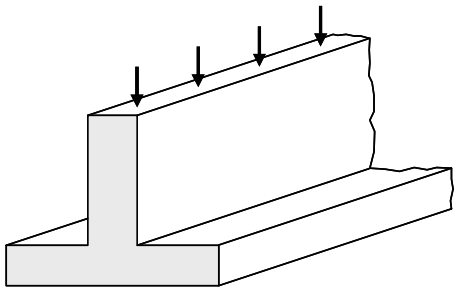
13
ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

13.1 บทนำ

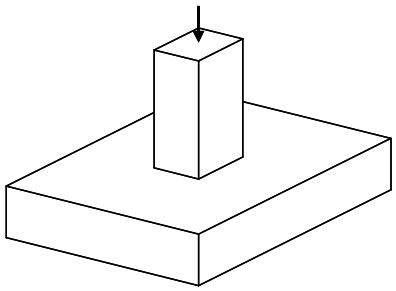
ฐานรากคือส่วนโครงสร้างที่ใช้ในการถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกจากเสา ผนังหรือแรงกระทำด้านข้างจากกำแพงกันดินลงไปยังดิน องค์อาคารชนิดนี้จึงรองรับการแบกทานเป็นหลัก เนื่องจากแรงดันแบกทานที่ดินรับได้มีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงอัดในเสาหรือผนังมาก ฐานรากจะถูกใช้เพื่อลดแรงดันที่จะถ่ายลงสู่ดินโดยการแผ่น้ำหนักบรรทุกที่รองรับอยู่ลงบนพื้นที่ใหญ่พอที่จะป้องกันการวิบัติของดิน นอกจากนั้นฐานรากจะต้องถูกออกแบบเพื่อป้องกันการทรุดตัวหรือการหมุนเพื่อให้เกิดความแตกต่างในการทรุดตัวน้อยที่สุดและเพื่อป้องกันการเลื่อนไถลและการพลิกคว่ำ

13.2 ชนิดของฐานราก

ฐานรากจะต้องมีพื้นที่เพียงพอในการรองรับน้ำหนักบรรทุกจากเสา น้ำหนักตัวฐานรากเอง และน้ำหนักที่ทับถมเพิ่มเติม และกระจายน้ำหนักลงสู่พื้นดินโดยไม่ให้เกินแรงดันที่ดินรับได้



รูปที่ 13.1 ฐานรากรับผนัง

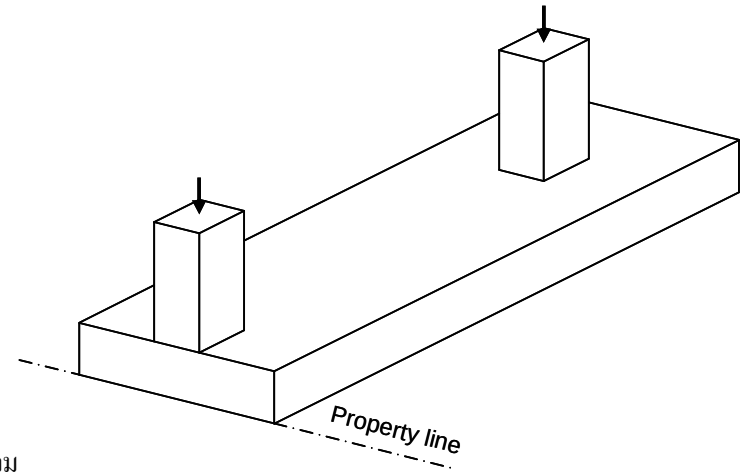


รูปที่ 13.2 ฐานรากเดี่ยว

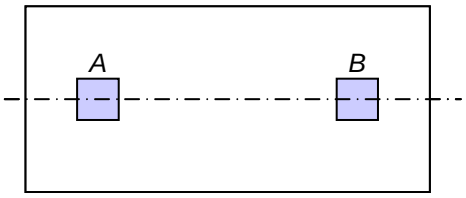
ฐานรากรับผนัง (Wall footings) คือฐานรากที่รองรับผนังมีความยาวต่อเนื่องไปตามผนัง ความกว้างฐานรากจะขึ้นกับแรงดันดินที่ยอมให้ ฐานรากส่วนที่ยื่นออกจากผนังทั้งสองข้างจะถูกคิดเหมือนเป็นคานยื่น ความหนาของฐานรากกำหนดจากแรงเฉือนที่ระยะ d จากผิวเสา และโมเมนต์ดัดที่ผิวเสา

ฐานรากเดี่ยว (Isolated column footings) เป็นฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสาหนึ่งต้น ขนาดพื้นที่ฐานรากขึ้นกับน้ำหนักบรรทุกและแรงดันดินที่ยอมให้ เป็นรูปแบบที่ใช้กันมากที่สุดในกรณีที่เสาอยู่ค่อนข้างห่างกัน โดยทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส การดัดจะเกิดขึ้นในสองทิศทาง ดังนั้นจึงต้องมีการเสริมเหล็กในทั้งสองทิศทาง ถ้ามีพื้นที่เพียงพอฐานรากเดี่ยวมักถูกใช้เสมอเมื่อใดก็ตามที่มีโอกาสเพื่อลดโมเมนต์ดัด

ฐานรากร่วม (Combined footings) โดยทั่วไปจะรองรับเสาสองต้น เนื่องจากเสาอยู่ใกล้กันเกินไป หรือเสาอยู่ชิดเส้นแนวเขตที่ดินดังในรูปที่ 13.3(ก) โดยจัดให้ศูนย์ถ่วงน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงมาตรงกับศูนย์กลางพื้นที่ฐานรากเพื่อให้แรงดันดินใต้ฐานรากคงที่ บางครั้งจึงเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังในรูปที่ 13.3(ค) ถ้าเสาอยู่ห่างกันก็อาจใช้คานเชื่อมดังในรูปที่ 13.3(ง)

