

道路施工下高边坡及附近房屋的安全分析

汪质华¹, 李伟明¹, 张运良², 杨伟超², 安永林²

(1. 浙江黄衢南高速公路有限公司, 浙江 衢州市 324402;

2. 中南大学土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

摘要:针对长沙市井圭路改建工程遇到的高边坡失稳及房屋出现裂缝的问题,结合边坡工程地质条件,提出了抗滑桩与锚杆等联合加固的措施,同时对建筑物及边坡进行了施工安全监控。监测结果表明:路基开挖及边坡处理过程中地表的最大沉降量为12 mm,建筑物的裂缝伸张量一般在1.5 mm以内,说明施工过程中建筑物下部基础没有产生明显的不均匀沉降。进一步应用MADIS软件建立了施工仿真模型,分析了边坡与支护结构的变形受力特性,并与监测结果进行了对比分析。监测方案与研究可供类似工程参考。

关键词:高边坡;边坡加固;数字仿真;安全监测

长沙市井圭路于2007年8月开始改造,该路段有一段高边坡,坡高为9.65 m,坡顶为井湾子中学的2栋教职工宿舍楼及一排临时杂物间,其后为井湾子中学教学楼及办公楼。原坡面角约为70°,坡脚防护为砖质挡土墙(兼做路边门面房墙),坡面采用预制六方块护面。

在井圭路改造施工过程中,坡脚临时门面房与坡脚原有土体被挖除,致使道路的K0+170.75边坡东南角土体失稳,教职工宿舍楼前方地坪及台阶出现多条新的裂缝。

施工监测判断边坡有活动的迹象,考虑到井圭路改建过程中可能会对边坡稳定性造成进一步的影响,坡体达不到永久支护的安全等级要求,必须对边坡进行加固处理,同时进行全过程施工监测和工后稳定性评价^[1]。

1 边坡工程地质条件与加固措施

根据井圭路岩土工程详细勘察报告中勘察孔和现场路面开挖及其边坡出露情况,本边坡为土质边坡,从坡顶向下地层分别为夹砾粉质粘土层(Qel)和强风化泥质粉砂岩。地下水位埋深标高为69.60 m,距坡顶13.7 m。

采用抗滑桩、锚杆、框格梁相结合的方法对边坡进行加固处理,具体的支护结构和排水系统设计如下^[2-4]:

(1) 抗滑桩。桩径1.2 m,桩心距2.0~3.0 m,桩身配筋20Φ22(HRB335),箍筋Φ8@200,加强筋

Φ16@2000,砼强度等级为C25,桩长8 m。

(2) 冠梁。桩径为1.2 m桩,冠梁尺寸为1200×500;两侧面主筋为3Φ22,上下面主筋为2Φ16,箍筋为2Φ8@200,S筋为2Φ8@200,砼强度等级为C25,桩主筋入冠梁300 mm。

(3) 锚杆。设计3排,第1~3排距坡顶分别为:1.0,3.0,5.0 m。锚杆孔径为130 mm,水平间距2.5 m,锚杆长9.0 m,选用Φ25的Ⅲ级钢筋,倾角20°,M30砂浆。

