

กำลังถอนแบบเอียงของแผ่นสมอในดินทราย

Inclined Pullout Capacity of Plate Anchors in Sand

คำน้อย กุลละวง¹ สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์² บุญชัย อุกฤษฏ์²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลเฉลยเชิงตัวเลขของสูตรกำลังถอนแบบเอียงของสมอแบบแผ่นในดินทราย วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ขีดจำกัดแบบระนาบความเครียดสองมิติถูกนำมาใช้วิเคราะห์การวิบัติของปัญหานี้ สมอแบบแผ่นมีความกว้าง (B) และความลึก (H) ถูกกระทำโดยแรงแบบเอียง (P) ที่ทำมุม β จากแนวตั้ง สำหรับการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ขีดจำกัด ดินทรายถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบปริมาตรที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบมอร์-คูลอมบ์ในสภาวะระบายน้ำ โดยมีพารามิเตอร์คือหน่วยน้ำหนัก (γ) และมุมเสียดทาน (ϕ) แผ่นสมอถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบแผ่นที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบอีลาสติก การศึกษาทางพารามิเตอร์ประกอบด้วยตัวแปรไร้มิติอัตราส่วนการฝัง (H/B), มุมเสียดทาน (ϕ), และมุมเอียงของโหลด (β) ผลที่ได้ถูกสรุปในรูปของพารามิเตอร์ไร้มิติของแรงวิบัติแบบเอียง ($P/\gamma HB$) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรไร้มิติป้อนเข้า กลไกการวิบัติที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรไร้มิติถูกนำเสนอในบทความนี้

คำสำคัญ: แผ่นสมอ, การวิเคราะห์ขีดจำกัด, กำลังถอนแบบเอียง

Abstract

This paper presents a numerical solution of the inclined pullout capacity of plate anchors in sand. The two dimensional plane strain finite element limit analysis was employed to determine the stability of this problem. A plate anchor with a width (B) and an embedded depth (H) is loaded by an inclined force (P) with an angle β from the vertical. For finite element limit analysis, the sand is modelled as the volume element with Mohr-Coulomb material in a drained condition where the parameters are unit weight (γ) and friction angle (ϕ). The plate anchor is modelled as the plate element with the elastic material. Parametric studies were performed for three dimensionless variables including embedment ratio (H/B), friction angle (ϕ), and load inclination (β). Results were summarized in the form of the dimensionless inclined pullout capacity ($P/\gamma HB$) as a function of those input variables.

Keywords: Plate Anchor, Limit Analysis, Inclined Pullout Capacity

1. บทนำ

แผ่นสมอ (Plate Anchor) ถูกนำมาใช้ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคสำหรับเป็นชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ฝังอยู่ในดิน โดยแผ่นสมอจะมีน้ำหนักเบาและมีราคาไม่แพงแต่สามารถรับแรงดึงได้เป็นอย่างดีโดยอาศัยน้ำหนักกดทับจากดินที่อยู่ด้านบน โดยทั่วไปแผ่นสมอจะถูกใช้ในงานขุดดินลึกโดยเป็นชิ้นส่วนที่ผูกติดกับแท่งผูก (Tie Rods) ที่เชื่อมต่อโครงสร้างระบบค้ำยันชั่วคราว เช่น กำแพงเข็มพิค (Sheet Pile Wall) เป็นต้น โดยช่วยยึดระบบค้ำยันชั่วคราวไม่ให้พังทลายก่อนที่งานก่อสร้างได้ดินจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ หรือช่วงเพิ่มเสถียรภาพของกำแพงกันดิน (Retaining Wall) ให้มากขึ้น นอกจากนี้แผ่นสมอนี้ยังสามารถใช้ป้องกันแรงดูดขึ้นของน้ำใต้ดิน (Uplift Water Pressure) ได้เป็นอย่างดี

ในอดีตได้มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงแรงดูดขึ้นของแผ่นสมอโดยใช้ทั้งวิธีเชิงตัวเลขและการทดสอบจริง เช่น Meyerhof and Adams [1], Das [2], Rowe and Davis [3-4], Murray and Geddes [5], Merifield et al. [6], Merifield and Sloan [7], Kumar and Kouzer [8] แต่งานวิจัยทั้งหมดไม่ได้ศึกษาถึงผลการรับแรงเฉียงของแผ่นสมอเอาไว้ บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาค่าลึงดอนแบบเฉียงของสมอแบบแผ่นในดินทรายด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต (FELA)

2. วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถอนของแผ่นสมอ

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต (Finite Element Limit Analysis) OptumG2 โดย Krabbenhoft [9] ในการจำลองและวิเคราะห์หาผลเฉลยแบบขอบเขตบน (Upper Bound) และขอบเขตล่าง (Lower Bound) วิธีนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่อาศัยหลักการของทฤษฎีลิมิตพลาสติก (Plastic Limit Theorem) ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและสามารถประยุกต์ใช้กับพารามิเตอร์ต่างๆ ไปทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคได้ การหาคำตอบด้วยทฤษฎีขอบเขตพลาสติก (Plastic Bound Theorems) มีหลักการคือถ้าเราสามารถจำกัดขอบเขตของคำตอบให้อยู่ใน

ช่วงๆหนึ่งที่แน่นอนได้ และปรับปรุงแก้ไขระบบการคำนวณไปเรื่อยๆ จนกระทั่งช่วงของคำตอบนี้เข้าใกล้กันมากที่สุด เราก็จะได้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำ (Exact solution) มากที่สุด ทฤษฎีขอบเขตพลาสติกถูกแบ่งออกเป็นอีก 2 ทฤษฎีบท คือ ทฤษฎีขอบเขตล่าง (Lower bound theorem) และทฤษฎีขอบเขตบน (Upper bound theorem) โดยผลจากทฤษฎีทั้งสองนี้เองที่จะให้ผลเฉลยแบบขอบเขตบนและขอบเขตล่าง

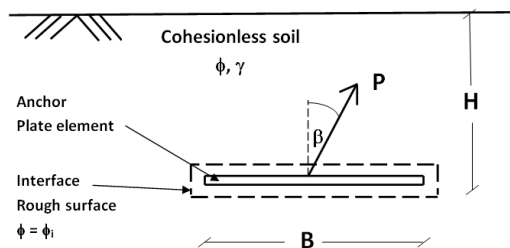
งานวิจัยนี้จำลองให้ดินทรายเป็นอีลิเมนต์แบบปริมาตรที่เป็นการวิบัติแบบมอร์-คูลอมบ์ ดินทรายมีหน่วยน้ำหนัก (γ) และมุมเสียดทานภายใน (ϕ) ค่าแรงยึดเหนี่ยวของทราย (Cohesion, c) = 0 หรืออาจกล่าวได้ว่าดินเป็นแบบไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soil)

สมอ (Anchor) ถูกจำลองเป็นอีลิเมนต์แบบแผ่น (Plate) โดยสมอมีความกว้าง (B) และความลึกจากระดับผิวดิน (H) ดังแสดงในรูปที่ 1 และเป็นแบบแข็งเกร็ง (Rigid) นอกจากนี้ แผ่นสมอถูกกำหนดให้มีแรงถอนที่ท่ามุม β แนวตั้งและกระทำที่กึ่งกลางของแผ่นสมอ โดยมี P เป็นแรงถอน

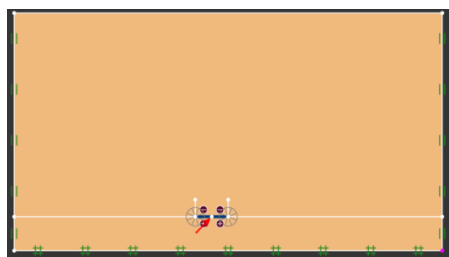
ชิ้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและโครงสร้างถูกใช้ตลอดความยาวระหว่างผิวสัมผัสระหว่างแผ่นสมอและดินทราย ค่าแฟกเตอร์การยึดเกาะระหว่างดินและสมอ (α) มีค่าเท่ากับ 1 โดยเป็นผิวสัมผัสแบบหยาบ (Rough) แฟกเตอร์การยึดเกาะมีนิยามคือ $\alpha = \tan\phi_s/\tan\phi$ โดย ϕ_s คือมุมเสียดทานภายในที่ผิวสัมผัสระหว่างดินและสมอแผ่น นอกจากนี้ ชิ้นส่วนเชื่อมต่อยังถูกกำหนดให้ผิวสัมผัสเป็นแบบไม่มีแรง (No Tension) อีกด้วย

