



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)

CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC

Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam

Tổng hội Địa chất Việt Nam

Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam

Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu

Hội Cơ học Đá Việt Nam

Hội Công trình ngầm Việt Nam

Hội Dầu khí Việt Nam

Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam

Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam

Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam

Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam

Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam

Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam

Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

Viện Khoa học Công nghệ Mỏ

BAN TỔ CHỨC

Trưởng ban

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

Phó Trưởng ban

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS. TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Lâm, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Xuân Thảo, *Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Lê Đức Tình, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Trần Thị Phúc An, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Nguyễn Tiến Dũng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Đào Hồng Quảng, *Viện Khoa học Công nghệ Mỏ*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Hội Dầu khí Việt Nam*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Lê Ái Thụ, *Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam*

TS Bùi Yên Tĩnh, *Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu*

BAN KHOA HỌC

Trưởng ban

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
GS.TS Võ Trọng Hùng, *Hội Khoa học và Công nghệ Mở Việt Nam*
GS.TS Trương Xuân Luận, *Tổng Hội Địa chất Việt Nam*
GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mở Việt Nam*
GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*
PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Lê Ngọc Ánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Không Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Lê Minh Thống, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*
PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*
TS Lê Quang Duyên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Cao Khải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Văn Phóng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Bách Thảo, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

BAN BIÊN TẬP

Trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó Trưởng ban

PGS.TS Nguyễn Viết Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS. TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

BAN THƯ KÝ

Trưởng ban

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*
ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

WEBSITE HỘI THẢO

Thông tin chi tiết của Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERSĐ 2024 được đăng tải trên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd.humg.edu.vn/>

ĐỊA CHỈ LIÊN HỆ

Phòng Khoa học công nghệ, Trường Đại học Mở - Địa chất, số 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội, Việt Nam. ĐT: (+84) 24.3838643

TIỂU BAN ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH – ĐỊA KỸ THUẬT

MỤC LỤC

3D probabilistic analysis of a rainfall-induced slope failure, a case study of the Mongsen landslide, Sapa, Vietnam <i>Dương Văn Bình</i>	315
Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng xi lò cao S95 đến sự gia tăng cường độ của bùn thải trong cải tạo nền công trình khu vực Hải Phòng <i>Bùi Văn Bình</i>	322
Numerical model of intact rock by particle flow code (PFC) <i>Bui Van Binh</i>	329
Evaluation of undrained shear strength of offshore Vietnam clayey soils using PCPT results <i>Truong Thanh Can, Nguyen Quynh Luan</i>	336
Nghiên cứu ảnh hưởng của tro trấu, tro rom rạ đến tính dẻo của đất <i>Nguyễn Thành Dương, Phạm Thị Ngọc Hà</i>	342
Thí nghiệm cắt khối lớn cho bài toán ổn định mái dốc tự nhiên <i>Nhữ Việt Hà, Bùi Văn Bình, Dương Văn Bình, Trần Vũ Long, Phạm Thị Ngọc Hà</i>	348
Xác định hệ số mất mát thể tích đất (VL) theo kết quả dự báo và quan trắc độ lún mặt đất khi thi công đường hầm bằng khiên đào (TBM) <i>Nguyễn Văn Hiến</i>	354
Research on compressive strength of concrete as building partition wall when using artificial rubber granules to partially replace fine aggregate <i>Nguyen Van Hung, Bui Truong Son, Pham Minh Tan, Bui Van Binh</i>	361
Nghiên cứu lũ bùn đá tại Trà Leng, tỉnh Quảng Nam bằng phần mềm Kanoko 1D và đề xuất giải pháp công trình phù hợp <i>Nguyễn Châu Lâm, Đỗ Tuấn Nghĩa, Phạm Văn Tiền, Nguyễn Trung Kiên, Vũ Văn Kiên, Bùi Tiến Thành, Nguyễn Ngọc Long</i>	367
Xây dựng bản đồ suy thoái độ phủ thực vật tại thành phố Đà Lạt tỉnh Lâm Đồng làm cơ sở dữ liệu đánh giá nguy cơ trượt lở đất <i>Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn</i>	374
Ứng dụng công nghệ điện toán đám mây Google Earth Engine phân tích mức độ biến động thực vật tại thành phố Bảo Lộc tỉnh Lâm Đồng làm cơ sở để đánh giá tai biến địa chất <i>Nguyễn Thị Nụ</i>	381
Tổng quan nghiên cứu trên thế giới về xác định trượt lở đất bằng công cụ viễn thám <i>Nguyễn Thị Nụ</i>	388
Ứng dụng của thí nghiệm xuyên động trong địa kỹ thuật và một số kết quả áp dụng thực tế <i>Nguyễn Văn Phóng</i>	395
Study on the Effects of Pile Group for the Installation of an Oil Platform, Offshore Vietnam <i>Nguyen Van Phong, Le Van Quyen</i>	402

