

建筑边距对岩坡地基及上部结构影响数值分析

邓安福, 郑冰, 曾祥勇

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要: 为节约用地, 山地城镇建设中有些建筑建于岩坡地基上, 岩坡地基与上部建筑结构之间的共同作用分析成为山区岩土工程实践中的一个课题。基于有限元分析的数值方法, 对均质岩坡上建筑边距(建筑距坡顶边缘的距离)对上部建筑结构与地基基础相互作用的影响进行了计算分析, 其中边坡地基为10 m高的直立岩坡, 基础为平板式筏基, 建筑边距分别考虑了2、5、8 m的3种情况。研究了3种建筑边距情况下边坡地基的强度变形情况及上部框架结构、筏板基础的内力和变形情况, 分析中上部结构、基础与边坡地基满足三者的受力平衡和变形协调条件。得出了相关结论, 对工程实践有一定参考意义。

关键词: 建筑边距; 均质岩坡地基; 框架结构; 筏基; 有限元分析

中图分类号: TU 470

文献标识码: A

Numerical analysis of influence of building distance on superstructure and rock slope subgrade

DENG An-fu, ZHENG Bing, ZENG Xiang-yong

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: With the development of cities in mountainous area, some buildings have to be situated on rock slope subgrade in order to save land. Interaction of slope subgrade and the building become a realistic research project. By using finite element method, interaction of a frame structure and raft foundation with homogeneous rock slope subgrade is computed. The computation examples are considered in 2m, 5m and 8m building distance circumstances. Rock slope subgrade is a 10 meters high vertical slope and foundation is raft. In interaction analysis, the interface of superstructure, raft foundation and slope subgrade satisfied the force balance and deformation compatibility requirements. In three building distances circumstances, strength and deformation development of the slope subgrade are researched. The internal force and deformation of raft foundation and superstructure are researched simultaneously. Some conclusions are drawn, so as to offer for reference in related engineering practice.

Key words: building distance; homogeneous rock slope subgrade; frame structure; raft foundation; finite element analysis

1 前言

我国是一个多山的国家, 约有2/3的陆地面积为山地, 随着我国各项建设事业的不断深入, 交通和住房用地成为困扰着山地城市发展的大问题^[1-2], 有些建筑只有建在坡地之上。图1为山地城市坡地建筑的典型概貌。

对坡地上的建筑项目, 因各种原因没有处理好边坡及上部建筑结构的设计、施工等工程问题, 导致边坡位移过大, 引发上部结构开裂的工程事故在一些山地城市时有发生。工程界应对坡顶建筑-基础

-边坡地基的相互作用机制问题引起重视^[3]。

针对山地建筑结构与边坡地基相互作用这一研究课题, 本文建立了边坡地基、坡顶框架结构及筏基共同作用的三维计算模型, 其中上部建筑的建筑边距(建筑距坡顶边缘的距离)分别考虑了2、5 m和8 m的3种情况, 岩质边坡地基为直立边坡, 坡高10 m, 基础采用平板式筏基。共同作用分析中上部结构、基础与边坡地基满足三者的受力平衡和变形协调条件。重点分析了各种建筑边距情况下考虑共同作用后的边坡地基强度变形情况, 以及上部框架结构与筏基的内力和变形情况, 并得出了相关的

结论,对山地城市边坡上的建筑工程实践具有一定的参考价值。

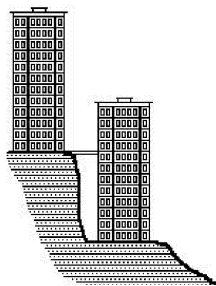


图1 山地城市坡地建筑概貌

Fig.1 Sight of buildings on the slope in mountainous city

2 工程背景

本文数值分析工作参照某小区小高层框架结构建筑边坡工程进行,下文分析中对该工程进行了适当的简化。如图2所示(以5 m建筑边距为例)。根据规划,该边坡采用90°坡角直立开挖,坡高10 m。边坡顶部为一框架结构,框架层高3 m,层数为10层,建筑边距考虑为2、5 m和8 m的3种情况,柱距沿开间和跨度两个方向均为6 m,柱截面尺寸为0.6 m×0.6 m,梁截面尺寸为0.3 m×0.55 m,框架梁、柱及筏基均采用C30混凝土。边坡岩体为西部地区多见的红层软岩,基础采用平板式筏形基础,筏板基础厚0.7 m。

