



เสถียรภาพของร่องและหลุมที่ขุด

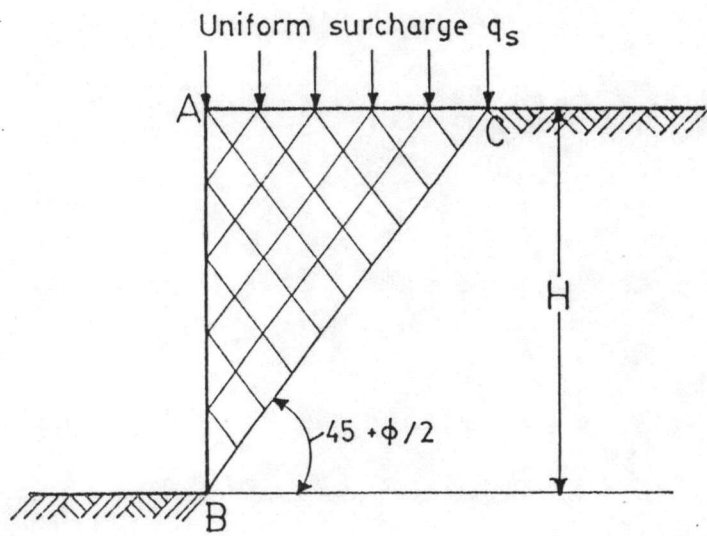
3.1 เสถียรภาพของร่องที่ขุดโดยปราศจากสิ่งช่วยเสริมเสถียรภาพ

การขุดร่องหรือเจาะหลุมในบางครั้ง ถ้าหากสภาพของดินที่จะขุดหรือเจาะมีความแข็งแรงเพียงพอแล้ว ก็สามารถที่จะขุดเจาะให้ได้ความลึกตามที่ต้องการได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ค้ำยันหรือสิ่งช่วยเสริมเสถียรภาพอย่างอื่น ผลที่ได้ คือ สามารถทำงานได้รวดเร็วเพราะได้ลดขั้นตอนการทำงานลงไป ตลอดจนมีความคล่องตัวในการทำงานสูง ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุที่จะนำมาใช้เพื่อช่วยเสริมเสถียรภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ในการทำงานจริงสภาพของดินไม่ได้เอื้ออำนวยให้ทำการขุดร่องหรือเจาะหลุมโดยปราศจากสิ่งช่วยเสริมเสถียรภาพได้เสมอไป เช่น การขุดร่องหรือเจาะหลุมในแนวตั้งในชั้นดินทรายจะเป็นไปไม่ได้ หากไม่มีการห่อกันผนังของร่องหรือหลุมที่ขุด การขุดร่องหรือหลุมในดินทรายแห้ง ถ้าหากให้ผนังที่ขุดทำมุมกับแนวราบ ( $i$ ) น้อยกว่ามุมเสียดทานภายในของทราย ( $\phi$ ) ในสภาพร่วนแล้วก็ย่อมจะทำได้และมีส่วนปลอดภัยเท่ากับ  $(\tan \phi) / (\tan i)$

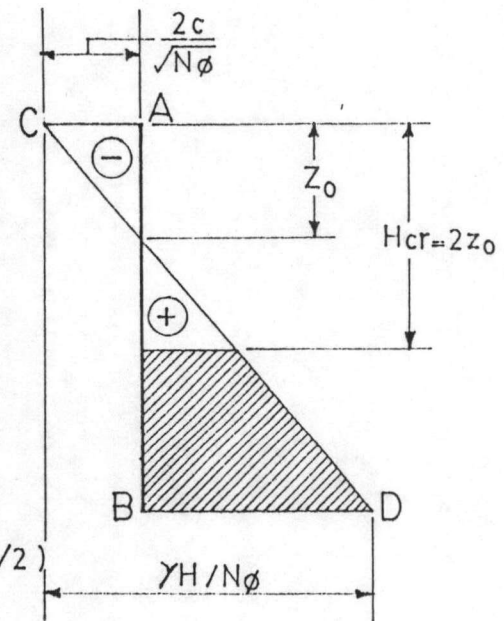
การขุดร่องในดินเหนียวนั้น สามารถที่จะกระทำได้โดยปราศจากสิ่งช่วยเสริมเสถียรภาพ โดยมีเงื่อนไขว่าดินจะต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัว และปริมาณน้ำในดินไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมีแรงมากระทำ TERZAGHI AND PECK (1948) ได้ศึกษาและวิเคราะห์เสถียรภาพของร่องที่ขุดโดยสมมุติว่าจะเกิดการพังทลายของดินตามแนว BC ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและความลึกวิกฤตดังนี้

$$z_o = \frac{2c}{\gamma} \tan (45^\circ + \phi/2) \quad (3.1)$$

$$H_{cr} = 2z_o = \frac{4c}{\gamma} \tan (45^\circ + \phi/2)$$



[ก]



[ข]

รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นลักษณะการพิบัติของร่องที่ขุดดินเหนียว

( ก.) รูปตัดผ่านร่องที่ขุด ( ข.) ความดันของดินที่เกิดขึ้นในแนวราบ

- ในเมื่อ  $z_0$  = ความลึกที่ซึ่งพอดีทำให้ความเค้นในแนวราบมีค่าเป็นศูนย์  
 $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน  
 $c$  = ความเชื่อมแน่นของดิน  
 $H_{cr}$  = ความลึกวิกฤตของร่องที่ขุด  
 $\phi$  = มุมเสียดทานภายในของดิน

ดังได้กล่าวแล้วว่า การพิจารณาได้สมมุติให้ดินเหนียวอยู่ในสภาพอิ่มตัว ซึ่งมีผลทำให้มุมเสียดทานภายในของดินมีค่าเป็นศูนย์ ( $\phi = 0$ ) จากการแทนค่า  $\phi = 0$  ลงในสมการที่ (3.2) จะได้

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma} \quad (3.3)$$

ถ้าหากมีน้ำหนักจากภายนอกมากระทำในลักษณะกระจายสม่ำเสมอบนพื้นดินบริเวณขอบร่องที่ขุดด้วยแล้ว น้ำหนักที่มากกระทำนี้จะส่งผลไปถึงเสถียรภาพของร่องที่ขุดด้วย ดังนั้น ความลึกวิกฤต คือ

$$H_{cr} = \frac{4c - 2q_s}{\gamma} \quad (3.4)$$

แต่เนื่องจากบริเวณขอบร่องจะเกิดแรงดึงขึ้น ทำให้เกิดรอยแยกขึ้นที่ผิวดิน TERZAGHI (1941) และ TERZAGHI AND PECK (1976) ได้ค้นพบว่า รอยแยกที่เกิดขึ้นจะลึกกลงไปในดินประมาณครึ่งหนึ่งของความลึกที่ขุด ด้วยเหตุนี้จะทำให้ความลึกวิกฤตของร่องที่ขุดลดลงไปจากสมการที่ (3.3) ครึ่งหนึ่ง ดังนั้น

$$H_{cr} = \frac{2c}{\gamma} \quad (3.5)$$

เป็นที่ปรากฏโดยชัดแล้วว่า การเกิดรอยแยกเนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นภายในมวลดินนั้นจะมีผลต่อเสถียรภาพของร่องที่ขุด และในบางครั้งจะไม่ปลอดภัยหากสมมุติว่ามวลดินสามารถที่จะต้านทานแรงดึงในแนวราบที่เกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับผิวดินหรือใกล้

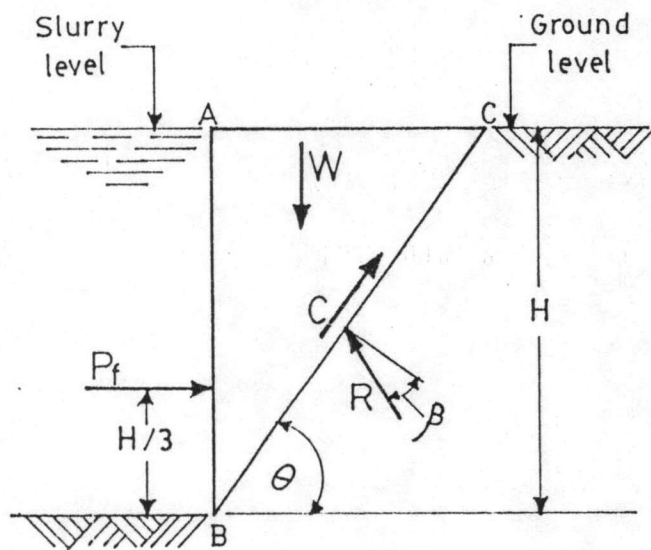
ระดับผิวดิน ตามปกติแล้วรอยแยกเนื่องจากแรงดึง (Tension Crack) ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้ ถ้าหากเกิดขึ้นความลึกของรอยแยกก็จะมีค่าน้อยกว่า  $z_0$  ถ้าให้น้ำหนักภายนอกมากกระทำในลักษณะแผ่กระจายสม่ำเสมอบนผิวดินบริเวณขอบร่องที่ขุด ผลที่ได้จะทำให้เกิดความเค้นกดขึ้น ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดรอยแยกของดินลงได้ ถ้าหากน้ำหนักภายนอกที่มากระทำในลักษณะที่กล่าวแล้ว มีค่ามากกว่าสองเท่าของความเค้นแน่นของดิน ( $q_s > 2c$ ) รอยแยกจะไม่เกิดขึ้น แต่กรณีนี้จะทำให้ความลึกวิกฤตมีค่าเป็นลบ นั่นคือ จะไม่สามารถขุดร่องได้เลย

