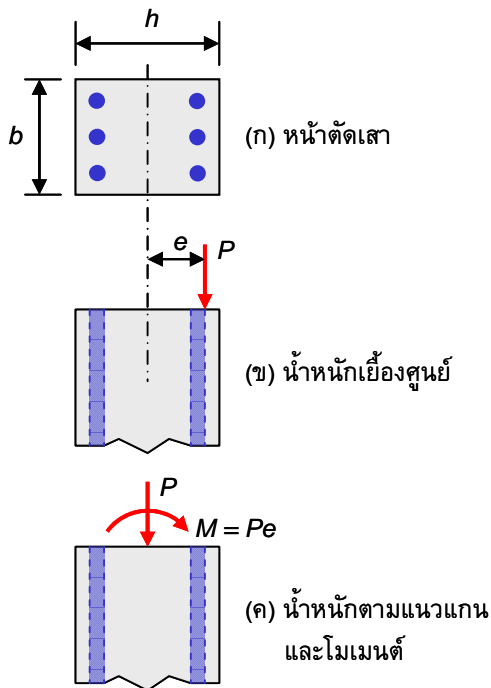


# 12

## เสารับแรงอัดและการตัด

### 12.1 เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมรับแรงอัดและโมเมนต์ดัด

องค์อาคารที่รับแรงอัดเพียงอย่างเดียวนั้นมีน้อยมาก แม้ว่าเสาจะรับแรงอัดเป็นหลักแต่ก็มักเกิดการดัดร่วมด้วยเกือบเสมอ โมเมนต์ดัดเกิดจากความต่อเนื่องเช่น การหล่อเป็นเนื้อเดียวกันในอาคารคอนกรีตทำให้โมเมนต์ที่จุดรองรับคานบางส่วนจะถูกถ่ายลงเสา น้ำหนักบรรทุกทุกด้านข้างจากแรงลม หรือน้ำหนักเชิงศูนย์กลางในเสาที่มีหูช้าง แม้ว่าในการออกแบบจะไม่มีโมเมนต์ดัดก็ตาม ความไม่สมบูรณ์ในการก่อสร้างก็จะทำให้เกิดการเอียงศูนย์กลางที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เสมอ



รูปที่ 12.1 น้ำหนักบรรทุกทุกและโมเมนต์ในเสา

เมื่อองค์อาคารอยู่ภายใต้แรงกระทำร่วมของแรงอัด  $P$  และ โมเมนต์  $M$  ดังเช่นในรูปที่ 12.1(ก) จะเป็นการสะดวกกว่าที่จะเปลี่ยนแรงอัดและ โมเมนต์เป็นแรง  $P$  กระทำที่ระยะเชิงศูนย์กลาง  $e = M / P$  ดังในรูปที่ 12.1(ข) ซึ่งทั้งสองรูปเทียบเท่ากัน เสาทุกต้นอาจถูกจำแนกออกตามระยะเชิงศูนย์กลางเทียบเท่านี้ พวกที่มีค่า  $e$  ต่ำจะมีแรงอัดกระทำทั้งหน้าตัดและจะวิบัติโดยการบดแตก (Crushing failure) และการครากของเหล็กโดยการอัด เสาที่มีระยะเชิงศูนย์กลางมากก็จะรับแรงดึงในบางส่วนของหน้าตัดและอาจวิบัติโดยแรงดึง

สำหรับเสานั้นสภาวะการรับน้ำหนักที่ต่ำกว่าจุดวิบัติมีความสำคัญไม่มากนัก แม้แต่รอยร้าวในเสาที่มีระยะเชิงศูนย์กลางมากก็มักไม่ทำให้เกิดปัญหารุนแรง การออกแบบเสาจึงขึ้นกับสภาวะประลัยซึ่งกำลังที่ต้องการต้องไม่เกินกำลังออกแบบดังเช่นที่ผ่านมาในกรณีนี้คือ โมเมนต์ดัดและแรงแนวแกน

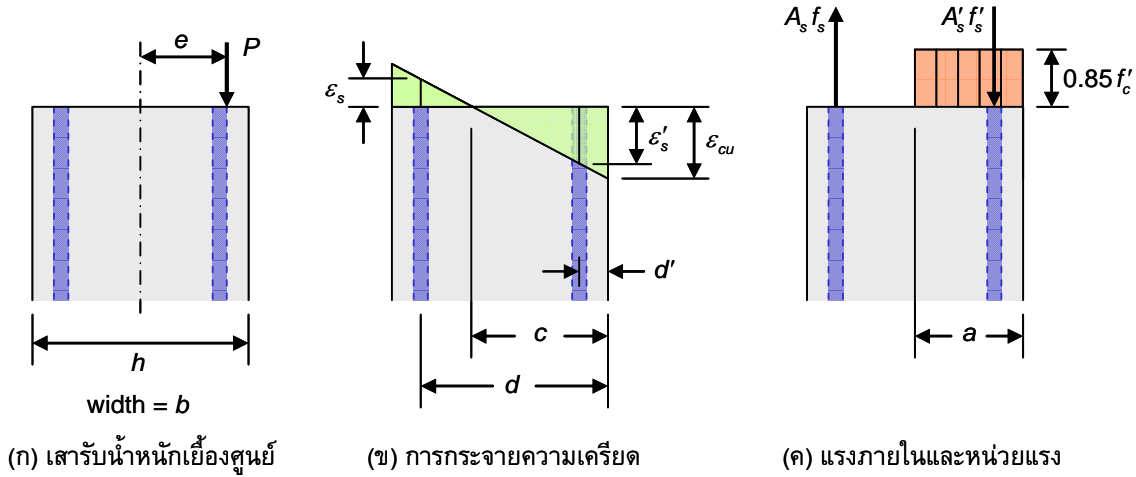
$$\phi M_n \geq M_u \quad (12.1ก)$$

$$\phi P_n \geq P_u \quad (12.1ข)$$

### 12.2 กำลังของหน้าตัดเสารับน้ำหนักบรรทุกทุกเชิงศูนย์กลาง

รูปที่ 12.2(ก) แสดงองค์อาคารรับน้ำหนักบรรทุกทุกขนานกับแนวแกนเป็นแรงอัด  $P_n$  ที่ระยะเชิงศูนย์กลาง  $e$  วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลาง การกระจายความเครียดบนหน้าตัดขณะจะเกิดการวิบัติจะเป็นดังรูป 12.2(ข) โดยสมมุติว่าหน้าตัดยังคง

