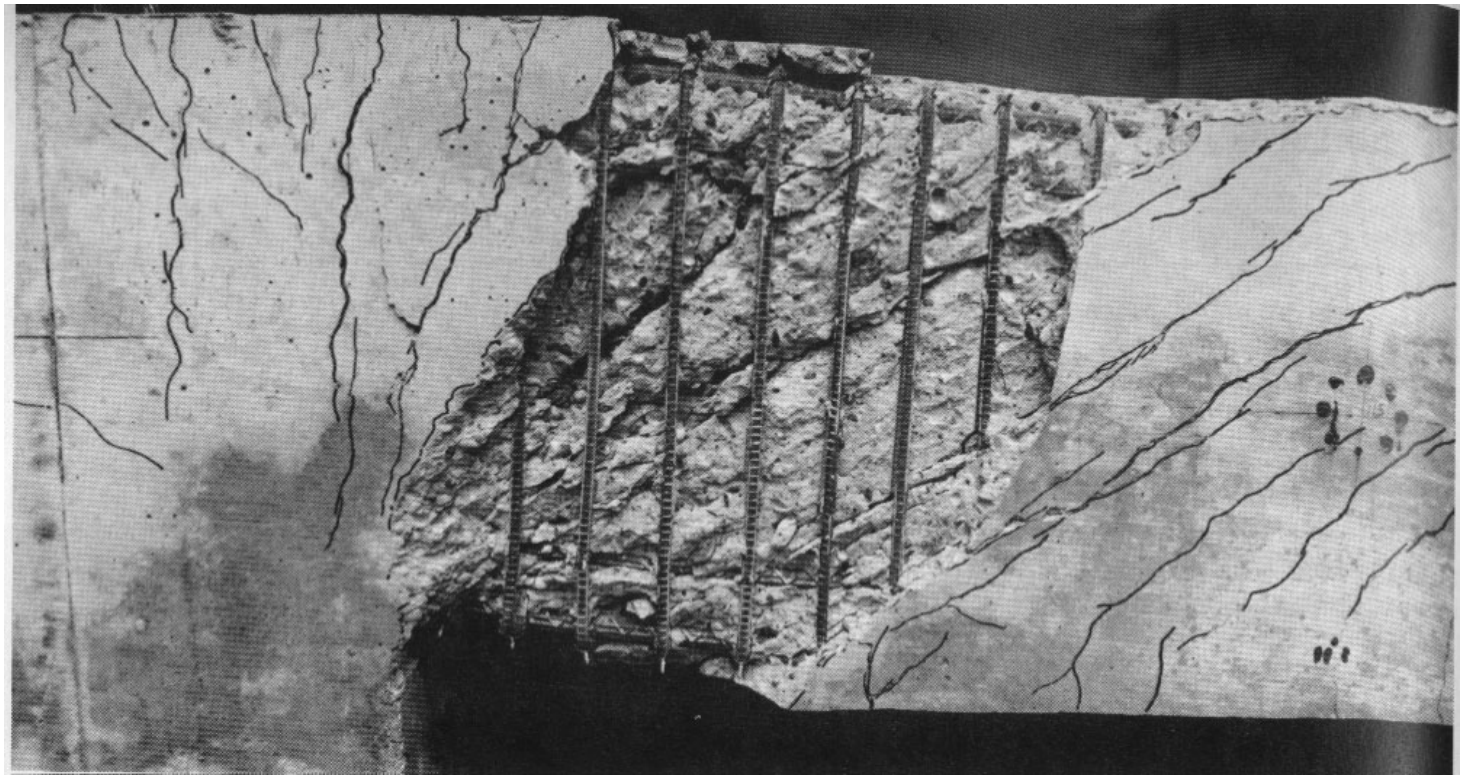
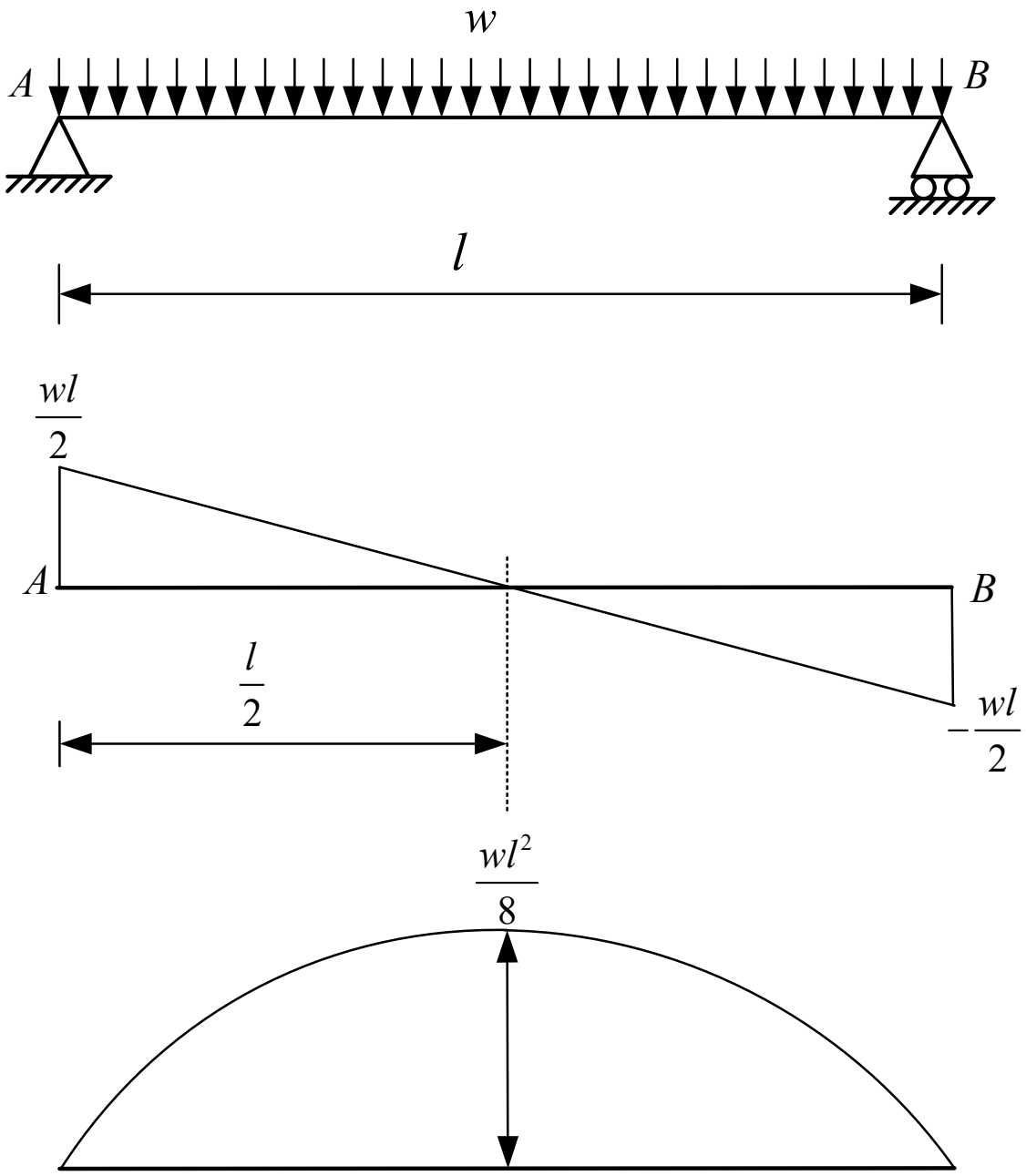
# การออกแบบเหล็กปลอกในคาน



