

微震监测在地基土体变形预测中的有效性研究

Study on the Effectiveness of Microseismic Monitoring in the Prediction of Soil Deformation

何依格¹ 邱振原¹ 陈茜琳¹ 刘畅¹ 林裕妍¹ 关培熙¹

Yige He¹ Chen-Yuan Chiu¹ Chen Xilin¹ Chang Liu¹ Lin Yuyan¹ Peixi Guan¹

(1. 嘉应学院土木工程学院, 广东梅州 514015)

(1. School of Civil Engineering, Jiaying University, Meizhou, Guangdong, 514015, China)

摘要: 广东省梅州市位于华南地震内带, 近年有多达 1000 次的大小型地震, 属于弱震带地区, 本研究选取“全国综合减灾示范社区”大埔县丰溪林场七里溪村作为实地监测点, 该地区地质构造复杂, 地基土体类型多样, 易受到地质灾害, 为研究地基土体在地壳运动时变形程度的理想区域。本研究通过微震监测岩体破裂产生的震动或其他物体的震动, 对评估结构地震响应的不同方法进行了详细的比较分析, 重点关注最大位移和倒塌评估。比较了通过模态谱分析、非线性动力学分析和应用于特定结构的增量推移分析获得的结果。研究发现, 时间长短的选择和对延展性的考虑对于获得准确的预测至关重要。对建筑物响应的非线性动力学分析结果表明, 地震将对所研究的结构产生毁灭性影响, 突出了有限元方法建模在预测塑性铰链形成和评估结构安全性方面的重要性。这些发现凸显了利用多种分析方法和详细建模来充分了解结构的地震行为并确保对极端事件有足够的抵抗力和稳定性的重要性。

关键词: 微震监测; 模态谱分析; 非线性动力学分析; 有限元方法; 增量推移分析

Abstract: Meizhou City, Guangdong Province, is located in the seismic zone of South China, and in recent years there have been as many as 1,000 large and small earthquakes, belonging to the weak seismic zone. In this study, the “National Comprehensive Disaster Reduction Demonstration Community”, Qilixi Village, Fengxi Forestry Farm, Daipu County, was selected as the field monitoring site, which has complex geological structure, various types of foundation soil, and is susceptible to geologic hazards, and is an ideal area to study the degree of deformation during crustal movement. It is an ideal area to study the deformation degree of foundation soil during crustal movement. In this study, a detailed comparative analysis of different methods for assessing the seismic response of structures, focusing on maximum displacement and collapse assessment, was carried out by microseismic monitoring of vibrations generated by rupture of rock bodies or vibrations of other objects. The results obtained through modal spectrum analysis, nonlinear dynamics analysis and incremental nudge analysis applied to specific structures are compared. It was found that the choice of duration and the consideration of ductility are crucial for obtaining accurate predictions. The results of the nonlinear dynamics analysis of the building response indicate that earthquakes will have a devastating effect on the structures studied, highlighting the importance of finite element method modeling in predicting plastic hinge formation and assessing structural safety. These findings highlight the importance of utilizing multiple analysis methods and detailed modeling to fully understand the seismic behavior of structures and ensure adequate resistance and stability to extreme events.

Keyword: Microseismic monitoring; Modal spectrum analysis; Nonlinear dynamics analysis; Finite element method; Incremental nudge analysis

1 引言

微震数据被广泛用于建筑物评估最大位移和倒塌评估风险,没有一个能够捕获完整的微震事件数据集。目前,大多数用于预测和预防灾害的技术都利用微震(MS)监测[1,2,3,4]。生成的数据可以通过各种方式进行评估,以评估地震风险,包括MS事件频率和能量的趋势,空间位置聚类 and 地震波速度断层扫描。然而,由于MS事件的低能量、传感器放置的限制以及复杂的现场环境等问题,记录一套完整的MS数据具有挑战性。因此,在分析监测系统数据并考虑其影响之前,有必要评估监测系统数据的完整性。

在地质学领域,有许多方法可用于评估地震数据的完整性。例如,这些方法包括假设震级-频率分布遵循古腾堡-里氏(G-R)关系的统计地震学方法,基于震级衰减关系和噪声水平给出理论监测能力的方法,振幅阈值,以及地震记录的昼夜信噪比,以及基于地震检测概率(PDE)方法的方法。许多学者利用偏微分方程方法评估了中国山东、山西、辽宁等14个省市地震台网的地震监测能力。

2 研究区域及方法

2.1 研究区域

广东省梅州市大埔县丰溪林场七里溪村,隶属于广东省梅州市大埔县,地处于大埔县北部,北部与福建省永定区凤城镇相邻、东部与福建省永定区岐岭镇毗邻,西部、南部与茶阳镇相邻。辖区总面积29.91平方千米,截至2019年末,丰溪林场总人口1845人。辖区总面积29.91平方千米。丰溪林场山峦重叠,属山区地形,整个山系属水珠山系,地势较高,最高峰尖笔崇海拔1030米,一般山地在600—800米之间。丰溪林场属亚热带海洋性季风气候,气候年均温21℃,1月均温7.3℃,7月均温34℃,极端低温-4.2℃,极端高温39℃;年均降水量1490毫米,4—9月降水量占全年降水量的77%,相对湿度79%。丰溪林场七里溪村辖区内有七里溪,暂背溪两条河流,流入汀江。丰溪林场七里溪村植物种类繁多,有155科、745种,以常绿阔叶林为主,森林覆盖率97%,见图1。