ในการสมมุติให้  $\phi = 0$  ระบายของการพังจะทำมุม  $45^\circ$  กับแนวราบ การวิเคราะห์ โดยสมมุติให้ระบายของการพังมีลักษณะเป็นวงกลมจะให้ผลเหมือนกัน จะต่างกันเฉพาะตัวคงที่ที่ปรากฏอยู่ในสมการที่ (3.3) และ (3.4) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 3.85 แทนที่จะเป็น 4 ค่า 3.85 นี้ ได้จากการวิเคราะห์ของ TAYLOR; 1948

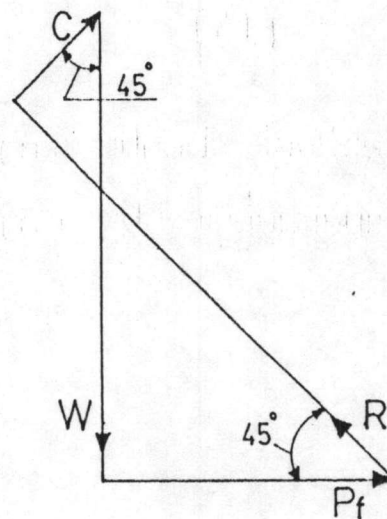
### 3.2 เสถียรภาพของร่องที่ขุดในดินเหนียวเมื่อใช้สเลอรีมาช่วยเสริมเสถียรภาพ

เมื่อใช้สเลอรีมาช่วยเสริมเสถียรภาพของผนังร่องที่ขุด สเลอรีที่ใช้โดยปกติทั่วไปจะใช้ สารละลาย เบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) หรือจะใช้วัสดุอย่างอื่นที่ทำหน้าที่แทน เบนโทไนท์ ได้ เนื่องจากสเลอรีพยายามที่จะซึมผ่านผนังร่องออกไป โดยอาศัยความดันสถิต (Hydrostatic Pressure) ที่เกิดจากหน่วยน้ำหนักของสเลอรีเอง เมื่อสเลอรีซึมผ่านผนังร่องออกไปจะก่อตัวเป็น Filter Cake เคลือบผนังของร่องที่ขุดและจะไม่ยอมให้สเลอรีซึมผ่านผนังร่องได้อีกต่อไปหรือซึมผ่านได้น้อยมาก ดังนั้น จึงดูเหมือนว่าเยื่อบาง ๆ (Membrane) กั้นอยู่ระหว่างสเลอรีกับผนังของร่องที่สามารถป้องกันน้ำไหลผ่านได้ ความดันสถิต ที่เกิดจากสเลอรีเป็นตัวการสำคัญที่ช่วยป้องกันไม่ให้ ผนังของร่องพังทลาย ดังนั้น แรงดันสถิตของสเลอรีจะต้องมีค่ามากกว่าผลรวมของแรงดันทางข้างของดินกับแรงดันสถิตของน้ำใต้ดิน

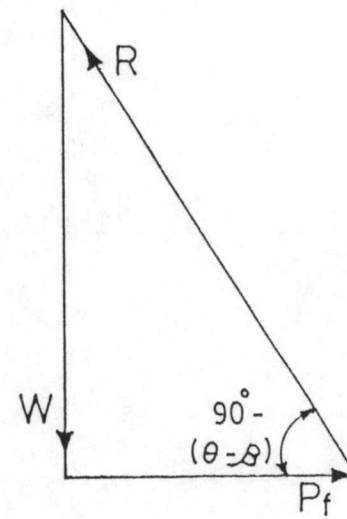
XANTHAKOS (1979) ได้อ้างถึง NASH และ JONES; 1963 ผู้ซึ่งได้พิจารณาเสถียรภาพของร่องที่ขุด โดยอาศัยพื้นฐานของ Limit Theory โดยสมมุติให้ลิ่มของดินที่จะพังทลายถูกกระทำด้วยแรง ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 ก. และรูปที่ 3.2 ข. ได้แสดงรูปเปลี่ยมแทนแรงสำหรับดิน



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ 3.2 เสถียรภาพของร่องที่ขุด (ก) รูปตัดผ่านร่องที่ขุด (ข) รูปเหลี่ยมแทนแรง-  
สำหรับดินเหนียว ( $\phi = 0$ ) (ค) รูปสามเหลี่ยมแทนแรงสำหรับดินทราย ( $c = 0$ )

เหนียว ( $\phi = 0$ ). รูปที่ 3.2 ค. ได้แสดงรูปสามเหลี่ยมแทนแรงสำหรับดินทราย ( $c = 0$ ) ลิ่มของดิน ABC (รูปที่ 3.2 ก.) พยายามที่จะพังทลายลงมาตามแนว CB ด้วยแรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนัก  $W$  ของดินเอง แต่จะถูกต้านทานไว้ด้วยแรงเฉือน  $C$  และแรงดันสถิต  $P_f$  ของสเลอร์ ภายใต้งานเฉือน  $\phi = 0$  จะมีผลทำให้  $\beta = 0$  และ  $\theta = 45^\circ$  เมื่อรูปเหลี่ยมของแรงที่แสดงในรูปที่ 3.2 ข. อยู่ในสภาวะสมดุล จะได้ความสัมพันธ์ของร่องที่ขุดในเมื่อ  $\gamma_f$  เป็นหน่วยน้ำหนักของสเลอร์ คือ

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma - \gamma_f} \quad (3.6)$$

ถ้าหากว่ามีน้ำหนักแผ่กระจายมากระทำที่ผิวดินบริเวณใกล้กับร่องที่ขุดแล้ว ความลึกวิกฤตที่จะขุดได้จะลดน้อยลง เนื่องจากอิทธิพลของน้ำหนักแผ่กระจายดังกล่าวแล้ว สมการที่ (3.6) จะกลายเป็น

$$H_{cr} = \frac{4c - 2q_s}{\gamma - \gamma_f} \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.6) และ (3.7) จะให้ผลถูกต้องตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด เมื่ออยู่ภายใต้งานเฉือน ดังนี้

3.2.1 ร่องที่ขุดจะต้องมีความยาวมากเมื่อ เทียบกับความลึก

3.2.2 ความเชื่อมั่นแน่นของดินที่ใช้ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยตลอดความลึกของร่องที่ขุด

3.2.3 สเลอร์ที่ใช้ช่วย เสริม เสถียรภาพของร่องที่ขุดจะต้องไม่ซึมผ่านผนังของร่องออกไป (Fluid Loss) เนื่องจากการซึมผ่านของสเลอร์ดังกล่าวมีผลโดยตรงที่จะทำให้แรงดันสถิตของสเลอร์ลดลง ซึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนต่อ เสถียรภาพของร่องที่ขุดด้วย

XANTHAKOS, 1974; TSCHEBOTARIOFF, 1976 กล่าวว่า แรงดันของสเลอร์จะช่วยลดรอยแยกเนื่องจากแรงดึงที่ผิวดินลงได้ จากสมการที่ (3.6) และ (3.7) จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้พารามิเตอร์ของดินอันเดียวกันหรือการขุดร่องในดินชนิดเดียวกัน ความลึกวิกฤตจะขึ้นอยู่กับ

กับความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักของสเลอรี่ที่ใช้ ดังนั้น ถ้าหากใช้สเลอรี่ที่มีความหนาแน่นมาก จะทำให้การขุดร่องทำได้ลึกขึ้นโดยจะไม่เกิดการพังทลาย แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สเลอรี่ที่มีความหนาแน่นเกินพิกัดที่กำหนดให้ จะทำให้เกิดผลเสียตามมา เช่น การเทคอนกรีตได้สเลอรี่คอนกรีต จะเข้าแทนที่สเลอรี่ได้ยาก ทำให้สเลอรี่เข้าไปผสมกับคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง

### 3.3 เสถียรภาพของร่องที่ขุดในดินทราย เมื่อใช้สเลอรี่มาช่วยเสริมเสถียรภาพ

#### 3.3.1 การขุดร่องในดินทรายแห้ง

การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุดในดินทรายแห้ง ตามวิธีของ NASH และ JONES, 1963 ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 ก. และ 3.2 ข. ลิ่มของดิน ABC จะพยายามพังทลายลงมา แต่จะถูกต้านทานโดยแรงเสียดทาน ที่เกิดขึ้นในมวลดินตามแนว BC และแรงดันสถิต  $P_f$  ของสเลอรี่ เมื่อแรงอยู่ในสภาวะสมดุลย์ จะทำให้

$$\tan \beta = \frac{\gamma - \gamma_f}{2\sqrt{\gamma \cdot \gamma_f}} \quad (3.8)$$