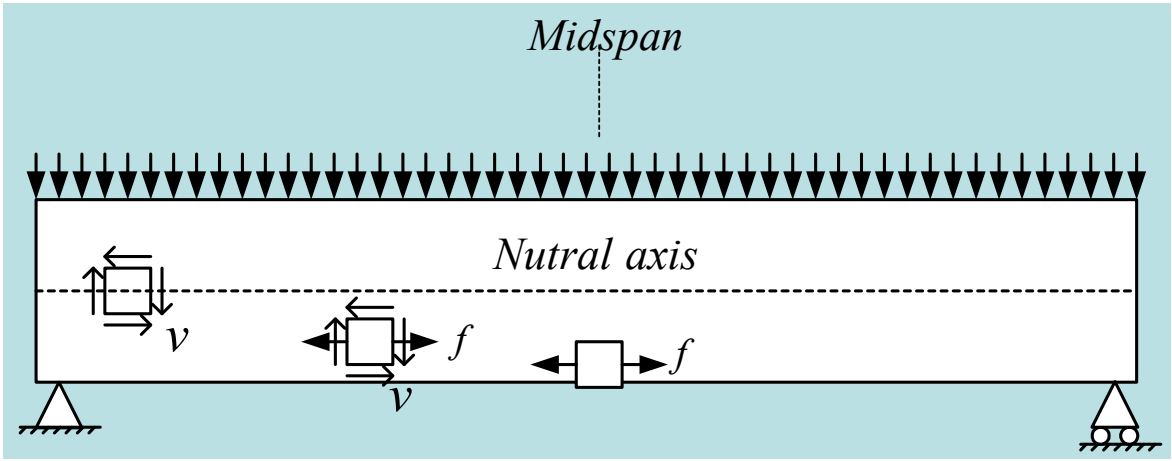

w
A
B
l
wl/2
A
B
l/2
−wl/2
wl²/8

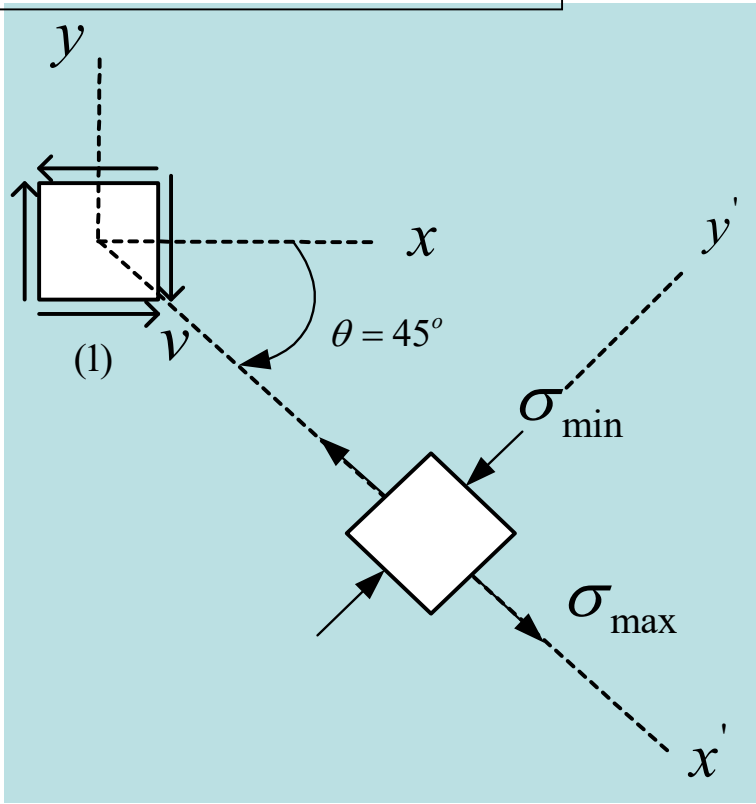
ในการออกแบบคานถ้าในกรณีฉุกเฉินที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกเกินกว่าที่ออกแบบแล้วถ้าจะต้องพังหรือวิบัติ จะต้องการให้เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัด เนื่องจากเป็นแบบเหนียวและมีการเตือนก่อนการวิบัติ ผู้ใช้อาคารหนีได้ทัน การเตือนได้แก่ การแตกร้าว การแอ่นตัวที่ผิดปกติ แต่ยังไม่วิบัติ

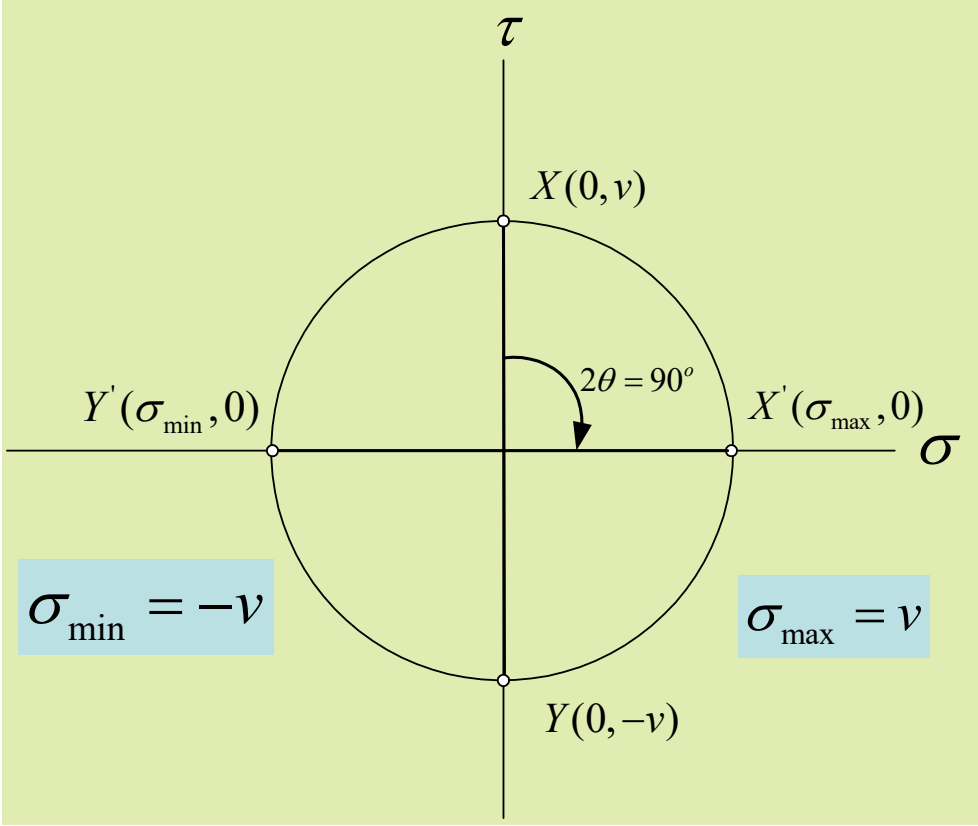
การวิบัติโดยแรงเฉือนเป็นแบบเปราะและไม่มีการเตือน ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้หน้าตัดสามารถต้านแรงเฉือนได้อย่างเพียงพอ โดยการเสริมเหล็กปลอก หรือกำหนดให้หน้าตัดคานใหญ่ขึ้นหรือความลึกมากขึ้นเป็นต้น

ในคานคอนกรีตคานจะไม่วิบัติโดยแรงเฉือนโดยตรงแต่จะเกิดการวิบัติโดยการแตกร้าวในแนวทะแยง (Diagonal tension crack) เนื่องจาก Principle tensile stress

การแตกร้าวในแนวทแยง (Diagonal tension crack) เนื่องจาก Principle tensile stress คอนกรีตแตกเนื่องจากรับแรงดึงได้น้อยมาก



คานไม้จะทนแรงดึงในแนวทแยงได้ดีแต่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนได้น้อย จึงเกิดการ Slip ในแนวนอนตามแนวเสี้ยนไม้ซึ่งรับแรงเฉือนได้น้อยกว่าแนวตั้งฉากหรือขวางเสี้ยน