เงื่อนไขการเคลื่อนตัวของขอบเขตของแบบจำลองนี้คือขอบล่างของแบบจำลองไม่มีการเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้ง ขอบซ้ายและขอบขวาไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบโดยรายละเอียดแสดงอยู่ในรูปที่ 2 แบบจำลองเป็นแบบระนาบความเครียด (Plane Strain) ชิ้นส่วนดินของโครงข่ายไฟไนต์อีลิเมนต์ของขอบเขตล่างเป็นชิ้นส่วน (Element) รูปสามเหลี่ยมแบบมี 3 จุดต่อของความเค้น (Nodal Unknown Stresses) ส่วนขอบเขตบนมีชิ้นส่วนรูปสามเหลี่ยมแบบมี 6 จุดต่อ

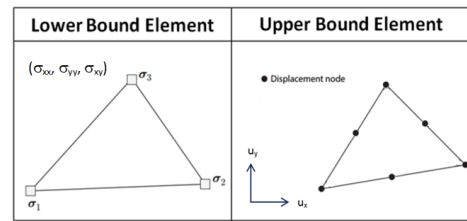
เคลื่อนตัว (Nodal Unknown Displacement Node) ดังที่แสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ โปรแกรม OptumG2 ยังมีฟังก์ชันพิเศษคือการที่แบบจำลองสามารถเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนหรือพัฒนาโครงข่าย (Adaptive Mesh) ด้วยตัวเองได้ซึ่งสามารถทำให้ผลเฉลยของปัญหามีความเข้าใกล้ผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) มากยิ่งขึ้นงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้แบบจำลองพัฒนาโครงข่ายทั้งหมด 5 รอบต่อการวิเคราะห์หาผลเฉลยของ 1 ปัญหา ฟังก์ชันนี้จะเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค้นและความเครียดสูง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) เช่น ตรงตำแหน่งที่เกิดเส้นการวิบัติ (Slip-Line Field) เป็นต้น ผลเฉลยทุกค่าในงานวิจัยนี้ถูกตั้งค่าให้มีชิ้นส่วนเริ่มต้นที่ 5000 ชิ้น และแบบจำลองจะพัฒนาโครงข่ายไปจำนวนทั้งหมดทั้งหมด 5 รอบ ซึ่งจะมีการเพิ่มจำนวนของชิ้นส่วนไปได้ถึง 10000 ชิ้นส่วนหลังจากการพัฒนาโครงข่ายครั้งสุดท้าย



รูปที่ 1 ปัญหาการคำนวณออกแบบเชิงของแผ่นสมอในดินทราย



รูปที่ 2 แบบจำลองสมอแบบแผ่นด้วยโปรแกรม OptumG2



รูปที่ 3 ชิ้นส่วนสำหรับการวิเคราะห์ขอบเขตบนและขอบเขตล่าง

ตัวแปรป้อนเข้าสำหรับการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์หาลิมิต (FELA) มีดังนี้

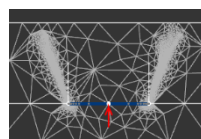
1. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของแผ่นสมอ (H/B) = 1, 2, 4, 6, 8, และ 10
2. มุมเสียดทานภายในของดินทราย (ϕ) = 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° และ 40°
3. มุมเอียงจากแนวตั้งของแรงดึงของแผ่นสมอ (β) = 0° , 15° , 30° และ 45° ผลเฉลยแบบตัวแปรไร้มิติที่ได้จากวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์หาลิมิตคือ $P/\gamma HB$

