บทที่ 6
สรุป

6.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปัญหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอาศัยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำการศึกษาถึงปัญหาการแทรกในดินของโครงสร้างใต้ดินในลักษณะต่าง ๆ โดยจะอาศัยวิธีการประยุกต์ใช้งาน (Practical Method) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีความเครียดน้อยในการวิเคราะห์ปัญหามวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวมาก (Large Deformation)

6.1.1 หลักการของวิธีการประยุกต์ใช้งาน

วิธีการประยุกต์ใช้งานจะประกอบด้วย การเพิ่มขึ้นของค่าความเครียดทีละน้อย ๆ ของวัตถุ (Infinitesimal Strain) และวิเคราะห์ผลเฉลยด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบกับการปรับปรุงพิกัดของโครงข่ายของชิ้นส่วน (Update Mesh) จนกระทั่งโครงข่ายที่ถูกปรับปรุงพิกัดเกิดการเสียรูปไปอย่างมาก แล้วทำการสร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนขึ้นใหม่ (Remeshing) ให้เป็นระเบียบด้วยการปรับขนาดชิ้นส่วนโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งประมาณหาค่าตัวแปรสถานะ ณ ตำแหน่งที่ต้องการพิจารณาภายในขอบเขตของปัญหา สำหรับทำการคำนวณในวงรอบถัดไป

ขั้นตอนหลัก ๆ ของวิธีประยุกต์ใช้งานสามารถสรุปได้ดังนี้

1) สร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนเริ่มต้นโดยระเบียบวิธีอัตโนมัติ
2) กำหนดค่าหน่วยแรงเริ่มต้นภายในขอบเขตของปัญหา
3) วิเคราะห์ผลเฉลยโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากการเพิ่มค่าการทรุดตัวทีละน้อย ๆ
4) ปรับปรุงชุดข้อมูลค่าหน่วยแรง รวมทั้งค่าพิกัดของโครงข่ายชิ้นส่วนสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการเคลื่อนตัวมาก
5) หาค่าความคลาดเคลื่อนของผลเฉลยในแต่ละชิ้นส่วน
6) ปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน ในกรณีที่ชิ้นส่วนนั้น ๆ มีค่าความคลาดเคลื่อนเกินกว่าพิกัดที่ยอมให้
7) ถ่ายโอนค่าของตัวแปรสถานะ ณ ตำแหน่งที่พิจารณาจากโครงข่ายของชิ้นส่วนเดิมไปสู่โครงข่ายของชิ้นส่วนใหม่
8) เพิ่มค่าการทรุดตัวสำหรับวงรอบถัดไป

ทำซ้ำขั้นตอน (3) - (8) จนกระทั่งได้ผลเฉลยของค่าการทรุดตัวที่ต้องการ

6.1.2 ขั้นตอนของวิธีประยุกต์ใช้งานที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการปรับปรุง และพัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้งาน ต่อเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ของ นาย ดำรงฤทธิ์ พรหมณีวัฒน์ ซึ่งขั้นตอนบางอย่างได้ทำการเปลี่ยนแปลง และมีการเพิ่มเนื้อหาบางส่วน ให้สามารถทำการวิเคราะห์ปัญหาการแทรกของวัตถุในดินได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น รายละเอียดต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

1) เพิ่มหลักการกำหนดจุดต่อที่บริเวณขอบเขตของปัญหาโดยใช้ สมการอนุกรมเรขาคณิต
2) พัฒนารูปร่างของชิ้นส่วน จากชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 จุดต่อ, 6 จุดเกาส์ ไปเป็น ชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ, 12 จุดเกาส์
3) ปรับปรุงวิธีการถ่ายโอนค่าตัวแปรสถานะจากวิธีที่มีอยู่เดิม ไปใช้วิธี Superconvergent Patch Recovery (SPR)
4) ปรับปรุงขั้นตอนการวิเคราะห์คำนวณ สำหรับปัญหาแบบสองมิติสมมาตรรอบแกน ให้มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น
5) พัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งระบบ (Non-Homogeneous)
6) พัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay

6.1.3 ข้อดีของวิธีการประยุกต์ใช้งาน

1) ประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีความเครียดน้อย ในการวิเคราะห์ปัญหามวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัวมาก (Large Deformation)
2) ใช้วิธีการสร้างโครงข่ายของชิ้นส่วนขึ้นใหม่ ภายหลังจากโครงข่ายของชิ้นส่วนเดิมเกิดการเสียรูปไปอย่างมาก พร้อมทั้งทำการถ่ายโอนค่าตัวแปรสถานะ ซึ่งจะทำให้ได้โครงข่ายของชิ้นส่วนที่มีความเหมาะสมสำหรับคำนวณในวงรอบถัดไป
3) สามารถพัฒนาระบบการคำนวณ สำหรับปัญหาการแทรกของวัตถุในดินได้หลากหลายรูปแบบ

6.2 สรุปปัญหากรณีศึกษา

การวิเคราะห์ปัญหาจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสียรูปของมวลดิน หรือหลักทฤษฎีความเครียดน้อย (Small Strain, SSC) และการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน หรือหลักทฤษฎีความเครียดมาก (Large Strain, LSC)

