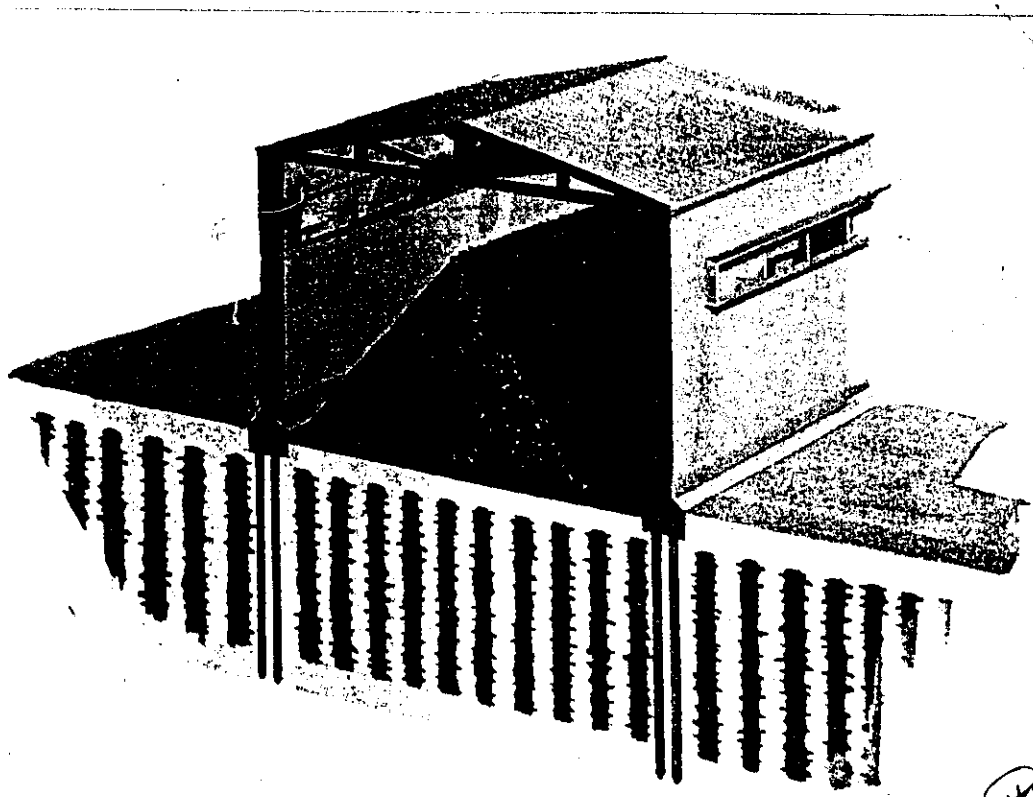
SILO DESIGN



(นาย แสงใส)
ผู้จัดการโครงการ

การออกแบบ silo เก็บของ

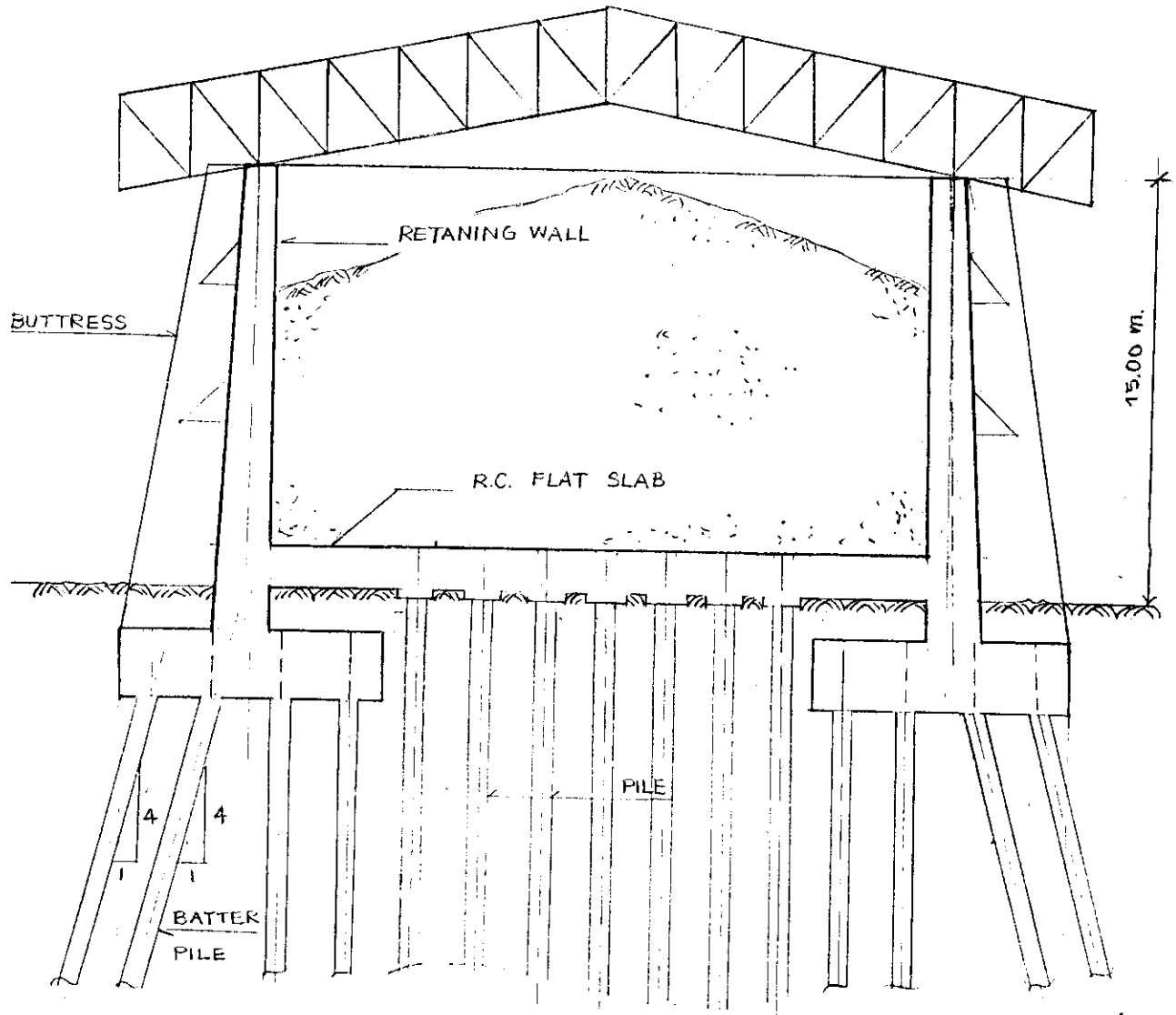
ในการออกแบบ silo เก็บของ สิ่งที่ต้องพิจารณา คือ ระบบและพฤติกรรมของตัวโครงสร้าง เนื่องจากโครงสร้างของ silo มีช่วง span กว้างมากๆ แต่ยังมีการรับแรงในทุกทิศทาง คือ แนวดิ่ง, แนวราบ และโมเมนต์ ดังนั้นในการพิจารณาออกแบบจะต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ประกอบด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีปัญหาในด้านของฐานราก เป็นดินอ่อน ค่า bearing Capacity ของดินจะไม่พอ ซึ่งอาจต้องมีการเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดินก่อนการก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อให้โครงสร้างนี้ คงทนถาวร เหมือนอยู่ในธรรมชาติ