# การ Slip ในแนวนอนตามแนวเสี้ยนไม้เนื่องจากแรงเฉือนในแนวนอน

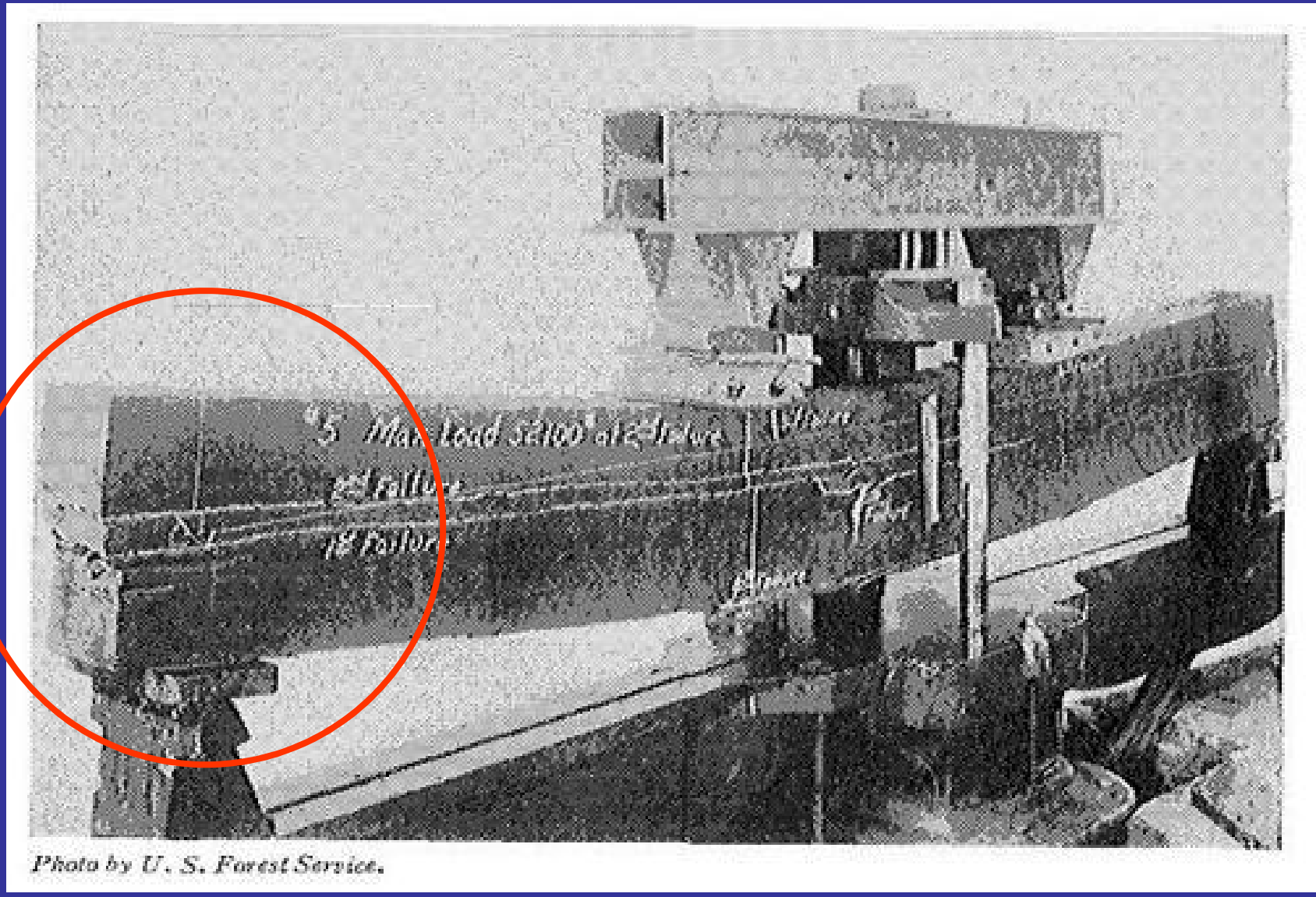
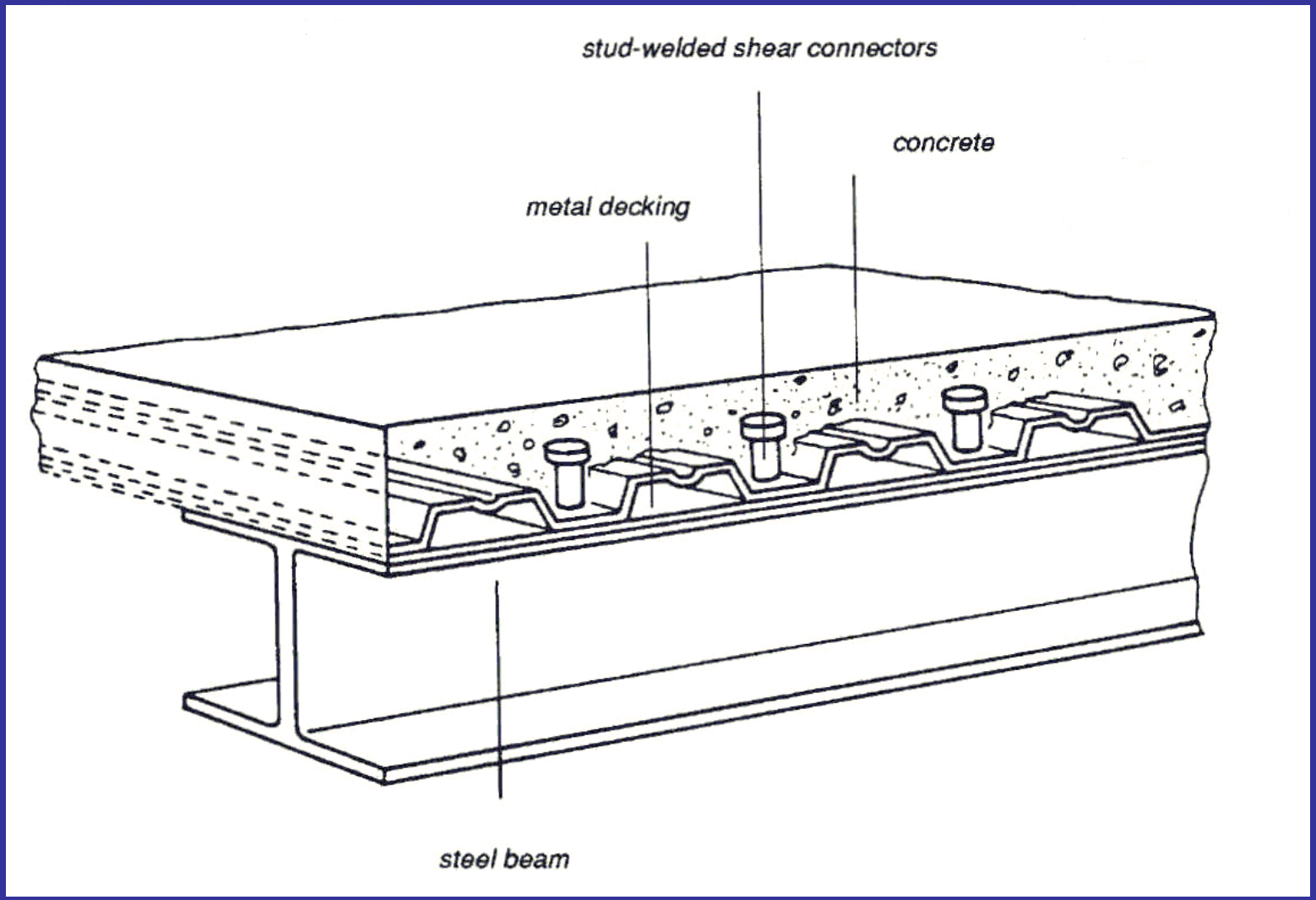


*Photo by U. S. Forest Service.*

พื้น Composite ระหว่างแผ่นเหล็กลอนกับคอนกรีตจะต้องออกแบบให้ต้านแรงเฉือนในแนวนอนระหว่างผิวสัมผัสให้เพียงพอ เพื่อให้วัสดุทั้งสองชนิดทำงานร่วมกัน (Composite action)



ในคานเหล็กรูปพรรณต้องใช้วัสดุให้ประหยัดที่สุดคานจึงบาง การต้านหน่วยแรงดึงทแยงเนื่องจากแรงเฉือนจะไม่มีปัญหาเท่ากับ การต้านหน่วยแรงอัดในแนวทแยง ในทิศตั้งฉากกับแรงดึงทแยง ที่เกิดจากแรงเฉือน อาจทำให้คานพังด้วยการโก่งของ web (web buckling) ในกรณี Plate girder อาจต้องมีการเสริม Stiffener เพื่อเพิ่มกำลังต้านแรงเฉือนของคาน