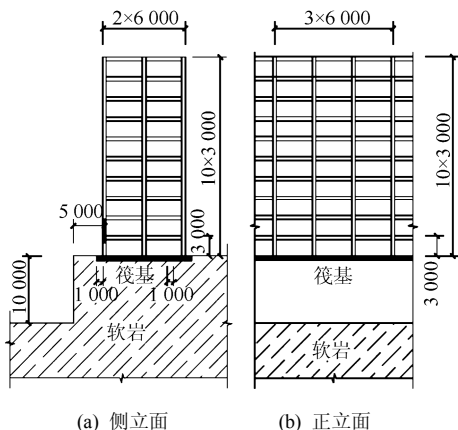


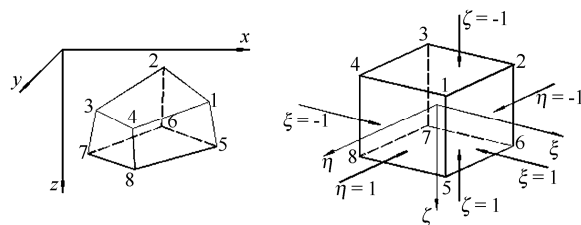
图2 软岩边坡及其邻近框架结构及筏板基础情况
(单位: mm)

Fig.2 Sketch of soft rock slope and the above building
(unit: mm)

3 数值分析模型及单元

数值计算采用有限元法进行^[4],计算中将边坡岩体视为均质体,采用空间8节点等参单元来模拟,单元形状如图3所示,单元中各个节点均具有沿空间坐标系 x 、 y 、 z 轴方向的3个自由度 u 、 v 、 w 。坡顶框架结构梁柱均采用空间2节点杆单元来

模拟,单元形状如图4所示,其单元节点自由度除 u 、 v 、 w 外,还有节点转角 θ_x 、 θ_y 、 θ_z ,如图5所示,筏基采用平面8节点等参弯曲单元模拟,其中板的受弯力学性能采用Mindlin中厚板理论进行模拟。

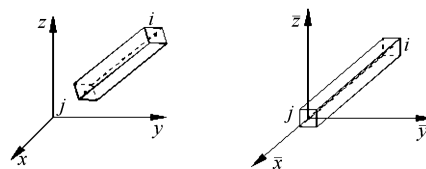


(a) 整体坐标系实际单元

(b) 局部坐标系标准单元

图3 空间8节点等参数单元

Fig.3 Isoparametric space element with 8 nodes



(a) 整体坐标系中的
实际单元(子单元)

(b) 局部坐标系中的正六
面体标准单元(母单元)

图4 空间2节点杆单元

Fig.4 Space beam element with 2 nodes

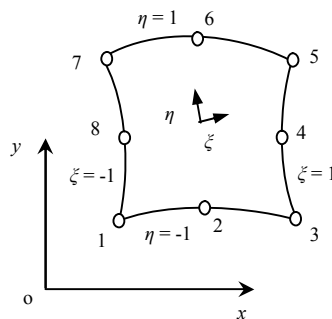


图5 平面8结点等参弯曲单元

Fig.5 Plane 8 nodes bending isoparametric element

上部框架沿纵向跨数较多,且边坡地基也具有一定的平面应变受力特征,在计算时沿纵向取边坡及坡顶框架结构的局部区段进行分析,可合理简化分析对象并节约计算工作量。由此,针对上述工程实际情况所取的三维计算模型及其网格划分和边界约束情况如图6(以2 m建筑边距为例)所示。

计算中,将柱脚与岩体接触点设为两种单元公共节点,由此保证坡体与建筑结构共同作用分析时建筑结构和地基的变形协调与受力平衡。

4 本构模型及计算参数

数值分析中将边坡岩体均视为均质体,本构模型采用能较好反映岩土体弹塑性性质的Drucke-

Prager (简称 D-P) 模型。D-P 模型是一种广义 Von-Mises 模型, 是对 Mohr-Coulomb 准则的近似, 在主应力空间中, D-P 屈服准则是 Mohr-Coulomb 的外角锥, 其平滑的锥面方便进行数值处理。由 D-P 模型的材料屈服条件可知, D-P 模型共有弹性模量、泊松比、重度、黏聚力、内摩擦角共 5 个参数^[5]。

