

黄土坡滑坡的离散元研究

安关峰, 殷坤龙, 唐辉明

(中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 根据黄土坡滑坡所处的深部地质和表层古滑坡体结构特征, 建立滑坡地质环境模型, 运用离散元数值模拟方法研究黄土坡滑坡与深部地质环境的关系, 明确了其形成机理, 认为软硬相间的岸坡地层及顺向坡特点构成了黄土坡滑坡形成的物质条件和发生背景环境, 其内在力学机制是深部软硬相间岩层在重力蠕滑作用下发生的拱张, 在考虑不同荷载组合的情况下预测评价滑坡的稳定性变化, 滑坡体上建筑荷载会抑制中部剪切滑移区的发展, 但能使滑坡体前端剪切滑移区扩大, 从而降低滑体前缘的稳定性。

关键词: 黄土坡滑坡; 地质模型; 离散元分析; 滑坡机理。

中图分类号: P642.22 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)04-0464-03

作者简介: 安关峰(1970-), 男, 现在中国地质大学工程学院博士后站从事科学研究, 主要研究方向是地质灾害及岩土工程数值模拟。

黄土坡滑坡位于湖北省巴东县城上游约 1 km 的长江南岸, 是三峡库区中的一处大型古滑坡, 滑坡面积 1.38 km², 平均厚度约 30 m, 体积 4×10⁷ m³。1982 年以来, 作为巴东县城早期的迁建新址, 滑坡体上已经开展了较大规模的工程建设, 修建了大量的建筑物, 新城具有了一定的规模。后经深入工程地质勘探与论证, 巴东新址主体已移至上游的西壤坡一带^[1]。

黄土坡滑坡前缘高程为 80 m, 位于长江边, 后缘约 640 m, 225 m 高程以下地形坡度 30°~40°, 中部地形坡度在 20°左右。滑坡体物质组成包括中三叠统巴东组第二段紫红色泥岩夹粉砂岩、第三段泥灰岩, 岩石为破碎的块状结构。滑坡区所处的地质构造单元属于官渡口向斜的南翼, 向斜核部位于滑坡前缘的长江河床, 滑坡区的地层产状总体倾向长江, 层面呈波状起伏特点, 属于易滑坡地质构造单元和岩层组合。黄土坡滑坡后缘之外出露有下三叠统嘉陵江组灰岩, 地层产状变陡。野外地质调查和深部地球物理勘探证实下统嘉陵江组与中统巴东组第一段之间有断层存在。黄土坡滑坡所涉及的地层范围限于该向斜构造的表层, 是易滑坡地质构造单元和岩层组合地质环境在长江下切过程中的古滑坡作用形成的。

本文根据黄土坡滑坡所处的深部地质和表层古滑坡体结构特征, 建立滑坡地质环境模型, 在考虑其稳定性影响因素的基础上, 运用离散元数值模拟方法研究黄土坡滑坡与深部地质环境的关系, 在考虑不同荷载组合的情况下预测评价滑坡的稳定性变化。

1 离散元基本原理

离散元是求解块体集合体在外力作用下, 块体间的相互作用及运动过程的有效方法。它是在块体准刚性假设的前提下, 以牛顿第二定律为理论基础建立起来的, 它研究块体集合体的运动特征问题, 并以微小运动状态的求解模拟地质体的宏观大变形。其基本思想是将岩体视为由裂隙切割的非连续介质, 块体间按照岩体的裂隙切割形式相互镶嵌排列, 构成块体的集合体。当这一集合体作用力系或其边界约束条件发生变化时, 块体间就会产生相互作用力(包括重力的分力), 从而导致块体产生一定的加速度及相互位移, 使其空间状态发生变化。位移的块体之间, 由于差异位移矢量的存在, 从而使块体之间彼此又发生新的作用, 这种作用在离散单元法中用块体之间的“叠合”描述, 根据力—位移关系, 按照“叠合”位移又可计算出新的作用力系, 从而计算出集合体各块体在新的力系作用下的加速度、位移及

新的运动位置. 如此反复迭代, 直至整个体系作用的力系达到新的平衡状态为止^[4].

