

# แรงดันด้านข้างวิบติแบบไม่ระบายน้ำของฐานรากปล่องแบบระนาบ

## Undrained Limiting Lateral Load of Planar Caisson

สุรภพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ นุชชัย อุกฤษณ์

ภาควิชาช่างสำรวจโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

254 ถนนพญาไท แขวงจักรทิRTOS เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

E-mail: suraparb@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาแรงดันด้านข้างวิบติของฐานรากปล่องแบบระนาบในดินเหนียว ไฟฟ้าในต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิตแบบระนาบความเครียด 2 มิติถูกนำมาใช้ในการวิบติของป้อมหันน้ำฐานรากปล่องแบบระนาบมีความกว้าง (B) และความลึก (L) สำหรับการวิเคราะห์ไฟฟ้าในต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต คืนเหนียวถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบปริมาตรที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบมอร์-คูลอมบ์ในสภาพไม่ระบายน้ำ ฐานรากปล่องแบบระนาบถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบแผ่นที่มีคุณสมบัติของวัสดุแบบอิลาสติก ซึ่งส่วนเชื่อมต่อระหว่างคืนและโครงสร้างถูกใช้ติดต่อความพยายามระหว่างผิวสัมผัสของคืนและฐานราก แฟกเตอร์การยึดเกาะระหว่างคืนและเสาเข็ม ( $\alpha$ ) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.25 แฟกเตอร์การยึดเกาะมีค่าเท่ากับคูณหมากรถที่เพิ่มผิวสัมผัสเป็นแบบหนาแน่น ผลที่ได้นำเสนอในรูปของตัวแปรที่ไม่ติดระหว่างแรงดันด้านข้างวิบติ ( $P/\rho((B/2)+L)^2)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนความกว้างต่อความยาว ( $B/L$ ) และแฟกเตอร์การยึดเกาะ ( $\alpha$ ) โดย  $\rho$  คืออัตราการเพิ่มของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่เพิ่มแบบคงที่ตามความลึก

**คำสำคัญ:** ระบบวิธีเชิงตัวเลข ระนาบความเครียด ไฟฟ้าในต์อิลิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต ฐานรากปล่อง

### Abstract

This paper presents ultimate lateral load of planar caisson in clay. The two dimensional plane strain finite element limit analysis is employed to determine the stability of this problem. The planar caissons have the width (B) and the depth (L). For finite element limit analysis, the clay is modelled as the volume element with the Mohr-Coulomb material in an undrained condition. The planar caisson is modelled as the plate element with the elastic material. Soil-structure interface are used around the contacted length between caisson and clay. Adhesion factor between clay and caisson ( $\alpha$ ) 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 ratio of ultimate lateral load ( $P/\rho((B/2)+L)^2)$  as a function of dimensionless parameters which are the ratio of width and depth ( $B/L$ ) and the adhesion factor ( $\alpha$ ), where  $\rho$  is the rate of linear increase in undrained shear strength with depth.

**Keyword:** Numerical Analysis, Plane Strain, Finite Element Limit Analysis, Planar Caisson

## 1. บทนำ

ฐานรากปล่องแบบระนาบ (Planar Caisson) นิยมถูกใช้เป็นฐานรากของโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยมากโครงสร้างชนิดนี้มักจะถูกก่อสร้างในลักษณะผ่องทะเล เพราะเนื่องจากปัจจุบันเรื่องแรงดันน้ำจึงทำให้การสร้างฐานรากชนิดอื่นๆ เป็นไปด้วยความยากลำบาก รายละเอียดต่างๆ สามารถอ่านเพิ่มได้จากหนังสือประวัติศาสตร์และวิศวกรรมฐานรากที่ว่าไป เช่นหนังสือของหนังสือของ Das [1] Salgado [2] และ Bowles [3]

มีงานวิจัยในอดีตมากมายที่ได้ศึกษาถึงแรงดันด้านข้างที่กระทำกับฐานรากแบบระนาบ เช่น ปัจจุบันกำแพงฝังในดิน (Embedded Wall) ที่รับแรงกระทำร่วมกันทั้งแรงแนวนอนและโมเมนต์ ที่ได้มีการทำผลเฉลยของ การวิบัติไว้ในงานวิจัยของ Ukritchon [4] และ Keawsawasvong และ Ukritchon [5] โดย Ukritchon [4] ได้ใช้วิธีไฟโนต์อิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต ทั้งขอบเขตบน และขอบเขตล่าง หากผลเฉลยแรงวิบัติที่กระทำร่วมกันของปัจจุบันกำแพงฝังในดิน ส่วน Keawsawasvong และ Ukritchon [5] ได้ใช้วิธีไฟโนต์อิเมนต์ในการหาผลเฉลยของปัจจุบันเดียวกัน

