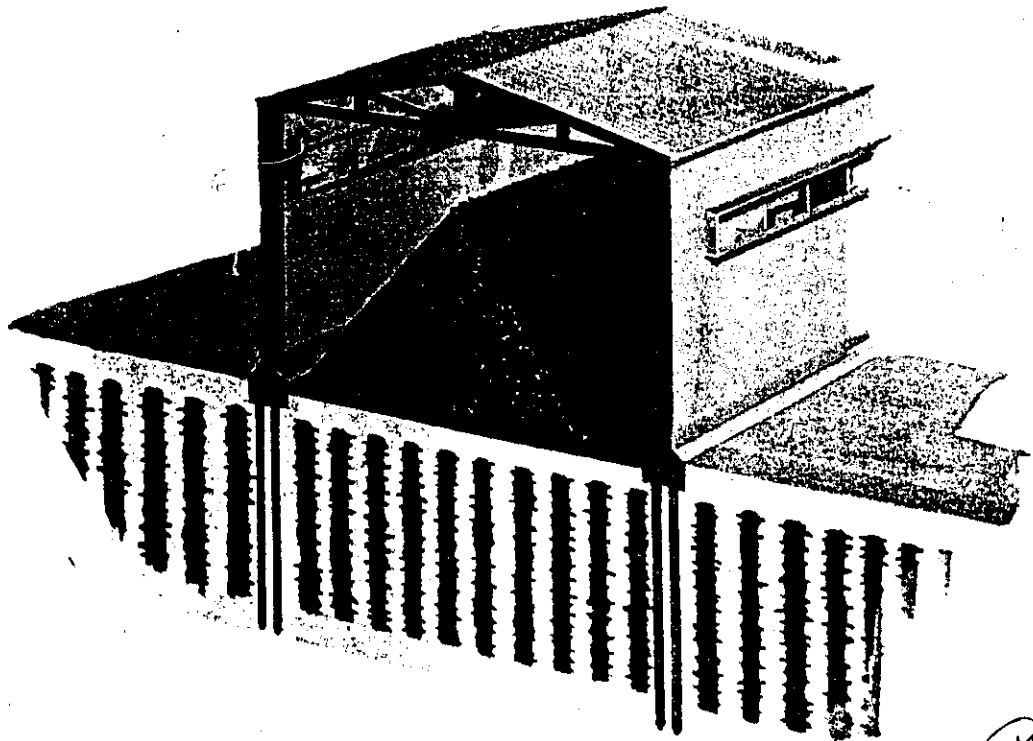


# SILO DESIGN



*[Signature]*  
(นาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ

## การออกแบบ Silo เก็บข้าว

ในการออกแบบ silo เก็บข้าว ซึ่งที่ได้อธิบาย คือ ระบบและพฤติกรรมของตัวโครงสร้าง เนื่องจากโครงสร้างของ silo มี span กว้างมาก ทำให้มีแรงรับภายในทุกทิศทาง คือ แนวตั้ง, แนวราบ และโมเมนต์ ดังนั้นในการพิจารณาออกแบบ จะต้องคำนึงถึง สิ่งเหล่านี้ประกอบด้วย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีปัญหาในด้านของดินฐานรากเป็นอันดับแรก ค่า bearing capacity ของดินจะไม่แน่นอน ซึ่งอาจได้มีการเลือกวิธีที่จะรับปรุงคุณสมบัติของดินก่อนการก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้โครงสร้างนี้ ควบคุมการเคลื่อนที่ของดิน

สำหรับในการออกแบบคร่าวๆ จะออกแบบ silo โดยทำให้เราเพิ่มเป็นระดับชั้นดินชั้นแรก ซึ่งดินที่เก็บใน silo เป็น wheat (ข้าวสาลี) หน่วยน้ำหนัก =  $850 \text{ kg/m}^3$  อัตราความสูง 20 เมตร ขนาดของ silo กว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร ความสูงเท่ากับ 15.00 เมตร โดยที่ในแนวตั้ง Retaining wall จะมี RC-Flat slab เป็นตัวรับยึด retaining wall ซึ่งมีการวางในแนวลึกกับแนวตั้งรวมด้วย ทั้งนี้การป้องกันการเคลื่อนตัวของตัวข้างของ retaining wall จะออกแบบให้มีเสียงร่วมกับตัว Flat slab ซึ่งกันด้านของการเคลื่อนตัวคือจากทั้งสองด้าน และใช้ Buttress ช่วยในกำแพงกันดินนี้ ทุกๆ ช่อง 6 เมตร ขนาด = 0.50 เมตร และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในดินฐานรากโดย รูปทรงของ silo แสดงไว้ในรูปที่ 25