เป็นระนาบอยู่ หน่วยการยึดหดในคอนกรีตจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับระยะทางจากแกนสะเทินซึ่งอยู่ที่ระยะ  $c$  จากผิวรับแรงอัด(ด้านขวา) เนื่องจากการเลี้ยวรูปทรงจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งหน้าตัด เหล็กเสริมที่ตำแหน่งใดๆจะเกิดการยึดหดตัวเท่ากับคอนกรีตที่บริเวณข้างเคียง ดังนั้นถ้าหน่วยการยึดหดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ  $\epsilon_{cu}$  หน่วยการยึดหดในเหล็กเสริมรับแรงอัดเท่ากับ  $\epsilon'_s$  ในขณะที่ในเหล็กรับแรงดึงเท่ากับ  $\epsilon_s$  โดยที่เหล็กรับแรงอัดมีพื้นที่  $A'_s$  และเหล็กรับแรงดึงมีพื้นที่  $A_s$  อยู่ที่ระยะ  $d'$  และ  $d$  ตามลำดับจากผิวรับแรงอัด



รูปที่ 12.2 เสากายใต้น้ำหนักบรรทุกเยื้องศูนย์กลาง

แรงภายในและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะเป็นดังรูปที่ 12.2(ค) หน่วยแรงอัดในคอนกรีตจะถูกแทนด้วยการกระจายเทียบเท่ารูปสี่เหลี่ยมเช่นเดียวกันในองค์อาคารรับแรงดัดมีความลึก  $a = \beta_1 c$  เมื่อพิจารณาสมดุลของแรงในแนวตั้งจะได้ว่า

$$[\sum F_y = 0] \quad P_n = 0.85 f'_c a b + A'_s f'_s - A_s f_s \quad (12.2)$$

โมเมนต์รอบเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดที่เกิดจากแรงภายในจะต้องเท่ากับ โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก  $P_n$  :

$$[\sum M_{Centerline} = 0] \quad M_n = P_n e = 0.85 f'_c a b \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (12.3)$$

เมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากการวิบัติจะเกิดโดยการครากในเหล็กรับแรงดึง  $f_s = f_y$  เมื่อคอนกรีตถึงหน่วยการยึดหดประลัย  $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$  ในขณะที่เหล็กรับแรงอัดอาจจะถึงจุดครากหรือไม่ก็ได้ซึ่งจะต้องพิจารณาจากหน่วยการยึดหดอีกที เมื่อระยะเยื้องมีค่าน้อยคอนกรีตจะมีหน่วยการยึดหดถึงขีดจำกัดก่อนที่เหล็กจะเริ่มคราก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเหล็กด้านที่ไกลจากน้ำหนักบรรทุกอาจรับแรงอัดอยู่ก็ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ต้องขึ้นกับสภาวะของการยึดหดระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม เราสามารถคำนวณหน่วยการยึดหดและหน่วยแรงในเหล็กและคอนกรีตได้ดังนี้

เหล็กรับแรงดึง :

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{d-c}{c} \quad (12.4)$$

$$f_s = \epsilon_{cu} E_s \frac{d-c}{c} \leq f_y \quad (12.5)$$

เหล็กรับแรงอัด :

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \frac{c-d'}{c} \quad (12.6)$$

$$f'_s = \epsilon_{cu} E_s \frac{c-d'}{c} \leq f_y \quad (12.7)$$

ความลึกของบล็อกหน่วยแรง

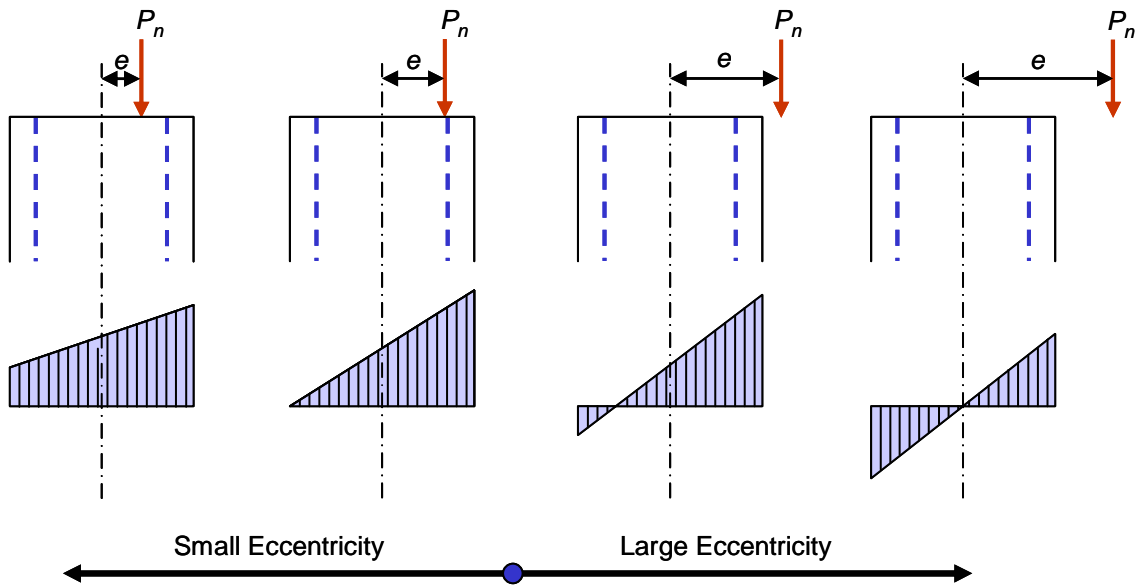
$$a = \beta_1 c \leq h \quad (12.8)$$

แรงอัดในคอนกรีต :

