

กำลังรับแรงเอียงของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังลึกมาก ในดินเหนียว

Inclined Load Capacity of Deeply Embedded Square Piles in Cohesive Soils

สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ บุญชัย อุกฤษฏ์ชน
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์กำลังรับแรงเอียงของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังลึกมากในดินเหนียว วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบระนาบความเครียด 2 มิติถูกนำมาใช้วิเคราะห์การวิบัติของปัญหานี้ เสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความกว้างและความยาว (B) สำหรับการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ดินเหนียวถูกจำลองเป็นเอลิเมนต์แบบปริมาตรที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบมอร์-คูลอมบ์ในสภาพไม่ระบายน้ำ เสาเข็มเป็นเอลิเมนต์แบบปริมาตรที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบอีลาสติคขึ้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและโครงสร้างถูกใช้ตลอดความยาวระหว่างผิวสัมผัสของเส้นรอบรูปของเสาเข็ม แฟกเตอร์การยึดเกาะ (α) ระหว่างดินและเสาเข็มมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.25 แฟกเตอร์การยึดเกาะมีค่าเท่ากับศูนย์หมายถึงกรณีที่พื้นผิวสัมผัสเป็นแบบลื่นสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้าม แฟกเตอร์การยึดเกาะเท่ากับหนึ่งหมายถึงกรณีที่พื้นผิวสัมผัสเป็นแบบหยาบสมบูรณ์ ผลที่ได้นำเสนอในรูปแบบของตัวแปรไร้มิติระหว่างอัตราส่วนแรงวิบัติแบบเอียงที่กระทำต่อเสาเข็มที่มุมเอียงองศาต่างๆหารด้วยกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำและความกว้างของเสาเข็ม

คำสำคัญ : ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ระบายความเครียด ไฟไนต์เอลิเมนต์ เสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Abstract

This paper presents the inclined failure load of the deeply embedded square pile in cohesive soils. The two dimensional plane strain finite element is employed to determine stability of this problem. The deeply embedded square pile has the width and length (B). For finite element analyses, the clay is modelled as the volume element with the Mohr-Coulomb material in an undrained condition. The pile is modelled as the volume element with the elastic material. Soil-structure interfaces are used around the circumferential surfaces of pile. Adhesion factor (α) between clay and pile is also studied in the range of 0 – 1 with increment of 0.25. Adhesion factor of zero means fully smooth surface and that of unity 1 means fully rough surface. The results of analyses are presented in terms of the inclined failure load divided by the undrained shear strength and the width of pile at various degrees of load inclination.

Keywords : Numerical analysis, Plane strain, Finite element, Square Pile

1. บทนำ

แรงดันวิกฤติของฐานรากหรือเสาเข็มรับแรงดันด้านข้างถูกเสนอครั้งแรกโดย Broms (1964) [1] ส่วนหนึ่งที่สำคัญในงานวิจัยนี้คือการกล่าวถึงความดันวิกฤติ (Limit Pressure) หรือแรงหารด้วยความยาวของเสาเข็ม โดยรูปร่างของเสาเข็มที่ Broms (1964) [1] ได้ศึกษาคือรูปร่างแบบเสาเข็มรูปวงกลม รูปร่างแบบเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบเอียง และรูปร่างแบบเสาเข็มแบบแผ่น Broms (1964) [1] ได้พิจารณาผิวสัมผัสหรือค่าแฟกเตอร์การยึดเกาะระหว่างดินและเสาเข็ม (α) เท่ากับ 1 หรือผิวสัมผัสเป็นแบบหยาบสมบูรณ์ (Rough Surface) และที่เท่ากับ 0 หรือผิวสัมผัสเป็นลื่นสมบูรณ์ (Smooth Surface) เท่านั้น ไม่ได้พิจารณาค่าผิวสัมผัสอื่นๆระหว่าง 1 และ 0 แฟกเตอร์การยึดเกาะมีนิยามคือ $\alpha = s_{ui}/s_u$ โดย s_{ui} คือกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างดินและเสาเข็ม และ s_u คือกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวรอบเสาเข็ม

งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ได้วิเคราะห์แรงดันด้านข้างวิกฤติของเสาเข็มหน้าตัดรูปวงกลมเท่านั้น เช่นงานวิจัยของ Randolph และ Houlsby (1984) [2] ที่ได้นำเสนอแบบจำลองของเสาเข็มรูปวงกลมรับแรงดันด้านข้างในดินเหนียว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ลิมิต (Limit Analysis) ทั้งวิธีขอบเขตบน (Upper Bound) และขอบเขตล่าง (Lower Bound) ในการหาผลเฉลยของเสาเข็มรูปวงกลมรับแรงดันด้านข้างซึ่งสัมพันธ์กับแฟกเตอร์การยึดเกาะ (α) Randolph และ Houlsby (1984) [2] ได้พิจารณาค่า α ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 แต่ความแตกต่างระหว่างผลเฉลยของขอบเขตบนและของเขตล่างยังไม่เข้าใกล้กันเท่าไรนัก ต่อมา Martin และ Randolph (2006) [3] ได้พัฒนาแบบจำลองของเสาเข็มรูปวงกลมรับแรงดันด้านข้างในดินเหนียวด้วยวิธีขอบเขตบนขึ้นมาใหม่ เพื่อหาค่าแรงวิกฤติของขอบเขตบนให้มีค่าใกล้เคียงกับขอบเขตล่างมากขึ้นกว่าวิธีของ Randolph และ Houlsby

(1984) [2] นอกจากนี้ Ukritchon (1998) [4] ได้ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต (Finite Element Limit Analysis) ทั้งวิธีขอบเขตบนและวิธีขอบเขตล่างในการหาแรงวิกฤติของปัญหาเดียวกัน

งานวิจัยของ Ho (1993) [5] Ho และ Lim (1996) [6] และ Ho และ Tan (1998) [7] เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทดสอบเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมสำหรับการก่อสร้างในที่ต่างๆ ผลเฉลยที่ได้เป็นกราฟการเคลื่อนตัวของเสาเข็มซึ่งแปรผันกับแรงที่กระทำทั้งแนวตั้งและแนวราบ นอกเหนือจากนี้ยังได้หากราฟการประมาณค่าแฟกเตอร์ผิวสัมผัสระหว่างดินและเสาเข็มซึ่งแปรผันกับค่า N หรือผลที่ได้จากวิธี SPT

Plumbridge et al. (2000) [8] นำเสนอผลการทดสอบเสาเข็มรูปวงกลมและเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมรับแรงกระทำด้านข้างสำหรับการก่อสร้างวางรถไฟในฮ่องกง ผลที่ได้คือสมการการทำนายการเคลื่อนตัวของเสาเข็มในชั้นดินที่มีค่า N หรือผลที่ได้จากวิธี SPT ต่างๆ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาการทดสอบต่างๆของเสาเข็มขึ้นอีกมากมาย เช่นงานวิจัยของ Zhang (2003) [9] หรืองานของ Raymond และ Fan (2002) [10]

สำหรับงานวิจัยที่ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข เช่นวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการช่วยวิเคราะห์หาพฤติกรรมของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมก็ได้มีการศึกษาเอาไว้ เช่นงานวิจัยของ Hsueh et al. (2004) [11], Abbas (2008) [12], Submanee Wong (1999, 2009) [13], [14] ซึ่งทั้งสามงานวิจัยได้ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็ม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของทั้งสามก็ไม่ได้หาค่าแรงดันด้านข้างวิกฤติของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่รับแรงเอียงในดินเหนียวเอาไว้

สำหรับหนังสือที่เกี่ยวกับแรงดันด้านข้างวิกฤติของเสาเข็ม เช่นหนังสือของ Reese และ Van Impe (2007) [15] หรือหนังสือของ Poulos และ Davis (1980) [16] ก็

ไม่ได้มีการกล่าวถึงผลเฉลยของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสรับแรงเฉียงเอาไว้

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาแรงวิบัติด้านข้างของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังลึกมากในดินเหนียว โดยเสาเข็มรับแรงกระทำแบบเฉียงตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศา ซึ่งวัดจากกึ่งกลางของเสาเข็ม วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบระนาบความเครียด 2 มิติถูกนำมาใช้วิเคราะห์การวิบัติของปัญหานี้ โดยเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความกว้างและความยาวเท่ากันคือ B