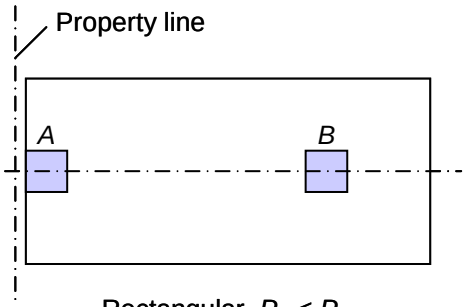


(ก) ฐานรากร่วม



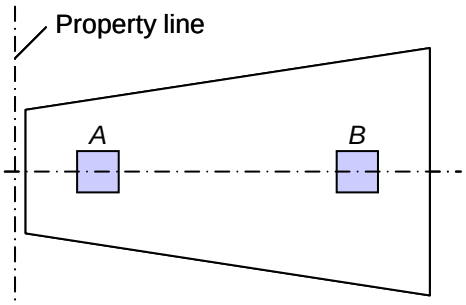
Rectangular, $P_A = P_B$

(ข) ฐานรากร่วมรับน้ำหนักเท่ากัน



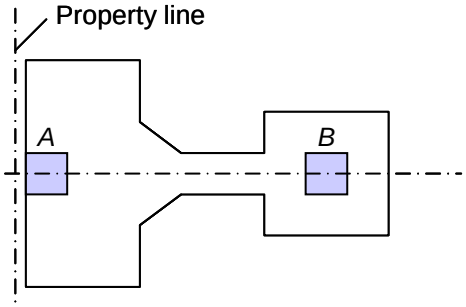
Rectangular, $P_A < P_B$

(ค) ฐานรากร่วมชิดแนวเขตที่ดิน



Rectangular, $P_A < P_B$

(ค) ฐานรากร่วมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

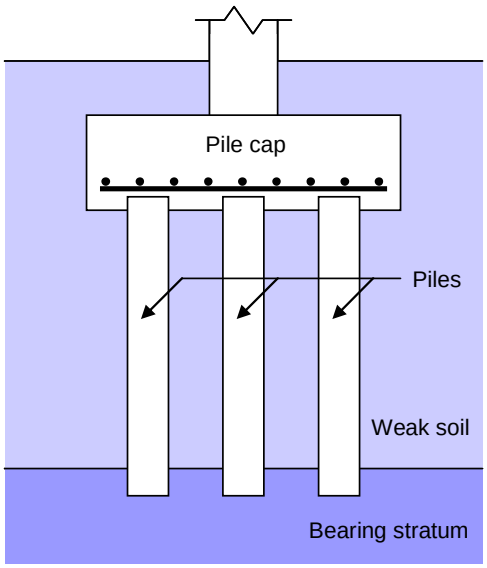


Strap or Cantilever

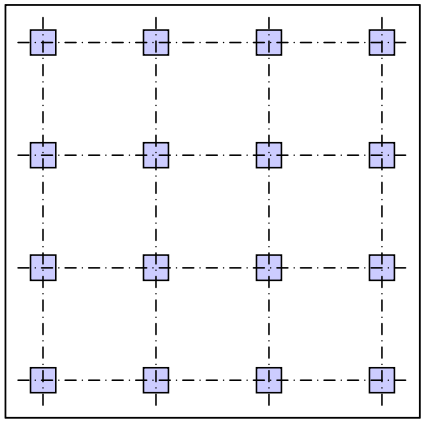
(ง) ฐานรากร่วมใช้คานเชื่อม

รูปที่ 13.3 ฐานรากร่วม

ฐานรากเสาเข็ม (Pile foundations) จะใช้ในกรณีที่ชั้นดินบนมีกำลังไม่เพียงพอที่จะทำฐานรากตื้น น้ำหนักบรรทุกของอาคารจะต้องถูกถ่ายลงชั้นดินที่ลึกลงไปจนถึงชั้นที่มีกำลังเพียงพอเช่น ดินทรายแน่น หรือหิน เมื่อชั้นดินที่เหมาะสมอยู่ลึกจากผิวดินมาก ฐานรากมักจะถูกรองรับโดยเสาเข็มดังในรูปที่ 13.4 ซึ่งอาจเป็นเหล็ก คอนกรีต หรือไม้ ที่ถูกตอกลงไปในดินหรือหล่อโดยเป็นเข็มเจาะ เมื่อเสาเข็มเป็นกลุ่มถูกใช้รองรับน้ำหนักบรรทุกจากเสาขนาดใหญ่ บล็อกคอนกรีตเสริมเหล็กเรียกว่า จะถูกใช้เพื่อถ่ายน้ำหนักจากเสาลงสู่เสาเข็มรองรับ