$$C = 0.85 f'_c a b \quad (12.9)$$

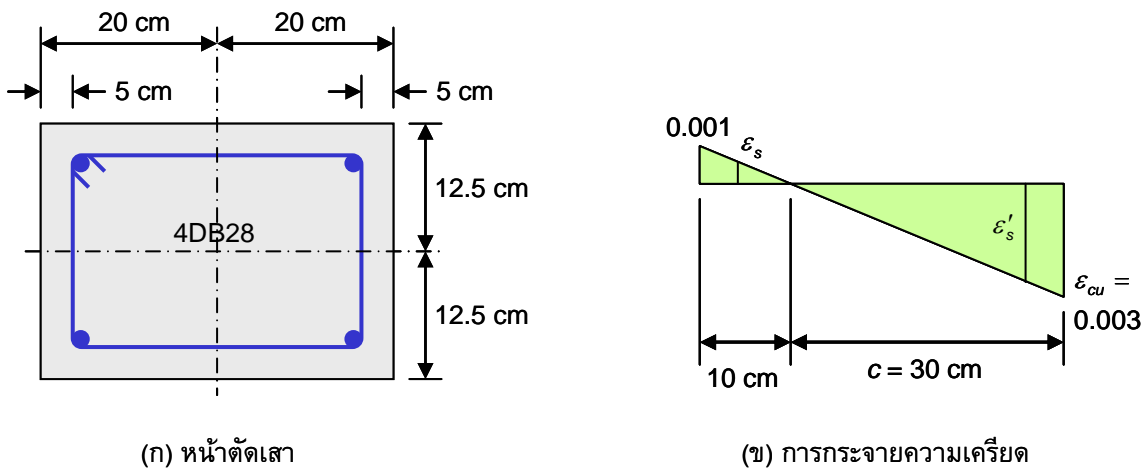
จะเห็นว่าถ้าเราผู้ตำแหน่งแกนสะเทินคือระยะ  $c$  ก็จะสามารถคำนวณความเครียดและพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กรับแรงดึง เหล็กรับแรงอัดและ แรงอัดในคอนกรีต ได้ตามสมการ (12.4) ถึง (12.9) ซึ่งก็จะทำให้สามารถคำนวณค่า  $P_n$  และ  $M_n$  จากสมการ (12.2) และ (12.3) ได้ในที่สุด

รูปที่ 12.3 แสดงการกระจายความเครียดที่เปลี่ยนไปตามระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e$  เริ่มจากรูปทางด้านซ้ายเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีการเยื้องศูนย์กลางน้อยมาก พื้นที่คอนกรีตทั้งหน้าตัดรวมทั้งเหล็กเสริมทั้งหมดจะรับแรงอัดทั้งหมด เมื่อมีการเยื้องศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจนเหล็กเสริมเริ่มรับแรงดึง ขณะเกิดการวิบัติคือคอนกรีตที่ผิวรับแรงอัดจนเกิดความเครียดถึง  $\epsilon_{cu} = 0.003$  แต่หน่วยแรงในเหล็กรับแรงดึงยังไม่ถึงจุดคราก  $f_s < f_y$  การวิบัติจึงถูกควบคุมโดยการอัด (Compression-controlled failure) เมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากขึ้นจนเกิดการวิบัติหน่วยแรงในเหล็กรับแรงดึงถึงจุดคราก การวิบัติจะถูกควบคุมโดยการดึง (Tension-controlled failure)



รูปที่ 12.3 การกระจายความเครียดที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ

ตัวอย่างที่ 12.1 จงคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุก  $P_n$  และ โมเมนต์  $M_n$  ที่ทำให้เกิดสภาวะการยึดหดดังในรูปที่ 12.4(ข) ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด  $25 \times 40$  ซม. เสริมเหล็ก 4DB28 กำหนด  $f'_c = 210$  กก./ซม.<sup>2</sup> และ  $f_y = 4,000$  กก./ซม.<sup>2</sup>



รูปที่ 12.4 หน้าตัดเสาและสภาวะหน่วยการยึดหดในตัวอย่างที่ 12.1

วิธีทำ

1. ชัดจำกัดความเครียดในคอนกรีตและเหล็กเสริม

$$\text{คอนกรีต : } \epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\text{เหล็กเสริม : } \epsilon_y = f_y / E_s = 4,000 / 2.04 \times 10^6 = 0.002$$

2. หน่วยแรงในเหล็กรับแรงดึง

$$f_s = \epsilon_{cu} E_s \frac{d-c}{c} = 0.003 \times 2.04 \times 10^6 \frac{32.5-30}{30} = 510 \text{ ก.ก./ซม.}^2 < [f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2] \quad \text{OK}$$

3. หน่วยแรงในเหล็กรับแรงอัด

$$f'_s = \epsilon_{cu} E_s \frac{c-d'}{c} = 0.003 \times 2.04 \times 10^6 \frac{30-7.5}{30} = 4,590 \text{ ก.ก./ซม.}^2 > [f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2] \quad \text{NG}$$

$$f'_s = f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

4. แรงอัดในคอนกรีต

$$a = \beta_1 c = 0.85(30) = 25.5 \text{ ซม.}$$

$$C = 0.85 f'_c ab = 0.85(210)(25.5)(25)/1000 = 113.8 \text{ ตัน}$$

5. แรงในเหล็กเสริม

$$T = A_s f_s = 2(6.16)(510)/1000 = 6.28 \text{ ตัน}$$

$$T' = A'_s f'_s = 2(6.16)(4000)/1000 = 49.28 \text{ ตัน}$$

6. สมดุลของแรง

$$P_n = C + T' - T = 113.8 + 49.28 - 6.28 = 156.8 \text{ ตัน}$$

$$M_n = 113.8(20-25.5/2) + 6.28(20-7.5) + 49.28(20-7.5) = 1,520 \text{ ตัน-ซม.} = 15.2 \text{ ตัน-เมตร}$$