นอกจากนี้ ที่ได้มีงานวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาถึง พฤติกรรมของฐานรากปล่องแบบระนาบ เช่นงานวิจัยของ Cauble [6] ได้ศึกษาผลการทดสอบของแบบจำลองฐานรากปล่องในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นงานวิจัยแรกๆ ที่ได้มีการศึกษาเรื่องพฤติกรรมของฐานรากปล่อง สำหรับงานวิจัยของฐานรากปล่องด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Analysis)

นอกจากนี้ ที่ได้มีนักวิจัยหลายท่านเสนอ งานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของฐานรากปล่อง ซึ่งไม่ได้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น Clukey และ Morrison [7] และ Geer [8] และ Whittle [9] โดยทั้งสามได้ใช้วิธีที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์พฤติกรรมของฐานรากปล่องแบบระนาบ เช่น วิธีสมดุลลิมิต (Limit Equilibrium) และ วิธีไฟโนต์อิเมนต์ (Finite Element)

สำหรับงานวิจัยของฐานรากระนาบรับแรงวิบัติ ในแนวตั้ง ที่ได้มีงานวิจัยของ Ukritchon [4] ซึ่งได้ใช้วิธีไฟโนต์อิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต (Finite Element

Limit Analysis) สองมิติบนระนาบความเครียด (2D Plane Stain) ในการหาผลเฉลยของแรงดันในแนวตั้งของฐานรากปล่องแบบระนาบในดินหนี่งไกลักษณะผ่องที่มีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ผิวดิน ( $s_u$ ) เท่ากับศูนย์ และมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักแน่นของกำลังรับแรงเฉือนตามความลึก ( $\rho$ ) นอกเหนือจากนี้ ผลเฉลยของ Ukritchon [4] มีทั้งขอบเขตบน (Upper Bound) และขอบเขตล่าง (Lower Bound) แต่ยังไร์ก์ตามงานวิจัยของ Ukritchon [4] ไม่ได้หาผลเฉลยแรงดันด้านข้าง วิบัติของฐานรากปล่องแบบระนาบเอาไว้

สำหรับงานวิจัยที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ลิมิต (Limit Analysis) หาผลเฉลยของแรงดันด้านข้างวิบัติฐานรากปล่องแบบสามมิติที่มีงานวิจัยของ Aubeny และ Murff [10], [11], [12] ซึ่งได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ลิมิตของวิธีขอบเขตบนในการวิเคราะห์หาแรงวิบัติที่เกิดจากกระทำร่วมกันบนฐานรากปล่องทรงกระบอก (Axisymmetric Caisson) โดยฐานรากรับแรงแนวตั้งและแรงทั้งนี้ ยังไม่ได้มีการศึกษาถึงแรงดันด้านข้างวิบัติของฐานรากปล่องแบบระนาบ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาแรงดันด้านข้างวิบัติของฐานรากปล่องแบบระนาบค่าวิธีไฟโนต์อิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต (Finite Element Limit Analysis) ทั้งขอบเขตบนและขอบเขตล่างบนระนาบความเครียด (2D Plane Stain) โดยตัวแปรรู้มิติที่ศึกษาคือตัวแปรความกว้างต่อความลึก ( $B/L$ ) ตั้งแต่ 0 ถึง  $\infty$  และแฟกเตอร์การยึดเกาะ ( $\alpha$ ) ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แฟกเตอร์การยึดเกาะมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงกรณีที่พื้นผิวสัมผัสเป็นแบบลื่นสมบูรณ์ (Smooth Surface) ในทางตรงกันข้าม แฟกเตอร์การยึดเกาะเท่ากับ 1 หมายถึงกรณีที่พื้นผิวสัมผัสเป็นแบบหยาบสมบูรณ์ (Rough Surface)

## 2. วิธีการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมไฟโนต์อิเมนต์ของการวิเคราะห์ลิมิต (Finite Element Limit Analysis) OptumG2 โดย Krabbenhoft [13] ในการจำลองและวิเคราะห์หาผลเฉลยของปัจจุบันทั้งผลเฉลยแบบขอบเขตบน (Upper Bound) และขอบเขตล่าง (Lower Bound)