图1 大埔县丰溪林场七里溪村区位图

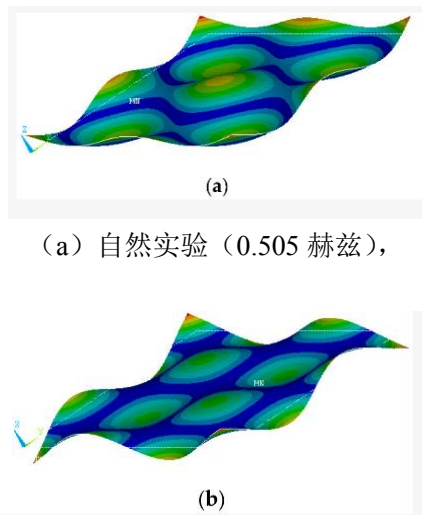
2.2 研究方法

该过程包括使用三种方法进行的三种地震分析:光谱模态分析、非线性动力学分析和推覆分析。采用光谱模态分析和非线性动态分析确定最大位移,然后通过推覆分析检查塑性铰链的形成。为了评估结构坍塌,考虑了不同时间步长的光谱位移的需求和容量曲线。确定塑性铰链的形成过程,直到可预见地它与建筑物的稳定性不相容。

在模态谱和非线性动力学分析两种分析之间,在定义的结构模型中获得的最大位移被评估为参考节点的最大位移。然后应用推覆分析[5,6,7],施加渐进载荷,产生参考节点的位移,该位移至少等于模态谱分析和非线性动力学分析中获得的两个位移中的最大位移。研究了这种位移的塑料铰链的形成。最后,荷载增加,产生更大的位移,直到观察到结构的倒塌。

为了说明这一现象,使用有限元法(FEM)软件(软件版本v8;制造商:Ansys, Inc.;位置:2600 Ansys Dr Canonsburg, PA, 15317, USA),创建试样的数学模型并提取固有频率。在执行了识别程序并比较了物理和数值实验结果后,可以看出模型的形状发生了变化。模式的这些形状如图2所示。

MN 显示最小位移变化(以不同的颜色呈现),初始形状用虚线表示。



(a) 自然实验 (0.505 赫兹),

(b) 数字实验 (0.507 赫兹)。

图2 数学模型模拟模式

3 结论

本研究对评估结构地震响应的不同方法进行了详细的比较分析, 重点关注最大位移和倒塌评估。比较了通过模态谱分析、非线性动力学分析和应用于特定结构的增量推移分析获得的结果。研究发现, 时间步长的选择和对延展性的考虑对于获得准确的预测至关重要。

使用不同的结构分析方法, 如模态谱分析、非线性动力学分析和推覆分析, 可以全面了解结构在地震荷载下的行为。特征值分析对于所有后续分析(包括推移分析)都是必不可少的。对于非线性动态分析和推覆分析, 时间步长的选择都会显著影响结果的准确性。

模态谱分析在计算资源方面提供了一种有效的替代方案, 但必须仔细考虑输入参数才能获得一致且具有代表性的结果。然而, 在没有计算限制的情况下, 真正的动态方法(例如非线性动态分析)是首选。

参考文献

- [1] Cao, A.-Y.; Dou, L.-M.; Wang, C.-B.; Yao, X.-X.; Dong, J.-Y.; Gu, Y. Microseismic Precursory Characteristics of Rock Burst Hazard in Mining Areas Near a Large Residual Coal Pillar: A Case Study from Xuzhuang Coal Mine, Xuzhou, China. *Rock Mech. Rock Eng.* 2016, 49, 4407–4422.
- [2] Srinivasan, C.; Arora, S.; Benady, S. Precursory monitoring of impending rockbursts in Kolar gold mines from microseismic emissions at deeper levels. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Géoméch. Abstr.* 1999, 36, 941–948.
- [3] Wang, G.; Gong, S.; Dou, L.; Wang, H.; Cai, W.; Cao, A. Rockburst characteristics in syncline regions and microseismic precursors based on energy density clouds. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 2018, 81, 83–93.
- [4] Cai, W.; Dou, L.; Gong, S.; Li, Z.; Yuan, S. Quantitative analysis of seismic velocity tomography in rock burst hazard assessment. *Nat. Hazards* 2015, 75, 2453–2465.
- [5] Kuria, K.K.; Kegyes-Brassai, O.K. Pushover Analysis in Seismic Engineering: A Detailed Chronology and Review of Techniques for Structural Assessment. *Appl. Sci.* 2023, 14, 151.
- [6] Colajanni, P.; Granata, M.F.; La Mendola, L. Seismic Vulnerability of Segmental Bridges with Drop-In Span by Pushover Analysis. *Appl. Sci.* 2023, 14, 202.
- [7] Yang, Y.; Cao, J.; Qu, R.; Xu, Z. Numerical Simulation of the Seismic Damage of Daikai Station Based on Pushover Analyses. *Buildings* 2023, 13, 760.