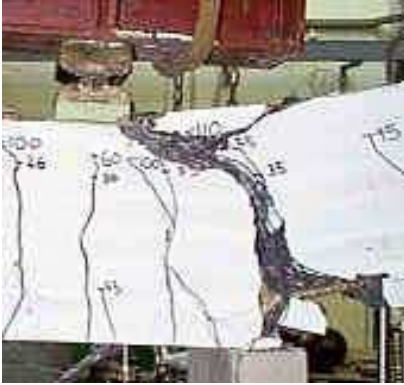


# 8

## Reinforced Concrete Design

### Shear in Beams 1



- Shear Failure
- Shear Strength of Concrete Section
- Design for Shear (WSD)
- Design for Shear (SDM)

Mongkol JIRAVACHARADET

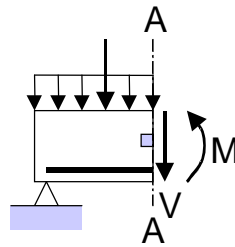
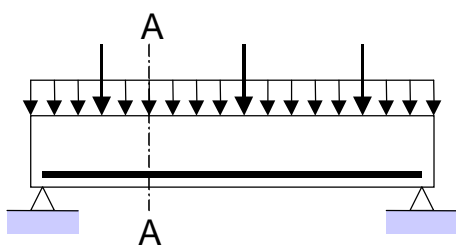
SURANAREE

INSTITUTE OF ENGINEERING

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

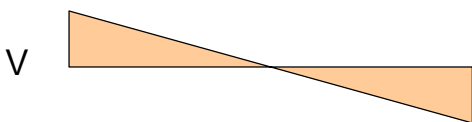
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

## Shear and Diagonal Tension

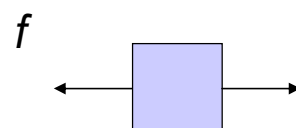
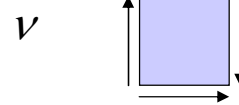
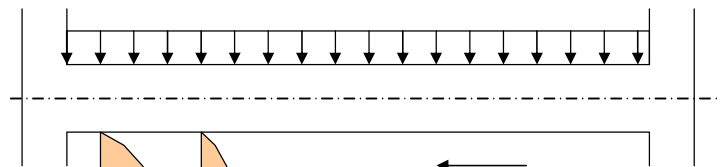
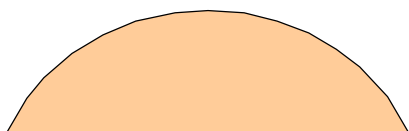