3. ผลการวิเคราะห์

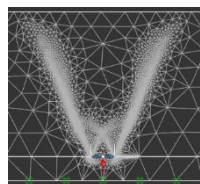
รูปที่ 5 แสดงผลการพัฒนาโครงข่าย (Adaptive Mesh) ครั้งสุดท้ายของแผ่นสมอที่มีแรงถอนในแนวตั้ง ($\beta = 0^\circ$) โดยมีค่า $\phi = 20^\circ$ ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างสามกรณีคือ $H/B = 1, 6, 10$ หลังจากการพัฒนาโครงข่ายครั้งที่ 5 จำนวนชิ้นส่วน (Element) ของแบบจำลองจะถูกเพิ่มจำนวนในพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) หรือตรงส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเฉือนสูงจากรูปจะเห็นว่าจำนวนอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างมากเริ่มจากตำแหน่งตรงปลายด้านซ้ายและขวาของแผ่นสมอไปจนถึงผิวดิน และเมื่อ H/B มีค่ามากขึ้น ขอบเขตการวิบัติหรือขอบเขตการเพิ่มขึ้นของอิลิเมนต์ก็จะกว้างและยาวขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ เมื่อ H/B มีค่าเพิ่มขึ้นจำนวนอิลิเมนต์ก็จะเพิ่มมากขึ้นตรงตำแหน่งพื้นที่ข้างบนสมอเนื่องมาจากหน่วยน้ำหนักกดทับ (Overburden Pressure) ที่มากขึ้นตามความลึกของสมอที่มีค่า H/B สูงๆ

รูปที่ 6 แสดงผลเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น (Incremental Vector) และรูปที่ 7 แสดงตำแหน่งที่มีการเพิ่มขึ้นของความเครียดเฉือน (Shear Dissipation) ของแผ่นสมอที่มีแรงถอนในแนวดิ่ง ($\beta = 0^\circ$) และมีค่า $\phi = 20^\circ$ เช่นเดียวกันกับรูปที่ 5 โดยจากรูปทั้งสองจะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของเวกเตอร์การเคลื่อนตัวรวมไปถึงความเครียดเฉือนในตำแหน่งเดียวกันกับรูปที่ 5

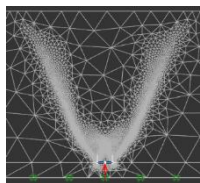
รูปที่ 8, 9, 10 แสดงผลการพัฒนาโครงข่ายเวกเตอร์การเคลื่อนตัว การเพิ่มขึ้นของความเครียดเฉือนของแผ่นสมอที่มีค่า $\phi = 20^\circ$ และ $H/B = 6$ ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างสามกรณีคือ แรงทำมุมกับแนวดิ่ง (β) ที่ 0° , 15° , 45° อกจากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าจำนวนอีลิเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับที่แรงเอียงกระทำ และเมื่อค่า β มีค่ามากก็จะส่งผลให้จำนวนอีลิเมนต์มีมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับรูปที่ 9 และ 10 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของเวกเตอร์การเคลื่อนตัวรวมไปถึงความเครียดเฉือนในตำแหน่งเดียวกันกับรูปที่ 8



(a)

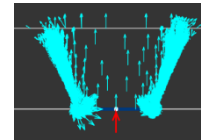


(b)

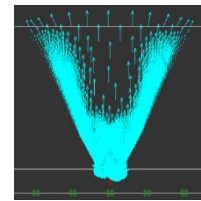


(c)

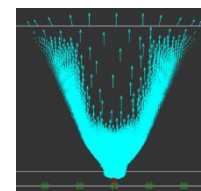
รูปที่ 5 การพัฒนาโครงข่ายของแผ่นสมอที่มี $\beta = 0^\circ$ และ $\phi = 20^\circ$ (a) $H/B = 1$, (b) $H/B = 6$, (c) $H/B = 10$



(a)

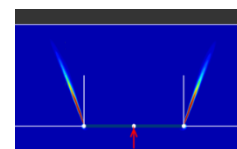


(b)

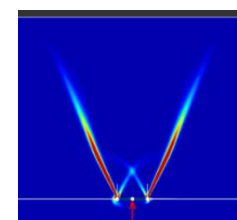


(c)

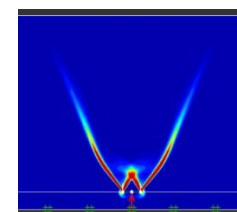
รูปที่ 6 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นของแผ่นสมอที่มี $\beta = 0^\circ$ และ $\phi = 20^\circ$ (a) $H/B = 1$, (b) $H/B = 6$, (c) $H/B = 10$



(a)

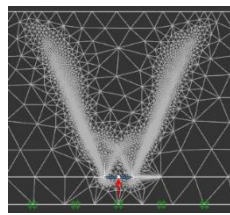


(b)

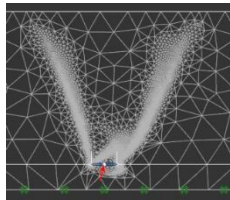


(c)

