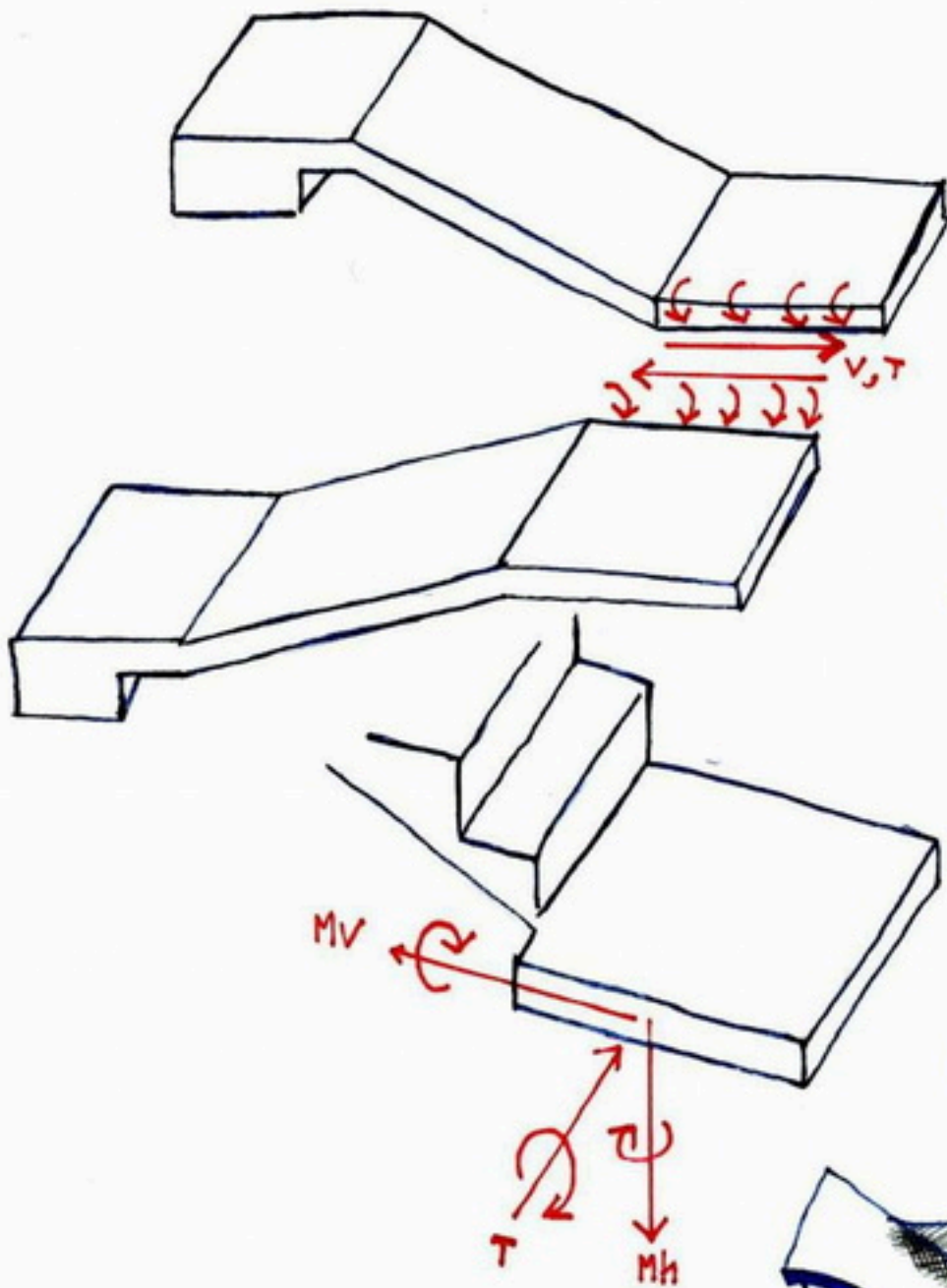
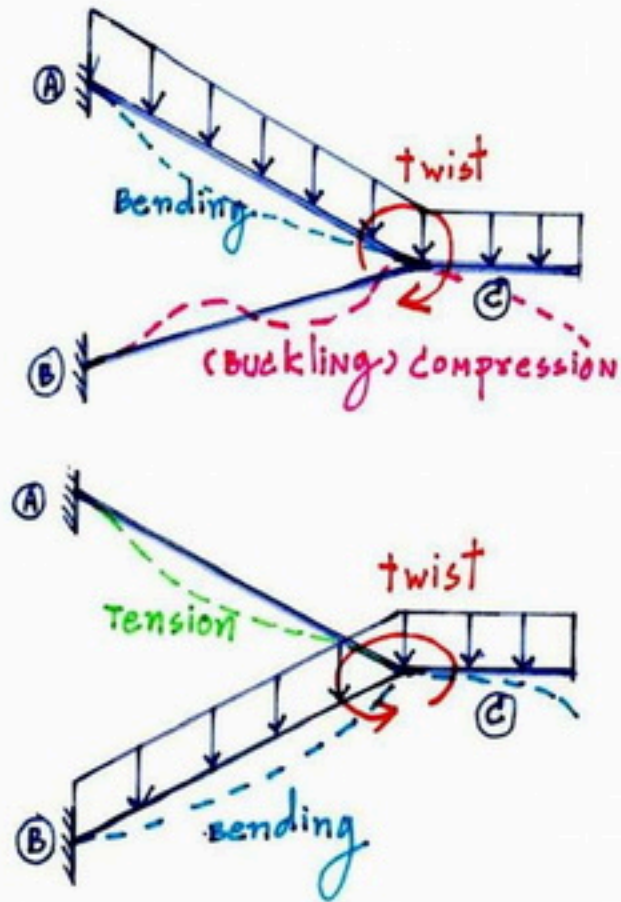
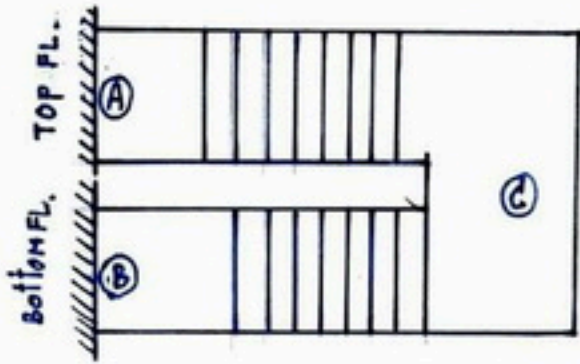