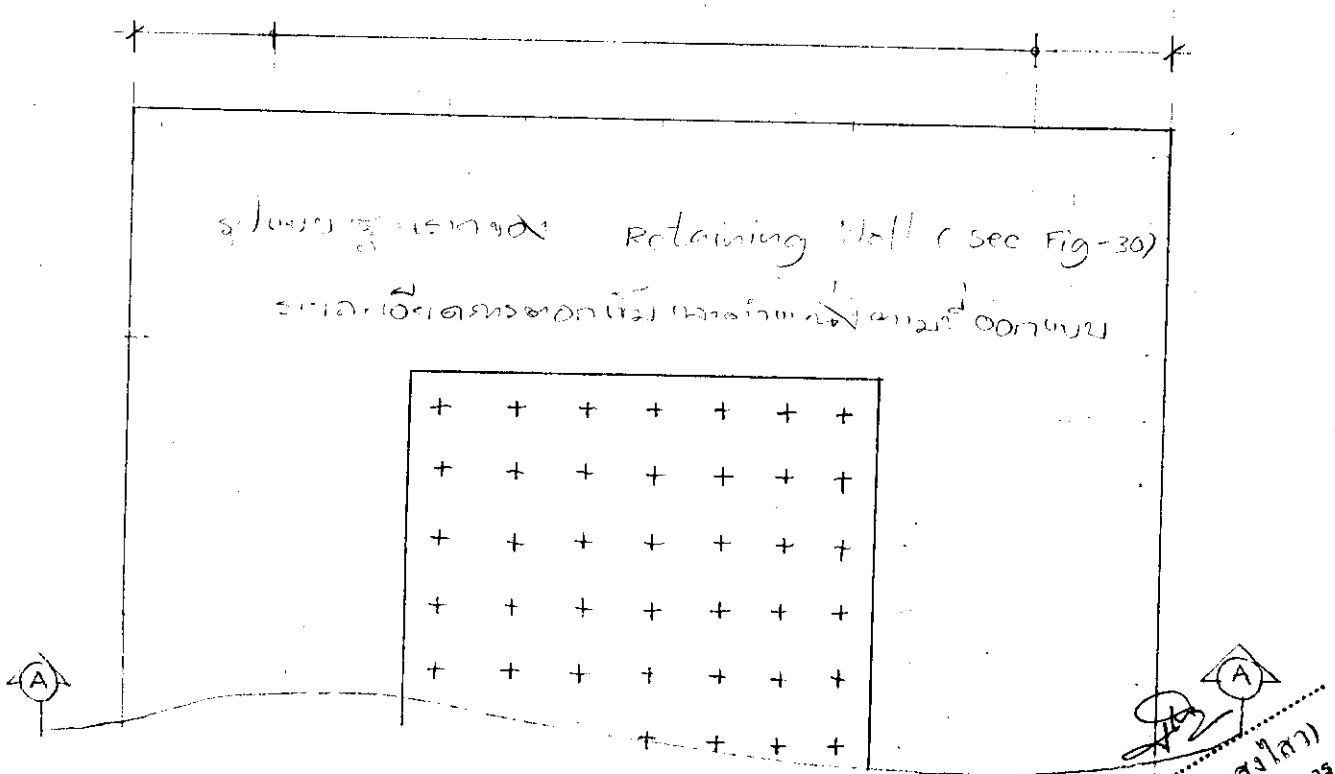
สำหรับการออกแบบครั้งนี้จะออกแบบ silo โดยจะให้เสาเข็มเป็นตัวช่วยถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน ฐานราก โดยจะมีคานช่วยเข็มเอียง ช่วยรับแรงดันข้างด้วย วัสดุที่ใช้เก็บใน silo เป็น wheat (ข้าวสาลี) หน่วยน้ำหนัก = 850 kg/m³ ตามตารางที่ 20 และขนาดของ silo กว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร ความสูงเท่ากับ 15.00 เมตร โดยที่ในแนวข้างตัว Retaining Wall จะมี RC-Flat slab เป็นตัวช่วยยึด Retaining Wall ซึ่งจะรองรับน้ำหนักบรรจุด้วย ทำนองเดียวกันกับการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ Retaining Wall จะออกแบบเช่นเดียวกันกับ Flat slab ช่วยกันด้านการเคลื่อนตัวเข้าสู่ตัวด้วย และใช้ Buttress ช่วยในการพยุงกันดิน ทุกๆ ช่วง 6 เมตร หนา = 0.50 เมื่อช่วยลดโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในตัวฐานรากได้ รูปร่างของ silo แสดงไว้ในรูปที่ 25