### PRESSURE ON SILO WALL

การคำนวณหาแรงดันด้านข้างของผนัง เป็นแรงกระทำที่มีผลมาจากแรงกระทำในแนวตั้ง (vertical pressure) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ในการออกแบบคร่าวๆ ใช้ข้าวสาลี เป็นวัสดุ และเป็นผลทำให้เกิดแรงดันด้านข้างจากการกระทำที่ตัวผนังของ Retaining wall ในการคำนวณหาแรงดันด้านข้างด้วยค่าหน่วยน้ำหนักของมวลวัสดุตามภาพใน รูปที่ 25 ได้ค่า  $\gamma = 850 \text{ kg/m}^3$ ,  $\phi = 25^\circ$

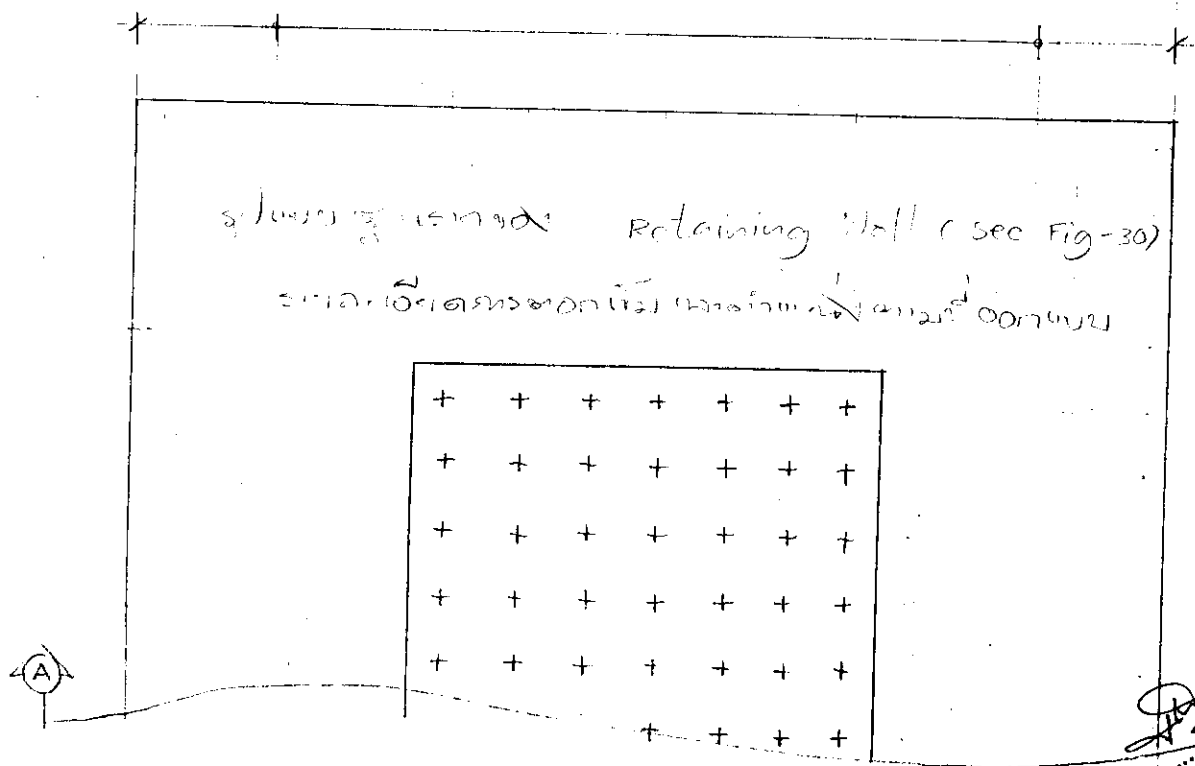
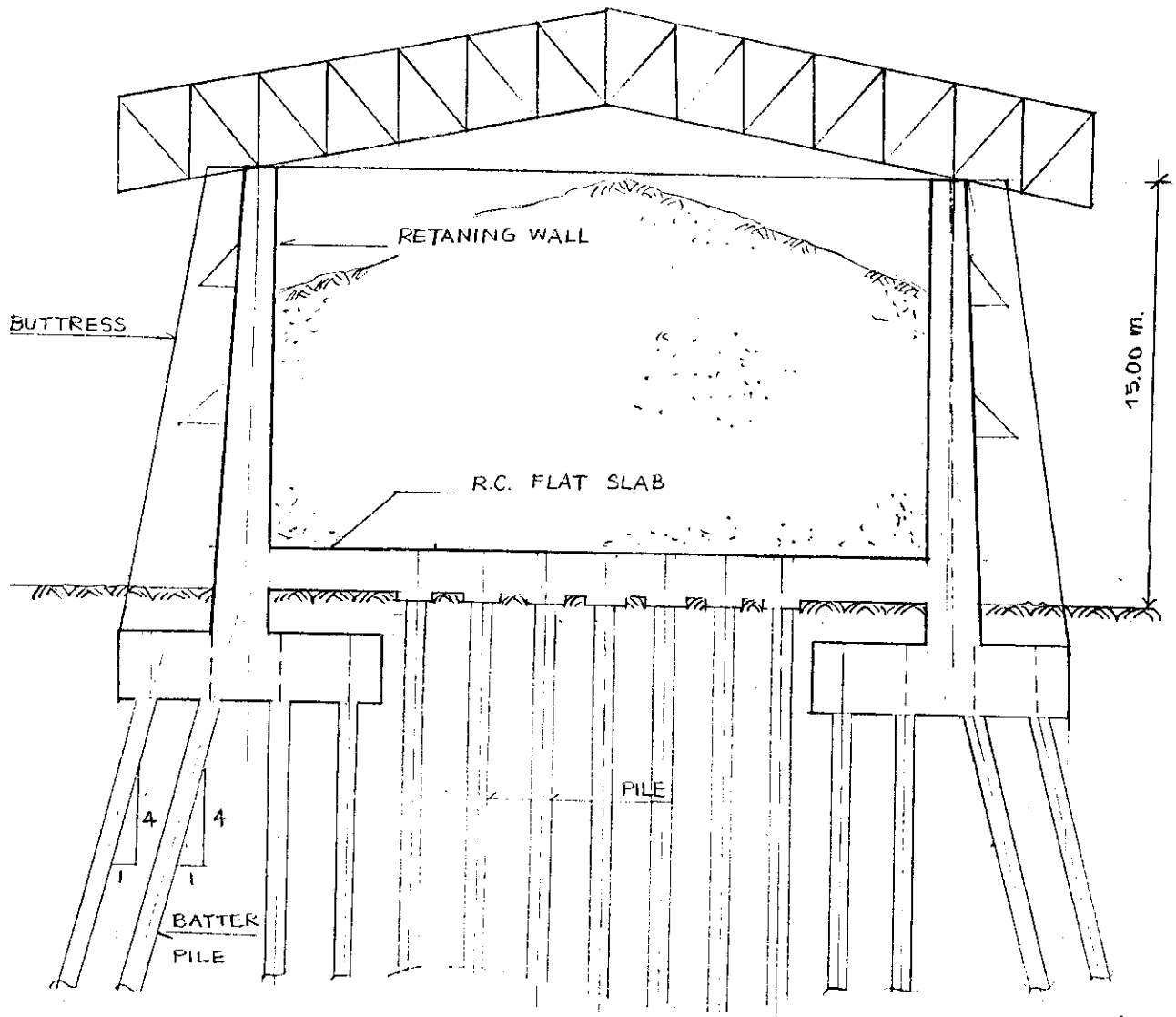


