减过程中的坡脚、拱座塑性区相互连接,并在底部形成新的破坏区,影响整个岸坡的稳定性。为从根本上预防拱座底部应力集中产生破坏,提高整个岸坡的稳定性,可选用中空锚杆对拱座后部基岩实施注浆加固。

参考文献:

- [1] 田洪铭,陈卫忠,郑鹏强,等.桥梁荷载下跨谷拱桥岩质桥基岸坡稳定性分析[J].岩土力学,2013,34(增刊1).
- [2] 张来强.连续刚构桥桥梁荷载试验检测技术[J].交通世界,2016(23).
- [3] 史晓贞.不等跨连续刚构桥桥梁荷载试验检测技术的发展与应用现状[J].工程建设与设计,2017,14(5).
- [4] 毕雨田.大跨度桥梁荷载试验结构变形测试与分析[J].交通科技,2016(2).
- [5] 孙春卫,巫锡勇,凌斯祥,等.深大宽张裂隙条件下岩质桥基边坡稳定性分析[J].铁道科学与工程学报,2016,13(11).
- [6] 刘湘.不等跨连续刚构桥桥梁荷载试验检测技术研究[J].北方交通,2017(7).
- [7] 张建明,陈正发,李文波,等.山区冷清公路岸坡路基坍岸预测评价方法研究及应用[J].公路交通科技:应用技术版,2017(3).

收稿日期:2018-02-22

(上接第165页)

从图6~9可看出:13日早晨7点,砼顶底板温度均在17℃以上,板厚位置温度甚至达到38℃,顶底板温差在15℃以内。由于砼水化热产生热量,导致厚板位置温度比薄板位置温度高。随着时间的推移,水化热降低,砼温度降低,但均在10℃以上,确保了新浇筑砼养护温度。顶底板温差随时间推移逐渐降到5℃以内,保证了砼拆模过程中不会产生温度裂缝。

3 结语

温度监测结果表明,该桥冬季施工方案可行,砼增温保温方案起到了较好效果,确保了砼表面、芯部、底部温度满足砼强度增长需要,且顶底板温差在5℃以内,满足施工技术规范要求,避免了温度裂缝

的产生;4d龄期强度达到设计强度的85%,超过抗冻临界强度(设计强度30%),满足抗冻要求。

参考文献:

- [1] 刘永民.铁路桥梁档碴墙、湿接缝混凝土冬期施工情况分析[J].工程技术与应用,2017(11).
- [2] 赵英光.淮池铁路特大桥冬期施工措施研究[J].铁道建筑技术,2013(增刊2).
- [3] 赵卫星,张勇.朔黄铁路冬季桥梁铺架湿接缝混凝土的研究及应用[J].铁道建筑,2005(6).
- [4] 樊文才.山区高速公路装配式预应力砼简支T梁桥横向布置对比分析[J].公路与汽运,2017(5).
- [5] 孟德友.填方路基及桥梁加宽拼接技术探讨[J].公路与汽运,2016(3).

收稿日期:2018-01-06