2 地质力学模型确定

离散单元法主要是针对节(劈)理岩体提出的, 其单元的划分根据节理的自然切割状况而定. 因而对于黄土坡滑坡, 笔者选定层面、各劈理面作为结构面来划分单元. 经过手工剖分, 划分出单元 372 个, 节点 391 个. 并将边界均作为固定处理(除自然边界外). 考虑到巴东断裂对深部地质作用的影响, 故地质模型确定过程中将其纳入. 在模型计算过程中主要考虑在重力作用下, 黄土坡的应力场特征与形成机制. 具体地质力学模型见图 1a, 为突出滑体特征. 单独采用放大滑坡体, 以其本身为主要研究区, 剖分为 39 单元、60 个节点, 确定了地质模型 2(图 1b)

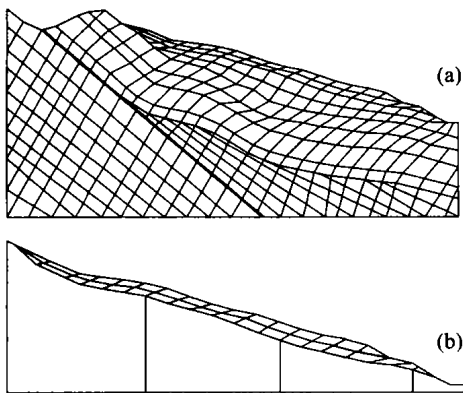


图 1 地质模型 1, 2 离散单元划分
Fig. 1 Geological models 1, 2

3 基本参数与计算方案

根据有关研究法向刚度系数 k_n 可以等于岩体的弹性模量, 切向刚度 $k_s = sk_n$, $0 < s < 1$, $s \approx 0.25$ 时效果最好. 根据测试、类比和计算过程中的合理调整, 最终采用的计算参数如表 1.

荷载作用考虑重力、现有建筑荷载(按平均 0.6

表 1 黄土坡滑坡离散单元计算参数

Table 1 Mechanical properties for discrete element calculation

模型	接触			劈理面			块体 联结力
	μ	$k_n / (MN \cdot m^{-1})$	$k_s / (MN \cdot m^{-1})$	μ	$k_n / (MN \cdot m^{-1})$	$k_s / (MN \cdot m^{-1})$	
1	0.26	21 042	5 260	0.23	14 729	3 682	0.0
2	0.26	2 000	200	0.23	333	83	0.0

表 2 离散元计算方案

Table 2 Calculation designs of discrete element method

模型编号	方案编号	受力情况
地质模型 1	DESIGN1	自重
	DESIGN2	自重
地质模型 2	DESIGN3	自重+0.6 MPa 建筑荷载
	DESIGN4	自重+0.6 MPa 建筑荷载+水平地震荷载

MPa 计)和 VI 度地震烈度的水平向加速度 ($a = 0.63 \text{ m/s}^2$)(表 2).

4 计算结果分析

4.1 地质模型 1 计算结果

在自重作用下, 应力场(图 2a)受劈理切割影响, 主应力方向均有一定量的偏转, 应力集中部位位于劈理密集、地层产状变化较大的断层带上. 另外, 就滑体而言, 滑体后部和前缘应力也相对集中. 滑体中部最大主应力方向与坡体大角度相交, 显然这种应力分布特点不利于滑体的稳定. 图中应力偏转特点受到劈理分布、断层带位置的影响, 这一计算结果与 Chappell 通过试验证实块体系统中应力的分布与节理刚度和节理镶嵌形式^[3]相吻合.

自重作用下剪切滑移区(图 2b)显示断层带为主要的滑移带. 就滑体而言, 滑体中部和后部均有明显剪切滑移带. 滑体滑移带的分布与深部岩体中剪切滑移带分布存在相似规律, 即近平行于斜坡坡面的弧线形. 这证实滑坡产生是深部岩体变形在近地

