บทที่ 7
บทสรุป

7.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้สรุปผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาเสถียรภาพเชิงกลศาสตร์ของมวลหินบนความลาดชันและรอบอุโมงค์ภายใต้คลื่นสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวและคุณลักษณะของรอยแตกโดยใช้แบบจำลองเชิงกายภาพ โดยที่ขอบเขตของงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบและประดิษฐ์แท่นทดสอบสำหรับใช้ในการจำลองเชิงกายภาพ การจำลองเสถียรภาพของมวลหินบนความลาดชัน และการจำลองเสถียรภาพของมวลหินรอบอุโมงค์ ตัวแปรหลักที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลองทั้งสองคือ ระยะห่างระหว่างรอยแตก อัตราเร่งของคลื่นไหวสะเทือนจากแผ่นดินไหว ผลกระทบของการจมน้ำ และความสูงหรือความลึกของโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณี ในบทนี้จะวิจารณ์ผลของการประดิษฐ์แท่นทดสอบและการนำผลไปประยุกต์ใช้ในเชิงปฏิบัติ

7.2 การออกแบบและการประดิษฐ์แท่นทดสอบ

การออกแบบและการประดิษฐ์แท่นทดสอบอยู่ภายใต้แนวคิดใหม่โดยได้ปรับปรุงแก้ไขข้อเสียจากแท่นทดสอบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทำให้แท่นทดสอบใหม่นี้สามารถจำลองเสถียรภาพของมวลหินบนความลาดเอียงและรอบอุโมงค์ได้อย่างสมจริง อีกทั้งยังใช้ศึกษาผลกระทบของคลื่นไหวสะเทือนและสภาวการณ์จมน้ำของโครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีดังกล่าวได้ด้วย หลักการสำคัญในการออกแบบคือ การใช้แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหลหรือพังทลายของมวลหินในแบบจำลอง และยังใช้ตัวอย่างหินจริงในการศึกษา ผลที่ได้จากการประดิษฐ์คือ แท่นทดสอบที่สามารถจำลองสภาวะเชิงกลศาสตร์ได้อย่างสมจริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในงานวิจัยระดับสูงและสามารถใช้เป็นสื่อการสอนได้ด้วย อย่างไรก็ตามแท่นทดสอบที่ประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ยังมีข้อด้อยอยู่บางประการซึ่งสามารถแก้ไขปรับปรุงได้ คือ

1) อัตราเร่งของคลื่นไหวสะเทือนสูงสุดที่ใช้อยู่ในงานวิจัยนี้คือ 0.225 g ซึ่งอยู่ในระดับค่าเฉลี่ยของคลื่นไหวสะเทือนที่เกิดจากแผ่นดินไหวทั่วไป ข้อจำกัดเกิดขึ้นจากของแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นในการจำลองคลื่นไหวสะเทือนภายใต้อัตราเร่งที่สูงกว่า 0.225 g สามารถทำได้โดยเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีแรงบิดสูงขึ้น

2) ในขณะที่มีการทดสอบผลกระทบของการจมน้ำของความลาดเอียง มักจะมีน้ำรั่วซึมออกมาตามรอยต่อระหว่างแผ่นอะคลิลิกกับแท่นทดสอบ สาเหตุเกิดจากการโก่งตัวของแผ่นอะคลิลิกเนื่องจากแรงดันของน้ำในแท่นทดสอบ ในกรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้แผ่นอะคลิลิกที่มีความหนา

มากขึ้น (มากกว่า 1 ซม. ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน) หรืออาจใช้คานเหล็กเสริมด้านหน้าของแท่นทดสอบ ซึ่งจะสามารถป้องกันการรั่วซึมดังกล่าวได้

3) ตัวอย่างหินที่เตรียมมามักมีความคลาดเคลื่อนในเรื่องของขนาดและความตั้งฉาก ส่งผลให้การทดสอบมีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย วิธีแก้ไขคือ จำเป็นต้องตรวจสอบขนาดและความตั้งฉากของหินแต่ละก้อนอย่างละเอียด และมีการปรับแต่งความยาวและความกว้างของตัวอย่างหินถ้าจำเป็น