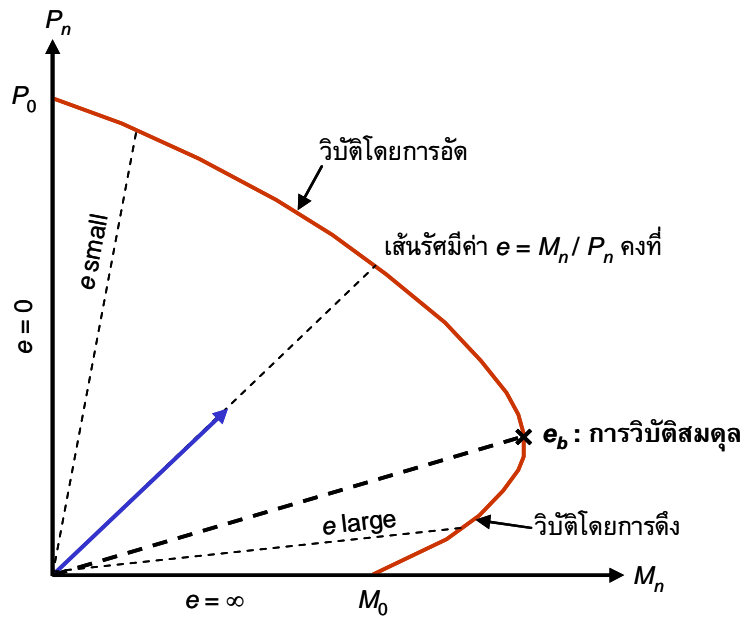
$$e = M_n/P_n = 1,520/156.8 = 9.7 \text{ ซม.} \quad \blacksquare$$

จากตัวอย่างที่ 12.1 จะเห็นว่าเมื่อรู้การกระจายความเครียดบนหน้าตัดก็สามารถคำนวณกำลังรับแรงอัดตามแนวแกน  $P_n$  และกำลังโมเมนต์ค้ด  $M_n$  ได้โดยตรง แต่ในทางปฏิบัติแล้วในการออกแบบหรือตรวจสอบหน้าตัด เราจะต้องการรับน้ำหนักบรรทุกทุกคือ  $P_u$  และ  $M_u$  แล้วทำการออกแบบหน้าตัดหรือตรวจสอบหน้าตัดว่ามีกำลังเพียงพอกับที่ต้องการหรือไม่ซึ่งทำได้โดยใช้แผนภูมิปฏิสัมพันธ์

### 12.3 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์

แรงอัดตามแนวแกนและ โมเมนต์ค้ดที่ร่วมกันกระทำบนหน้าตัดเสานั้นมีผลต่อกำลังของหน้าตัดแบบปฏิสัมพันธ์กัน วิธีที่สะดวกคือสร้างเป็นแผนภูมิปฏิสัมพันธ์โดยให้แรงตามแนวแกนเป็นแกนดิ่งและ โมเมนต์ค้ดเป็นแกนนอนดังในรูปที่ 12.5

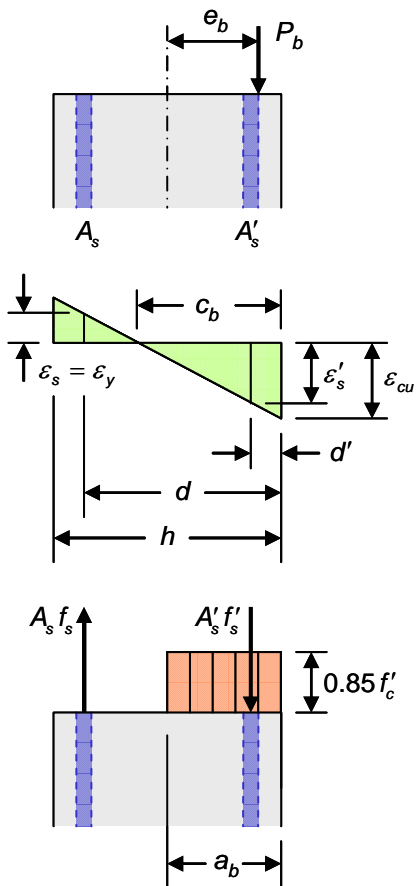
เมื่อเสารับแรงตามแนวแกนและ โมเมนต์ค้ดก็จะแสดงออกมาเป็นจุดพิกัด ( $M_n, P_n$ ) บนแผนภูมิ เนื่องจากระยะเยื้องศูนย์  $e = M_n/P_n$  ถ้า  $M_n$  และ  $P_n$  มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนหรือมีค่า  $e$  คงที่ จุดพิกัดจะเคลื่อนออกห่างจากจุดกำเนิดตามแนวรัศมีเส้นตรงไปจนกระทั่งถึงขีดจำกัดของหน้าตัด จากนั้นเปลี่ยนค่า  $e$  ก็จะได้อีกแนวรัศมีหนึ่งแล้วขยับห่างออกไปเช่นเดิมจนถึงขีดจำกัดของหน้าตัด ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยเปลี่ยนค่า  $e$  จาก “ศูนย์” คือรับแรงตามแนวแกนอย่างเดียวซึ่งจะอยู่บนแกนดิ่งค่ามากที่สุดคือ  $P_0$  คือกำลังเสารับแรงตามแนวแกนนั่นเอง เมื่อเพิ่มค่า  $e$  ไปเรื่อยๆก็จะได้จุดที่เป็นขีดจำกัดของกำลังเรียงรายกันต่อจาก  $P_0$  ติโค้งออกไปทางด้านข้างแล้ววกกลับมาถึงแกนนอนเมื่อค่า  $e$  เป็น “อนันต์” คือตัวหาร  $P$  เป็นศูนย์ หน้าตัดรับเพียงการค้ด กำลัง  $M_n$  จึงเป็นกำลังค้ดของหน้าตัดคาน



รูปที่ 12.5 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์การตัดและแรงตามแนวแกน

### 12.4 การวิบัติสมมูล

การวิบัติสมมูลคือสภาวะการวิบัติซึ่งความเครียดที่ผิวคอนกรีตด้านรับแรงอัดถึงค่าประลัยคือ  $\epsilon_{cu} = 0.003$  และความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก  $\epsilon_y = f_y / E_s$  พร้อมกันพอดี แทนค่าความเครียดทั้งสองลงในแผนภูมิความเครียดในรูปที่ 12.6 จากความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่า



รูปที่ 12.6 หน้าตัดเสาที่สภาวะสมมูล

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{f_y / E_s + 0.003}$$

$$c_b = \frac{0.003}{f_y / (2,040,000) + 0.003} d = \frac{6,120 d}{f_y + 6,120} \quad (12.10)$$