Fig-29

(ชว. แสงใจ)  
ผู้ควบคุมโครงการ

สมการที่ใช้คำนวณหาแรงดันของดิน โดย Rankine ใช้สำหรับคำนวณหา  
แรงดันของดินต่อความยาวหนึ่งเมตรที่มีทิศทำงานกับพื้นผิวของดิน ซึ่งมีค่าความดัน  
สม่ำเสมอ ดังนั้นหาแรงดันจากน้ำอยู่ใต้ระดับ  $h/3$  จากตัวกำหนด ดันคือ

$$P = \frac{1}{2} K w h^2 \quad \text{kg/m}$$

เมื่อ  $w$  = น้ำหนักของวัสดุตันลูกกำหนดกันดิน (Wheat =  $0.76 \text{ T/m}^3$ )

$h$  = ความสูงจากกำหนด, m

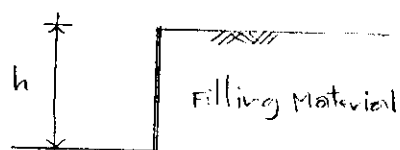
$$K = \cos \theta \frac{\cos \theta - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi}}{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi}} \quad \text{เมื่อ } \theta = \phi; \quad K = \cos \phi$$

$\theta$  = มุมระหว่างพื้นผิววัสดุที่กำหนดกัน กับพื้นราบ

$\phi$  = มุมเสียดทานภายในของวัสดุ (Wheat =  $25^\circ$ )

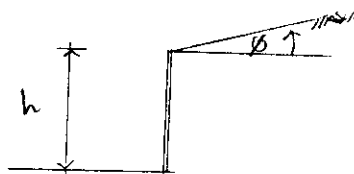
Rankine ได้แบ่งกรณีของ Surcharge load ออกเป็น 3 กรณี คือ

Case I :



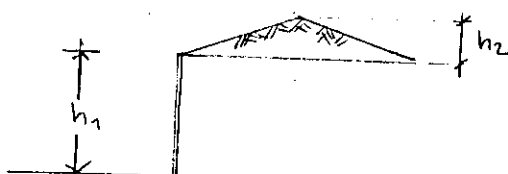
$$P = w h \cdot \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