6.2.1 ผลการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (SSC)

การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่ไม่เกิดการเสียรูปของมวลดิน จะพิจารณาให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพิกัดโครงข่ายของชิ้นส่วนในแต่ละวงรอบของการเพิ่มค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปไว้ดังต่อไปนี้

1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรง และการทรุดตัว สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โครงข่ายชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 จุดต่อ และ 15 จุดต่อ ให้ค่าที่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และสอดคล้องกับค่าที่ได้จากวิธีเชิงประสบการณ์
2) โครงข่ายชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 15 จุดต่อ มีความยืดหยุ่นเพียงพอ และให้ค่าผลเฉลยที่มีความใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น
3) เสนอสมการ Embedment Factor จากผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่อง ได้ดังนี้

$$N_c = (2+\pi) * F_{cd}$$

$$F_{cd} = 1 + k * Tan^{-1}\left(D/B\right)$$

โดยที่ สำหรับค่า $D/B \le 0.5$: ค่าคงที่ k มีค่าเท่ากับ 0.62

สำหรับค่า $D/B > 0.5$: ค่าคงที่ k มีค่าเท่ากับ 0.38

4) เสนอสมการ Embedment Factor จากผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากวงกลม ได้ดังนี้

$$N_c = 6.025 * F_{cd}$$

$$F_{cd} = 1 + k * Tan^{-1}\left(D/B\right)$$

โดยที่ สำหรับค่า $D/B \le 0.5$: ค่าคงที่ k มีค่าเท่ากับ 0.80

สำหรับค่า $D/B > 0.5$: ค่าคงที่ k มีค่าเท่ากับ 0.62

5) สามารถแก้ไขปัญหากรณีกราฟไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และตัดกันเอง สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากวงกลม จากวิทยานิพนธ์ของนาย ดำรงฤทธิ์ พรหมณีวัฒน์
6) การกำหนดค่า Tolerance มีผลต่อความแม่นยำของค่าผลเฉลย และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (Execution Time)
7) ผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่องของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งระบบ ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธี Empirical Method ที่ได้จากการสอบถาม ผศ.ดร. บุญชัย อุกฤษฎชน

6.2.2 ผลการวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน (LSC)

การวิเคราะห์ปัญหากรณีที่เกิดการเสียรูปของมวลดิน จะพิจารณาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพิกัดโครงข่ายของชิ้นส่วนในแต่ละวงรอบของการเพิ่มค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปไว้ดังต่อไปนี้

1) ค่าผลเฉลย Nc ที่ได้จากกรณี LSC ให้ค่าที่สูงกว่ากรณี SSC เมื่อค่า S/B และ D/B มีค่ามากกว่า 0.175 ขึ้นไป เนื่องจากเกิดผลของ Soil Heave
2) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรง และการทรุดตัว สำหรับการวิเคราะห์ปัญหากรณี Large Strain ให้ค่าที่ไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ แต่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ
3) จากการวิเคราะห์ปัญหากรณี D/B ที่มีความลึกมาก ๆ พบว่าจะเกิดการยกตัวของมวลดิน (Soil Heave) ณ ขอบของฐานรองรับน้อยลง
4) เสนอสมการ Embedment Factor จากผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่อง กรณี Large Strain ได้ดังนี้

$$N_c = (2+\pi) * F_{cd} + \frac{S}{B}\left[0.1367\left(\frac{D}{B}\right)^{1.763} - 0.0233\left(\frac{D}{B}\right) + \pi\right]$$

ค่า F_{cd} แสดงไว้ในผลการวิเคราะห์กรณี SSC ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

5) ผลการวิเคราะห์ปัญหาฐานรากต่อเนื่อง ของมวลดินที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งระบบ สำหรับกรณี Large Strain ให้ค่าที่ไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าการทรุดตัวของฐานรองรับ โดยเสนอสมการไว้ดังนี้

$$\left(\frac{F_{nct}}{B.}\right)_{LSC} = F\left[(2+\pi).Su_0 + \rho B/4\right] + 20.9847\left(\frac{S}{B}\right)\left(\frac{\rho B}{Su_0}\right)^{0.9715}$$

ค่า Correction Factors, F แสดงไว้ดังสมการที่ 4.7 ในบทที่ 4

6) การปรับปรุงโครงข่ายของชิ้นส่วน (Mesh Adaptation) เป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้งาน (Practical Method) และมีผลต่อความแม่นยำของค่าผลเฉลย
7) ค่าอัตราการทรุดตัวของฐานรองรับ $\Delta S/B$ มีผลต่อความแม่นยำของค่าผลเฉลย และในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.0005

6.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1) ควรมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาในสภาพระบายน้ำ ในการศึกษาหาค่ากำลังรับน้ำหนักประสิทธิผลของมวลดิน
2) ควรมีการปรับปรุงขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองดิน Modified Cam-Clay ให้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาการแทรกในดินในลักษณะต่าง ๆ
3) ควรมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาการแทรกในดิน ในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป