บทคัดย่อ

แท่นทดสอบได้ถูกออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นสำหรับใช้ในการจำลองเชิงกายภาพของความลาดเอียงและอุโมงค์ในมวลหินที่ย่อขนาดลงเพื่อให้การจำลองมีความสมจริง โดยแท่นทดสอบนี้ถูกออกแบบให้การพังของมวลหินเกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วงของโลก ศักยภาพของแท่นทดสอบได้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้โดยการจำลองเสถียรภาพของความลาดเอียงและอุโมงค์ในมวลหินภายใต้แรงดันสถิตและภายใต้คลื่นไหวสะเทือนในสองมิติ ซึ่งผลกระทบของระยะห่างระหว่างรอยแตกและการจมน้ำได้นำมาศึกษาด้วย โดยมีการจัดเตรียมตัวอย่างหินทรายจากหมวดหินภูพานเป็นรูปลูกบาศก์และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว่าหนึ่งพันตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในแบบจำลองมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกผันแปรจาก 4, 8 ถึง 12 ซม. ผลจากการจำลองภายใต้ปัจจัยที่หลากหลายระบุว่า แท่นทดสอบนี้สามารถจำลองคุณลักษณะของการพังของความลาดเอียงและอุโมงค์ในมวลหินได้อย่างสมจริง

ความลาดเอียงมวลหินได้ถูกจำลองภายใต้ปัจจัยที่ผันแปรคือ ความสูงจาก 16 ถึง 90 ซม. ความเอียงจาก 28 ถึง 75 องศา และอัตราเร่งของคลื่นไหวสะเทือนจาก 0.013 g ถึง 0.225 g แบบจำลองความลาดเอียงแสดงลักษณะการพังแบบแผ่นระนาบที่สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้โปรแกรม FLAC ผลกระทบของคลื่นไหวสะเทือนจะมีมากและชัดเจนสำหรับความลาดเอียงที่มีความสูงมากและที่ประกอบด้วยระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย อย่างไรก็ตามผลจากการคำนวณด้วยสูตรสำเร็จจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่สูงกว่าผลการทดสอบประมาณร้อยละ 30 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับความลาดเอียงที่มีมุมของระนาบการเคลื่อนตัวต่ำ และระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย ข้อสังเกตนี้สามารถพบได้จากการทดสอบภายใต้แรงดันสถิตและภายใต้คลื่นไหวสะเทือน ส่วนผลของการทดสอบแบบพลิกคว่ำจะสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่คำนวณได้จากสูตรสำเร็จ

แบบจำลองอุโมงค์มีความลึกผันแปรจาก 16 ถึง 100 ซม. และความสูงของอุโมงค์จาก 4, 8 ถึง 12 ซม. ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวดิ่งผันแปรจาก 4, 8 ถึง 12 ซม. เช่นกัน โดยที่ระยะห่างระหว่างรอยแตกในแนวระนาบกำหนดให้คงที่เท่ากับ 4 ซม. อัตราเร่งของคลื่นไหวสะเทือนผันแปรจาก 0.132 g ถึง 0.225 g ผลที่ได้เปิดเผยว่า ความกว้างสูงสุดของอุโมงค์ที่สามารถคงเสถียรภาพอยู่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกและเพิ่มขึ้นตามขนาดของระยะห่างระหว่างรอยแตก ความกว้างสูงสุดนี้ค่อนข้างจะคงที่เมื่ออัตราส่วนของความลึกต่อระยะห่างระหว่างรอยแตกมีค่ามากกว่า 30 ที่อัตราส่วนของความลึกระดับนี้ ค่าสูงสุดของความกว้างสูงสุดของอุโมงค์ต่อระยะห่างระหว่างรอยแตกจะมีค่าเข้าใกล้ 10 ผลกระทบของคลื่นไหวสะเทือนต่อเสถียรภาพของอุโมงค์จะปรากฏเด่นชัดสำหรับอุโมงค์ระดับตื้นในมวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย ผลกระทบของคลื่นไหวสะเทือนจะลดลงอย่างรวดเร็วตามความลึก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับมวลหินที่ระยะห่างระหว่างรอยแตกมาก

Abstract

A test frame has been designed and fabricated for use in the physical model simulation of scaled-down slopes and tunnels in rock mass. To make the simulation realistic, it is designed such that failure of the rock mass models is induced by true gravitational force. The test frame performance is demonstrated by simulating stability conditions of rock slopes and tunnels under static and dynamic loading in two-dimension. The effects of joint spacing and water submergence can be incorporated. Over 1000 cubical and rectangular blocks of Phu Phan sandstone have been prepared to form the rock mass models with joint spacing varying from 4, 8 to 12 cm. Results from various series of model testing indicate that the designed test frame can realistically simulate the modes of failure for rock slopes and tunnels.

The rock slopes are simulated under a variety of parameters; height of the slope models is varied from 16 to 90 cm, the slope face angles from 28° to 75° with the static acceleration ranging from 0.013 g to 0.225 g. The models show modes and stability conditions of plane failure which are virtually identical to those calculated from finite difference analysis using FLAC code. The effect of static acceleration is more pronounced for high slopes comprising small joint spacing. Compared with the test measurements, the deterministic method however over-estimates the factor of safety for plane failure by as much as 30%, particularly for the low sliding plane angles with small joint spacing. This holds true for all slope models under both static and dynamic loadings. The observed toppling failures agree well with those calculated by the deterministic method when the friction between blocks is considered in the calculation.

The tunnel models are simulated under depths ranging from 16 to 100 cm with the heights from 4, 8 to 12 cm. The vertical joint spacing is varied from 4, 8 to 12 cm while the horizontal spacing is maintained constant at 4 cm. The static accelerations range between 0.132 g and 0.225 g. Results reveal that the maximum span of the tunnels increases with depth and joint spacing, and tends to remain constant after tunnel depth-to-joint spacing ratio exceeds 30. Beyond this depth ratio, the ultimate value for the maximum span-to-joint spacing ratio tends to approach 10. The effect of dynamic loading on the stability is more pronounced for shallow tunnels in rock mass with small joint spacing. The dynamic effect rapidly reduces with depth, particularly for rock mass with large joint spacing.