2. วิธีการวิเคราะห์และกำหนดแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ Plaxis 2D โดย Brinkgreve et al. (2002) [17] ในการจำลองและวิเคราะห์หาผลเฉลยของปัญหา

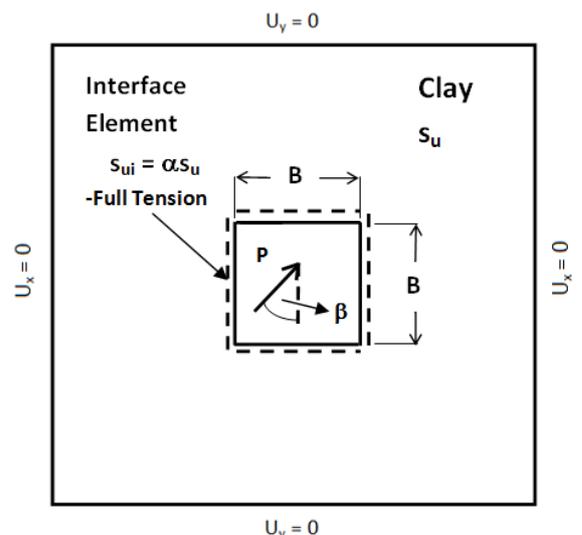
การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองให้ดินเหนียวเป็นเอลิเมนต์แบบปริมาตรที่เป็นการวิบัติแบบมอร์-คูลอมบ์ อัตราส่วนโมดูลัสของยังต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว $(E/s_u) = 500$ กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) มุมเสียดทานภายใน $(\phi) = 0^\circ$ มุมขยายตัวเชิงปริมาตร $(\psi) = 0^\circ$ อัตราส่วนของปัวซอง $(\nu) = 0.495$ ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร และดินเหนียวเป็นดินแบบไม่มีหน่วยน้ำหนักหรือ (Weightless Soil), $\gamma = 0$ รายละเอียดต่างๆแสดงในรูปที่ 1

เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดตามแนวราบและแนวตั้งเท่ากันคือ B มีค่าอัตราส่วนของปัวซอง $(\nu) = 0.21$ โมดูลัสของยัง $(E) = 2.545 \times 10^7$ kPa เสาเข็มเป็นแบบอิลาสติก (Elastic) และไม่เกิดการวิบัติก่อนดินเหนียว แรงเฉียงที่กระทำกับเสาเข็มทำมุม β กับเส้นสมมาตรของเสาเข็มดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยมุม β ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือที่ 0, 9, 18, 27, 36 และ 45

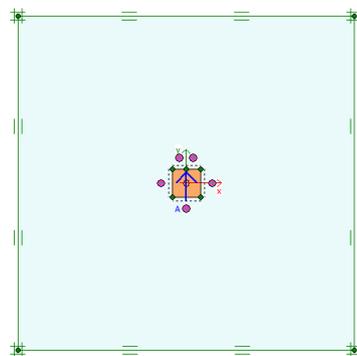
ชั้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและโครงสร้างถูกใช้ตลอดความยาวระหว่างผิวสัมผัสของเสาเข็มและดินเหนียว ค่าแฟกเตอร์การยึดเกาะระหว่างดินและเสาเข็ม (α) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.25 แฟกเตอร์การยึดเกาะมีค่าเท่ากับศูนย์หมายถึงกรณีที่พื้นผิวสัมผัส

เป็นแบบลื่นสมบูรณ์ (Smooth Surface) ในทางตรงกันข้าม แฟกเตอร์การยึดเกาะเท่ากับหนึ่งหมายถึงกรณีที่พื้นผิวสัมผัสเป็นแบบหยาบสมบูรณ์ (Rough Surface) แฟกเตอร์การยึดเกาะมีนิยามคือ $\alpha = s_{ui}/s_u$ โดย s_{ui} คือกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างดินและเสาเข็ม และ s_u คือกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวรอบเสาเข็ม นอกจากนั้น ชั้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและโครงสร้างถูกกำหนดให้เป็นแบบรับแรงดึงได้โดยสมบูรณ์ (Full Tension) ในทุกกรณีของเสาเข็ม

เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองเสาเข็มถูกกำหนดให้ขอบบนและขอบล่างไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในแนวตั้งขอบซ้ายและขอบขวาไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในแนวราบดังที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2

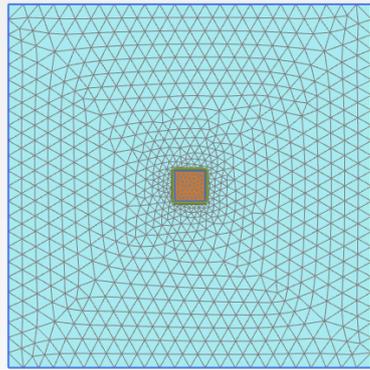


รูปที่ 1 ปัญหาเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังลึกมากในดินเหนียว



รูปที่ 2 แบบจำลองปัญหาเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังลึกมากในดินเหนียวด้วยโปรแกรม Plaxis

แบบจำลองเป็นแบบระนาบความเครียด (Plane Strain) ชั้นส่วนดินและเสาเข็มเป็นชั้นส่วนรูปสามเหลี่ยมแบบมี 15 จุดต่อ (Node) และความเค้นภายในชั้นส่วน 12 จุด (Stress Points) ชั้นส่วนเชื่อมต้อมี 10 จุดต่อ และความเค้นภายในชั้นส่วน 5 จุด การแบ่งโครงข่ายออกเป็นชั้นส่วนย่อยใช้แบบละเอียดสูงสุด (Very Fine) ดังที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างโครงข่ายไฟไนต์เอลิเมนต์

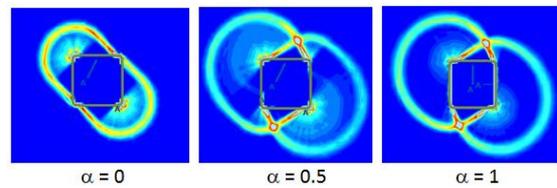
ตัวแปรป้อนเข้าของการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์คือขนาดตามแนวราบและแนวตั้ง (B) ของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดย P คือแรงกระทำวิธีแบบเอียงในทิศทางใดๆบนเสาเข็ม โดยมีตัวแปรไร้มิติของมุมเอียงคือ β ตั้งแต่ $0 - 45$ องศา

นอกเหนือจากนี้ยังมีตัวแปรกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (s_u) และแฟกเตอร์การยึดเกาะระหว่างดินและเสาเข็ม (α) = 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 ผลตัวแปรไร้มิติเป็นฟังก์ชันของตัวแปรไร้มิติป้อนเข้าคือ $P/s_u B = f(\alpha, \beta)$

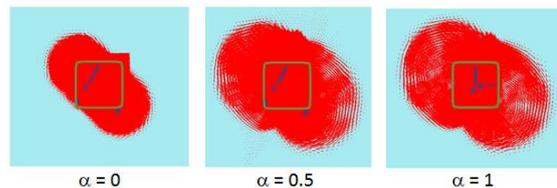
3. ผลการวิเคราะห์

รูปที่ 4 - 5 แสดงตัวอย่างรูปแบบการวิบัติ (Failure Mechanism) ของปัญหาเสาเข็มฝังลึกมากในดินเหนียว ผลรูปแบบการวิบัติประกอบด้วย เส้นรูปร่างความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น (Incremental Shear Strain Contour) และเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น (Total Increment Vector) เปรียบเทียบระหว่างสามกรณีคือ $\alpha = 0, 0.5$ และ 1 ตามลำดับ โดยทั้งสามกรณีมี $\beta = 27^\circ$ ซึ่งสภาพที่ค่า $\alpha = 0$ คือกรณีที่เป็นผิวสัมผัสเป็นแบบลื่น (Smooth Surface) และ $\alpha = 1$ คือกรณีที่เป็นผิวสัมผัสเป็นแบบหยาบ (Rough Surface)