สมมูลของแรงในแนวตั้ง :

$$P_b = C_c + C_s - T \quad (12.11)$$

เมื่อ  $C_c = 0.85 f'_c ab = 0.85 f'_c \beta_1 c_b b$ ,

$$T = A_s f_y,$$

และ  $C_s = A'_s (f'_s - 0.85 f'_c) \approx A'_s f'_s$

หน่วยแรง  $f'_s$  คำนวณได้จากสมการ (12.7) โดยใช้ค่า  $c_b$  คือ

$$f'_s = 6,120 (c_b - d') / c_b \leq f_y$$

แทนค่าแรง  $C_c$ ,  $T$  และ  $C_s$  ลงในสมการ (12.11) จะได้

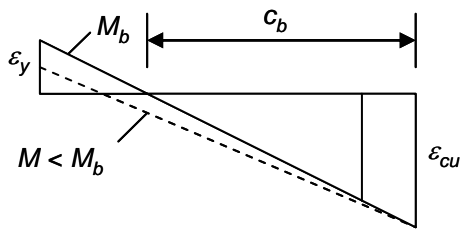
$$P_b = 0.85 f'_c \beta_1 c_b b + A'_s f'_s - A_s f_y \quad (12.12)$$

สมมูลโมเมนต์รอบศูนย์กลางหน้าตัดเสา :

$$M_b = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (12.13)$$

เมื่อทราบค่า  $P_b$  และ  $M_b$  ก็จะสมารถคำนวณระยะเยื้องศูนย์กลางที่สภาวะสมดุลได้คือ  $e_b = M_b/P_b$  ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะเยื้องศูนย์กลางจริง ( $e$ ) จะทำให้ทราบสภาวะการวิบัติของเสา ดังนี้คือ

กรณีที่ 1:  $e < e_b$



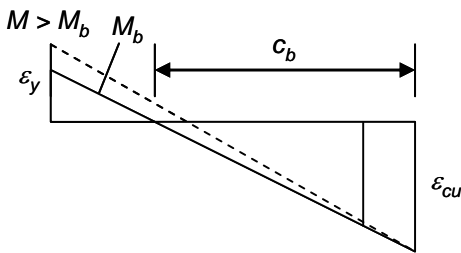
$c > c_b$  ทำให้  $\epsilon_s < \epsilon_y$  ดังนั้น

$$f_s = \epsilon_{cu} E_s \frac{d-c}{c} < f_y$$

เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆ จะเกิดการวิบัติจากแรงอัด

**Compression Failure**

กรณีที่ 2:  $e > e_b$



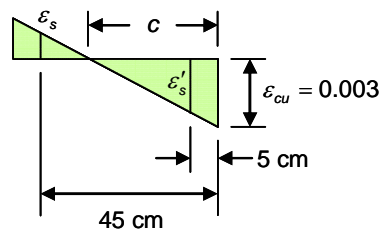
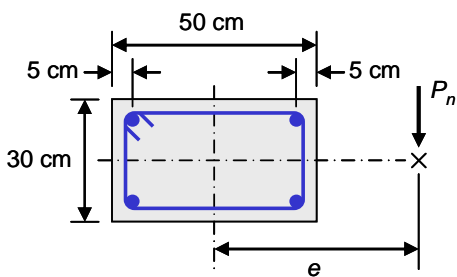
$c < c_b$  ทำให้  $\epsilon_s > \epsilon_y$  ดังนั้น

$$f_s = f_y$$

เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆ จะเกิดการวิบัติจากแรงดึง

**Tension Failure**

ตัวอย่างที่ 12.2 เสาหน้าตัด  $30 \times 50$  ซม. เสริมเหล็ก 4DB28 ที่แต่ละมุมดังแสดงในรูป กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต  $f'_c = 240$  ก.ก./ซม.<sup>2</sup> และกำลังครากของเหล็ก  $f_y = 4,000$  ก.ก./ซม.<sup>2</sup> จงพิจารณา (1) น้ำหนักบรรทุก  $P_b$  โมเมนต์  $M_b$  และระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e_b$  ที่สภาวะสมดุลของการวิบัติ (2) น้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการวิบัติโดยแรงอัด (3) น้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการวิบัติโดยแรงดึง (4) กำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางเท่ากับศูนย์ จากนั้น (5) วาดแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของกำลังของหน้าตัดเสา



รูปที่ 12.7 หน้าตัดเสาในตัวอย่างที่ 12.2

$$C_c = 0.85(240)(30)(23.1)/1000 = 141.4 \text{ ตัน}$$

$$T = 2(6.16)(4.0) = 49.28 \text{ ตัน}$$

วิธีทำ

1. สภาวะสมดุลการวิบัติ

$$\epsilon_{cu} = 0.003$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s = 4000/2.04 \times 10^6 = 0.002$$

$$c_b = \frac{6,120d}{f_y + 6,120} = \frac{6,120 \times 45}{4,000 + 6,120} = 27.2 \text{ ซม.}$$

$$a_b = \beta_1 c_b = 0.85(27.2) = 23.1 \text{ ซม.}$$

$$f_s = f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

$$f'_s = 0.003 \times 2.04 \times 10^6 \left( \frac{27.2 - 5}{27.2} \right) = 4,995 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

แต่ต้องไม่เกินกำลังคราก ดังนั้น  $f'_s = f_y = 4,000$  ก.ก./ซม.<sup>2</sup>

$$C_s = 2(6.16)(4.0) = 49.28 \text{ ตัน}$$

$$P_b = C_c + C_s - T = 141.4 + 49.28 - 49.28 = 141.4 \text{ ตัน}$$

$$M_b = 141.4(25 - 23.1/2) + 49.28(25 - 5) + 49.28(45-25) \\ = 3,873 \text{ ตัน-ชม.} = 38.7 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$e_b = M_b/P_b = 3,873/141.4 = 27.4 \text{ ชม.} \quad \blacksquare$$

2. สภาวะวิบัติโดยแรงอัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ  $e < e_b$  หรือ  $c > c_b$

เลือก  $c = 30$  ชม.

$$a = 0.85(30) = 25.5 \text{ ชม.}$$

$$C_c = 0.85(240)(30)(25.5)/1,000 = 156.1 \text{ ตัน}$$

$$f_s = 6,120(45-30)/30 = 3,150 \text{ ก.ก./ชม.}^2 < [f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ชม.}^2] \quad \text{OK}$$

$$f'_s = 6,120(30-5)/30 = 5,250 \text{ ก.ก./ชม.}^2 > [f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ชม.}^2] \quad \text{NG}$$

$$f'_s = f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ชม.}^2$$

$$P_n = 156.1 + 4.0(12.32) - 3.15(12.32) = 166.6 \text{ ตัน}$$

$$M_n = 156.1(25-25.5/2) + 4.0(12.32)(25-5) + 3.15(12.32)(45-25) \\ = 3,674 \text{ ตัน-ชม.} = 36.7 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$e = 3,674/166.6 = 22.1 \text{ ชม.} < [e_b = 27.4 \text{ ชม.}] \quad \blacksquare$$