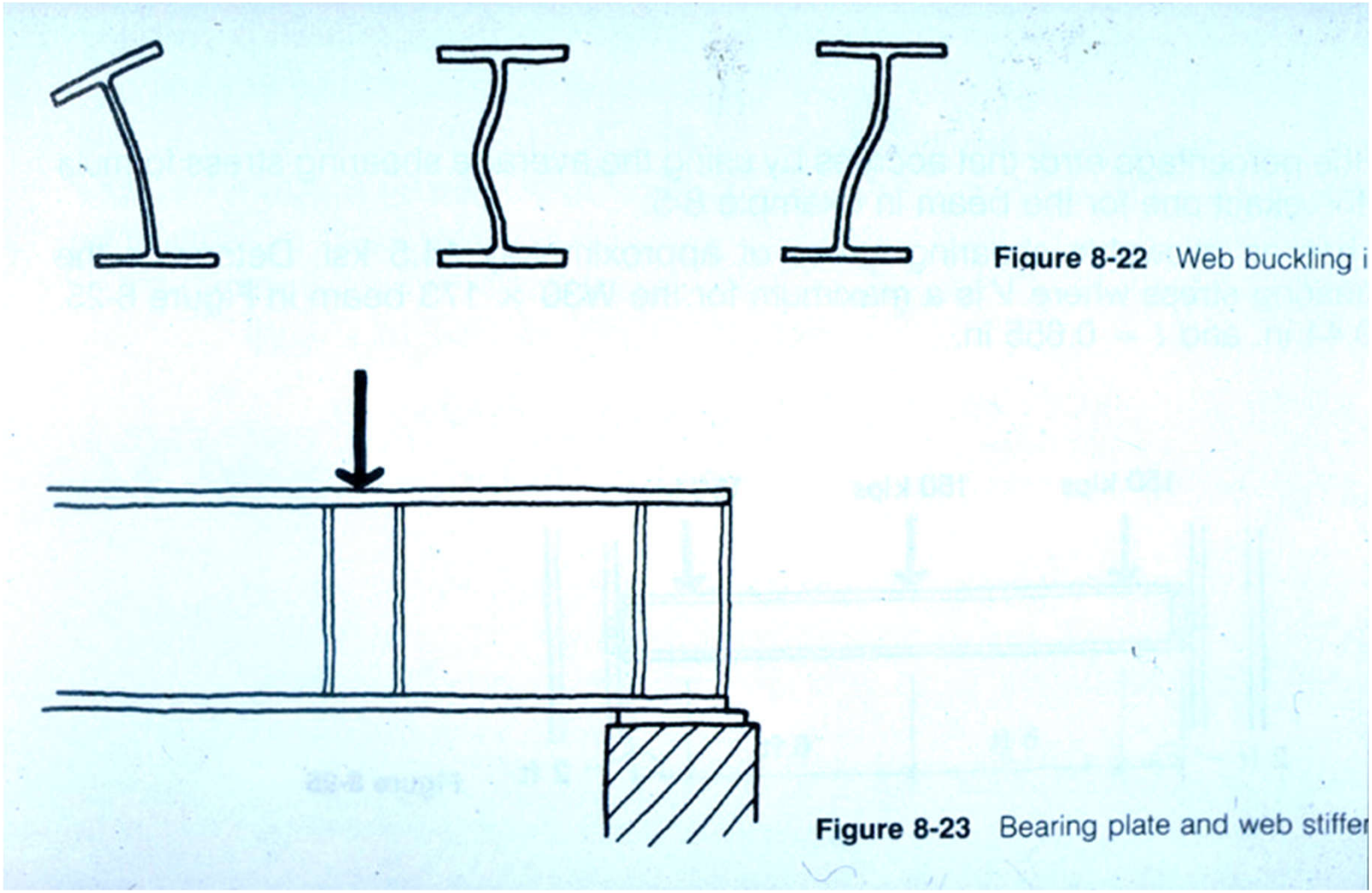
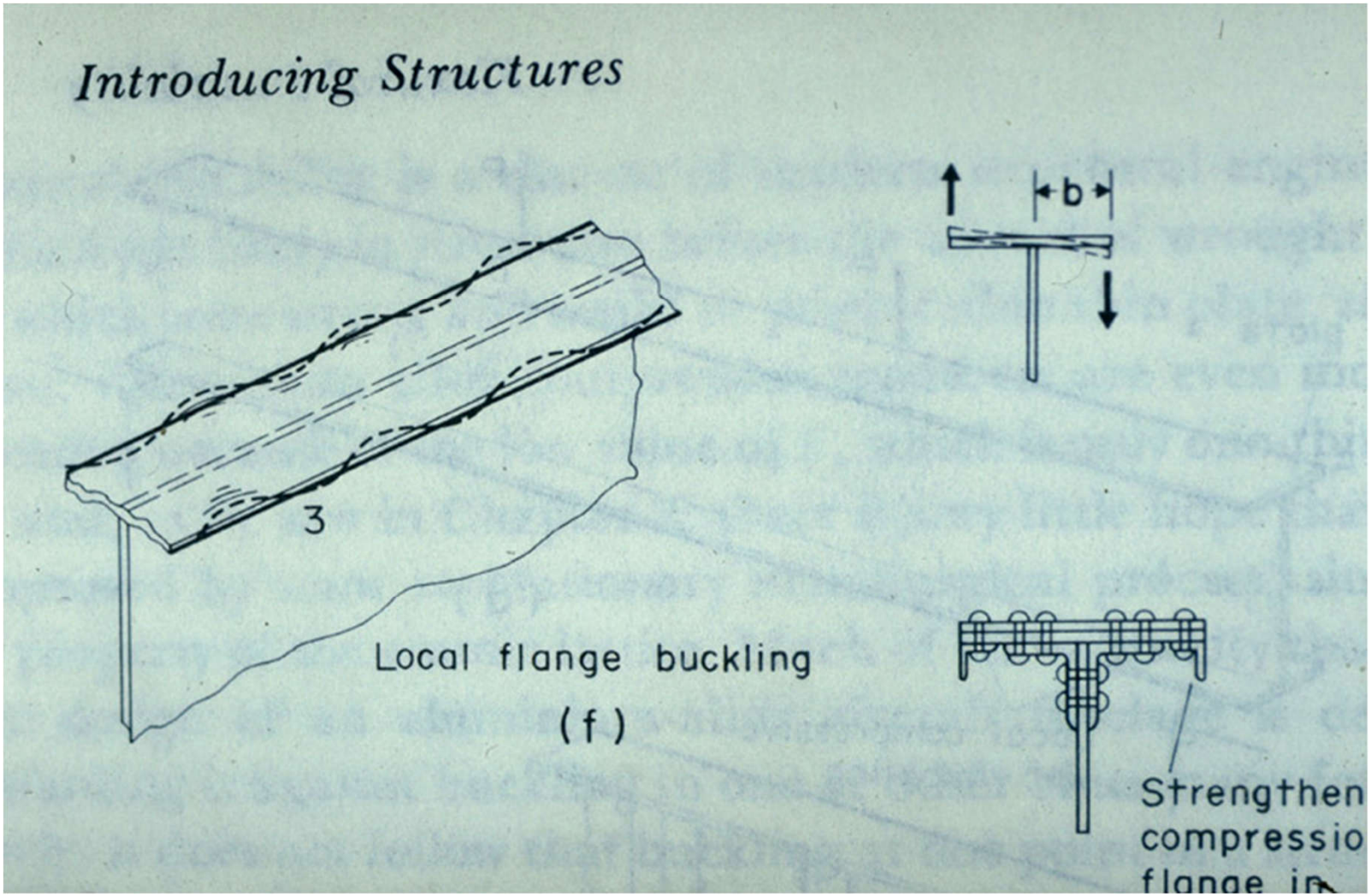


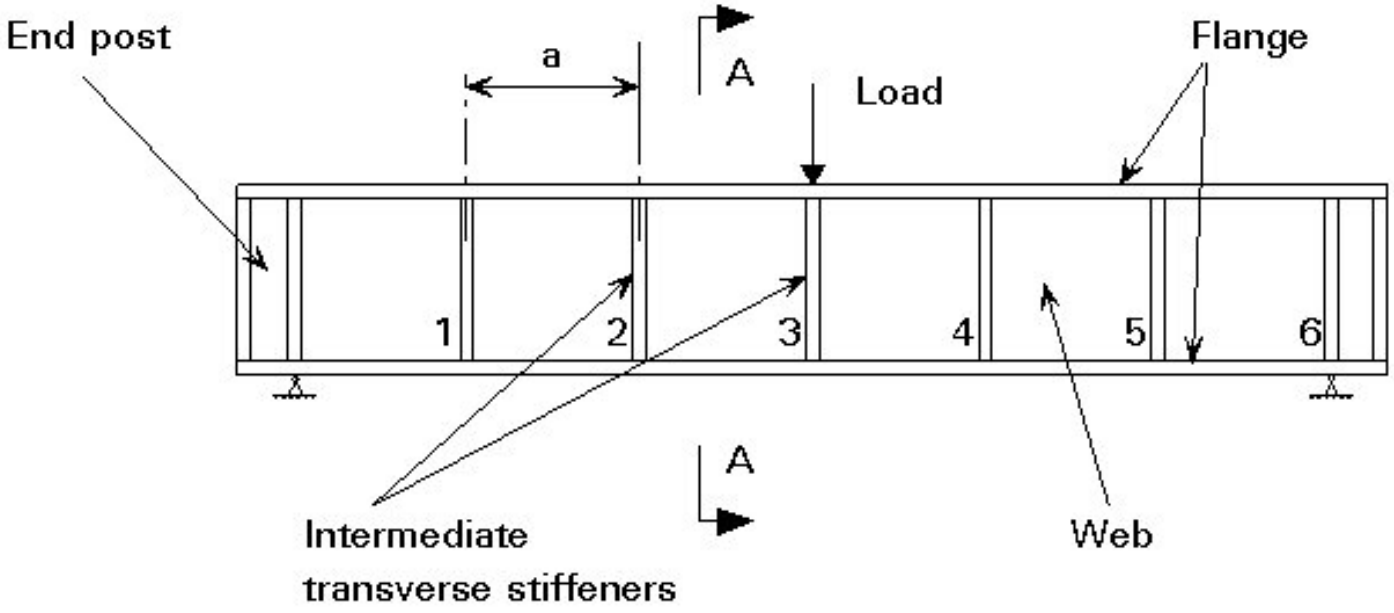
Figure 8-22 Web buckling i

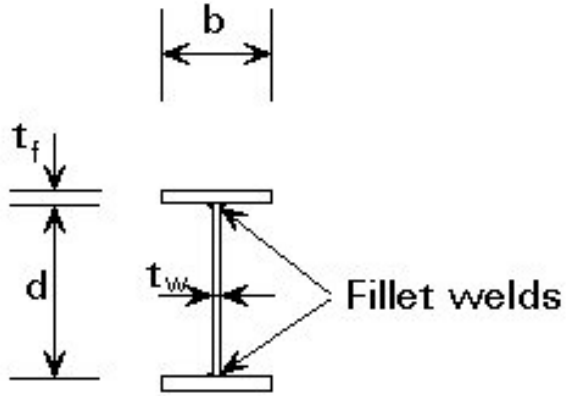
Figure 8-23 Bearing plate and web stiffe

คานเหล็กประกอบ (Plate girder) ต้องออกแบบให้ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเหล็กมีกำลังต้านแรงเฉือนในแนวนอนที่เพียงพอ เพื่อให้เกิด Composite action