4) การทดสอบใช้เวลามากในการจัดเรียงตัวอย่างหินลงในแท่นทดสอบ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ผู้ช่วยวิจัย 2 ถึง 3 คน ขึ้นไป เพื่อให้การจัดเตรียมและการทดสอบแต่ละครั้งสามารถเสร็จสมบูรณ์ในเวลาที่เหมาะสมคือ ภายใน 2 ถึง 3 ชั่วโมง

7.3 ผลการจำลองด้วยแท่นทดสอบ

ความลาดเอียงมวลหินได้ถูกจำลองภายใต้ปัจจัยที่ผันแปรคือ ความสูงจาก 16 ถึง 90 ซม. ความเอียงจาก 28 ถึง 75 องศา และอัตราเร่งของคลื่นไหวสะเทือนจาก 0.013 g ถึง 0.225 g แบบจำลองความลาดเอียงแสดงลักษณะการพังแบบแผ่นระนาบที่สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้โปรแกรม FLAC ผลกระทบของคลื่นไหวสะเทือนจะมีมากและชัดเจนสำหรับความลาดเอียงที่มีความสูงมาก และที่ประกอบด้วยระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย อย่างไรก็ตาม ผลจากการคำนวณด้วยสูตรสำเร็จจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่สูงกว่าผลการทดสอบประมาณร้อยละ 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

7.4 การนำผลการทดสอบมาประยุกต์ใช้

1) ผลการจำลองความลาดเอียงของมวลหินให้ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่ต่ำกว่าการคำนวณตามกฎของ Hoek and Bray (1981) ประมาณ 30% ดังนั้นในการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงของมวลหินในภาคสนาม ควรที่จะประเมินให้ต่ำกว่าผลการคำนวณ 30% หรือใช้การประเมินด้วยวิธีเชิงตัวเลขแทน เพื่อให้การวิเคราะห์และออกแบบเป็นไปในเชิงอนุรักษ์มากขึ้น

2) ในการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงควรจะคำนึงถึงระยะห่างระหว่างรอยแตกของมวลหินเป็นสำคัญ เนื่องจากผลจากการจำลองความลาดเอียงแสดงว่า หินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อยจะพังได้ง่ายกว่าหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกมาก ในกรณีที่มุมของความลาดเอียงและความสูงของความลาดเอียงเท่ากัน

3) ในการจำลองความลาดเอียงจมน้ำได้ผลที่สอดคล้องกับผลของวิธีเชิงตัวเลขแต่จะต่ำกว่าผลที่จำลองได้จากความลาดเอียงในสภาวะแห้งประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ในการออกแบบในภาคสนามเช่น การสร้างเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ ควรจะประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงในสภาวะที่เลวร้ายที่สุด (ความลาดเอียงของมวลหินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ) และใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเข้ามาประเมินเสถียรภาพด้วย

4) ในการประเมินสภาวะที่ความลาดเอียงที่อยู่ภายใต้คลื่นไหวสะเทือน ควรทำการศึกษาระยะห่างระหว่างรอยแตกของมวลหิน เนื่องจากผลจากการจำลองระบุว่า ที่อัตราเร่งใดๆ มวลหินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกมากจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยใกล้เคียงกับการคำนวณตามทฤษฎี แต่หินที่มีระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อยจะทำให้ผลจากการคำนวณตามทฤษฎีกับสภาพที่แท้จริงแตกต่างกันมาก

5) การออกแบบอุโมงค์ในมวลหินควรคำนึงถึงอัตราส่วนของความลึกต่อระยะห่างระหว่างรอยแตก เนื่องจากผลการจำลองระบุว่า ที่ความลึกเดียวกันมวลหินที่มีอัตราส่วนของความลึกต่อระยะห่างระหว่างรอยแตกมากจะทำให้อุโมงค์มีเสถียรภาพมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถขยายความกว้างของอุโมงค์ได้มากขึ้น

6) อัตราเร่งเนื่องจากคลื่นไหวสะเทือนจะมีผลต่อเสถียรภาพของอุโมงค์ในระดับตื้นมากกว่าในระดับลึก ซึ่งสอดคล้องกับกรณีศึกษาและตัวอย่างในพื้นที่จริงทั่วไปในต่างประเทศ ดังนั้นในการออกแบบอุโมงค์ในระดับตื้นจึงจำเป็นต้องศึกษาขนาดของคลื่นไหวสะเทือน (แผ่นดินไหว) ในพื้นที่ใกล้เคียงควบคู่ไปด้วย