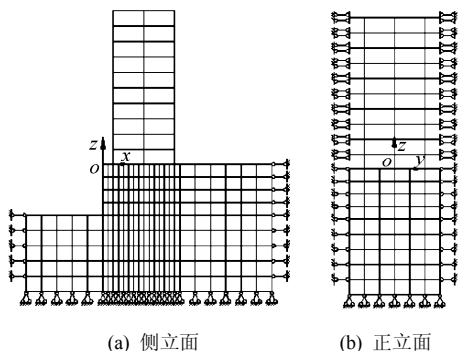


图 6 岩质边坡地基及其邻近建筑结构有限元模型及网格
Fig.6 Computation mesh and model of rock mass slope subgrade and neighbour structure

数值分析中边坡地基岩体(红层软岩)参数如表 1 所示。对边坡体而言, 其自身所带来的荷载为其自重, 有限元分析中, 根据岩体的密度, 将其转化为重力施加在岩体单元节点上。

表 1 边坡岩体参数

Table 1 Rock mass parameters of the foundation slope

弹性模量 E /MPa	泊松比 μ	重度 γ (kN/m ³)	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ / (°)
500	0.35	23.5	100	25.0

数值分析中边坡顶部框架结构梁柱及筏基均按线弹性材料考虑, 其计算参数弹性模量 $E = 30 \times 10$ GPa, 泊松比 μ 为 0.2。对框架结构而言, 其所受荷载可视为作用在各层框架梁上的线荷载, 计算中框架梁上的线荷载按照楼面设计荷载为 13 kN/m^2 换算确定。

5 计算结果及分析

5.1 边坡、框架结构及筏基的位移

3 种建筑边距情况下计算所得的边坡及其邻近建筑结构的水平位移和竖向位移如图 7 所示, 图中边坡剖面取图 6(b) 边坡正立面的中心剖面, 虚线为加载前未变形的坡体及建筑结构单元网格图, 实线为加载后变形的坡体及建筑结构单元网格图。由图可见, 建筑边距的增大可以有效减少边坡坡体的水平位移, 因此, 坡顶上部结构的水平位移也随之大大减小。对边坡坡体及上部结构的竖向位移而言,

建筑边距的增大对其影响并不大, 8 m 建筑边距情况下上部框架中点 1 的竖向位移与 2、5 m 建筑边距情况的值非常接近。

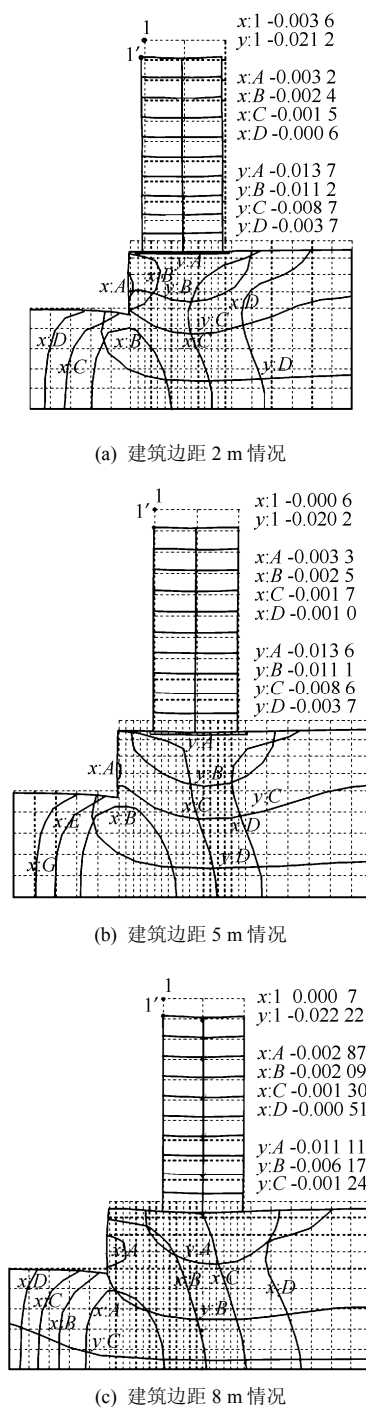


图 7 边坡及邻近建筑结构的位移等值线图(单位: m)
Fig.7 Displacement isoline of slope and neighbor building structure (unit: m)