Hiện trạng và nguyên nhân mất ổn định đê biển tỉnh Kiên Giang <i>Nguyễn Tiến Tài, Bùi Trường Sơn</i>	410
Bước đầu nghiên cứu đặc điểm hình thành và khả năng sử dụng nguồn vật liệu xây dựng khoáng tự nhiên phục vụ xây dựng đường giao thông tỉnh Ninh Thuận <i>Phạm Minh Tân, Bùi Trường Sơn</i>	417
Phân tích hệ số tiêu tán năng lượng để hiệu chỉnh giá trị xuyên tiêu chuẩn N60 trong nền đất cho khu vực Quy Nhơn, Bình Định <i>Hứa Thành Thân, Nguyễn Ngọc Phúc</i>	424

3D probabilistic analysis of a rainfall-induced slope failure, a case study of the Mongsen landslide, Sapa, Vietnam

Duong Van Binh^{1,2 *}

¹Hanoi University of Mining and Geology

² Research group of Engineering Geology and Geo-environment

ABSTRACT

Rainfall-induced landslides have frequently occurred in the mountainous provinces of Vietnam, causing significant socioeconomic consequences. Therefore, landslide studies should be carried out systematically, including at regional and local scales. The stability evaluations for each slope address two types of problems: 1) calculating stability to assess the evolution of a landslide process in response to a change in landslide triggers; 2) evaluating the dynamics of changes in slope conditions in response to a change in landslide triggers. The widespread application of advanced models has significantly enhanced the accuracy and reliability of slope stability evaluation results. In this study, a 3D probabilistic analysis model was developed to investigate the behavior of a slope under the effect of heavy rainfall in Trung Chai commune, Sapa, Vietnam. The stability of the examined slope is indicated by the relationship between the factor of safety ($FS = 1.258 \div 0.901$), the probability of failure ($PF = 3.2 \div 80.6\%$), and the pore water pressure ($Ru = 0 \div 0.286$). In addition, the reliability index (RI) was determined to be an essential factor in assessing slope stability. Since the Sapa district is located in a seismic zone, earthquakes may trigger landslides. Therefore, this study established the relationships between the seismic coefficient and FS value, as well as the seismic coefficient and pore water pressure. Based on the study findings, we propose that slope stability analysis reports include the additional PF and RI values. In addition, it is critical to establish a standard for the reliability index, which will be used to assess the probability of failure for different projects.

Keywords: slope stability, rainfall-induced landslide, probabilistic analysis, limit equilibrium method, Sapa

1. Introduction

Along with regional and local landslide hazard/risk assessments, slope stability studies are critical components of landslide studies because they provide a more in-depth understanding of the nature and mechanism of the landslide process. Characterized by a tropical monsoon climate, Vietnam has experienced numerous rainfall-induced landslides. Therefore, improving our knowledge of the landslide process is crucial for mitigating damage and promoting the sustainable development of infrastructure and communities. Rahardjo et al. (2007), when studying the instability of uniform soil slopes under precipitation, showed the predominance of soil properties and rainfall intensity over the initial groundwater table position and slope geometry for the stability of a slope.

Kalinin E. V. (2006), Pendin V. V. and Fomenko I. K. (2015) categorized landslide hazard assessment methods for a specific site into analogy, physical modeling, and mathematical modeling methods. Qiao et al. (2020) grouped methods for analyzing slope stability into four categories: qualitative analysis, quantitative analysis, uncertainty analysis, and machine learning methods. In addition, the analytical, empirical, LEM, and numerical methods are described as extensively used slope stability study techniques in the "Guidelines for Open Pit Slope Design" monograph (John Read & Peter Stacey (eds), 2009).

In the last several decades, numerical modeling methods have been strongly developed owing to their advantages over other methods. With the introduction of GIS and the rapid development of computer technology, researchers can build 2D and 3D models that simulate the operating conditions of actual slopes with the highest degree of accuracy.

In slope stability analysis, the factor of safety (FS), which is generally defined as the ratio of resisting shear force to driving shear force along a failure surface, is the critical indicator (Oh & Lu, 2015). Errors in calculating the minimum factor of safety (FS) for slope evaluations may lead to catastrophic slope collapses and fatalities. For slope stability evaluation, many trial slip surfaces are frequently investigated to determine the one with the lowest FS value (Mishra et al., 2019). Wang et al. (2020) argue that probabilistic analysis is

* Corresponding author:

Email: duongvanbinh@humg.edu.vn

gaining popularity because it provides an effective method for considering geotechnical uncertainties (Fomenko I. K. et al., 2021), which are not considered when calculating FS using deterministic analysis methods.