รูปที่ 13.4 ฐานรากเสาเข็ม

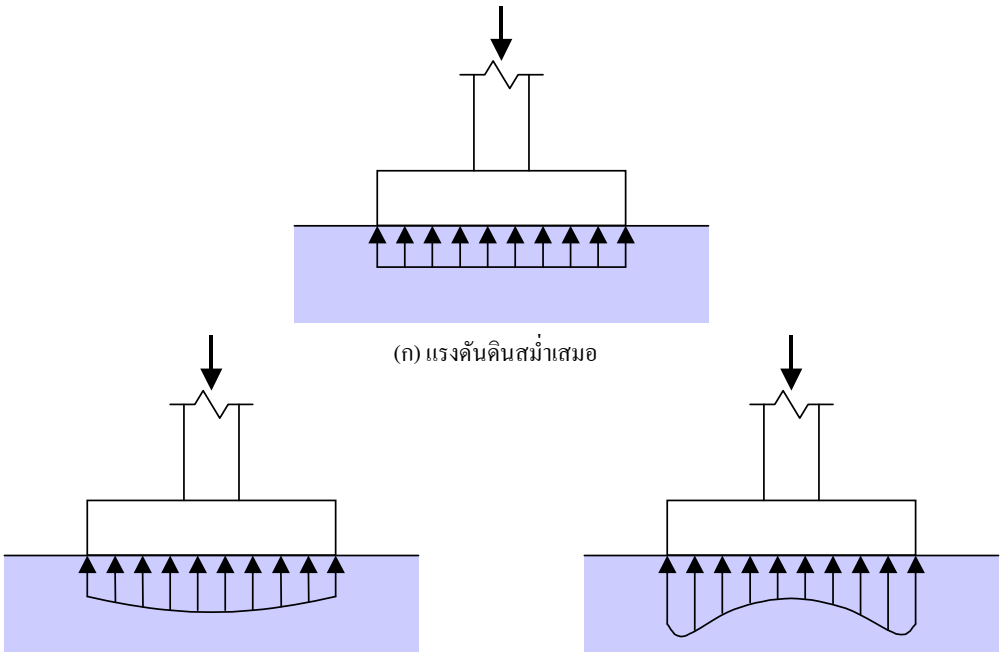


รูปที่ 13.5 ฐานรากแพ

ฐานรากแพ (Mat footing) พื้นที่ฐานรากแผ่มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อดินมีความสามารถในการรับน้ำหนักลดลง และชั้นดินอ่อนมีความหนามากทำให้เสาเข็มมีราคาสูง โดยจะขุดดินออกให้มีความลึกเพียงพอที่จะทำให้แรงดันดินสุทธิมีค่าเทียบเท่ากับน้ำหนักโครงสร้าง พื้นที่ของฐานรากจะแผ่ขยายจนเต็มพื้นที่ใต้ฐานทั้งอาคาร

13.3 แรงดันดินใต้ฐานราก

แรงดันดินหรือแรงดันแบกทาน (Bearing pressure) ภายใต้ฐานรากหาได้โดยสมมุติให้ฐานรากเป็นองค์อาคารที่แข็ง และดินใต้ฐานรากโดยตรงเป็นวัสดุเนื้อเดียวที่มีความยืดหยุ่น (Homogeneous elastic material) ที่ถูกตัดขาดจากดินโดยรอบ เนื่องจากแรงดันในดินถูกสมมุติให้แปรผันโดยตรงกับการเสียรูปทรงของดิน แรงดันใต้ฐานรากที่ถูกน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนจึงถูกสมมุติให้แผ่สม่ำเสมอเพราะดินถูกอัดอย่างสม่ำเสมอดังรูปที่ 13.6(ก)



(ก) แรงดันดินสม่ำเสมอ

(ข) ฐานรากบนดินทราย

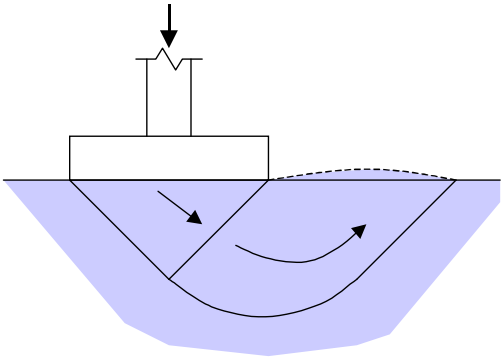
(ค) ฐานรากบนดินเหนียว

รูปที่ 13.6 แรงดันดินใต้ฐานราก

แต่ในความเป็นจริงแล้วการกระจายแรงดันใต้ฐานรากไม่สม่ำเสมอขึ้นกับ (1) ความอ่อนตัด (flexibility) (2) ความลึกของฐานรากจากผิวดิน และ (3) ชนิดของดิน ตัวอย่างเช่นการทรุดตัวของฐานรากในดินที่ไม่มีความเหนียวเช่น ทราย หรือหิน จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ขอบฐานราก สำหรับฐานรากที่อยู่ใกล้ผิวดินซึ่งมีผิวดินบางๆคลุมอยู่ จะมีแรงต้านทานไม่ให้ดินหนีออกจากฐานเล็กน้อย การสูญเสียดินรองรับที่ขอบทำให้แรงดันแบกทานลดลง ดังนั้นการกระจายแรงดันจึงเป็นรูปพาราโบลิกดังในรูปที่ 13.6(ข) ถ้าฐานรากอยู่ลึกเพียงพอแรงดันดินจะสม่ำเสมอมากขึ้นเนื่องจากน้ำหนักดินถมมีมากจนสามารถป้องกันการเคลื่อนตัวออกด้านข้างของดินใต้ฐานรากได้

ถ้าฐานรากตั้งอยู่บนดินเหนียว การทรุดตัวอย่างสม่ำเสมอของฐานรากจะทำให้เกิดการกระจายแรงดันดังในรูปที่ 13.6(ค) ในดินเหนียวหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในดินโดยรอบฐานรากจะทำให้เกิดการรองรับในแนวดิ่งเพิ่มเติม แรงดันที่ขอบจึงมีมากขึ้น แม้ว่าแรงดันที่แท้จริงใต้ฐานรากจะไม่สม่ำเสมอก็ตาม ในการออกแบบฐานรากรับแรงตามแนวแกนจะสมมุติให้แรงดันกระจายสม่ำเสมอไม่ว่าจะเป็นดินชนิดใดทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์

การวิบัติของฐานรากเดี่ยวจะเกิดขึ้นได้สามกรณีคือ (1) การวิบัติแบบแบกทาน (รูปที่ 13.7) โดยดินใต้ฐานรากจะเคลื่อนออกจากใต้ฐานราก (2) การวิบัติต่อการใช้งานโดยมีผลต่างการทรุดตัว (Differential settlement) มากเกินไปและ (3) การทรุดตัวทั้งหมดมากเกินไป การวิบัติในรูปแบบแรกถูกควบคุมได้โดยการจำกัดหน่วยแรงรับน้ำหนักบรรทุกใต้ฐานรากไม่ให้เกินค่าที่ยอมให้



รูปที่ 13.7 การวิบัติแบกทานของฐานราก

$$q_a = \frac{q_u}{\text{F.S.}} \qquad (13.1)$$

เมื่อ q_u คือหน่วยแรงที่ทำให้ฐานรากวิบัติและ F.S. คือตัวคูณความปลอดภัย (Factor of safety) ประมาณ 2.5 ถึง 3 ตามหลักทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค

q_a คือหน่วยแรงของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ถ้าออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานก็จะนำไปใช้ได้ทันที แต่ถ้าใช้วิธีกำลังจะต้องมีขั้นตอนในการคำนวณเพิ่มขึ้นซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