PRESSURE ON SILO WALL

การคำนวณหาแรงดันด้านข้างของผนัง เป็นแรงกระทำนี้มีผลมาจากแรงกระทำในแนวดิ่ง (vertical pressure) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ในการออกแบบครั้งนี้ใช้ข้าวสาลี เป็นวัสดุจะเป็นผลทำให้เกิดแรงดันด้านข้างกระทำต่อตัวผนังของ Retaining Wall ในการคำนวณจะหาได้จากค่าหน่วยน้ำหนักกับมุมเสียดทานภายใน ตามตารางที่ 25 ได้ค่า γ = 850 kg/m³, ϕ = 25°

(ชาย แสงไสว)
ผู้จัดการโครงการ





รูปแสดง Retaining Wall (see Fig-30)

Fig-25

(ชาย แสงใส)
ผู้จัดการโครงการ

สมการที่ใช้คำนวณหาแรงดันของดิน โดย Rankine ซึ่งใช้สำหรับคำนวณหาแรงดันของดินต่อความยาวหนึ่งเมตรที่มีทิศทางขนานกับพื้นผิวของดิน ซึ่งมีความชันสม่ำเสมอ ตำแหน่งของแรงกระทำอยู่ที่ระยะ h/3 จากตัวกำแพง สมการนี้คือ

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

เมื่อ w = หน่วยน้ำหนักของวัสดุหลังกำแพงกันดิน (Wheat = 0.76 T/m^3)

h = ความสูงของกำแพง , m

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

θ = มุมระหว่างพื้นผิววัสดุที่กำแพงกันกับพื้นราบ

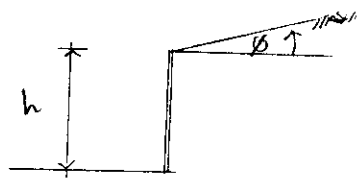
ϕ = มุมเสียดทานภายในของวัสดุ (Wheat = 25°)

Rankine ได้แบ่งลักษณะของ Surcharge load ออกเป็น 3 กรณี คือ

Case I :

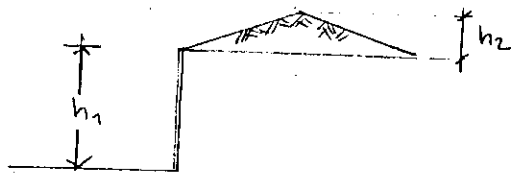
$$P = wh \cdot \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$$

Case II :



$$P = wh \cdot \cos^2\phi$$

Case III :



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

(ชาย แสงใส)
ผู้จัดการโครงการ

จาก Janssem's Formula Pressure in Soils ซึ่งนิยมนำมาใช้กับแรงกดด้านข้างของผนังกักเก็บ คือ

$$P_V = \frac{WR}{\mu' K}\left(1 - e^{-\frac{\mu' k h}{R}}\right)$$

$$P_h = K P_V = \frac{WR}{\mu'}\left(1 - e^{-\frac{\mu' k h}{R}}\right)$$

เมื่อ 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

ϕ = angle of Respone of the filling

ϕ' = angle of friction of the filling on the walls of the bin

μ' = coefficient of friction (Filling on Concrete) ค่าของ μ'

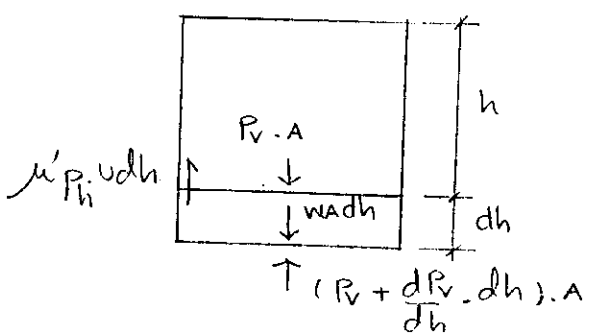
P_h = intensity of the horizontal pressure on the wall

P_V = intensity of the vertical pressure

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

สำหรับ Square Silos $R = l^2/4l = l/4$

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



(ชาย แสงใสวา)
ผู้จัดการโครงการ

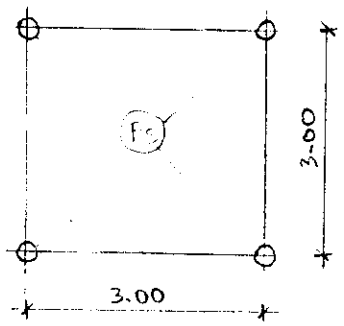
TABLE 20 *Densities of Materials and Angles of Repose*