This paper shows the results of a slope stability analysis for a landslide event in Trungchai commune, Sapa district. In this study, a probabilistic model based on the limit equilibrium method was built to investigate the relationship between precipitation and slope stability. The obtained results include the factor of safety (FS), probability of failure (PF), and reliability index (RI), which are used to evaluate slope stability and are suggested for use in studies and the inclusion of slope stability assessment standards in Vietnam.

2. Study area

Trung Chai, located in the northeast of the Sapa district, is one of the communes that has experienced extensive damage from sediment-related disasters, including landslides. The complex terrain and geological conditions, the development of terraced rice fields, and infrastructure construction activities create an environment susceptible to natural disaster occurrences (Dang et al., 2018). In addition, with an average annual rainfall of more than 2,000 millimeters (Tien Bui et al., 2017), Sapa and Trung Chai are more vulnerable to these disasters than any other area in Vietnam. The Mong Sen event in Trung Chai commune is a well-known sliding mass that has been the subject of various studies between 2000 and 2010 (Binh Van Duong et al., 2022).

The study sliding mass is situated on provincial road 152 between Km 12 + 600 and Km 12 + 900 in the Trung Chai commune during the construction phase of this route (Figure 1). The images taken by a UAV revealed cracks on the surface of the sliding block as well as the movement of soil and rock along the road under construction. The homogenous geological condition of the study area is characterized by the distribution of high-strength Posen complex rocks (granodiorite, granite, and granite migmatite). The sliding mass has been formed on a thick, highly permeable soil layer, which is the weathering product of the bedrock layer. Heavy precipitation on May 31, 2020, has been recognized as the trigger of this landslide event.

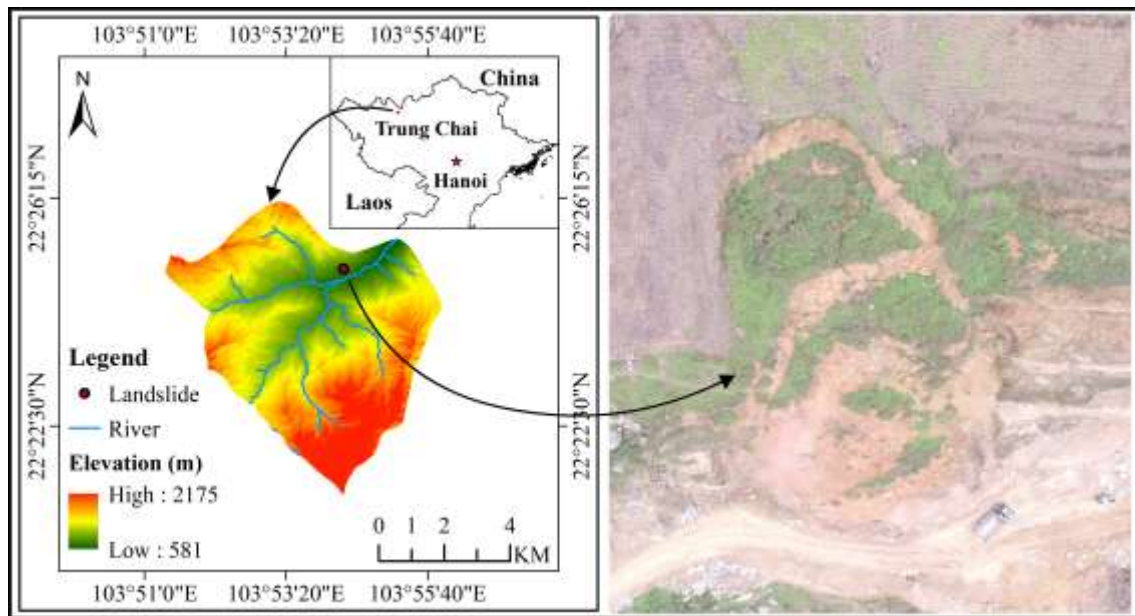


Figure 1. Location of landslide site

3. Data and methods

A 3-D probabilistic slope stability analysis was performed in this study using the program Rocscience Slide 3. To calculate the 3D FS, Slide 3 uses the 3D slope stability method developed by Cheng and Yip (2007), which extends the Janbu (1954) 2D slope stability approach to 3D. As recommended by Huang et al. (2002), Cheng and Yip (2007), Slide 3 does not presume a predefined sliding direction; nevertheless, one may be assigned. Limit equilibrium methods are among the earliest slope stability analysis techniques to be developed (Azmoon et al., 2021) and have been extensively employed worldwide. Multiple LEMs have been developed, and the primary distinctions between them are the varied assumptions on the form of the failure surface, interslice forces, and equilibrium considerations (Pourkhosravani & Kalantari, 2011).