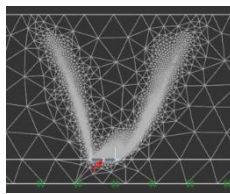
รูปที่ 7 การเพิ่มขึ้นของความเครียดเฉือนของแผ่นสมอที่มี $\beta = 0^\circ$ และ $\phi = 20^\circ$ (a) $H/B = 1$, (b) $H/B = 6$, (c) $H/B = 10$



(a)

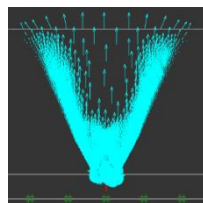


(b)

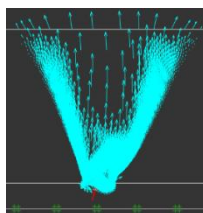


(c)

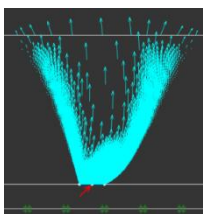
รูปที่ 8 การพัฒนาโครงข่ายของแผ่นสมอที่มี $H/B = 6$ และ $\phi = 20^\circ$ (a) $\beta = 0^\circ$, (b) $\beta = 15^\circ$, (c) $\beta = 45^\circ$



(a)

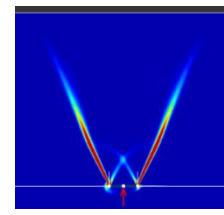


(b)

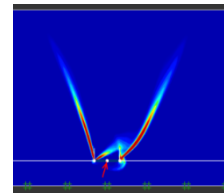


(c)

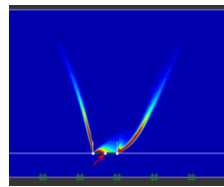
รูปที่ 9 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นของแผ่นสมอที่มี $H/B = 6$ และ $\phi = 20^\circ$ (a) $\beta = 0^\circ$, (b) $\beta = 15^\circ$, (c) $\beta = 45^\circ$



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 10 การเพิ่มขึ้นของความเครียดเฉือนของแผ่นสมอที่มี $H/B = 6$ และ $\phi = 20^\circ$ (a) $\beta = 0^\circ$, (b) $\beta = 15^\circ$, (c) $\beta = 45^\circ$

รูปที่ 11 แสดงผลเฉลยจากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ของการวิเคราะห์หาค่าเหมาะที่สุดด้วยโปรแกรม OptumG2 ผลเฉลยที่ได้คือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติของอัตราส่วนแรงดัดแบบเบี่ยง, $P/\gamma HB$ ที่กระทำกับสมอในแนวดิ่ง ($\beta = 0^\circ$) กับอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของแผ่นสมอ, H/B โดยกราฟในรูปจะแบ่งผลเฉลยเป็นสองแบบคือแบบผลเฉลยของขอบเขตบนจะเป็นเส้นประ ส่วนผลเฉลยของขอบเขตล่างจะเป็นเส้นทึบ จากรูปจะเห็นได้ว่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างมีความใกล้เคียงกันมากจนเกือบจะเป็นเส้นเดียวกันซึ่งแสดงว่าผลเฉลยที่ได้มีค่าใกล้เคียงผลเฉลยแม่นยำตรงมาก เส้นต่างๆในรูปที่ 11 มีค่ามุมเสียดทานภายใน, ϕ ที่แตกต่างกันโดยเส้นบนสุดมีค่า $\phi = 40^\circ$ และเส้นล่างสุดมีค่า $\phi = 5^\circ$ จากรูปพบว่าเมื่อ H/B และ ϕ มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า $P/\gamma HB$ ก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

รูปที่ 12, 13, 14 แสดงผลเฉลยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติของอัตราส่วนแรงดัดแบบเบี่ยงที่ทำมุมต่างๆตั้งแต่ $\beta = 15^\circ, 30^\circ,$

45° ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของแผ่นสมอเช่นกัน จากรูป 12-14 จะเห็นได้ว่าค่า $P/\gamma HB$ จะเพิ่มขึ้นตามค่า H/B และ ϕ เช่นกัน

รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $P/\gamma HB$ กับ H/B เช่นเดียวกัน แต่เส้นต่างๆ ในรูปแสดงค่า β ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0° ถึง 45° โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 15° ซึ่งผลเฉลยทุกค่าในรูปนี้จะมี $\phi = 5^\circ$ จากรูปพบว่าค่า $P/\gamma HB$ จะลดลงเมื่อค่า β มีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 16, 17, 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $P/\gamma HB$ กับ H/B เช่นเดียวกัน แต่ผลเฉลยในรูปที่ 16, 17, 18 จะมีค่า ϕ ที่แตกต่างกัน คือ 20°, 30°, 40° ตามลำดับ

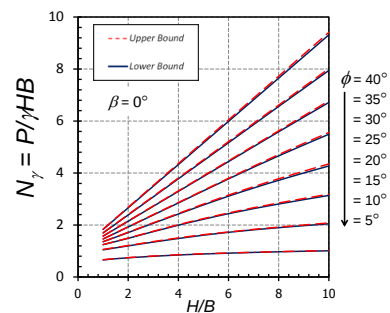
ในรูปที่ 16 กราฟทุกเส้นในรูปแสดงแสดงค่า β ที่แตกต่างกัน โดยเรียงลำดับตั้งแต่ 0°, 15°, 30°, 45° จากบนลงล่างดังเช่นรูปที่ 15 จากรูปพบว่าที่ $\beta = 0^\circ$ และ 15° ค่าผลเฉลยจะมีค่าใกล้เคียงกันมากจนเกือบเป็นเส้นเดียวกัน

กราฟทุกเส้นในรูปที่ 17 แสดงค่า β ที่แตกต่างกัน โดยเรียงลำดับตั้งแต่ 30°, 15°, 0°, 45° จากบนลงล่าง แต่จากรูปพบว่าที่ $\beta = 30^\circ, 15^\circ, 0^\circ$ ค่าผลเฉลยจะมีค่าใกล้เคียงกัน

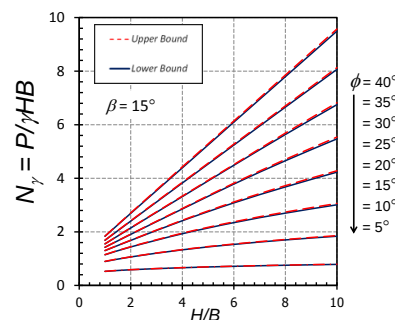
สำหรับรูปที่ 18 ค่า β จะเรียงจากบนลงล่าง ตั้งแต่ $\beta = 45^\circ, 30^\circ, 15^\circ, 0^\circ$ โดยจากรูปพบว่าที่ $\beta = 15^\circ, 0^\circ$ ผลเฉลยจะมีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 15-18 สามารถสรุปได้ว่ามุมเอียงของแรงถอนส่งผลต่อผลเฉลย $P/\gamma HB$ แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่า ϕ โดยขณะที่ค่า ϕ มีค่าน้อยๆ เส้นกราฟที่แสดงถึงค่า β ต่างๆ ในรูปจะเรียงจาก $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ โดยผลเฉลยที่มากที่สุดคือที่ $\beta = 0^\circ$ และที่น้อยที่สุดคือที่ $\beta = 45^\circ$ ดังที่แสดงในรูปที่ 15 และ 16 ในทางกลับกันเมื่อค่า ϕ มีค่ามากๆ เส้นกราฟแสดงถึงค่า β ต่างๆ ในรูปจะเรียงจาก $\beta = 45^\circ, 30^\circ, 15^\circ, 0^\circ$ โดยผลเฉลยที่มากที่สุดคือที่ $\beta = 45^\circ$ และที่น้อยที่สุดคือที่ $\beta = 0^\circ$ สลับกันดังที่แสดงในรูปที่ 18