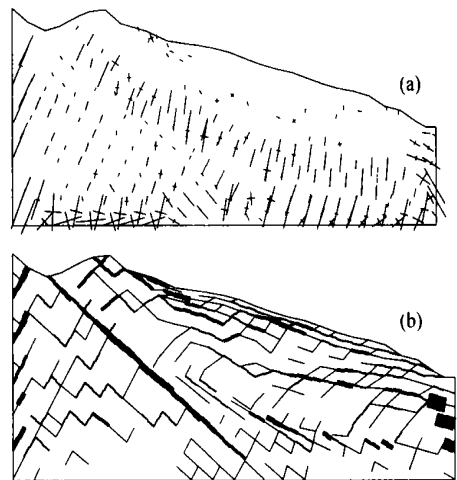


图 2 模型 1 自重作用下的应力场及剪切滑移区

Fig. 2 Stress field and shear sliding zone by gravity for model 1

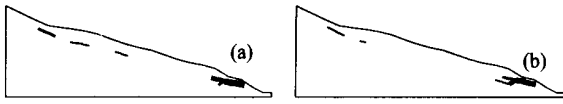


图 3 模型 2 自重作用下的剪切滑动区及自重与建筑荷载作用下的应力场

Fig. 3 Shear sliding zone by gravity and stress field by gravity and building load for model 2

表的直观反映. 滑动剪切区的分布特点较好地反映了研究区断裂, 不同岩性的作用及表层岩体的滑动情况.

4.2 地质模型 2 计算结果

在自重作用下, 黄土坡滑坡剪切滑动区(图 3a)显示在滑坡后缘、中后部滑带与滑坡体前端滑动明显, 特别是滑体前缘, 这反映滑坡体前端稳定性较差. 在自重与建筑荷载作用下, 滑体前端应力集中部位位置没变, 数值略有变化. 但值得注意的是在滑带中后部出现最大主应力垂直坡面. 剪切滑动区(图 3b)显示建筑荷载抑制部分中部滑动剪切区, 但是同时使得滑体前缘的滑动剪切区扩展, 增大了滑体前端的不稳定性.

在自重、建筑荷载与地震作用下, 应力场显示在原来的应力集中部位应力进一步提高, 从而增大了前端的不稳定性. 滑坡体几何变形显示滑坡体前端变形增大, 在局部有发生坍塌的可能.

5 结论

(1) 软硬相间的岸坡地层及顺向坡特点, 构成了

黄土坡滑坡形成的地质背景条件. (2) 离散单元分析的结果表明, 黄土坡滑坡产生的内在力学机制是深部软硬相间岩层在重力蠕滑作用下发生的拱张, 然后映射到地表造成地表岩层拱张溃屈破坏. 这从力学机制上揭示了黄土坡具有二次滑动的特点. (3) 滑坡体上建筑荷载会抑制中部剪切滑动区产生, 但是使得滑坡体前部剪切滑动区扩大, 从而使得滑体前缘的稳定性降低. (4) 6 度地震力作用虽然对滑坡整体稳定性影响不大, 但会促使滑体前缘发生坍塌破坏.

参考文献:

- [1] 吴永丰. 黄土坡滑坡及其主要问题[A]. 见: 崔政权, 邓清禄. 岩土工程论文集[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
WU Y F. Huangtupo landslide and its main problems[A]. In: CUI Z Q, DENG Q L, eds. The proceeding of geotechnique [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press 1999.
- [2] 王泳嘉, 邢纪波. 离散单元法及其在岩土力学中的应用[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1992.
WANG Y J, XING J B. Principle of discrete element method and its application to geo-mechanics [M]. Shenyang: Northeast Poly-technology Institute Press, 1992.
- [3] 周维垣. 高等岩石力学[M]. 北京: 水力电力出版社, 1993.
ZHOU W Y. Advanced rock mechanics [M]. Beijing: Hydro-electrical Publishing House, 1993.

Discrete Element Analysis of Huangtupo Landslide

AN Guan-feng, YIN Kun-long, TANG Hui-ming

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the deep geology and the geological structure characteristics of the ancient landslide body, a geo-environmental model of Huangtupo landslide in the reservoir of Three Gorges is established to quantitatively analyze the mechanism of the sliding in terms of discrete element method. It is concluded that inter-bedding structure of soft and hard formation consists of the main geological background, which induced the arching of the formation under gravity. Stability analysis by considering different loadings shows that ground building load in the middle can restrain the development of shear sliding zone in the middle, but may extend the shear sliding zone at the foot area which will reduce the safety of the front.

Key words: Huangtupo landslide; geological model; discrete element analysis; mechanism of landslide.