Along with the factor of safety (FS), the probability of failure (PF) and reliability index (RI) are critical indicators for evaluating slope stability in probabilistic analysis. While the factor of safety value is determined by a fixed set of parameters, the probability of failure and reliability index values are determined by a variable set of parameters (random variables). The PF value for assessing slope stability is calculated using the following equation:

$$PF(\%) = \frac{\text{Number simulations with } FS < 1}{\text{Total number of simulations}} \quad (1)$$

When evaluating slope stability, the reliability index (RI) may be calculated using the following formula:

$$RI = \frac{FS - 1.0}{\sigma_{FS}} \quad (2)$$

The Latin-Hypercube sampling technique (McKay et al., 1979), which employs random numbers to sample from probability distributions of input data, is frequently used in geotechnical engineering. In this study, a probabilistic analysis was undertaken using 1000 samples and the Latin-Hypercube sampling technique because of its accuracy and effectiveness.

The probabilistic analysis model was built in this study using geotechnical data collected from the field survey and laboratory experiments. A 1-meter DEM obtained from the field survey was used to generate the probabilistic analysis model. The strength parameters of the soil layer utilized in the analysis model were determined by the direct shear test, including cohesion ($c = 20$ kPa) and internal friction angle ($\phi = 15.1^\circ$). In this study, due to the lack of pore water pressure data, the influence of pore water pressure on slope stability was evaluated using the pore water pressure ratio (Ru) suggested by Bishop and Morgenstern (1960):

$$Ru = \frac{u}{\gamma h} \quad (3)$$

where u – pore water pressure, h – the depth of the point in the soil mass below the soil surface, and γ – soil unit weight. Using data on rainfall intensity, the method proposed by Liao et al. (2010) was used to determine the Ru value. To determine the pore pressure ratio, rainfall data of heavy rain from 22:00 on May 30 to 24:00 on May 31, 2020, was used. At 15:00 on May 31, the maximum value of Ru was 0.286 (Figure 2).

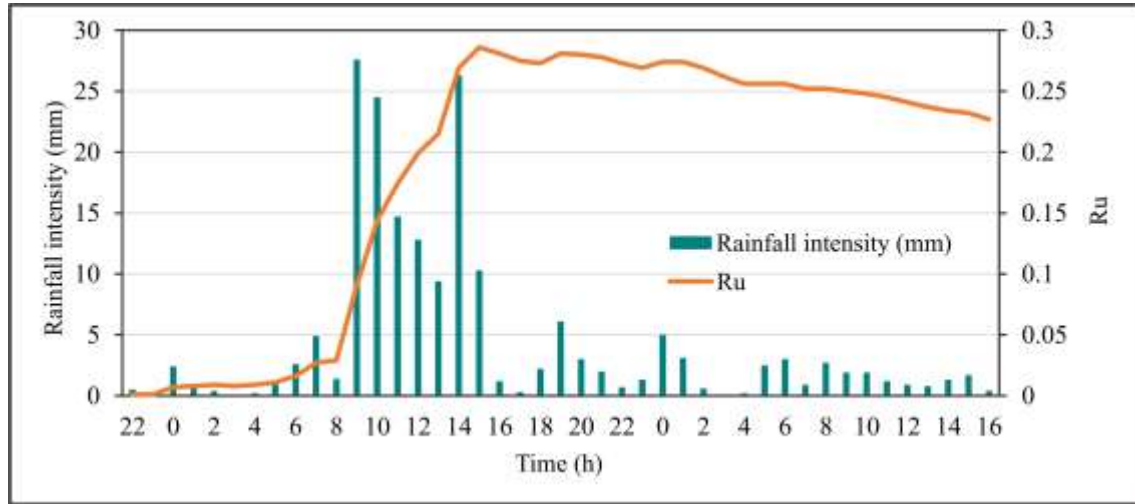


Figure 2. Relationship between the rainfall intensity and Ru value

4. Results and discussion

The computations were performed using Janbu's simplified method based on the Cuckoo search method in probabilistic analysis. In this study, the Normal (or Gaussian) statistical distribution of input parameters was used to predict the PF value.

The stability of the studied slope was maintained throughout the dry period before the heavy rain event, according to the analysis results (Figure 3a). The probability of landslide activation (PF) is 3.2%, indicating that the reliability of the stability of the studied slope is considered hazardous. Protection measures should be implemented to prevent this slope from becoming unstable, as demonstrated by the computed maximum reliability index (RI) of $1.85 < 3$ ($PF = 3.2\%$) (United States Army Corps of Engineers, 1997).

As a result of the infiltration of rainwater into the ground during heavy rains, pore water pressure will increase, resulting in a reduction in the FS value. At 4:00 on May 31, 2020, the FS value decreased to 1.1, and the probability of failure increased to 22.1% (Figure 3b). Additionally, as shown in Figure 4a, the slope became unstable at around 10:00 on May 31. According to the simulation results, the FS value decreased from 1.258 to 0.901, corresponding to an increase in the Ru value from 0 to 0.286 (at 15:00 on May 31, 2020). The probability of landslide activation (PF) increases from 3.2% to 80.6% (Figure 4b).