รูปแบบบันไดสะพาน
ลอด (รูปทรงแจ้ง)



ออกแบบบันไดชั้นพักสอย (Free-standing Stairs)

พฤติกรรมของโครงสร้าง



แรงที่เกิดที่ชั้นพัก

M_v คือ โมเมนต์ดัดกระทำต่อชั้นพักแบบความแบน
 M_h คือ โมเมนต์ดัดที่มีเวกเตอร์ตั้งฉากกับระนาบชั้นพัก แต่ระนาบหมุนจะขนานกับระนาบชั้นพัก หรือโมเมนต์ดัดแนวราบ สลักกับ คานลิก

T คือ โมเมนต์บิดให้ชั้นพักงอ (warping)

$f_c = 320 \text{ ksc}$ รูปทรงกระบอก

$f_y = 4000 \text{ ksc}$

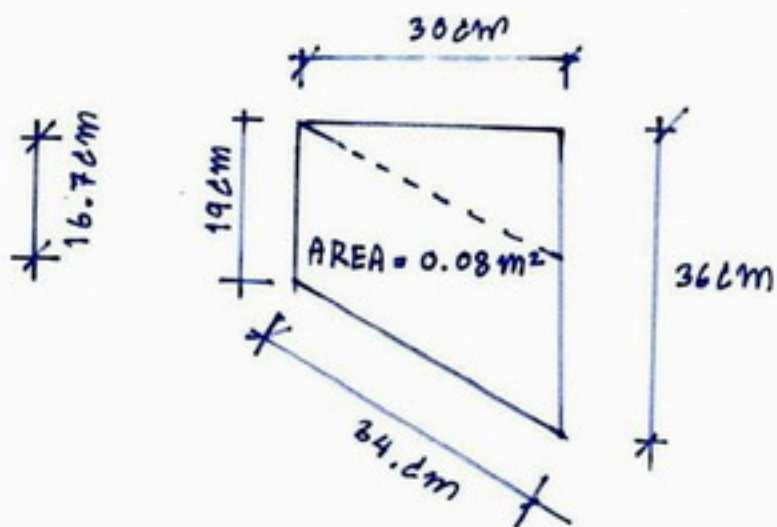
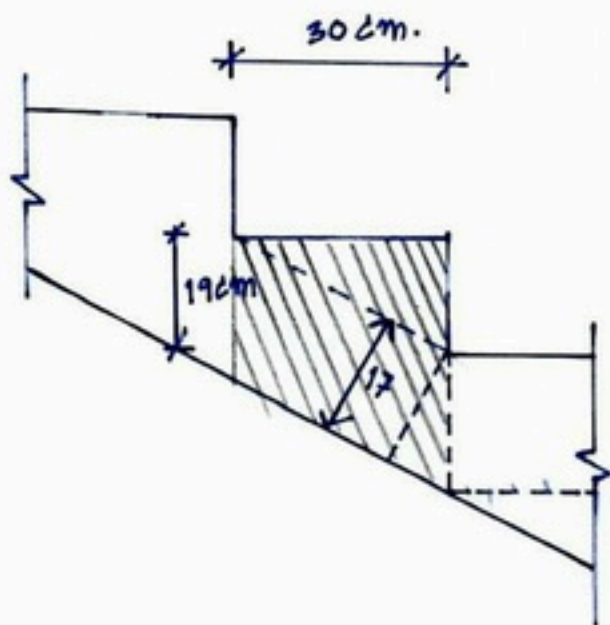


น้ำหนักพื้นดิน
 $LL = 500 \text{ kg/m}^2$

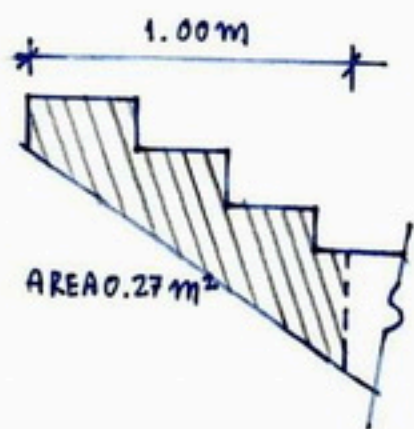
SDL (ผนังก่อสร้าง 1.2) = 100 kg/m^2

ความสูงระหว่างชั้น 3.00 ม., ลาดัง 0.167 ม., ลานอน 0.25 ม.

แนวศูนย์กลางขานบันไดห่างกัน 1.40 ม., ใช้ขานพักหนา 22 ซม., ขันไต่ 17 ซม.
 ความกว้างขันไต่ 1.20 ม.



น้ำหนักขันไต่ 1 ชั้น = $0.08 \times 1.2 \times 2400 = 230.4 \text{ กก.} \rightarrow$ ใช้ 231 กก.



น้ำหนักต่อความยาว

$0.27 \times 1.2 \times 2400 = 777 \text{ กก./ม.}$

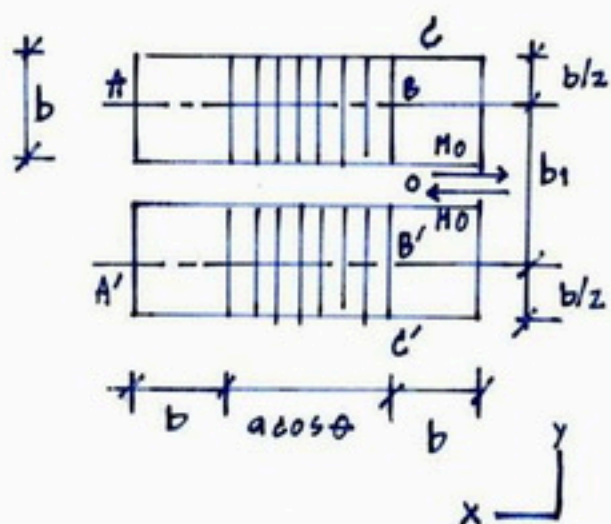
น้ำหนักขานพัก $0.2 \times 1.2 \times 2400 = 576 \text{ กก./ม.}$

