

基于泥石流固液两相耦合本构的动力学数值模型研究

Numerical modeling of dynamics based on the solid-liquid two-phase coupling constitutive of debris flow

韩征¹² 赵明月¹ 李艳鸽¹³ 陈宁生⁴ 胡桂胜⁴ 陈光齐⁵

Zheng HAN¹² Mingyue ZHAO¹ Yange LI^{13*} Ningsheng CHEN⁴ Guisheng HU⁴ Guangqi CHEN⁵

(1. 中南大学土木工程学院, 长沙 410075, 中国;

2. 轨道交通工程结构防灾减灾湖南省重点实验室, 长沙 410075, 中国;

3. 重载铁路工程结构教育部重点实验室, 长沙 410075, 中国;

4. 中国科学院, 水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041, 中国;

5. 九州大学工学部, 福岡 819-0395, 日本)

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory for Disaster Prevention and Mitigation of Rail Transit Engineering Structures, Changsha 410075, China;

3. The Key Laboratory of Engineering Structures of Heavy Haul Railway, Ministry of Education, Changsha 410075, China;

4. Key Lab of Mountain Hazards and Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

5. Department of Civil Engineering, Kyushu University, Fukuoka, 819-0395, Japan)

摘要: 泥石流动力学的计算和分析是减灾领域的一个长期问题。泥石流中固相和液相体积分数的演变以及两相之间的相互作用对泥石流的动力特性有重大影响。本文提出了一个考虑通量控制器、黏度控制器和变形控制器的深度平均新型两相流动力学数值模型。该模型能够模拟具有不同粘性、塑性或粘塑性行为的泥石流, 并能描述固液两相泥石流的速度、深度和体积分数随地形的演化。模型采用莫尔-库仑塑性理论来描述固体应力, 并将流体应力建模为牛顿粘性应力。界面动量传递包括粘性阻力、浮力和虚拟质量。为了验证模型的有效性, 我们对两种常见的溃坝案例进行了基准测试, 并将结果与实验数据或先前的研究结果进行了比较。随后, 选取 2010 年红椿沟泥石流事件作为案例研究。结果表明, 所提出的模型优于之前的单相流模型, 且计算框架稳定, 有利于反演泥石流事件的动力学过程。

关键词: 泥石流; 两相数值模型; 动力过程; 有限差分法; 2010 年红椿沟泥石流