ถ้ากำหนดให้  $F$  เป็นส่วนปลอดภัยที่จะต่อต้านการพังทลายของดินซึ่งลักษณะการพังจะเป็นรูปลิ่มจากสมการที่ (3.8) จะได้ค่าส่วนปลอดภัย ดังนี้

$$F = \frac{2\sqrt{\gamma \cdot \gamma_f} \cdot \tan \phi}{\gamma - \gamma_f} \quad (3.9)$$

จะสังเกตเห็นได้ว่า ตามสมการที่ (3.9) ส่วนปลอดภัยของร่องที่ขุดในดินทรายแห้งจะไม่ขึ้นอยู่กับความลึกที่ขุดแต่อย่างใด แต่จะขึ้นอยู่กับสมบัติของดิน (หน่วยน้ำหนักและมุมเสียดทานภายใน) และหน่วยน้ำหนักของสเลอรี่ที่ใช้นั้น เหมือนกันกับการขุดร่องในดินเหนียว ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ถ้าสมบัติของดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง หากเพิ่มความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักของสเลอรี่ที่ใช้ในการช่วยเสริมเสถียรภาพของร่องที่ขุด จะทำให้ขุดร่องได้ลึกมากขึ้นจาก

เดิมโดยไม่เกิดการพังทลาย

### 3.3.2 การขุดร่องในดินทรายเมื่อมีระดับน้ำใต้ดินเข้ามาเกี่ยวข้อง

เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับผิวดินหรือระดับเดียวกันกับผิวดิน เป็นการยากที่จะป้องกันการพังทลายของผนังร่องที่ขุด ในการเสริมเสถียรภาพให้กับร่องที่ขุด นั้น จะทำได้โดยการ เลือกใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้แก่

- ก. การลดระดับน้ำใต้ดินภายในบริเวณที่จะทำการขุดร่องลง
- ข. การเพิ่มระดับของสเลอรี่ในร่องที่ขุดให้สูงขึ้นกว่าระดับน้ำใต้ดิน
- ค. การใช้สเลอรี่ที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักมากกว่าการใช้งานปกติ
- ง. การใช้วิธีการอื่น ๆ ที่เหมาะสม

เมื่อดินที่จะทำการขุดร่องประกอบด้วยทรายหยาบหรือกรวดเป็นส่วนใหญ่ ทรายหยาบหรือกรวดมีความสามารถที่จะให้น้ำไหลซึมผ่านได้รวดเร็ว ดังนั้น สเลอรี่ที่ใช้ช่วย เสริมเสถียรภาพจะซึมผ่านผนังร่องที่ขุดเข้าไปในดินบริเวณใกล้เคียง ๆ กับผนังร่องที่ขุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินทรายที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน สเลอรี่จะซึมเข้าไปได้มากกว่ากรณีที่ดินทรายอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน การซึมผ่านของสเลอรี่จะหยุดลง เมื่อได้เกิดการก่อตัวเป็น Filter Cake แล้วน้ำจะไม่สามารถซึมผ่านได้อีกต่อไป ถ้าไม่คำนึงถึงอิทธิพลของ Filter Cake ที่มีต่อเสถียรภาพของร่องที่ขุด ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของผนังร่องที่ขุด จะสมมุติให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในมวลดินเป็นความเค้นภายใต้สภาพคายน้ำ (Drain Conditions) นั่นคือ ความเค้นประสิทธิผล (Effective Stress) และให้ความดันของน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore Pressure) มีค่าเท่ากับความดันสถิตของน้ำสำหรับกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับผิวดิน เมื่อแรงที่กระทำตามแนวราบอยู่ในสภาพสมดุล แรงดันของสเลอรี่จะมีค่า เท่ากับผลบวกของแรงดันทางข้างของดินกับแรงดันของน้ำใต้ดิน

$$\frac{1}{2} \gamma_f H^2 = \frac{1}{2} \gamma_H^2 K_a + \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2 \quad (3.10)$$

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{\gamma_f - \gamma_w}{\gamma'} \quad (3.11)$$



กำหนดให้  $\gamma_f - \gamma_w = \gamma'_f$  และแก้สมการเพื่อหาค่า  $\tan \phi$  โดยเลือกใช้ส่วน  
ปลอดภัยที่เหมาะสม (F) จะได้

$$F = \frac{2\sqrt{\gamma' \cdot \gamma'_f} \tan \phi'}{\gamma' - \gamma'_f} \quad (3.12)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการที่ (3.12) นั้น สามารถจะหาได้โดยตรงจากสมการที่  
(3.9) โดยการแทนที่  $\gamma'$  และ  $\gamma'_f$  สำหรับ  $\gamma$  และ  $\gamma_f$  ตามลำดับ นั่นคือ ใช้หน่วยน้ำหนัก  
ประสิทธิภาพแทนที่หน่วยน้ำหนักทั้งหมด จากสมการที่ (3.11) หากจัดรูปเสียใหม่จะให้ความสัมพันธ์  
ที่น่าสนใจ คือ

$$\gamma_f = K_a \cdot \gamma' + \gamma_w \quad (3.13)$$

ความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการที่ (3.13) นั้น กล่าวได้ว่า เกี่ยวกับเสถียร  
ภาพของร่องที่ขุดในชั้นดินทราย เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน หน่วยน้ำหนักของสเลอรี่ที่ใช้จะมีค่า  
เท่ากับผลบวกของ Active Effective Weight ของดินกับหน่วยน้ำหนักของน้ำ

### 3.3.3 การขุดร่องในดินทรายเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับสเลอรี่มีการเปลี่ยนแปลง

ตามปกติทั่วไปเสถียรภาพของร่องที่ขุดเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับสเลอรี่มีการ  
เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ไม่มีความแน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดให้ความลึกของน้ำใต้  
ดินเท่ากับ  $mH$  และความลึกของสเลอรี่ในร่องที่ขุดเท่ากับ  $nH$  ทั้งนี้โดยการใช้กันหลุมเป็นหลักใน  
การวัดความลึก การวิเคราะห์ที่สามารถที่จะทำได้โดยการใช้ความเค้นทั้งหมด (Total Stress)  
สำหรับดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินและใช้ความเค้นประสิทธิภาพ (Effective Stress) สำหรับดิน  
ที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน จากเงื่อนไขดังกล่าวเมื่อแรงในแนวราบอยู่ในสภาพสมดุล ทำให้

$$\gamma_f = \frac{\gamma(1-m)^2 \cdot K_a + \gamma'm^2 \cdot K_a + \gamma_w m^2}{n^2} \quad (3.14)$$

ในสมการที่ (3.14) นี้ หากกำหนดให้  $m = n = 1$  จะทำให้สมการที่ (3.14) กลายเป็นสมการที่ (3.13) ซึ่งสมการที่ (3.14) จะแสดงให้เห็นถึงความไว (Sensitivity) ของร่องที่ขุดในดินทรายภายใต้สภาวะที่ระดับน้ำใต้ดินและระดับสเลอรี่ในร่องที่ขุดมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ไม่มีความแน่นอน โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $m$  และ  $n$  แล้วสังเกตดูความเปลี่ยนแปลงของ  $\gamma_f$  จากนั้นก็เลือกค่า  $\gamma_f$  ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขุดร่องในพื้นที่ที่มีระดับน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในทางปฏิบัติอนุโลมให้ใช้มุมเสียดทานภายใน  $\phi$  เท่ากัน ทั้งส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไปและส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินลงมา

### 3.4 เสถียรภาพของร่องที่ขุด เมื่อนำเอาแรงเฉือนของสเลอรี่มาพิจารณาด้วย

การใช้สเลอรี่มาช่วยเสริมเสถียรของผนังร่องที่ขุด เมื่อสเลอรี่ได้ไหลซึมผ่านผนังร่องออกไปได้ระยะหนึ่งจะแปรสภาพเป็น Filter Cake นอกจากจะทำหน้าที่ช่วยป้องกันการไหลซึมผ่านของน้ำใต้ดินแล้ว ยังมีความแข็งแรง (Gel Strength) สามารถที่จะต่อต้านแรงเฉือนได้อีกด้วย ในสภาพปกติความเค้นเฉือนของสเลอรี่เพียงเล็กน้อยประมาณ 50-70 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จะมีส่วนช่วยเพิ่มความมั่นคงให้แก่ผนังร่องที่ขุดอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ เนื่องจากจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical Deformation) เกิดขึ้น คือ ขวลดินพยายามที่จะพังทลายลงไปนร่องที่ขุด เพื่อที่จะเข้าไปแทนที่สเลอรี่ แต่จะถูกต้านไว้ด้วยแรงเฉือนของสเลอรี่