Case II :



$$P = w h \cdot \cos^2 \phi$$

Case III :



$$P = w (h + 0.5h_2) \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

(ชาย แสงโต)  
ผู้จัดการโครงการ

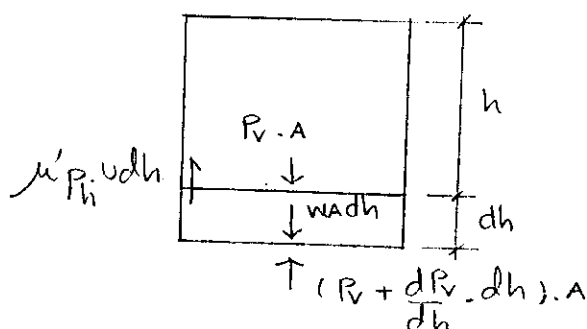
an Janssen's Formula Pressure in Silos and Hoppers  
 ความดันในถัง

$$P_v = \frac{wR}{\mu'K} \left(1 - e^{-\frac{\mu'kh}{R}}\right)$$

$$P_h = K P_v = \frac{wR}{\mu'} \left(1 - e^{-\frac{\mu'kh}{R}}\right)$$

- $w$  = vertical downward force of material in bin  
 $h$  = depth below the top of the bin of the point for which the pressure being calculated  
 $R = \frac{A}{U}$ , the "hydraulic mean depth" of the section  
 $A$  = area enclosed by a horizontal section through the bin  
 $U$  = perimeter of the same section  
 $\phi$  = angle of Repose of the filling  
 $\phi'$  = angle of friction of the filling on the walls of the bin  
 $\mu'$  = coefficient of friction (Filling on Concrete)  $\mu' = \tan \phi'$   
 $P_h$  = intensity of the horizontal pressure on the wall  
 $P_v$  = intensity of the vertical pressure  
 $K = \frac{P_h}{P_v} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$

Square Silos  $R = \frac{l^2}{4l} = \frac{l}{4}$   
 Circular Silos  $R = \frac{\pi d^2}{4 \pi d} = \frac{d}{4}$



(นาย แสงใส)  
 ผู้จัดการโครงการ

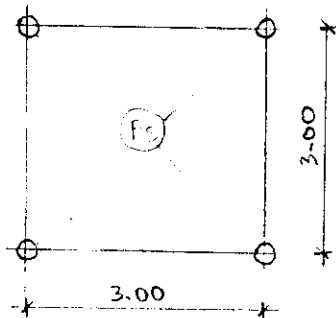
TABLE 20 Densities of Materials and Angles of Repose

Material	kg/ m <sup>3</sup>	$\phi$ (deg)	$\frac{1-\sin \phi}{1+\sin \phi}$
Ashes	640-960	35 to 45	0.27-0.17
Barley	640	27	0.38
Cement (fine; static)	1340-1440	10	0.70
(coarse; static)	1440	18	0.52
(air-agitated)	1200	0	1.0
clinker	1320-1440	30-33	0.33-0.28
slurry	1650	0	1.0
Coal (unwashed)	720-930	40-45	0.22-0.17
(washed)	720-900	40-45	0.22-0.17
(wet, 15% moisture)	720-900	25-45	0.41-0.17
(anthracite)	720-830	27-40	0.38-0.22
(fine)	720-900	20-40	0.49-0.22
(slurry)	800-1000	0-40	1.0-0.22
Coke (horizontal retort)	480-560	40-45	0.22-0.17
(vertical retort)	350-385	35	0.27
(dry dust)	320	0	1.0
(washed silt)	640	0	1.0
Earth (average)	1600	35	0.27
Granite (crushed)	1600-2080	35	0.27
Gravel (common)	1760-2240	35-45	0.27-0.17
(sandy)	1920-2080	40-45	0.22-0.17
Iron ore (general)	2400	45	0.17
(Swedish)	3680	45	0.17
Limestone (crushed)	1280-1790	35	0.27
Sand	1600-1920	0(wet)-35(dry)	0.27 min.
Slag (crushed)	1440-1790	35	0.27
Wheat	720-800	25	0.41

Material	Density $w$		Coefficient of friction	
	kg/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Filling on filling ( $\mu$ )	Filling on concrete ( $\mu'$ )
Cement	1440	14.1	0.316	0.700
Coal	800	7.85	0.700	0.700
Anthracite	800	8.15	0.510	0.510
Coke	450	4.4	0.839	0.839
Sand	1600	15.7	0.674	0.577
Wheat	850	8.3	0.466	0.444

(ชาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ

## Flat Slab Design



Design Parameter :

$$\begin{aligned} f_c' &= 210 \text{ ksc} \\ f_c &= 78 \text{ ksc} \\ f_s &= 1700 \text{ ksc} \\ n &= 10 \\ R &= 11.0 \text{ ksc} \\ j &= 0.889 \end{aligned}$$

load of wheat  $= \gamma_H = 0.85 (15)$   
 $= 12.75 \text{ T/m}^2$

ขนาดหัวเสา  $C = 0.225 L = 68 \text{ cm}$

ขนาดฐานเสา  $D = 0.350 L = 110 \text{ cm}$

thickness of slab,  $t_2$

ขนาดหน้าเสา  $t_2 = L/40 = 10 \text{ cm}$

หรือ  $t_2 = 0.091 L (1 - 2C/3L) \sqrt{\frac{w'}{f_c'/141}} + 2.54$

$w' = DL + LL = 2400 t_2 + 12,750 \quad (\text{Assume } t_2 = 0.30 \text{ m})$   
 $= 13,470 \text{ kg/m}^2$

จึงได้  $t_2 = 0.091 (3) [1 - 2(0.68)/3(3)] \cdot \sqrt{\frac{13470}{(210/141)}} + 2.54$   
 $= 24.58 \text{ cm}$


เลือก  $t_2 = 30 \text{ cm}$

ขนาดหน้าเสา (หน้าเสา) และหัวเสา  $t_1$

ขนาดหน้าเสา  $t_1 = 1.5 t_2 = 45 \text{ cm}$

หรือหน้าเสา  $t_1 = t_2 + (D - C)/8$

$= 30 + (110 - 68)/8 = 35.25 \text{ cm}$

  
 (นาย แสงใส)  
 ผู้จัดการโครงการ

ความหนาต่ำสุด  $t_1 = 0.106 L \left(1 - \frac{2C}{3L}\right) \sqrt{\frac{W'}{f_c'/141}} + 3.81$

$$= 0.106 (3) \left[1 - 2(0.68)/3(3)\right] \cdot \sqrt{\frac{13470}{(210/141)}} + 3.81$$

$$= 30 \text{ cm}$$

เลือก  $t_1 = 40 \text{ cm}$

หาพื้นที่หน้าตัดบนแผ่นพื้น

$$W_t = 0.30(2.4)(3)^2 + (0.40 - 0.30)(2.4)(1.10)^2 + 12.75(3)^2$$

$$= 121.52 \text{ T}$$

หาพื้นที่ต่อตารางเมตร  $W' = 121.52 / (3)^2$

$$= 13.50 \text{ T/m}^2$$

ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่กำหนดไว้  $13.50 \approx 13.47 \text{ T/m}^2 \text{ (O.K.)}$

Check ความหนาแผ่นพื้น

$$M_0 = 0.09 F W L \left(1 - 2C/3L\right)^2 ; F = 1.75 - (C/L) = 0.925$$

$$\text{Use } F = 1$$

$$= (0.09)(1)(121,520)(3) \left(1 - 0.45 L/3L\right)^2 \times \frac{1}{1000}$$


$$= 23.70 \text{ T-m}$$

ขนาด (ป.จ. คิดเป็นร้อยละ)  $M_0$  ในแถบเสา และ แถบกลาง

Column Strip Moment

$$M_c (-) = -0.5 M_0 = - 11.85 \text{ T-m}$$

$$M_c (+) = +0.2 M_0 = + 4.74 \text{ T-m}$$

  
(นาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ



### Middle strip Moment

$$M_m(-) = -0.15 M_0 = -3.55 \text{ T-m}$$

$$M_m(+) = +0.15 M_0 = +3.55 \text{ T-m}$$

### Check thickness of slab

$$M_c = R \left( \frac{3}{4} b \right) d^2$$

$$- d_1 = \sqrt{\frac{11,850}{11 \times (3/4 \times 1.10)}} = 36.74 \text{ cm}$$

$$\text{seck } t_1 \text{ ไม่น้อยกว่า} = 36.74 + 2.0 + 1.2 = \underline{\underline{39.94 < 40 \text{ cm}}}$$

$$- d_2 = \sqrt{\frac{4740}{11 (3/4 \times 1.5)}} = 19.57 \text{ cm}$$

$$\text{seck } t_2 \text{ ไม่น้อยกว่า} = 19.57 + 2 + 1.2 = \underline{\underline{22.77 < 30 \text{ cm}}}$$

### Check Shear

- Shear at  $\frac{d}{2}$  ไม่น้อยกว่า

$$d_1 = 40 - 3.2 = 36.80 \text{ cm}$$

$$c + d_1 = 68 + 36.8 = 104.8 = 1.048 \text{ m}$$

$$V = \frac{V}{b_o d} = \frac{13,500 (3^2 - 1.048^2)}{4 (104.8) (36.80)} = \underline{\underline{6.91 < 0.53 \sqrt{210}}}$$

(ชาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ

- Shear at  $d/2$  ภายใต้อาบริขารคานา

$$d_2 = 30 - 3.2 = 26.80 \text{ cm}$$

$$D + d_2 = 110 + 26.80 = 136.80 = 1.368 \text{ m.}$$

$$v = \frac{V}{b_o d} = \frac{13,500 (3^2 - 1.368^2)}{4 (136.80) (26.80)}$$

$$= \frac{6.56}{ksc} < 0.53 \sqrt{210} \quad (O.K.)$$

หน้าคานา

$$\begin{aligned} \triangleright \text{หน้าคานา : } A_s &= \frac{17.85 (1000) (100)}{1700 (0.889) (40 - 2 - \frac{1.2}{2})} \\ &= 20.97 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

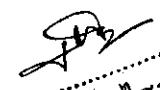
Use 19 - DB  $\phi$  12 mm

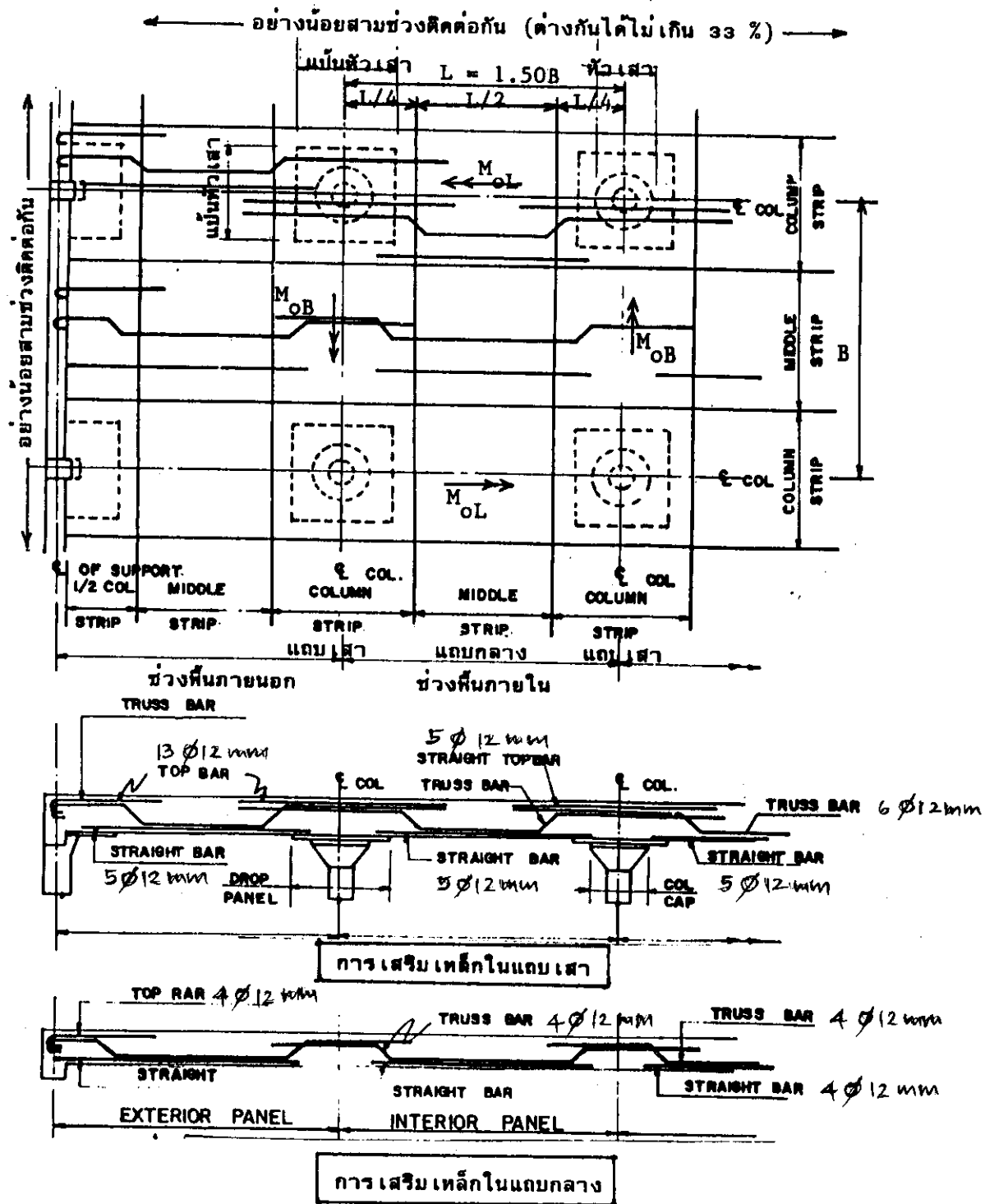
$$\begin{aligned} \text{หน้าคานา} + A_s &= \frac{4.74 (1000) (100)}{1700 (0.889) (30 - 2 - \frac{1.2}{2})} \\ &= 17.45 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Use 11 - DB  $\phi$  12 mm

$$\begin{aligned} \triangleright \text{หน้าคานา : } A_s &= \frac{3.55 (1000) (100)}{1700 (0.889) (30 - 2 - \frac{1.2}{2})} = A_s^+ \\ &= 8.572 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Use 8 - DB  $\phi$  12 mm