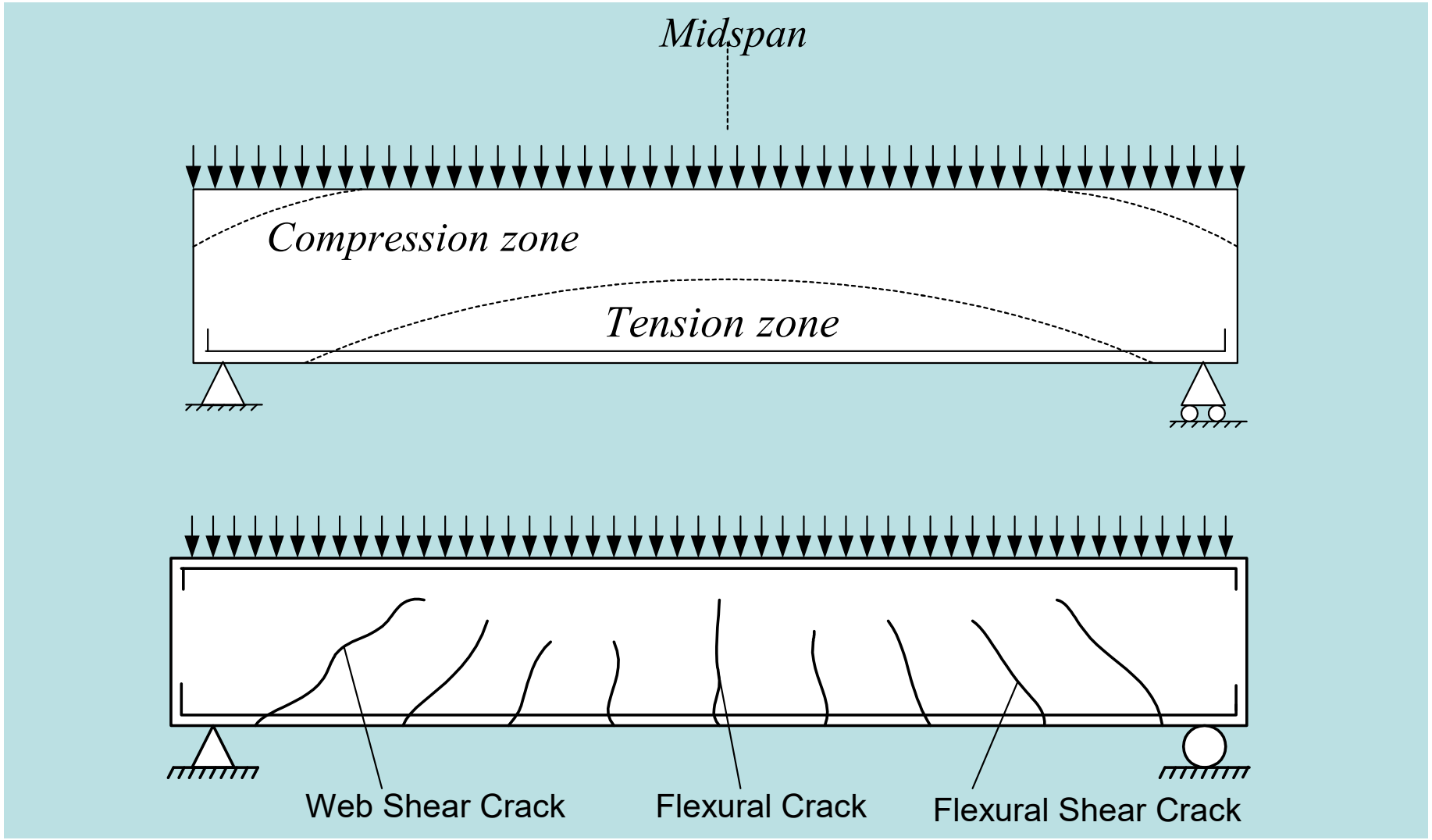
การเสริม Stiffener เพื่อเพิ่มกำลังต้านแรงเฉือนของคานเหล็กประกอบ (Plate girder)



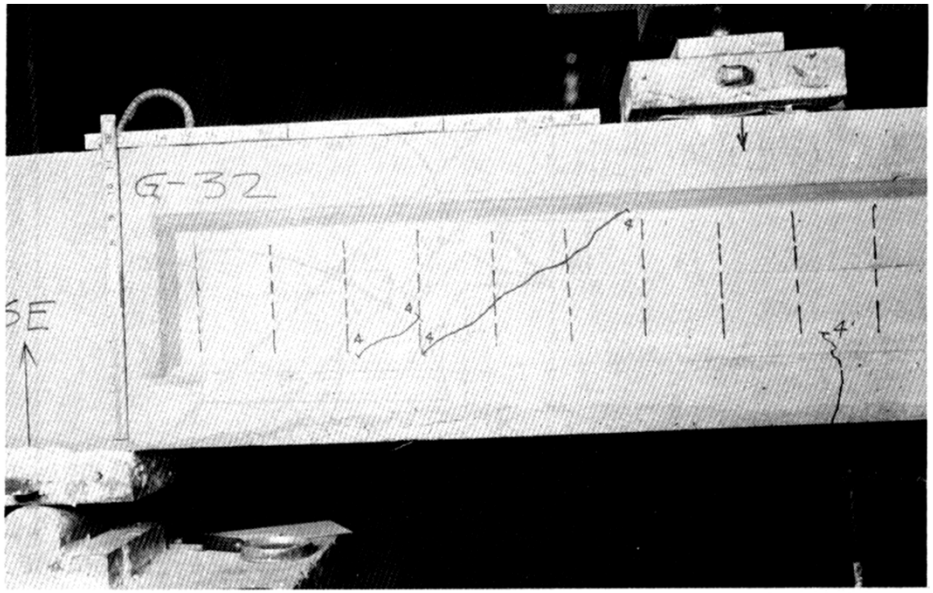

A - A

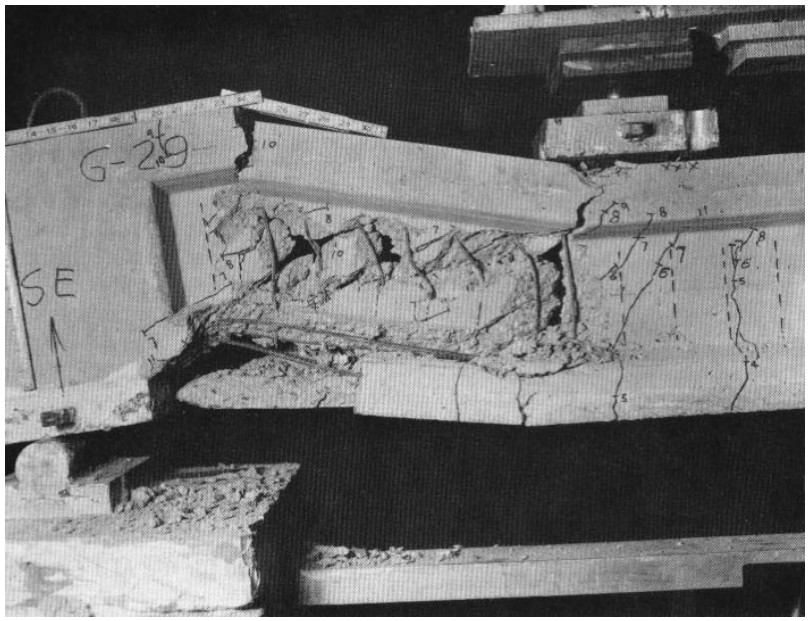
การแตกร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับน้ำหนักเกินกว่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน



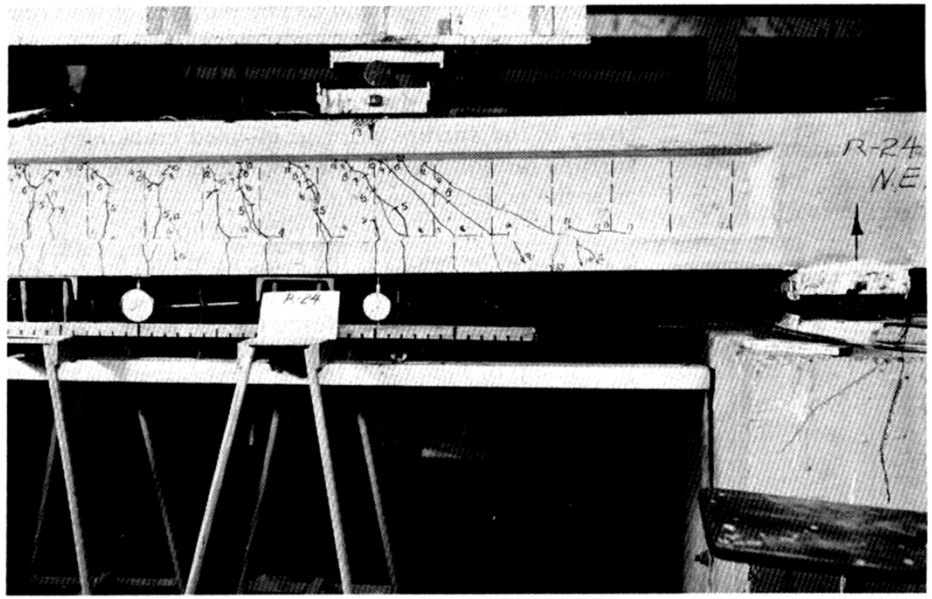
คานที่เสริมเหล็กปลอกไม่เพียงพอหรือไม่มีการเสริมเหล็กปลอก จะเกิดการวิบัติโดยแรงเฉือน แทนที่จะวิบัติโดยโมเมนต์ดัด การแอ่นตัวและรอยแตกร้าวน้อย ภายหลังเกิดแรงดึงและแตกร้าวในแนวทแยงจะวิบัติแบบไม่มีการเตือน