Shear stress  $v = \frac{VQ}{It}$

Bending stress  $f = \frac{Mc}{I}$

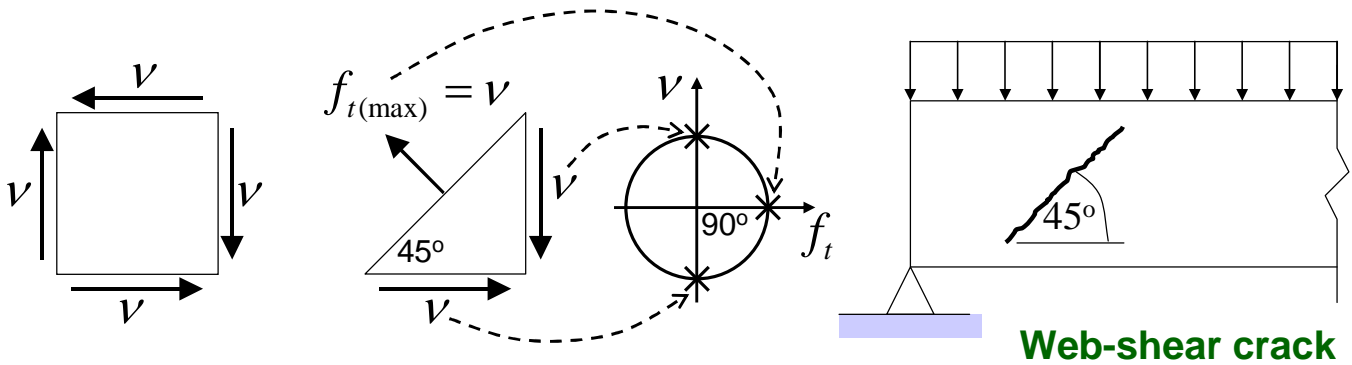


M



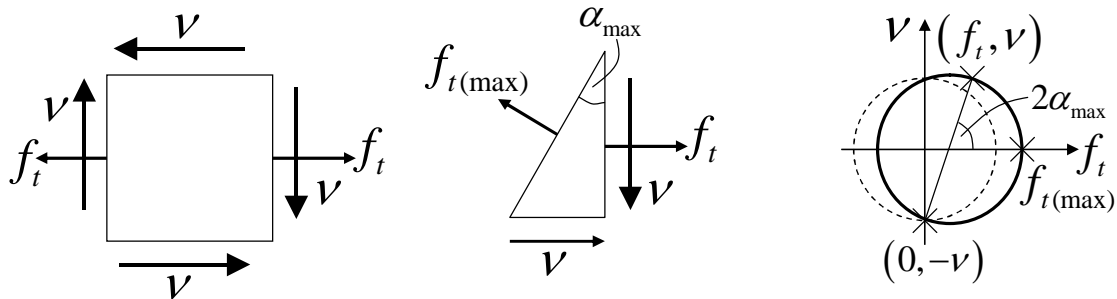
# Shear Flexure Effects

## Pure shear at neutral axis:

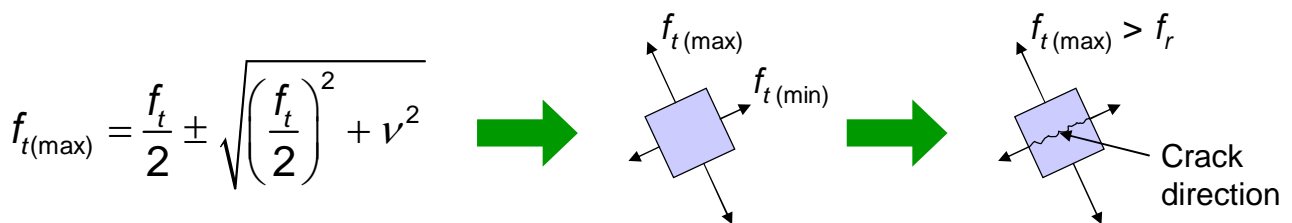


## Below neutral axis:

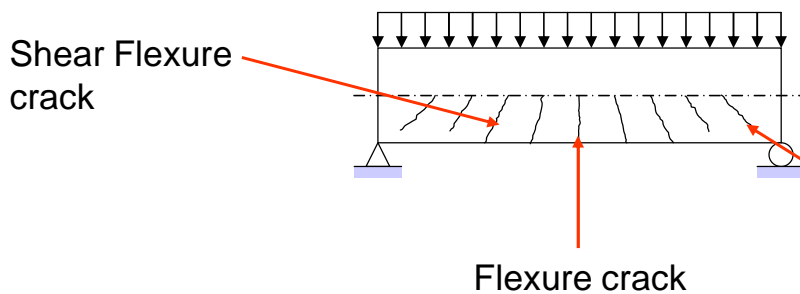
Combination of shear stress and tensile stress

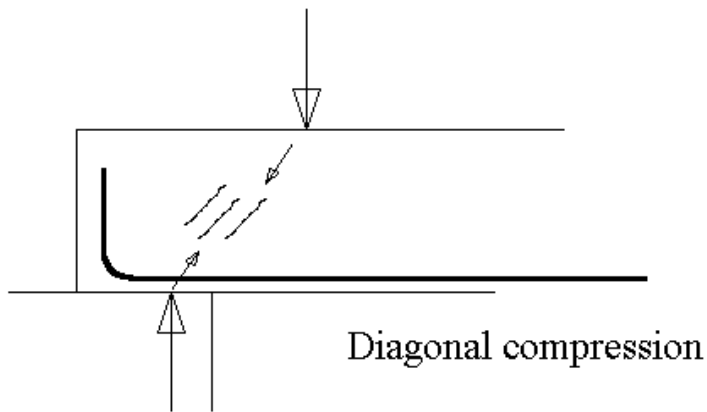
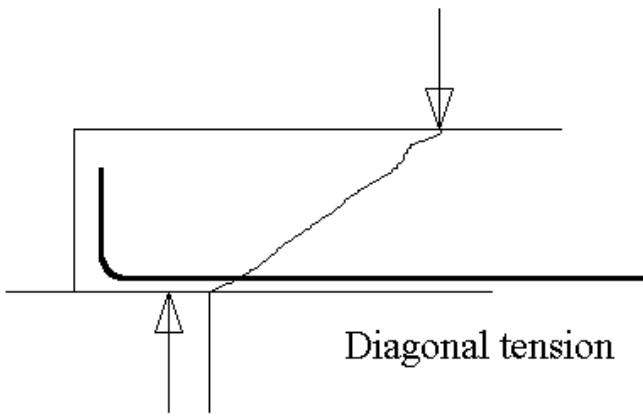