น้ำหนักบรรทุกจร $500 \times 1.2 = 600 \text{ กก./ม.}$

น้ำหนัก SDL บนขานพัก $100 \times 1.2 = 120 \text{ กก./ม.}$

$WP = 1.4(777) + 1.7(600) = 2107 \text{ กก./ม.}$ สำหรับขันไต่

$WL = 1.4(576 + 120) + 1.7(600) = 1994 \text{ กก./ม.}$ สำหรับขานพัก



ข้อมูล

$a =$ ความยาวขันไต่ $\sqrt{\left(\frac{3.6}{2}\right)^2 + (2)^2} = 2.70 \text{ ม.}$

$b =$ ความกว้างขันไต่ = 1.2 ม.

$b_1 =$ แนวศูนย์กลางขานบันได = 1.40 ม.

$h_1 =$ ความหนาขันไต่ = 0.17 ม.

$h_L =$ ความหนาขานพัก = 0.22 ม.

$\theta = 33.69^\circ$

$$k = \left(\frac{hf}{hl} \right)^3 \left(\frac{b_1}{a} \right) \sec^2 \theta = \left(\frac{0.17}{0.22} \right)^3 \left(\frac{1.4}{2.7} \right) \sec^2 33.69^\circ$$

$$\text{dik} \sec \theta = \frac{1}{\cos \theta} = \csc \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) = \frac{1}{\cos 33.69^\circ} = 1.20$$

$$\sec^2 \theta = \sec^2 33.69^\circ = 1.20^2 = 1.44$$

$$K = \left(\frac{0.17}{0.22} \right)^3 \left(\frac{1.4}{2.7} \right) \times 1.44 = 0.344$$

dik SUPPORT PIVOT HANY FIX

$$H \cong \frac{WL(b_1+b) \left[4 + \frac{3b}{a} \sec \theta \right] + 3Wfa \cos \theta}{2 \tan \theta \left[4 + \frac{3(b_1/a)^2}{\frac{0.72}{1 + (hf/b)^2}} + \frac{1}{k} \right]}$$

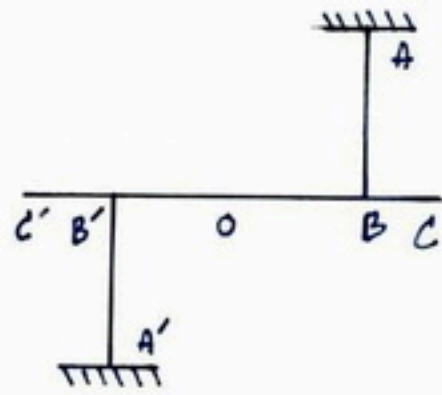
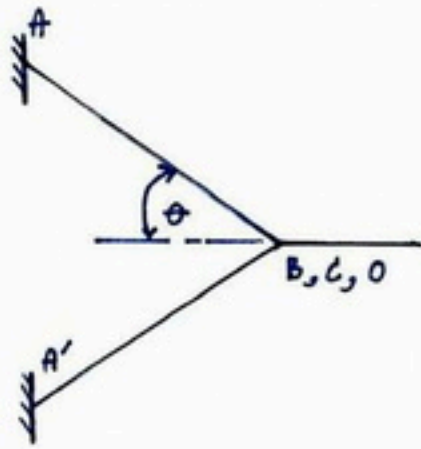
$$\frac{1994(1.4+1.2) \left[4 + \frac{3(1.2)}{2.7} \times 1.20 \right] + 3 \times 2107 \times 2.7 \cos 33.69^\circ}{2 \tan 33.69 \left[4 + \frac{3(1.4/2.7)^2}{\frac{0.72}{1 + (0.17/1.2)^2}} + \frac{1}{0.344} \right]}$$

$$H \cong \frac{43233}{5.63} = 7679 \text{ mm.}$$

$$M_0 \cong \frac{Hb_1 \tan \theta - \frac{1}{4} WL(b_1^2 - b^2)}{2 + \frac{1.44K}{1 + (hf/b)^2}}$$

$$\frac{7679 \times 1.4 \tan 33.69^\circ - \frac{1}{4} \times 1994(1.4^2 - 1.2^2)}{2 + \frac{1.44 \times 0.344}{1 + (0.17/1.2)^2}}$$