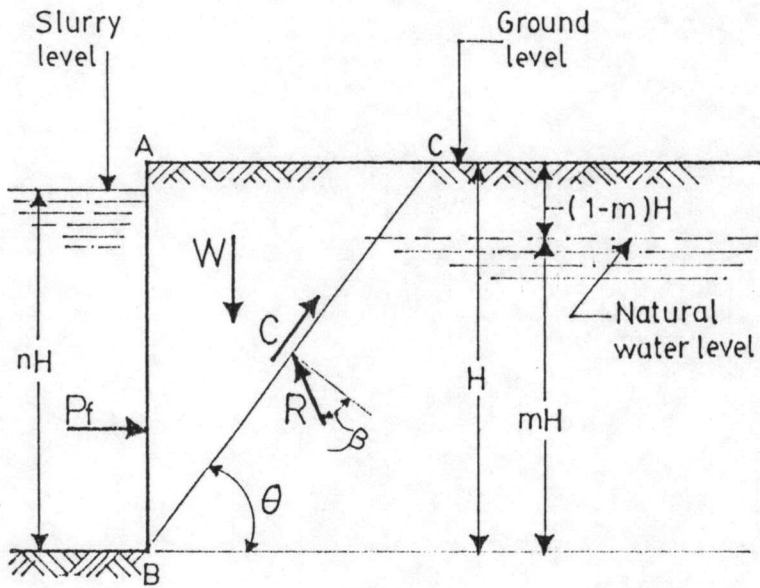
เมื่อเรามาพิจารณาถึงส่วนที่เล็กมาก ๆ ของวุ้นที่เกิดจากสเลอรี่ (Gelled Slurry) ซึ่งถูกกระทำด้วยแรงต่าง ๆ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.4 การสมดุลของแรงที่มากระทำจะเป็นไปได้เมื่อสมการที่ (3.15) เป็นความจริง

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} - \gamma_f = 0 \quad (3.15)$$

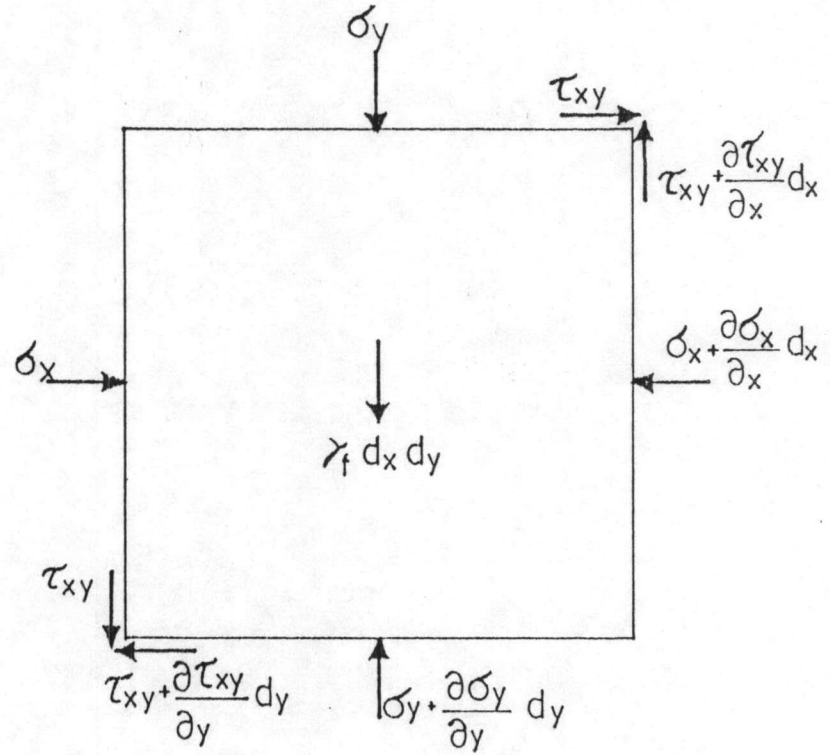
และการไหลแบบพลาสติก (Plastic Flow) จะเกิดขึ้นเมื่อสมการที่ (3.16) เป็นความจริง

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4\tau_f^2 \quad (3.16)$$

เมื่อ  $\tau_f$  เป็นกำลังเฉือนของสเลอรี่และโดยการเลือกภาวะของ (Boundary Condition)



รูปที่ 3.3 เสาถึยรภาพของร่องที่ขุดเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับเสาเออร์มีการเปลี่ยนแปลง.



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นความเค้นที่เกิดขึ้นในอนุภาคของเสาเออร์

ที่เหมาะสม ผลลัพธ์ของสมการที่ (3.15) และ (3.16) ก็สามารถหาได้ ถ้ากำหนดให้ ความกว้างของร่องที่ขุดเท่ากับ  $2a$  แล้ว ความเค้นในแนวราบ ( $\sigma_x$ ) ที่เกิดขึ้นจะหาได้จาก สมการที่ (3.17)

$$\sigma_x = \gamma_f y + \tau_f \frac{y}{a} + \frac{1}{2} \tau_f \quad (3.17)$$

กำหนดให้  $P_f$  เป็นแรงดันทั้งหมดในแนวราบที่เกิดจากสเลอรี่ จะได้

$$P_f = \frac{1}{2} \gamma_f H^2 + \frac{\tau_f H^2}{2a} + \frac{1}{2} \tau_f H \quad (3.18)$$

สมการที่ (3.18) เป็นสมการทั่ว ๆ ไปที่ใช้คำนวณหาแรงดันสถิตของสเลอรี่ ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุด ซึ่งสามารถใช้ได้กับลักษณะของดินทุกชนิดไม่ว่าจะเป็น ดินทรายหรือดินเหนียวก็ตาม ในดินทรายแห่งร่องที่ขุดจะมีเสถียรภาพเมื่อ

$$\frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \frac{1}{2} \gamma_f H^2 + \frac{\tau_f H^2}{2a} + \frac{1}{2} \tau_f H$$

$$H_{cr} = \frac{\tau_f}{\gamma K_a - \gamma_f - \tau_f/a} \quad (3.19)$$

สำหรับในดินเหนียวซึ่ง  $\phi = 0$  และมีความเชื่อมแน่นเท่ากับ  $c$  แล้วความลึกวิกฤติของร่องที่ขุดจะได้จากสมการที่ (3.20)

$$H_{cr} = \frac{4c + \tau_f}{\gamma - \gamma_f - \tau_f/a} \quad (3.20)$$

จากสมการที่ (3.19) และ (3.20) จะเห็นได้ว่า การนำแรงเฉือนที่เกิดจากสเลอรี่ มาพิจารณาเกี่ยวกับเสถียรภาพของร่องที่ขุด ถึงแม้ว่าแรงเฉือนจะมีค่าน้อย (50-70 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) แต่ก็มีส่วนช่วยเสริมเสถียรภาพได้มากและจะเห็นได้ว่าสำหรับดินชนิดเดียวกันคุณสมบัติ

ของสเลอรี่ที่ใช้ช่วยเสริมเสถียรภาพเหมือนกัน การขุดร่องที่แคบจะมีเสถียรภาพมากกว่าการขุดร่องที่กว้างกว่า

### 3.5 สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการขุดร่องในดินทราย

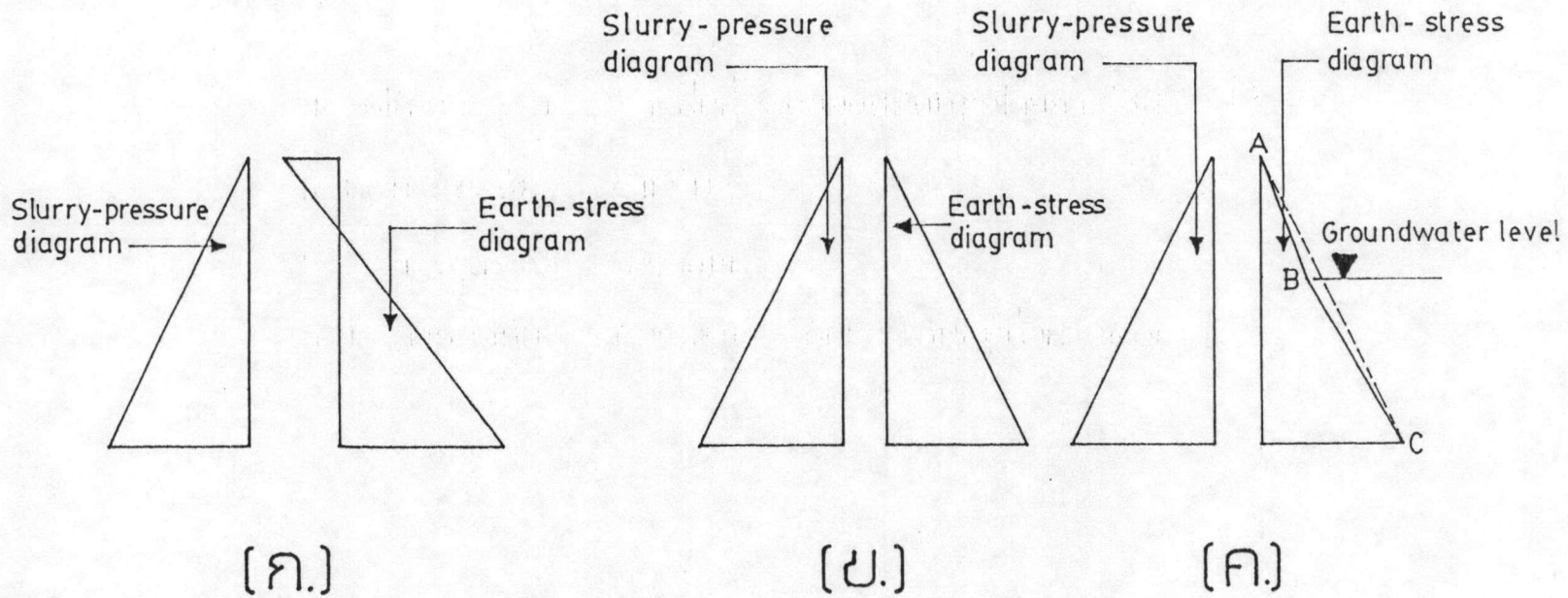
ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นั้น จะไม่ได้คำนึงถึงขนาดและรูปร่างทางด้านเรขาคณิตของร่องที่ขุด การพิจารณาถือเสมือนว่า ร่องมีความยาวมากจนถึงค่าอนันต์ (Infinitely Long) และการพังทลายจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันทางข้างของดินกับแรงดันของน้ำใต้ดินมีค่ามากกว่าแรงดันสถิตของสเลอรี่ เงื่อนไขดังกล่าว จะเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่ของสามเหลี่ยมแทนแรงดังที่แสดงในรูปที่ 3.5 ทางด้านขวามีค่าเท่ากับ รูปสามเหลี่ยมแทนแรงดันของสเลอรี่ทางด้านซ้ายมือ