Material	kg/ m³	ϕ (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/m³	kN/m³	Filling on filling (μ)	Filling on concrete (μ')
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 : $f_c' = 210$ ksc

$f_c = 78$ ksc

$f_s = 1700$ ksc

$n = 10$

$R = 11.0$ ksc

$j = 0.889$

load of wheat $= \gamma H = 0.85(15)$

$= 12.75$ T/m²

ขนาดหัวเสา $C = 0.225\,L = 68$ cm

ขนาดเส้นเสา $D = 0.350\,L = 110$ cm

thickness of Slab, t_2

ความหนาต่ำสุด $t_2 = L/40 = 10$ cm

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

$w' = DL + LL = 2400t_2 + 12{,}750$ (Assume $t_2 = 0.30$ m)

$= 13{,}470$ kg/m²

จาก $t_2 = 0.091(3)\left[1 - 2(0.68)/3(3)\right]\cdot\sqrt{\frac{13470}{(210/141)}} + 2.54$

$= 24.58$ cm

เลือกใช้ $t_2 = 30$ cm

หาความหนาของแผ่นพื้นรอบหัวเสา t_1

ความหนาไม่เกิน $t_1 = 1.5t_2 = 45$ cm

หรือไม่เกิน $t_1 = t_2 + (D-C)/8$

$= 30 + (110-68)/8 = 35.25$ cm

(ชาย แสงใส)
ผู้จัดการโครงการ

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

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

$= 30$ cm

เลือกใช้ $t_1 = 40$ cm

หาน้ำหนักทั้งหมดบนแผ่นพื้น

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

$= 121.52$ T

น้ำหนักต่อตารางเมตร $w' = 121.52/(3)^2$

$= 13.50$ T/m^2

ใกล้เคียงกับน้ำหนักที่สมมุติไว้ $13.50 \approx 13.47$ T/m^2 (O.K)

Chack ความหนาแผ่นพื้น

$M_o = 0.09\,FWL(1-2C/3L)^2$; $F = 1.15-(C/L) = 0.925$

Use $F = 1$

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

$= 23.70$ T-m

หาค่า M.S. คิดเป็นร้อยละของ M_o ในแถบเสา และ แถบกลาง

Column Strip Moment

$M_c(-) = -0.5\,M_o = -11.85$ T-m

$M_c(+) = +0.2\,M_o = +4.74$ T-m

(ชาย แสงใสวา)
ผู้จัดการโครงการ

Middle strip Moment

$M_m(-) = -0.75\ M_O = -3.55$ T-m

$M_m(+) = +0.75\ M_O = +3.55$ T-m

Chack thickness of slab

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

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

ระยะ t_1 ที่ต้องการ $= 36.74 + 2.0 + 1.2 = 39.33 < 40$ cm

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

ระยะ t_2 ที่ต้องการ $= 19.57 + 2 + 1.2 = 22.77 < 30$ cm

Chack Shear

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

$d_1 = 40 - 3.2 = 36.80$ cm

$c + d_1 = 68 + 36.8 = 104.8 = 1.048$ m

$V = \frac{V}{b_o d} = \frac{13500\,(3^2 - 1.048^2)}{4\,(104.8)(36.80)} = 6.91 < 0.53\sqrt{210}$

(ชาย แสงไสว)
ผู้จัดการโครงการ

- Shear at $d/2$ ห่างจากขอบจากหน้าเสา

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

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

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

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

การเสริมเหล็กเรียบ

▷ แถบเสา : เหล็กบน $-A_s = \frac{11.85(1000)(100)}{1700\,(0.889)(40-2-\frac{1.2}{2})}$