## Principal stress:

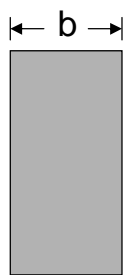


## Typical cracking due to principal tension





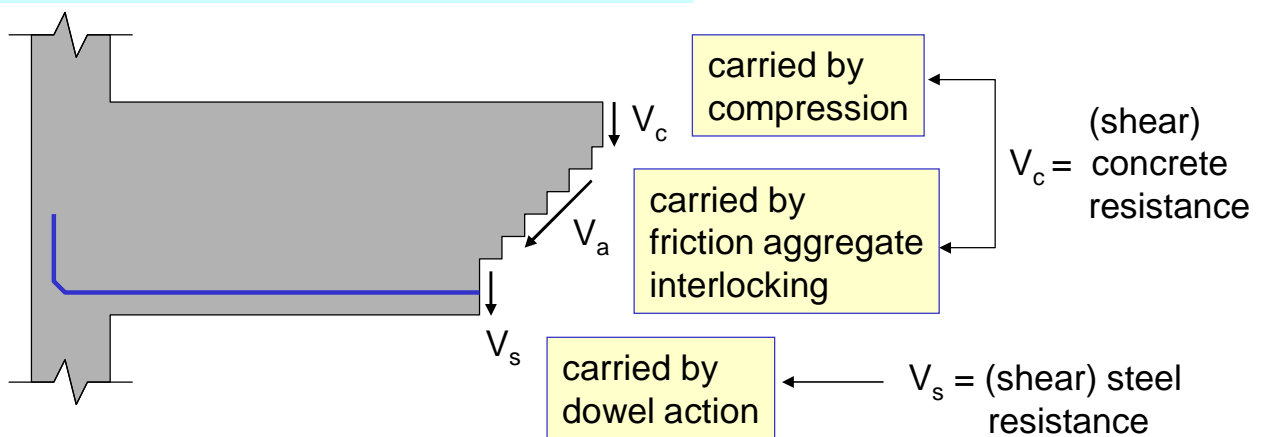
## Shear Stresses



shear stress distribution

$$v_{\max} = \frac{VQ_{\max}}{bl} \xrightarrow{\text{approximate}} v = \frac{V}{bd}$$

## Shear Capacity Mechanism

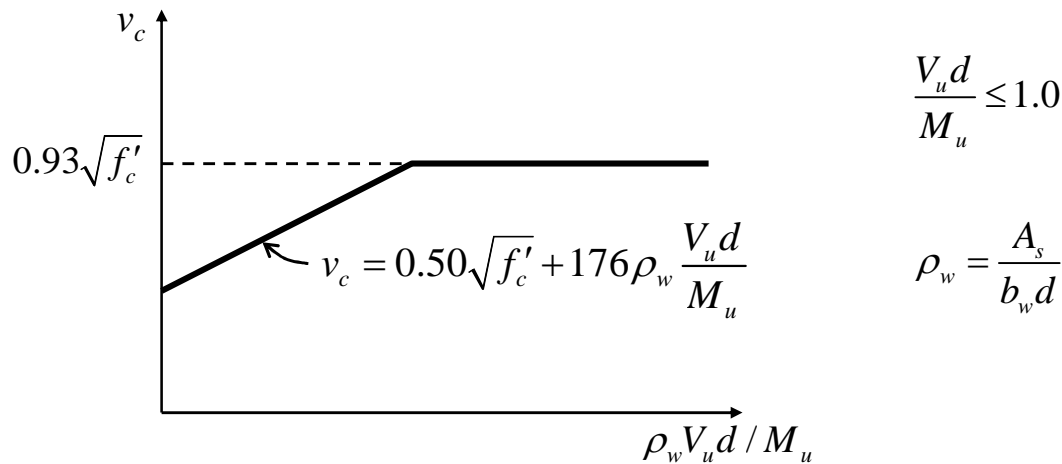


**Total resistance = Concrete + Steel resistance**

## Shear Strength of Concrete

Shear strength:  $v_c = \frac{V_c}{b_w d}$

from experiment  $v_c = 0.50\sqrt{f'_c} + 176\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \leq 0.93\sqrt{f'_c}$  kg/cm<sup>2</sup>



## Design for Shear (WSD)

Shear strength of concrete

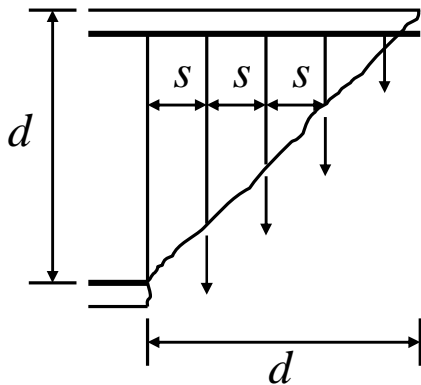
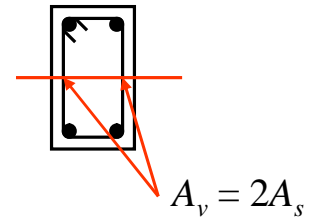
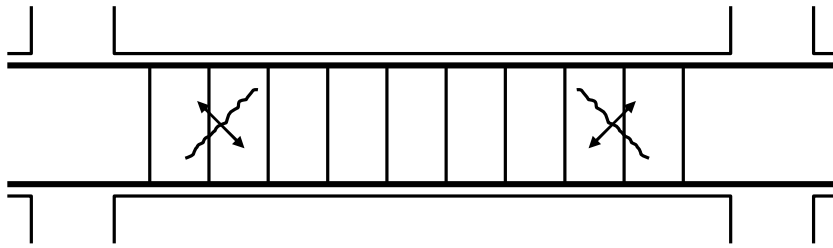
$$V_c = \left( 0.265\sqrt{f'_c} + 91.4 \frac{\rho V d}{M} \right) b d \leq 0.464\sqrt{f'_c} b d$$