การวิเคราะห์เสถียรภาพของร่องที่ขุดสามารถที่จะกระทำได้ในรูปของหน่วยความเค้น ซึ่งกรณีนี้จะต้องพิจารณาให้ความดันกัมมันต์ทางข้างของดินบวกกับความดันสถิตของน้ำใต้ดิน มีค่าเท่ากับความดันสถิตของสเลอรี่ที่ความลึกใด ๆ ก็ตามที่เรากำลังจะพิจารณาสมมุติฐานเบื้องต้น ดังกล่าวไม่เหมาะที่จะใช้กับดินเหนียว แต่เหมาะที่จะใช้กับดินทราย การวิเคราะห์ทั้งสองวิธี คือ การใช้แรงดันทั้งหมดหรือการใช้หน่วยความเค้นจะมีผลเท่ากันในกรณีที่แสดงในรูปที่ 3.5 ข. แต่จะมีค่าไม่เท่ากันสำหรับเงื่อนไขดังที่แสดงในรูปที่ 3.5 ค. อย่างไรก็ตามสำหรับดินที่ประกอบด้วยชั้นดินหลาย ๆ ชั้นที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์โดยวิธีใช้หน่วยความเค้น (Unit Stress) เป็นวิธีที่ดีกว่า

#### 3.5.1 การวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีความเค้นเท่ากับ (Equal-Stress Method)

ในรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นรูปตัดตามขวางของร่องที่ขุดในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุดที่ความลึก  $h_x$  โดยใช้วิธีใช้หน่วยความเค้นที่ความลึกที่ต้องการพิจารณามีค่าเท่ากัน จะได้ว่า

$$p_f = p_w + p_a \quad (3.21)$$



รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผนังของร่องที่ขุดโดยการใช้สลเลอรีช่วยเสริมเสถียรภาพ

- (ก) การขุดร่องในดินเหนียว
- (ข) การขุดร่องในดินทรายแข็ง
- (ค) การขุดร่องในดินทรายเมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดิน

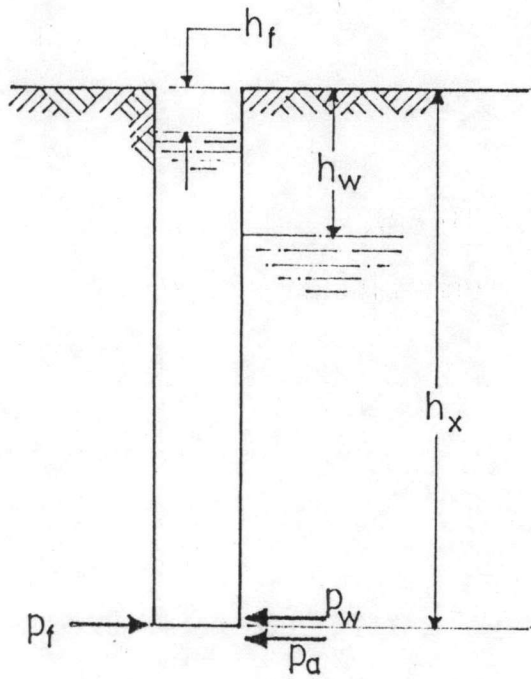
ในเมื่อ  $p_f$  = ความดันสถิตของสเลอรี  
 $p_w$  = ความดันสถิตของน้ำใต้ดิน  
 $p_a$  = ความดันกัมมันต์ทางข้างของดิน

ถ้าหากว่าระดับของสเลอรีมีค่าเท่ากับระดับน้ำใต้ดิน สมการที่ (3.21) ก็จะกลายเป็นสมการที่ (3.13)

### 3.5.2 การขุดร่องที่มีความยาวน้อยในดินทราย

การขุดร่องที่มีความยาวไม่มากนัก เมื่อเทียบกับความลึกที่ขุด การวิเคราะห์เสถียรภาพของร่องที่ขุดจะต้องนำเอา Arching Effect มาพิจารณาด้วย ทั้งนี้เพราะว่า การขุดร่องที่มีความยาวไม่มาก หลังจากการขุดผนังร่องจะได้รับแรงมากระทำจนถึงจุดคานงและพร้อมที่จะเกิดการพังทลายขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การพังทลายจะยังไม่เกิดขึ้นเนื่องมาจากจะถูกส่วนหัวและส่วนท้ายของร่องที่ขุดด้านทานการพังทลายเอาไว้ ในรูปที่ 3.7 ก. ได้แสดงให้เห็นลักษณะของผนังร่องที่จะเกิดการพังทลาย ซึ่งจะมีลักษณะเป็นรูป Vertical Parabolic Cylinder ABC-A'B'C' การพังทลายจะเกิดขึ้นในระนาบ A'B'C' โดยจะเอียงทำมุม  $\theta$  กับแนวราบ PLASKOWSKI AND KOWALEWSKI (1965) ได้ศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพของร่องที่ขุด และได้สร้าง Nomographs ขึ้นมีลักษณะดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.7 ข. ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์ความเค้นกัมมันต์ของดินทางด้านข้าง ( $K_a$ ) กับอัตราส่วนความลึกต่อความยาวของร่องที่ขุด ( $n = h_x/l$ ) โดยการให้อัตราส่วนความลึกของร่องที่ขุดต่อความลึกของระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลง ( $R = h_x/h_w$ ) จากผลของการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า สำหรับดินชนิดเดียวกันและที่ความลึกอันเดียวกัน การขุดร่องสั้นจะมีเสถียรภาพมากกว่าการขุดร่องยาว

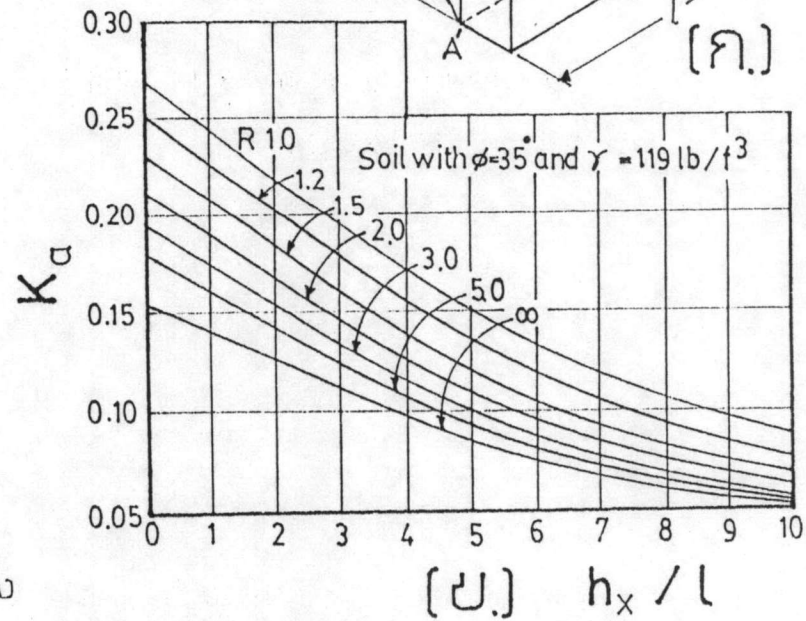
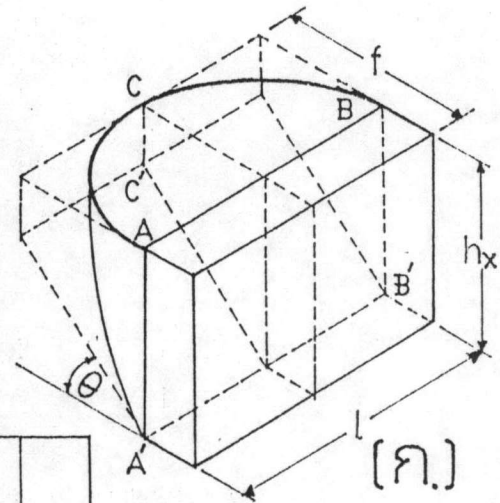
ในการวิเคราะห์หาความมั่นคงของร่องที่มีความยาวน้อย ๆ HUDER (1972) ได้นำเอาพื้นฐานการวิเคราะห์ของ TERZAGHI (1943) มาศึกษาเพิ่มเติมและเขาก็ได้กำหนดให้ลดค่าสัมประสิทธิ์ความเค้นกัมมันต์ของดินทางด้านข้างลงโดยหาค่า A จากสมการที่ (3.22)