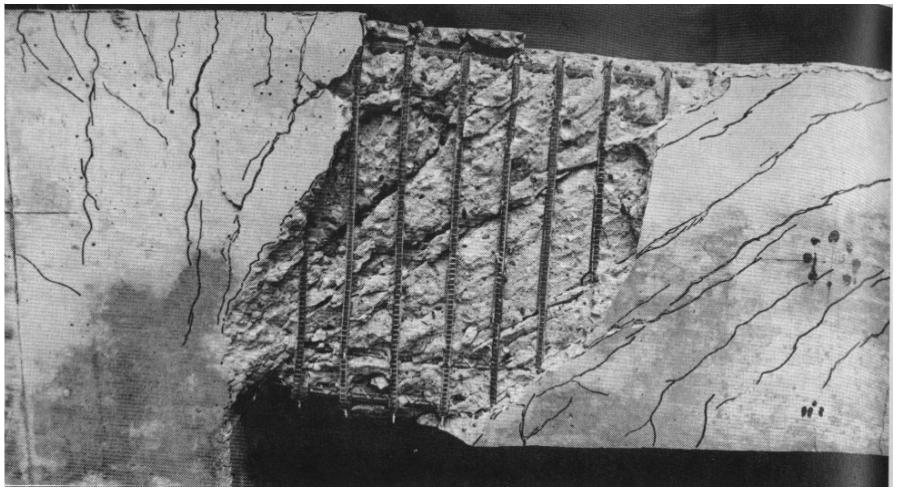
# เหล็กปลอกจะควบคุมและต้านแรงดึงในแนวทแยง



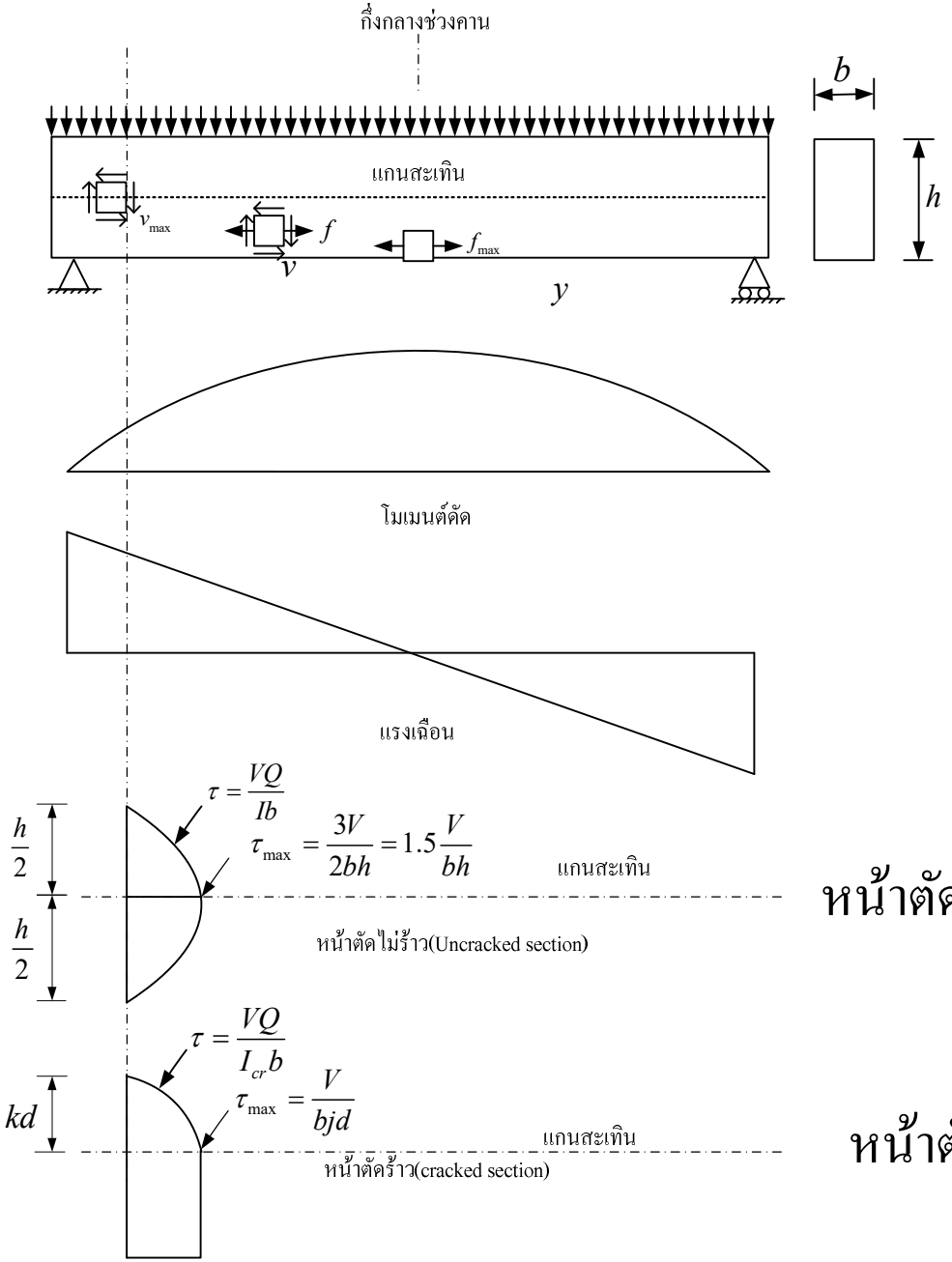




(a) Web-shear crack.



(b) Flexure-shear cracks.




การกระจายหน่วยแรงเฉือนบนหน้าตัดคานที่หน้าตัดวิกฤติ กรณีหน้าตัดแตกร้าวและไม่ร้าว

หน้าตัดไม่ร้าว

หน้าตัดร้าว

# การออกแบบคานเพื่อต้านแรงเฉือน

- หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือนคือ ระยะ d วัดจากขอบเสา
- หน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่แกนสะเทิน

$$v = \frac{V}{bjd}$$

- มาตรฐาน ACI หรือ วสท . ให้ใช้ค่า Nominal ในการคำนวณหน่วยแรงเฉือนแทนเพื่อความสะดวก

$$v = \frac{V}{bd}$$

แรงเฉือนที่หน้าตัดคานคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอกจะต้านได้โดยปลอดภัย

- กำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอกในการออกแบบโดยวิธีกำลังหมายถึงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดวิกฤติ (ระยะ d วัดจากขอบเสา) แล้วทำให้เกิดการแตกร้าวในแนวทแยง

$$V_{cu} = 0.53\sqrt{f_c'}bd$$

- แรงเฉือนปลอดภัยต่อการแตกร้าวในแนวทแยงของหน้าตัดที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอกที่หน้าตัดวิกฤติในการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

$$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}bd$$

ถ้าแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤติมีค่าน้อยกว่าแรงเฉือนที่หน้าตัดคอนกรีต ที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอกจะต้านทานได้โดยปลอดภัยก็ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กปลอกตามทฤษฎี

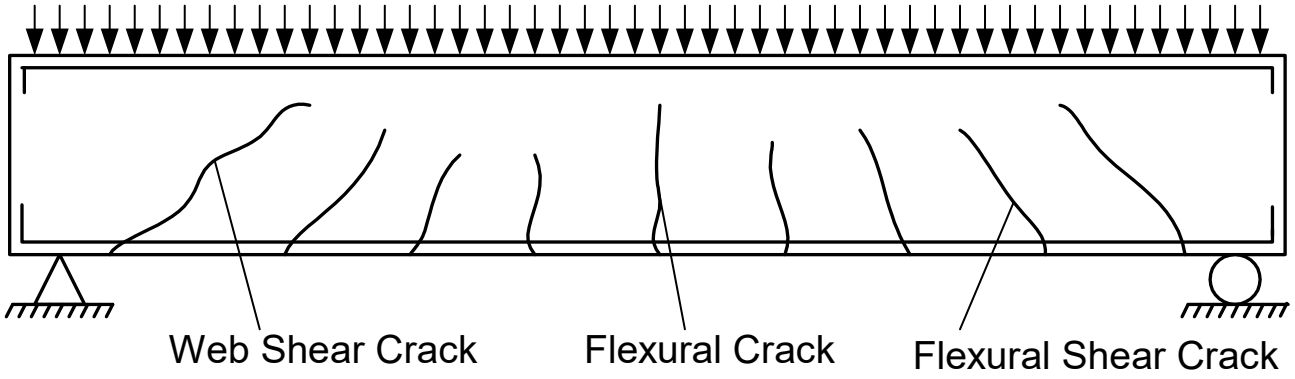
แต่มาตรฐานการออกแบบได้กำหนดให้มีการเสริมเหล็กปลอกเป็นเท่ากับค่า Minimum

$$A_{v\min} = 0.0015bS$$

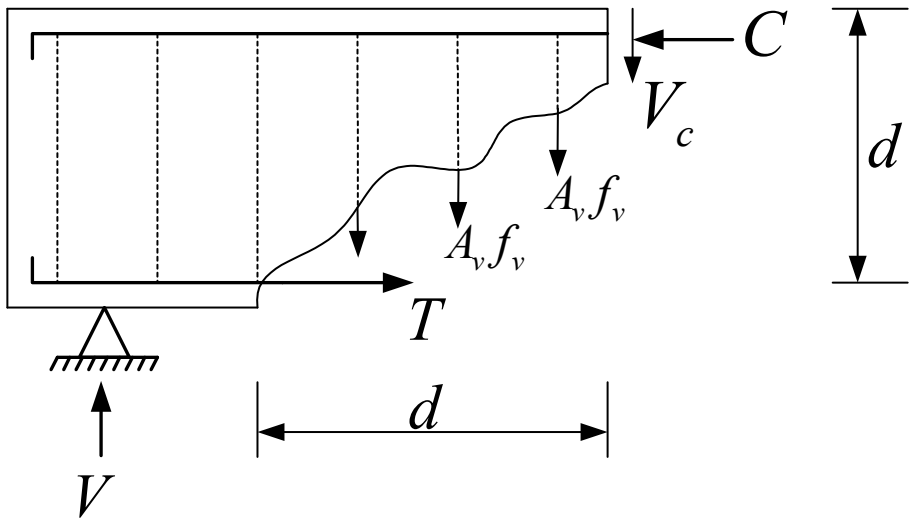
b = ความกว้างของคาน

S= Spacing (ระยะเรียง) ของเหล็กปลอก

ในกรณีที่แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤติเกินกว่าแรงเฉือนที่หน้าตัดที่ไม่เสริมเหล็กปลอกจะต้านทานได้โดยปลอดภัยจะต้องออกแบบให้มีการเสริมเหล็กปลอกดังนี้