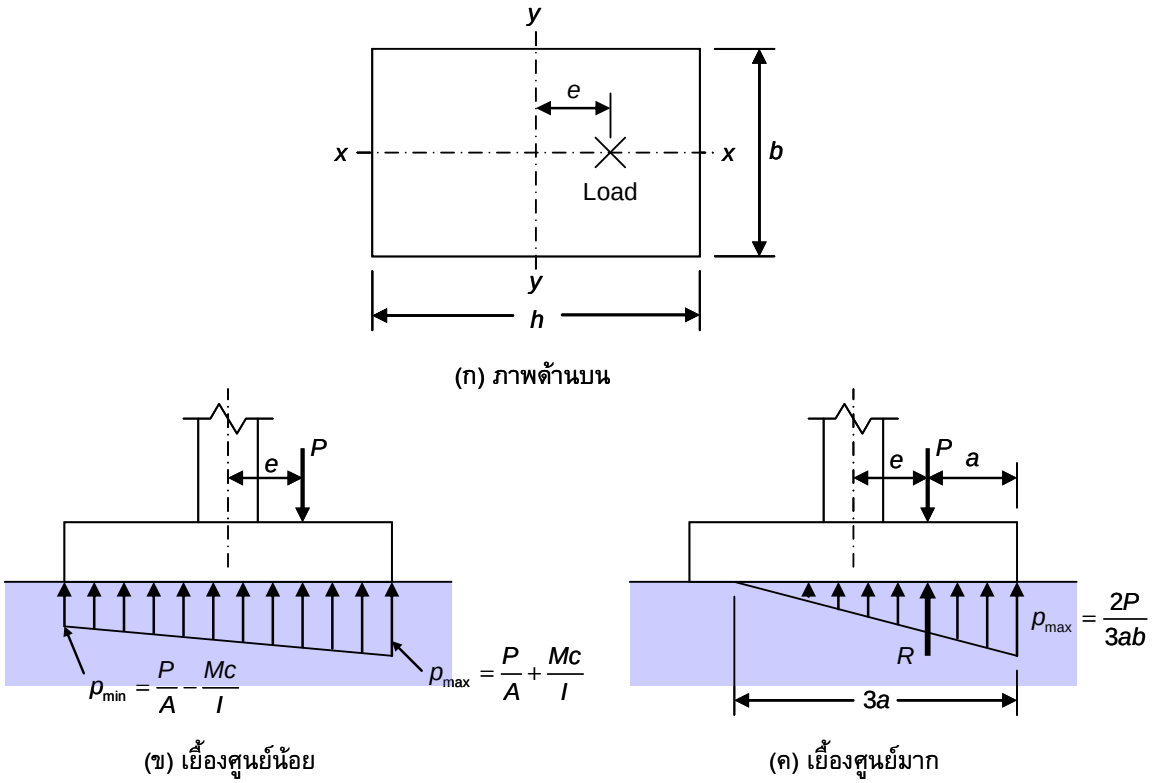
13.4 ฐานรากรับน้ำหนักเยื้องศูนย์

ในบางกรณีฐานรากอาจต้องรับน้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์ดังในรูปที่ 13.8(ก) หรือมีโมเมนต์ดัดมากระทำ เช่นฐานรากเสาต้นนอก ฐานรากร่วม และฐานรากของโครงสร้างที่รับแรงทางด้านข้างจากแรงลมหรือแผ่นดินไหว แรงดันใต้ฐานราก p ที่เกิดขึ้นคือ

$$p = \frac{P}{A} \pm \frac{M\,y}{I} \qquad (13.2)$$

เมื่อระยะเยื้องศูนย์หรือโมเมนต์มีค่าน้อยการกระจายแรงดันจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูดังในรูปที่ 13.8(ข) โดยมีค่าแรงดันมากที่สุด $p_{\max}$ และแรงดันน้อยที่สุด $p_{\min}$ อยู่ที่ขอบฐานราก เพื่อให้ดินรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัยค่า $p_{\max}$ จะต้องมีค่าไม่เกินกำลังบากทานของดิน q_a

เมื่อระยะเยื้องศูนย์มากขึ้นค่า $p_{\min}$ ตามสมการ (13.2) จะมีค่าน้อยลงแต่ติดลบไม่ได้ เนื่องจากดินใต้ฐานรากจะรับเพียงแรงกดทับเท่านั้น ไม่มีแรงดึงเกิดขึ้นระหว่างฐานรากและดินที่รองรับได้ ดังนั้นการกระจายแรงดันจึงเป็นรูปสามเหลี่ยมดังในรูป 13.8(ค)



รูปที่ 13.8 แรงดันดินภายใต้ฐานรากรับน้ำหนักเยื้องศูนย์

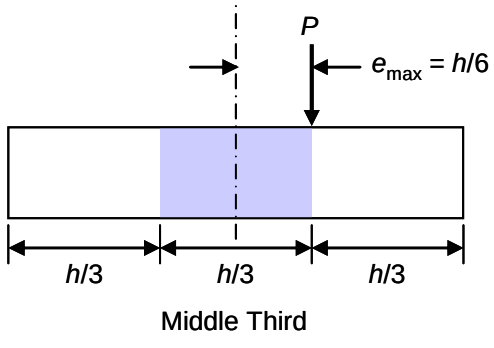
ถ้าระยะเยื้องศูนย์มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ฐานรากพลิกคว่ำได้ อย่างน้อยพื้นที่ใต้ฐานรากทั้งหมดควรจะรับแรงอัด กำหนดให้ p_{min} ในรูปที่ 13.8(ข) เท่ากับศูนย์จากสมการ (13.2) จะได้