Simple formula:  $V_c = 0.29\sqrt{f'_c} b d$

Shear strength from concrete & steel:  $V = V_c + V_s$

Required shear strength from steel:  $V_s = V - V_c$

# Shear Strength Provided by Stirrup



Number of stirrup  $n = d / s$

Shear strength provided by stirrup

$$V_s = A_v f_s n = \frac{A_v f_s d}{s}$$

## Shear Design Requirements

WSD

Max. shear strength:  $V_{\max} = 1.32\sqrt{f'_c} b d$

Max. stirrup spacing:  $s_{\max} \leq d / 2 \leq 60 \text{ cm}$

If  $V > 0.795\sqrt{f'_c} b d \rightarrow s_{\max} \leq d / 4 \leq 30 \text{ cm}$

Minimum stirrup:  $\min A_v = 0.0015 b s$

or  $s_{\max} = \frac{A_v}{0.0015 b}$

# ขั้นตอนการออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

WSD

**Step 1** คำนวณแรงเฉือน  $V$  ที่หน้าตัดวิกฤตที่ระยะ  $d$  จากผิวจุดรองรับ

**Step 2** คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต  $V_c = 0.29\sqrt{f'_c}bd$

ถ้า  $V < V_c$  แสดงว่าคอนกรีตมีกำลังเฉือนมากกว่าที่ต้องการ

→ ใช้เหล็กปลอกน้อยที่สุด(ระยะห่างมากที่สุด)

→ ลดขนาดหน้าตัด

**Step 3** คำนวณกำลังเฉือนมากที่สุด  $V_{max} = 1.32\sqrt{f'_c}bd$

ถ้า  $V > V_{max}$  แสดงว่าหน้าตัดมีขนาดไม่เพียงพอ → เพิ่มขนาดหน้าตัด

**Step 4** คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก  $V_s = V - V_c$

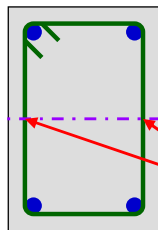
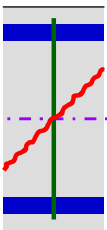
ระยะห่างเหล็กปลอก  $s = \frac{A_v f_v d}{V_s}$

**Step 5** ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด  $s_{max} = \frac{A_v}{0.0015b}$

ถ้า  $V \leq 0.795\sqrt{f'_c}bd \rightarrow s_{max} = d/2 \leq 60 \text{ cm}$

ถ้า  $0.795\sqrt{f'_c}bd < V \leq 1.32\sqrt{f'_c}bd \rightarrow s_{max} = d/4 \leq 30 \text{ cm}$

WSD



single closed loop stirrup has 2 legs

(ปลอกเดี่ยวมีสองขา)

$A_v = 2 A_s$  : พื้นที่เหล็กปลอกในระนาบเฉือน

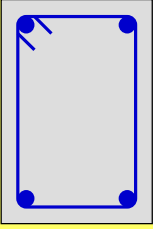
$f_v$  : หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กปลอก

SR24 :  $f_v = 1,200 \text{ ksc}$

SD30 :  $f_v = 1,500 \text{ ksc}$

SD40 :  $f_v = 1,700 \text{ ksc}$

## Example 1 : Shear design by WSD



$$b = 30 \text{ cm}, d = 45 \text{ cm}$$

$$f'_c = 240 \text{ ksc}, f_y = 4,000 \text{ ksc}$$

@ critical section  $V = 15 \text{ ton}$

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c} bd$$

$$= 0.29\sqrt{240} \times 30 \times 45 / 1,000$$

$$= 6.07 \text{ ton}$$

$$V_{\max} = 1.32\sqrt{f'_c} bd = 27.61 \text{ ton}$$

$$V_s = V - V_c$$

$$0.795\sqrt{f'_c} bd = 16.63 \text{ ton}$$

$$= 15 - 6.07 = 8.93 \text{ ton}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.57 \times 1.7 \times 45}{8.93} = 13.45 \text{ cm}$$

เนื่องจาก  $V \leq 0.795\sqrt{f'_c} bd \rightarrow s_{\max} = 45/2 = 22.5 \text{ cm} \leq 60 \text{ cm}$

$$s_{\max} = \frac{A_v}{0.0015b} = \frac{1.57}{0.0015 \times 30} = 34.9 \text{ cm}$$