จากรูปที่ 4 - 5 พบว่ากลไกการวิบัติของความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น (Incremental Shear Strain Contour) ของทั้ง 3 กรณีมีลักษณะคล้ายกัน โดยมีเส้นรอยเฉือนมีลักษณะเป็นเหมือนครึ่งวงกลมสองวงซ้อนอยู่บนผิวสัมผัสที่มุมทั้งสองฝั่งของรูปสี่เหลี่ยมและเส้นรอยเฉือนจะขยายตัวขึ้นเรื่อยๆตามค่า α ที่เพิ่มขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งกลไกการวิบัติแบบเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น (Total Increment Vector) ก็เป็นเช่นเดียวกันดังที่แสดงในรูปที่ 5

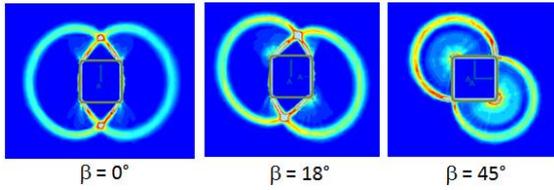


รูปที่ 4 ประกอบด้วย เส้นรูปร่างความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น ($\beta = 27^\circ$)

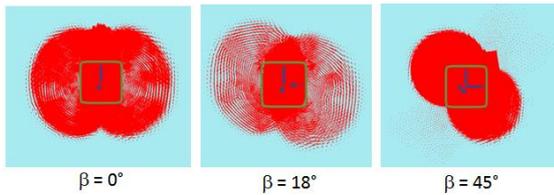


รูปที่ 5 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น ($\beta = 27^\circ$)

รูปที่ 6 - 7 แสดงผลกลไกการวิบัติประกอบด้วย เส้นรูปร่างความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น (Incremental Shear Strain Contour) และเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น (Total Increment Vector) เช่นเดียวกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างสามกรณีคือ $\beta = 0^\circ, 18^\circ$ และ 45° ตามลำดับ โดยทั้งสามกรณีมี $\alpha = 1$ จากรูปที่ 6 พบว่าเส้นรูปร่างความเครียดเฉือนจะมีลักษณะล้อมรอบอยู่ที่ผิวด้านข้างของเสาเข็มโดยมีทิศทางขนาดไปกับมุมของแรงที่กระทำ โดยเส้นแรงเฉือนนี้จะบิดเบี้ยวไปเรื่อยๆตามความเอียงของแรงที่กระทำตั้งแต่ 0 องศา ไปจนถึงมุมที่เอียงที่สุดคือมุม 45 องศา โดยจะตรงส่วนที่ซ้อนกันของวงกลมจะอยู่บนระนาบเดียวกันกับทิศทางของแรงที่กระทำ สำหรับกรณีเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น (Total Increment Vector) ก็เป็นเช่นเดียวกันดังที่แสดงในรูปที่ 7

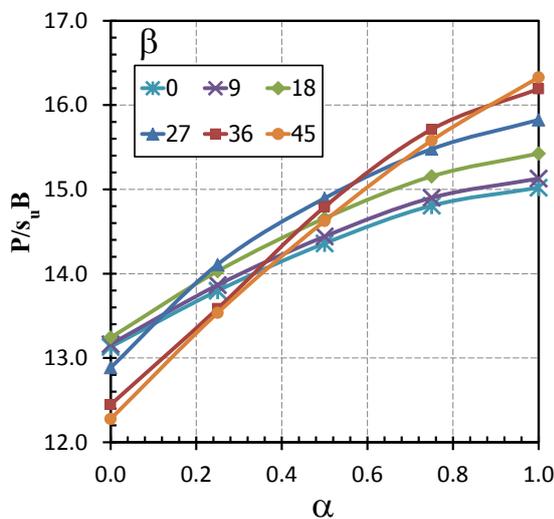


รูปที่ 6 ประกอบด้วย เส้นรูปร่างความเครียดเฉือนที่เพิ่มขึ้น ($\alpha = 1$)