$$= 20.97 \text{ cm}^2$$

Use 19 - DB Ø 12 mm

เหล็กล่าง $+A_s = \frac{4.74(1000)(100)}{1700(0.889)(30-2-\frac{1.2}{2})}$

$$= 11.45 \text{ cm}^2$$

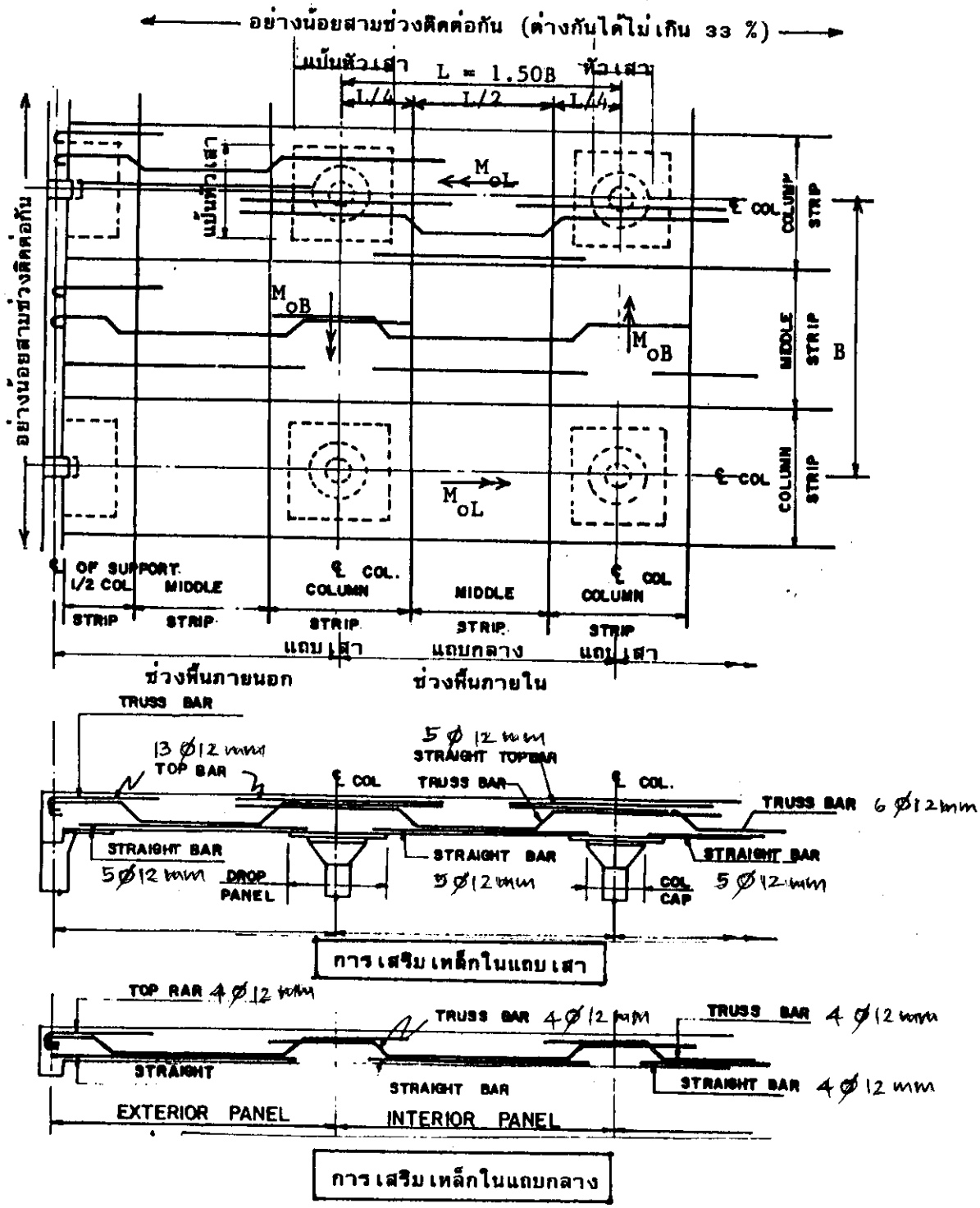
Use 11 - DB Ø 12 mm

▷ แถบกลาง : เหล็กบน $-A_s = \frac{3.55(1000)(100)}{1700(0.889)(30-2-\frac{1.2}{2})} = A_s +$