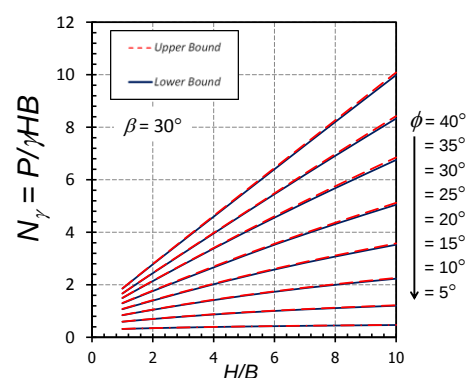
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวตั้งแต่รูปที่ 11 ถึงรูปที่ 18 สามารถสรุปได้ว่าตัวแปรไร้มิติของอัตราส่วนแรงถอนวิธีแบบเอียง, $P/\gamma HB$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ H/B และ ϕ มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า ϕ มีค่าน้อยๆ ผลเฉลย $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 0^\circ$ จะมีค่ามากที่สุด แต่หาก ϕ มีค่ามากๆ ผลเฉลย $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 45^\circ$ จะมีค่ามากที่สุดแทน



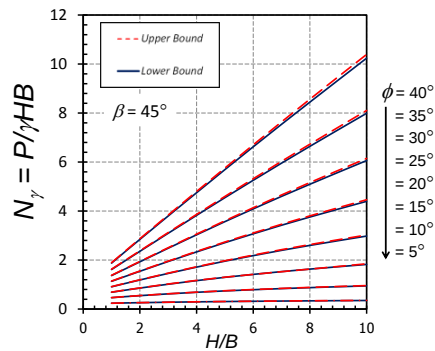
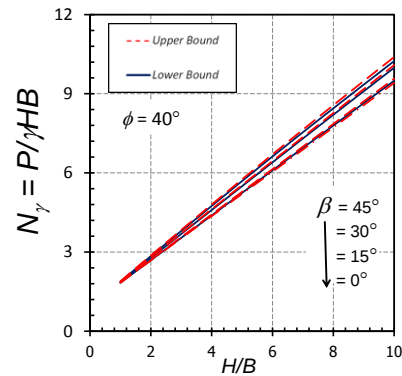
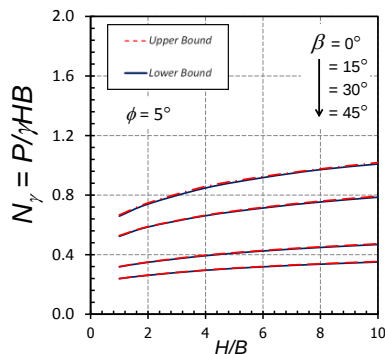
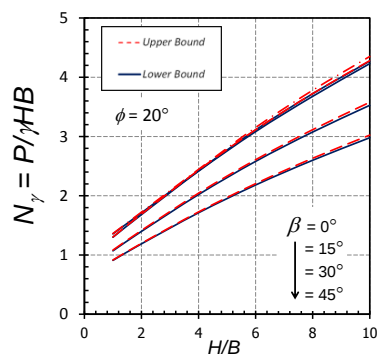
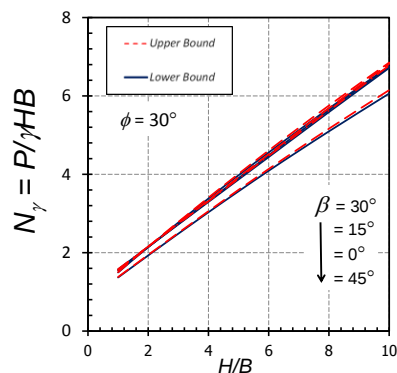
รูปที่ 11 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 0^\circ$



รูปที่ 12 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 15^\circ$



รูปที่ 13 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 30^\circ$

รูปที่ 14 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 45^\circ$ รูปที่ 18 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 40^\circ$ รูปที่ 15 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 5^\circ$ รูปที่ 16 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 20^\circ$ รูปที่ 17 ผลเฉลยของ $P/\gamma HB$ ที่ $\beta = 30^\circ$

4. สรุป

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาคำสั่งถนนแบบเอียงของสมอแบบแผ่นในดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน (c) = 0 หรืออาจกล่าวได้ว่าดินเป็นแบบไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soil) โดยมีพารามิเตอร์คือหน่วยน้ำหนัก (γ) และมุมเสียดทาน (ϕ) วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิ้มิตแบบระนาบความเครียดสองมิติถูกนำมาใช้วิเคราะห์การวิบัติของปัญหา สมอแบบแผ่นมีความกว้าง (B) และความลึก (H) ถูกกระทำโดยแรงแบบเอียง (P) ที่ทำมุม β จากแนวดิ่ง สำหรับการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิ้มิต ดินเหนียวถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบปริมาตรที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบมอร์-คูลอมบ์ในสภาพระคายน้ำ แผ่นสมอถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบแผ่นที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบอีลาสติก การศึกษาทางพารามิเตอร์ในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบตัวแปรไร้มิติ คือ สัดส่วนการฝัง (H/B), มุมเสียดทาน (ϕ), และมุมเอียงของโหลด (β) ผลที่ได้ถูกสรุปในรูปแบบของพารามิเตอร์ไร้มิติของแรงวิบัติแบบเอียง ($P/\gamma HB$) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรไร้มิติป้อนเข้าต่างๆ