  
(นาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ



รูปที่ 26 แปลนแผ่นพื้นไร้คาน แสดงข้อกำหนดทั่วไป

(ชาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ

# Check Bound

Point of Inflection at  $L/5 =$  ๓ เมตรจากปลายคาน

แรงเฉือนหน้าเสา  $V = 13,500 (3)^2 (1 - (2/5)^2) = 102,060 \text{ kg}$

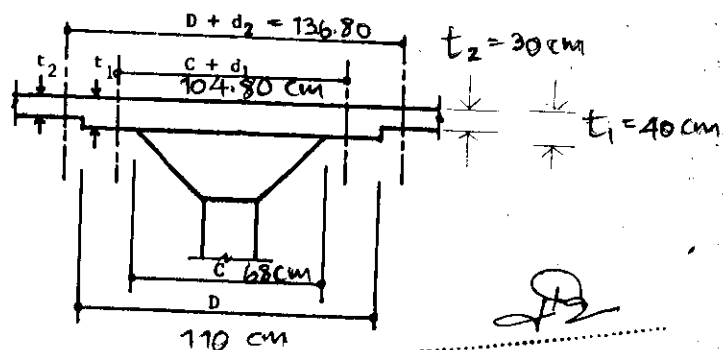
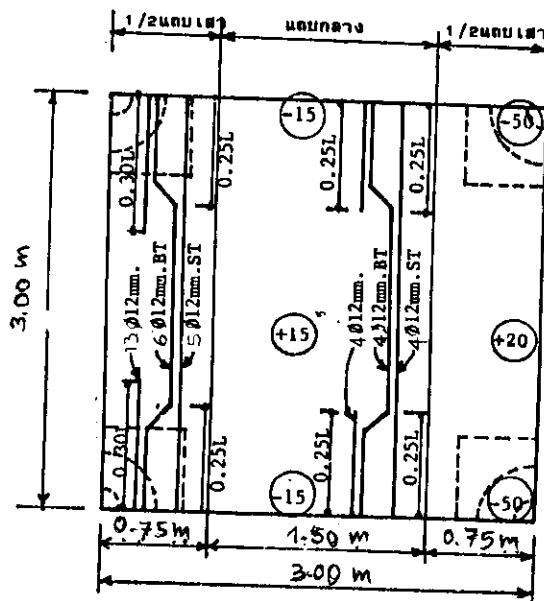
Shear ฝั่งด้านเดียว  $= \frac{V}{4} = 25,515 \text{ kg}$

ปลั๊กดวย  $\phi 12 \text{ mm}$  ในยาวรวม  $\frac{2L}{5} = 1.20 \text{ m}$  สันนิษฐานหัวสั้นเท่ากับ

$\frac{1.20}{1.50} (11) = 8.8 \text{ เส้น}$

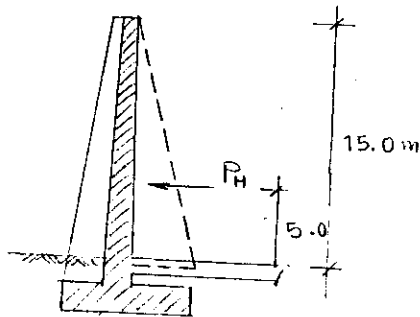
$\therefore \Sigma o = 8.8 (3.77) = 33.17 \text{ cm}$

หน่วยแรงยึดเหนี่ยว  $= \frac{V}{\Sigma ojd} = \frac{25,515}{(33.17 \times 0.889)(26.80)}$   
 $= 10.8 \text{ ksc} < 11 \text{ ksc (OK)}$



(ชาย แสงไธยา)  
 ผู้จัดการโครงการ

กรณีการคำนวณแรงดันดินจาก wheat (ข้าวสาลี)



for wheat

$$\phi = 25^\circ$$

$$\mu' = 0.444$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = 0.41$$

$$R = A/U$$

$$= 30/4 = 7.50$$

จาก equation :

$$P_H = \frac{wR}{\mu'} (1 - e^{-\frac{\mu' Kh}{R}})$$

$$= \frac{0.850 (7.50) (1 - e^{-\frac{(0.444 \times 0.41 \times 15)}{7.5}})}{0.444}$$