Since the Sapa district is located in a seismic zone ($a_{\max} = 0.2g$), earthquakes may trigger landslides. In addition, the likelihood of a landslide process would increase significantly if an earthquake happened during the rainfall event. Therefore, in this study, a sensitivity analysis was conducted using the input data, such as the probability analysis and the seismic coefficient value. Figure 5 and Figure 6 present the results of a sensitivity analysis performed to evaluate the effects of the seismic coefficient and pore water pressure based

on the LEM.

Figure 5 and Figure 6 indicate that an increase in the R_u ratio owing to precipitation to 0.23 or an earthquake with a seismic coefficient greater than 0.08 might trigger a landslide on the studied slope. With a high value of R_u , even a minor earthquake event may lead to the activation of the landslide event. The equation shown in Figure 7 may be employed as an example for predicting landslide hazards by the combined effects of both triggers.

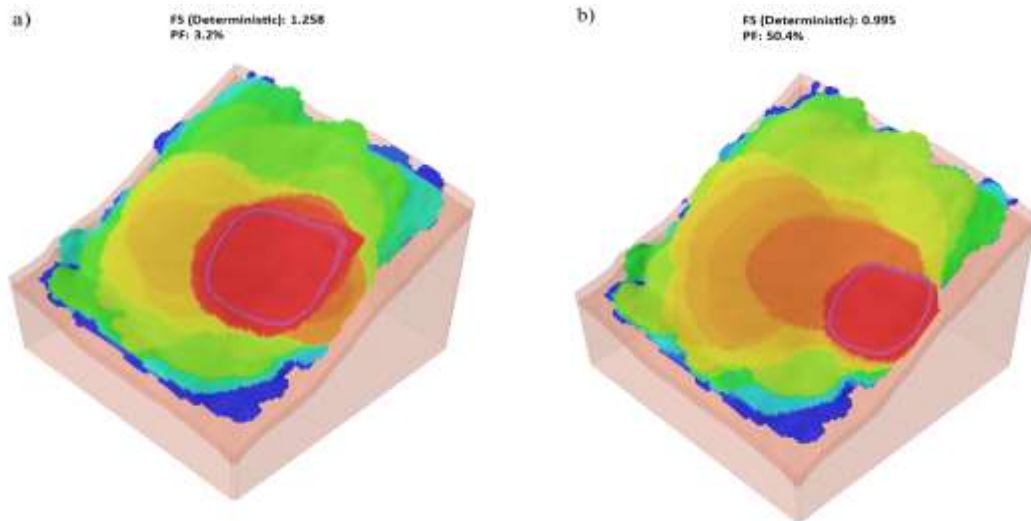


Figure 3. Results of slope stability analysis: (a) before the heavy rain event and (b) during the period of heavy rainfall at 4:00, May 31, 2020

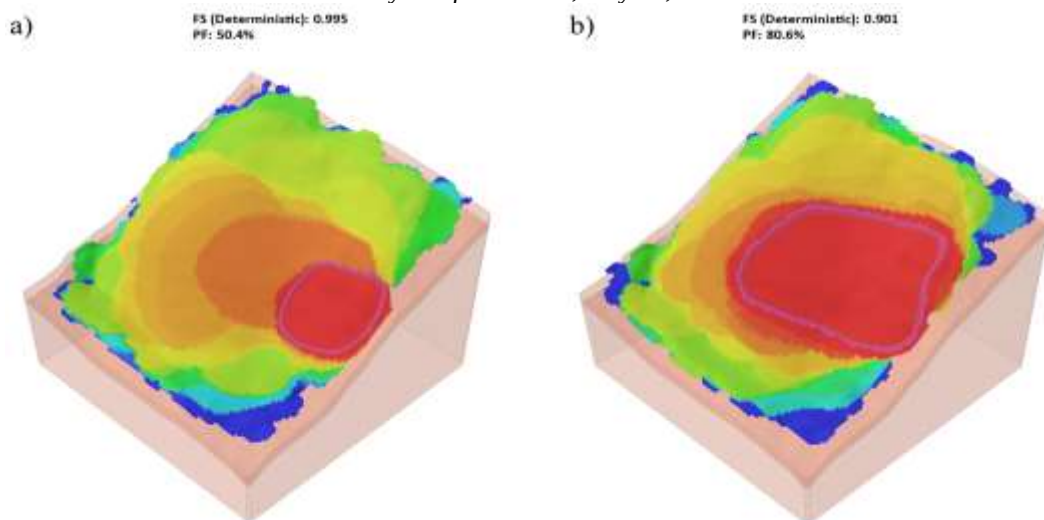


Figure 4. Results of slope stability analysis (a) during the period of heavy rainfall at 10:00 and (b) at 15:00, May 31, 2020

