

水工挡土墙设抗滑凸榫的实践研究

余 昱

韶关市水利水电勘测设计咨询有限公司 广东韶关 512000

摘要: 本文主要围绕水工挡土墙底增设抗滑凸榫进行研究, 对凸榫增强挡墙抗滑稳定进行了分析, 并对抗滑凸榫的挡土墙稳定进行研究, 具体内容如下。

关键词: 挡土墙; 凸榫; 抗滑稳定; 抗倾覆稳定

引言:

我国幅员辽阔, 河流湖泊不计其数, 每逢汛期, 水灾频频发生, 为了“兴水利、除水害”, 人们在河道中修建了众多闸、坝、泵站、堤防等水工建筑物以抵御洪水的肆虐。水工挡土墙常常作为附属于水工建筑物的挡土建筑物, 几乎在所有防洪、治涝、灌溉、供水、航运、发电等水利水电工程中不可缺少的。它不但具有挡水作用, 而且兼有挡水、导水侧向防渗作用。挡土墙常见的有不均匀沉降、滑移破坏、倾覆破坏, 其中以滑移破坏见多, 在滑移发生初期即时采取有效的补救措施, 将能极大程度地减少经济损失。

一、凸榫增强挡墙抗滑稳定的总体分析

挡墙受外部荷载作用, 墙背受到的被动土压力可远大于作用于墙面的主动土压力。在中密砂性土质的情况下, 二者可相差5~10倍左右。凸榫是指在挡墙基底面增设的与挡墙基底胶结成整体的榫状凸块。挡墙基底应力作为基底岩土层的附加应力, 如能合理设计, 基底应力作用下, 凸榫块前沿将产生较大的被动土压力, 从而增强挡墙的抗滑稳定。有理论分析认为, 挡土墙出现的位移与墙后的土压力作用紧密关联。分析认为主动土压力达到峰值时挡墙的位移量为 $(-0.003\sim-0.001)h$ (h 为土体对挡墙作用力高度 (m)), 被动土压力达到峰时挡墙的位移量为 $(0.02\sim0.05)h$ 。

根据一般工程经验, 挡墙高度2.0~7.5m之间, 凸榫块高度一般在0.3~1.0m之间。根据上述研究, 墙背形成主动土压力后, 挡墙产生的位移允许值为0.002~0.0375m, 凸榫前土体产生被动土压力后, 凸榫和挡墙相应的位移值为0.006~0.05m。由此可知, 凸榫前土体产生被动土压力的位移值与挡墙受到主动压力产生的位移值有很大重叠区间, 即挡墙在受到主动土压力时, 合理设计凸榫结构及基底岩土层, 凸榫就能较好的受到榫前被动土压力作用。因此, 利用凸榫增强挡墙抗滑能

力是可行的^[1]。

二、抗滑凸榫的挡土墙稳定研究

挡土墙加凸榫后, 凸榫前缘受到被动土压力, 其与挡墙基底产生的摩擦力形成加强性合力, 对挡墙滑动形成有效阻力。有部分观点分析认为凸榫前土体计算被动土压力后, 不再计入其与榫前基底形成的摩擦力, 本次分析认为该方法偏保守。因为当凸榫设置于墙踵区时, 则挡墙基础基本无摩擦力, 仅剩凸榫被动土压力抗滑, 明显不合理。事实上, 墙趾至凸榫间的基底面存在压应力, 有滑动趋势下, 就存在摩擦阻滑力。因此, 实际是榫前增加的被动土压力与加榫前的水平抗滑力共同防止挡土墙滑移, 分析可知有凸榫的挡墙抗滑稳定安全系数 K_c 验算公式

$$K_c = \frac{E_p - 0.5(\sigma_1 + \sigma_2)Bf}{\sum E_H} \geq [K_c]$$

式中, E_p 为凸榫前缘受到的被动土压力作用合力(kN); σ_1 、 σ_2 为分别为墙趾、墙踵基底压应力(kPa); B 为挡墙基底面宽度(m); $\sum E_H$ 为作用于挡土墙的全部水平荷载(kN); $[K_c]$ 为规范给定的挡土墙抗滑安全允许值。

2.2 凸榫设置分析

水利、道路相关设计规范都无明确凸榫设置要求, 在铁路行业, 《铁路工程设计技术手册*路基(修订版)》^[2]第二十三章挡土墙设计第四节的第四小节提出了设置要求。根据铁路行业建议, 凸榫前被动土楔应能完整形成, 凸榫设置后不应增大墙背自发形成的主动土压力, 应将凸榫完全置于过挡墙墙趾与地基水平面成 $(45^\circ - \phi/2)$ 的直线、及过挡墙的墙踵并和水平面成 ϕ 角度的直线所形成的三角区域内, 如图1所示。水工挡土墙基础埋深在满足抗冲刷要求下, 墙趾无临空面, 即墙趾榫能完整成形, 基础设置的凸榫块体小, 对墙背土体无影响, 因此, 铁路行业的凸榫研究对水利行业仍有参考意