$$M_0 \cong 2779 \text{ mm.-m.}$$



พิจารณาช่วง OB ระยะ y วัดจากตำแหน่ง O

ที่จุด O ระยะ y = 0

$$M_v = -M_0 - \frac{1}{2} wL y^2 = -M_0 = -2779 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_h = -Hy = 0$$

$$T = -\frac{1}{2} wL b y = 0$$

ที่จุด B ระยะ y = $b_1 - b/2 = 1.4 - (1.2/2) = 0.80 \text{ ม.}$

$$M_v = -2779 - \frac{1}{2} \times 1994 \times 0.8^2 = -5417 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_h = -7679 \times 0.80 = -6152 \text{ กก.-ม.}$$

$$T = -\frac{1}{2} \times 1994 \times 1.2 \times 0.8 = -957 \text{ กก.-ม.}$$

พิจารณาช่วง AB ระยะ x วัดจากตำแหน่ง B

$$M_v = Hx \sin \theta - \frac{1}{2} wL (b_1 + b) (x \cos \theta + b/2) - \frac{1}{2} w x^2 \cos^2 \theta$$

ที่จุด B ระยะ x = 0

$$M_v = 0 - \frac{1}{2} \times 1994 (1.4 + 1.2) (0 + 1.2/2) - 0 = -1559 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_h = -\frac{1}{2} H b_1 \cos \theta - (M_0 + \frac{1}{8} wL (b_1^2 - b^2)) \sin \theta$$

$$M_h = -\frac{1}{2} \times 7679 \times 1.4 \cos 33.69^\circ - (2779 + \frac{1}{8} \times 1994 (1.4^2 - 1.2^2)) \sin 33.69^\circ = -2859 \text{ กก.-ม.}$$

$$T = -\frac{1}{2} H b_1 \sin \theta + (M_0 + \frac{1}{8} wL (b_1^2 - b^2)) \cos \theta$$

$$T = -\frac{1}{2} \times 7679 \times 1.4 \sin 33.69^\circ + (2779 + \frac{1}{8} \times 1994 (1.4^2 - 1.2^2)) \cos 33.69^\circ = -5401 \text{ กก.-ม.}$$

ที่จุด D ระยะ $x = a/2 = 2.7/2 = 1.35$ ม.

$$\begin{aligned}
 M_V &= Hx \sin \theta - \frac{1}{2} wL(b_1+b_2)(x \cos \theta + b/2) - \frac{1}{2} w_1 x^2 \cos^2 \theta \\
 &= 7679 \times 1.35 \sin 33.69^\circ - \frac{1}{2} \times 1994(1.4+1.2)(1.35 \cos 33.69^\circ + \frac{1.2}{2}) \\
 &\quad - \frac{1}{2} \times 2107 \times 1.35^2 \cos^2 33.69^\circ \\
 &\quad \text{เมื่อ } \cos^2 \theta = \cos \theta = 0.832 = \cos^2 \theta = 0.832^2 = 0.69
 \end{aligned}$$

$$M_V = -41.48 \text{ กก.-ม.}$$

จุด A ที่ ระยะ $x = a = 2.70$ ม.

$$\begin{aligned}
 M_V &= 7679 \times 2.70 \sin 33.69^\circ - \frac{1}{2} \times 1994(1.4+1.2)(2.7 \cos 33.69^\circ + 1.2/2) \\
 &\quad - \frac{1}{2} \times 2107 \times 2.70^2 \times \cos^2 33.69^\circ
 \end{aligned}$$

