การวิเคราะห์พฤติกรรมของดินภายใต้ฐานรากตื้นแบบ Strip ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์

An Analysis of Soil Behavior under Strip Footing by Finite Element Method

ฐานรากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่มีความสำคัญมาก โดยทำหน้าที่ในการถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างลงสู่ดิน ฐานรากตื้นเป็นฐานรากประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบฐานรากตื้นนั้น ได้แก่ การหากำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน (Ultimate Bearing Capacity) และการทรุดตัวของดินใต้ฐานราก การวิเคราะห์กำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน ในปัจจุบันจะใช้หลักการของวิธี Limit Equilibrium Method โดยสมมุติรูปร่างการวิบัติของมวลดินแล้วพิจารณาว่าดินอยู่ในสภาวะสมดุลพลาสติก (Plastic Equilibrium) แล้วจึงวิเคราะห์หาค่ากำลังแบกทานของดิน สมการที่ใช้ในการหาค่ากำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของดินที่นิยมใช้นั้นมีอยู่หลายสมการด้วยกัน แต่ละสมการมีการพัฒนาให้สามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ส่วนการวิเคราะห์การทรุดตัวจะใช้ทฤษฎีอิลาสติกในการวิเคราะห์ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เป็นเส้นตรง เป็นช่วงที่วัสดุเกิดความเครียดน้อยมาก จะเห็นว่าการวิเคราะห์การทรุดตัวของดินจะเป็นการพิจารณาพฤติกรรมในช่วงเริ่มต้นที่ดินเริ่มมีการรับน้ำหนักหรืออยู่ในสภาวะอิลาสติก ส่วนการหาค่ากำลังแบกทานของดินเป็นการพิจารณาพฤติกรรม ณ จุดก่อนที่ดินกำลังจะเกิดการวิบัติ ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งสองอย่างเป็นเพียงจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายของพฤติกรรมของดินไม่ได้มีการอธิบายความต่อเนื่องที่เกิดขึ้น ในปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี เนื่องจากสามารถจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในมวลดินได้ใกล้เคียงมากขึ้น วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะพิจารณาวัสดุเป็นมวลต่อเนื่องและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของดิน นอกจากนั้นวิธีนี้สามารถแสดงพฤติกรรมของมวลดินตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักจนกระทั่งเกิดการวิบัติได้ทำให้เห็นพฤติกรรมความต่อเนื่องของมวลดินได้อย่างดี

งานวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของดินภายใต้ฐานรากตื้นแบบ Strip ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ โดยแบ่งกรณีศึกษาตามคุณสมบัติของฐานรากและคุณสมบัติของดิน สำหรับฐานรากจะกำหนดให้ฐานรากที่ใช้วิเคราะห์เป็นแบบ Perfectly Rigid โดยจะกำหนดให้การทรุดตัวใต้ฐานรากมีค่าเท่ากันโดยตลอดความกว้างฐานราก ในการวิเคราะห์แบ่งกรณีศึกษาตามคุณสมบัติของฐานราก ได้แก่ ความกว้างของฐานราก อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง และ Roughness of Footing

ส่วนคุณสมบัติของดินแบ่งกรณีศึกษาตามชนิดของดิน คือ ดินเหนียวและดินทราย จากนั้นแบ่งกรณีศึกษาตามค่าความแข็งแรงของดิน ได้แก่ ดินทรายหลวม(Loose Sand) ดินทรายแน่นปานกลาง(Medium Sand) ดินทรายแน่นมาก(Dense Sand) ดินเหนียวอ่อน(Soft Clay) ดินเหนียวแน่นปานกลาง(Medium Clay) และดินเหนียวแน่น(Stiff Clay) รวมกรณีที่ทำการศึกษาทั้งสิ้น 144 กรณี จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังแบกทานของดินที่ได้กับสมการทั่วไปที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น สมการของ Terzaghi เป็นต้น และทำการศึกษาลักษณะของรูปร่างของระนาบวิบัติของดินที่ได้จาก FEM เปรียบเทียบกับรูปร่างตามสมมุติฐานของ Terzaghi, Prandtl และ Hill นอกจากนั้น การศึกษาพฤติกรรมของมวลดินตั้งแต่เริ่มมีการรับน้ำหนักจนกระทั่งเกิดการวิบัติก็เป็นอีกหัวข้อจะทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งจะทำให้ทราบกระบวนการความต่อเนื่องของการวิบัติของมวลดินภายใต้การรับน้ำหนักจากฐานรากตื้น