义^[3]。本次分析认为挡墙失稳临界工况下, 凸榫前土体抗剪破坏时, 破坏面与垂直附加应力(最大主应力)成 $45^\circ + \phi/2$, 因此, 破裂角与水平面成 $45^\circ - \phi/2$ 。破坏时, 凸榫后出现临空面, 墙踵后缘及榫后缘连线即是破坏角, 并不一定保证为 ϕ 。同时, 为保证挡墙是基本可按照水平滑动破坏计算, 而不是折线型滑动破坏, 凸榫位置及尺寸还是应在铁路行业的建议值内适当调整, 不宜偏离过大。

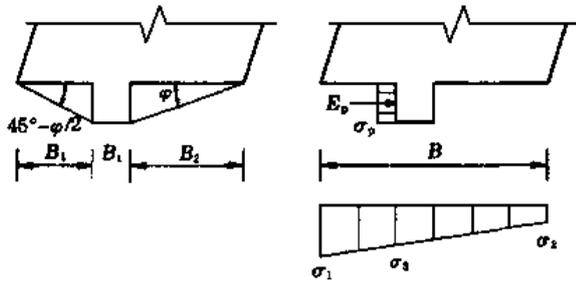


图1 凸榫设计示意图

因此, 设计合理的凸榫的点位、宽度及其高度有相关性, 取值如下

$$B_1 \geq H_t \tan(45^\circ + \phi/2)$$

$$B_2 = B - B_1 - B_3 \geq H_c \cot \phi$$

为避免墙趾底面冲刷影响, 保证榫前土楔完整成形, 凸榫前缘到挡墙墙趾的距离最小值 B_{1min} 的计算式如下

$$B_{1min} = B - \sqrt{B \left\{ B - \frac{2K_c' - E_x - Bf\sigma_1}{\sigma_1 [\cot(45^\circ + \phi/2) - \Gamma]} \right\}}$$

式中, B_1 为凸榫前缘与挡墙墙趾之间距离(m); B_2 为凸榫后缘与挡墙墙踵之间距离(m); B_3 为凸榫的宽度(m); H_t 为凸榫高度(m); K_c' 为无凸榫结构的挡墙的抗滑安全计算值; σ_3 、 σ_2 、 σ_1 为凸榫前缘处、墙踵、墙趾的计算压应力(kPa); ϕ 为凸榫底面所在地基土体相应内摩擦角($^\circ$); E_x 为作用于挡土墙全部水平荷载之和(kN)。

2.3 凸榫的高度计算

挡墙在基底摩擦力及凸榫被动土压力共同作用阻滑下, 凸榫计算高度 H_t 及榫前被动土压力如下:

$$H_t = \frac{[K_c] E_x - 0.5(\sigma_1 + \sigma_2) B f}{\sigma_p}$$

$$\sigma_p = 0.5(\sigma_1 + \sigma_2) \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

式中, σ_p 为凸榫前受到的被动土压应力(kPa)

2.4 凸榫的宽度计算

(1) 按截面弯矩求解

$$B_t = \sqrt{\frac{3E_p H_t}{f_t b}}$$

(2) 按截面剪力求解

$$B_t = \frac{E_p}{0.7 f_t b}$$

式中, f_t 为混凝土抗拉(剪)强度设计值; B 为凸榫截面长度, 取1000mm; E_p 为凸榫前受到的被动土压力(kN)。凸榫的设计取值宽度应取计算式(8)和(9)中分析结果的大值。应当指出, 对重力式挡墙与悬臂式或扶壁式挡墙同标号混凝土的抗拉强度 f_t 取值应当有所不同。

重力式挡墙基底一般是不允许出现拉应力的, 但凸榫受被动土压力下一定有受弯拉应力出现。凸榫属于挡墙的局部块体, 参照《混凝土重力坝设计规范》(SL319-2018)应力计算的规定, 混凝土的允许应力应当根据混凝土的极限强度除以相应的安全系数确定。当局部混凝土有抗拉要求时, 抗拉安全系数应不小于4.0。1) 重力式挡墙应严格控制拉应力, 综合来看, 采用4.0较大安全系数是合理的, 水利工程挡墙可采用铁路行业规范建议值进行控制。2) 悬臂式或扶壁式挡墙基底为钢筋砼底板, 凸榫及底板可按照水工混凝土结构设计规范规定的一般钢筋混凝土受弯构件进行拉应力复核, 拉应力应满足受拉应力允许值。