$$M_V = -1177 \text{ กก.-ม.}$$

สรุป

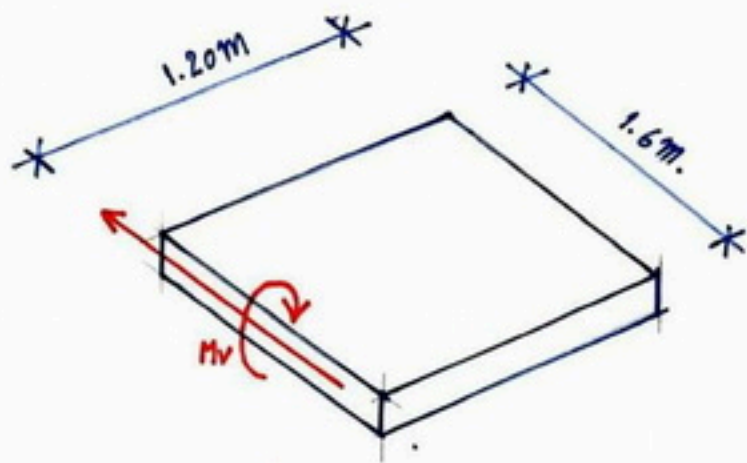
ตำแหน่งพิจารณา	M_V (กก.-ม.)	M_H (กก.-ม.)	T (กก.-ม.)
ช่วง OB จุด O	-2779	0	0
จุด B	-3417	-6152	-957
ช่วง AB จุด B	-1555	-2859	-5401
จุด D	-41.48	-2859	-5401
จุด A	-1177	-2859	-5401

ออกแบบพื้นชั้นพัก

$$M_v = -3417 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_h = -6152 \text{ กก.-ม.}$$

$$T = -5401 \text{ กก.-ม.}$$



หน้าตัดเป็น ตาม แนบ กว้าง 1.6 ม สีก 22 ซม. $d = 22 - (2.5 + 0.9 + \frac{1.6}{2}) = 17.8 \text{ ซม.}$

$$R = \frac{M_v}{\phi b d^2} = \frac{3417 \times 100}{0.9 \times 160 \times 17.8^2} = 7.48 \text{ กก./ซม.}^2$$

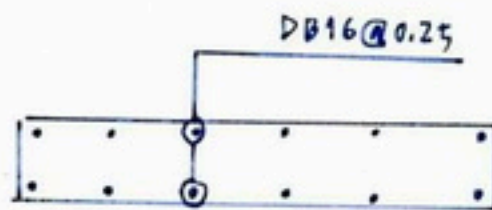
$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R \eta}{0.85 f'_c}} \right] = 0.00189$$

$$\rho_{min} = 0.0035 \quad \rho_{max} = 0.0253 \quad \text{เมื่อ } \beta_1 = 0.82$$

$$\rho < \rho_{min} \text{ ใช้ } \rho_{min}$$

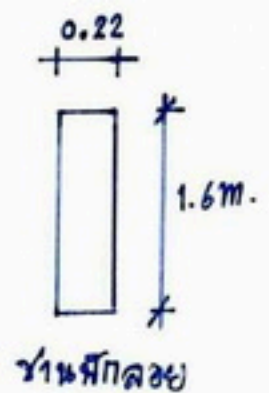
$$A_s = 0.0035 \times 160 \times 17.8 = 9.968 \text{ ซม.}^2 / \text{ความกว้าง 1.6 ม. (ชั้นพักลอย)}$$

$$\rho B16 @ 0.25 \text{ มี } A_s = \frac{1.6}{0.25} \times 2.01 = 12.86 \text{ ซม.}^2 / \text{ความกว้าง 1.6 ม.}$$



รูปแสดงชั้นพัก เสริมเหล็ก ชั้นตอนที่ 1

หน้าตัด Mh เป็นตามรูป 1.6m กว้าง 0.22m. $\rightarrow d = 1.5m.$

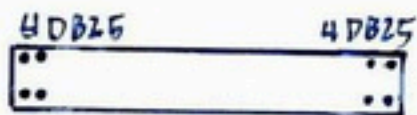


$$R = \frac{Mh}{\phi b d^2} = \frac{6152 \times 100}{0.9 \times 2.2 \times 150^2} = 1.38 \text{ กก./ซม}^2$$

$$P = 0.000396 < P_{min} \text{ ใช้ } P_{min}$$

$$A_s = 0.0035 \times 22 \times 150 = 11.55 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{ใช้ 4DB25 มี } A_s = 19.6 \text{ ซม.}^2$$