**USE Stirrup DB10 @ 13 cm**

## Design for Shear (SDM)

**SDM**

กำลังเฉือนคอนกรีต :

$$V_c = \left( 0.50\sqrt{f'_c} + 176 \frac{\rho V_u d}{M_u} \right) b d \leq 0.93\sqrt{f'_c} b d$$

**Simple formula:**  $V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b d$

**Shear strength with axial load:**

**Compression:**  $V_c = 0.53 \left( 1 + 0.0071 \frac{N_u}{A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \text{ kg}$

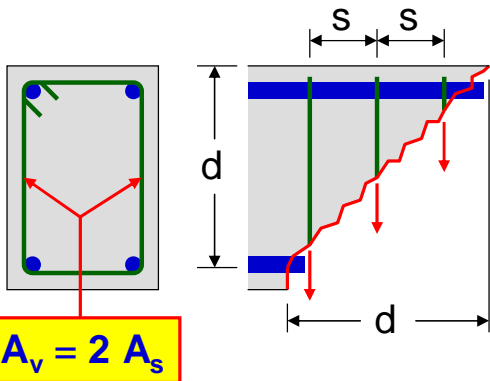
**Tension:**  $V_c = 0.53 \left( 1 + 0.0029 \frac{N_u}{A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \text{ kg}$

# Design for Shear (SDM)

SDM

กำลังเฉือนของคานเสริมเหล็กรับแรงเฉือน :  $V_n = V_c + V_s$

ออกแบบหน้าตัดให้มีกำลังเฉือน :  $V_n \geq V_u / \phi$ ,  $\phi = 0.85$  for shear



จำนวนปลอกในระนาบเฉือน :  $n = d / s$

กำลังเฉือนจากเหล็กปลอก :

$$V_s = A_v f_y n = \frac{A_v f_y d}{s}$$

ในการออกแบบ กำลังเฉือนเหล็กปลอกที่ต้องการ :  $V_s = V_u / \phi - V_c$

ระยะห่างเหล็กปลอก :  $s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$

## ACI318: 11.4.6 – Minimum Shear Reinforcement

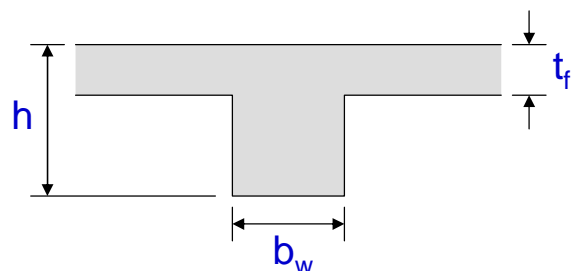
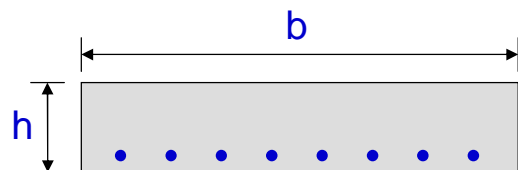
SDM

11.4.6.1 – A minimum area of shear reinforcement,  $A_{v,min}$ , shall be provided in all reinforced concrete flexural members where  $V_u \geq 0.5 \phi V_c$ , except in members:

- Footings and solid slabs
- Concrete joist construction
- Beams with  $h \leq 25$  cm
- Beam integral with slabs with  $h \leq 60$  cm and

-  $h \leq 2.5 t_f$

-  $h \leq 1/2 b_w$





**11.4.6.3** – Where shear reinforcement is required,  $A_{v,min}$  shall be computed by

$$A_{v,min} = 0.2\sqrt{f'_c} \frac{bs}{f_y}$$

but shall not be less than  $3.5bs/f_y$  ← ควบคุมสำหรับ  $f'_c < 306 \text{ ksc}$

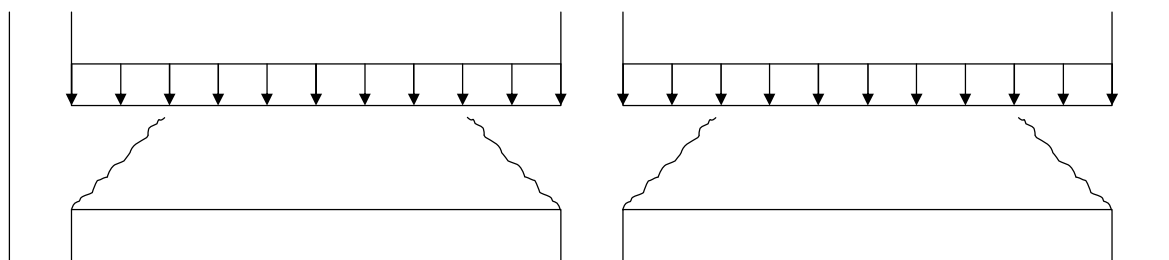
ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด

$$s_{max} = \frac{A_v f_y}{0.2\sqrt{f'_c} b} \leq \frac{A_v f_y}{3.5b}$$

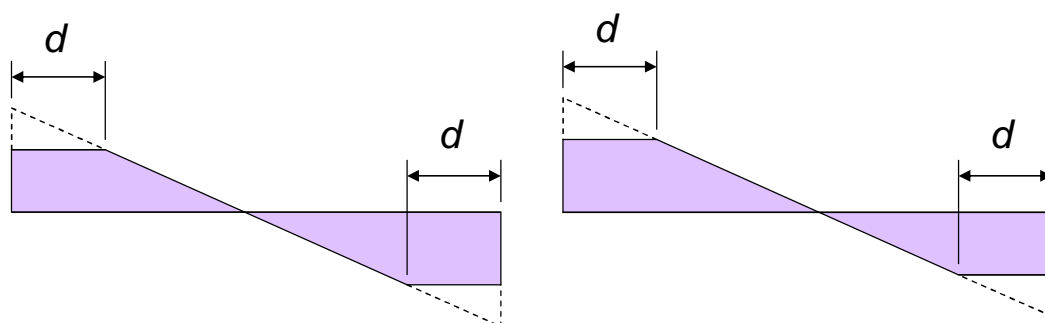
- $V_s \leq 1.1\sqrt{f'_c} bd$  →  $s_{max} = d/2 \leq 60 \text{ cm}$
- $1.1\sqrt{f'_c} bd < V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} bd$  →  $s_{max} = d/4 \leq 30 \text{ cm}$
- $V_s > 2.1\sqrt{f'_c} bd$  → เปลี่ยนหน้าตัด

## แรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบ

**ACI 11.1.3.1** – For nonprestressed members, sections located less than a distance  $d$  from face of support shall be permitted to be designed for  $V_u$  computed at a distance  $d$ .

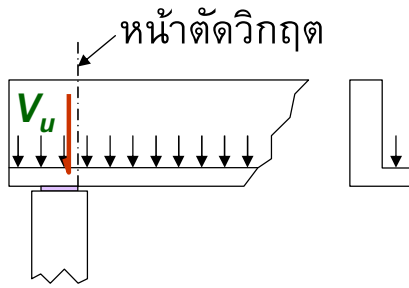


(ก) การแตกจั่วจากการเฉือนในคาน

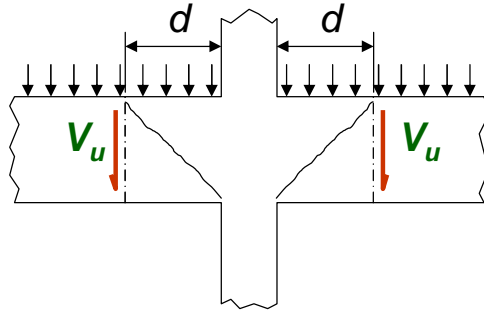


(ข) แผนภูมิแรงเฉือนสำหรับการออกแบบ

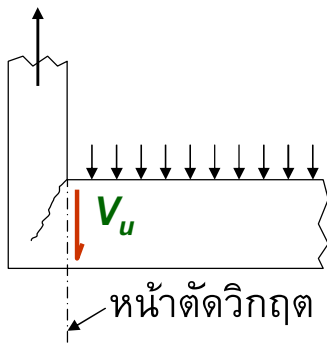
# หน้าตัดวิกฤตสำหรับออกแบบการเฉือน



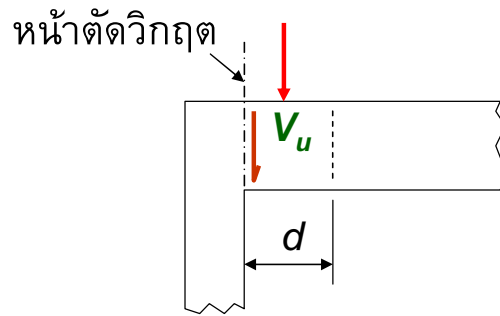
(ก) คานรับน้ำหนักด้านล่าง



(ข) จุดต่อเสา-คาน



(ค) คานรองรับโดยแรงดึง



(ง) คานที่มีน้ำหนักกระทำ เป็นจุดใกล้ที่รองรับ

## ขั้นตอนการออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

SDM

**Step 1** คำนวณแรงเฉือน  $V_u$  ที่หน้าตัดวิกฤตที่ระยะ  $d$  จากผิวจุดรองรับ  
กำลังเฉือนที่ต้องการ  $V_n = V_u / \phi$

**Step 2** คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต  $V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b d$

ถ้า  $V_n < V_c$  แสดงว่าคอนกรีตมีกำลังเฉือนมากกว่าที่ต้องการ

→ ใช้เหล็กปลอกน้อยที่สุด (ระยะห่างมากที่สุด)