$$\frac{P}{A} = \frac{Mc}{I} = \frac{Pec}{I}$$

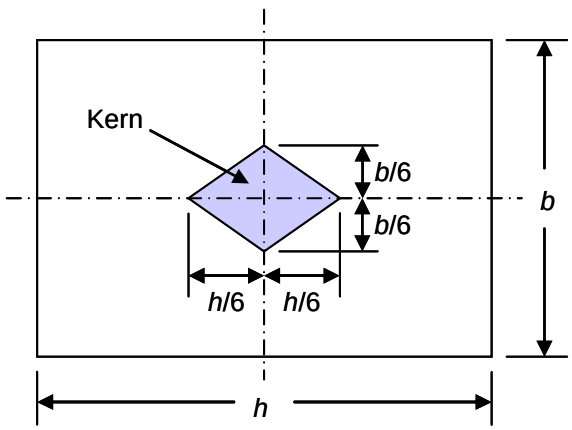
เมื่อ c = ระยะจากแกนกลางถึงขอบฐานราก = $h/2$ และ I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของพื้นที่ฐานราก ระยะเยื้องศูนย์มากที่สุดเพื่อให้เกิดแรงดันใต้ฐานรากทั้งหมดคือ $e = I/(Ac)$ แทนค่าความยาวฐานราก h และความกว้าง b จะได้ว่า

$$e = \frac{bh^3/12}{bh(h/2)} = \frac{h}{6} \qquad (13.3)$$

เรียกว่า *ระยะเคิร์น (Kern distance)* ถ้าแบ่งฐานรากออกเป็นสามส่วนดังในรูปที่ 13.9 ถ้าน้ำหนักบรรทุกอยู่ภายในช่วง *หนึ่งในสามกลาง (Middle third strip)* และถ้าพิจารณาทั้งสองทิศทางในแปลนฐานรากจะได้ พื้นที่เคิร์น (Kern) ดังในรูป 13.10



รูปที่ 13.9 ช่วงหนึ่งในสามกลาง



รูปที่ 13.10 พื้นที่เคิร์น

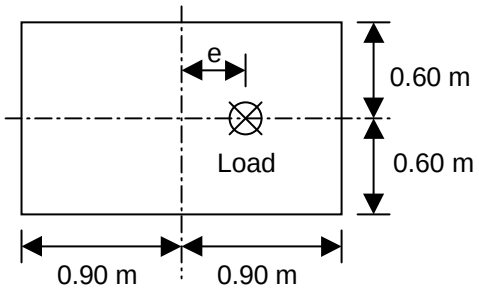
ถ้าระยะเยื้องศูนย์มีค่ามากและหน่วยแรงวดึงจากการดัดมีค่ามากกว่าหน่วยแรงโดยตรง การกระจายของแรงดันก็จะเป็นรูปสามเหลี่ยมในบางส่วนของฐานราก แรงดันมากที่สุดจะหาได้จากการที่ศูนย์ถ่วงของแรงดันจะอยู่ตรงกับน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำ ขนาดของฐานราก และระยะเยื้องศูนย์ จะทำให้คำนวณระยะที่ต้องการระหว่างน้ำหนักบรรทุกถึงขอบได้ (ระยะ a ในรูปที่ 13.8(ค)) ความยาวสามเหลี่ยมแรงดันจะเท่ากับ $3a$ เมื่อพิจารณาสมดุลในแนวดิ่งระหว่างแรงดันดินและน้ำหนักบรรทุกจะได้ว่า

$$\frac{p_{\max}}{2} \times 3ab = P$$

แรงดันมากที่สุด

$$p_{\max} = \frac{2P}{3ab} \qquad \text{เมื่อ } a = h/2 - e \qquad (13.4)$$

ตัวอย่างที่ 13.1 จากรูปที่ 13.11 ถ้าฐานรากมีขนาด 1.8×1.2 ม. รับน้ำหนักบรรทุก 80 ตันกระทำที่ระยะ 0.15 ม. จากศูนย์กลางในแนวราบ จงพิจารณาแรงดันดินใต้ฐานราก คำนวณซ้ำอีกครั้งสำหรับระยะเยื้องศูนย์เท่ากับ 0.40 ม.



รูปที่ 13.11 ฐานรากในตัวอย่างที่ 13.1

วิธีทำ เนื่องจาก e = 0.15 ม. < [h/6 = 0.30 ม.] สามารถรวมหน่วยแรงได้โดยตรง

$$p_{\max} = \frac{80}{1.8 \times 1.2} + \frac{80 \times 0.15 \times 0.9}{1.2 \times 1.8^3/12} = 37.0 + 18.5 = 55.5 \text{ ตัน/ตร.ม.} \quad \blacksquare$$

$$p_{\min} = 37.0 - 18.5 = 18.5 \text{ ตัน/ตร.ม.} \quad \blacksquare$$

เนื่องจาก e = 0.40 ม. > [h/6 = 0.30 ม.] ไม่สามารถรวมหน่วยแรงได้โดยตรง ต้องใช้สมการ(13.3)