รูปที่ 3.6 การขุดร่องในดินทรายเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับเสาเลอซีมีการเปลี่ยนแปลง

$$R = \frac{h_x}{h_w}$$

$$f = \frac{1}{2} \cotan \phi$$



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_x/l$  &  $K_a$  (PIASKOWSKI & KOWALEWSKI, 1965)



ไปคูณกับค่า  $K_a$  ก่อน แล้วคำนวณหาค่าความเค้นกัมมันต์ของดินทางข้างที่เกิดขึ้น ไปแทนค่าในสมการที่ (3.21) เพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุดต่อไป

$$A = \frac{1 - e^{(-2nK_a \tan \phi)}}{2nK_a \tan \phi} \quad (3.22)$$

และจะหาความเค้นกัมมันต์ของดินทางข้างได้ จากสมการที่ (3.23)

$$P_a = \left[ \gamma h_w + \gamma' (h_x - h_w) \right] AK_a \quad (3.23)$$

รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของ  $K$  กับ  $n$  เมื่อมีการ

แปลงค่า  $K_a \tan \phi$  จากการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้โดยวิธีของ PLASKOWSKI กับวิธีของ HUDER เมื่อกำหนดให้ดินมีมุมเสียดทานภายใน  $(\phi)$  เท่ากับ  $35^\circ$  และ  $h_x/\ell = 3$  โดยการคำนวณหาค่า  $K_a \tan \phi$  ได้เท่ากับ 0.19 และจากรูปที่ 3.8 จะพบว่า  $A$  มีค่าประมาณ 0.61 ซึ่งจากวิธีของ PLASKOWSKI จะได้ค่า  $A$  เท่ากับ  $\frac{0.19}{0.27} = 0.70$  จะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีให้ผลใกล้เคียงกันมาก แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่เสนอโดย HUDER เป็นวิธีที่ดีกว่า เนื่องจากว่าสามารถที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของร่องที่มีความยาวน้อย ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่มีน้ำหนักภายนอกมากกระทำในลักษณะแผ่กระจายสม่ำเสมอบนพื้นดินบริเวณที่จะขุดร่องได้อีกด้วย

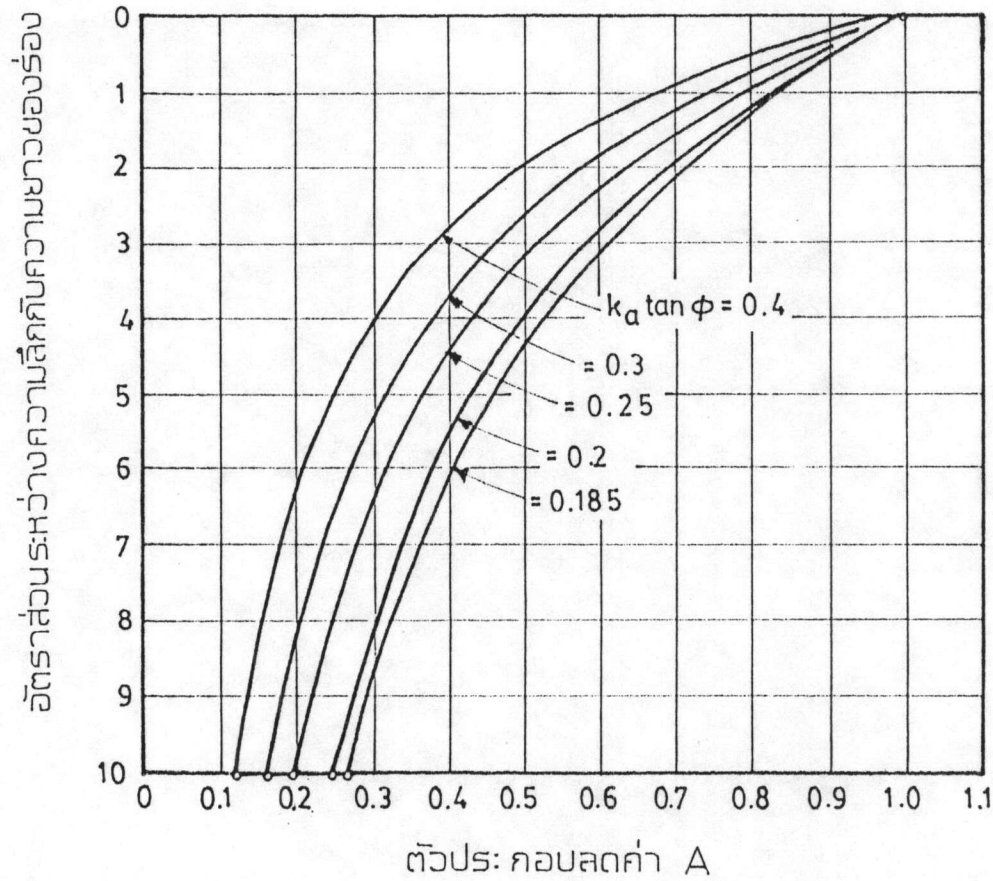
นอกจาก PLASKOWSKI และ HUDER แล้วยังมี SCHNEEBELI, 1964 ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเกิด Arching โดยเขาได้อาศัยพื้นฐานจากทฤษฎีเกี่ยวกับความดันทางข้างของดินสำหรับไซโล SCHNEEBELI ได้พบว่า ในการขุดร่องที่มีความยาวในดินทราย ความเค้นในแนวราบ  $\sigma_h$  ที่ความลึก  $h_x$  จะมีค่าเท่ากับ

$$\sigma_h = \frac{\gamma \ell}{N\phi \cdot \sin 2\phi} \left[ 1 - e^{(-n \cdot \sin 2\phi)} \right] \quad (3.24)$$

$$\text{ในเมื่อ } n = h_x/\ell$$

$$N\phi = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

ถ้าหากว่าความลึกของร่องที่ขุดมีค่ามาก เมื่อเทียบกับความยาว ความเค้นในแนวราบ  $\sigma_h$  จะมีค่าคงที่และจะคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ (3.25)



รูปที่ 3.8 ตัวประกอบลดค่า A สำหรับความดันทางข้างของดินที่เกิดขึ้นบริเวณผนังของร่อง  
 ที่ขุดในดินทราย ( HUDER, 1972 )

$$\sigma_{h_x}^{\max} = \frac{\gamma_L}{N\phi \sin 2\phi} \quad (3.25)$$

ดังนั้น จากการพิจารณาทฤษฎีของ SCHNEEBELI จะเห็นได้ว่าความเค้นกัมมันต์ทางข้างของดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด เมื่อความลึกมีค่ามากพอและหลังจากนั้น แม้ว่าความลึกของร่องที่ขุดจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ความเค้นจะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไปและจากทฤษฎีของ HUDER จะเห็นได้ว่า ตัวประกอบลดค่า A จะมีค่าเข้าใกล้ขีดจำกัดค่าหนึ่งแต่ความเค้นในแนวราบยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นต่อไปอีก ตามความลึกที่เพิ่มขึ้น

เนื่องมาจากอิทธิพลของการเกิด Arching ดังนั้นความลึกที่สามารถขุดเจาะได้ไม่จำเป็นต้องเป็นความลึกวิกฤติเสมอไป ซึ่งจะขึ้นกับรายละเอียดและลักษณะของปัญหา ประกอบกับการมีส่วนช่วยลดความเค้นทางข้างของดินลงด้วย ตามที่แสดงในสมการที่ (3.22) หรือ (3.24)