$$= 14.358 (1 - e^{-0.364})$$

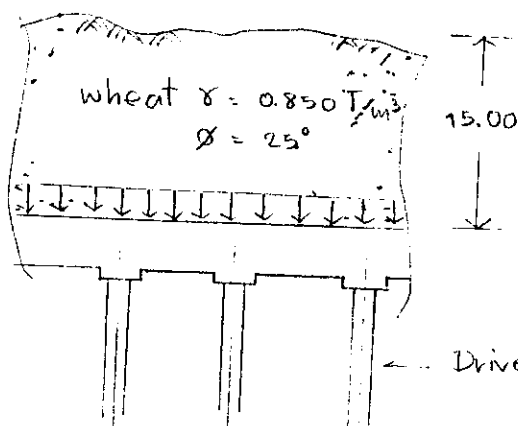
$$P_H = 4.38 \text{ T/m}^2$$

พิจารณา Retaining Wall กว้าง 1.00 m

$$P_H = 4.38 (1.00) = 4.38 \text{ T/m}$$

โมเมนต์ที่ฐานกำแพง  $M = \frac{1}{2} (4.38) (15 \times 5) = 164.31 \text{ T-m}$

กรณีการคำนวณแรงดันดินจาก wheat



Driven pile @ 2.70 m

(นาย แสงใส)  
ผู้จัดการโครงการ

Dead load of Flat Slab (Assume  $t = 0.80 \text{ m}$ )  $= 1.92 \text{ T/m}^2$

Dead load of Wheat (max,  $h = 15 \text{ m}$ )  $= 0.85(15) = 12.75 \text{ T/m}^2$

Live load on Flat Slab  $= 0.50 \text{ T/m}^2$

∴ Total weight  $= 1.92 + 12.75 + 0.50$

$$W_t = 15.17 \text{ T/m}^2$$

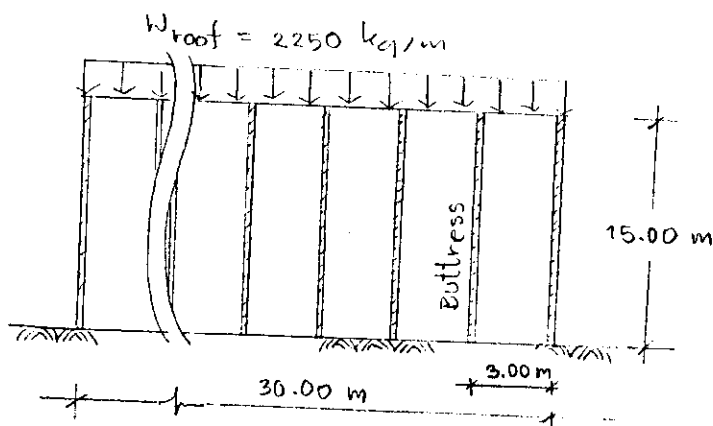
กรณีการรับน้ำหนักบน Wall Bearing และ friction on wall

น้ำหนักจากหลังคา :  $LL = 50 \text{ kg/m}^2$

$DL = 100 \text{ kg/m}^2$

$W_t = 150 \text{ kg/m}^2$

น้ำหนักบนผนัง Retaining Wall  $= 150(15) = 2250 \text{ kg/m}$



กรณีการรับน้ำหนัก Friction :  $\mu' = 0.444$

$$\phi = 25^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{friction force} &= \mu' P_h \cdot u \cdot dh \\ &= \int_0^h \mu' \left[ \frac{WR}{u'} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\mu' kh}{R}} \right) \right] \cdot u \cdot dh \end{aligned}$$

$$F_f = WAH \left( 1 - e^{-\frac{\mu' kh}{R}} \right)$$


(นาย แสงไธยา)  
ผู้จัดการโครงการ

$$\begin{aligned}
 F_d &= 0.85 (30 \times 30) (15) \left( 1 - e^{-\left[ \frac{0.444 \times 0.41 \times 15}{(30 \times 30) / (30 \times 4)} \right]} \right), \\
 &= 11,475 (1 - e^{-0.364}), \\
 &= 3501 \text{ T} = 3501 / 30 = 116.70 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

$\therefore$  น้ำหนักดินในแนวตั้งต่อเมตร Retaining Wall 1m = 2250 + 116.70  
 ( น้ำหนักดินในแนวตั้ง Retaining Wall ) = 2366.70 T/m

### Tentative proportions of Cantilever Retaining Wall

- |                           |                       |          |
|---------------------------|-----------------------|----------|
| 1) Footing width L :      | Use $\frac{1}{2} h_w$ | = 7.50 m |
| 2) Footing thickness t :  | $\frac{1}{10} h_w$    | = 1.50 m |
| 3) Bottom-of-Stem $t_1$ : | $\frac{1}{10} h_w$    | = 1.50 m |
| 4) Toe width :            | $\frac{1}{4} L$       | = 1.90 m |
| 5) Top of stem thickness  |                       | = 0.40 m |

  
 (นาย แสงใส)  
 ผู้จัดการโครงการ