## 2.1 แบบจำลองของคินเนียร์

งานวิจัยนี้จำลองให้คินเนียร์เป็นอิลิเมนต์แบบปริมาตรที่เป็นการวิบัติแบบมอร์-กูลอมบ์ คินเนียร์มีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ผิวคิน ( $s_u^0$ ) = 0 ซึ่งเป็นกรณีของคินเนียร์ที่ไม่มีการก่อสร้างฐานรากแบบปล่อง คินเนียร์มีอัตราการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นของกำลังรับแรงเฉือนตามความลึก ( $\rho$ ) ทำให้คินเนียร์มีกำลังรับแรงเฉือนที่ความลึกใดๆ ( $s_u$ ) =  $\rho z$  นอกเหนือจากนี้ คินเนียร์ยังมีอัตราส่วนโมดูลัสของขังต่อกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของคินเนียร์ ( $E/\rho L$ ) = 500 มุมเดียวทางภายใน ( $\phi$ ) =  $0^\circ$  มุมขยายตัวเชิงปริมาตร ( $\psi$ ) =  $0^\circ$  อัตราส่วนของปั๊วชอง ( $v$ ) = 0.495 ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคินเนียร์แบบไม่ระบายน้ำหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรหน่วยน้ำหนัก ( $g$ ) ของคินเนียร์ใช้  $20 \text{ kN/m}^3$  สำหรับทุกปัญหาของฐานรากปล่องที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้ เพราะตัวแปรหน่วยน้ำหนักไม่มีผลต่อผลเฉลยของแรงดันด้านข้างวิบัติ

## 2.2 แบบจำลองของฐานราก

ฐานรากปล่องแบบระบายน้ำถูกจำลองเป็นอิลิเมนต์แบบแผ่น ฐานรากปล่องมีความกว้าง ( $B$ ) และความลึก ( $L$ ) ดังแสดงในรูปที่ 1 และเป็นแบบแข็ง (Rigid) นอกเหนือจากนี้ ฐานรากแบบปล่องถูกกำหนดให้มีแรงดันด้านข้างกระทำที่กึ่งกลางของโครงสร้าง

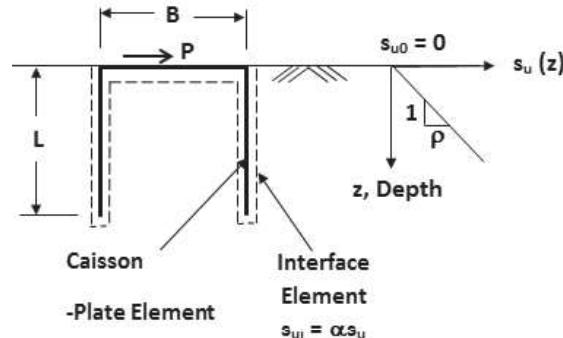
## 2.3 ชั้นส่วนชื่อนตอนต่อระหว่างฐานรากและคินเนียร์

ชั้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างฐานรากและคินเนียร์ ตลอดความยาวระหว่างผิวสัมผัสระหว่างฐานรากปล่องและคินเนียร์ ค่าแฟกเตอร์การซึ่งเกี่ยวระหว่างคินและฐานรากปล่อง ( $\alpha$ ) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มชั้นทีละ 0.25 แฟกเตอร์ นอกเหนือจากนี้ ชั้นส่วนเชื่อมต่อจะถูกกำหนดให้ผิวสัมผัสนี้เป็นแบบสามารถมีแรงดึงสมมูล (*Full Tension*) อิสระ

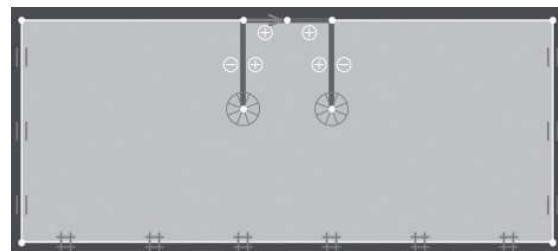
## 2.4 เรื่องของการเคลื่อนตัวและหน่วยแรงที่ขอบเขต

เรื่องของการเคลื่อนตัวและหน่วยแรงที่ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือขอบล่างของแบบจำลองไม่มีการ

เคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้ง ขอบซ้ายและขอบขวาไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบโดยรายละเอียดแสดงอยู่ในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ปัญหาแรงดันด้านข้างวิบัติของฐานรากแบบปล่อง

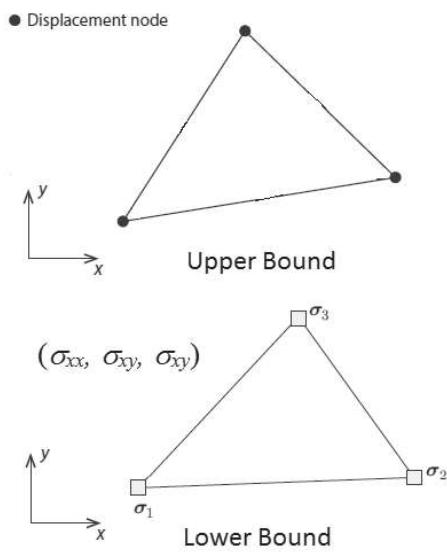


รูปที่ 2 แบบจำลองฐานรากแบบปล่องด้วยโปรแกรม OptumG2

## 2.5 โครงสร้างไฟไนต์อิลิเมนต์

แบบจำลองเป็นแบบระบายน้ำความเครียด (Plane Strain) ชั้นส่วนดินของโครงสร้างที่ไฟไนต์อิลิเมนต์ของขอบเขตถูกกำหนดเป็นชั้นส่วน (Element) รูปสามเหลี่ยมแบบมี 3 จุดต่อของความเค้นประสิทธิผล (Nodal Effective Stresses) ส่วนขอบเขตมีชั้นส่วนรูปสามเหลี่ยมแบบมี 3 จุดต่อความเค้น (Stress Node) ที่มุมของชั้นส่วน และมี 3 จุดต่อการเคลื่อนตัว (Displacement Node) รอบชั้นส่วน ดังที่แสดงในภาพที่ 3 นอกเหนือจากนี้ โปรแกรม OptumG2 ยังมีฟังก์ชันพิเศษคือการที่แบบจำลองสามารถเพิ่มจำนวนชั้นส่วนหรือพัฒนาโครงสร้าง (Adaptive Mesh) ด้วยตัวเองได้ซึ่งสามารถทำให้ผลเฉลยของปัญหานี้มีความเข้าใกล้ผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) มากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้แบบ

จำลองพัฒนาโครงสร้างที่ห้องทดลอง 5 รอบต่อการวิเคราะห์หาผลเฉลยของ 1 ปัญหา โดยฟังก์ชันนี้จะเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนในพื้นที่มีการเปลี่ยนความเค้นและความเครียดสูง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) เช่น ตรงตำแหน่งที่เกิดเส้นการวินิจฉัย (Slip-Line Field) เป็นต้น ผลเฉลยทุกค่าในงานวิจัยนี้ถูกตั้งค่าให้มีชิ้นส่วนเริ่มต้นที่ 5000 ชิ้น และแบบจำลองจะพัฒนาโครงสร้างไปเรื่อยๆ ห้องทดลอง 5 รอบ ซึ่งจะมีการเพิ่มจำนวนของชิ้นส่วนไปได้ถึง 10000 ชิ้นส่วนหลังจากการพัฒนาโครงสร้างครั้งสุดท้าย



รูปที่ 3 ชิ้นส่วนสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลบนและขอนเบตตันและขอนเบตตันในโปรแกรม OptumG2

## 2.6 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรป้อนเข้าสำหรับการวิเคราะห์ไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์ ของการวิเคราะห์ลิมิตมีดังนี้

1. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของฐานรากแบบปล่อง ( $L/B$ ) = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.33, 2, 4 และ  $\infty$

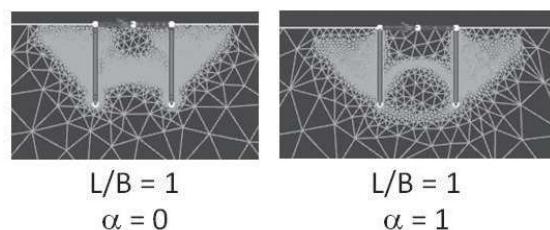
2. แฟกเตอร์การบิด加งอระหว่างดินและเสาเพิ่ม ( $\alpha$ ) = 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1