3. สภาวะวิบัติโดยแรงดึง ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ  $e > e_b$  หรือ  $c < c_b$

เลือก  $c = 20$  ชม.

$$a = 0.85(20) = 17.0 \text{ ชม.}$$

$$C_c = 0.85(240)(30)(17.0)/1000 = 104.0 \text{ ตัน}$$

$$f_s = f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ชม.}^2 \text{ (โดยนิยาม)}$$

$$f'_s = 6,120(20-5)/20 = 4,725 \text{ ก.ก./ชม.}^2 > [f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ชม.}^2] \quad \text{NG}$$

$$f'_s = f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ชม.}^2$$

$$P_n = 104.0 + 4.0(12.32) - 4.0(12.32) = 104.0 \text{ ตัน}$$

$$M_n = 104.0(25-17/2) + 4.0(12.32)(25-5) + 4.0(12.32)(45-25) \\ = 3,687 \text{ ตัน-ชม.} = 36.9 \text{ ตัน-เมตร}$$

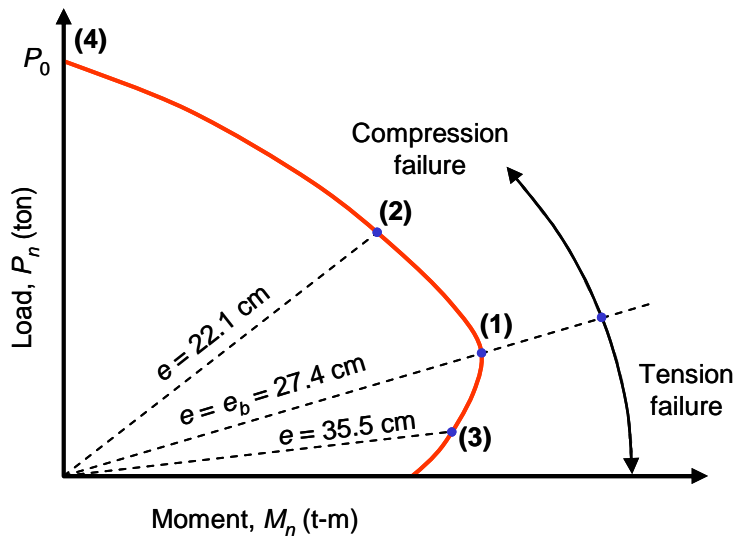
$$e = 3,687/104.0 = 35.5 \text{ ชม.} > [e_b = 27.4 \text{ ชม.}] \quad \blacksquare$$

4. สภาวะรับแรงตามแนวแกน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ  $e = 0$  หรือ  $c = \infty$  และ  $M_n = 0$

$$P_0 = 0.85 f'_c b h + (A_s + A'_s) f_y$$

$$= 0.85(0.24)(30)(50) + 4(6.16)(4.0) = 404.6 \text{ ตัน} \quad \blacksquare$$

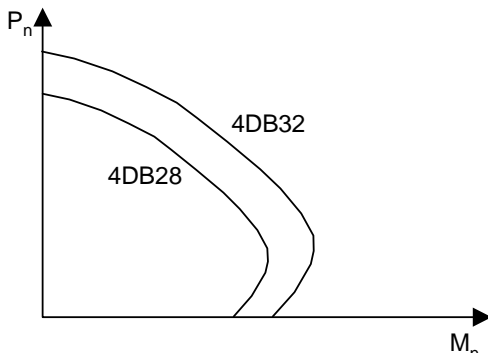
5. เขียนแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของกำลัง



รูปที่ 12.8 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ในตัวอย่างที่ 12.2

### 12.5 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์สำหรับการออกแบบ

จากรูปที่ 12.8 จะพบว่าแผนภูมิปฏิสัมพันธ์จะถูกแบ่งออกเป็นสองบริเวณคือในบริเวณที่หนึ่งเมื่อการวิบัติจะเริ่มจากการบิดแตกของคอนกรีตบนด้านที่รับแรงอัดของหน้าตัด ในบริเวณนี้ความสามารถในการรับแรงอัดตามแนวแกนขององค์อาคารจะลดลงเกือบเป็นเส้นตรงเมื่อโมเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้นหรือเมื่อระยะเชิงศูนย์กลางเพิ่มขึ้น



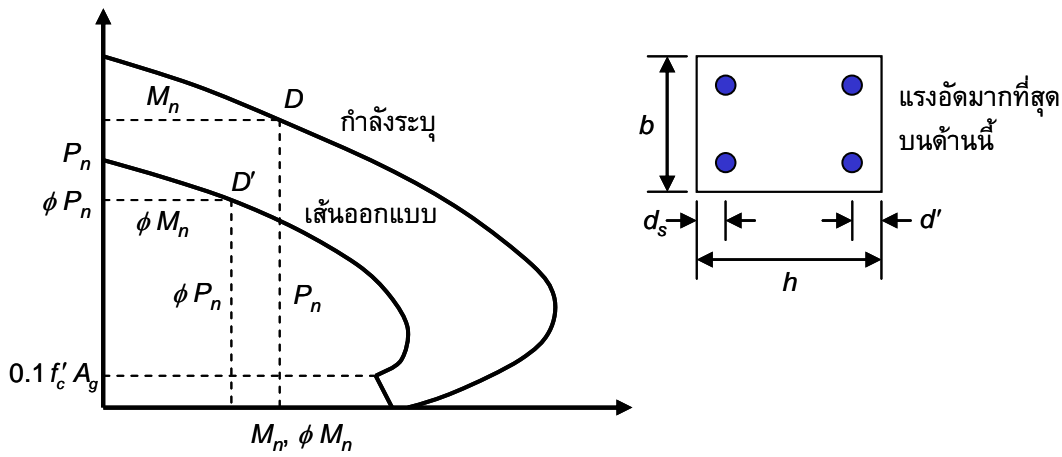
รูปที่ 12.9 ผลของปริมาณเหล็กที่มีต่อแผนภูมิปฏิสัมพันธ์