จากผลการวิเคราะห์ค่ากำลังแบกทานของดินที่ได้จาก FEM สำหรับดินเหนียวมีค่าใกล้เคียงกับสมการของ Fellenius และ Hansen มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุด 15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินทรายค่าที่ได้จาก FEM จะให้ค่าโดยเฉลี่ยสูงกว่าค่าที่คำนวณจากสมการทั่วไป ในกรณีที่ค่า D/B = 0 มีค่าใกล้เคียงกับสมการของ Terzaghi และ Vesic โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุด 40% ส่วนกรณีที่ค่า D/B > 0 มีค่าใกล้เคียงกับสมการของ Terzaghi และ Hansen มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุด 33 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรูประนาบการวิบัติของดินเหนียวกรณี D/B = 0จะคล้ายซ้อนทับกับสมมุติฐานของ Prandtl คือ ส่วนแรกจะมีลักษณะเป็นรูปลิ่มสามเหลี่ยมที่บริเวณใต้ฐานรากเป็นรูปลิ่มจากนั้นเชื่อมต่อด้วยเส้นโค้ง Log-Spiral จนสัมผัสผิวดิน แต่กรณี D/B > 0 ระนาบการวิบัติจะเปลี่ยนแปลงไปแต่ยังคงเกิดรูปลิ่มสามเหลี่ยมที่ใต้ฐานรากแล้วเชื่อมด้วยเส้นโค้งจนสัมผัสกับผิวดิน ส่วนรูประนาบการวิบัติของดินทรายกรณี D/B = 0 ที่ได้จาก FEM จะมีขนาดที่ใหญ่กว่ารูปตามสมมุติฐานของ Prandtl ส่วนกรณี D/B > 0 ระนาบการวิบัติยังคงเกิดรูปลิ่มใต้ฐานรากแล้วเชื่อมต่อด้วยโค้งจนไปสัมผัสที่ผิวดินเช่นกัน จากการวิจัยทำให้ทราบว่าค่า Roughness of Footing นั้นมีผลต่อรูปร่างของระนาบการวิบัตินั่นคือการกำหนดผิวสัมผัสระหว่างฐานรากและดินแบบขรุขระจะทำให้ระนาบการวิบัติมีความลึกมากกว่าการกำหนดให้เป็นแบบราบเรียบ และมีผลต่อค่ากำลังแบกทานของดินเช่นกันโดยจะมีผลมากกรณีที่ฐานรากวางอยู่ที่ผิวดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการบังคับการเคลื่อนตัวของดินนั่นเอง ส่วนข้อดีของ FEM นั้นก็คือสามารถเห็นพฤติกรรมความต่อเนื่อง โดยพฤติกรรมของดินตั้งแต่เริ่มรับน้ำหนักจนกระทั่งเกิดการวิบัติสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 สภาวะดังนี้ คือ (1) Fully Elastic State (2) First Local Failure State (3) Elasto-Plastic State (4) Limit Equilibrium State (5) Collapse Mechanism State และงานวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นที่จะนำเอา Continuum

Mechanics มาประยุกต์ใช้กับปัญหาฐานรากตื้น ในการวิเคราะห์จะใช้รูปแบบของปัญหาและเงื่อนไขต่างๆที่สะดวกต่อการวิเคราะห์ ดังนั้น ยังคงต้องมีการแก้ไขจุดบกพร่องและศึกษาปัญหาที่เงื่อนไขอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่ผลงานวิจัยที่สมบูรณ์และเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแบกทานของดินกับ General Bearing Capacity Equation ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

2. ศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของมวลดินตั้งแต่เริ่มต้นรับน้ำหนักจนกระทั่งเกิดการวิบัติของมวลดิน

3. เปรียบเทียบรูปร่างของระนาบการวิบัติของดินกับสมมุติฐานที่ใช้กันในปัจจุบัน

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมทางด้าน Continuum Mechanics ในการรับน้ำหนักของดินจากฐานรากตื้นแบบแผ่ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ (Finite Element Method)

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลโดยรวม (Global Information) ของดินทั่วไปที่ได้ถูกรวบรวมไว้หนังสือซึ่งถือว่าเป็นช่วงข้อมูลที่สากลยอมรับและใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้น

3. แบบจำลองดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Elastic-Perfectly Plastic Soil Model