ผลเฉลยแบบตัวแปรไวรนิตที่ได้จากวิธีไฟฟ้าในตัวอิเล็กทรอนิกส์ของ การวิเคราะห์ลิมิตคือ  $P/\rho((B/2)+L)^2$  โดย  $P$

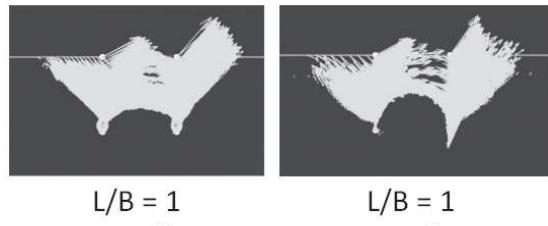
คือแรงดันด้านข้างวินิจฉัย  $\rho$  คืออัตราการเพิ่มชิ้นแบบเชิงเส้นของกำลังรับแรงดื่อตามความลึก  $B$  คือความกว้างของฐานรากปล่อง และ  $L$  คือความลึกของฐานรากปล่อง

## 3. ผลการวิเคราะห์

รูปที่ 4 แสดงผลการพัฒนาโครงสร้าง (Adaptive Mesh) ครั้งสุดท้ายของฐานรากปล่องแบบระนาบที่มี  $L/B = 1$  เปรียบเทียบระหว่างสองกรณีคือ  $\alpha = 0$  และ  $1$  หลังจากการพัฒนาโครงสร้างครั้งที่ 5 จำนวนชิ้นส่วน (Element) ของแบบจำลองจะถูกเพิ่มจำนวนในพื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) หรือตรงส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเฉือนสูง จากรูปจะเห็นว่าที่  $\alpha = 0$  พื้นที่วินิจฉัยขยายออกจากปลายด้านล่างของฐานรากขึ้นมาถึงผิวดินเป็นรูปสามเหลี่ยม และยังได้ขยายเข้าสู่ภายในระหว่างส่วนโครงของสร้างที่ฝังอยู่ในดินของฐานรากปล่อง แต่สำหรับที่  $\alpha = 1$  จะมีลักษณะแตกต่างกันตรงที่พื้นที่วินิจฉัยที่อยู่ภายในมีลักษณะเป็นเหมือนรูปวงรีที่ปลายสุดของมุมไปแตะที่ปลายด้านล่างของฐานรากปล่องดังที่แสดงในรูปที่ 4



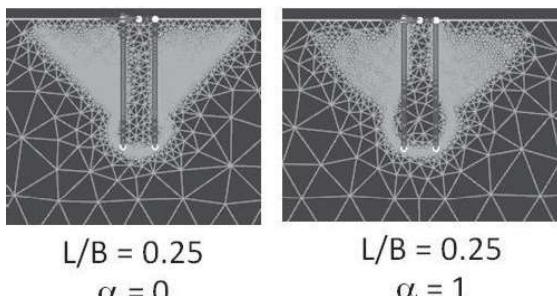
รูปที่ 4 การพัฒนาโครงสร้าง กรณี  $L/B = 1$



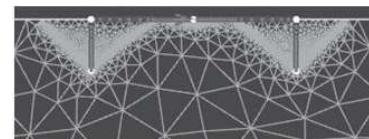
รูปที่ 5 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น กรณี  $L/B = 1$

รูปที่ 5 แสดงวงการเตอร์การเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้น (Total Incremental Vector) ของกรณี  $L/B = 1$  เปรียบเทียบระหว่างสองกรณีคือ  $\alpha = 0$  และ  $1$  เช่นเดียวกัน จากรูปพบว่าวงการเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นของห้องส่องกรณีมีลักษณะที่คล้ายกัน

รูปที่ 6 - 7 แสดงการพัฒนาโครงสร้างและเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นของกรณี  $L/B = 0.25$  ส่วนรูปที่ 8 - 9 แสดงการพัฒนาโครงสร้างและเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นของกรณี  $B/L = 0.25$  โดยทั้งสี่รูปคือการเปรียบเทียบระหว่างสองกรณีคือ  $\alpha = 0$  และ  $1$  เช่นเดียวกัน กับในรูปที่ 4 - 5 จากรูปที่ 6 - 7 จากรูปที่ 6 พบว่าเวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นและการพัฒนาโครงสร้างมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับที่แสดงในรูปที่ 4 - 5 คือมีพื้นที่วีบติดขยายจากที่ปลายสุดของฐานรากไปจนถึงที่ผิวดินเป็นลักษณะรูปสามเหลี่ยม แตกต่างกันตรงที่ความกว้างและความลึกซึ่งเปลี่ยนไปตามค่า  $B$  และ  $L$  ของแบบจำลอง