ในบริเวณที่ควบคุมโดยการตัด องค์อาคารจะมีพฤติกรรมคล้ายกับคานที่เสริมเหล็กไม่เพียงพอ เนื่องจากการวิบัติจะเริ่มเกิดขึ้นโดยการร้าวของเหล็กรับแรงดึง ในขณะที่หน่วยการยึดหดในคอนกรีตอยู่ต่ำกว่าค่าจำกัด เมื่อมีแรงอัดมากกระทำเพิ่มขึ้นก็จะเป็นการช่วยลดหน่วยการยึดในเหล็กลง ทำให้สามารถรับโมเมนต์ได้เพิ่มขึ้นจนเหล็กถึงจุดร้าวอีก ดังนั้นในบริเวณนี้ของแผนภูมิกำลังรับโมเมนต์จึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อนำหน้าทาบรทุกตามแนวแกน

ถ้าเหล็กเสริมมีขนาดใหญ่ขึ้นเช่น แทนที่จะใช้ DB28 ก็ใช้เหล็ก DB32 รูปร่างของแผนภูมิจะยังคงคล้ายของเดิมอยู่ แต่กำลังของหน้าตัดจะเพิ่มขึ้นซึ่งถ้าวางลงบนสเกลเดียวกันกับของ DB28 ก็จะได้แผนภูมิที่ใหญ่กว่าดังในรูปที่ 12.9

ข้อกำหนดของ ACI ที่ให้ตัวคูณลดกำลังของเสาปลอกเดี่ยว  $\phi = 0.70$  และของเสาปลอกเกลียว  $\phi = 0.75$  นั้นจะต้องถูกนำมาใช้กับแผนภูมิที่ได้จากทฤษฎีเพื่อให้ได้แผนภูมิสำหรับการออกแบบ ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 12.10 จุด  $D'$  ใดๆ บนเส้นออกแบบจะได้ออกจากการคูณจุดพิกัดทั้งสองของจุด  $D$  บนเส้นทฤษฎีด้วยตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสม เนื่องจากเสาจะมีพฤติกรรมเข้าใกล้คานเมื่อแรงอัดมีค่าน้อย ACI จึงกำหนดให้ตัวคูณลดกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงเป็น 0.90 ซึ่งเป็นค่าสำหรับคานเมื่อ  $\phi P_n$  มีค่าต่ำกว่า  $0.1f'_cA_g$  การเพิ่มขึ้นของค่า  $\phi$  นี้จะใช้ได้กับเหล็กที่มีกำลังร้าวไม่เกิน 4,000 กก./ซม.<sup>2</sup> รูปแบบการเสริมเหล็กต้องสมมาตร และ  $h - d_s - d' > 0.7h$  สำหรับเสาที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวให้เลือกค่าน้อยกว่าระหว่าง  $0.1f'_cA_g$  หรือ  $\phi P_b$  เป็นจุดที่จะเริ่มเพิ่มค่า  $\phi$  เป็น 0.90



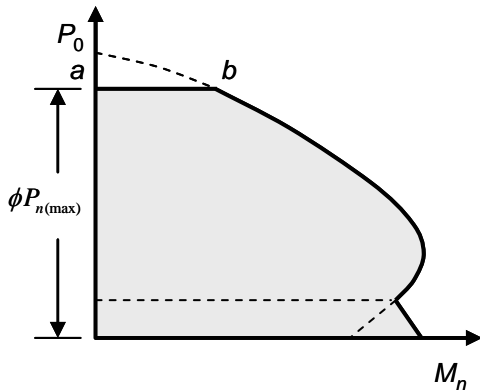


รูปที่ 12.10 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบ

การปรับแก้สุดท้ายคือการตัดส่วนบนทิ้งโดยใช้เส้นราบ (เส้น  $ab$  ในรูปที่ 12.11) ที่ความสูง  $\phi P_{n(max)}$  เท่ากับ

เสาปลอกเดี่ยว: 
$$\phi P_{n(max)} = 0.80\phi [0.85 f'_c A_g + f_y A_{st}] , \phi = 0.70 \tag{12.14}$$

เสาปลอกเกลียว: 
$$\phi P_{n(max)} = 0.85\phi [0.85 f'_c A_g + f_y A_{st}] , \phi = 0.75 \tag{12.15}$$



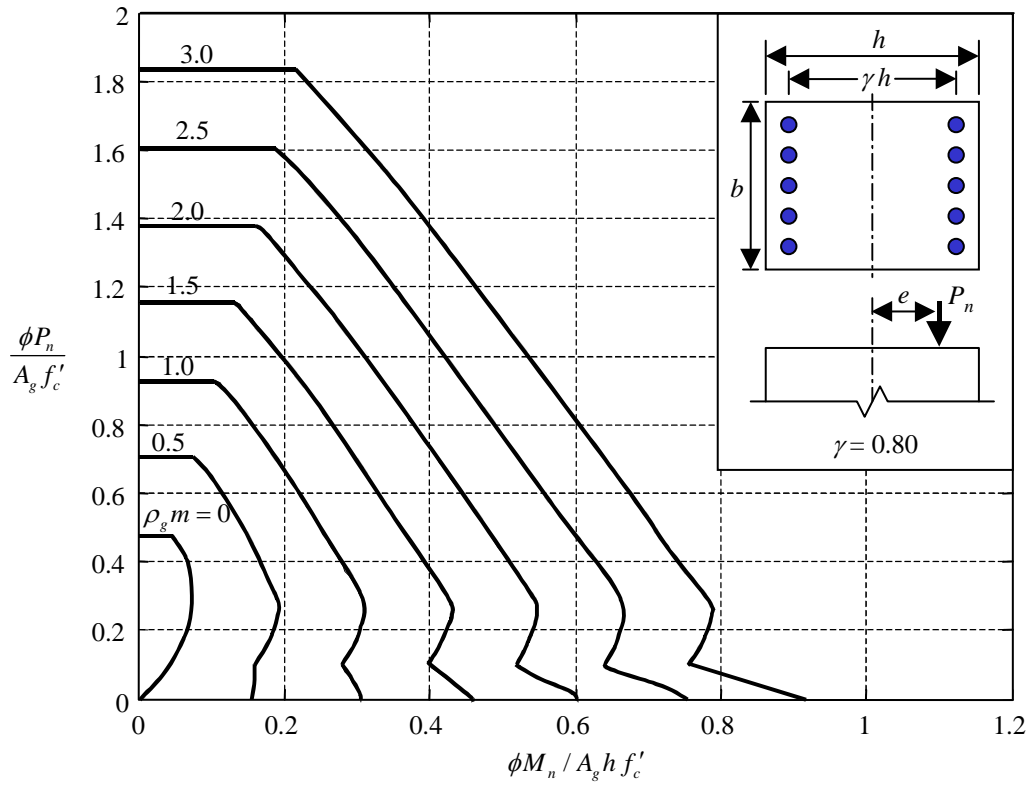
รูปที่ 12.11 การลดลงของกำลังรับแรงอัดตามแนวแกนที่มีระยะเชิงศูนย์กลางน้อย