### 3.5.3 เสถียรภาพของร่องที่ขุดในดินที่ประกอบด้วยชั้นดินหลาย ๆ ชั้น

ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องในดินที่ประกอบด้วยชั้นดิน ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันหลาย ๆ ชั้น นั้น ใช้ระเบียบวิธีให้ความเค้นในแนวราบเท่ากัน (Equal-Stress Method) จะเหมาะสมที่สุด ถ้าหากว่าลักษณะของดินประกอบด้วยชั้นดินที่แตกต่างกันจำนวน  $n$  ชั้น อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน และแตกต่างกับจำนวน  $m$  ชั้นอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เสถียรภาพของร่องที่ขุด ซึ่งเกี่ยวข้องกับหน่วยน้ำหนักของสเลอร์ที่ใช้ในการช่วยเสริมเสถียรภาพของร่อง ได้ดังนี้

$$\gamma_f = \frac{1}{h_x - h_f} \left[ \sum_{i=1}^n k_a \Delta h_i \gamma + \sum_{i=1}^m K_a \Delta h_i \gamma' \right] + \frac{\gamma_w (h_x - h_w)}{h_x - h_f} \quad (3.26)$$

เมื่อ  $h_x$ ,  $h_f$  และ  $h_w$  หมายถึงความลึกที่ขุด ระดับความลึกของสเลอร์ วัดจากผิวดินและระดับความลึกของน้ำใต้ดินตามลำดับ ดังรายละเอียดที่แสดงตามรูปที่ 3.6 โดย  $h_i$  เป็นความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น ส่วนปลอดภัย  $F$  จะหาได้จากสมการที่ (3.27)

$$F = \frac{\gamma_{fa} (h_x - h_f) - \gamma_w (h_x - h_w)}{\gamma_f (h_x - h_f) - \gamma_f (h_x - h_w)} \quad (3.27)$$

ในเมื่อ  $\gamma_{fa}$  = หน่วยน้ำหนักของสเลอร์ที่ใช้จริง  
 $\gamma_f$  = หน่วยน้ำหนักของสเลอร์ที่ใช้สำหรับทำให้ได้ค่าส่วนปลอดภัย  
 เท่ากับ 1

### 3.6 สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการขุดร่องหรือเจาะหลุมในดินเหนียว

ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุดหรือเจาะเพียงชั้น ๆ ในดินเหนียว สามารถที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ตั้งที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ได้โดยที่รูปร่างของร่องหรือหลุมจะมีรูปแบบตามแปลนเป็นอย่างไรก็ได้ รวมทั้งรูปสี่เหลี่ยมและวงกลมด้วย แต่เมื่อความลึกของร่องมีค่ามากกว่าความยาวของร่องที่ขุด แล้วเสถียรภาพของร่องหรือหลุมก็จะมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงต้านทานของดินที่เกิดขึ้นในระนาบตั้งตรงบริเวณขอบร่องที่ขุดหรือหลุมที่เจาะต้านทานเอาไว้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้มีการศึกษากันหลายคนรวมทั้ง SCHNEEBELI (1964) และ MEYERHOF (1972)

#### 3.6.1 เสถียรภาพของหลุมที่ขุดหรือเจาะเป็นวงกลม

ในการขุดหรือเจาะหลุมที่มีลักษณะเป็นวงกลม จะมีความเค้นเกิดขึ้นรอบ ๆ หลุม และมีทิศทางของแนวแรงกระทำตั้งฉากกับรัศมีของหลุม (Hoop Stress) ซึ่งบริเวณที่อยู่ใกล้ ๆ กับผิวดินจะมีค่าเท่ากับความเค้นในแนวตั้ง (Vertical Stress) แต่บริเวณที่ลึกจากผิวดินลงไป Hoop Stress และ Radial Stress ที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความเค้นของดินภายใต้สภาวะสมดุลย์ (Earth Stress at rest)

#### ก. การเจาะหลุมที่มีลักษณะเป็นวงกลมสั้น ๆ

การเจาะหลุมสั้น ๆ หมายถึง การเจาะหลุมที่มีอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าน้อยกว่า 12 MEYERHOF (1972) ได้ศึกษาริธีวิเคราะห์หาเสถียรภาพของหลุมที่เจาะและได้เสนอสมการที่ (3.28) สำหรับหาเสถียรภาพโดยประมาณ ซึ่งจะมีค่าถูกต้องเมื่อหลุมที่ขุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความยาวมาก ๆ

$$p_{h_x} = (\gamma - \gamma_f) h_x - 2c = (\gamma' - \gamma'_f) h_x - 2c \quad (3.28)$$

ในเมื่อ  $p_{h_x}$  = ความดันกัมมันต์ประสิทธิผลของดินภายใต้สภาพอ้อมตัว  
 $h_x$  = ความลึกของหลุมที่ขุด

สำหรับการขุดหรือเจาะหลุมที่ดิน  $\gamma$  ค่าคงที่ 2 ในสมการที่ (3.28) จะถูกแทนที่ด้วยตัวประกอบ  $K$  ซึ่งจะคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ (3.29)

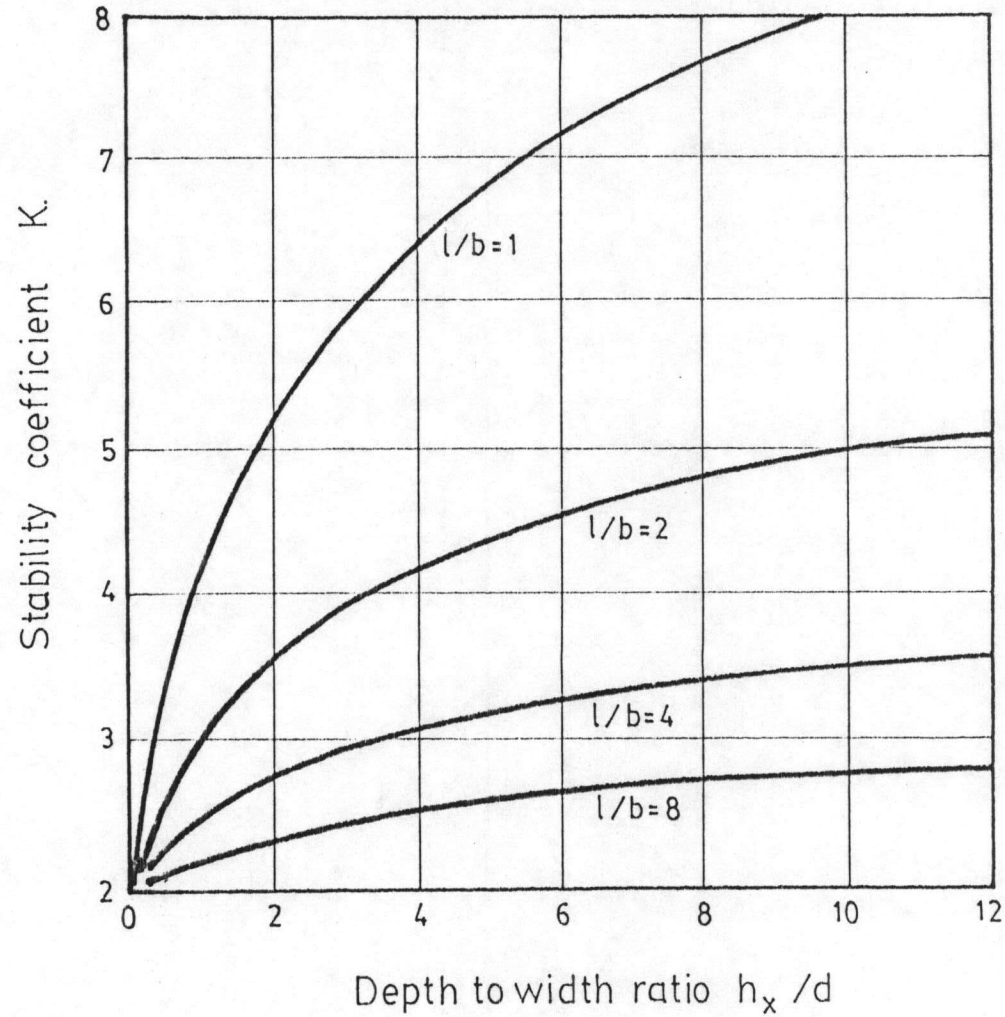
$$K = 2 \left[ \ln \left( \frac{2h_x}{d} + 1 \right) + 1 \right] \quad (3.29)$$

ในเมื่อ  $h_x$  หมายถึง ความลึกที่ขุดหรือเจาะและ  $d$  หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุม ดังนั้น จากสมการที่ (3.9) หากจัดเสียใหม่ โดยการแทนที่หน่วยน้ำหนักของดินและสเลอรี่ที่ใช้ด้วยหน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดินและของสเลอรี่ และโดยการแทน  $4c$  ด้วย  $2Kc$  จะได้ว่า

$$H_{cr} = \frac{2Kc}{\gamma' - \gamma'_f} \quad (3.30)$$

จากสมการที่ (3.29) จะมีค่า  $K$  เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนความลึกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเพิ่มขึ้น รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $K$  (จากสมการที่ 3.29) และอัตราส่วนความลึกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุม  $h_x/d$  ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของหลุมต่าง ๆ กัน สำหรับหลุมที่เจาะเป็นวงกลมให้ใช้ค่า  $l/b = 1$