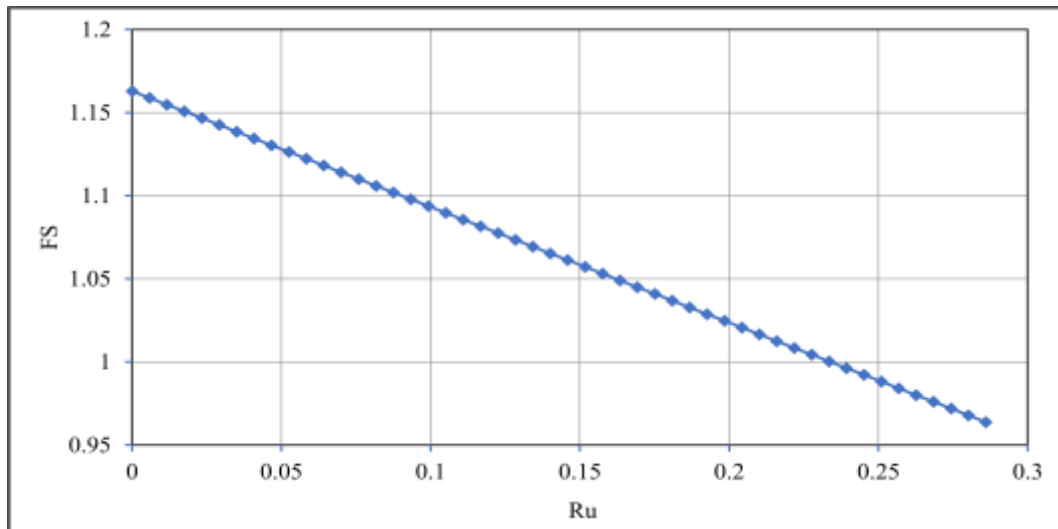


Figure 5. Relationship between pore water pressure ratio and factor of safety

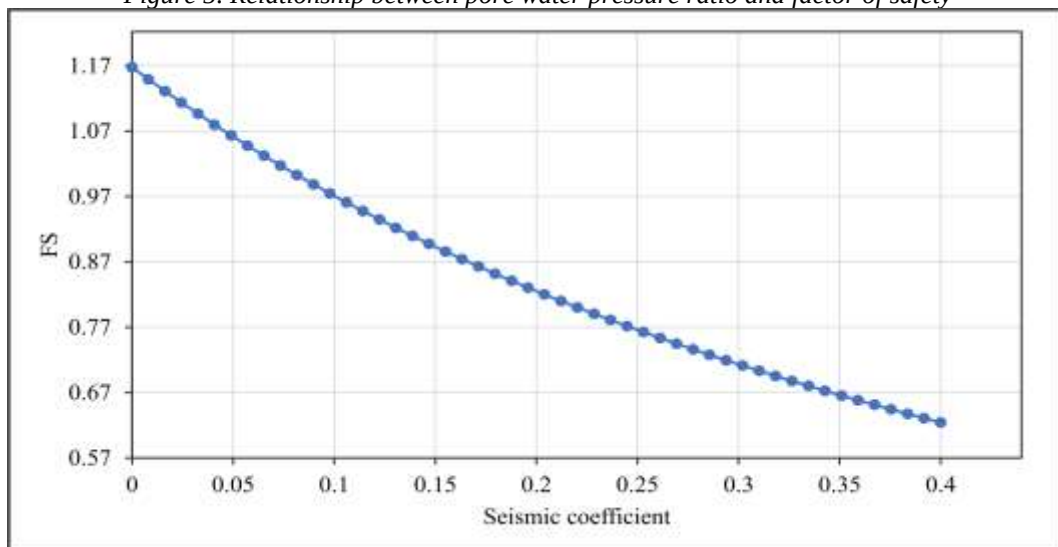


Figure 6. Relationship between seismic coefficient and factor of safety

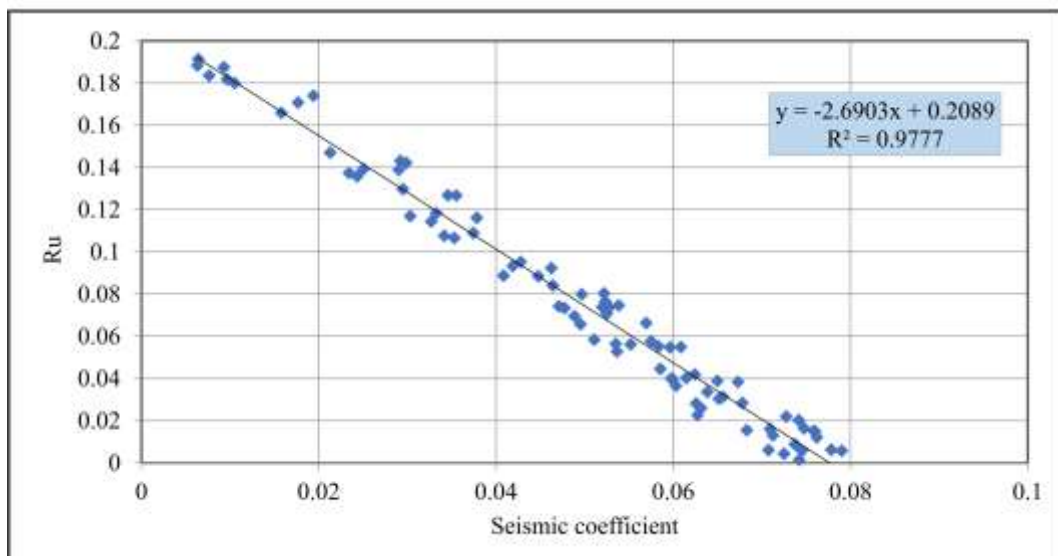


Figure 7. Relationship between pore water pressure ratio and seismic coefficient

5. Conclusions

In this study, a landslide stability probabilistic analysis was conducted in Trung Chai commune, Sapa district, Vietnam, to examine slope behavior under the effect of rainfall. Using 1-meter DEM, the 3-D stability

probabilistic analysis model was built in the Slide 3 program. Even though the factor of safety $FS = 1.258$ during the dry period, the probability of failure $PF = 3.2\%$ indicates that the slope has a high likelihood of instability. Under the influence of rainwater penetration into the soil, the safety factor (FS) decreased from 1.258 to 0.901, corresponding to an increase in the probability of failure (PF) from 3.2% to 80.6%. The analysis results determined that the failure time of the slope and the position of the computed sliding surface were reasonably compatible with the observed failure surface. In addition, the sensitivity analysis results indicate that a single earthquake or heavy rainfall may trigger slope failures. In particular, the landslide hazard for the studied slope or any existing slopes might be significantly increased by the simultaneous effect of these two triggers.

Acknowledgements

For the provision of simulation data, we would like to express our appreciation to the National Science and Technology Project under grant number ĐTDL.CN-81/21.

References

- Azmoon, B., Biniyaz, A., Liu, Z., & Sun, Y., 2021. Image-Data-Driven Slope Stability Analysis for Preventing Landslides Using Deep Learning. *IEEE Access*, 9: 150623-150636.
- Binh Van Duong, Fomenko I. K., Kien Trung Nguyen, Lien Hong Thi Vi, Zerkal O. V., & Dang Hong Vu, 2022. Application of GIS-based bivariate statistical methods for landslide potential assessment in Sapa, Vietnam (in Rus). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 333(4): 126-140.
- Bishop, A. W., & Morgenstern, N., 1960. Stability Coefficients for Earth Slopes. *Geotechnique*, 10(4): 129-153.