2.5 挡墙基底与凸榫的整体性设计

凸榫受到的被动土压力总体都较大, 因而保证凸榫结构的抗剪抗弯强度以及凸榫与挡墙墙体的胶结强度就显得相当重要。对重力式挡墙而言, 凸榫块体应与挡墙基础同时浇筑成型, 做好施工期温控措施, 连接面不得出现施工缝才能保证其整体性。对悬臂式挡土墙而言其墙身配有受力钢筋, 凸榫断面较小, 可配置一定的构造钢筋锚固连接, 凸榫块体与挡墙基础也应同时浇筑成型, 保证凸榫和挡土墙基础形成有效整体。

三、工程实例分析比较

文章结合某市区某河道堤防结构设计(设计图见图2), 分析悬臂式挡土墙基础增设抗滑凸榫前后的挡墙稳定情况。该河道是福清城区重要河道, 建设堤防等级为四级。因该河道护岸出现坍塌, 岸边有一高压电杆, 高压电杆无法迁移, 需对堤防进行应急修复, 保障电杆安全。

为不影响城市河道整体观感, 堤防需在原堤轴线处修复, 不能向河槽明显移位, 河槽侧边坡也不宜过缓。且边坡高度又较大, 过多的边坡开挖又将影响高压电杆

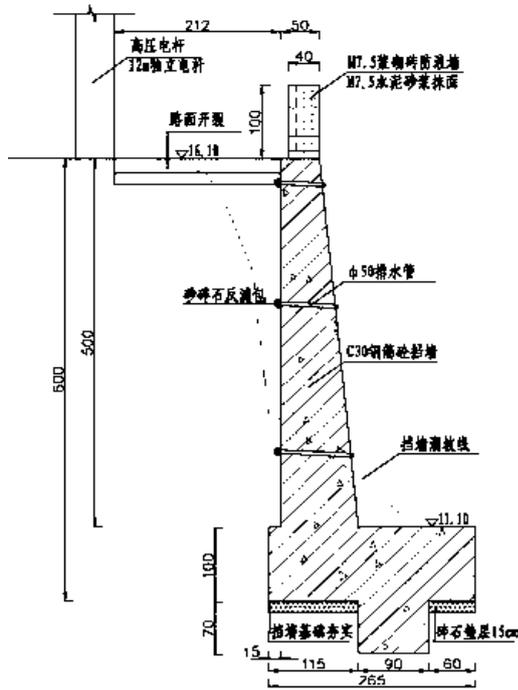


图2 堤防挡墙设计图

稳定, 因此, 采用薄壁式挡墙结合阻滑措施的方案成为一个必然方案, 综合分析后, 计划采用带凸榫的悬臂式挡墙方案。根据本河道相关地质勘察资料, 挡墙地基稳定层以砂砾石层为主。首先, 按照设计水位工况、堤顶附加荷载情况, 初拟合理挡墙断面, 计算得到挡土墙不带凸榫时的抗滑安全系数。再参照文章第2.2节分析, 初拟凸榫的点位及尺寸。通过反复试算, 挡土墙底板宽度 B 为2.65m。计算得凸榫前缘到挡墙墙趾距离 B_1 的理论长度为0.52m, 设计取值0.6m, 凸榫的理论高度 H_1 为0.3m, 增设垫层后, 实际设计值为0.7m。凸榫的理论宽度 B_1 为

0.42m, 实际取0.9m。凸榫后缘到挡墙墙踵的距离 B_2 为1.15m。经过复核计算, 挡墙底板及其凸榫设计尺寸满足式(3)、式(4)的要求。挡墙总重量为164.5kN, 正常工况下, 凸榫前缘的被动土压应力为74.4kPa, 设计工况下为97.2kPa, 可知凸榫受到的抗滑反力是比较大的, 对挡墙抗滑稳定能有显著效果, 被动土压力对挡墙基底的距离较小, 产生力矩较小, 因而对抗倾覆影响相对不大。

四、结语

(1) 挡土墙基底设置抗滑凸榫后, 利用凸榫前产生的被动土压力, 可明显增强挡墙抗滑能力, 提高挡墙安全裕度, 从而可实现结构及投资优化。(2) 应当指出, 凸榫应设置在基底中间区域, 凸榫尺寸应当在计算尺寸小范围内调整。设计值若是比计算值偏离过大, 挡墙将沿基底出现折线型滑动或倾斜面滑动, 凸榫将失去阻滑功能。(3) 凸榫结构是基于地基具有较好弹塑性, 松土地基或软土地基产生沉降及位移量偏大, 不具有被动土压力效应, 因此, 设计应结合实际工程地质情况, 在稳定性较好地基段, 挡土墙建设可考虑带凸榫的挡墙方案。

参考文献:

- [1] 吴景霞, 吴景生. 关于《水工挡土墙设计规范》土压力计算的商榷[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(S2): 87-89+94.
- [2] 王全前. 水位骤降条件下水工挡土墙的抗倾覆稳定计算方法[J]. 水运工程, 2020(11): 138-141+165.
- [3] 滕少华. 《水工挡土墙设计规范》中关于基底应力允许比值的探讨[J]. 水利规划与设计, 2018(06): 121-123.