ผลเฉลยที่ได้นำเสนอในรูปแบบของกลไกการวิบัติ (Failure Mechanism) ที่ประกอบไปด้วยผลการพัฒนาโครงข่าย เวกเตอร์การเคลื่อนตัว การเพิ่มขึ้นของความเครียดเฉือน จากผลการวิเคราะห์พบว่าจำนวนอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างมากเริ่มจากตำแหน่งตรงปลายด้านซ้ายและขวาของแผ่นสมอไปจนถึงเกือบถึงผิวดิน และ

เมื่อ H/B มีค่ามากขึ้น ขอบเขตการวิบัติหรือขอบเขตการเพิ่มขึ้นของอิลิเมนต์ก็จะกว้างและยาวขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ เมื่อ H/B มีค่าเพิ่มขึ้น จำนวนอิลิเมนต์ก็จะเพิ่มมากขึ้นตรงตำแหน่งพื้นที่ข้างบนสมอเนื่องมาจากหน่วยน้ำหนักกดทับ (Overburden Pressure) ที่มากขึ้นตามความลึกของสมอที่มีค่า H/B สูงๆ สำหรับผลการวิบัติของมุมเอียง β พบว่าจำนวนอิลิเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับที่แรงเอียงกระทำและเมื่อค่า β มีค่ามากก็จะส่งผลให้จำนวนอิลิเมนต์มีมากขึ้นตามไปด้วย โดยผลการวิบัติอื่นๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของเวกเตอร์รวมไปถึงเส้นการเพิ่มขึ้นของเฉือนก็เป็นเช่นเดียวกัน

ค่าของผลเฉลยที่ได้จะถูกแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $P/\gamma H B$ กับ H/B ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าค่า $P/\gamma H B$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ H/B และ ϕ มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า ϕ มีค่าน้อยๆ ผลเฉลย $P/\gamma H B$ ที่ $\beta = 0^\circ$ จะมีค่ามากที่สุด แต่หาก ϕ มีค่ามากๆ ผลเฉลย $P/\gamma H B$ ที่ $\beta = 45^\circ$ จะมีค่ามากที่สุดแทน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. G. Meyerhof, J. I. Adams, "The Ultimate Uplift Capacity of Foundations", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 225–244, 1968.
- [2] B. M. Das, "Model Tests for Uplift Capacity of Foundations in Clay", Soils and Foundations, Vol. 18, No. 2, pp. 17–24, 1978.
- [3] R. K. Rowe, E. H. Davis, "The Behaviour of Anchor Plates in Clay", Géotechnique, Vol. 32, No. 1, pp. 9–23, 1982.
- [4] R. K. Rowe, E. H. Davis, "The Behaviour of Anchor Plates in Sand", Géotechnique, Vol. 32, No. 1, pp. 25–41, 1982.
- [5] E. J. Murray, J. D. Geddes, "Uplift of Anchor Plates in Sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 3, pp. 202–215, 1987.
- [6] R. S. Merifield, S. W. Sloan, H. S. Yu, "Stability of Plate Anchors in Undrained Clay", Geotechnique, Vol. 51, No. 2, pp. 141–153, 2001.
- [7] R. S. Merifield, S. W. Sloan, "The Ultimate Pullout Capacity of Anchors in Frictional Soils", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 43, No. 8, pp. 852–868, 2006.
- [8] J. Kumar, K. M. Kouzer, "Vertical Uplift Capacity of Horizontal Anchors Using Upper Bound Limit Analysis and Finite Elements", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 45, No. 5, pp. 698–704, 2008.
- [9] K. Krabbenhoft, A. Lyamin, J. Krabbenhoft. Optum Computational Engineering Version 1.14: Manual, OptumG2 Company, 2014.