รูปที่ 6 การพัฒนาโครงสร้าง  $L/B = 0.25$



$B/L = 0.25$   
 $\alpha = 0$



$B/L = 0.25$   
 $\alpha = 1$

รูปที่ 8 การพัฒนาโครงสร้าง  $B/L = 0.25$

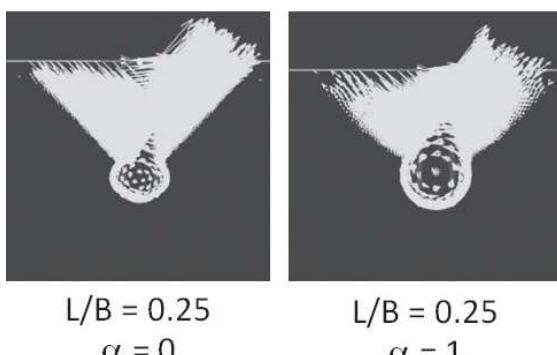


$B/L = 0.25$   
 $\alpha = 0$



$B/L = 0.25$   
 $\alpha = 1$

รูปที่ 9 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น  $B/L = 0.25$



รูปที่ 7 เวกเตอร์การเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้น  $L/B = 0.25$

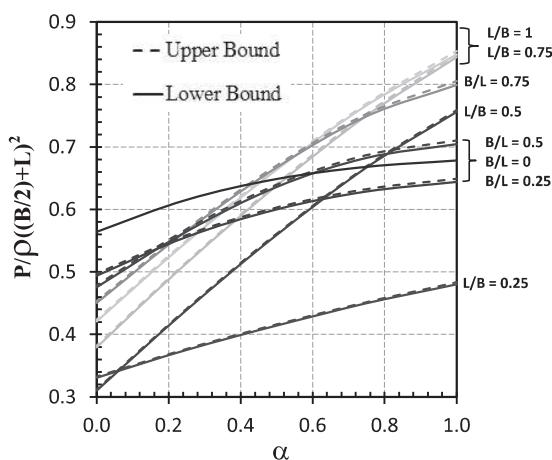
รูปที่ 10 แสดงผลเฉลยจากวิธีไฟน์อิเลิมเม้นต์ของกวิเคราะห์ลิมิตด้วยโปรแกรม Optum G2 โดยผลเฉลยที่ได้คือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $P/\rho((B/2)+L)^2$  กับแฟกเตอร์การขีดเคาะหรือ  $\alpha$  ตั้งแต่  $0$  ถึง  $1$  เส้นกราฟที่แสดงในรูปแบ่งออกเป็นสองประเภทคือเส้นประและเส้นทึบโดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เส้นประแสดงผลเฉลยของขอบเขตบน และเส้นทึบแสดงผลเฉลยของขอบเขตล่างจากการเปรียบเทียบผลเฉลยของขอบเขตบนและขอบเขตล่างในรูปจะเห็นได้ว่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างมี

ความไกล์เคียงกันมากจนเกือบจะเป็นเดือนเดียวกัน โดยมีค่าแตกต่างกันไม่ถึง 1 เปอร์เซนต์ ซึ่งแสดงว่าผลเฉลยที่ได้มีค่าไกล์เคียงผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) เป็นอย่างมาก

เส้นค่าคงที่ ในรูปที่ 10 มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกหรือ  $L/B$  แตกต่างกัน จากรูปพบว่าเส้นแต่ละเส้นไม่มีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าเส้นทุกเส้นมีความชันที่ไม่เท่ากัน โดยเส้นที่มีความชันมากที่สุดและมีค่าผลเฉลยมากสูงที่สุดคือกรณีที่  $L/B = 1$  และ 0.75 เส้นที่อยู่ล่างสุดในรูปคือกรณี  $L/B = 0.25$  โดยกรณีนี้จะมีความชันคงที่ สำหรับเส้นกราฟ  $B/L = 0, 0.25$  และ 0.5 พบว่าค่าผลเฉลยมีค่าไกล์เคียงกัน