TRUSS MODEL



$v = \frac{V}{bd}$ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (Nominal shear stress)

$v_c = 0.29\sqrt{f_c'}$ หน่วยแรงเฉือนที่หน้าตัดคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กปลอกจะต้านได้โดยปลอดภัย

$V_c = v_c bd$ แรงเฉือนที่หน้าตัดคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กปลอกจะต้านได้โดยปลอดภัย

$V_s = \frac{d}{s} A_v f_v$ แรงเฉือนปลอดภัยที่ต้านโดยเหล็กปลอก

กรณีที่ $V > V_c$ : $V = V_c + V_s = V_c + \frac{d}{s} A_v f_v$ (สมดุลของแรงในแนวดิ่ง)

$$V - V_c = \frac{d}{s} A_v f_v$$

$$s = \frac{A_v f_v d}{V - V_c}$$

$$s = \frac{A_v f_v d}{V - V_c}$$

$A_v =$ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกซม$^2$

$f_v =$ หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กปลอก กก./ซม$^2$

$d =$ ความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด ซม.

$V =$ แรงเฉือนที่ระยะ d จากขอบเสา ซม.

$V_c =$ แรงเฉือนที่ต้านได้โดยคอนกรีต( โดยไม่เสริมเหล็กปลอก)

$$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}bd$$

โดยทั่วไปจะเลือกขนาดของเหล็กปลอกแล้วคำนวณว่าจะต้องใช้ระยะเรียง S เท่าใด โดยระยะ S ต้องไม่เกินกว่า d/2

# ข้อกำหนดเพิ่มเติมที่สำคัญ

แม้ว่าในการตรวจสอบแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤติ ที่ระยะ d วัดจากขอบเสา จะน้อยกว่า $V_c = 0.29\sqrt{f_c'}bd$

แต่มาตรฐานการออกแบบ วสท. ให้เสริมเท่ากับปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด เท่ากับ

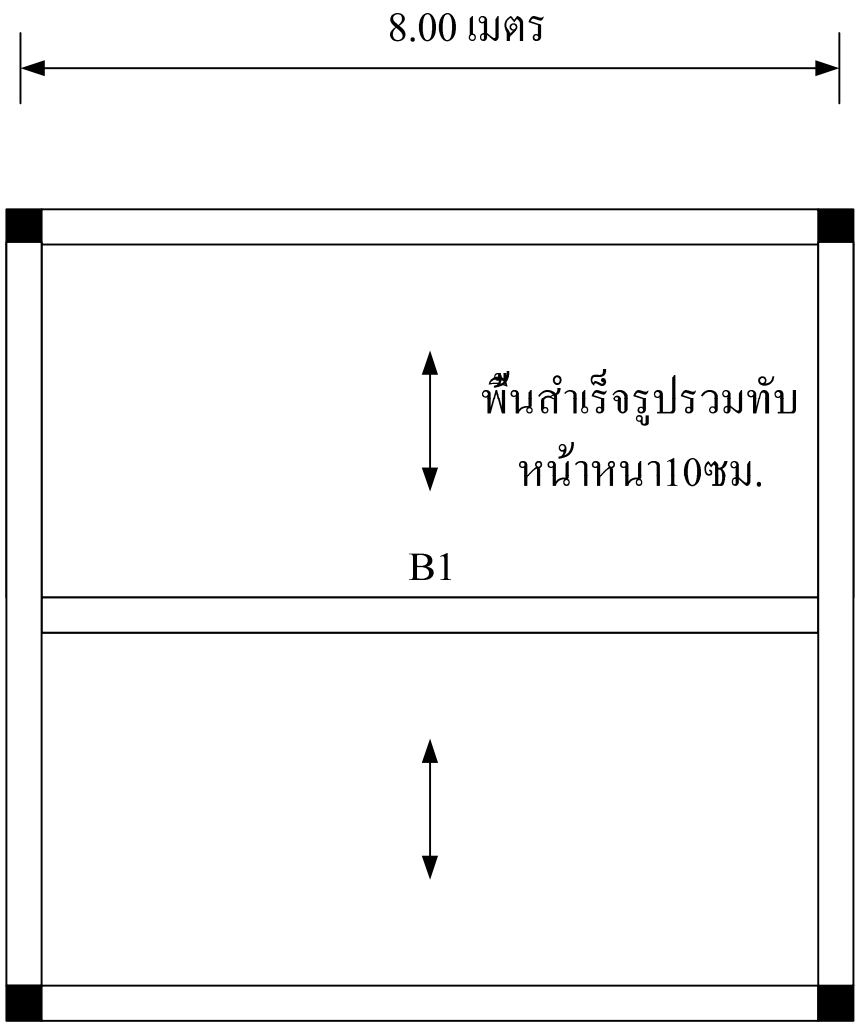
$A_v = 0.0015bs$

$b =$ ความกว้างของคาน ซม.

$s =$ ระยะเรียงของเหล็กปลอก ซม. ต้องไม่เกิน d/2

แรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดแม้ว่าจะมีการเสริมเหล็กปลอกแล้วก็ตามต้องไม่เกินกว่า $V < 1.32\sqrt{f_c'}bd$

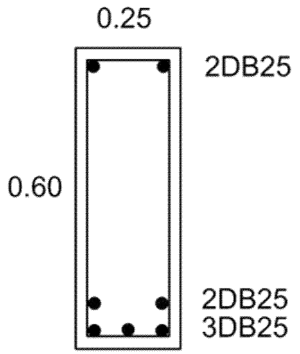
ตัวอย่าง ให้ออกแบบเหล็กปลอกคาน B1 ที่ออกแบบรับโมเมนต์ดัดในตัวอย่างที่2 (Doubly reinforced section)



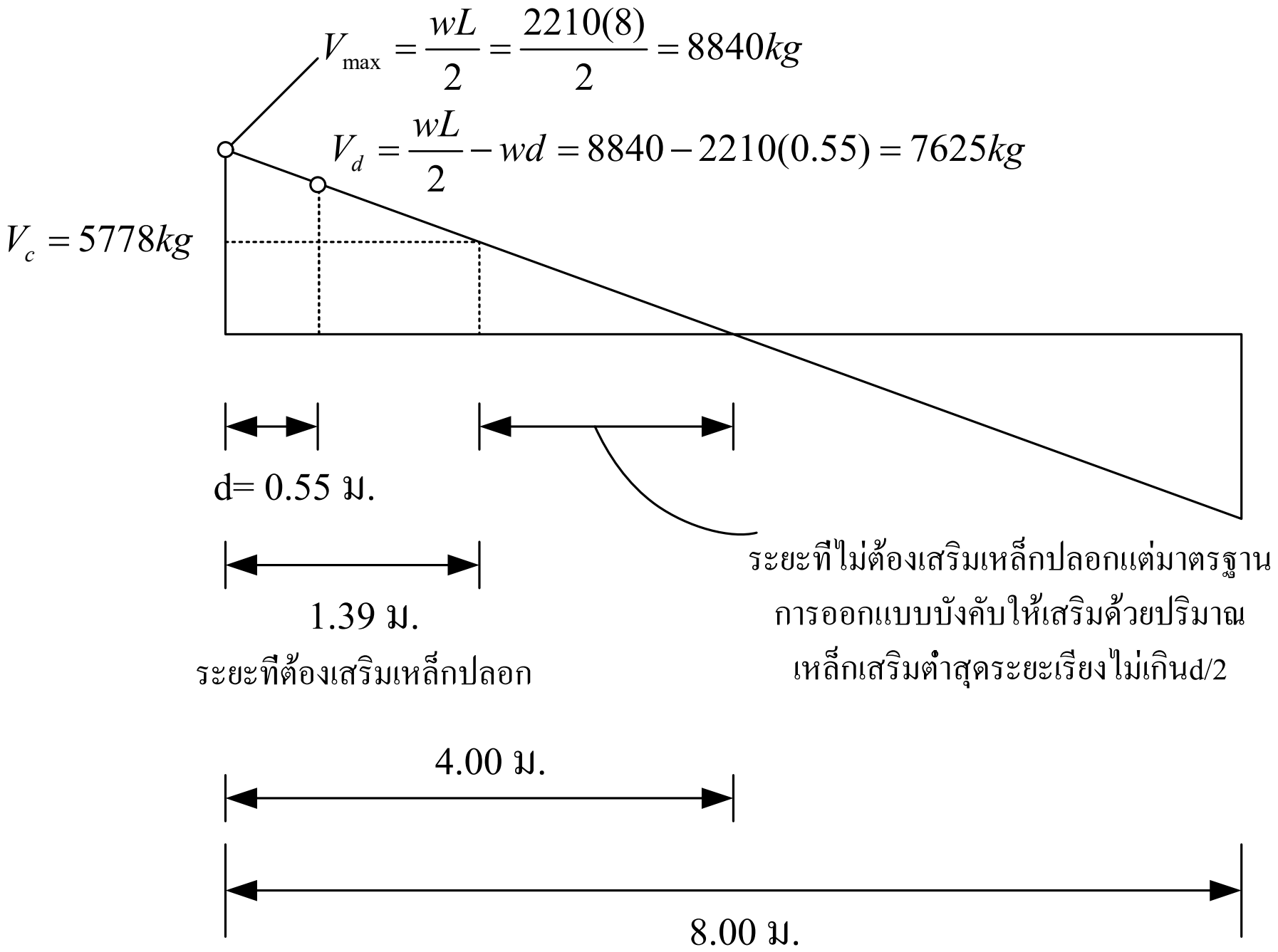

กำหนดให้

$$f_c' = 210\ ksc$$

$$f_y = 3000\ ksc$$




รายละเอียดการเสริมเหล็ก
(ยังไม่ได้ออกแบบเหล็กปลอก)