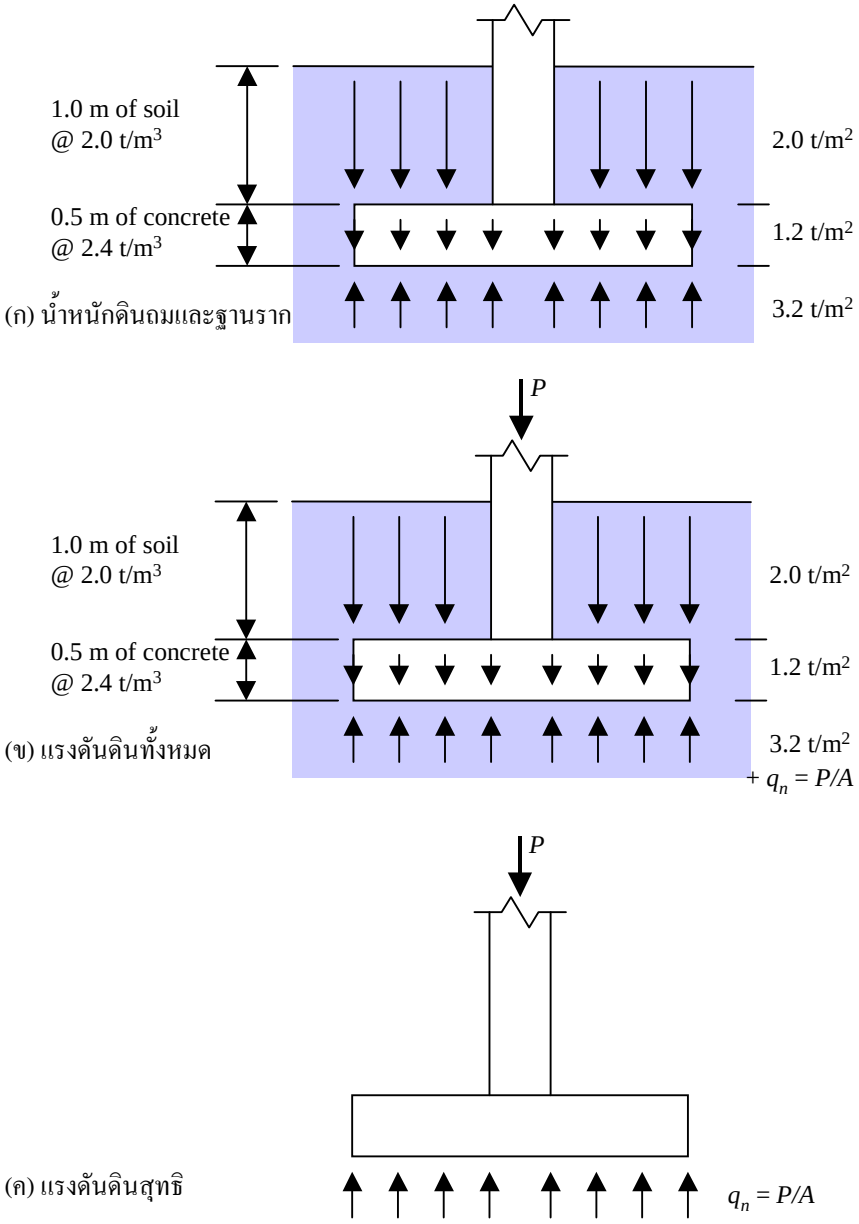
a = 0.90 – 0.40 = 0.50 ม.

$$p_{\max} = \frac{2 \times 80}{3 \times 0.50 \times 1.20} = 88.9 \text{ ตัน/ตร.ม.} \quad \blacksquare$$

13.5 แรงดันดินที่ยอมให้

ฐานรากที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดีจะต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการจมลงในดินอย่างเพียงพอ และต้องไม่ทรุดตัวมากเกินไป การทรุดตัวไม่เท่ากันมากๆระหว่างฐานรากที่อยู่ข้างกันจะทำให้ผิวพื้นไม่ราบเรียบ และอาจทำให้เกิดการแตกร้าวในผนังอิฐก่อ หรือหน่วยแรงเกินพิกัดในโครงสร้าง ถ้าไม่มีเครื่องจักรที่ต้องการความละเอียดสูงการทรุดตัวอาจมีมากได้ถึง 2.5 ซม. โดยไม่เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหรือส่วนประกอบอื่น

ก่อนที่จะออกแบบฐานรากจึงจำเป็นที่จะต้องรู้ความสามารถในการรับแรงกดของดินเสียก่อนซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของหนังสือเล่มนี้ โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาจากข้อกำหนดอาคารในพื้นที่นั้นๆ โดยการเปรียบเทียบกับฐานรากที่มีอยู่ โดยการตรวจสอบดินที่เจาะมาทดสอบ โดยการเปรียบเทียบกับฐานรากที่มีอยู่ โดยการตรวจสอบดินที่เจาะมาทดสอบ โดยการใช้หลักการทางด้านกลศาสตร์ของดิน โดยการใช้น้ำหนักทดสอบ หรือหลายวิธีร่วมกัน



รูปที่ 13.12 แรงดันดินรวมและแรงดันดินสุทธิ

รูปที่ 13.12(ก) แสดงฐานรากแบบแผ่หนา 50 ซม. ผิวบนของฐานรากอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 1.0 เมตร โดยไม่มีน้ำหนักบรรทุกจากเสา หน่วยแรงจากน้ำหนักดินถมและตัวฐานรากเองคือ 3.2 ตัน/ม.^{2} แรงดันดินที่เกิดขึ้นต้านทานจะมีขนาดเท่ากันคือ 3.2 ตัน/ม.^{2} แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงไม่มีแรงลัพธ์เกิดขึ้นกับฐานรากคอนกรีต

เมื่อมีน้ำหนักบรรทุก P มากระทำ แรงดันดินใต้ฐานรากจะเพิ่มขึ้น $q_n = P/A$ ดังแสดงในรูป 13.12(ข) แรงดันดินทั้งหมดจะเป็น $q = 3.2 + q_n$ ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินค่าแรงดันดินที่ยอมให้ q_a อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณโมเมนต์และแรงเฉือนในฐานรากแรงดันขึ้นและดันลง 3.2 ตัน/ม.^{2} จะหักล้างกันเอง จึงเหลือเพียงแรงดันดินสุทธิ q_n ที่จะมีผลต่อแรงภายในฐานรากดังในรูปที่ 13.12(ค)

ในการออกแบบฐานรากนั้นไม่ว่าจะเป็นวิธีหน่วยแรงใช้งานหรือวิธีกำลัง ในขั้นแรกจะพิจารณาพื้นที่ฐานรากในลักษณะเดียวกันคือ ต้องเลือกพื้นที่ฐานรากเพื่อให้แรงดันดินทั้งหมดที่เกิดขึ้นไม่เกินค่าแรงดันดินที่ยอมให้ หลังจากนั้นเมื่อจะออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับฐานรากจะใช้ค่าแรงดันดินสุทธิ ซึ่งถ้าใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานก็จะนำไปใช้ได้โดยตรง แต่ถ้าเป็นวิธีกำลังต้องคูณเพิ่มให้เป็นแรงดันดินประลัยก่อน พื้นที่ฐานรากจะเลือกจาก

$$A = \frac{D(\text{structure, footing, surcharge}) + L}{q_a} \tag{13.5}$$

เมื่อ D และ L คือน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

เมื่อเลือกขนาดของฐานรากได้ก็จะคำนวณแรงดันดินใต้ฐานรากได้ โดยจะใช้แรงดันดินสุทธิในการออกแบบฐานรากต่อไป ในกรณีของวิธีหน่วยแรงใช้งานแรงดันดินสุทธิจะเท่ากับ