รูปแสดงการเสริมเหล็กชั้นที่ 2

เหล็กเสริมที่ดัดวางยาวของชั้นพัก ตำแหน่งแรงเฉือนแนวราบ $H = 7679 \text{ กก.}$

ร่วมกับโมเมนต์บิด $T = 5401 \text{ กก.-ซม.}$

ตรวจสอบท่อนขยแรงเฉือนรวมผลของโมเมนต์บิด

ชั้นพักสอง

$$bd = 22 \times 150 = 3300 \text{ ซม.}^2$$

$$X_0 = 160 - 2(2.5 + 0.5) = 154 \text{ ซม.}$$

$$Y_0 = 22 - 2(2.5 + 0.5) = 16 \text{ ซม.}$$

$$A_{oh} = X_0 Y_0 = 154 \times 16 = 2464 \text{ ซม.}^2$$

$$A_o = 0.85 A_{oh} = 2094 \text{ ซม.}^2$$

$$P_H = 2(154 + 16) = 340 \text{ ซม.}$$

$$\sqrt{\left(\frac{H}{bd}\right)^2 + \left(\frac{T P_H}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left[\frac{V_c}{bd} + 2.1 \sqrt{f'_c}\right]$$

$$\sqrt{\left(\frac{7679}{3300}\right)^2 + \left(\frac{5401 \times 100 \times 340}{1.7 \times 2464^2}\right)^2} \leq 0.85(0.55 + 2.1)\sqrt{320}$$

$$17.29 \text{ กก./ซม.}^2 \leq 39.98$$

เสริมเหล็กปลอกถูกต้อง

ลูกตุ้มรับแรงเฉือน

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.83 \sqrt{320} \times 22 \times 150 = 26594 \text{ กก.} > H = 7679 \text{ กก.}$$

$\phi V_c > H$ ไม่ต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

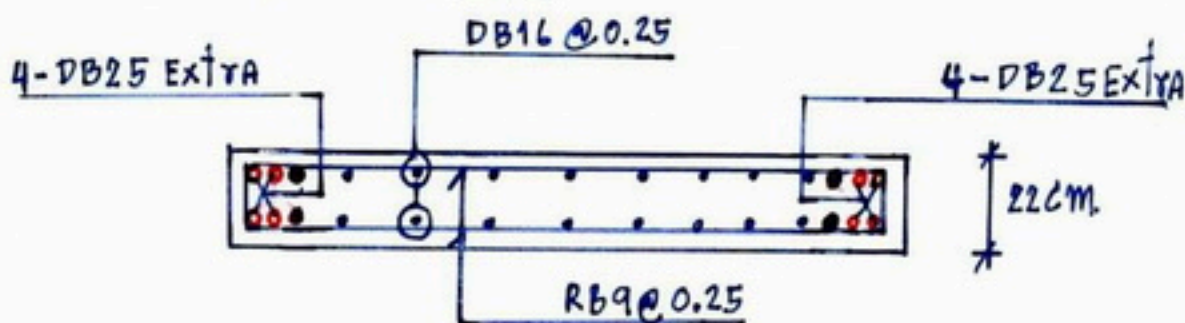
ลูกตุ้มรับโมเมนต์บิด (ใช้เหล็ก SR 24)

$$\frac{A_t}{S} = \frac{T}{2 \phi f_{yv} A_o} = \frac{5401 \times 100}{2 \times 0.85 \times 2400 \times 2094} = 0.063 \text{ ซม. (ชั้นหน้าหลัง)}$$

$$\text{เหล็กลูกตั่งน้อยที่สุด} = \frac{s.5b}{f_{yv}} = \frac{3.5 \times 22}{2400} = 0.032 \text{ ซม.} < 0.063 \text{ ซม. /ok.}$$

ใช้ RB9 ($A_v = 2A_s = 1.27 \text{ ซม.}^2$)

$$\text{ระยะห่างเหล็กลูกตั่ง} S = \frac{1.27}{0.032} = 39.68 \text{ ซม. ใช้ } 25 \text{ ซม.}$$



รูปแสดงการเสริมเหล็กชั้นหน้า + ชั้นที่ 2

ออกแบบพื้นชั้นใด

$$M_v = -1555 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_h = -2859 \text{ กก.-ม.}$$

$$T = -5401 \text{ กก.-ม.}$$

พิจารณาค้นหาคัดเป็นคานแบน กว้าง 1.20 ม ลึก 0.17 ม $\rightarrow d = 12.8 \text{ cm.}$