→ ลดขนาดหน้าตัด

**Step 3** คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก  $V_s = V - V_c$

**Step 4** คำนวณกำลังเฉือนมากที่สุด  $V_{s,max} = 2.1 \sqrt{f'_c} b d$

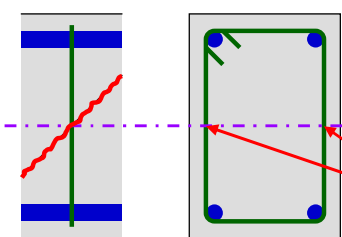
ถ้า  $V_s > V_{s,max}$  แสดงว่าหน้าตัดมีขนาดไม่เพียงพอ → เพิ่มขนาดหน้าตัด

**Step 5** ระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการ  $s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$

**Step 6** ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด  $s_{max} = \frac{A_v f_y}{0.2\sqrt{f'_c} b} \leq \frac{A_v f_y}{3.5b}$

ถ้า  $V_s \leq 1.1\sqrt{f'_c} bd \rightarrow s_{max} = d/2 \leq 60 \text{ cm}$

ถ้า  $1.1\sqrt{f'_c} bd < V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} bd \rightarrow s_{max} = d/4 \leq 30 \text{ cm}$

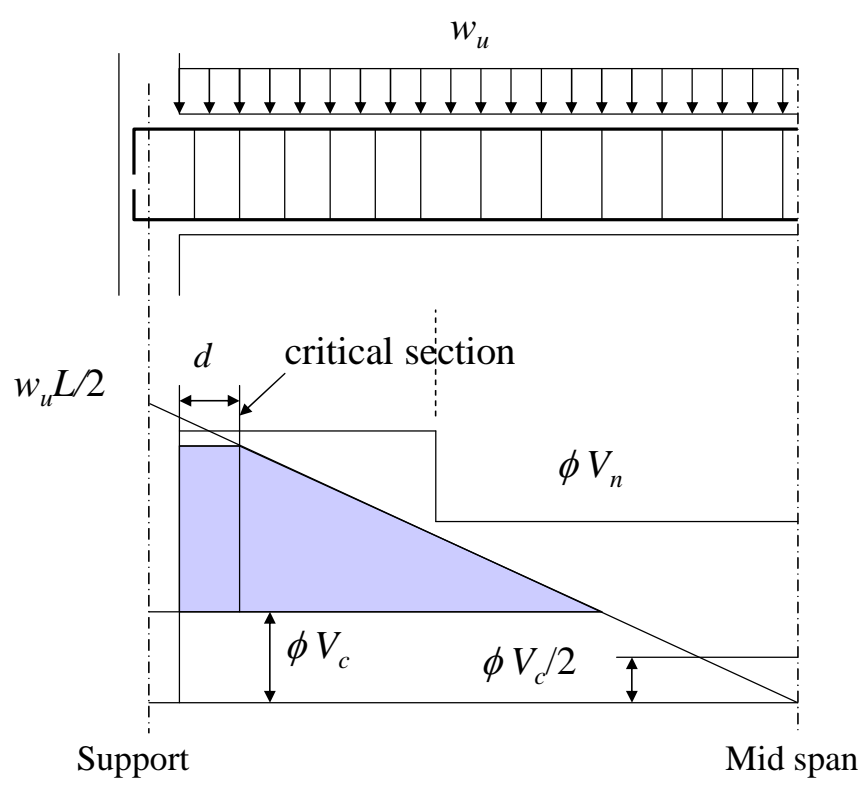


single closed loop stirrup has **2** legs

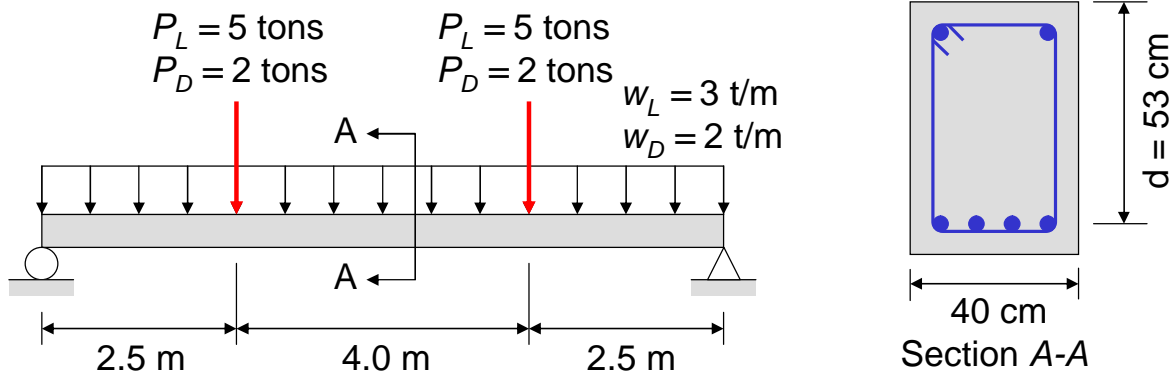
(ปลอกเดี่ยวมีสองขา)