5.2 边坡塑性区分布情况

3 种建筑边距情况下计算所得的边坡塑性区如图 8 所示, 图中边坡剖面取图 6(b) 边坡正立面的中心剖面。由图可见, 5 m 和 8 m 建筑边距情况下边坡地基中未出现塑性区, 表明建筑边距的增加能有效

提高边坡地基的稳定性及安全可靠度,对保证坡顶上部结构的安全也有重要意义。

5.3 筏板基础的挠度和内力

3 种建筑边距情况下计算所得的筏基沉降及弯矩如图 9、10 所示,图中筏板基础剖面取图 6(b)边坡正立面的中心剖面。

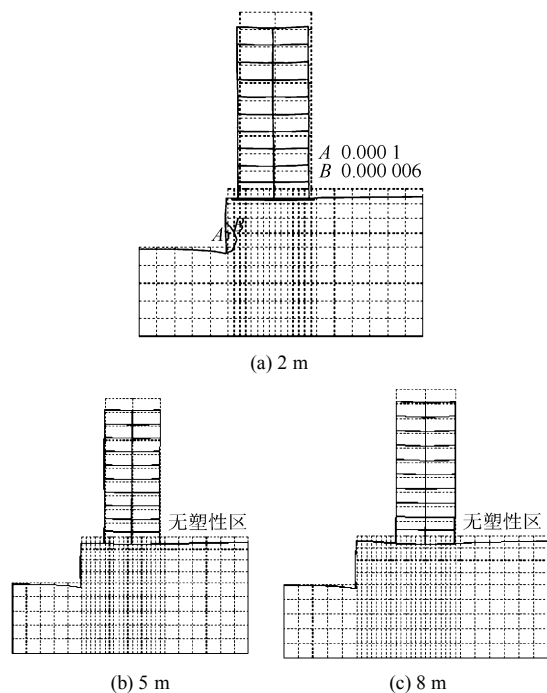


图 8 边坡剖面(xz 方向)塑性应变等值线图

Fig.8 Plastic strain (in xz direction) isoline of the slope

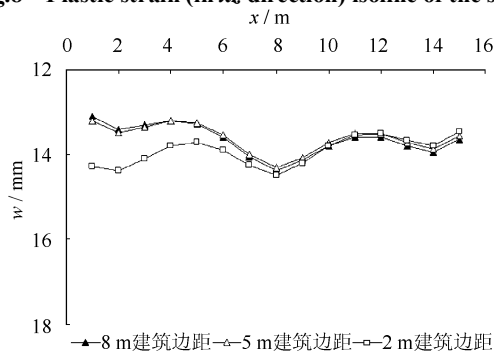


图 9 筏板基础竖向沉降位移图

Fig.9 Settlement of the raft foundation

由图 9 可见,建筑边距较大(8 m)情况下筏板基础的平均沉降量要小于建筑边距较小(5、2 m)情况。另外,建筑边距较大(8 m)情况下筏板基础中远离坡面的(图中右边)边柱下基础的沉降值比靠近坡面的(图中左边)边柱下基础的沉降值要大,而建筑边距较小(5、2 m)情况下筏板基础的沉降情况则是恰好反之。造成这种基础沉降整体倾斜及倾斜方向相反的现象有两方面的因素,一方面是边坡地基的特殊情况造成了地基顶面自身的不均匀沉降变形,从而带来了基础沉降的整体倾斜;另

一方面是由于建筑边距较大(8 m)情况与建筑边距较小(5、2 m)情况下坡体的水平位移方向相反,从而造成两种情况下基础沉降的整体倾斜方向相反,由此可见,建筑边距对基础的沉降整体倾斜及倾斜方向均会带来直接影响。

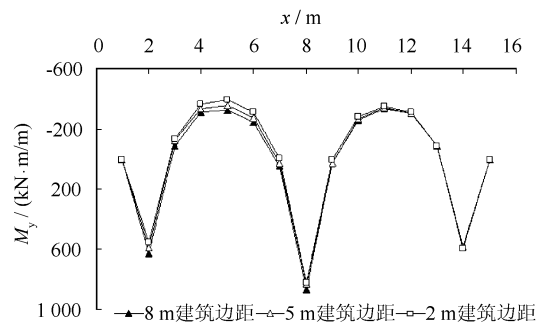


图 10 筏板基础弯矩

Fig.10 Moment of the raft foundation

由图 10 可见,3 种建筑边距情况下筏板基础的弯矩分布基本接近,对柱下部位基础弯矩而言,靠近坡面处的边柱及中柱处,建筑边距较大(8 m)情况对应的基础正弯矩值要比建筑边距较小(5、2 m)情况相对要大一点,远离坡面处的边柱情况则与此相反。对柱间板跨中间部位基础弯矩而言,建筑边距较大(8 m)情况对应的基础负弯矩绝对值均要比建筑边距较小(5、2 m)情况相对要小一点。