(4) 框格梁及肋柱。尺寸均为300 mm×300 mm,水平间距2.5 m,垂向间距2.0 m。

2 施工安全监测

2.1 监测内容

根据《井湾子中学井圭路旁高边坡安全监控》的大纲,监测的主要内容为:地表沉降监测、坡面侧倾稳定性监测、表面裂缝监测。

2.2 监测方案

监测方案见图1。截面A、B、C为坡面侧倾稳定性监测,截面D为地表沉降监测。边坡与地表沉降监测采用全站仪,而裂缝监测采用裂缝仪。

2.3 监测结果

(1) 地表沉降主要发生在边坡的支护结构施工和道路开挖期间,其它时间变化较小。

(2) 路基开挖及边坡处理过程中地表的最大沉降量为12 mm,小于规范要求的30 mm,说明边坡变形在控制范围。工后1个月,地表虽仍存在沉降,但

沉降速率较小,小于 0.02 mm/d,达到规范要求,说明边坡内部岩土体进入阻尼和流变阶段,沉降开始

进入稳定期;工后 3 个月的累计最大沉降为 1.08 mm,说明边坡已稳定。

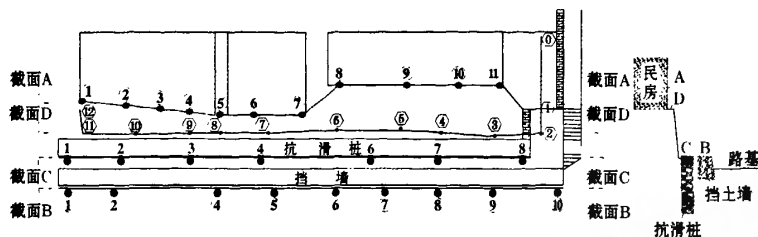


图1 现场监测方案

(3) 坡体普遍沿着坡面的外法向滑移,其中挡土墙的滑移量最大,其次为坡面顶部,建筑物滑移量最小,这说明地层滑移量与坡体地层损失有关。法向位移的不均匀变化造成的建筑物和挡土墙出现一定角度的前倾,但位移差不超过 5.6 mm,倾角不大于 0.12°,说明施工期间的位移量对边坡稳定性产生了一定的影响,但影响尚在允许范围内,且随着锚杆和坡面框格梁进入主要受力阶段,法向位移变化量进一步趋缓,边坡沿着外法向倾覆的可能性进一步减小。

(4) 施工期间建筑物的裂缝伸张量较小,一般在 1.5 mm 以内,说明施工过程中建筑物下部基础没有产生明显的不均匀沉降。工后建筑物和地表裂缝的变化普遍较小,最大没有超过 2 mm,说明施工后边坡体较稳定。

3 边坡防护结构内力分析

为了研究道路施工下高边坡位移场和应力场的力学行为特性,采用 MIDAS GTS 软件,建立平面有限元数值模型,通过与现场量测数据的对比,对边坡的稳定性进行了评价。

3.1 计算范围

根据已有的工程实践和数值计算结果,边坡向下距坡底 2 倍坡高处其应力变化一般在 5% 以下。因此,为减少有限元模型中边界约束条件对计算结果产生的不利影响,计算模型的边界范围在各个方向上均大于 2 倍坡高。具体计算时,计算域上部按实际情况建模,向下取 20 m,计算模型及网格划分见图 2 及图 3^[2]。

3.2 单元类型的选取

计算时假定岩土体为连续介质,采用平面等参数单元进行模拟。抗滑桩、框格架和肋柱采用梁单元模拟。锚杆支护模型假定锚杆与岩土体完全结

合,在岩土体发生变形时由锚杆通过充填物与岩土体间的剪切力来抵抗岩土体变形。在数值计算中,锚杆看作一个具有 2 个节点的线性单元,并只在受拉条件下发生变形和起作用,计算时锚杆采用杆单元模拟;砖混重力式挡土墙按等参数单元等效模拟。

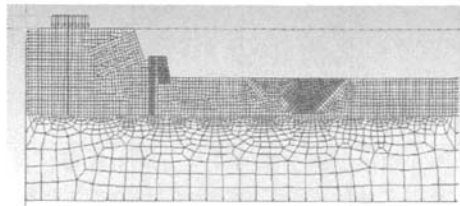


图2 平面计算模型(道路下水道开挖前)

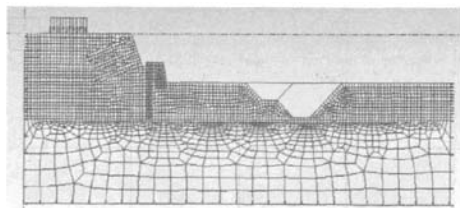


图3 平面计算模型(道路下水道开挖后)

3.3 塑性屈服准则

对于岩土类材料,当应力值达到一定条件时则发生屈服。此时的屈服条件可表示为^[2,3]:

$$f(\sigma) = K(\kappa) \quad (1)$$

式中: f 是由应力状态决定的函数, K 是由实验决定的材料常数。

本次计算中采用了 Drucker - Prager 屈服准则,其本构方程为:

$$\alpha J_1 + (J'_2)^{\frac{1}{2}} = k' \quad (2)$$

式中: $J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$

$$J'_2 = \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{2\sin\varphi}{\sqrt{3}(3 - \sin\varphi)}, \quad k' = \frac{6c\cos\varphi}{\sqrt{3}(3 - \sin\varphi)} \quad (4)$$

3.4 参数选取及施工步骤

计算时岩土体的各物理力学参数按《井湾子中学边坡加固工程施工图设计》文件选取,未给的部分参数参照边坡及岩土勘察设计手册选取,各参数具体取值见表1。

表1 材料物理力学参数

| 材料 | 容重 γ (kN/m ³) | 弹性模量 E (GPa) | 泊松比 μ | 内聚力 c (kPa) | 内摩擦角 φ (°) |
|-------|-------------------------------------|-------------------|--------------|------------------|-----------------------|
| 粉质粘土 | 19.9 | 5 | 0.25 | 24 | 24 |
| 强风化砾岩 | 21 | 8 | 0.25 | 0 | 45 |
| 素混凝土 | 22 | 21 | 0.18 | 1500 | 40 |
| 梁 | - | 31 | - | - | - |
| 锚杆 | - | 210 | - | - | - |