$$= 8.572 \text{ cm}^2$$

Use 8 - DB Ø 12 mm

(ชาย แสงใสว)
ผู้จัดการโครงการ



รูปที่ 26 แปลนแผ่นพื้นไร้คาน แสดงข้อกำหนดทั่วไป

(ชาย แสงไสว)
ผู้จัดการโครงการ

Chack Bound

Point of Inflection at $L/5$ = ____ m ห่างจากฐานรองรับ

แรงเฉือนที่ต้านทานได้ $V = 13,500\,(3)^2\,(1-(2/5)^2) = 102,060$ kg

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

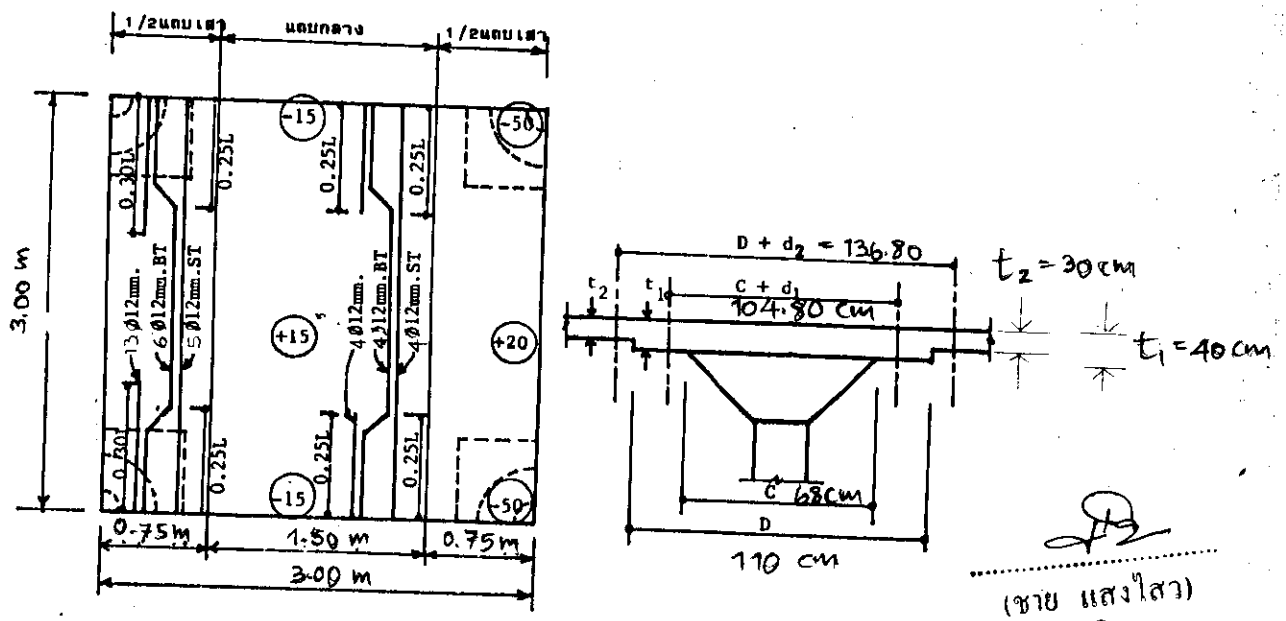
เหล็กปลอก Ø 12 mm ในช่วงระยะ $\frac{2L}{5} = 1.20$ m มีจำนวนหน้าตัดเท่ากับ

$\frac{1.20}{1.50}(11) = 8.8$ ใช้ 9 ปลอก

$\therefore \Sigma_0 = 8.8\,(3.77) = 33.17$ cm

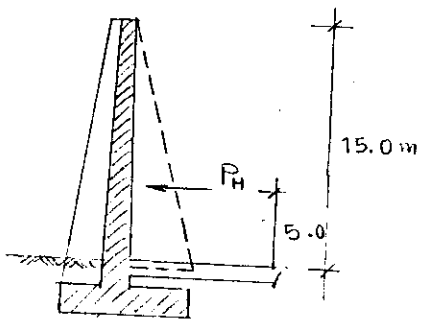
หน่วยแรงยึดเหนี่ยว $= \frac{V}{\Sigma_0 jd} = \frac{25,515}{(33.17 \times 0.889)(26.80)}$