$$q_n = \frac{D(\text{structure}) + L}{A} \tag{13.6}$$

ในกรณีวิธีกำลังใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกประลัยคูณ จึงกลายเป็นหน่วยแรงดันดินสุทธิประลัย

$$q_{nu} = \frac{1.4D(\text{structure}) + 1.7L}{A} \tag{13.7}$$

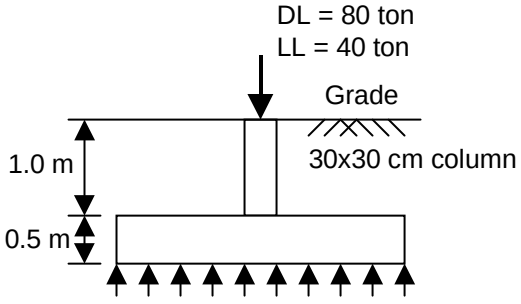
ค่า q_{nu} มักจะมากกว่า q_a ซึ่งเป็นเรื่องที่ยอมรับได้เนื่องจากตัวคูณน้ำหนักประลัยจะมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ในขณะที่ค่าตัวคูณความปลอดภัยที่แฝงอยู่ในค่า q_a จะอยู่ที่ประมาณ 2.5 ถึง 3.0 ดังนั้นค่าหน่วยแรงดันดินสุทธิประลัยจะน้อยกว่าหน่วยแรงดันที่ทำให้เกิดการวิบัติของดิน

ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ถ้าไม่มีผลทดสอบดินก็ให้ใช้กำลังแบกทานซึ่งจำแนกตามชนิดของดินดังนี้

ตารางที่ 13.1 กำลังแบกทานของดิน ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ประเภทดิน	**กำลังแบกทาน (ตัน/ตร.ม.)**
ดินอ่อนหรือถมดินไว้แน่นเต็มที่	2
ดินปานกลางหรือทรายร่วน	5
ดินแน่นหรือทรายหยาบ	10
กรวดหรือดินดาน	20
หินดินดาน	25
หินปูนหรือหินทราย	30
หินอัคนีที่ยังไม่แปรสภาพ	100

ตัวอย่างที่ 13.2 คำนวณแรงดันทั้งหมดและแรงดันสุทธิที่ฐานของฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.5×1.5 ม. ในรูปที่ 13.13 หน่วยน้ำหนักของดิน γ_s = 2.0 ตัน/ลบ.ม. และคอนกรีต γ_c = 2.4 ตัน/ลบ.ม.



รูปที่ 13.13 ฐานรากในตัวอย่างที่ 13.2

วิธีทำ น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดบนฐานราก

น้ำหนักฐานราก = $(1.5^2)(0.5)(2.4)$ = 2.7 ตัน

น้ำหนักเสา = $(.3^2)(1.0)(2.4)$ = 0.22 ตัน

น้ำหนักดิน = $(1.0)(1.5^2-0.3^2)(2.0)$ = 4.32 ตัน

น้ำหนักบรรทุก = 80+40 = 120 ตัน

น้ำหนักรวมทั้งหมด = 127.24 ตัน

แรงดันดินทั้งหมด $= \frac{127.24}{1.5^2} = 56.55$ ตัน/ตร.ม.

แรงดันดินสุทธิ $= \frac{120}{1.5^2} = 53.33$ ตัน/ตร.ม. ■

ตัวอย่างที่ 13.3 : ขนาดฐานรากรับแรงตรงศูนย์

เสารับน้ำหนักบรรทุกประลัย P_u = 180 ตัน รองรับโดยฐานรากแบบแผ่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แรงดันดินที่ยอมให้ 10 ตัน/ตร.ม.

วิธีทำ ในการคำนวณขนาดพื้นที่ฐานรากนั้นจะใช้น้ำหนักบรรทุกใช้งานในการคำนวณ แต่ในทางปฏิบัติแล้วถ้าทำการคำนวณออกแบบโดยใช้วิธีกำลังน้ำหนักบรรทุกมักถูกสะสมรวมกันลงมาเป็นน้ำหนักบรรทุกประลัย ซึ่งเราอาจประมาณน้ำหนักบรรทุกใช้งานจากน้ำหนักบรรทุกประลัยโดยการหารด้วยตัวคูณระหว่าง 1.4 – 1.7 ในที่นี้ใช้ 1.5

น้ำหนักบรรทุกใช้งาน $P_a = P_u / 1.5 = 180 / 1.5 = 120$ ตัน

ส่วนแรงดันดินสุทธินั้นคำนวณได้โดยหักแรงดันดินลงเนื่องจากน้ำหนักฐานรากส่วนที่เกินจากน้ำหนักดิน ซึ่งถ้าไม่สะดวกในการคำนวณก็อาจละเลยได้เนื่องจากหน่วยแรงดันดินที่ยอมให้นั้นเผื่อความปลอดภัยไว้มากคือ 2.5 – 3 ไว้แล้ว

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ $A = P_a / q_a = 120 / 10 = 12$ ตร.ม. ■

ตัวอย่างที่ 13.4 : ขนาดฐานรากรับแรงเยื้องศูนย์

เสารับน้ำหนักบรรทุกประลัย P_u = 180 ตัน ระยะเยื้องศูนย์ e = 12 ซม. รองรับโดยฐานรากแบบแผ่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แรงดันดินที่ยอมให้ 10 ตัน/ตร.ม.

วิธีทำ ขนาดฐานรากรับแรงเยื้องศูนย์จะพิจารณาให้ได้ขนาดฐานรากเล็กที่สุดโดยหน่วยแรงดันแรงดันใต้ฐานรากมากที่สุดมีค่าไม่เกินหน่วยแรงดันดินที่ยอมให้

น้ำหนักบรรทุกใช้งาน $P_a = P_u / 1.5 = 180 / 1.5 = 120$ ตัน

ระยะเยื้องศูนย์ e = 12 ซม.

โดยการลองคำนวณและปรับเปลี่ยน, ลองฐานรากขนาด กว้าง 3.5 ม. × ยาว 4.5 ม., พื้นที่ = 15.75 ตร.ม.