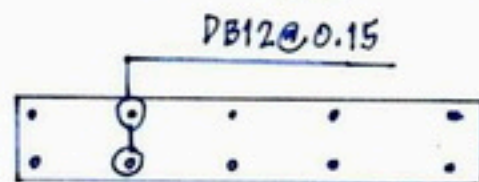
$$R = \frac{M_v}{\phi b d^2} = \frac{1555 \times 100}{0.9 \times 120 \times 12.8^2} = 8.78 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right] = 0.00223 < \rho_{\min} \text{ ให้อ } \rho_{\min}$$

$$A_s = 0.0035 \times 120 \times 12.8 = 5.376 \text{ ซม.}^2 / \text{คานกว้าง 1.2 ม.}$$

$$A_s^{\dagger} = 0.0018 \times 120 \times 12.8 = 2.76 \text{ ซม.}^2$$

ให้อ DB12 @ 0.15 มี $A_s = \frac{1}{0.15} \times 1.13 = 7.53 \text{ ซม.}^2$



รูปการเสริมเหล็กชั้นใดชั้นที่ 1

พิจารณาค้นหาคัดเป็นคานลึก 1.20 ม กว้าง 0.17 ม. $\rightarrow d = 1.10 \text{ m.}$

$$R = \frac{M_h}{\phi b d^2} = \frac{2859 \times 100}{0.9 \times 17 \times 110^2} = 1.54 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = 0.000386 < \rho_{\min} \text{ ให้อ } \rho_{\min}$$

$$A_s = 0.0035 \times 17 \times 110 = 6.545 \text{ ซม.}^2$$

$$A_s^{\dagger} = 0.0018 \times 17 \times 120 = 3.672 \text{ ซม.}^2$$

ให้อ 2 DB25 มี $A_s = 9.8 \text{ ซม.}^2$



รูปการเสริมเหล็กชั้นใดชั้นที่ 2

โมเมนต์บิด พื้นชั้น 1 ด

$$bd = 17 \times 110 = 1870 \text{ ซม.}^2$$

$$x_0 = 120 - 2(2.5 + 0.5) = 114 \text{ ซม.}$$

$$y_0 = 17 - 2(2.5 + 0.5) = 11 \text{ ซม.}$$

$$A_{oh} = x_0 y_0 = 114 \times 11 = 1254 \text{ ซม.}^2$$

$$A_o = 0.85 A_{oh} = 1065 \text{ ซม.}^2$$

$$P_h = 2(114 + 11) = 250 \text{ ซม.}$$

$$\sqrt{\left[\frac{H}{bd}\right]^2 + \left[\frac{TP_h}{1.7 A_{oh}^2}\right]^2} \leq \phi \left[\frac{v_c}{bd} + 2.1 \sqrt{f'_c} \right]$$

$$\sqrt{\left[\frac{7679}{1870}\right]^2 + \left[\frac{5401 \times 100 \times 250}{1.7 \times 1254^2}\right]^2} \leq 0.85 (0.53 + 2.1 \sqrt{320})$$

$$50.67 \text{ กก./ซม.}^2 > 39.98 \text{ กก./ซม.}^2$$

เพิ่มความหนาชั้น 1 ด เป็น 20 ซม.

$$bd = 20 \times 110 = 2200 \text{ ซม.}^2$$

$$x_0 = 120 - 2(2.5 + 0.5) = 114 \text{ ซม.}$$

$$y_0 = 20 - 2(2.5 + 0.5) = 14 \text{ ซม.}$$

$$A_{oh} = x_0 y_0 = 114 \times 14 = 1596 \text{ ซม.}^2$$

$$A_o = 0.85 A_{oh} = 1356 \text{ ซม.}^2$$

$$P_h = 2(114 + 14) = 256 \text{ ซม.}$$

$$32.12 \text{ กก./ซม.}^2 \leq 39.98 \text{ กก./ซม.}^2$$

ใช้เหล็กดัด $A_{s \min} = 0.0025 b t = 0.0025 \times 100 \times 20 = 5 \text{ ซม.}^2$

ใช้ R39 ระยะห่าง $S = \frac{100 \times 1.27}{5} = 25.4 \text{ ซม.}$

ใช้ R39 @ 0.20m.