สำหรับกรณีที่  $L/B = 0$  (ซึ่งไม่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 10) เป็นกรณีที่ฐานราบปล่องไม่มีความลึก โดยกรณีนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่น (Plate) วางอยู่บนดินเหนียว ผลเฉลยของฐานราบที่มีค่าเป็น 0 ตลอดเมื่อว่าค่าแฟกตอร์การขัดเคาะจะเพิ่มขึ้นเป็นเท่าใดก็ตาม

นอกเหนือจากนี้ เมื่อพิจารณาจากเส้นทุกเส้นในรูปที่ 10 พบว่าค่า  $P/\rho((B/2)+L)^2$  จะเพิ่มขึ้นตามค่า  $\alpha$  ที่เพิ่มขึ้น

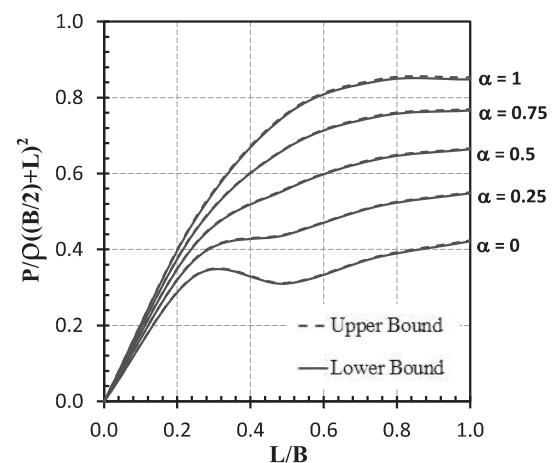


รูปที่ 10 ผลเฉลยอัตราส่วนแรงดันด้านข้างวิบัติที่  $\alpha = 0 - 1$

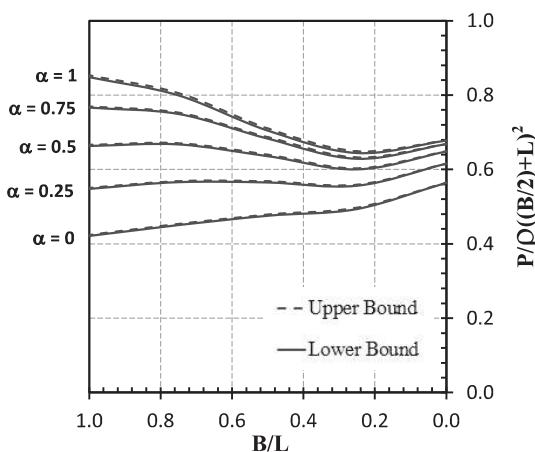
รูปที่ 11-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P/\rho((B/2)+L)^2$  กับ  $L/B$  ตั้งแต่ 0 - 1 และ  $B/L = 1 - 0$  ตามลำดับ โดยเส้นบนสุดของรูปทั้งสองคือกรณีที่  $\alpha = 1$  และเส้นล่างสุดคือกรณีที่  $\alpha = 0$  จากรูปทั้งสองพบว่าผลเฉลยที่ได้มีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นกับอัตราส่วนความกว้างต่อความยาว

จากรูปที่ 11 พบร่วมกับเส้นที่มี  $\alpha = 1, 0.75$  และ  $0.5$  เริ่มจากที่  $L/B = 0$  (ซึ่งมีค่าผลเฉลยเท่ากับ 0) เมื่อ  $\alpha$  มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าผลเฉลยหรือ  $P/\rho((B/2)+L)^2$  จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยไม่มีการตกลงของเส้นกราฟ แต่เส้นที่มี  $\alpha = 0.25$  และ 0 จะมีการตกลงของเส้นกราฟเมื่อ  $L/B = 0.3$  และกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อ  $L/B = 0.5$

รูปที่ 12 แสดงผลของ  $B/L$  ที่มีต่อผลเฉลย จากรูปจะเห็นได้ว่า ที่  $B/L = 1$  (หรือ  $L/B = 1$ ) สำหรับเส้นที่มี  $\alpha = 1, 0.75$  และ  $0.5$  จะมีค่าผลเฉลยสูงที่สุด จากนั้นค่าผลเฉลยของสามเส้นนี้จะลดลงตามที่  $B/L = 0.3$  ค่าของผลเฉลยจะกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในทางกลับกัน เส้นที่มี  $\alpha = 0.25$  และ 0 จะให้ค่าผลเฉลยเพิ่มขึ้นโดยเริ่มจากที่  $B/L = 1$  จากนั้นค่าของผลเฉลยจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงที่  $B/L = 0.3$  ค่าจะตกลง แต่จะกลับมาเพิ่มขึ้นใหม่อีกครั้งที่  $B/L = 0.2$