$= 10.8$ ksc $<$ 11 ksc (OK)



(ชาย แสงไสว)
ผู้จัดการโครงการ

การวิเคราะห์ แรงดันในแนวราบเนื่องจาก 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 :

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

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

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

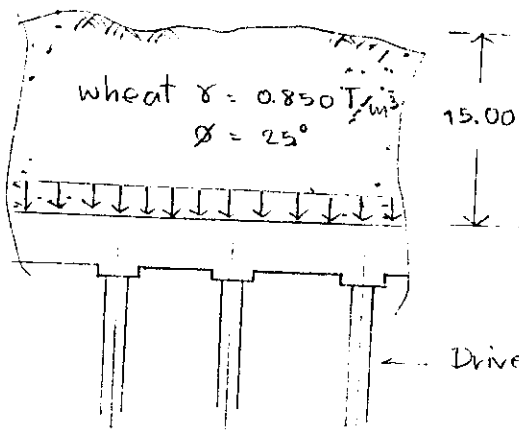
$$P_H = 4.38 \ T/m^2$$

พิจารณา Retaining Wall กว้าง 1.00 m

$P_H = 4.38(1.00) = 4.38 \ T/m.$

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

การวิเคราะห์ แรงดันในแนวดิ่งเนื่องจาก Wheat



(ชาย แสงไสว)
ผู้จัดการโครงการ

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

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

Live load on Flat Slab $= 0.50$ T/m^2

∴ Total weight $= 1.92 + 12.75 + 0.50$

$w_t = 15.17$ T/m^2

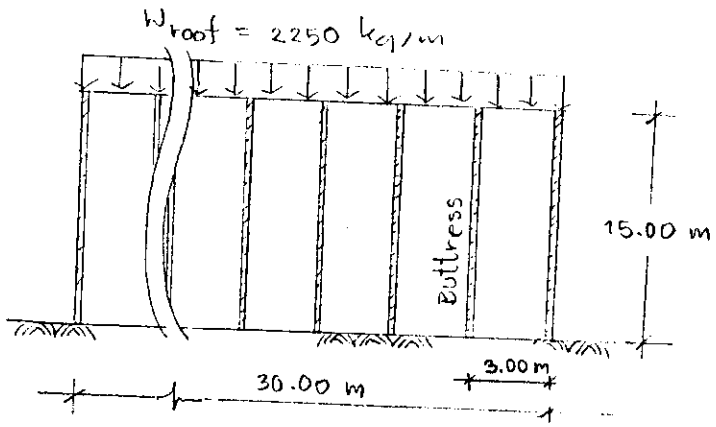
การวิเคราะห์แรงที่กระทำบน Wall Bearing และ friction on wall

น้ำหนักจากหลังคา : LL = 50 kg/m^2

DL = 100 kg/m^2

w_t = 150 kg/m^2

น้ำหนักของกำแพง Retaining Wall $= 150(15) = 2250$ kg/m



แรงเนื่องจาก Friction : $\mu' = 0.444$

$\phi = 25°$

friction force $= \mu' P_h . U . dh$

$= \int_0^h \mu' \left[\frac{WR}{\mu'} . (1 - e^{-\frac{\mu' kh}{R}}) \right] . U . dh$

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

(ชาย แสงไสว)
ผู้จัดการโครงการ

$$F_f = 0.85\,(30\times30)(15)\left(1 - e^{-\left[\frac{0.444\times0.41\times15}{(30\times30)/(30\times4)}\right]}\right)$$

$$= 11{,}475\,(1-e^{-0.364})$$

$$= 3501 \text{ T} = 3501 / 30 = 116.70 \text{ T/m}$$

∴ น้ำหนักกดลงในแนวดิ่งต่อความยาว Retaining Wall 1m = 2,250 + 116.70
(ไม่รวมน้ำหนัก Retaining Wall) = 2,366.70 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

(ชาย แสงใส)
ผู้จัดการโครงการ