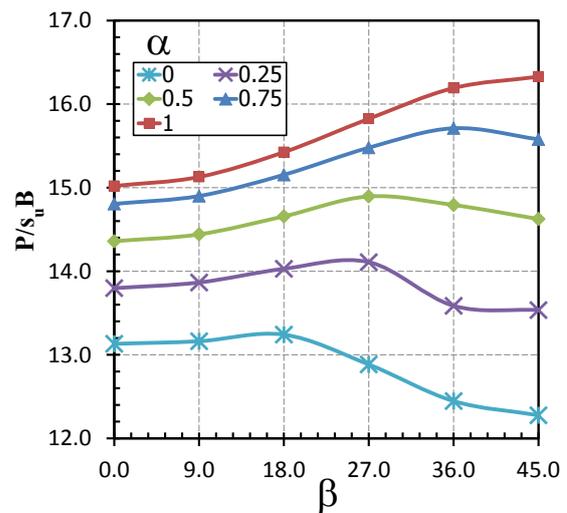
รูปที่ 7 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น ($\alpha = 1$)

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำแบบเอียงวิบัติ, $P/s_u B$ เปรียบเทียบกับตัวแปร α ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นในรูปที่ 8 แสดงมุมของแรงที่กระทำตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศา โดยเพิ่มขึ้นทีละ 9 องศา จากรูปพบว่าเส้นแต่ละเส้น ไม่มีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน โดยเส้นที่มีความชันมากที่สุดคือกรณีที่ $\beta = 36^\circ$ และ 45° ส่วนเส้นที่มีความชันน้อยที่สุดคือกรณีที่ $\beta = 0^\circ$ และ 9° ค่า $P/s_u B$ ที่มากที่สุดคือกรณีที่ $\beta = 45^\circ$ และ $\alpha = 1$ (Rough Surface) โดยมี $P/s_u B = 16.328$ ส่วนกรณีที่มีค่า $P/s_u B$ ที่ค่าน้อยที่สุดคือกรณีที่ $\beta = 45^\circ$ เช่นกัน แต่ค่า $\alpha = 0$ (Smooth Surface) โดยมี $P/s_u B = 12.276$



รูปที่ 8 ผลเฉลยความดันด้านข้างวิบัติที่ $\alpha = 0 - 1$

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำแบบเอียงวิบัติ, $P/s_u B$ เปรียบเทียบกับมุมเอียงของแรงที่กระทำ β ตั้งแต่ที่ 0° ซึ่งเป็นกรณีที่แรกกระทำนานไปก็กระบวนด้านข้างของเสาเข็ม ไปจนถึงที่แรงกระทำมีมุมเท่ากับ 45° คือกรณีของมุมที่เอียงที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นไปบนเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กราฟแต่ละเส้นที่ในรูปแสดงค่าแฟกเตอร์การยึดเกาะ α ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.25 จากรูปพบว่าที่ $\beta = 0^\circ$ ถึง 18° เส้นกราฟที่เส้นจะยังมีความชันน้อยและไม่แปรปรวนมาก แต่เมื่อค่า β เพิ่มขึ้นเส้นกราฟก็จะแปรปรวนมากขึ้น โดยเส้นที่มี $\alpha = 0, 0.25, 0.5$ จะมีค่าแรงกระทำแบบเอียงวิบัติลดลง แต่ที่ $\alpha = 1$ จะมีค่าแรงกระทำแบบเอียงวิบัติเพิ่มขึ้น ส่วนที่ $\alpha = 0.75$ ค่าแรงกระทำแบบเอียงวิบัติจะเพิ่มขึ้นก่อนเล็กน้อยและลดลงเมื่อ $\beta = 36^\circ$



รูปที่ 9 ผลเฉลยความดันด้านข้างวิบัติที่ $\beta = 0^\circ - 45^\circ$

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาแรงวิบัติแบบเอียงของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบระนาบความเครียด 2 มิติ สำหรับการวิเคราะห์ เสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีขนาดตามแนวราบและแนวตั้งที่เท่ากันคือ B และมี P เป็นแรงกระทำแบบเอียงในทิศทางต่างๆบนเสาเข็มตั้งแต่ $\beta = 0^\circ$ ถึง 45°

จากผลการศึกษาพบว่าแรงกระทำแบบเอียงวิบัติในรูปของตัวแปรไร้มิติ ($P/s_u B$) จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้

1. แรงกระทำแบบเอียงในทิศทางต่างๆ (β)