施工步骤模拟如下:原有坡面拆除;现有支护结构施做;道路开挖。

荷载考虑岩土体与支护结构的自重,对于坡顶建筑物的自重采用线压力荷载进行等效处理。

边界约束为:计算域底部采用铰支约束,两侧均采用法向约束。

3.5 计算结果

图4给出了岩土体的位移与应力分布。表2~表4给出了坡体表面位移、岩土体内部应力和锚杆轴力。

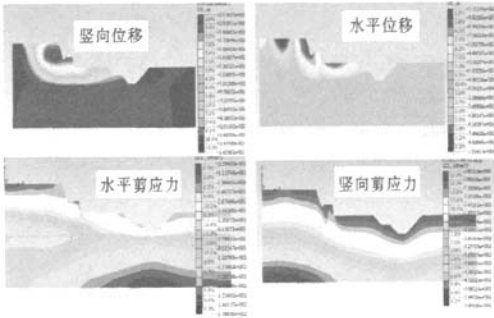


图4 数值计算结果

表2 坡体表面位移数值计算及现场量测结果对比

| 数据来源 | 坡顶(mm) | | 台阶处(mm) | | 坡脚(mm) | |
|------|--------|------|---------|------|--------|------|
| | 垂向 | 法向 | 垂向 | 法向 | 垂向 | 法向 |
| 计算结果 | -18.69 | 7.73 | -25.32 | 6.78 | -22.02 | 4.91 |
| 现场量测 | -10.85 | 3.85 | -4.15 | 6.05 | - | - |
| 误差比 | -42% | -50% | -82% | -11% | - | - |

3.6 计算结果分析

(1) 与数值计算相比,现场量测得到的坡体表面位移值较小,其中台阶处的垂向差20 mm,其主要原因是数值计算得到的是边坡开挖至道路施工两个方面的影响结果,而坡顶在建筑物和土体自重力作

用下已经完成了先期固结,现场量测结果仅为道路开挖对边坡的影响。

表3 岩土体计算结果

| 最大主应力 (MPa) | 最小主应力 (MPa) | 坡顶位移 (mm) | 层间剪切位移 (mm) | 屈服破坏 单元数 |
|----------------|----------------|--------------|----------------|-------------|
| 0.657 | -17.67 | 16.57 | 3.03 | 491 |

表4 锚杆轴力 单位:kN

| 锚杆编号 | 计算结果 | 锚杆编号 | 计算结果 | 锚杆编号 | 计算结果 |
|------|------|------|------|------|------|
| 1#锚杆 | 20.2 | 2#锚杆 | 18.9 | 3#锚杆 | 19.6 |

(2) 道路开挖前后岩土体的应力值变化不大,但是坡顶最大位移和节理最大位移值变化较大,部分单元出现拉伸破坏和屈服破坏。

(3) 锚杆的轴力不超过20.2 kN,小于锚杆的设计承载力70 kN,抗滑桩的剪力为75.2 kN,小于规范要求,由此认为支护结构受力是较合理的。

4 结 论

数值计算与现场量测得到位移结果规律基本吻合,但现场监测数据较小,其主要原因是数值计算得到的是边坡开挖及道路施工两个方面的影响结果,而坡顶在建筑物和土体自重力作用下已经完成了先期固结,现场量测结果仅为道路开挖对边坡的影响。施工期间及工后3个月未出现任何异常现象,均满足规范要求,说明边坡防护措施安全可靠。

参考文献:

[1] 彭立敏,张运良,杨伟超.井湾子中学井主路旁高边坡安全监控[R].长沙:中南大学土木建筑学院,2007.
[2] 赵淑燕.锚索框格梁及抗滑桩在高速公路高边坡滑坡治理中的应用[J].民营科技,2007,(7):5.
[3] 曾祥勇,邓安福.锚锚索与锚杆联合锚固支护岩坡的有限元分析[J].岩土力学,2007,28(4):790~794.
[4] 吴敬武,朱松坚,陶连金.公路石质高边坡开挖加固方案的优化研究[J].公路交通科技(应用技术版),2007,(11).
[5] 王瑞红,李建林,刘杰,等.虑岩体开挖卸荷动态变化水电站坝肩高边坡三维稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2007,26(S1):3515~3521.
[6] 彭立敏,刘小兵.交通隧道工程[M].长沙:中南大学出版社,2003:216~218.
[7] 安永林,彭立敏,赵丹,等.基于不同地表倾角的连拱隧道施工优化分析[J].郑州大学学报(工学版),2007,28(2).
[8] 朱向前.连拱隧道不同结构型式的力学特性分析与研究[D].长沙:中南大学,2005.

(收稿日期:2008-07-02)
作者简介:汪质华(1979-),男,浙江衢州人,工程师,主要从事高速公路施工与管理工作。