- Cheng, Y. M., & Yip, C. J., 2007. Three-Dimensional Asymmetrical Slope Stability Analysis Extension of Bishop's, Janbu's, and Morgenstern-Price's Techniques. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(12): 1544-1555.
- Dang, K. B., Burkhard, B., Müller, F., & Dang, V. B., 2018. Modelling and mapping natural hazard regulating ecosystem services in Sapa, Lao Cai province, Vietnam. *Paddy and Water Environment*, 16(4): 767-781.
- Fomenko I. K., Gorobtsov D. N., Kurguzov K. V., Novgorodova M. A., & N., S. O, 2021. *The schematization of soil properties in mathematical modeling in engineering geology and geotechnics*. In Reginald E. Hammah, Thamer E. Yacoub, Alison McQuillan, & J. Curran (Eds.). *The Evolution of Geotech - 25 Years of Innovation*. CRC Press. London. 202-209. <https://doi.org/10.1201/9781003188339-27>
- Huang, C.-C., Tsai, C.-C., & Chen, Y.-H., 2002. Generalized Method for Three-Dimensional Slope Stability Analysis. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(10): 836-848.
- Janbu, N, 1954. Application of composite slip surfaces for stability analysis. Paper presented at the *Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes*, Stockholm.
- John Read, & Peter Stacey (eds), 2009. *Guidelines for Open Pit Slope Design*. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 511 pages.
- Kalinin E. V., 2006. *Engineering-geological calculations and modeling*. Moscow University Press. Moscow, 256 pages.
- Liao, Z., Hong, Y., Wang, J., Fukuoka, H., Sassa, K., Karnawati, D., & Fathani, F., 2010. Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets. *Landslides*, 7(3): 317-324.
- McKay, M. D., Beckman, R. J., & Conover, W. J., 1979. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code. *Technometrics*, 21(2): 239-245.
- Mishra, M., Gunturi, V. R., & Miranda, T. F. D. S., 2019. Slope stability analysis using recent metaheuristic techniques: a comprehensive survey. *SN Applied Sciences*, 1(12): 1674.
- Oh, S., & Lu, N., 2015. Slope stability analysis under unsaturated conditions: Case studies of rainfall-induced failure of cut slopes. *Engineering Geology*, 184: 96-103.
- Pendin V. V., & Fomenko I. K., 2015. *Methodology of landslide hazard assessment and prediction (in Russian)*. Lenand Publishing House. Moscow, 320 pages.
- Pourkhosravani, A., & Kalantari, B., 2011. A Review of Current Methods for Slope Stability Evaluation. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16.