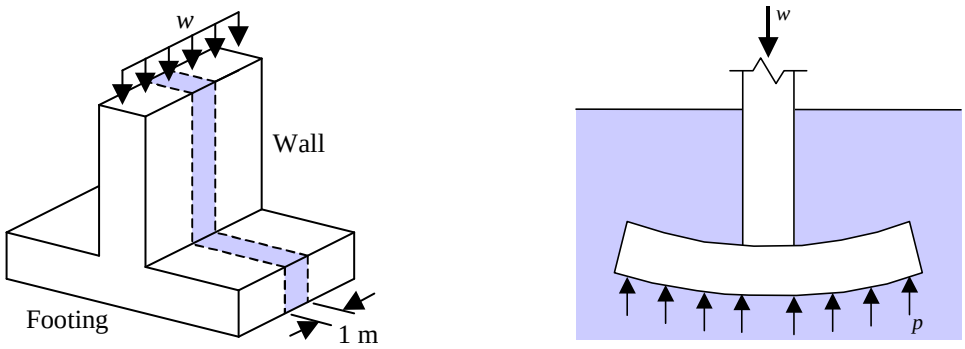
หน่วยแรงใต้ฐานรากเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานเยื้องศูนย์คือ

$$p = \frac{P}{A} \pm \frac{P \times e}{I/c} = \frac{120}{15.75} \pm \frac{120 \times 0.12 \times 6}{3.5 \times 4.5^2}, \qquad \text{เมื่อ } \frac{I}{c} = \frac{bh^2}{6}$$

$= 7.62 \pm 1.22 = 8.84$ ตัน/ตร.ม. (C) และ 6.4 ตัน/ตร.ม. (C) $<$ 10 ตัน/ตร.ม. **OK**

13.6 ฐานรากรับผนัง

ถ้าแรงดันดินใต้ฐานรากสม่ำเสมอส่วนของฐานรากที่ยื่นออกมาจากผิวผนังจะคล้ายเป็นคานยื่น และถูกดัดขึ้นดังในรูปที่ 13.14(ข) เมื่อผนังรองรับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ ทุกหน้าตัดบนความยาวผนังจะมีพฤติกรรมเหมือนกัน ดังนั้นในการออกแบบฐานรากจึงสามารถทำได้โดยใช้แถบกว้าง 1 เมตรตัดในแนวขวางตั้งฉากกับแกนยาวของผนังดังในรูปที่ 13.14(ก)



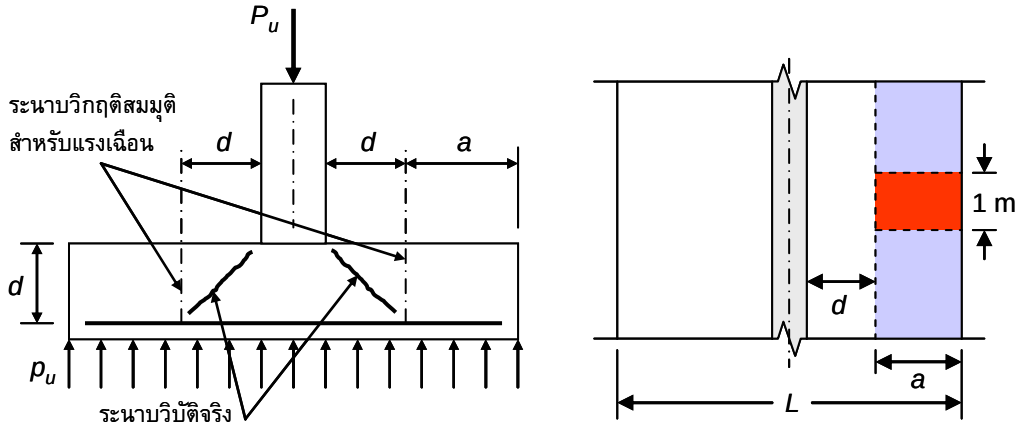
(ก) (ข)

รูปที่ 13.14 ฐานรากรองรับผนัง

ขั้นตอนการออกแบบฐานรากรับผนัง :

1. กำหนดความกว้างของฐานรากที่ต้องการโดยหาน้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมดด้วยแรงดันดินที่ยอมให้ โดยทั่วไปความกว้างจะถูกปัดเศษขึ้นให้เป็นจำนวนที่หารด้วย 5 ซม. ลงตัว
2. ประมาณความหนาฐานราก ACI กำหนดให้ความลึกของฐานรากเหนือเหล็กเสริมอย่างน้อยที่สุด 15 ซม. สำหรับฐานรากบนดิน และอย่างน้อย 30 ซม. สำหรับฐานรากบนเสาเข็ม
3. เพิ่มน้ำหนักบรรทุกใช้งานโดยใช้ตัวคูณน้ำหนัก และคำนวณแรงดันดินสำหรับขนาดฐานรากที่กำหนด
4. ตรวจสอบความต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตเพื่อป้องกันการวิบัติแบบคาน-เฉือน (Beam-shear failure) หรือการเฉือนทางเดียว (One-way shear) หน้าตัดวิกฤติจะอยู่ที่ระยะ d จากผิวเสาดังในรูปที่ 13.15 โดยแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤติจะต้อง

$$V_u \le \phi V_c = 0.85(0.53)\sqrt{f_c'}\, b\, d, \quad b = 100 \text{ ซม.} \tag{13.8}$$



(ก) (ข)

รูปที่ 13.15 หน้าตัดวิกฤติของการเฉือน

V_u คือแรงเฉือนที่เกิดจากแรงดันประลัย p_u ที่กระทำบนส่วนของฐานรากระหว่างหน้าตัดวิกฤติและขอบฐานราก

$$V_u = a\,(1)\,p_u \tag{13.9}$$

เมื่อ a ระยะจากระนาบวิกฤตถึงขอบฐานราก ในส่วนกลางของฐานรากระหว่างหน้าตัดวิกฤติทั้งสอง น้ำหนักบรรทุกจะถูกถ่ายลงดินโดยตรง ถ้าแรงต้านทานไม่เพียงพอจะต้องเพิ่มความหนาของฐานรากจนกว่าจะปลอดภัย