วัตถุประสงค์ในการตัดส่วนบนออกก็เพื่อลดน้ำหนักบรรทุกที่ขอมให้บนเสาที่รับแรงอัดอย่างเดียวหรือ เสาที่รับแรงอัดและโมเมนต์เล็กน้อย ( $e/h \leq 0.10$  เมื่อ  $h$  คือความลึกเสาด้านที่ตั้งฉากกับแกนหมุน) เหตุผลที่ลดมีสองประการคือ

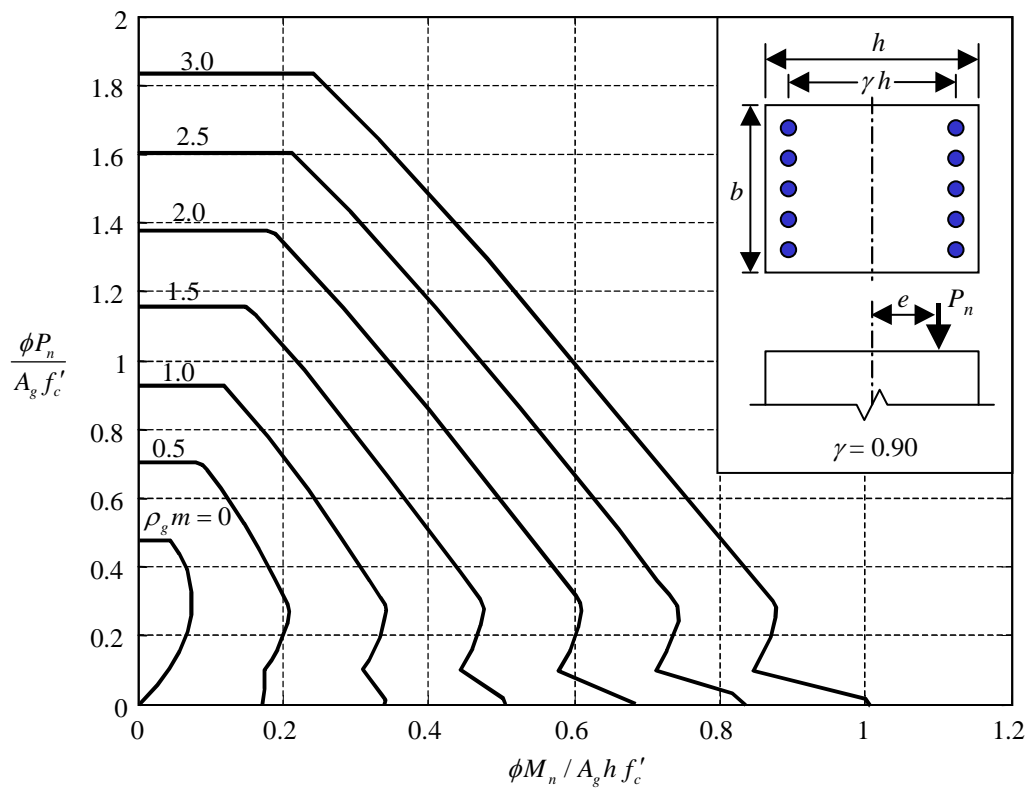
1. เสาทุกต้นจะมีโมเมนต์เล็กน้อยจากความผิดพลาดในการก่อสร้างที่ไม่ถูกพิจารณาในการออกแบบและ
2. กำลังของเสาที่รับแรงอัดเพียงอย่างเดียวเป็นเวลานานจะมีค่าต่ำลง

สำหรับการออกแบบในทางปฏิบัตินั้นเราจะสร้างแผนภูมิโดยแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม  $\rho_g = A_{st}/A_g$  จาก 0.01 ถึง 0.08 จากนั้นนำน้ำหนักบรรทุกและ โมเมนต์ที่ต้องการให้หน้าตัดรับมากำหนดจุดลงในแผนภูมิ ( $M_u/\phi, P_u/\phi$ ) การเลือกปริมาณเหล็กเสริมจะพิจารณาจากตำแหน่งของจุดและแผนภูมิกำลังเส้นที่เล็กที่สุดที่ยังคลุมจุดที่ต้องการอยู่

ในการวาดแผนภูมิทำได้โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแปรเปลี่ยนค่า  $c$  หรือระยะจากผิวรับแรงอัดถึงแกนสะเทินจะทำให้การคำนวณสะดวกกว่า นั่นคือจะเปลี่ยนค่า  $c/h$  จาก 0.0 ถึง 1.0 และเปลี่ยนค่าปริมาณเหล็กขึ้น  $\rho_g = A_{st}/A_g$  จาก 0.01 ถึง 0.08 ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมให้ นอกจากนั้นควรเขียนแผนภูมิให้อยู่ในรูปที่ไม่มีหน่วยจะทำให้ใช้งานได้หลากหลายยิ่งขึ้น ดังนั้นแกนตั้งจึงแสดงค่า  $\phi P_n / (A_g f'_c)$  และ  $\phi M_n / (A_g h f'_c)$  แต่ละเส้นของแผนภูมิแสดงปริมาณเหล็กที่ใช้คือค่า  $\rho_g m$  เมื่อ  $m = f_y / 0.85 f'_c$  และ  $h$  คือความลึกของเสาในทิศทางที่รับโมเมนต์ดัด



รูปที่ 12.12 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับ  $\gamma = 0.80$



รูปที่ 12.13 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับ  $\gamma = 0.90$