Qiao, X. I. E., Jia-sheng, Z., & Xuan, W., 2020. Research progress of analysis method of slope stability combined with hot spots. Paper presented at the *10th Chinese Geosynthetics Conference & International Symposium on Civil Engineering and Geosynthetics (ISCEG 2020)*, Chengdu, Sichuan, China.

Rahardjo, H., Ong, T. H., Rezaury, R. B., & Leong, E. C., 2007. Factors Controlling Instability of Homogeneous Soil Slopes under Rainfall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(12): 1532-1543.

Tien Bui, D., Tuan, T. A., Hoang, N.-D., Thanh, N. Q., Nguyen, D. B., Van Liem, N., & Pradhan, B., 2017. Spatial prediction of rainfall-induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines inference model and artificial bee colony optimization. *Landslides*, 14(2): 447-458.

United States Army Corps of Engineers, 1997. *Engineering and Design: Introduction to Probability and Reliability Methods for Use in Geotechnical Engineering*. Department of the Army. Washington, DC, USA, pages.

Wang, L., Wu, C., Tang, L., Zhang, W., Lacasse, S., Liu, H., & Gao, L., 2020. Efficient reliability analysis of earth dam slope stability using extreme gradient boosting method. *Acta Geotechnica*, 15(11): 3135-3150.

TÓM TẮT

Phân tích xác suất 3D trượt lở đất do mưa gây ra, nghiên cứu điển hình tại khối trượt Móng Sến, Sa Pa, Việt Nam

Dương Văn Bình^{1,2}

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường

Các vụ trượt lở đất do mưa gây ra thường xuyên xảy ra ở các tỉnh miền núi Việt Nam, gây hậu quả kinh tế xã hội đáng kể. Do đó, các nghiên cứu về trượt lở đất nên được thực hiện một cách có hệ thống, bao gồm ở cả quy mô khu vực và địa phương. Các đánh giá về sự ổn định của sườn dốc giải quyết hai loại vấn đề: 1) tính toán sự ổn định để đánh giá sự phát triển của quá trình trượt lở đất nhằm phản ứng với sự thay đổi của các yếu tố kích hoạt lở đất; 2) đánh giá sự thay đổi động học của các điều kiện sườn dốc nhằm phản ứng với sự thay đổi của các yếu tố kích hoạt lở đất. Việc áp dụng rộng rãi các mô hình tiên tiến đã nâng cao đáng kể độ chính xác và độ tin cậy của kết quả đánh giá sự ổn định sườn dốc. Trong nghiên cứu này, một mô hình phân tích xác suất 3D đã được phát triển để phân tích ứng xử của một sườn dốc dưới tác động của mưa lớn ở xã Trung Chải, Sa Pa, Việt Nam. Sự ổn định của sườn dốc được đánh giá dựa trên mối quan hệ giữa hệ số an toàn ($FS = 1,258 \div 0,901$), xác suất phá hủy ($PF = 3,2 \div 80,6\%$) và áp lực nước lỗ rỗng ($Ru = 0 \div 0,286$). Ngoài ra, chỉ số độ tin cậy (RI) được xác định là một yếu tố quan trọng trong việc đánh giá sự ổn định của sườn dốc. Vì huyện Sa Pa nằm trong vùng có hoạt động địa chấn, các trận động đất có thể gây ra trượt lở đất. Do đó, nghiên cứu này đã thiết lập mối quan hệ giữa hệ số địa chấn và giá trị FS, cũng như hệ số địa chấn và áp lực nước lỗ rỗng. Dựa trên các kết quả nghiên cứu, chúng tôi đề xuất các báo cáo phân tích sự ổn định sườn dốc phải bao gồm thêm các giá trị PF và RI. Ngoài ra, việc thiết lập một tiêu chuẩn cho chỉ số độ tin cậy là rất quan trọng, tiêu chuẩn này sẽ được sử dụng để đánh giá xác suất phá hủy cho các dự án khác nhau.

Từ khóa: ổn định mái dốc, trượt lở do mưa, phân tích xác suất, phương pháp phần tử hữu hạn, Sa Pa

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)



ISBN: 978-604-76-3040-0



9 786047 630400

SÁCH KHÔNG BÁN