รูปที่ 11 ผลเฉลยอัตราส่วนแรงดันด้านข้างวิบัติที่  $L/B = 0 - 1$



**รูปที่ 12** ผลเฉลยอัตราส่วนแรงดันด้านข้างวิบัติที่  $B/L = 1 - 0$

สำหรับเส้นที่มี  $\alpha = 0.25$  และ 0 ค่า  $P/\rho((B/2)+L)^2$  จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก  $L/B = 0$  จนเมื่อ  $L/B$  มีค่าประมาณ 0.3 – 0.4 ค่าของผลเฉลยก็จะลดลงเล็กน้อย แต่ก็จะเพิ่มขึ้นอีกรึ่งเมื่อ  $L/B = 0.5$  จากนั้น ค่าผลเฉลยก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง  $B/L$  มีค่าประมาณ 0.4 ค่าผลเฉลยจะมีค่าลดลงเล็กน้อย และในที่สุดค่าผลเฉลยก็จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อค่า  $B/L = 0$

#### 4. สรุป

จากผลเฉลยที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อ  $\alpha$  มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า  $P/\rho((B/2)+L)^2$  ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับตัวแปร  $B/L$  หรือ  $L/B$  ที่มีต่อค่าผลเฉลยหรือ  $P/\rho((B/2)+L)^2$  คือ ค่าผลเฉลยจะแปรผันแบบไม่เชิงเส้น กับค่านี้ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงจะแปรปรวนแตกต่างกันออกไปตามค่า  $B/L$  หรือ  $L/B$  ต่างๆ บนเส้นกราฟเดียวกัน นอกจานี้ เมื่อ  $L/B$  มีค่าเป็น 0 พบว่าค่าผลเฉลยสำหรับกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 0

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Das B. M., "Principle of Foundation Engineering 2<sup>nd</sup>ed.," *PWS Kent Publishing Company, New York*, 1990.
- [2] Salgado R., "the Engineering of Foundation," *McGraw-Hill*, New York, 2008.
- [3] Bowles, J., E., "Foundation Analysis and Design 5<sup>th</sup> ed.," *McGraw-Hill*, New York, 2001.
- [4] Ukrichon, B., "Application of Numerical Limit Analyses for Undrained Stability Problems in Clay," *ScD Thesis*, MIT, 1998.
- [5] S. Keawsawasvong and B. Ukrichon, "Failure Envelope of Embedded Walls in Clay Subjected to Combined Horizontal Load and Moment," *Proceeding of the 6<sup>th</sup> ASEAN Civil Engineering Conference (ACEC)*, Bangkok, pp. CE19-1 – CE19-12, 2013.
- [6] Cauble D. F., "Experimental Measurements for a Model Suction Caisson," *PhD Thesis*, MIT, 1996.
- [7] E. C. Clukey, and M. J. Morrison, "A Centrifuge and Analytical study to Evaluate Suction Caissons for TLP Applications in Gulf of Mexico," *Design and Performance of Deep Foundation ASCE*, pp. 141-156, 1993.
- [8] Geer., M., "Analysis of Pile and Suction Caisson Behavior in Axial Loading," *PhD Thesis*, MIT, 1996.
- [9] A. J. Whittle, J. T. Germaine, D. F. Cauble, "Behavior of Suction Caisson Foundations: Final Report," *Report Submit to MIT*, 1996.
- [10] C. P. Aubeny, J. D. Murff, S. K. Moon, "Lateral Undrained Resistance of Suction Caisson Anchors," *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 11, No. 3, 2001

- [11] C. P. Aubeny, S. W. Han, J. D. Murff, “Inclined Load Capacity of Suction Caissons,” *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, No. 27, pp. 1235–1254, 2003.
- [12] C. P. Aubeny, and J. D. Murff, “Simplified Limit Solutions for the Capacity of Suction Anchors under Undrained Conditions” *Ocean Engineering*, No. 32, pp. 864–877. 2005.
- [13] Krabbenhoft, K., Lyamin, A., Krabbenhoft, J., “Optum Computational Engineering Version 1.14: Manual”, *OptumG2*, 2014.