$A_v = 2 A_s$  : พื้นที่เหล็กปลอกในระนาบเฉือน

## Variation of Shear Capacity



**ตัวอย่างที่ 6.1** ออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนในคานช่วงเดียว กำหนดกำลังคอนกรีต  $f'_c = 280 \text{ ksc}$  ใช้เหล็กปลอก DB10 กำลังเหล็กเสริม  $f_y = 4,000 \text{ ksc}$

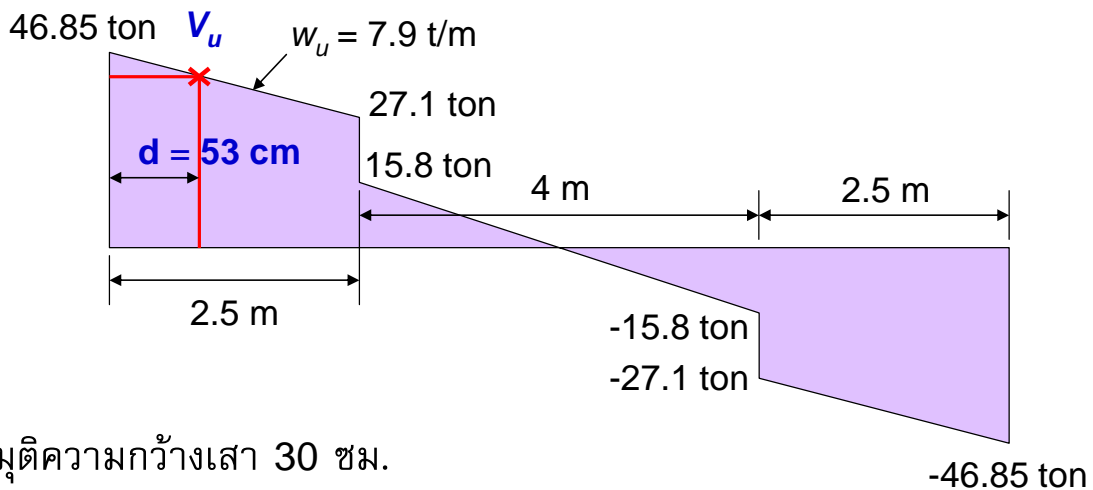


### 1. คำนวณแรงเฉือนประลัย

$$w_u = 1.4(2) + 1.7(3) = 7.9 \text{ t/m}$$

$$P_u = 1.4(2) + 1.7(5) = 11.3 \text{ ton}$$

สร้างแผนภูมิแรงเฉือน  $V_u$ :



สมมุติความกว้างเสา 30 ซม.

$$V_u/\phi \text{ ที่ระยะ } d = (46.85 - 7.9(0.15+0.53))/0.85 = 48.80 \text{ ton}$$

### 2. คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}bd = 0.53\sqrt{280} \times 40 \times 53/1,000 = 18.80 \text{ ton}$$

### 3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก

$$V_s = V_n - V_c = 48.80 - 18.80 = 30.00 \text{ ton}$$

#### 4. คำนวณกำลังเฉือน $V_s$ มากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่?

$$V_{s,max} = 2.1\sqrt{f'_c}bd = 2.1\sqrt{280} \times 40 \times 53/1,000 = 74.50 \text{ ton}$$

$$[V_s = 30.00 \text{ ton}] < V_{s,max} \rightarrow \text{หน้าตัดมีขนาดเพียงพอ}$$

$$1.1\sqrt{f'_c}bd = 1.1\sqrt{280} \times 40 \times 53/1,000 = 39.02 \text{ ton} > V_s$$

$$s_{max} = d/2 = 53/2 = 26.5 \text{ cm} < 60 \text{ cm}$$

#### 5. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการ

ลองใช้เหล็กปลอก DB10 ปลอกปิด(สองขา)  $A_v = 2(0.785) = 1.57 \text{ cm}^2$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.57 \times 4.0 \times 53}{30.00} = 11 \text{ cm}$$

ดังนั้นใช้ DB10 @ 0.11 ม. ที่ระยะ d จากผิวจุดรองรับ

#### 6. ออกแบบเหล็กปลอกที่กลางช่วง

$$V_u/\phi = 15.8/0.85 = 18.6 \text{ ton}$$

$$V_u/\phi < [V_c = 18.8 \text{ ton}] \rightarrow \text{Use min. stirrup}$$

$$s_{max} = \frac{A_v f_y}{3.5b} = \frac{1.57 \times 4,000}{3.5 \times 40} = 45 \text{ cm}$$

$$d/2 = 53/2 = 26.5 \text{ cm} < 60 \text{ cm} \quad \text{ดังนั้นใช้ DB10 @ 0.25 ม. ที่กลางช่วง}$$