จากลักษณะรูปร่างและความลาดชันของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ตัวประกอบ  $K$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ  $h_x/d$  มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นจะไม่เป็นเส้นตรง คือจะค่อย ๆ เอียงเข้าหาเส้น  $h_x/d$  หมายความว่าส่วนปลอดภัยจะมีค่าลดน้อยลงเมื่อความลึกมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุดให้ตรวจสอบเสถียรภาพที่ระยะลึกมากที่สุดที่จะทำการขุดหรือเจาะ



รูปที่ 3.9

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_x/d$  &  $K$  (MEYERHOF, 1972 )

ข. การเจาะหลุมที่มีลักษณะเป็นวงกลมและมีความลึกมาก

การเจาะหลุมที่จัดว่าเป็นหลุมลึก หมายถึงหลุมที่มีอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 12 ความเค้นของดินและเสถียรภาพของหลุมที่ขุด เป็นวงกลมหรือ เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีลักษณะเหมือนกับความเค้นที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ปัญหา เกี่ยวกับวิสัยสามารถรับแรงธรรของดินของ Deep Vertical Strip Foundation ซึ่งจะมีความเค้นในแนวตั้งมีค่า เท่ากับความดันของดินในสภาวะสมดุลและ MEYERHOF (1972) ได้กำหนดให้ความลึกวิกฤตที่ขุดหรือเจาะได้มีค่าดังที่แสดงในสมการที่ (3.31)

$$H_{cr} = \frac{N \cdot c}{K_0 \gamma'_f - \gamma'_f} \quad (3.31)$$

ในเมื่อ  $K_0$  = สัมประสิทธิ์ความดันของดินภายใต้สภาพสมดุล

$N$  = ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธรรของดินสำหรับ Deep Strip Foundation

MEYERHOF (1951) ได้คำนวณหาค่า  $N$  สำหรับวัสดุที่เป็น Rigid Plastic โดยให้  $N = 2\pi + 2 = 8.28$  ซึ่งเป็นขีดจำกัดสูงสุด (Upper Limit) ของ  $K$  และ  $N$  ในดินเหนียวภายใต้สภาพอึดตัว สำหรับวัสดุที่เป็น Elastoplastic จะหาค่า  $N$  ได้จากสมการที่ (3.32)

$$N = \ln \frac{E_i}{3c} + 1 \quad (3.32)$$

ในเมื่อ  $E_i$  = Initial Tangent Modulus of Clay

ค่า  $E_i$  จะหาได้ยากในสภาพที่ดินยังไม่เกิดการคายน้ำ ทั้งนี้เพราะนอกจากมีความไวต่อความเค้นที่มากกระทำแล้ว ยังขึ้นกับอัตราเร็วในการให้น้ำหนัก เวลาสำหรับการอัดตัว (Time of Consolidation) ตลอดจนตัวอย่างของดินที่เก็บได้ จะถูกรบกวนทำให้มีสภาพไม่เหมือนสภาพจริงในสนาม สำหรับดินเหนียวภายใต้สภาพอึดตัวเมื่ออัตราส่วนระหว่าง  $E_i$  ต่อ  $c$

มีค่า 500-2000 จากสมการที่ (3.32) จะหาค่าของ  $N$  ได้ ซึ่งจะมีค่า 6-7.5 ถ้าหากไม่ทราบค่าของ  $Ei/c$  ที่แท้จริงในทางปฏิบัติจะใช้ค่า  $N = 8$

ค. การเจาะหลุมหรือขุดร่องที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ในการเจาะหลุมหรือขุดร่องที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถ้าความยาวของร่องมีค่าน้อย จะมีอิทธิพลของ Arching เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องสามารถที่จะทำได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์โดยประมาณ ถ้ากำหนดให้ร่องที่ขุดมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความยาวเท่ากับ  $l$  ความกว้างเท่ากับ  $b$  และความลึกที่จะขุดเท่ากับ  $d$  แล้วการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของร่องที่ขุดจะทำได้โดยการให้ความเค้นของดินที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของเส้นรอบรูปบริเวณส่วนหัวและท้ายของร่องที่ขุด ซึ่งจะมีความกว้างเท่ากับ  $b$  และมีความยาวเท่ากับ  $b/2$  มีค่าเหมือนกับความดันของดินที่เกิดขึ้นในกรณีของการขุดร่องหรือเจาะหลุมที่มีรูปแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือเป็นวงกลม ส่วนความดันของดินที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของส่วนที่เหลือ คือ มีความยาวเท่ากับ  $l-b$  ให้มีค่าเท่ากับความดันดินที่เกิดขึ้นในกรณีของการขุดร่องที่มีความยาวมาก ๆ การขุดร่องหรือเจาะหลุมที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อความยาวของร่องมีค่าไม่มากนัก ตัวสัมประสิทธิ์  $K$  ที่ใช้ในสมการที่ (3.30) จะหาได้จากสมการที่ (3.29) โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2 เมื่อ  $h_x/d = 0$  และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามค่าของ  $h_x/d$  ที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงค่าสูงสุด ตามสมการที่ (3.31) เมื่อความลึกที่ขุดหรือเจาะมีค่ามากพอ

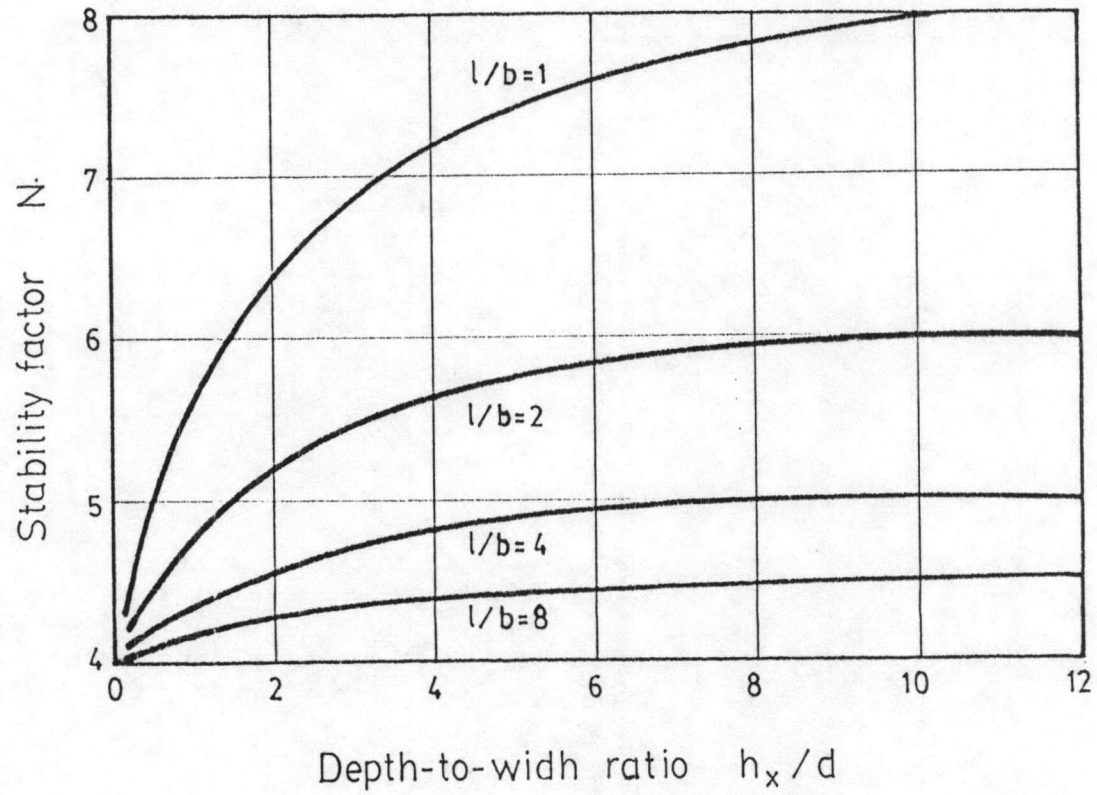
$$K = 2 \left( 1 + \frac{3b}{l} \right) \quad (3.33)$$

ในทำนองเดียวกัน ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงถาวรของดิน  $N$  ในสมการที่ (3.31) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4 เมื่อ  $h_x/d = 0$  (รูปที่ 3.10) จนกระทั่งถึงค่าสูงสุด ตามสมการที่ (3.34) เมื่อความลึกที่ขุดหรือเจาะมีค่ามากพอ

$$N = 4 \left( 1 + \frac{b}{l} \right) \quad (3.34)$$



เพื่อความสะดวกในการหาค่า  $K$  และ  $N$  MAYERHOF (1972) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_x/d$ ,  $l/b$  และ  $K$  ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 และความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_x/d$ ,  $l/b$  และ  $N$  ดังรูปที่แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $h_x/d$  &  $N$  (MEYERHOF, 1972)