2. ค่าแฟกเตอร์การขีดเกาะ (α)

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อ β มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า $P/s_u B$ ก็จะแปรปรวนมากขึ้น โดยขณะที่ $\beta = 0^\circ$ ถึง 18° เส้นกราฟทุกเส้นจะยังมีความชันน้อยและไม่มีความแปรปรวนมาก แต่เมื่อค่า β เพิ่มขึ้นเส้นกราฟก็จะมีความแปรปรวนมากขึ้นและทำให้ค่าแรงดันวิบัติแบบเอียงเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมาก

นอกเหนือจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของแรงกระทำแบบเอียงวิบัติ, $P/s_u B$ เปรียบเทียบกับตัวแปร α พบว่าเส้นกราฟที่มีความชันมากที่สุดคือเส้นกราฟของกรณีที่มี $\beta = 36^\circ$ และ 45° ส่วนเส้นกราฟที่มีความชันน้อยที่สุดคือเส้นกราฟของกรณีที่มี $\beta = 0^\circ$ และ 9°

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. B. Broms. "Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils", Journal of the Soil Mechanics and Foundation, Division 90 (2), pp. 27-63, 1964.
- [2] M. F. Randolph and G. T. Houlsby. "The Limiting Pressure on Circular Pile Loaded Laterally in Cohesive Soil", Géotechnique 34, N0. 4, pp. 613-623, 1984.
- [3] C. M. Martin and M. F. Randolph. "Upper-Bound Analysis of Lateral Pile Capacity in Cohesive Soil", Géotechnique 56, N0. 2, pp. 141-145, 2006.
- [4] B. Ukritchon "Application of Numerical Limit Analyses for Undrained Stability Problems in Clay". ScD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 1998.
- [5] C. E. Ho. "Deep Barrette Foundation in Singapore Weathered Granite". Proc. II the Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore, pp. 529-534. 1993.
- [6] C. E. Ho and C. H. Lim. "Barrette Foundation Constructed under Polymer Slurry Support in Old Alluvium". Proceedings of 12th Southeast Asian Geotechnical Conference, Kuala Lumpur, pp. 379-384, 1996.
- [7] C. E. Ho and C. G. Tan. "Barrettes Designed as Friction Foundations: a Case History". Proceedings of Fourth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri, March 9-12, 1998.
- [8] G. D. Plumbridge, J. W. C. Sze, T. T. F. Tram. "Full Scale Lateral Load Tests on Bored Piles and a Barrette" Proceedings of 19th Annual Seminar of Geotechnical Division, pp. 211-220, Hong Kong: Hong Kong Institution of Engineers, 2000.
- [9] L. M. Zhamg. "Behavior of Laterally Loaded Large-Section Barrettes". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 135: 639-648. 2003.
- [10] J.C . Raymond and K. Fan. "Lateral Load Test Results on Drill Shafts in Marl at Jacksonville, Florida". Proceedings of the International Deep Foundations Congress, Florida, pp. 825-835, 2002.
- [11] C. K. Hsueh, S. S. Lin, S. G. Chen. "Lateral Performance of Drilled Shaft Considering Nonlinear Soil and Structure Material Behavior". Journal of Marine Science and Technology 12: 62-71, 2004.
- [12] J. M., Abbas, Z. H., Chik, M. R., Taha. "Single Pile Simulation and Analysis Subjected to Lateral Load" The Electronic Journal of Geotechnical Engineering 3E: 1-15, 2008.
- [13] C. Submanee Wong. "Behavior of Instrumented Barrette and Bored Pile in Bangkok Subsoils" Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 1999.
- [14] C. Submanee Wong. "Behavior of Vertical and Lateral Load on T-Shape Barrette and Bored Piles" PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2009.
- [15] L. C. Reese Van and W. F. Impe. "Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading", Taylor & Francis Group plc, London, UK, 2007
- [16] H.G . Poulos, and E. H. Davis. "Pile Foundation Analysis and Design", John Wiley & Sons, USA, 1980.
- [17] R. B. J. Brinkgreve. "PLAXIS 2D Version 8 Manual". A.A. Balkema Publishers, 2002.