5.4 坡顶邻近建筑结构内力

框架梁柱内力如图 11 所示,图中所取的框架为图 7(b)的中间框架。

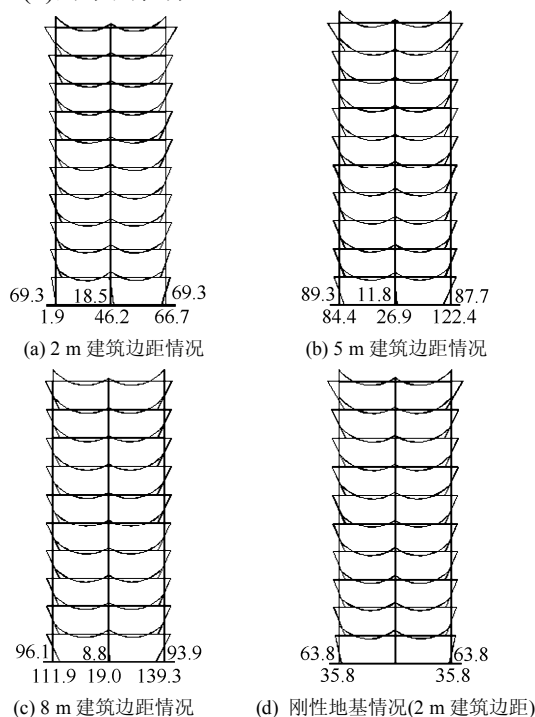


图 11 坡顶建筑结构的弯矩内力(单位: kN·m)

Fig.11 Internal moment force in neighbor building structure (unit: kN·m)

由图 11 可知, 建筑边距对边坡邻近建筑结构的内力有重要影响, 其中对底层柱的内力影响尤其明显。对于 8 m 建筑边距情况, 边坡邻近建筑结构在底层内力的对称程度要高于 5 m 和 2 m 的建筑边距情况, 即随着建筑边距的增加, 上部结构弯矩分布会趋于对称(底层中柱弯矩亦逐渐减小)。对比 8 m 建筑边距与刚性地基情况可以发现, 随着坡度的减缓, 坡顶建筑结构的内力虽然趋于对称, 但底层框架边柱的弯矩内力值明显较刚性地基的常规情况下要有所增大, 尤其是边柱柱根处的弯矩内力表现更为明显, 在结构配筋设计的时候应注意到这种情况下与常规情况的区别。

6 结 论

(1) 增大建筑边距能有效减少坡体水平位移, 上部结构的水平位移也随之大大减小, 故能提高边坡的安全度, 对保证坡顶上部结构的安全也有重要意义。建筑边距的增大对边坡体及上部结构竖向位移的影响相对较小;

(2) 建筑边距越大, 筏基的平均沉降量越小, 建筑边距较小时, 筏基整体倾斜为近坡面沉降大, 远离坡面沉降小, 边距较大时反之;

(3) 建筑边距的改变对基础弯矩略有影响,

相对而言, 对近坡面的基础弯矩内力影响较大, 距坡面越远, 基础的弯矩内力改变越小。对近坡面的基础弯矩而言, 建筑边距越大, 柱底处的基础内力(正弯矩)越大, 柱间处的基础内力(负弯矩绝对值)则会减小;

(4) 随着建筑边距的增加, 上部结构弯矩分布虽趋于对称, 但底层框架边柱的弯矩内力值较刚性地基的理想情况有所增大, 且柱根处表现更为明显, 结构设计时应加以注意。

参 考 文 献

- [1] 吴曙光. 建筑岩质边坡稳定与控制研究[博士学位论文 D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [2] 许强, 黄润秋. 重庆市建筑开挖边坡稳定性评价及支护措施探讨[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(1): 32—38.
- [3] 刘东, 匡立新. 坡顶住宅开裂原因探讨[J]. 化工矿产地质, 2004, 26(2): 117—121.
- [4] 王勖成, 绍敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [5] 龚晓南. 土塑性力学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999.