$V_{max} = \frac{wL}{2} = \frac{2210(8)}{2} = 8840kg$
$V_d = \frac{wL}{2} - wd = 8840 - 2210(0.55) = 7625kg$
$V_c = 5778kg$
d= 0.55 ม.
1.39 ม.
ระยะทีต้องเสริมเหล็กปลอก
ระยะทีไม่ต้องเสริมเหล็กปลอกแต่มาตรฐาน
การออกแบบบังคับให้เสริมด้วยปริมาณ
เหล็กเสริมต่ำสุดระยะเรียงไม่เกินd/2
4.00 ม.
8.00 ม.

$$V_{\max} = \frac{wL}{2} = \frac{2210(8)}{2} = 8840kg$$

$$V_d = \frac{wL}{2} - wd = 8840 - 2210(0.55) = 7625kg$$

$$< 1.32\sqrt{f_c'}bd = 1.32\sqrt{210}(25)(55) = 26,301kg \quad OK$$

$$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}bd = 0.29\sqrt{210}(25)(55) = 5778kg$$

$$V_d > V_c$$

$$s = \frac{A_v f_v d}{V_d - V_c}$$

สมมติใช้เหล็กปลอกเป็นเหล็กเส้นกลม $SR24\ \phi 6mm$ จะได้เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปลอก

$$A_v = 2(0.282) = 0.564cm^2$$

หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กปลอก

$$f_v = 0.5(2400) = 1200\frac{kg}{cm^2}$$

$$V_d - V_c = 7625 - 5778 = 1847\ kg$$

$$s = \frac{A_v f_v d}{V_d - V_c} = \frac{0.564(1200)(55)}{1847} = 20.15cm$$

ใช้ $20cm$

ปริมาณเหล็กปลอกต่ำสุด

$$A_{v\min} = 0.0015(b)(s) = 0.0015(25)(20) = 0.75cm^2 > 0.564cm^2$$

ใช้เหล็กปลอก $\phi 9mm$

$$A_v = 2(0.636) = 1.27cm^2$$

$$s = \frac{A_v f_v d}{V - V_c} = \frac{1.27(1200)(55)}{1847} = 45.38cm$$

ระยะเรียงสูงสุดจะต้องไม่เกินกว่า

$$s = \frac{d}{2} = \frac{55}{2} = 27.5cm$$

เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปลอกเท่ากับ

$$A_v = 2(0.636) = 1.27cm^2$$

$A_{v\min} = 0.0015(25)(27.5) = 1.03cm^2$ ซึ่งน้อยกว่า $1.27cm^2$

แสดงว่าเหล็กเสริม $\phi$ 9 mm ระยะเรียง 27.5 cm มีเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กปลอกมากกว่าปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดที่ยอมให้

สมมติใช้เหล็กกลมSR24เป็นเหล็กปลอก

$$SR24 \quad \phi 6mm, \quad A_v = 2(0.282) = 0.564cm^2 \quad ,$$

$$f_v = 0.5(2400) = 1200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$V_d - V_c = 7625 - 5778 = 1847\ kg$$

$$s = \frac{A_v f_v d}{V_d - V_c} = \frac{0.564(1200)(55)}{1847} = 20.15cm$$

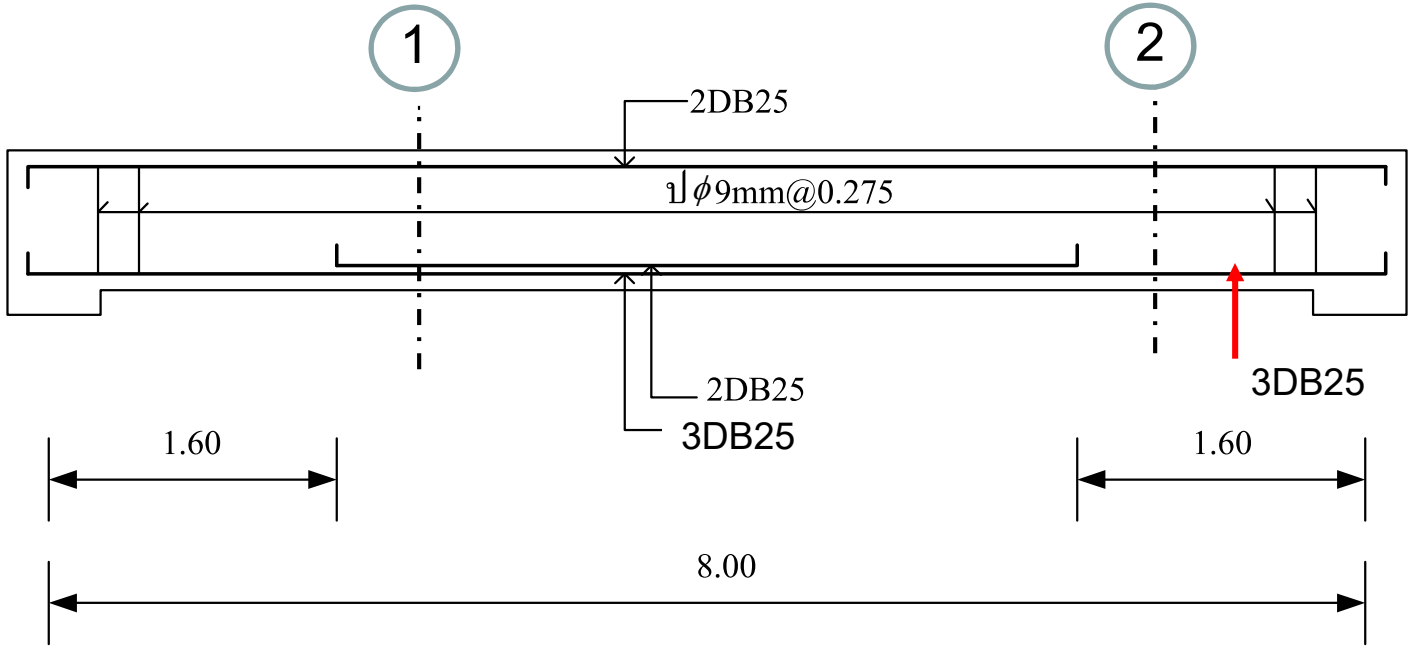
$$Use\ 20cm$$

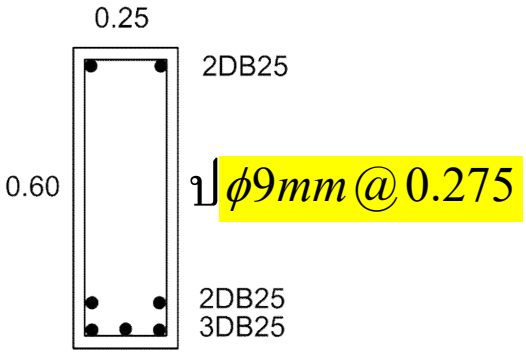
$$A_{v\min} = 0.0015(b)(s) = 0.0015(25)(20) = 0.75cm^2 > 0.564cm^2$$

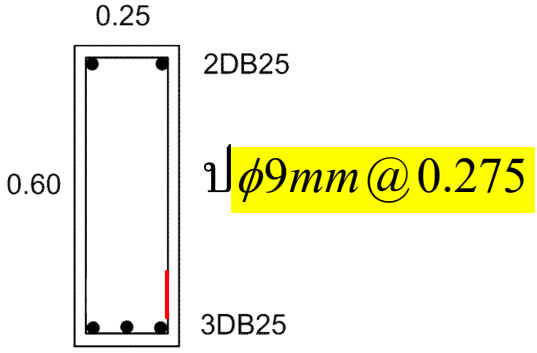
$$Use\ \phi 9mm \qquad s = \frac{d}{2} = \frac{55}{2} = 27.5cm \quad A_v = 2(0.636) = 1.27cm^2$$

$$A_{v\min} = 0.0015(25)(27.5) = 1.03cm^2 < 1.27cm^2 \quad OK.$$

# รายละเอียดการเสริมเหล็กคาน B1




Section1-1

Section2-2